REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

MEMOIRE DE MASTER

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE

FILIERE : GENIE ELECTRIQUE

OPTION : MICRO-ELECTRONIQUE

Thème

Etude et amélioration des performances d'antenne mirobande avec un plan de masse partial

Présenté par :

Sihem ATTAR

Encadré par :

Dr. Djamel KHEDROUCHE

N°d'ordre:

Promotion : Juin 2015

Dédicace

A :

Mes chers parents

Mon frère Abou Baker

Mes sœurs I, Z, R

Toute ma famille

Tous mes proches, mes amis et mes collègues.

Je dédie ce travail

Attar sihem

Remerciements

Avant tout, j'adresse mes remerciements en premier lieu, à DIEU qui nous a donné la foi, le courage et la patience de parvenir à finir ce modeste travail.

Je tiens à remercier particulièrement mes parents ; mon succès demeure de loin le fruit de leurs longues années de sacrifices et de patience.

*Je tiens à exprimer mes vifs remerciements et ma gratitude à mon promoteur Monsieur Dr .**Djamel KHEDROUCHE**, je le remercie pour ses conseils ; ses précieux commentaires qui m'ont permis de surmonter mes difficultés, et de progresser dans cette présente étude.*

Mes remerciements s'adressent à tous les membres du jury qui ont accepté de juger mon travail.

*Mes remerciements vont aussi, à **Mr. Tahar BOUGOUTAIA,** et Mme **F. BENMEDOUR** pour la documentation et les conseils prodigués.*

Nos remerciements s'étendent également à tous, nos enseignants durant les années des études.

Enfin je ne voudrais pas oublier de remercier toute personne qui m'a aidé de loin ou de près à réaliser ce travail.

Merci …

Attar sihem

Table des matières

Dédicaces I
Remerciements II
Table des matières III
Liste des Tableaux VII
Liste des Figures VIII
Résumé X
Abstract XI
Résumé en arabe XII

INTRODUCTION GENERALE

Introduction 01
Organisation du mémoire 02

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LES ANTENNES MICRORUBAN

I.1 Introduction 03
I.2 Définition des Antennes et historique 03
I.3 L'antenne Microstrip 04
I.3.1 Description d'une antenne microstrip 04
I.3.2 Caractéristiques de base 04
I.3.3 Les ondes existantes sur les antennes microstrip 06
I.3.4 Principe de fonctionnement 07
I.3.5 Paramètres S 08
I.3.6 Impédance d'entrée de l'antenne 08
I.3.7 Taux d'ondes stationnaire SWR (standing wave ratio) 09
I.3.8 Diagramme de rayonnement 09
I.4 Techniques d'alimentation des antennes patches 10
I.4.1 Alimentation par sonde coaxiale 10
I.4.2 Alimentation par ligne microruban 10

I.4.3 Ligne microbande en sandwich 11
I.4.4 Alimentation couplée par ouverture 12
I.4.5 Comparaison entre les différentes techniques d'alimentation 12
I.5 Méthodes d'analyse 13
I.5.1 Méthodes analytiques 13
I.5.1.1 Le modèle de la ligne de transmission 13
I.5.1.2 Modèle de la cavité 14
I.5.2 Méthodes rigoureuses 14
I.5.2.1 La méthode des différences finies 14
I.5.2.2 La méthode des moments 15
I.5.2.3 La méthode des éléments finis 15
I.5.2.4 Méthode d'analyse spectrale 15
I.6 Applications 16
I.7 Avantages et limitations des antennes patch 17
I.8 Conclusion 17

CHAPITRE II

PRESENTATION DES LOGICIELS HFSS ET CST

II.1 Introduction 18
II.2 Présentation du logiciel Ansoft HFSS 18
II.2.1 Un projet en HFSS 19
II.2.2 Comment commencer HFSS 21
II.2.3 Comment ouvrir un nouveau projet 21
II.2.4 Sauvegarder le projet 21
II.2.5 Insérer une conception de HFSS 21
II.2.6 Choix de type de solution 22
II.2.7 L'Arrangement des Unités du Modèle de Mesure 23
II.2.8 Créer le substrat 23
II.2.9 Création du Patch et la ligne d'alimentation 25
II.2.10 Création du port (waveguide) 27
II.2.11 Assigner les conditions aux frontières 28

II.2.12 Assigner une excitation au port d'alimentation 28
II.2.13 Assigner les conditions aux limites 29
II.2.14 Créer une installation d'analyse (analysis setup) 31
II.2.15 Ajouter le champ de fréquence (Add Frequency Sweep) 32
II.2.16 Analyse 32
II.2.17 Créer les rapports 33
II.3 Présentation du logiciel CST MICROWAVE STUDIO 34
II.3.1 Aperçu de la structure de l'interface utilisateur 35
II.3.2 Créer la ligne d'alimentation 36
II.3.3 Créer le substrat 36
II.3.4 Créer le plan de masse 36
II.3.5 Créer le patch 36
II.4 Conclusion 37

CHAPITRE III

DISCUSSION DES RESULTATS

III.1 Introduction 38
III.2 Antenne patch rectangulaire 38
III.2.1 Présentation de la structure étudiée dans le HFSS 40
III.2.2 Variation du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de travail 40
III.3Etude paramétrique 41
III.3.1 Effet de largeur du plan de masse 41
III.3.2 Effet de la position de la ligne d'alimentation 43
III.4 L'Antenne patch rectangulaire optimisée 44
III.5 Comparaisons entre la structure optimisée et la structure initiale 46
III.6 Taux d'onde stationnaire (VSWR : Voltage Standing Wave Ratio) 47
III.7 Impédance d'entrée 48
III.8 Le gain 49
III.9 Diagramme de rayonnement en 2D et 3D 50
III.9 Conclusion 53

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale 54

REFERENCES

Références 56

Liste des tableaux

Chapitre I

Tab. (I-1) : Comparaison entre les différentes techniques d'alimentation..... 12

Chapitre III

Tab. (III-1) : dimension du plan de masse 42
Tab. (III-2) : la position de la ligne d'alimentation..... 43
Tab. (III-3) : les paramètres optimisée 44

Liste des figures

Chapitre I

Généralité sur les antennes microruban

Fig. (I-1) : Structure d'une antenne microruban 04
Fig. (I-2) : Différentes formes d'antennes microstrip 05
Fig. (I-3) : Trajectoires des rayons dans une antenne microruban (coupe) 06
Fig. (I-4) : Rayonnement d'une antenne patch rectangulaire 07
Fig. (I-5) : Signaux aux bornes d'une composante micro-onde 08
Fig. (I-6) : Schéma équivalent du dispositif à l'émission 09
Fig. (I-7) : Diagramme de rayonnement d'une antenne patch rectangulaire 09
Fig. (I-8) : Alimentation par sonde coaxiale 10
Fig. (I-9) : Alimentation par ligne microruban 11
Fig. (I-10) : Ligne microbande en sandwich 11
Fig. (I-11) : Alimentation couplée par ouverture 12

Chapitre II

Présentation des logiciels HFSS et CST

Fig. (II-1) : Maillage 2D dans un projet HFSS (le maillage est plus dense autour de l'objet d'intérêt) 19
Fig. (II-2) : Organigramme des différentes étapes d'un design HFSS 20
Fig. (II-3) : La fenêtre principale du logiciel HFSS 20
Fig. (II-4) : Fenêtre de HFSS 21
Fig. (II-5) : Boîte de dialogue de Type de Solution 22
Fig. (II-6) : Boîte de dialogue des Unités de Modèle 23
Fig. (II-7) : Le Substrat diélectrique 24
Fig. (II-8) : Le plan de mass 25
Fig. (II-9) : Le patch et la ligne d'alimentation 26
Fig. (II-10) : Le port 27

Fig. (II-11) : Le boitier d'air 28

Fig. (II-12) : Lumped port 29

Fig. (II-13) : Assignement de la condition "Conducteur parfait" pour le patch, la ligne microstrip d'excitation et le transformateur d'adaptation 30

Fig. (II-14) : Assignement de la condition "Conducteur parfait" pour le plan de masse 30

Fig. (II-15) : Assignement des frontières 31

Fig. (II-16) : La fenêtre principale du logiciel CST 35

Fig. (II-17) : variation Paramètre S11 d'un patch rectangulaire 37

Chapitre III
Discussion des résultats

Fig. (III-1) : antenne microruban rectangulaire 39

Fig. (III-2) : Structure de l'antenne patch rectangulaire étudiée 40

Fig. (III-3) : Coefficients de réflexions S11, obtenus par HFSS et CST 41

Fig. (III-4) : coupé le plan de masse LG 42

Fig. (III-5) : Le coefficient de réflexion S11, pour différents valeurs de LG simulés sous HFSS 43

Fig. (III-6) : Le coefficient de réflexion S11, pour différents valeurs de PF simulés sous HFSS 44

Fig. (III-7) : l'antenne patch rectangulaire ainsi optimisée 45

Fig. (III-8) : Coefficients de réflexion pour la novelle antenne optimisée 45

Fig. (III-9) : Coefficients de réflexion de l'antenne optimisée et initiale 46

Fig. (III-10) : le taux d'onde stationnaire 47

Fig. (III-11) : représente l'impédance d'entrée (résistance) d'antenne patch rectangulaire .. 48

Fig. (III-12) : représente l'impédance d'entrée (réactance) d'antenne patch rectangulaire .. 49

Fig. (III-13) : le gain de l'antenne 50

Fig. (III- 14) : Diagramme de rayonnement à la fréquence 5 GHZ 51

Fig. (III- 15) : Diagramme de rayonnement à la fréquence10. 5 GHZ 52

Résumé

Dans ce travail nous avons faire la conception d'une antenne microbande rectangulaire alimentée par ligne microbande, avec an plan de masse partial, pour cela nous avons étudié l'effet de largeur de plan de masse, ainsi que la position de la ligne sur la bande passante de l'antenne, on a arrivé à une structure d'antenne qui peut fonctionner en gamme de fréquence de 2.5 GHz à 11GHz.

Ensuite, nous avons présenté les paramètres de l'antenne tel que, le coefficient de réflexion, l'impédance d'entrée, VSWR, le diagramme de rayonnement, et le gain.

Ce travail a été effectué en utilisant les deux simulateurs électromagnétiques HFSS et CST

Mots clés : Antenne micro ruban, plan de masse partial, bande passante large.

Abstract

In this work we have design of a microstrip patch antenna with partial ground plane excited by microstrip feed line, for, it we studied the effect of width of the ground plane, as well as the position of the feed line on the bandwidth of the antenna,

After that, we presented the parameters of the antenna as, the return loss, input impedance, VSWR, the radiation pattern, and the gain.

This work has been designed using the two simulators electromagnetic HFSS and CST

Key words: microstrip antenna, partial ground plane, wideband.

مُلَخَّص

في هَذَا العَمَل قُمْنَا بدراسة وتصميم هوائي شريطي قاعدته جزئية وعُنْصُرُه المشع مربع الشَّكْل مغذى بخط شريطي دقيق. قمنا بدراسة تأثير كل من عرض قاعدة الهوائي وموضع خط الغذاء على عرض النطاق العابر للتوتر للهوائي، تم التوصل إلى هوائي عريض النطاق يشتغل في مجال من 2.5 إلى 11 جيغا هرتز.

بعد ذلك عرضنا وسائط الهوائي المتمثلة في معامل الانعكاس وممانعة الدخول ومعدل الموجات المستقرة ومخطط الإشعاع والكسب للهوائي.

تَمَّت الدراسة باستخدام برنامجي التصميم HFSS و CST.

INTRODUCTION GENERALE

I. INTRODUCTION GENERALE

Les futures technologies pour les systèmes de télécommunication devront démontrer des potentialités très attractives en matière de miniaturisation, des pertes de réglage et de reconfiguration des circuits, sans oublier bien évidement la fiabilité, le tout pour des coûts de fabrication toujours plus faibles. Il s'avère indispensable de concevoir des systèmes de télécommunication reconfigurables, multinormes, dans lesquels les caractéristiques pourront évoluer par le biais d'une commande électronique **[1].**

Depuis plusieurs années, le domaine des télécommunications et des nouvelles technologies connaît un véritable essor et ne cesse d'innover, malgré une situation économique difficile. Encore réservées il y a quelques années à une clientèle spécialisée, on assiste aujourd'hui à un engouement sans précédent du grand public pour les nouvelles applications et services offerts par ces nouvelles technologies.

Que le mode d'utilisation soit nomade ou sédentaire, on assiste à un important développement des technologies radio sans fils (Bluetooth, WiFi, GPRS, UMTS, Wi-Max) comme en témoigne l'accroissement du nombre de terminaux mobiles ou encore des modems, routeurs et points d'accès sans fils à domicile ou dans les lieux publics.

Pour répondre à ces besoins croissants de communication sans fils à haut débit, les futures générations d'équipements vont faire appel à des antennes de plus en plus performantes. Celles-ci devront fonctionner sur plusieurs bandes de fréquences ou sur une large bande mais elles devront aussi, pour des raisons pratiques et esthétiques, être intégrées aux systèmes radio, ce qui requiert la mise au point de structures compactes, discrètes et n'ayant pas de problèmes de compatibilité électromagnétique avec les circuits électroniques environnants. En outre, ces antennes devront être d'un faible coût de réalisation **[2].**

Jusqu'à présent, de nombreuses antennes planaires, c'est-à-dire en deux dimensions, ont été étudiées et sont aujourd'hui pleinement exploitées. Nous avons donc axé notre recherche sur les antennes en trois dimensions, moins connues, qui offrent un plus grand nombre de degrés de liberté, et donc de nouvelles possibilités pour répondre aux objectifs cités ci-dessus. Néanmoins, les nombreux paramètres des structures 3D les rendent complexes et difficiles à appréhender.

L'objet de ce mémoire est la conception d'une antenne microbande rectangulaire alimentée par une ligne microbande, avec un plan de masse partiale. Une étude de l'effet de la largeur du plan de masse, ainsi que la position de la ligne d'alimentation sera menée afin d'arriver à une meilleure adaptation de la structure étudiée. Ensuite, nous présenterons les résultats de

simulation, obtenus par les simulateurs HFSS et CST, en termes de coefficient de réflexion, impédance d'entrée, taux d'ondes stationnaires (VSWR), diagramme de rayonnement et gain.

II. ORGANISATION DU MEMEOIRE

L'étude présentée dans ce mémoire se place dans le cadre de conception d'une antenne patch microstrip. L'utilisation d'un simulateur électromagnétique HFSS (High Frequency Structure Simulation) permet d'appréhender des lois de comportements sans avoir préalablement recours à un formalisme mathématique.

Le manuscrit est constitué de trois chapitres**:**

Dans le premier chapitre nous avons défini les caractéristiques de l'antenne microrubans, leur domaine d'utilisation, leurs avantages et inconvénients, ainsi que les techniques d'alimentation.

Dans le deuxième chapitre nous développons les différents aspects de mise en œuvre d'un projet HFSS (High Frequency Structure Simulation) depuis le dessin de la structure à étudier jusqu'à l'exécution "Analyze".

Le troisième chapitre concerne l'aspect de la conception d'une antenne imprimée avec un simulateur électromagnétique HFSS. Une fois la structure d'antenne est introduite dans l'environnement de développement HFSS ainsi que les conditions aux frontières et les paramètres de la solution selon les étapes expliquées dans le chapitre II, nous pouvons alors exécuter une "Analyze" afin d'estimer les performances de l'antenne.

Ainsi, nous présentons des résultats de simulation d'une antenne à patch rectangulaire avec un plan de masse partial alimentée par une ligne microruban, suivit par des discussions et des commentaires. On a représenté les résultats de simulation dans un ordre bien précis, basé sur une étape de mesure : coefficient de réflexion, diagramme de rayonnement, impédance d'entré, taux d'onde stationnaire. On finira par donner une conclusion générale.

Chapitre I

GENERALITES SUR LES ANTENNES MICRO RUBANS

I.1 Introduction

Le développement des télécommunications spatiales, les contrôles et les commandes à distance, ont fait apparaître la nécessité croissante de réaliser des dispositifs micro-ondes peu coûteux et peu encombrants, faisant appel à une technologie simple et économique. Les systèmes micro-ondes à structure micro ruban ont été à l'origine du développement des antennes imprimées (antennes plaques ou antennes patch) qui sont le plus souvent utilisées en réseaux afin d'améliorer leurs performances et de permettre la réalisation de fonctions très particulières.

Dans ce chapitre, nous allons rappeler quelques définitions et historiques des antennes microbandes, ainsi que la technologie de ces antennes. Nous définirons les antennes plaquées et nous donnerons leurs caractéristiques, leurs domaines d'utilisation, leurs avantages ainsi que leurs inconvénients. Nous examinerons ensuite les types et les endroits de l'alimentation qui jouent un rôle important. Enfin, nous allons présenter quelques méthodes d'analyse les plus utilisées.

I.2 Définition des Antennes et historique

Une antenne est un transducteur entre la ligne de transmission connectée à un générateur et le milieu où l'onde rayonne. Ainsi, on peut définir une antenne en émission ou en réception selon son mode de fonctionnement. Une antenne reliée à une ligne de transmission et rayonnant en espace libre peut être considérée comme un dispositif de couplage entre une onde guidée le long de la ligne et une onde rayonnée dans l'espace. Par conséquent, une antenne est un dispositif qui permet de recevoir et d'émettre les ondes radioélectriques. Elle transforme l'énergie guidée en énergie rayonnée et vice versa. Ce dispositif est en général réciproque. Lorsqu'il est utilisé pour transmettre l'énergie électromagnétique d'une source radioélectrique vers le milieu de propagation, on l'appelle antenne d'émission. Par contre, lorsqu'il est utilisé en sens inverse, on l'appelle antenne de réception **[3].**

Le concept des antennes micro rubans fut initialement proposé en 1953 par Deschamps aux états Unis d'Amérique et en France par Guttan et Baissimot en 1955. Un peu plus tard le phénomène de rayonnement provenant des discontinuités dans les strip-lines fût observé et étudié par Lewin en 1960. Au début des années 70, Byron décrit une piste rayonnante conductrice gravée sur un substrat diélectrique ($\varepsilon r < 10$) et repose sur un plan de masse **[4].**

I.3 L'antenne Microruban

I.3.1 Description d'une antenne microruban

Dans sa structure de base, une antenne microruban se compose d'une pièce métallique rayonnante (patch) sur un côté du substrat diélectrique, et un plan de masse de l'autre côté comme représenté sur la Figure I-1. Le patch est généralement fabriqué à base d'un matériau conducteur tel que le cuivre ou l'or (à cause de leurs conductivités élevées) et il peut prendre n'importe quelle forme possible, mais on se donne des formes régulières (carré, circulaire) dans le but de simplifier l'analyse de la structure. Le patch rayonnant et les lignes d'alimentation sont habituellement photogravés sur le substrat diélectrique.

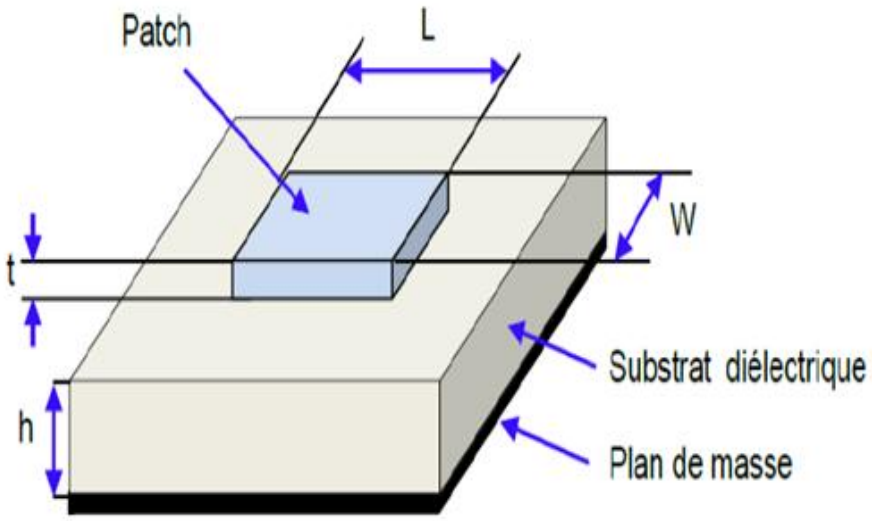


Figure I.1 Structure d'une antenne microruban

I.3.2 Caractéristiques de base

L'antenne microruban est conçue telle que le maximum de son diagramme de rayonnement est normal à l'élément rayonnant. Cet élément rayonnant peut être rectangulaire, carré, circulaire ou simplement un dipôle pour un patch rectangulaire, sa longueur L est généralement $\lambda_0/3 < L < \lambda_0/2$, où λ_0 est la longueur d'onde dans l'espace libre. Le patch est sélectionné de façon qu'il soit très mince ($t << \lambda_0$, où t est l'épaisseur du patch). La taille h du substrat diélectrique est habituellement $0{,}003\ \lambda_0 \leq h \leq 0.05\ \lambda_0$. Le constant diélectrique du substrat εr est typiquement dans la gamme $2.2 \leq \varepsilon r \leq 12$ **[6].**

Les ondes dans une ligne microbande se propagent à la fois dans le milieu diélectrique et dans l'air. Du point de vue modélisation, les deux milieux sont remplacés par un seul milieu effectif caractérisé par une constante diélectrique.

La répartition des lignes de champs qui s'étendent autour et dans la structure dépend essentiellement:

- De la largeur W des circuits de métallisation.
- Des caractéristiques du substrat : à savoir sa constante diélectrique ε et son épaisseur.

Les différentes formes du patch présentent une grande facilité d'analyse et de fabrication, mais également un diagramme de rayonnement très intéressant, car présentant une faible composante croisée. Les dipôles microrubans ont la particularité de présenter une large bande passante et d'occuper très peu d'espace, ce qui les rend particulièrement adaptés à la réalisation de réseaux d'antennes.

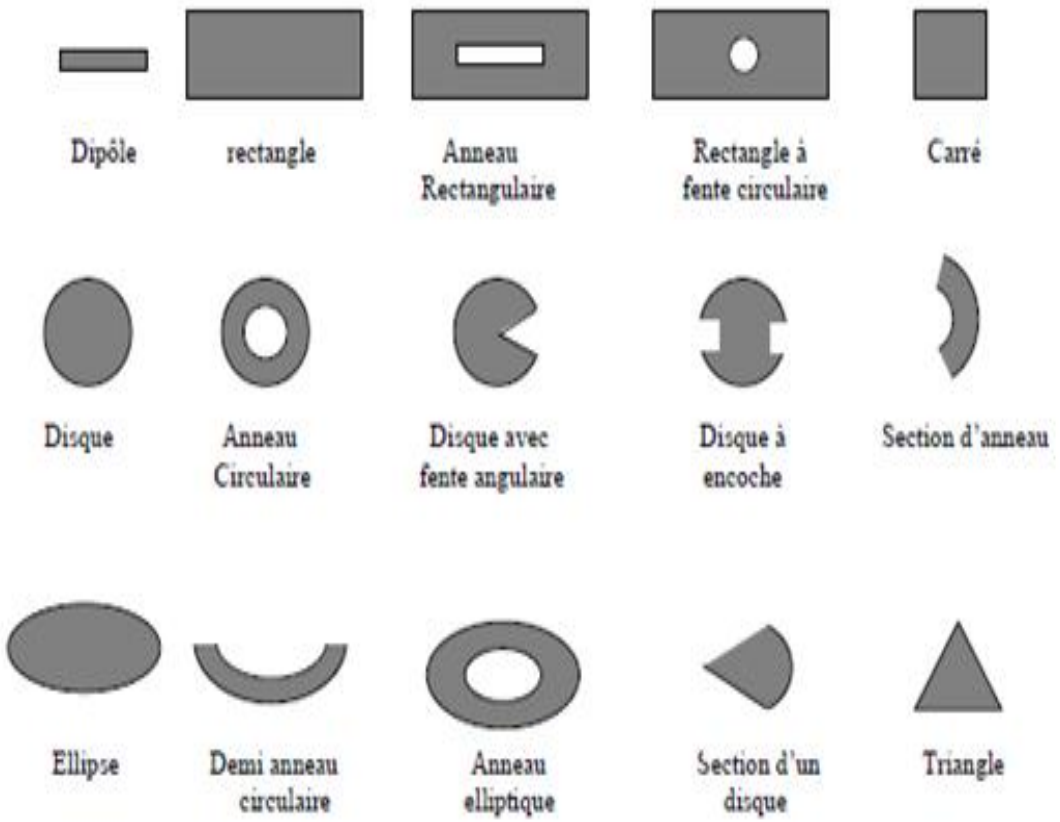


Figure I.2 Différentes formes d'antennes microruban [7]

Parmi toutes les formes des éléments rayonnants, le rectangle est le plus facile à appréhender pour la compréhension des mécanismes de rayonnement des antennes microruban.

I.3.3 Les ondes existantes sur les antennes microruban

Pendant que l'antenne microruban fonctionne, on distingue trois types d'ondes susceptibles de se propager : Onde guidée (A), Onde rayonnée (B), Onde de surface (C) **[8].**

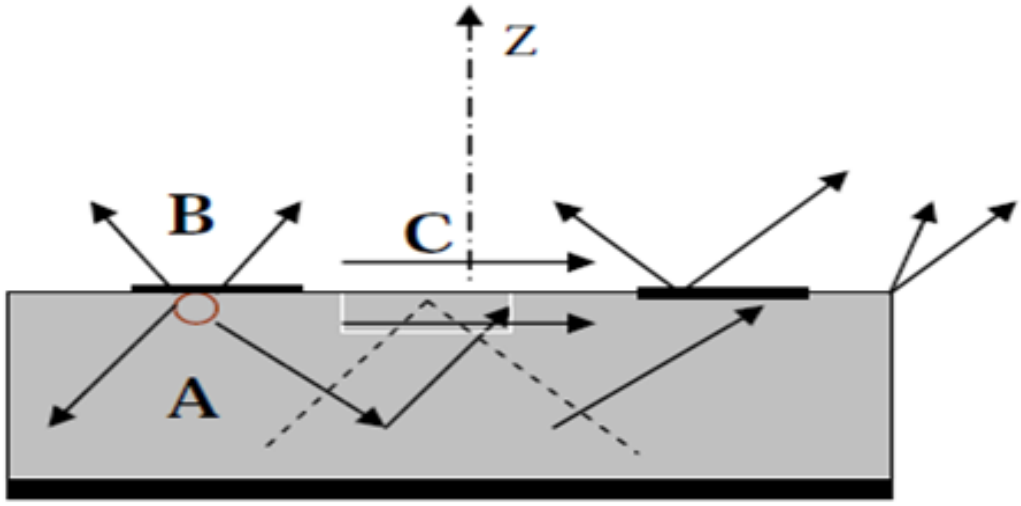


Figure I.3 Trajectoires des rayons dans une antenne microruban (coupe)

A- Ondes guidées : Le champ électromagnétique s'accumule dans le substrat entre les deux plans conducteurs, cette propriété est très utile pour la propagation du signal le long d'une ligne microruban.

B- Ondes rayonnées : Dans l'air, au-dessus du substrat, le signal se disperse librement dans l'espace et contribue au rayonnement de l'antenne. Ce dernier paraît surtout être émis par le voisinage des arêtes, puisque les courants surfaciques circulent sur la face inférieure du patch (côté diélectrique). C'est pourquoi certains modèles considèrent le rayonnement d'un ensemble de fentes fictives situé sur le pourtour de l'antenne.

C- Ondes de surface : Certains rayons atteignent les surfaces de séparation avec une incidence rasant, et reste piégés à l'intérieur du diélectrique. Il s'agit du mécanisme de la réflexion totale, dont font usage les fibres optiques. Une onde de surface est alors guidée par le bord du diélectrique, ne contribuant pas directement au rayonnement vers le haut de l'antenne. Toutefois, quand cette ondes atteinte le bord du substrat (point C), elle est diffractée et génère un rayonnement parasite, et si on a un réseau de deux antennes côté à côté par exemple, l'onde du surface peut créer un couplage entre les éléments du réseau. Le diagramme de rayonnement de l'antenne peut être perturbé par la présence d'onde de surface, notamment au niveau des lobes secondaires **[8].**

I.3.4 Principe de fonctionnement

Pour comprendre le fonctionnement d'un résonateur microruban, il est nécessaire de connaître les champs électromagnétiques notamment le champ proche. Lorsque la ligne d'alimentation est excitée par une source radiofréquence, une onde électromagnétique guidée entre la ligne et le plan de masse va se propager jusqu'à l'élément rayonnant (de largeur plus grande que la ligne, donc plus apte à rayonner). Une distribution de charge va s'établir sous l'élément rayonnant, et sur le plan de masse.

Pour simplifier le problème, la structure de la Figure I-4 peut être assimilée à une cavité bornée par des murs électriques (plan de masse et élément rayonnant), et un mur latéral magnétique. Est accumulée selon un ensemble de fréquences modales (fréquences modales de résonance) auxquelles des configurations de répartition des champs sont permises, appelées modes. Ces cavités fonctionnent alors sur des modes TM_{mn} **[5].**

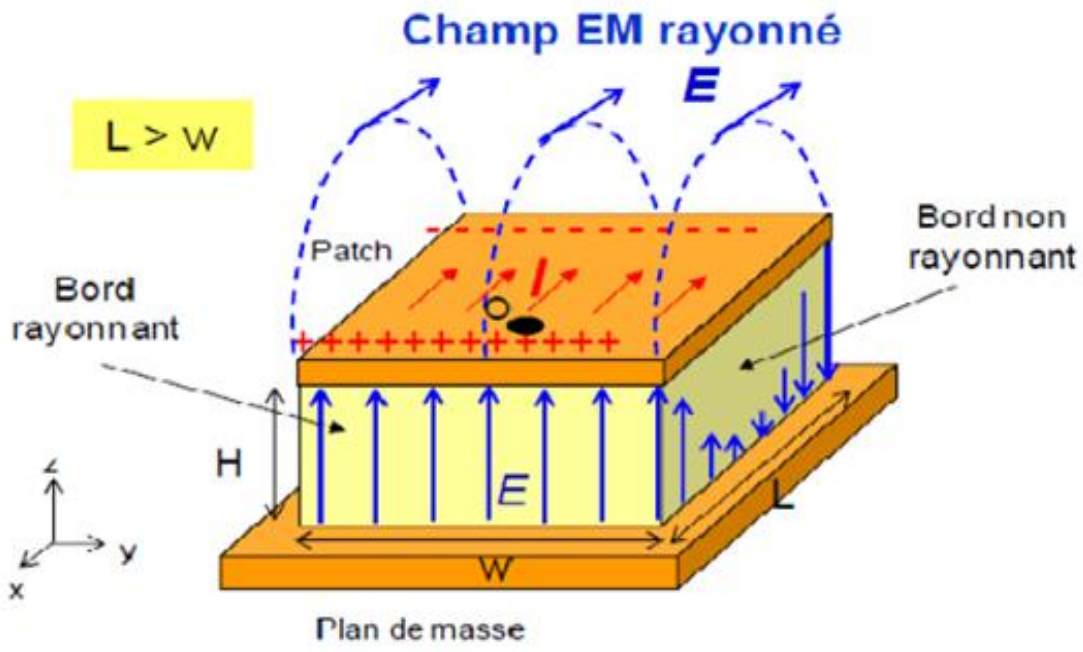


Figure I.4 Rayonnement d'une antenne patch rectangulaire

Le champ présent entre les bords du patch et le plan de masse va déborder et contribuer à générer le champ électromagnétique rayonné : ceux généré par les bords séparés par L étant maximum et en opposition de phase vont avoir tendance à s'additionner de manière constructive et optimale, et générer un rayonnement inscrit dans le plan YZ. Ces 2 bords sont donc appelés bords rayonnants.

I.3.5 Paramètres S

Une autre façon de quantifier la puissance réfléchie est l'utilisation des paramètres S. En effet, les paramètres S définissent les paramètres de réflexion et de transmission entre l'onde réfléchie et incidente aux bornes d'une composante. En fait, ils décrivent le comportement d'une composante dans le spectre micro-ondes. La Figure 1.5 permettra de définir les paramètres S **[9].**

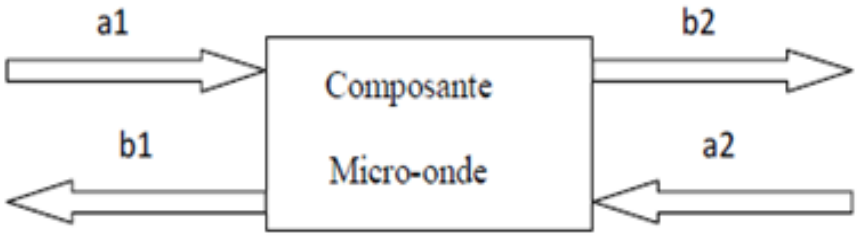


Figure I.5 Signaux aux bornes d'une composante micro-onde

al = Champs électriques de l'onde entrante à l'entrée de la composante
a2 = Champs électriques de l'onde entrante à la sortie de la composante
bl = Champs électriques de l'onde sortante à l'entrée de la composante
b2 = Champs électriques de l'onde sortante à la sortie de la composante
À partir de ces variables, on définit les paramètres S. L'entrée et la sortie sont adaptées à une impédance de Zo Ω. Le champ électrique de l'onde sortante à l'entrée de la composante sur le champ électrique de l'onde entrante à l'entrée de la composante est dit coefficient de réflexion (dB) à l'entrée.

I.3.6 Impédance d'entrée de l'antenne

En ce qui concerne l'émission et conformément à la théorie des circuits linéaires, l'antenne peut être représentée par un dipôle d'impédance d'entrée complexe $Ze(f)=Re(f) + jXe(f)$ chargé à la sortie du circuit émetteur, modélisé par une source d'impédance interne $Zs(f)=Rs(f) + jXs(f)$ (Figure I-6). Précisons que f est la fréquence de résonance de l'antenne **[10]**

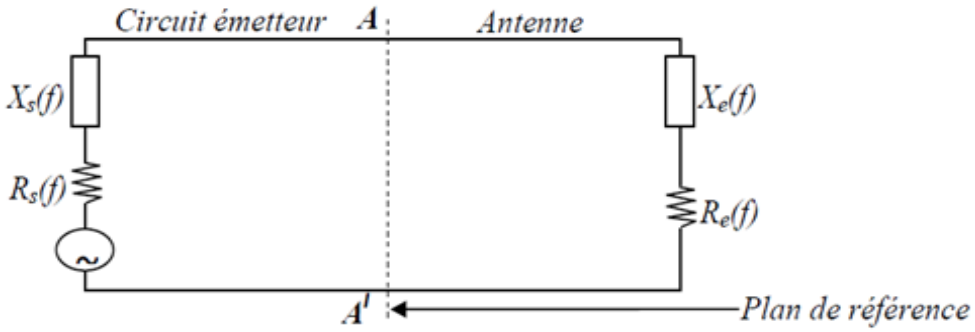


Figure I.6 Schéma équivalent du dispositif à l'émission.

I.3.7 Taux d'ondes stationnaire SWR (standing wave ratio)

Le SWR est l'expression mathématique de la non-uniformité d'un champ électromagnétique dans une ligne de transmission. Le SWR est donc le ratio entre les champs électriques maximaux et minimaux dans une ligne de transmission.

À partir du SWR, on peut définir le VSWR et ISWR qui font respectivement référence au voltage et au courant. Idéalement, on va rechercher un SWR de 1. Ce ratio est donc une autre manière de caractériser la quantité du signal qui est réfléchie aux bornes d'une composante micro-onde **[9].**

I.3.8 Diagramme de rayonnement

Le rayonnement d'une antenne patch rectangulaire est similaire à celui d'un dipôle orienté dans l'axe X. La polarisation du champ rayonnée est rectiligne. Le rayonnement est dépendant de θ et φ. Il est concentré dans un lobe principal orienté vers la verticale du patch ($\theta = 0°$). En raison du plan de masse, le rayonnement ne se fait que dans le demi-plan au dessus du plan de masse. La Figure I-7 illustre le diagramme de rayonnement de cette antenne **[5].**

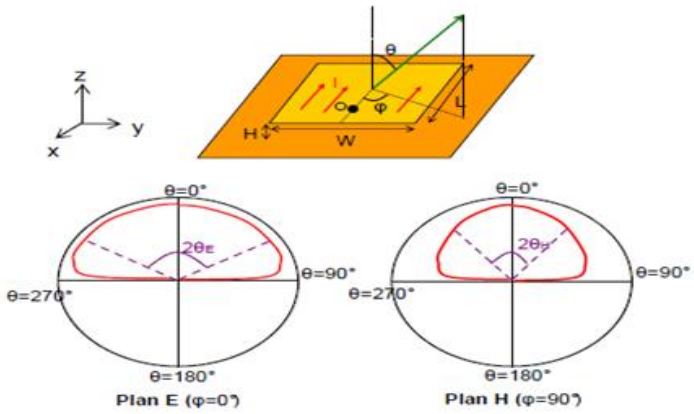


Figure I.7 Diagramme de rayonnement d'une antenne patch rectangulaire

I.4 Techniques d'alimentation des antennes patches

L'alimentation des antennes microbandes, repose essentiellement sur deux classes d'excitation. Excitation avec contact et excitation sans contact. Dans les méthodes d'excitation avec contact, la puissance est acheminée aux patchs rayonnants en utilisant un élément de contact tels le câble coaxial et la ligne microbande. Dans la deuxième classe d'excitation, le couplage électromagnétique est utilisé pour transmettre la puissance de la ligne microbande au patch rayonnant. Les quatre techniques d'alimentation les plus utilisées sont la ligne microbande, sonde coaxiale, couplage par ouverture et couplage de proximité **[11].**

I.4.1 Alimentation par sonde coaxiale

Un connecteur standard (SMA) est soudé au plan de masse. Ce dernier est perforé afin de permettre à l'âme centrale d'être reliée au patch en traversant le substrat diélectrique (figure I-8). Donc l'énergie est amenée par guide coaxiale. Ce genre d'antenne est facile à fabriquer, elle génère de faible rayonnement parasite et possède une faible bande passante mais comme inconvénient elle est difficile à modéliser **[11].**

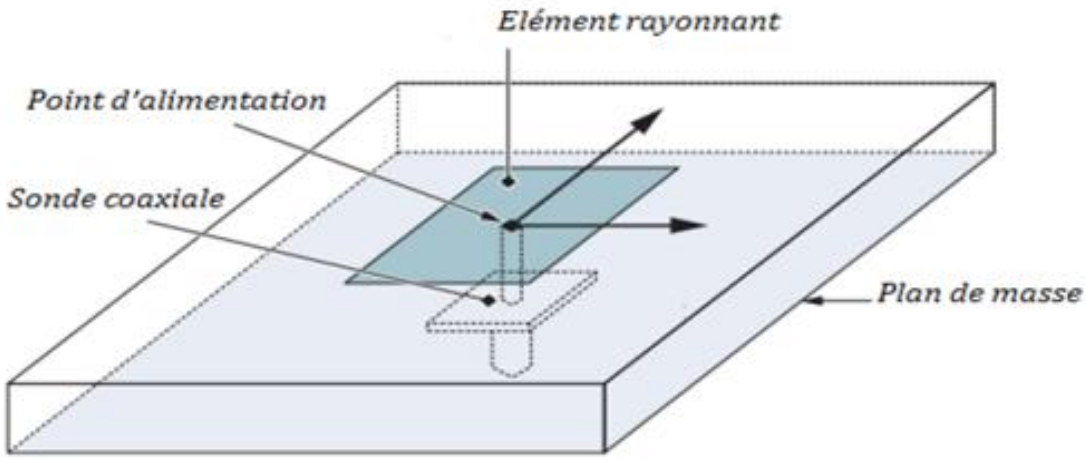


Figure I.8 Alimentation par sonde coaxiale

I.4.2 Alimentation par ligne microruban

Dans ce type d'alimentation, une bande de conduite est reliée directement au bord du patch de micro ruban. La bande de conduite est plus petite dans la largeur par rapport au patch

L'avantage de ce type d'alimentation est qu'elle peut être gravée sur la même face de l'antenne, elle est facile à fabriquer, et simple à adapter à la résonance. C'est l'une des techniques les plus utilisées dans les antennes imprimées, elle a l'inconvénient de générer un rayonnement parasite **[12].**

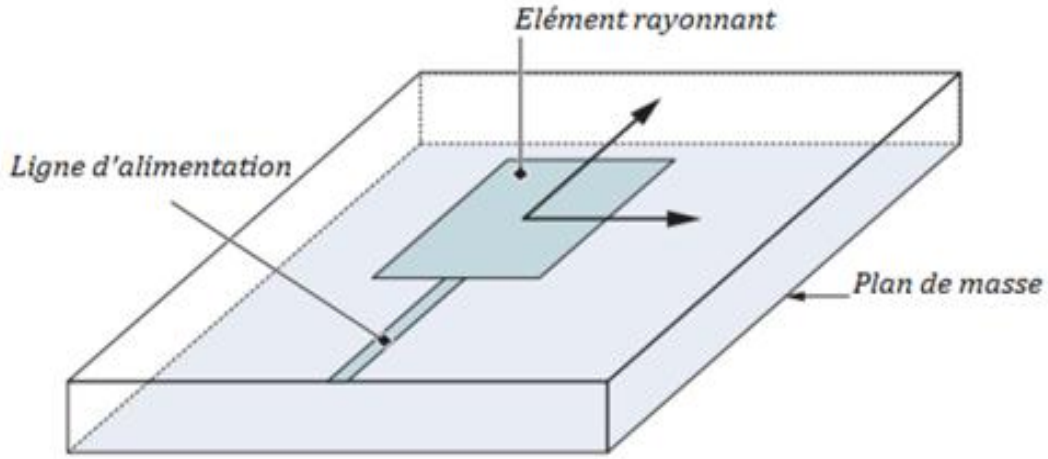


Figure I.9 Alimentation par ligne microbande

I.4.3 Ligne microbande en sandwich

Une antenne plaquée peut être aussi alimentée par couplage électromagnétique de la ligne Micro-ruban à l'élément rayonnant. Dans ce cas, le résonateur et la ligne d'alimentation sont situés du même côté du plan de masse (Figure I.10). L'antenne est formée de deux substrats, avec une ligne micro-ruban sur le substrat inférieur qui se termine en circuit ouvert sous le patch imprimé sur le substrat supérieur.

Le couplage électromagnétique a l'avantage de permettre la réalisation du patch rayonnant sur un substrat relativement épais, afin d'améliorer la bande passante, pendant que la ligne d'alimentation est imprimée sur un substrat plus mince, afin de réduire les rayonnements et les couplages parasites **[4].**

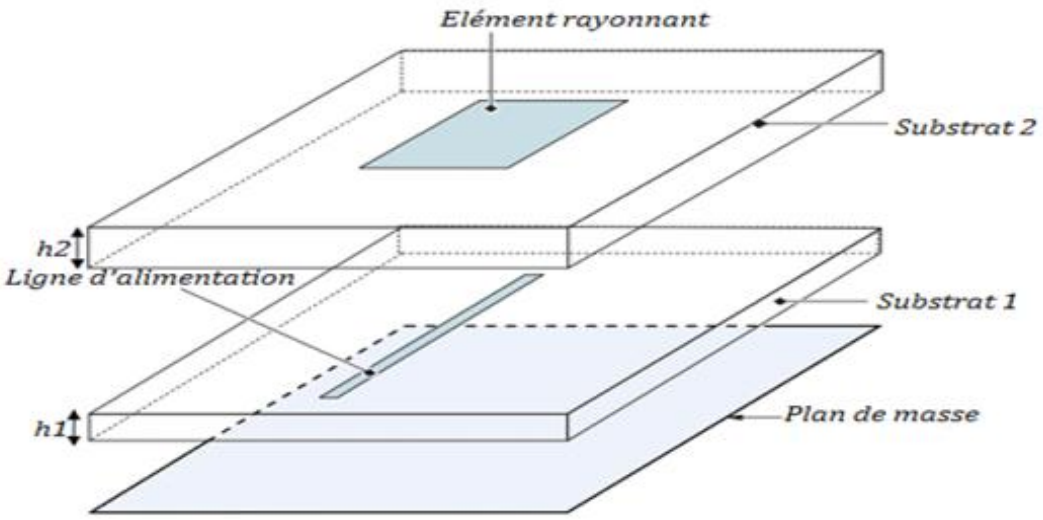


Figure I.10 Ligne microbande en sandwich

I.4.4 Alimentation couplée par ouverture

Dans la structure représentée par la figure (I-11) un plan de masse commun sépare la ligne microruban d'alimentation, située en dessous, de l'élément imprimé, située au-dessus. C'est par l'intermédiaire de la fente usinée dans le plan de masse que s'effectue le couplage électromagnétique entre l'élément rayonnant et la ligne microruban **[7].**

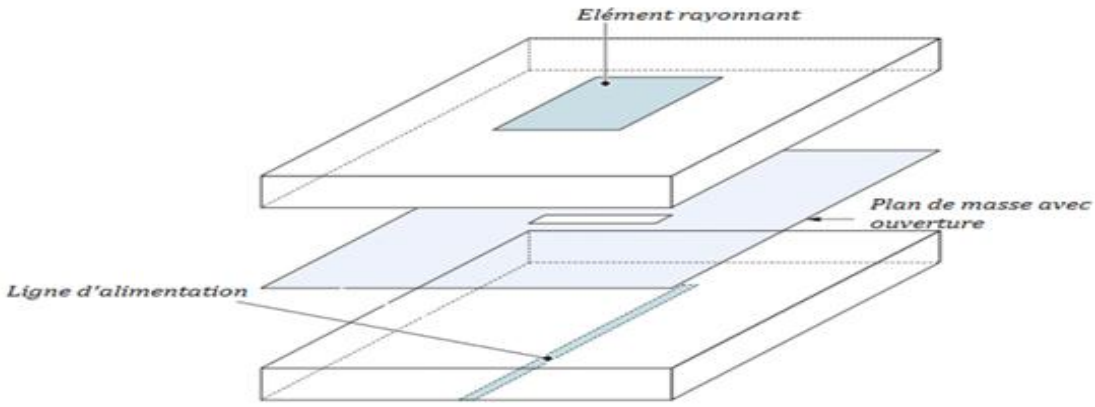


Figure I.11 Alimentation couplée par ouverture

I.4.5 Comparaison entre les différentes techniques d'alimentation

Caractéristiques	Alimentation par Ligne microruban	Alimentation par sonde coaxiale	Alimentation couplé par ouverture	Alimentation couplée par Proximité
Rayonnement parasite de l'alimentation	Plus	plus	Moins	Minimum
Fiabilité	Meilleur	Pauvre à cause de soudure	Bon	Bon
Facilité de fabrication	Facile	Soudure et forage requis	Alignement requis	Alignement requis
Adaptation d'Impédance	Facile	Facile	Facile	Facile
Bande passante (Réalisée avec adaptation d'impédance)	2-5%	2-5%	2-5%	2-5%

Tableau I.1 Comparaison entre les différentes techniques d'alimentation

I.5 Méthodes d'analyse

Plusieurs méthodes sont utilisées pour l'analyse des antennes microbandes. La plupart de ces méthodes peuvent être classés dans une des deux catégories : **méthodes approximatives** et **méthodes rigoureuses** (Full-wave).

Les méthodes approximatives sont basées sur des hypothèses simplificatrices donc elles ont des limitations et elles fournissent des solutions moins précises. Elles sont généralement utilisées pour la modélisation des antennes à élément unique à cause de la difficulté rencontrée dans la modélisation du couplage entre les différents éléments. Cependant, elles offrent un bon aperçu physique avec un temps de calcul généralement très réduit.

Les méthodes rigoureuses tiennent compte de tous les mécanismes important de l'onde et s'appuient énormément sur l'utilisation d'algorithmes numériques efficaces. Lorsqu'elles sont appliquées convenablement, les méthodes rigoureuses sont très précises et peuvent être employées pour la modélisation d'une variété d'antennes y compris les antennes réseaux. Ces méthodes ont tendance à être plus complexes et fournissent moins d'aperçu physique. Souvent, elles nécessitent plus de calculs et donc un temps de calculs élevé **[13].**

I.5.1 Méthodes analytiques

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

- Le modèle de la ligne de transmission.
- Le modèle de la cavité.

I.5.1.1 Le modèle de la ligne de transmission

Dans la solution de l'antenne microruban par le modèle de la ligne de transmission, les inconnues sont la constante de propagation et l'impédance caractéristique. Une fois déterminés, une ligne de transmission équivalente à l'antenne est obtenue. Le mode de propagation dominant est supposé être le mode TEM ou quasi TEM avec une variation négligeable dans la direction transverse. C'est une approximation valide si l'épaisseur du substrat est maintenue négligeable devant la longueur d'onde. Ce modèle ne prend pas en considération quelques effets physiques comme l'excitation des ondes du substrat, les variations du champ sur les bords rayonnants, le couplage mutuel entre les éléments voisins, les effets des modes d'ordre élevés,…etc **[2].**

I.5.1.2 Modèle de la cavité

Le modèle de la cavité offre la simplicité et la visibilité physique dans l'analyse des antennes microrubans. Une antenne imprimée peut être assimilée à une cavité fermée par deux murs électriques (le plan de masse et l'élément rayonnant) et quatre murs magnétiques verticaux. Une longueur et une largeur effective sont introduites pour prendre en compte les débordements des lignes des champs sur les bords de l'élément rayonnant.

Les champs à l'intérieur de la cavité peuvent être exprimés en fonction de modes discrets satisfaisant individuellement des conditions aux limites appropriées. Une fois ces champs connus, le champ rayonné, la puissance totale et l'impédance d'entrée seront alors déduits. Ce modèle n'est valide que pour des substrats électriquement minces et modélise difficilement le couplage **[14].**

I.5.2 Méthodes rigoureuses

Ces méthodes sont les plus utilisées récemment. Elles sont basées sur la distribution du courant électrique sur le conducteur.

Parmi ces méthodes, on peut citer :

- La méthode des différences finies.
- La méthode des éléments finis.
- Le système d'équations intégrales couplées, discrétisées par la méthode des moments.
- La méthode spectrale, qui correspond à la transformée de Fourrier de la méthode de l'équation d'intégrale.

I.5.2.1 La méthode des différences finies

La méthode des différences finies dans le domaine temporel, permet la résolution d'équations différentielles spatio-temporelles sur calculateur.

L'avantage principal de cette méthode est la simplicité de sa formule, le calcul est alors fait dans le domaine temporel sur une large bande de fréquence. Le temps de calcul croît de façon linéaire en fonction des nombres d'inconnues (ce qui n'est pas le cas pour la méthode des éléments finis).Mais son principal inconvénient est lié au fait que le maillage de la structure doit être uniforme et elle est donc peu adaptée au traitement des dispositifs comportant des éléments ayant des ordres de grandeurs très différents **[12].**

I.5.2.2 La méthode des moments

La méthode des moments est une technique numérique qui permet de résoudre efficacement le système d'équations intégrales en le transformant en un système matriciel **[15].** Cette méthode opère dans le domaine spectral, et elle est qualifiée comme étant rigoureuse. Cette procédure de résolution consiste à trouver le zéro du déterminent de la matrice impédance. La caractéristique de cette méthode est son indépendance de la source d'excitation **[16]**.

Mais malgré ses avantages cette méthode soufre de quelque inconvénient :

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

I.5.2.3 La méthode des éléments finis

La méthode des éléments finis est une méthode mathématique qui permet la résolution d'équations différentielles. Avec des équations différentielles, il est possible par exemple de décrire le comportement des structures. Ainsi, la résolution des équations de la théorie de l'élasticité permet d'obtenir le comportement de corps solide sous différentes charges, c'est à dire de calculer les contraintes et déformations. Les équations de Laplace permettent de décrire les champs de températures. La résolution des équations de Navier-Stokes nous donne le comportement des fluides et les équations de Maxwell sont une représentation mathématique des champs magnétiques **[7].**

L'avantage de la méthode des éléments finis est lié au fait que la forme tétraédrique et la variation des dimensions des cellules élémentaires caractérisant le volume discrétisé, donne au maillage une très grande souplesse. Cette méthode permet de simuler des structures géométriques complexes mais avec des gros moyens informatiques.

I.5.2.4 Méthode d'analyse spectrale

Ce modèle prend en considération l'équation intégrale du champ électrique, dans le domaine spectral. Elle permet de résoudre efficacement le système d'équations intégrales dans le domaine spatial. Son principe se base sur la connaissance des champs électromagnétiques dans chaque région. Ainsi, le système d'équations intégrales à résoudre peut s'écrire sous une forme matricielle. Le choix de la condition de continuité surfacique et le vecteur de courant sur le patch permet de déduire une relation entre les composantes tangentielles des champs électromagnétiques et les courants surfaciques. L'approche de

l'équation intégrale dans le domaine spectral est largement utilisée dans l'analyse et la conception de structures imprimées **[4].**

I.6 Applications

Pour de nombreuses applications, les avantages des résonateurs microrubans l'emportent largement face à leurs limitations. Initialement, cette technologie du résonateur s'est trouvée fortement répandue dans les systèmes militaires de haute technologie, tels que : missiles, roquettes, fusées, avions et satellites etc.

Cependant, les résonateurs microrubans sont aujourd'hui de plus en plus répandus dans le secteur commercial en raison de la réduction des coûts en matière de substrat diélectrique et de maturité des technologies de résonateurs imprimés. En effet, dans les satellites de communication, des polarisations circulaires sont requises et peuvent être réalisées à partir de plaque rayonnante de forme carrée ou bien circulaire en utilisant 1 à 2 points d'alimentation.

Les systèmes mobiles utilisant ces résonateurs sont les véhicules, mais aussi les équipements de petite taille, tels que les téléphones portables, radars etc.

On retrouve principalement ces résonateurs dans les systèmes de haute technologie suivants **[15]:**

- Les résonateurs spatiaux et radar embarqué.
- La liaison avec des mobiles (avions, fusées, missiles, navires, véhicules routiers…).
- Les systèmes portables de radiolocalisation par satellite (GPS).
- Les résonateurs pour la téléphonie mobile (stations de base).
- Les badges et étiquettes électroniques.
- Les applicateurs biomédicaux (hyperthermie) et capteurs pour contrôle non destructif.

Enfin, les réseaux d'éléments rayonnants imprimés sont fréquemment utilisés dans les satellites de communication et bien d'autres applications, telles que les radiocommunications avec les mobiles terrestres et aériens, les télécommunications, les radars, mais aussi les capteurs miniaturisés et les applicateurs médicaux. D'autre part, avec la recherche progressive, le développement et une utilisation plus fréquente, ces résonateurs microrubans finiront par remplacer les résonateurs conventionnels dans la plupart des applications.

I.7 Avantages et limitations des antennes patch

Les antennes Microstrip présentent de nombreux avantages comparés aux antennes micro-ondes classiques et leurs applications couvrent le large domaine de fréquence : 100 MHz à 100 GHz. Certains avantages sont les suivants :

- Faible poids, encombrement réduit, configurations conformes possibles.
- Faible coût de fabrication, production en masse possible.

- Polarisation linéaire et circulaire pour les télécommunications.
- Antennes multi bandes, multi polarisations possibles.
- Compatibilité avec les circuits hybrides et MMIC (Microwave Monolithic Integrated Circuit).
- Réseaux d'alimentation et d'adaptation fabriqués simultanément avec l'antenne.

Toutefois, les antennes microruban ont également des limitations que ne présentent pas les antennes traditionnelles :

- Bande passante étroite, souvent associée avec les problèmes de tolérances (géométriques et physiques) ; Généralement faible gain (6 dB).
- La plupart des antennes rayonnent uniquement dans le demi-plan.
- Supportent uniquement des faibles puissances (100 W).
- Pertes de rayonnement par ondes de surfaces.

Ces limitations sont connues depuis plusieurs années et des progrès considérables ont été réalisés depuis pour améliorer les performances des antennes patch. Notamment, leur bande passante peut être augmentée jusqu'à 70 % en utilisant une configuration multicouche et leur gain peut s'accroître de 30 % en mettant en réseau plusieurs antennes. [**17**]

I.8 Conclusion

La technologie microbande en général, et les antennes microbandes en particulier connaissent un succès croissant auprès des industriels et des professionnels de télécommunication, qu'elle soit spatial ou terrestre. Il est nécessaires de bien définir l'intégralité des paramètres des antennes, afin de prévoir son comportement avant même la réalisation d'une part, et de s'assures qu'elle se conformera aux exigences des systèmes d'autre part.

Dans ce chapitre, on a présenté une description générale des antennes microbandes, ainsi que les différentes méthodes d'analyse utilisées dans ce domaine, les avantages, les inconvénients et leurs applications. Dans le chapitre suivant on va donner une description du logiciel HFSS et CST et son environnement de travail dans lequel on va implémenter les différentes structures à étudiées.

Chapitre II

PRESENTATION DES LOGICIELS DE SIMULATION HFSS ET CST

II.1 Introduction

Il existe plusieurs méthodes pour concevoir les antennes et analyser les résultats, obtenues.

Dans ce chapitre, nous présentons les deux simulateurs HFSS et CST. Le logiciel HFSS (High Frequency Structure Simulator) est basé sur la méthode des éléments finis (FEM) et le CST Microwave Studio est basé sur la technique des intégrales finis (FIT). Ces deux logiciels sont des simulateurs solides, versatiles et applicables à une grande variété de structures.

Dans la première partie, on donne les différents aspects de mise en œuvre d'un projet HFSS depuis le dessin de la structure à étudier jusqu'à l'exécution "Analyze". Les menus et les projets présentés dans ce mémoire sont réalisés dans la version 13 de HFSS.

Dans la deuxième partie, on donnee les différents aspects de mise en œuvre d'un projet CST Microwave Studio, depuis le dessin de la structure à étudier jusqu'à l'exécution "Analyze". Les menus et les projets présentés dans ce mémoire sont réalisés dans la version 14 de CST.

II.2 Présentation du logiciel Ansoft HFSS

HFSS est un simulateur électromagnétique 3D de haute performance. Son code de calcul est basé sur la méthode des éléments finis (méthode fréquentielle), associés à des interfaces pour représenter des résultats reliés aux problèmes électromagnétiques en 3D.

Des modules post-traitement permettant aussi de calculer des paramètres tels que les paramètres S, les fréquences de résonance et les champs. C'est un outil permettant le calcul du comportement électromagnétique d'une structure à l'aide d'outils permettant le calcul plus détaillée de:

- Quantités de base: champ proche, champ lointain.
- Impédances caractéristiques des ports et leurs constantes de propagation.
- Les paramètres S normalisés par rapport à une impédance de port spécifique, afin de générer une solution du champ électromagnétique
- Le HFSS emploi la méthode des éléments finis. En général, cette méthode divise l'espace de résolution du problème en plusieurs milliers de régions plus petites et représente le champ dans chaque sous région (élément) avec une fonction locale **[18].**

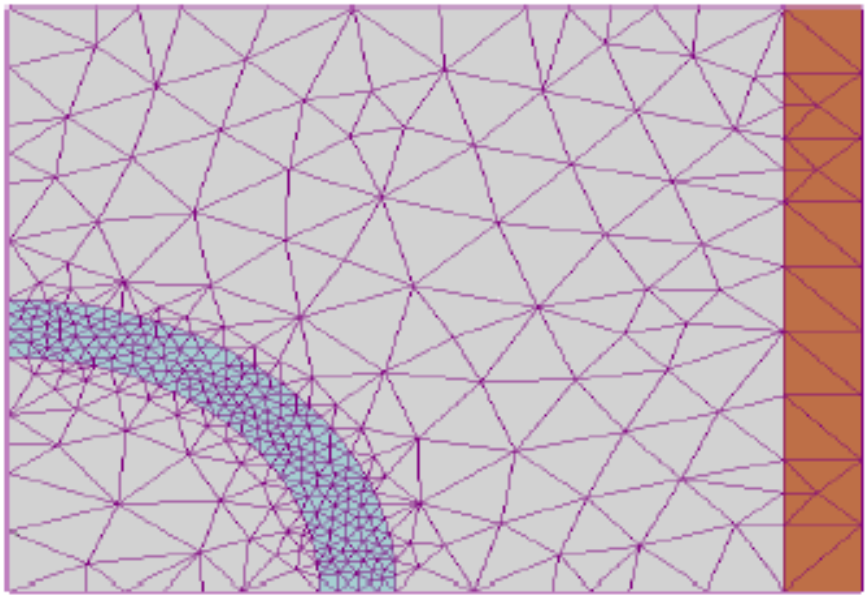


Figure II.1 Maillage 2D dans un projet HFSS (le maillage est plus dense autour de l'objet d'intérêt)

II.2.1 Un projet en HFSS

Cet exemple est prévu pour montrer comment créer, simuler, et analyser une antenne microstrip en utilisant l'environnement de conception d'Ansoft HFSS.

La fenêtre d'Ansoft HFSS a plusieurs panneaux facultatifs:

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

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

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

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

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

L'organigramme suivant résume les étapes à suivre:

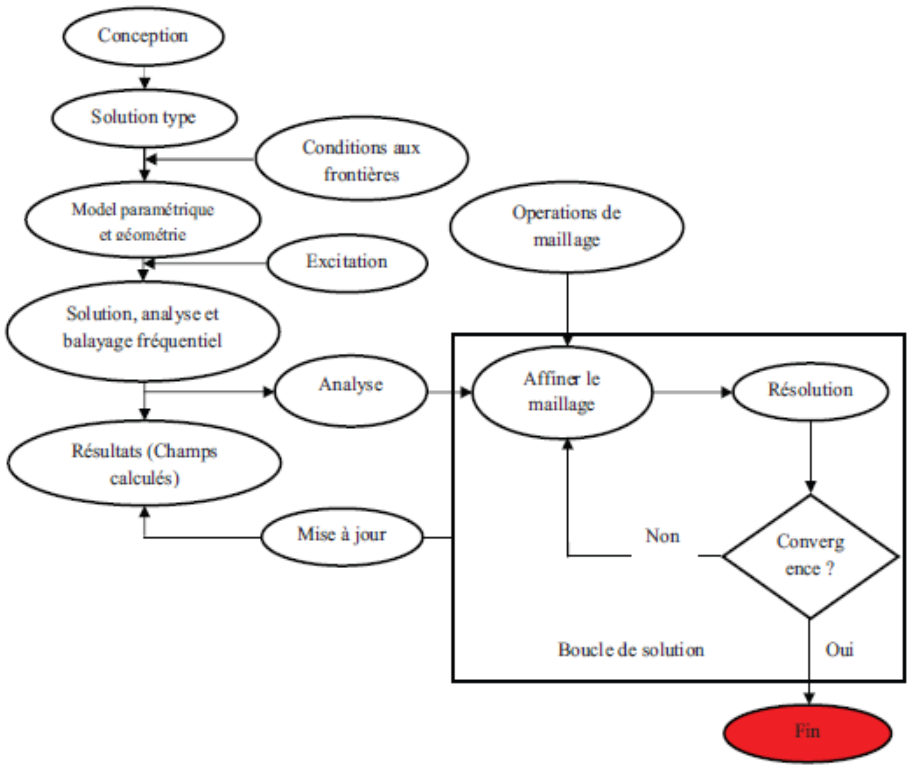


Figure II.2. Organigramme des différentes étapes d'un design HFSS

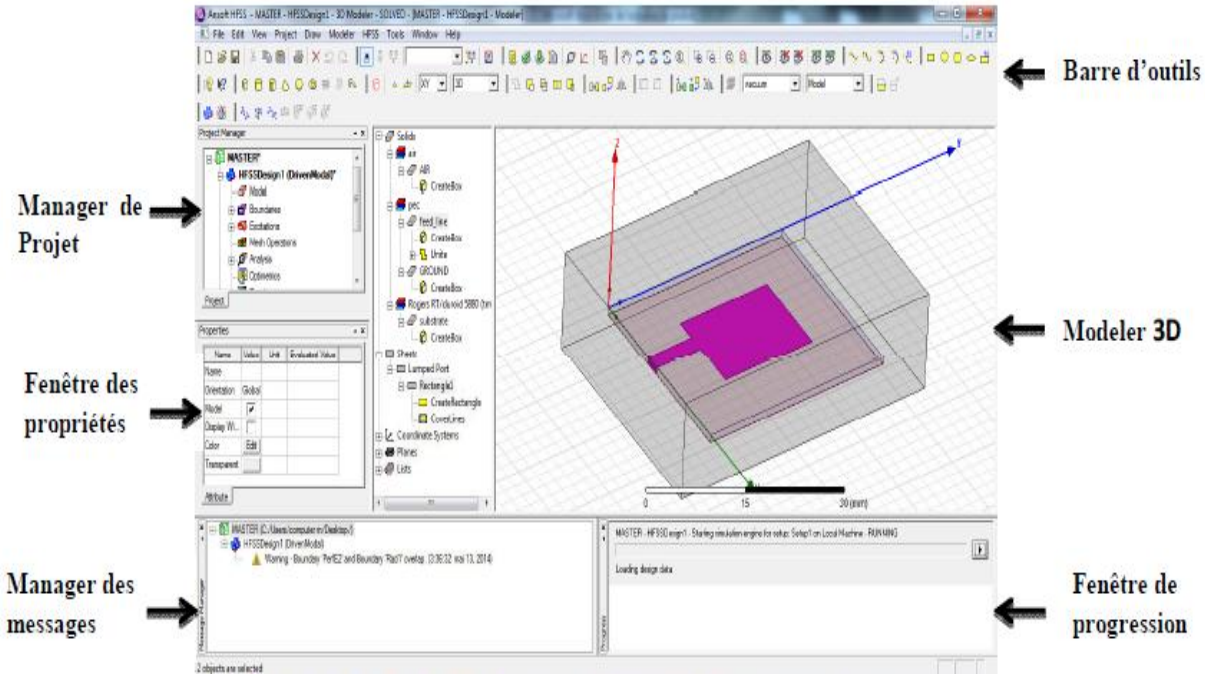


Figure II.3. La fenêtre principale du logiciel HFSS.

II.2.2 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 dessus pour lancer HFSS.

II.2.3 Comment ouvrir un nouveau projet

Quand vous commencez HFSS v 13, 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.2.4 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\HFSS13\Projects**, et double-cliquer le nom de dossier, puis cliquer **Save**.

II.2.5 Insérer une conception de HFSS

Sur le menu **Project** cliquer **Insert HFSS Design.** La nouvelle conception est énumérée dans l'arbre de projet, il est appelé **Model** par défaut. la fenêtre **3D Modeler** apparaît à la droite du **Project Manager**.

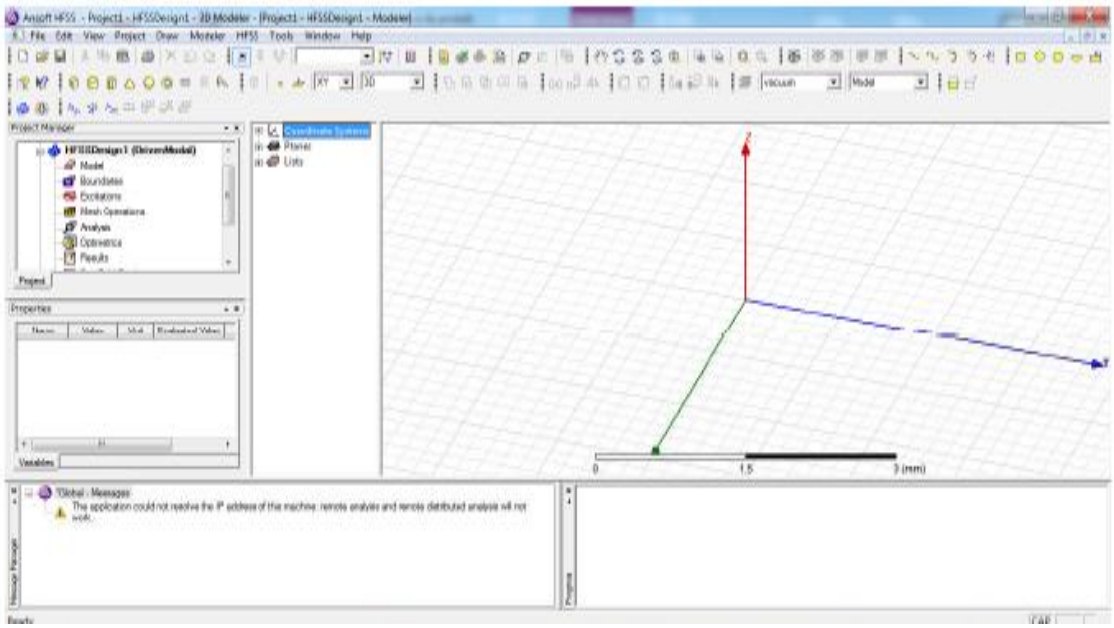


Figure II.4. Fenêtre de HFSS

II.2.6 Choix de type de solution

- **Les types de solution**

Il existe trois types de solution :

- **Driven modal**: calcule les paramètres S des modes dans les structures à haute fréquence, et ce mode est utilisé dans le cas de présence d'une excitation.
- **Driven terminal**: calcule les paramètres S dans les structures hautes fréquence des ports des lignes de transmission multiconducteurs. Cette solution est exprimée en termes de tensions et courants terminaux.
- **Eigenmode**: pour calculer des modes propres, ou les résonances d'une structure. Cette solution trouve les fréquences de résonance et les champs à ces fréquences de résonance. (la radiation n'existe pas pour le structure simple).

Pour créer une géométrie ou un modèle, il est nécessaire d'insérer un nouveau projet qui apparaît automatiquement sur la fenêtre "**Project Mnager**". Nous sélectionnons le type de solution à partir du menu HFSS, en cliquant sur le bouton "**Solution Type**", la boîte de dialogue de Type de Solution apparaît figure II.5.

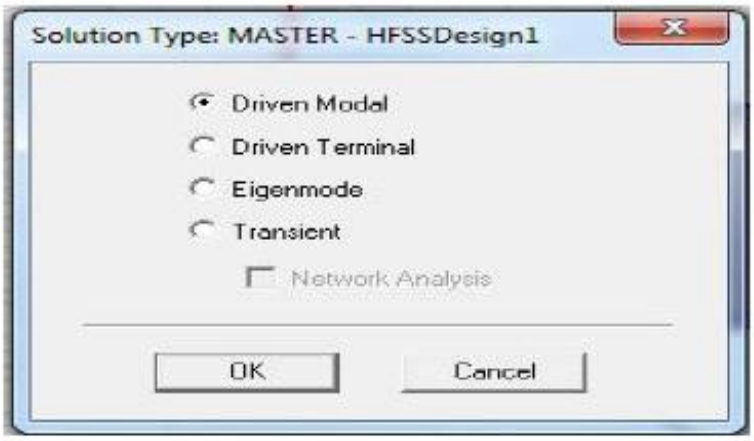


Figure II-5. Boîte de dialogue de Type de Solution

Dans notre travail, nous utilisons le type **"DrivenModal"** qui nous permet de calculer les paramètres S de mode des structures passives haute fréquence tel que les microrubans, les guides d'ondes et les lignes de transmission excitées par une source.

II.2.7 L'Arrangement des Unités du Modèle de Mesure

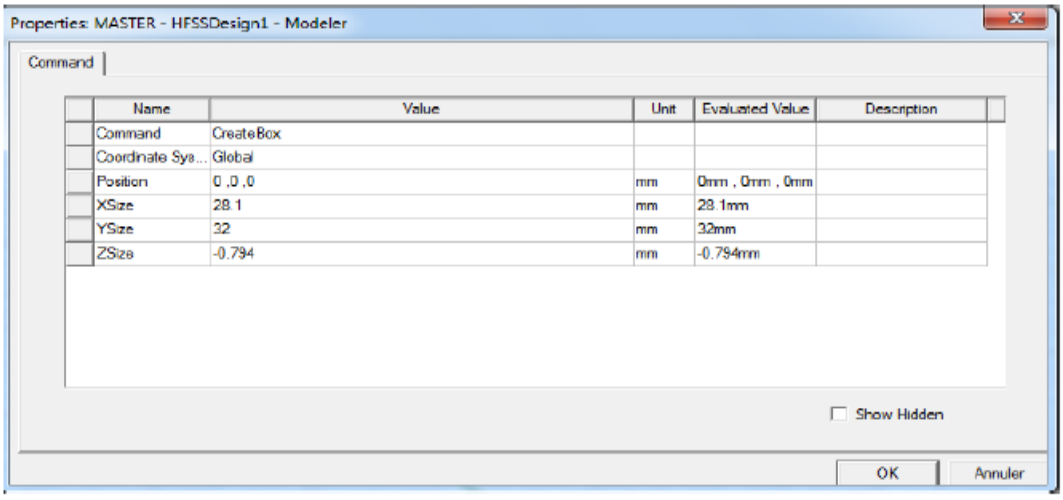
Nous pouvons choisir ou changer les dimensions du modèle à une unité pertinente (mm), par exemple. Sur le menu "**3DModeler**", cliquer sur "**Units**", La boîte de dialogue "**Set Model Units**" apparaît (Figure II-6), dans cette boîte de dialogue, cliquons "mm" à partir de la liste déroulante.



Figure II.6. Boîte de dialogue des Unités de Modèle

II.2.8 Créer le substrat

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 :



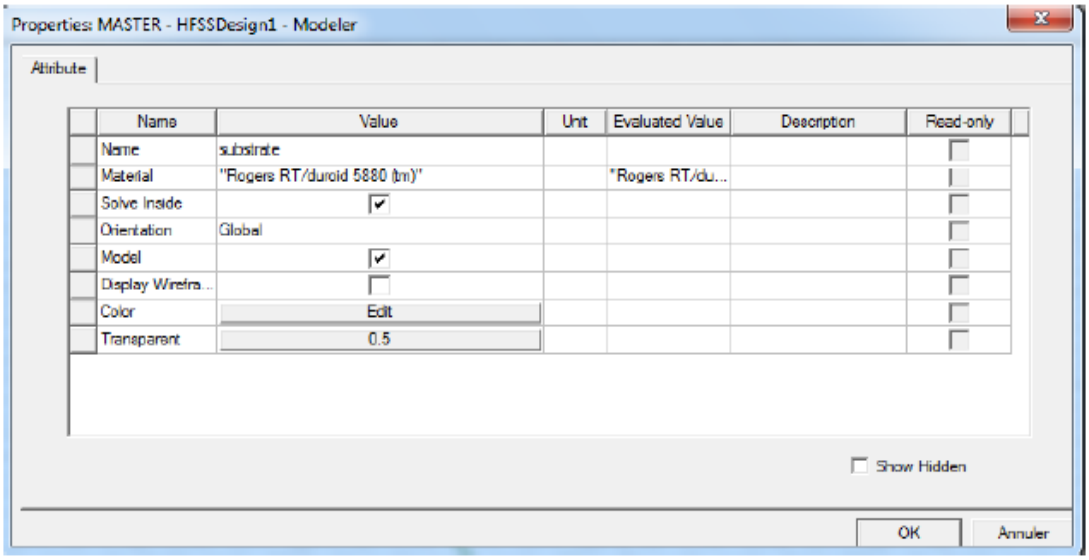
Choisir la matière de substrat :

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

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

2- Pour la Valeur du type **Material: (Rogers RT/droid5880 (tm)).**

3-Cliquer sur le Bouton **OK.**



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 II.7.

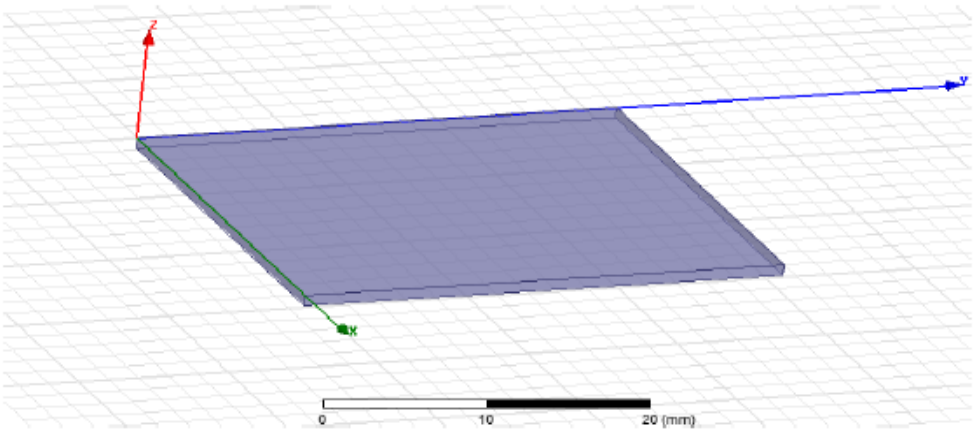


Figure II.7. Le Substrat diélectrique

On fait la même exécution pour le plan de masse (ground). Le plan de masse est spécifié par la condition aux limites d'un matériau parfaitement conducteur. Les coordonnées sont assignées comme suit : Le point de départ pour le plan de masse et le substrat est à (0, 0, -0.794). La longueur, L, du substrat et de la largeur, W, sont choisies en tant que 28.1 mm et 32 mm et la hauteur 0.05 mm, respectivement. La Figure II-8 ci-dessous représente le plan de masse avec le substrat.

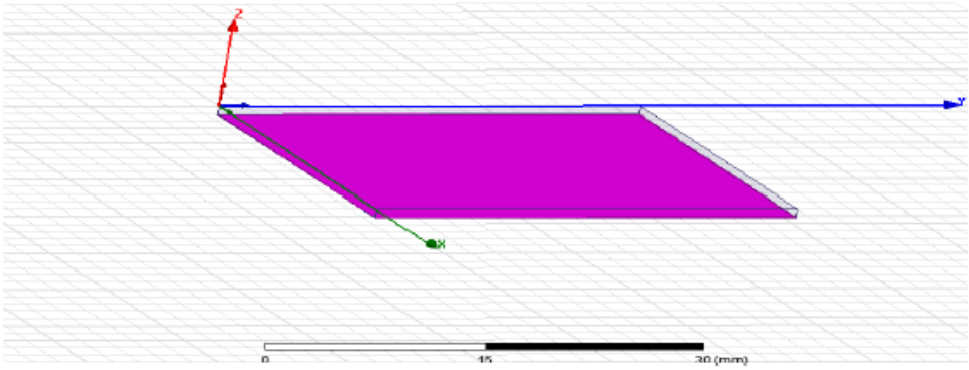
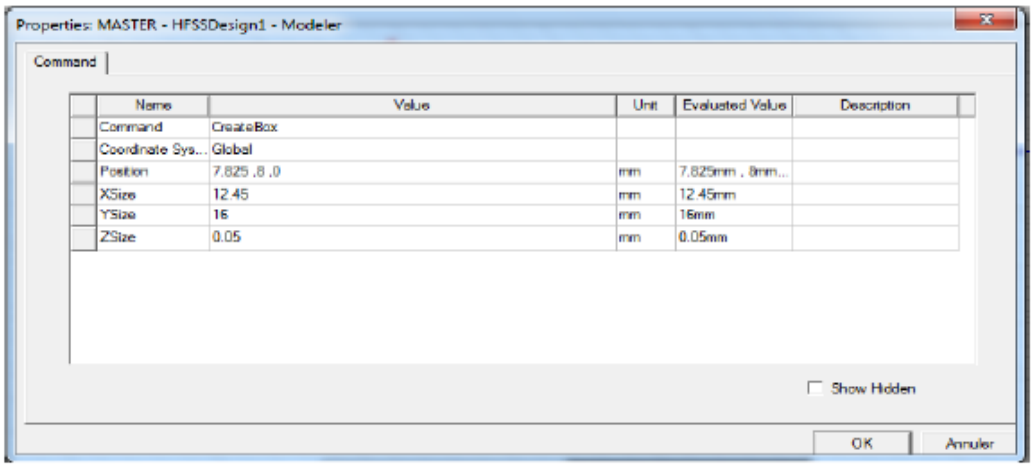
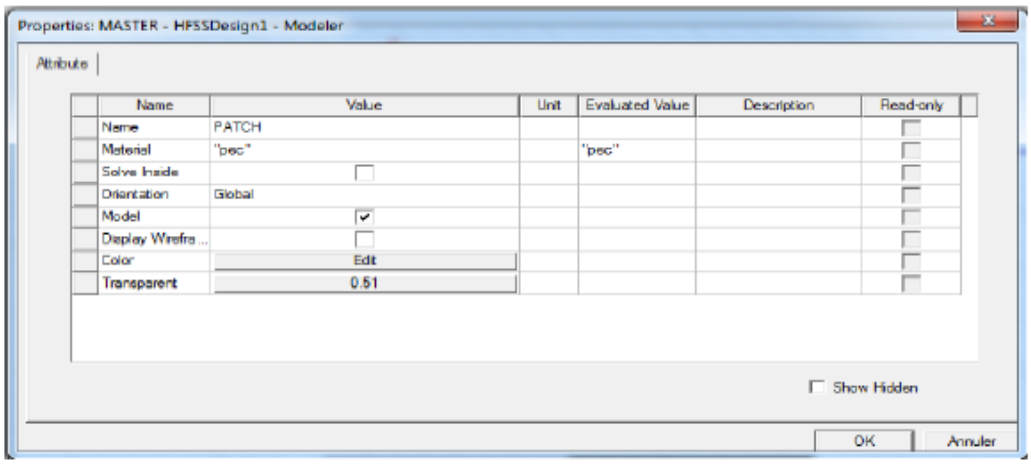


Figure II-8. Le plan de mass

II.2.9 Création du Patch et la ligne d'alimentation

Premièrement on clique sur dans la barre d'outils pour dessiner le patch. En utilisant les surfaces d'entrées du même rang, entrer la position et dimension de **Box** comme montré dans la figure ci-dessous:



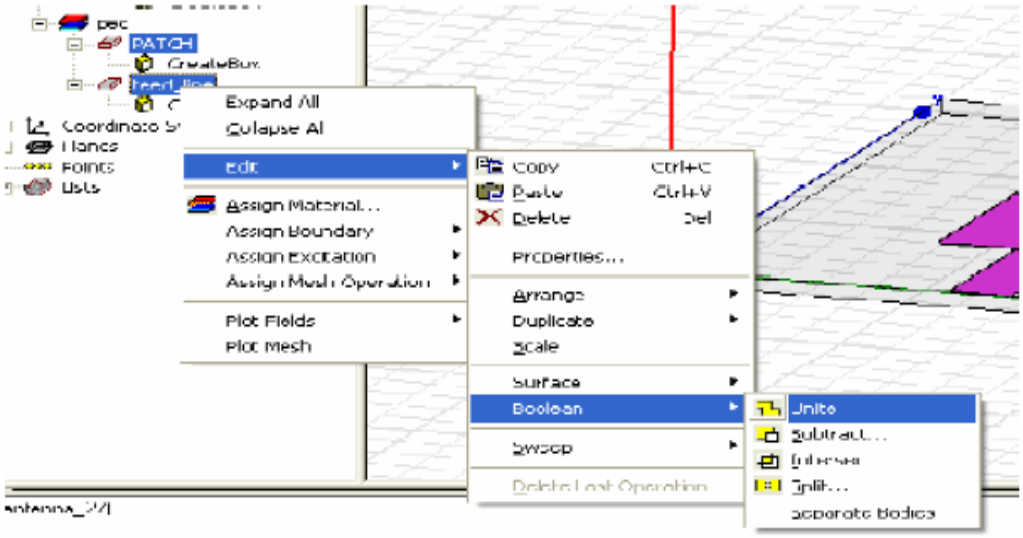


Après, dessiner la ligne d'alimentation en cliquant sur et suivre les mêmes étapes

avec la position (10.9375, 0 ,0). La longueur L est sur la plan y =8mm, la largeur W est sur le plan X=2.46mm et la hauteur (épaisseur) h sur le plan Z=0.05mm.

La ligne d'alimentation et le patch ne doivent représentés qu'un seul objet. Ainsi, nous devons les unir. Noter que les deux objets sont du même matériau. Cliquer dessus les deux objets que vous devez unir, c.-à-d. patch et ligne d'alimentation dans l'arbre d'historique.

Cliquer dessus l'un des objets, en tenant la clef de CTRL enfoncée, et cliquer dessus sur l'autre objet. Cliquer par la droite **Edit >Boolean>Unite**. Les deux objets sont maintenant unis.



La Figure II.9 représente le patch et la ligne d'alimentation représentant un seul objet.

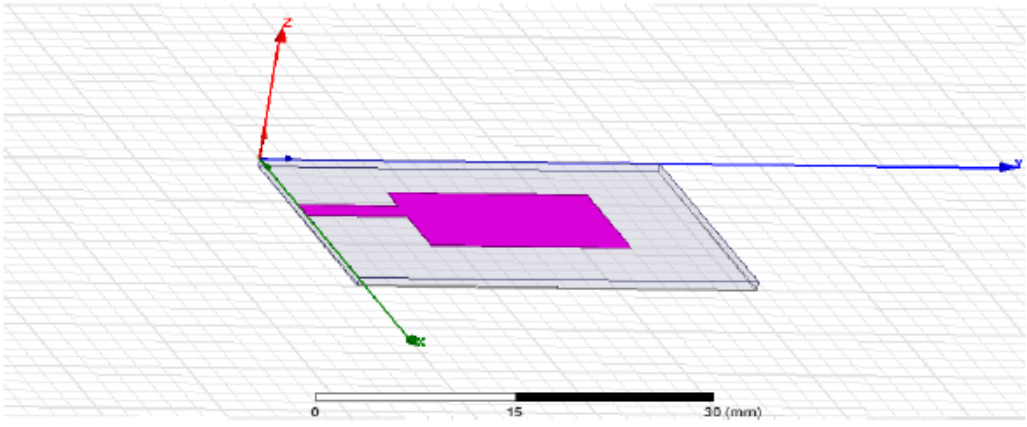
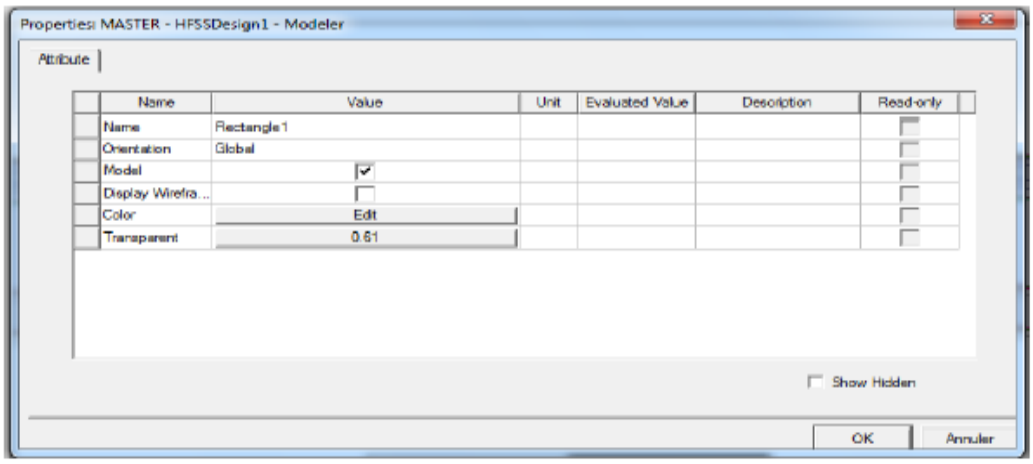
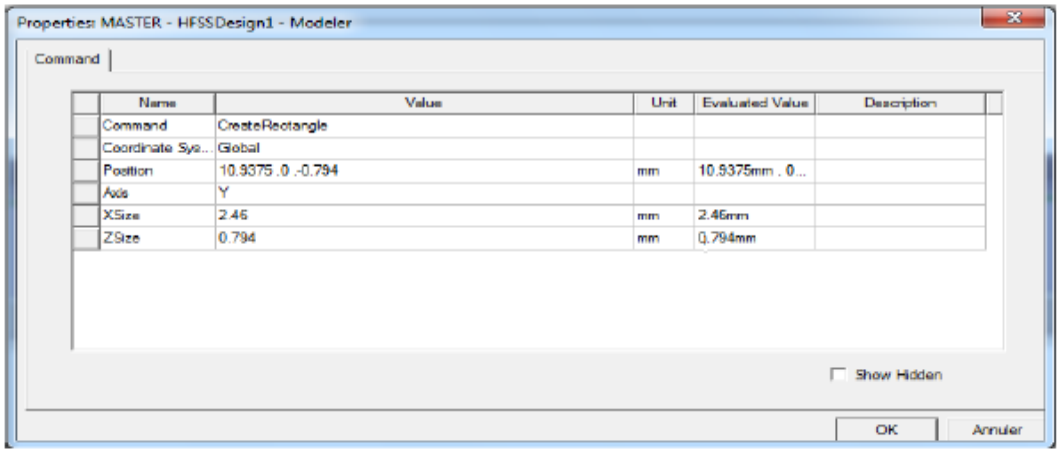


Figure II.9. Le patch et la ligne d'alimentation

II.2.10 Création du port (waveguide)

On doit maintenant spécifier le port de guide d'ondes au début de la ligne d'alimentation. Le plan de référence de ce port est situé directement au début du plan de rayonnement. Les antennes sont excitées par le port. Pour dessiner le port, cliquer sur  dessus la barre d'outils. Dessiner alors un rectangle en remplissant les données suivantes comme montré ci-dessous.





La Figure II.10 ci-dessous représente le port dans le plan.

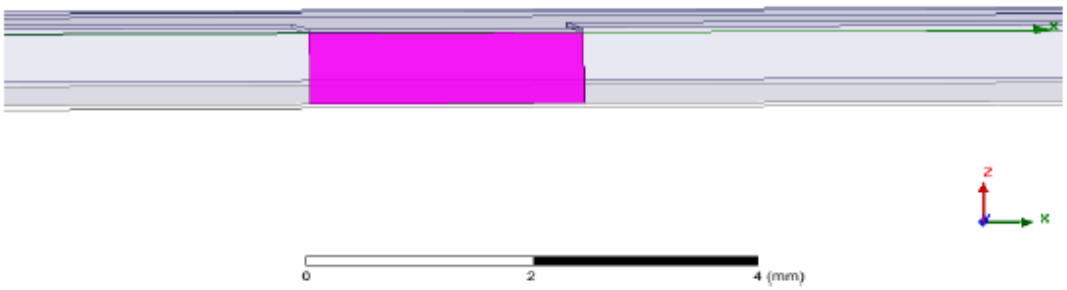


Figure II.10. Le port

II.2.11 Assigner les conditions aux frontières

Une fois le modèle a été crée, on doit assigner les conditions aux limites de la structure. Dans le HFSS, des frontières rayonnantes sont utilisées pour simuler les problèmes à structure ouverte qui permettent une propagation infiniment lointaine dans l'espace. HFSS absorbe ondes aux frontières rayonnant, en considérant essentiellement une sphère de rayon infini autour de la structure. Dans notre cas, nôtres frontières absorbantes est un boitier d'air.

Pour dessiner la boîte d'air, cliquer  dessus la barre d'outils. Dessiner alors une boîte en remplissant les mêmes étapes que précédemment à la position (-5,-5,-5 .794). La longueur, L sur le plan y = 45mm, la largeur W sur le plan x = 33.1 mm et la hauteur (épaisseur) h sur le plan z=10.794 mm .la figure II-11 représente l'air dans le 3D Modeler.

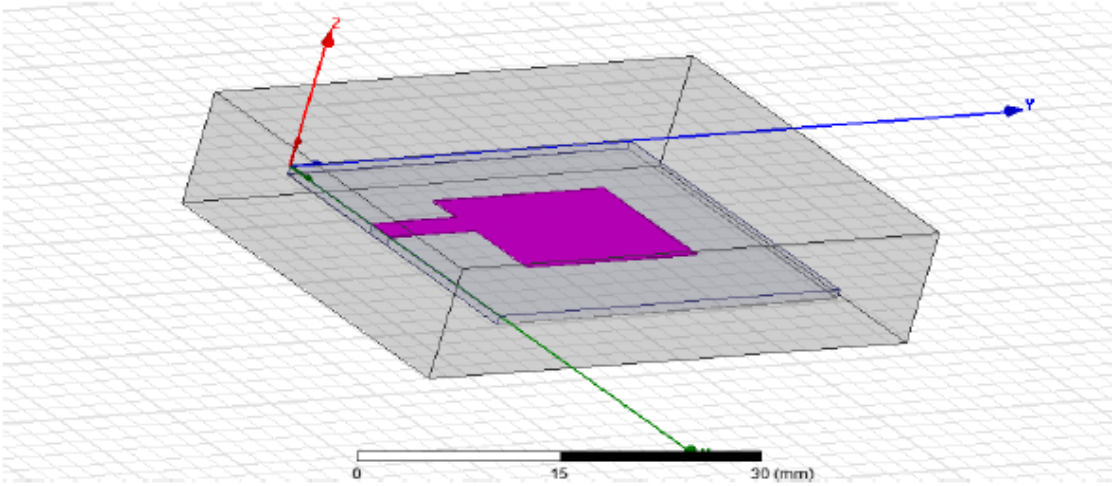


Figure II-11. Le boitier d'air

II.2.12 Assigner une excitation au port d'alimentation

Les excitations sont utilisées pour spécifier la source des champs électromagnétiques, des charges, des courants ou des tensions pour les objets ou leurs éléments (un élément ou plus). 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.

Magnetic Bias: Utilisé pour définir le champ intérieur net qui influe sur un objet de matériau ferromagnétique en 3D.

Choisir le port d'objet de l'arbre d'historique, cliquer par la droite et **assigner l'excitation**.

Dans notre cas, c'est **Lumped Port**. Cliquer le **Lumped Port**, l'appeler comme votre préférence, puis cliquer après, définir maintenant votre ligne d'intégration. Normalement, la ligne d'intégration est définie du point moyen inférieur au point moyen supérieur. Garder les autres valeurs en tant que par défaut. Cliquer terminer.

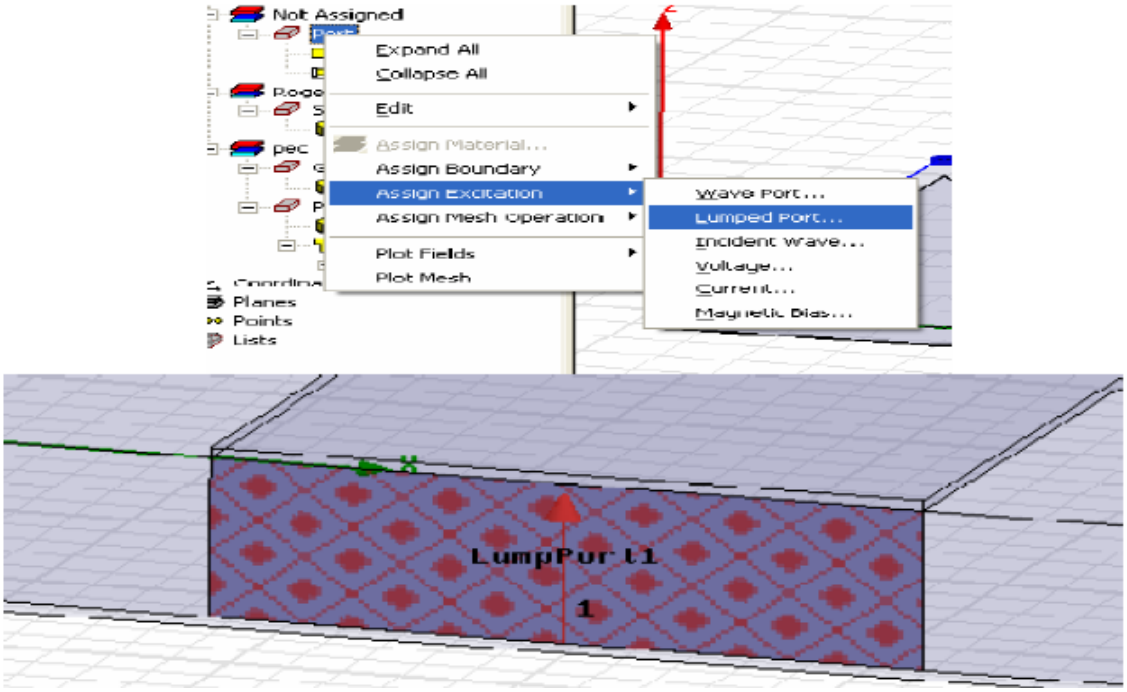


Figure II.12. Lumped port

II.2.13 Assigner les conditions aux limites

Dans HFSS, les frontières de rayonnement "**Radiation Boundaries**" sont utilisées pour Simuler les problèmes à géométries ouvertes avec un rayonnement infini dans l'espace, comme dans le cas des antennes. Elles absorbent les ondes au niveau des 5 faces supérieures du box. Deux types de conditions aux limites seront utilisés pour cette antenne, il s'agit de "**Perfect E**" et "**Radiation**". Nous commençons par le dessin d'un objet virtuel (air box) rayonnant autour de la structure. Toutefois, au lieu de placer un périmètre de rayonnement sur Les surfaces, on ajoute les frontières sur les 5 faces supérieures du box afin d'absorber le champ électromagnétique. Le box constitue le domaine de calcul (compilation domaine) sur lequel deux types de "**Boundaries**" existent. En effet, sur les quatre faces latérales du box et sur la surface du sommet on assigne la condition aux frontière type "**Radiation**" ou "**Perfect H**".

Pour le patch (le plan de rayonnement) et le plan de masse (ground) choisir **Perfect E**. Choisir dans le menu **HFSS >Boundaries>Assign>Perfect E**.

Les Figure II-13 et II-14 ci-dessous présentent la distribution d'amplitude du champ électrique au voisinage de l'antenne.

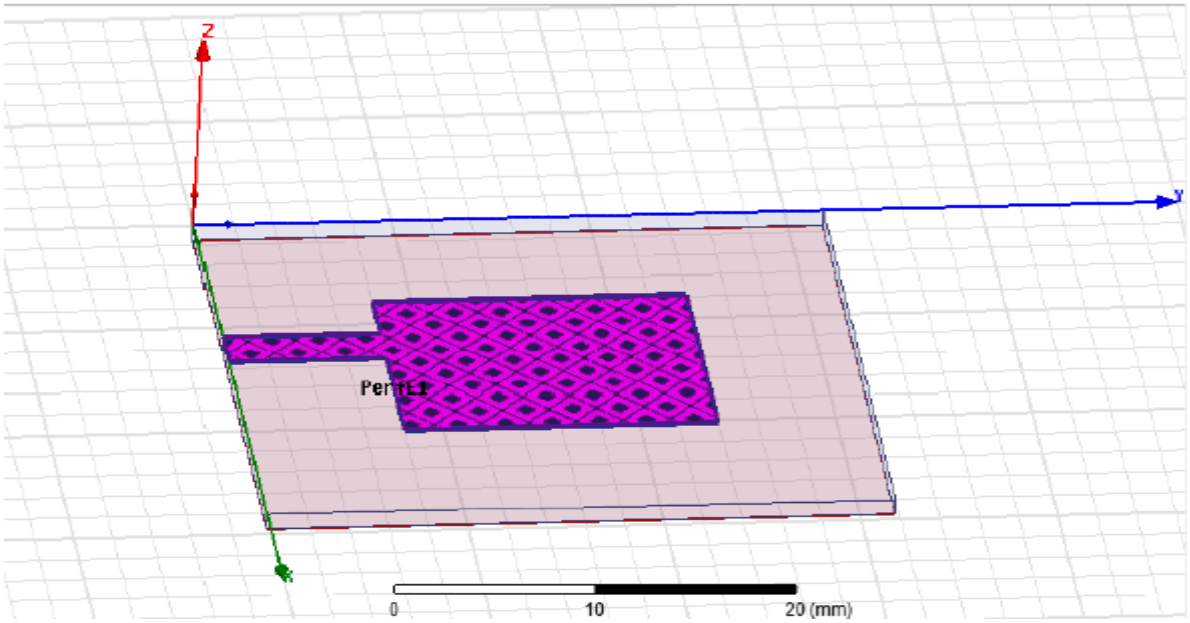


Figure II.13. Assignement de la condition "Conducteur parfait" pour le patch, la ligne microstrip d'excitation et le transformateur d'adaptation

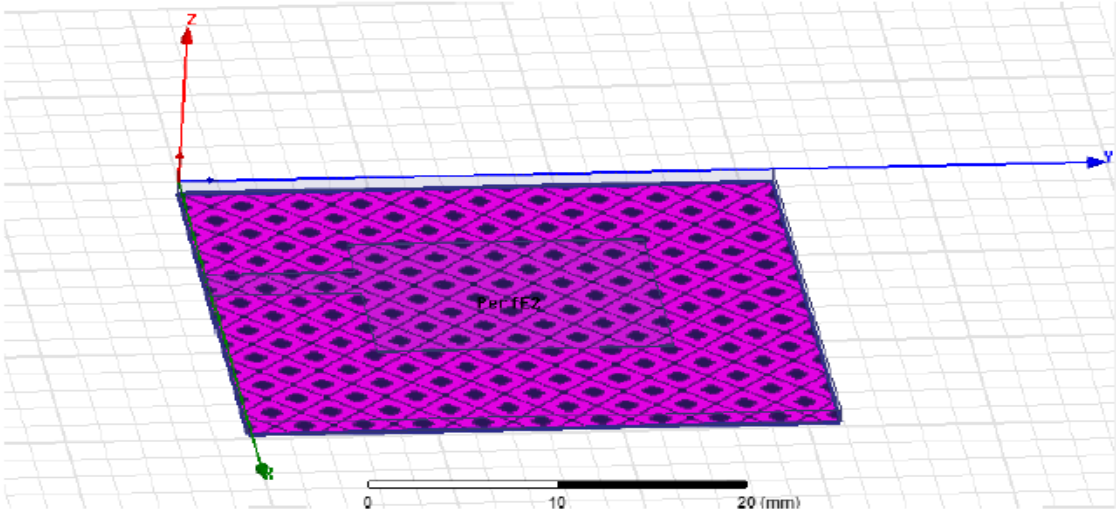


Figure II.14. Assignement de la condition "Conducteur parfait" pour le plan de masse

Pour air choisir **right click >Assign Boundary> radiation.**

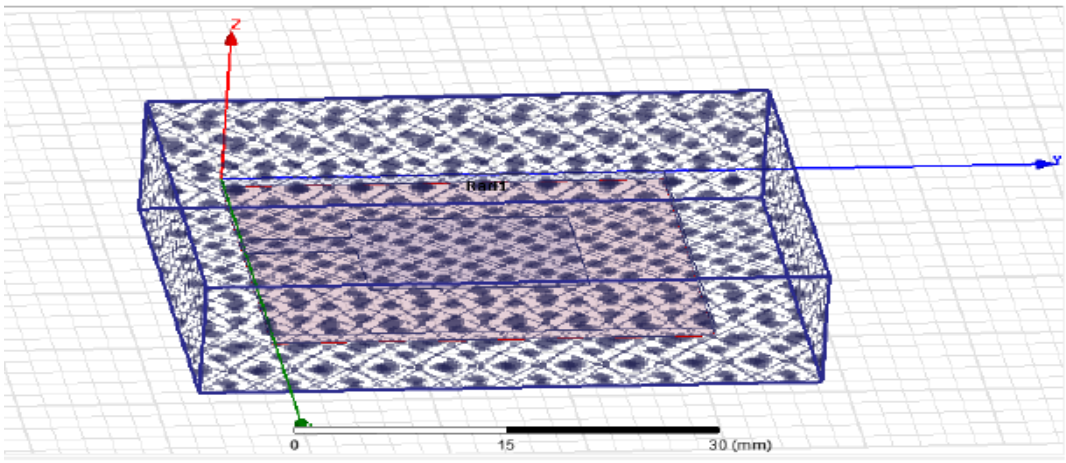


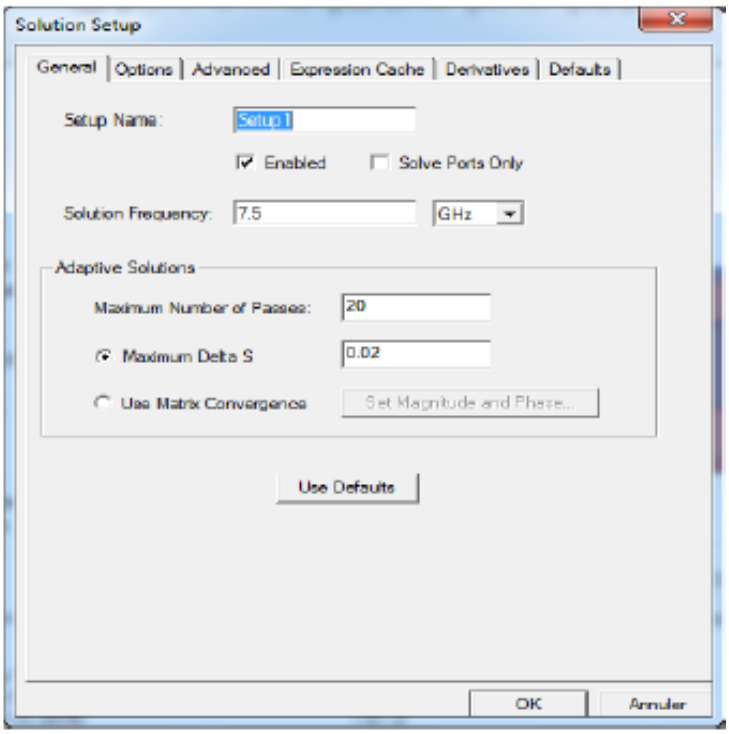
Figure II.15. Assignement des frontières

II.2.14 Créer une installation d'analyse (analysis setup)

1) Choisir ‘’ **Add Solution Setup’’** dans le menu **HFSS >Analysis Setup >Add Solution Setup.**

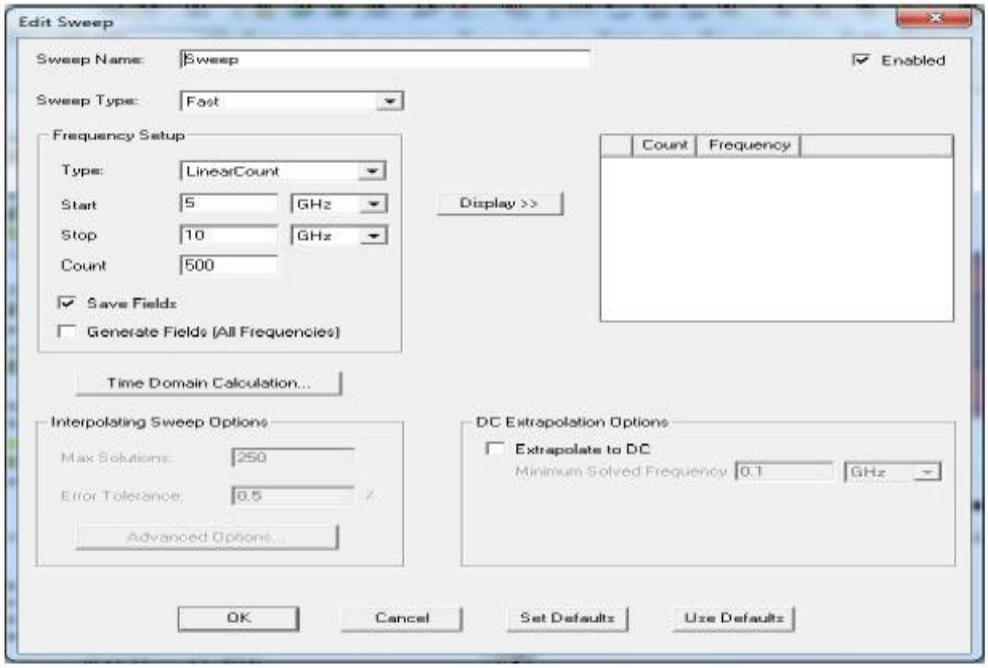
2) Dans la Fenêtre de **Solution Setup**

- Cliquer sur la case **General**.
- Cliquer sur le Bouton **OK.**



II.2.15 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: **5GHz**, Stop: **10 GHz**, Count: **500**. Cliquer **OK**.



II.2.16 Analyse

- Pour valider le modèle:

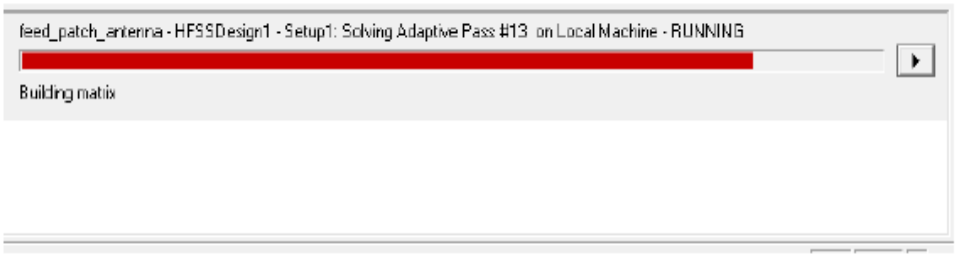
1) Choisir **Check** dans le menu **HFSS > Validation > Check.**

2) Cliquer sur le Bouton **Close.**



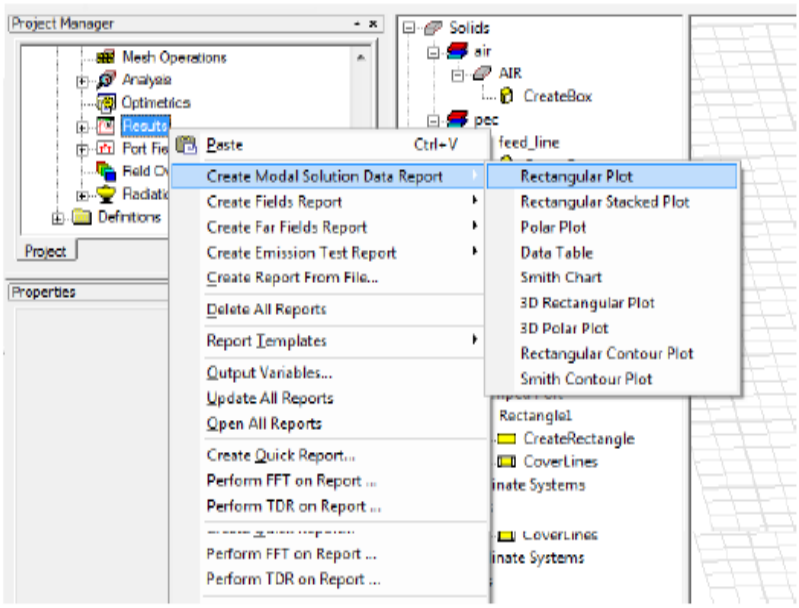
- Pour commencer le processus de solution:

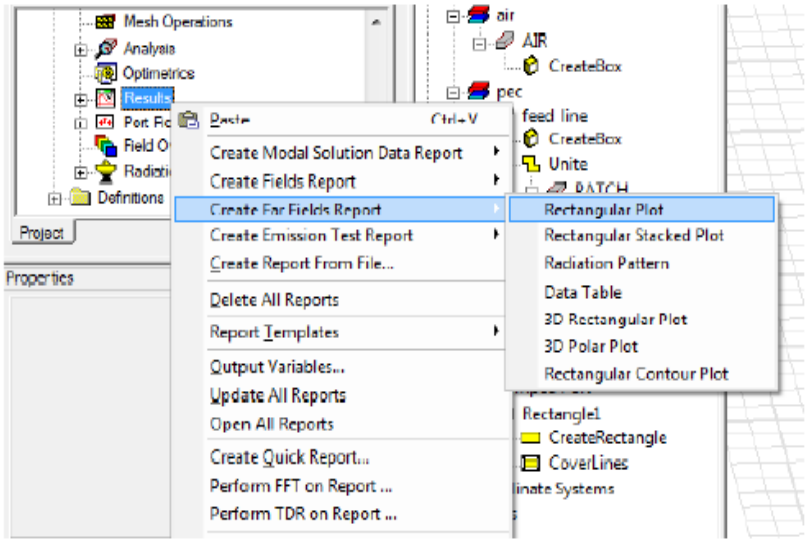
- Choisir dans le menu **HFSS >Analyze All.**

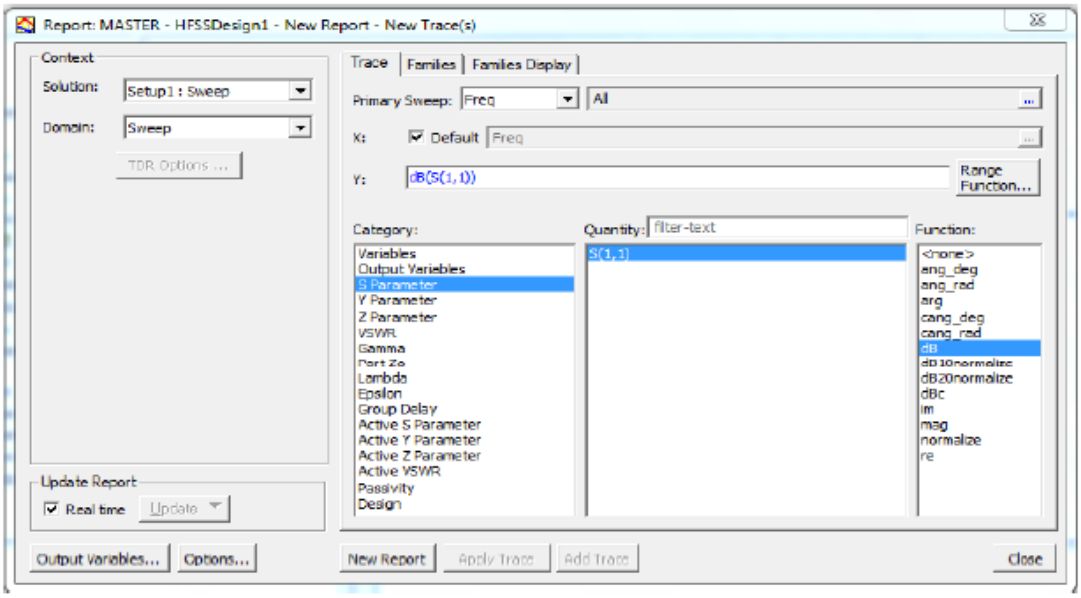


II.2.17 Créer les rapports

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







II.3 Présentation du logiciel CST MICROWAVE STUDIO

Le logiciel de simulation électromagnétique CST Studio Suite est un outil spécialisé pour la simulation électromagnétique tridimensionnelle de composants en haute-fréquence.

Il simplifie le processus de saisie de la structure et la définition des équipements en fournissant une interface graphique de modélisation puissante et solide. Après la modélisation du composant, une procédure de maillage automatique peut être appliquée avant que le moteur de simulation ne soit lancé.

CST MICROWAVE STUDIO est un module qui fait partie du logiciel CST STUDIO SUITE et propose un certain nombre de solveurs pour différents types d'application. Comme aucune méthode ne fonctionne aussi bien dans tous les domaines d'application, le logiciel contient quatre techniques différentes de simulation (solveur transitoire, solveur fréquentiel, solveur d'équation intégrale, et solveur de mode propre) pour mieux répondre aux applications particulières. L'outil le plus flexible est le solveur transitoire, qui peut obtenir le comportement fréquentiel pour une large bande de fréquence par une seule et unique simulation (contrairement a l'approche fréquentielle de nombreux autres simulateurs).

Il est basé sur la technique FIT (en anglais : Finit Intégration Technique) qui a été introduite en électrodynamique plus de trois décennies auparavant. Ce solveur est efficace pour la plupart des types d'applications a haute fréquence tels que des connecteurs, des lignes de transmission, filtres, antennes etc....

II.3.1 Aperçu de la structure de l'interface utilisateur

L'image suivante montre une capture d'écran du CST Microwave Studio comme un exemple.

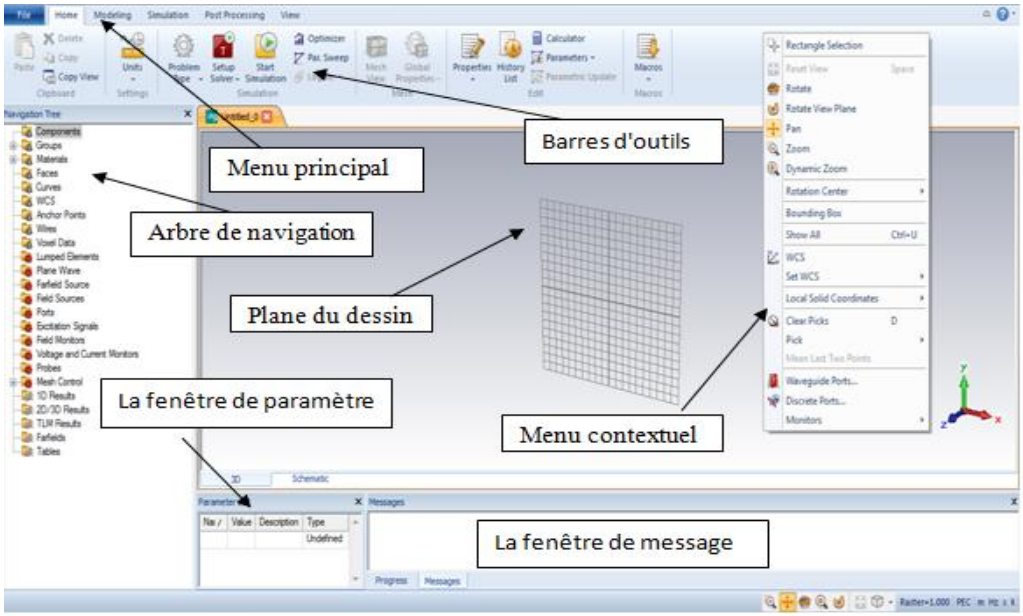


Figure II-16 La fenêtre principale du logiciel CST

L'arbre de navigation: est un élément essentiel de l'interface utilisateur. De là, nous pouvons accéder aux éléments structurels ainsi que les résultats de simulation. Les sections suivantes expliquent les différents articles dans cette fenêtre d'arbre.

Les menus contextuels: sont un moyen souple d'accéder à des commandes de menu les plus fréquemment utilisées pour le contexte actuel. Le contenu de ce menu qui peut être ouvert en appuyant sur le bouton droit de la souris.

Le plan du dessin: est le plan sur lequel nous allons dessiner des primitives de la structure. Comme la souris n'est qu'un localisateur 2D, même lors de la définition des structures 3D, les coordonnées doivent être projetées sur le plan du dessin, afin de spécifier un emplacement 3D. Comme on peut modifier l'emplacement et l'orientation du plan de dessin à l'aide de différents outils, cette caractéristique rend le modeleur très puissant.

La fenêtre de paramètre: affiche une liste de tous les paramètres précédemment définis avec leurs valeurs actuelles.

La fenêtre de message: affiche le texte de l'information (par exemple la sortie du solveur) le cas échéant.

Les autres éléments de l'interface utilisateur sont standards pour une application basée sur Windows.

II.3.2 Créer la ligne d'alimentation

1. Activez l'outil de briques en cliquant sur l'icône correspondante  dans la barre d'outils de l'objet.

2. On peut définir un point de départ par un double-clique sur un emplacement sur le plan du dessin.

3. Maintenant, on peut sélectionner la base de la face de coin de la brique sur le plan du dessin en double-cliquant dessus.

4. Ensuite, définir la hauteur de la brique en faisant glisser la souris. Double-cliquez pour fixer la hauteur de la brique.

5. Enfin, une boîte de dialogue s'ouvre on va entrée les valeurs numériques de tous les coordonnées et après on va choisir le matériau dans ce cas (PEC) et cliquez sur OK.

II.3.3 Créer le substrat

Pour créer le substrat il faut :

1- Choisir dans la barre d'outils l'icône correspondante  et les mêmes étapes de la ligne d'alimentation.

2- En utilisant la boîte de dialogue, on va introduire les valeurs numériques et choisir le matériau dans ce cas (epoxy resin) et cliquez sur OK.

II.3.4 Créer le plan de masse

Pour créer la mass il faut :

1- Choisir dans la barre d'outils l'icône correspondante  et les mêmes étapes de la ligne d'alimentation.

2- En utilisant la boîte de dialogue on va introduire les valeurs numériques et choisir le matériau dans ce cas (PEC) et cliquez sur OK.

II.3.5 Créer le patch

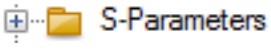
1. Activez l'outil de cube en cliquant sur l'icône correspondante  dans la barre d'outils de l'objet.

On a résumé Les étapes nécessaire pour la réussie d'une simulation

1- Définir la gamme de fréquences on clique sur 

2- Début de la simulation on clique sur 

3- Les résultats montrent en cliquant dans l'arbre de 

Navigation Maintenant, en cliquez sur 

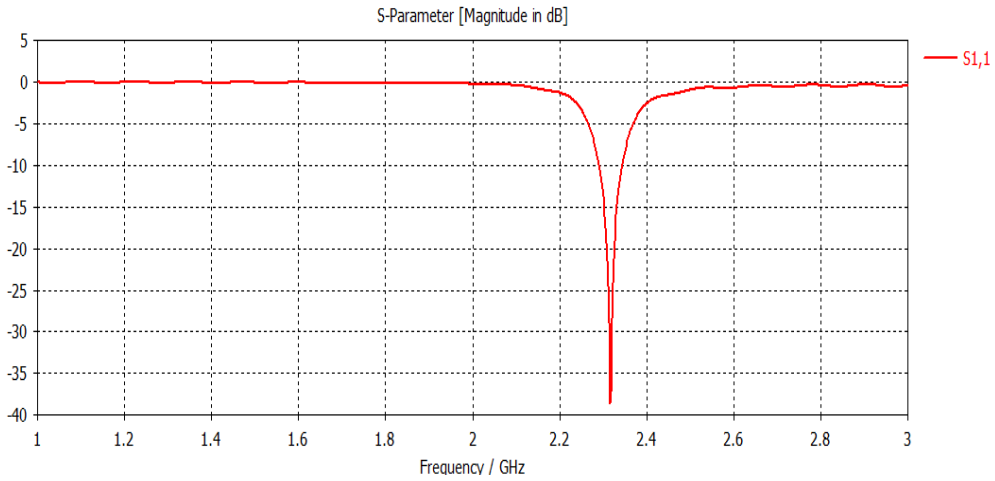


Figure II-17 variation du paramètre S_{11} d'un patch rectangulaire

II.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné et expliqué les différentes étapes de création d'un design HFSS et CST. Illustrations faites sur une antenne patch rectangulaire excitée par une ligne microstrip. Dans le chapitre III, on va calculer les paramètres de la structure d'antenne microstrip à patch rectangulaire avec plan de masse partial en utilisant le simulateur électromagnétique HFSS et CST pour les structures conventionnelle et optimisée.

Chapitre III

DISCUSSION DES RESULTATS

III.1 Introduction

La phase de conception d'une antenne, à l'aide d'un logiciel adapté, est une étape incontournable dans un souci de gain de temps et d'optimisation de structure aux paramètres désirés. La conception permet également de prendre en compte les paramètres diélectriques et conducteurs des matériaux bas coût choisis, qui ne sont pas parfaits, et de nous rapproché des futures antennes réalisées. Pour cela, il nous faut choisir un outil de simulation électromagnétique adéquat.

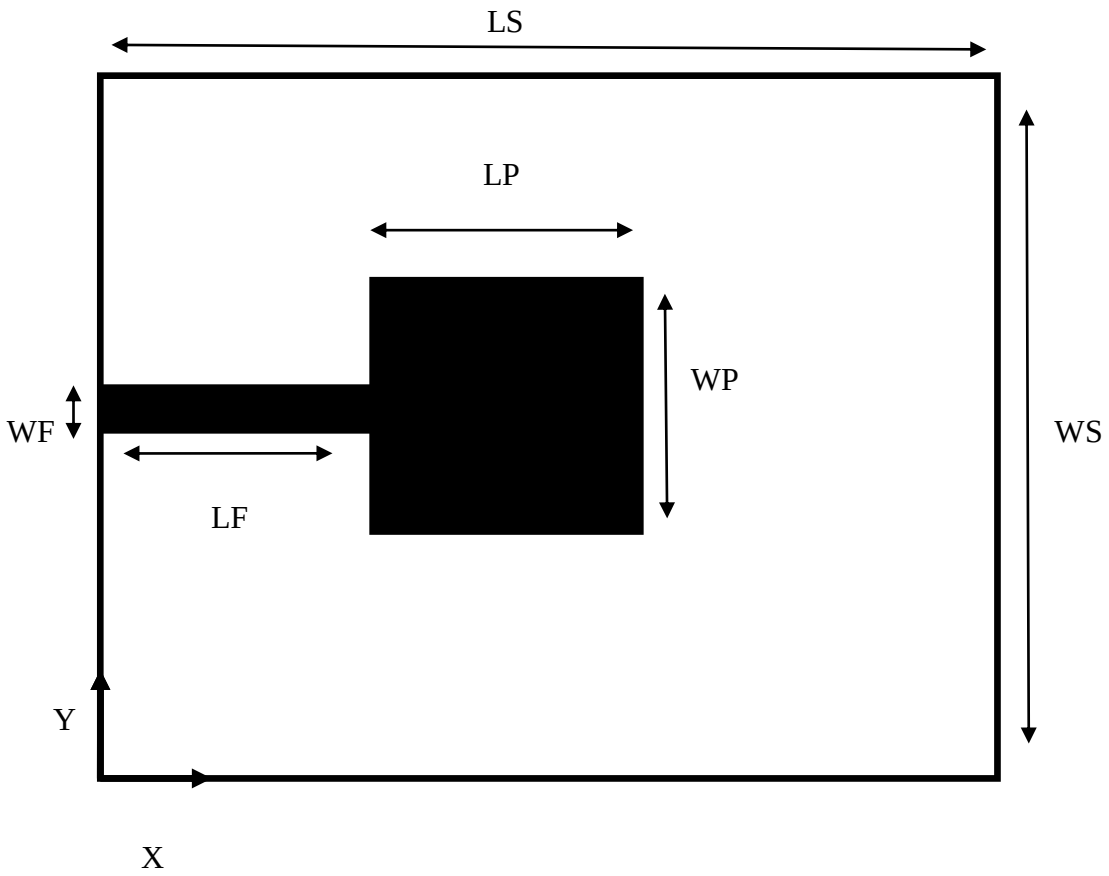
Une fois la structure d'antenne est introduite dans l'environnement de développement HFSS ou CST, ainsi que les conditions aux frontières et les paramètres de la solution selon les étapes expliquées dans le chapitre II, nous pouvons alors exécuter une "Analyze" afin d'estimer les performances de l'antenne.

Ainsi, nous développerons dans ce chapitre la phase de conception en présentant des résultats de simulation d'une antenne à patch rectangulaire alimentée par une ligne microruban. Ensuite on va faire la conception d'une antenne, suivit par des discussions et des commentaires.

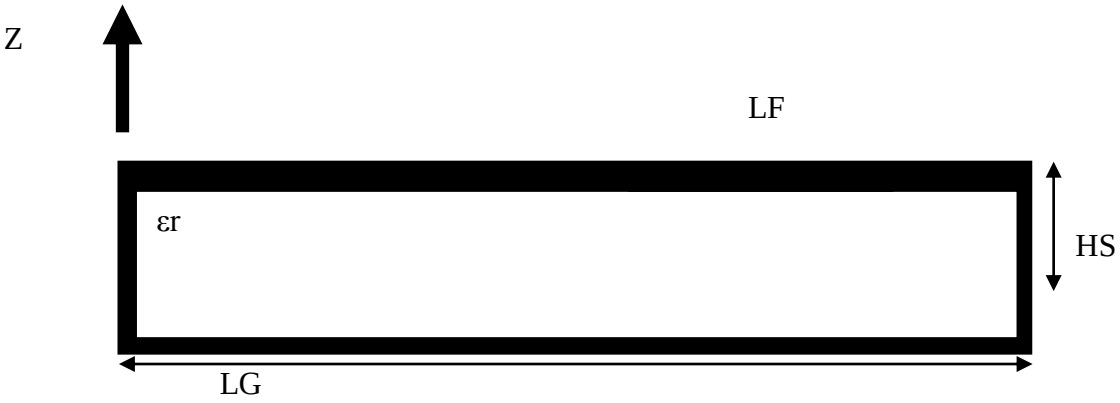
III.2 Antenne patch rectangulaire

La structure de l'antenne patch rectangulaire étudiée est illustrée dans la Figures III.1. La structure étudiée est excitée à travers une ligne microruban, d'impédance caractéristique égale à 50 ohms, de largeur Wf=3mm et de longueur Lf=8mm respectivement. Le patch ou l'élément rayonnant a une longueur et une largeur Lp = 20 mm et Wp =20, respectivement, Le patch est imprimé sur un substrat (diélectrique) de longueur et de largeur Ls*Ws = 40*40 mm^2 et d'épaisseur hs = 1.6mm.

Au-dessous du substrat, nous avons un plan de masse supposé théoriquement un conducteur parfait, et ses dimensions sont Lg*Wg=40*40 mm, s'étendant dans le plan (xoy). Le métal utilisé pour les conducteurs (patch, lignes microstrip et plan de masse) est le cuivre. Le matériau du substrat est le FR4 epoxy avec εr=4.4.



Vue de dessus



Vue de coté

Figure III.1 antenne microruban rectangulaire

III.2.1 Présentation de la structure étudiée dans le HFSS

L'environnement de travail de HFSS nous donne la possibilité de concevoir nos schémas en toute finesse comme montre la figure en dessous. La structure de l'antenne patch rectangulaire est présentée en 3D comme montrée dans la Figure III.2. L'un des intérêts de HFSS.

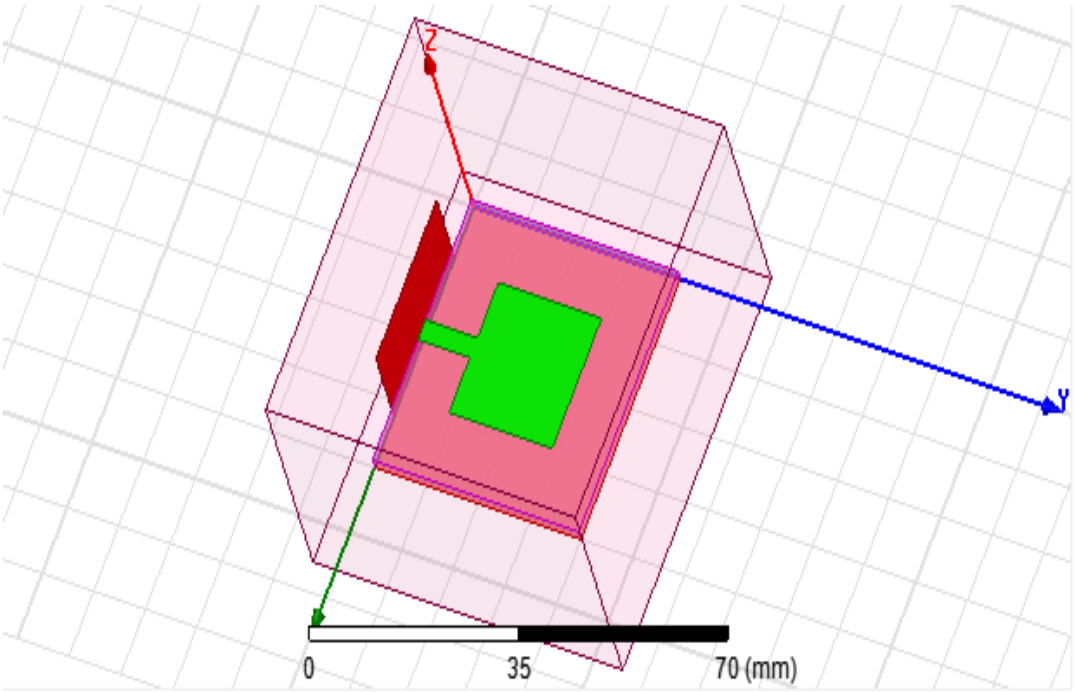


Figure III-2 Structure de l'antenne patch rectangulaire étudiée

III.2.2 Variation du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de travail

Nous allons représenter pour cette antenne le coefficient de réflexion, qui joue le rôle de perturbation sur la transmission des données.

La Figure III.3, représente le coefficient de réflexion (S_{11} en dB) en fonction de la fréquence. On constate que le coefficient S est de l'ordre de -10dB pour une fréquence de résonance de 7.50Ghz, on constate aussi que la bande passante est très étroite (est égale à 0.23GHz) ce qui est une caractéristique inhérente aux antennes microstrip.

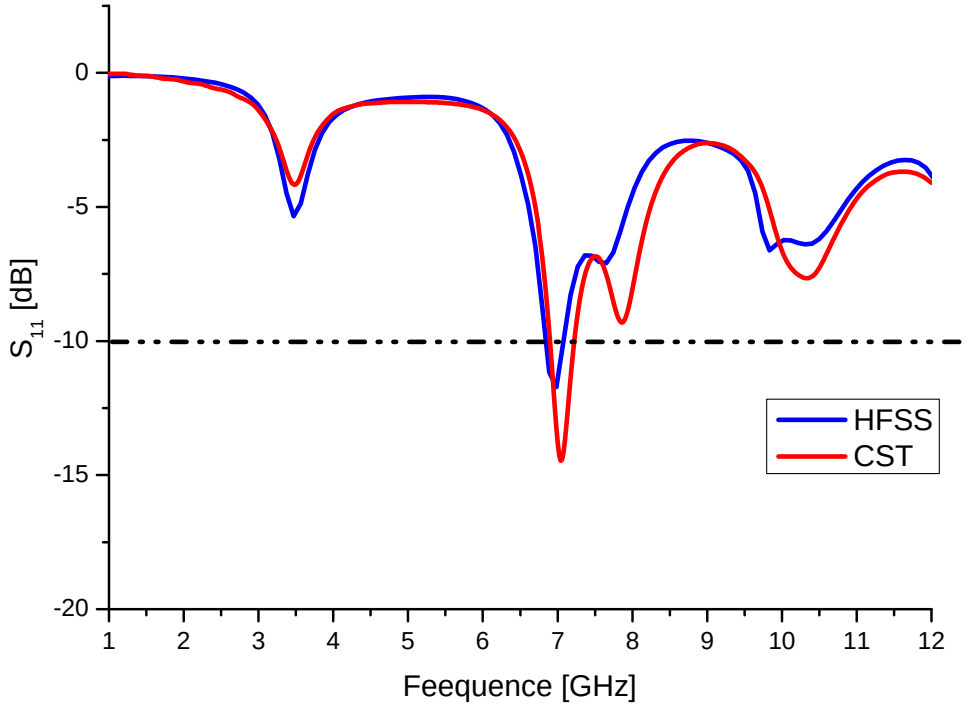


Figure III.3 Coefficients de réflexions S_{11}, obtenus par HFSS et CST

Maintenant, nous allons essayer d'optimiser les paramètres de cette antenne afin d'élargir sa bande passante. Pour cela, on va utiliser l'étude paramétrique pour étudier l'influence de chaque paramètre sur la bande passante de l'antenne.

Les paramètres les plus sensibles sont la largeur du plan de masse et la position de la ligne d'alimentation, donc nous allons faire l'étude paramétrique de ces variables.

III.3 Etude paramétrique

Quelques paramètres définissant la géométrie de l'antenne patch rectangulaire seront modifiés, afin de constater leurs influences sur les performances de la structure, notamment la bande passante de cette antenne.

III.3.1 Effet de la largeur du plan de masse

Afin d'étudier l'influence de la largeur du plan de masse sur les caractéristiques de l'antenne, nous allons faire couper le plan de masse, donc on fait la simulation pour plusieurs valeur de LG (de 40 à 6 mm, avec un pas de -0.5mm), mais les variables qui se trouvent dans le tableau (Tab III-1) seulement sont représentées dans la figure **(III.5)**

Paramètre « LG »	LG 1	LG 2	LG 3	LG 4	LG 5	LG 6
Dimension du plan de masse (mm)	40	30	18	15	9	6

Tab III-1 dimension du plan de masse

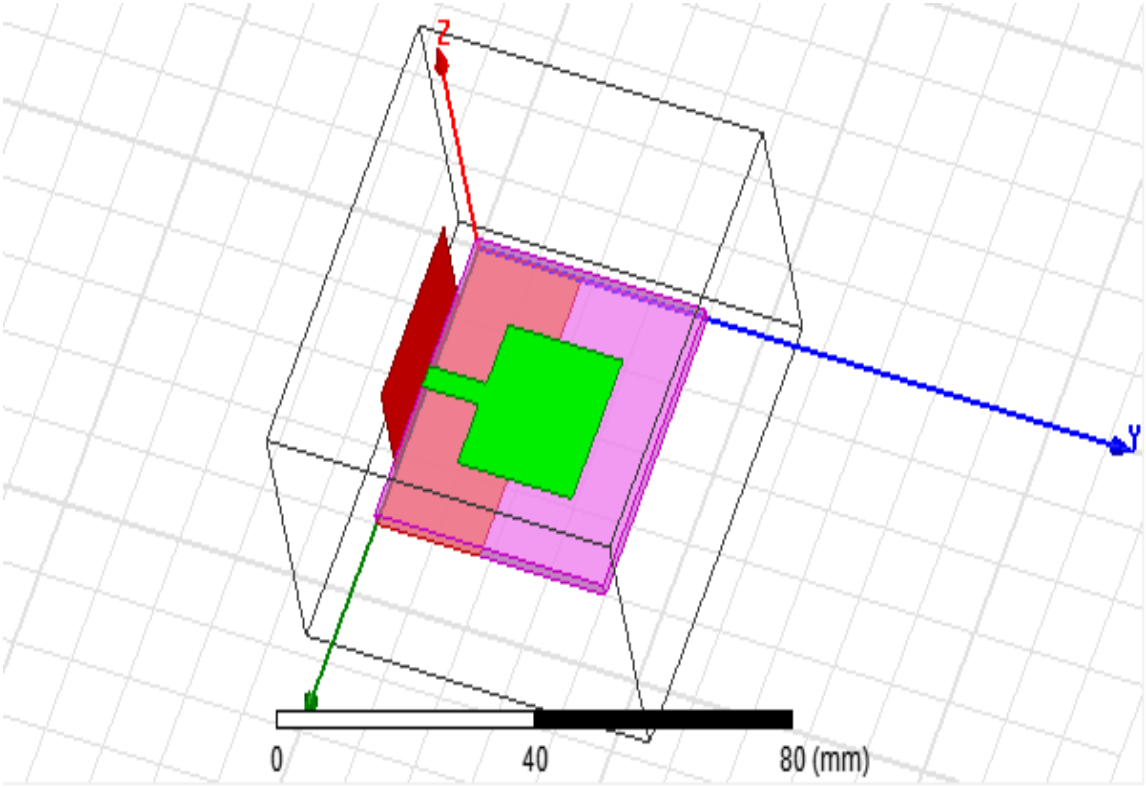


Figure III-4 couper le plan de masse LG

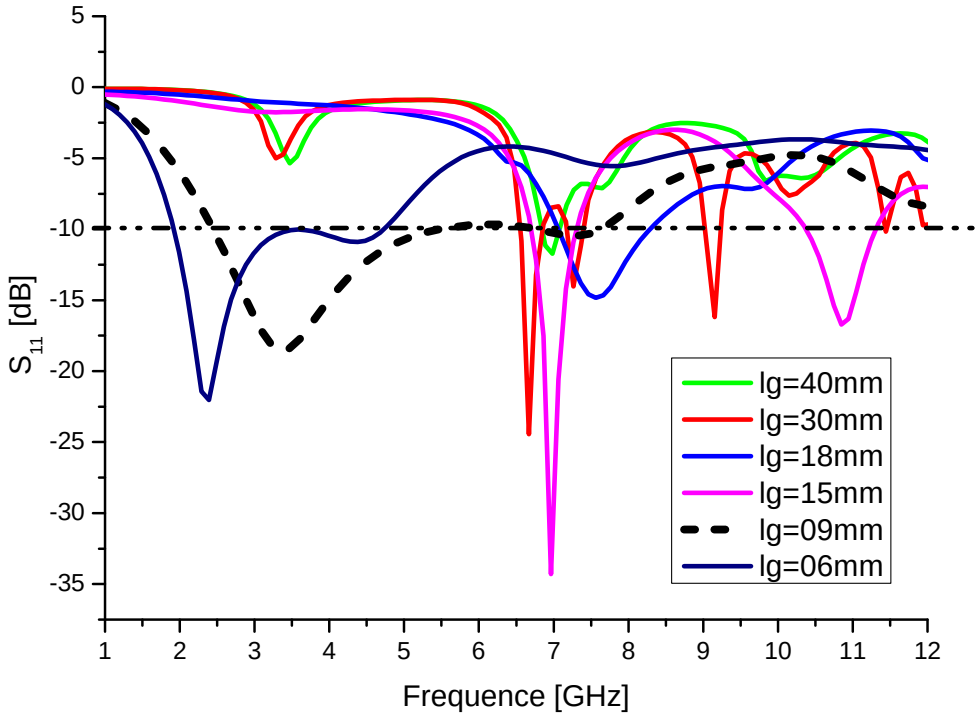


Figure III.5 Le coefficient de réflexion S11, pour différents valeurs de LG simulés sous HFSS

D'après la figure **III.5,** on peut observer que la meilleure largeur de plan de masse LG =9mm, tel que la bande passante est égale à 5 GHz.

III.3.2Effet de la position de la ligne d'alimentation

La position de la ligne d'alimentation serra aussi variée pour différents valeur (0 à 17mm avec un pas 0.1mm) afin de trouver la meilleure position, cette variation est paramétrée par le paramètre « PF », dans le tableau III-2. On cite les valeurs de la position que nous avons représentée dans la figure **III.6**

Paramètre « PF »	**PF 1**	**PF 2**	**PF 3**	**PF 4**	**PF 5**	**PF 6**
Valeur en mm	**0**	**2**	**5**	**8**	**10**	**13**

Tableau III-2 la position de la ligne d'alimentation

L'impact de cette variation sur la bande passante est montré dans la figure III-6 qui présente le module de coefficient de réflexion pour différents valeurs de « PF ».

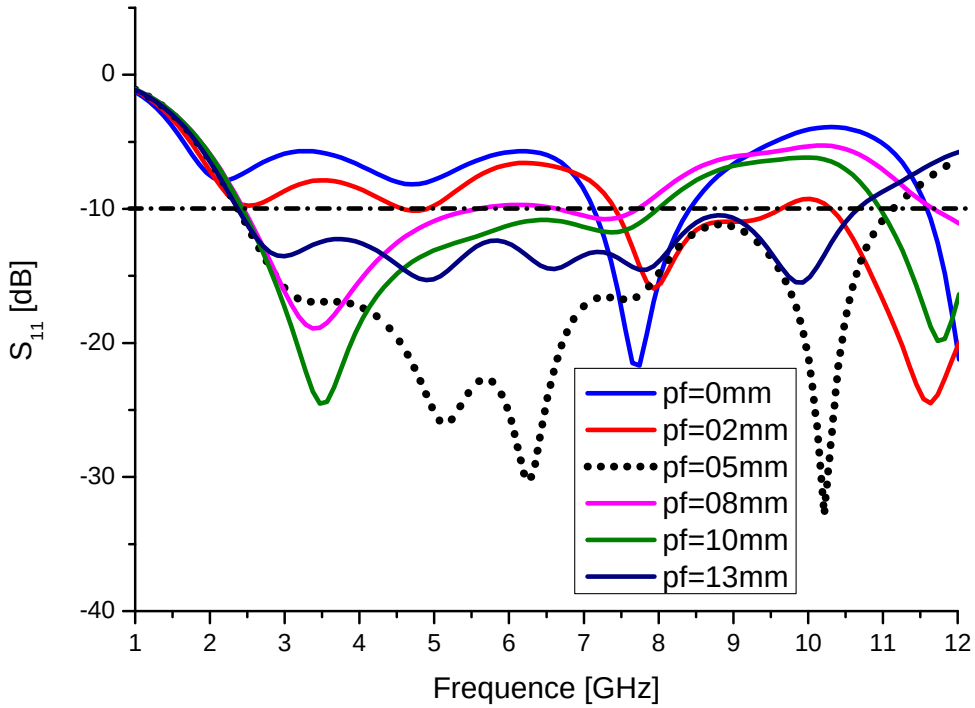


Figure III-6 Le coefficient de réflexion S11, pour différents valeurs de PF simulés sous HFSS

D'après la figure III.6**,** on peut observer que la meilleure position de la ligne d'alimentation PF=5mm, tel que la bande passante est égale à 8.5 GHz.

III.4 L'Antenne patch rectangulaire optimisée

A partir des études paramétriques menées précédemment, nous pouvons déduire les paramètres finals qui donnent la bande passante large.

Tous les paramètres sont cités dans le tableau (III-3)

Paramètres	WS	LS	WG	LG	PF
Dimensions (mm)	**40**	**40**	**40**	**9**	**05**

Tableau III-3 les paramètres optimisés

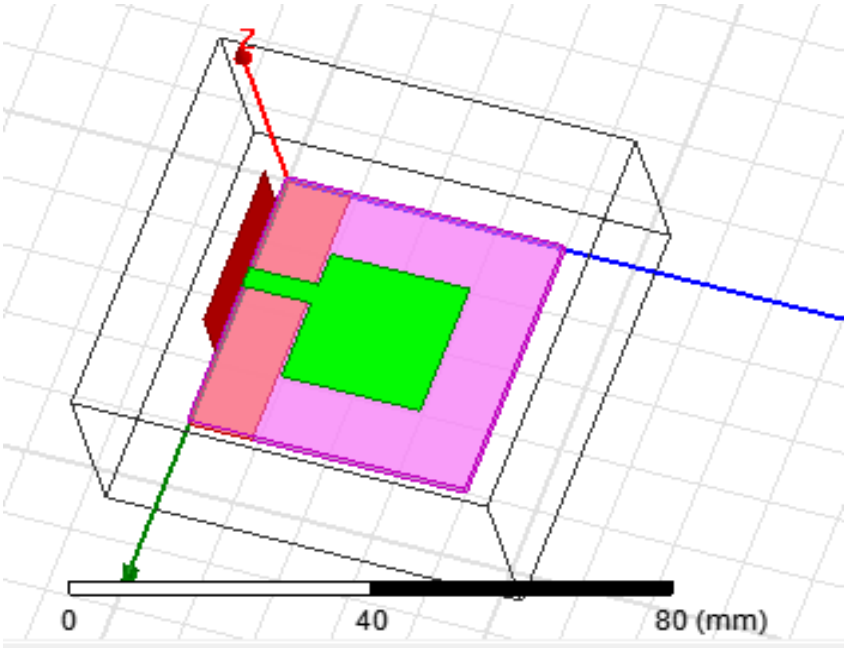


Figure III-7 L'antenne patch rectangulaire ainsi optimisée

L'antenne ainsi conçue à partir de notre étude paramétrique et représentée dans la figure III-7. Elle possède un plan de masse partiale de largeur LG = 9 mm, et la position de la ligne d'alimentation a été optimisée pour atteindre une valeur PF = 15 mm.

Les résultats de simulation obtenus pour les coefficients de réflexion sont représentés dans la figure III-8. Une comparaison entre les deux outils de simulation HFSS et CST pour la structure optimisée est aussi représentée.

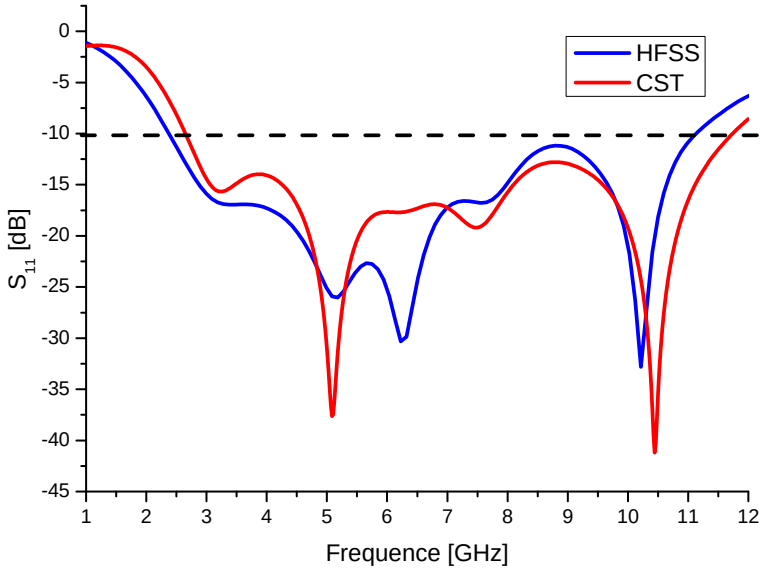


Figure III-8 Coefficients de réflexion pour la novelle antenne optimisée

III.5 Comparaisons entre la structure optimisée et la structure conventionnelle

Nous allons maintenant comparer les performances de la structure optimisée avec la structure conventionnelle en utilisant les deux outils de simulation HFSS et CST. La Figure III-9 présente les coefficients de réflexion des deux antennes.

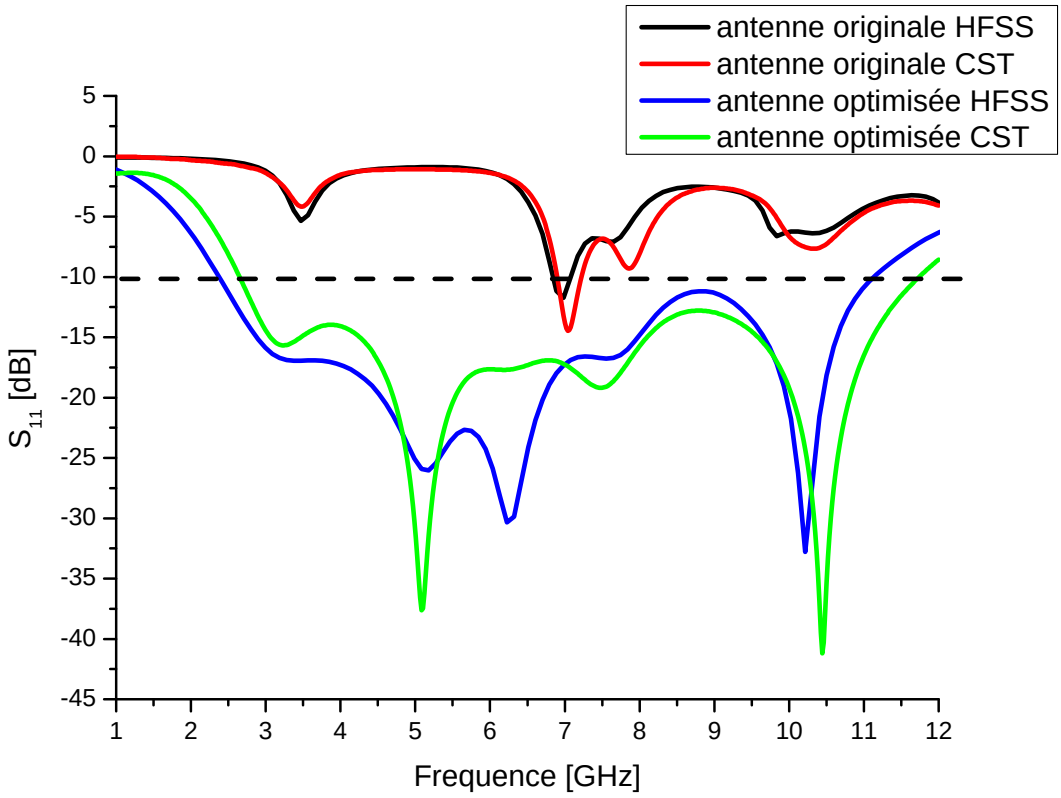


Figure III-9 Coefficients de réflexion de l'antenne optimisée et initiale

On remarque, d'après la figure, que la largeur de la bande passante de l'antenne optimisée est largement supérieure à celle de l'antenne conventionnelle. Ainsi la bande de l'antenne optimisée est 36 fois plus grande que celle l'antenne originale

III.6 Taux d'onde stationnaire (VSWR : Voltage Standing Wave Ratio)

Le taux d'onde stationnaire (VSWR : Voltage Standing Wave Ratio) c'est un quotient entre les champs électriques maximaux et minimaux dans une ligne de transmission. En d'autre manière, il caractérise la quantité du signal qui s'est réfléchie aux bornes d'une composante micro-onde. La norme acceptable dans un système de rayonnement électromagnétique est celle d'une valeur de VSWR inferieur à 2. La figure III-10 représente le VSWR dans la gamme de fonctionnement de l'antenne étudiée. D'après la figure, on constate que le taux d'ondes stationnaires est inférieur à 2 dans toute la gamme de fréquence de l'antenne étudiée.

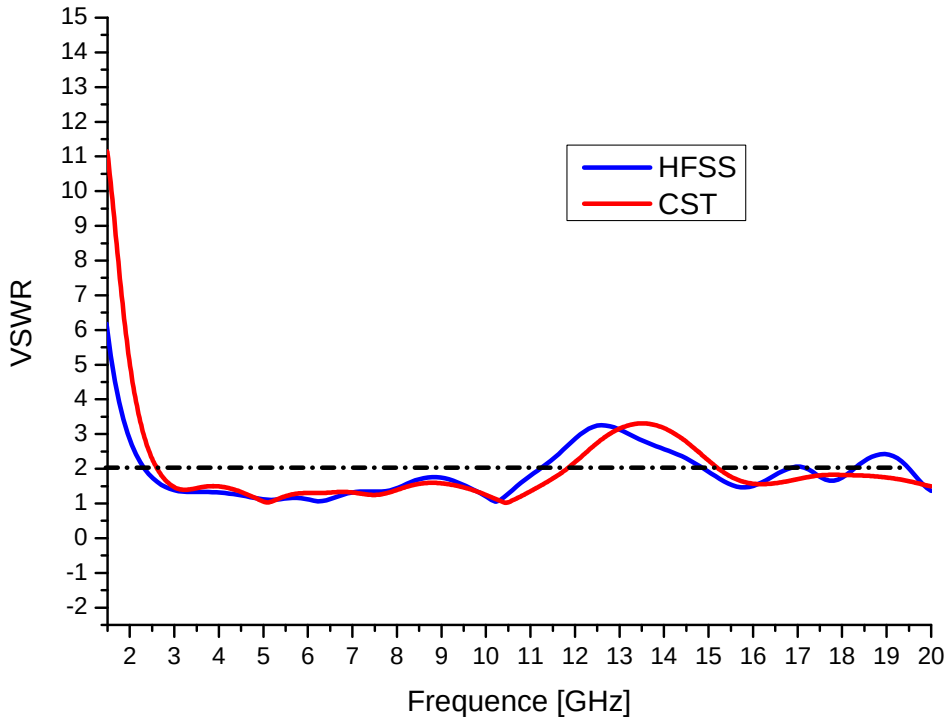


Figure III-10 le taux d'onde stationnaire

III.7 Impédance d'entrée

L'impédance d'entrée (résistance et réactance) est un paramètre important de l'antenne microstrip. Une meilleure adaptation de l'antenne est traduite par une résistance plus proche possible de 50Ω en partie réelle, et nulle en partie imaginaire. Cette valeur est dictée par le fait que l'impédance caractéristique de la ligne d'alimentation est d'environ 50Ω. Pour arriver à cela, il faut que l'antenne soit adaptée sachant que l'adaptation dépend du type d'alimentation et de la position du point d'alimentation.

Les figures (III-11 et III-12) représentent l'impédance d'entrée (résistance et réactance) de l'antenne micro ruban à patch rectangulaire étudiée. La partie réelle de l'impédance d'entrée représente la puissance rayonnée (active) et la partie imaginaire correspond à une puissance (réactive) emmagasinée autour de l'antenne (pertes par rayonnement). D'après les deux figures, on constate que la partie réelle de l'impédance d'entrée est proche de 50 Ω et que la partie imaginaire est proche de 0 dans toute la bande passante de l'antenne. Ce qui confirme la bonne adaptation de la structure étudiée.

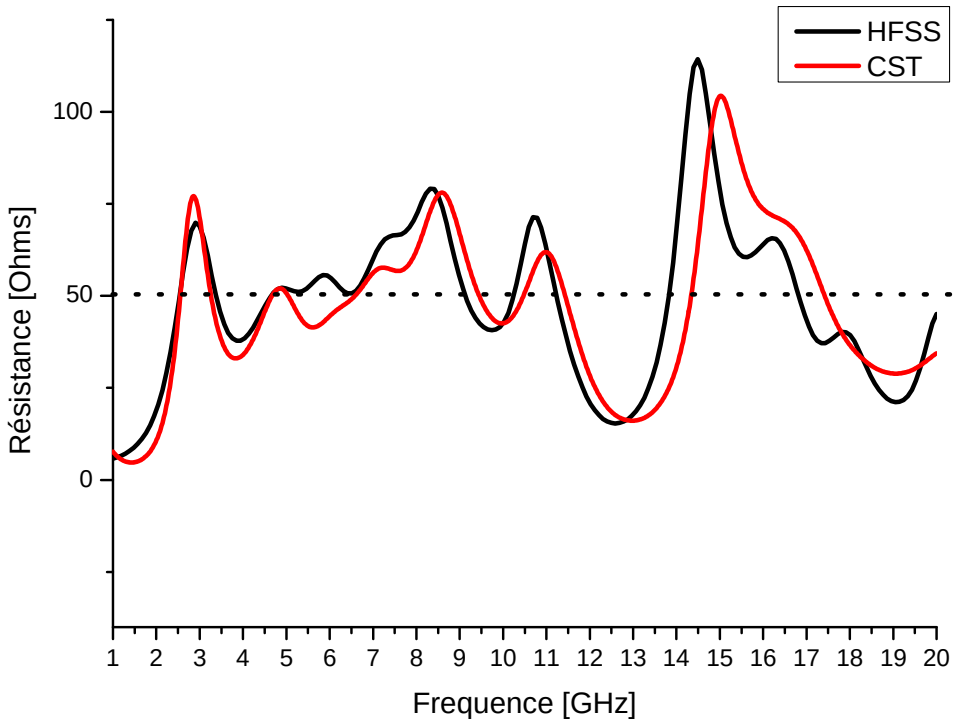


Figure III-11 représente l'impédance d'entrée (résistance) d'antenne patch rectangulaire

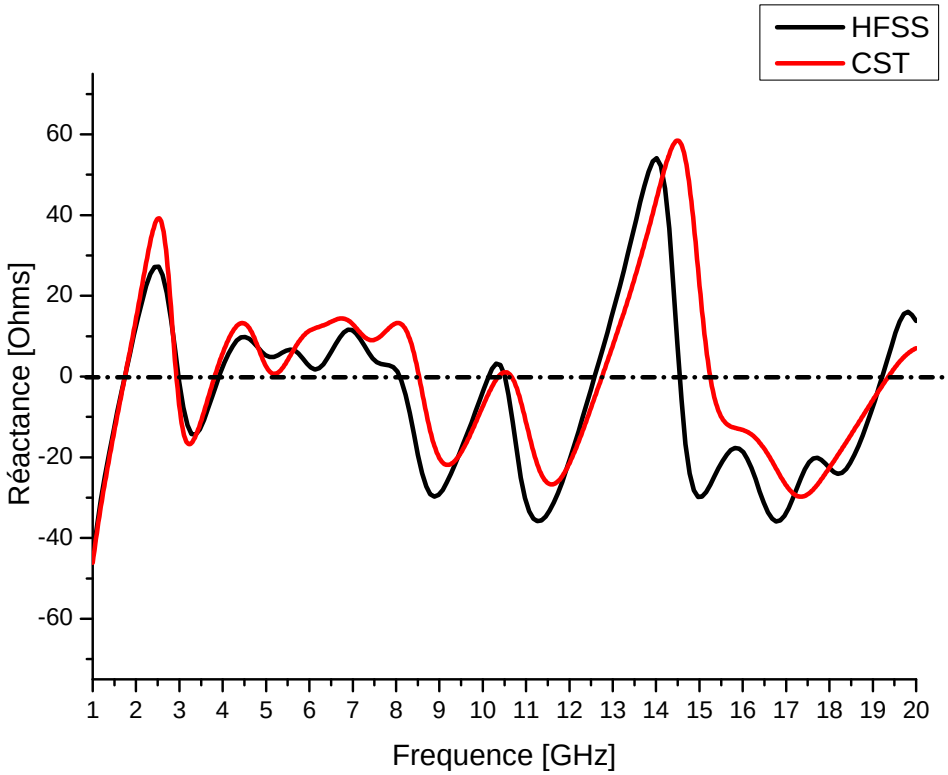


Figure III-11 représente l'impédance d'entrée (réactance) d'antenne patch rectangulaire

III.8 Le gain

Nous allons maintenant nous intéresser au gain de l'antenne. Le gain d'une antenne mesure en quelque sorte l'aptitude de l'antenne à convertir l'énergie électrique entrante à l'antenne en énergie électromagnétique rayonnée en espace libre. La Figure III-12 représente le gain en dB, pour la structure d'antenne microruban étudiée, en fonction de la fréquence. On constate que le gain varie entre -9.5 et 6 dB sur toute la bande (2 à 11.5 GHZ). On remarque aussi qu'à la fréquence 11.5 GHz, le maximum de gain observé est de 6 dB.

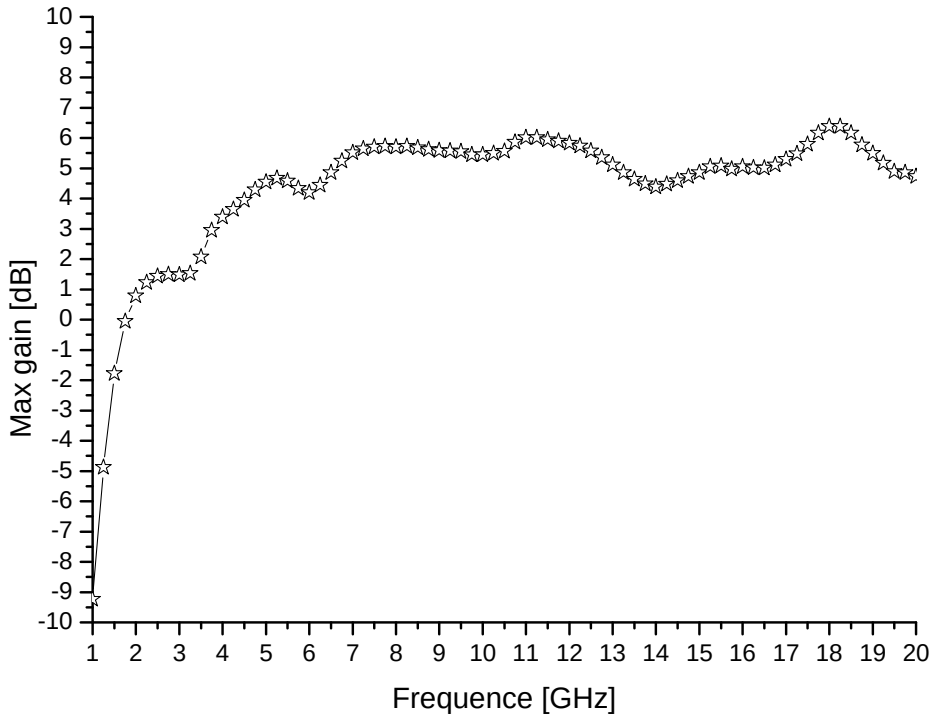


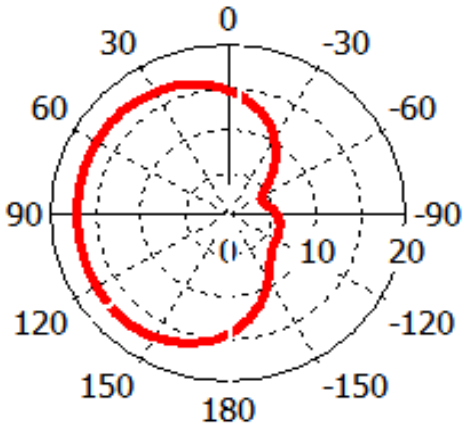
Figure III-12 le gain de l'antenne

III.9 Diagramme de rayonnement en 2D et 3D

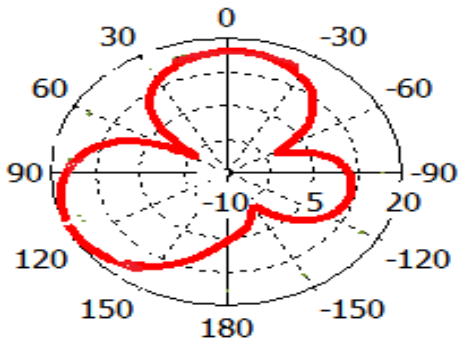
On étudie dans ce paragraphe les caractéristiques de rayonnement d'une antenne imprimée. Le diagramme de rayonnement est une caractéristique importante d'une antenne. En effet, le diagramme de rayonnement d'une antenne nous renseigne sur la façon avec laquelle l'antenne dirige sont rayonnement dans une direction ou une autre dans l'espace. On a tracé les diagrammes dans les deux plans principaux de l'antenne: le plan H et le plan E.

Les figures (III-12, III-13) représentent le diagramme de rayonnement simulé est dans le plan E (φ =0) et dans le plan H (θ=90°) pour différentes fréquences de résonance (5 GHZ et 10.5 GHZ) de la bande passante, respectivement.

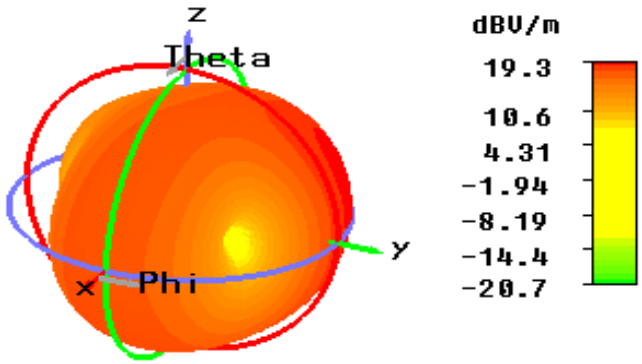
On constate que le diagramme de rayonnement en 2D à 5 GHZ possède un lobe principal dans le plan E dans la direction θ=90° et 2 lobes principaux dans 2 directions (60° et 120°) dans le plan H. Pour la fréquence 10.5 GHZ, on remarque que le nombre de lobes augmente à 3 lobes dans le plan E et plusieurs lobes pour le plan H. On constate aussi que le gain maximal est [19.3 ,20.3] dB pour (5 GHZ et 10.5 GHZ) respectivement.



(a)



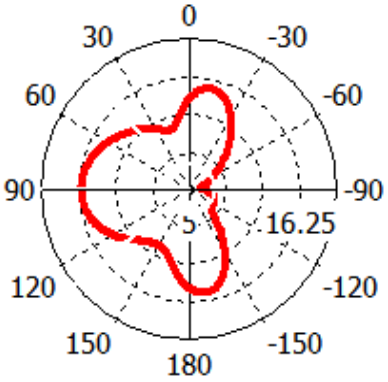
(b)



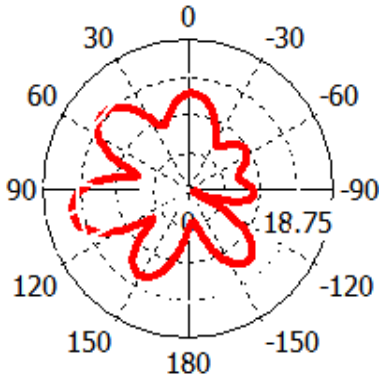
(c)

Figure III- 12 Diagramme de rayonnement à la fréquence 5 GHZ

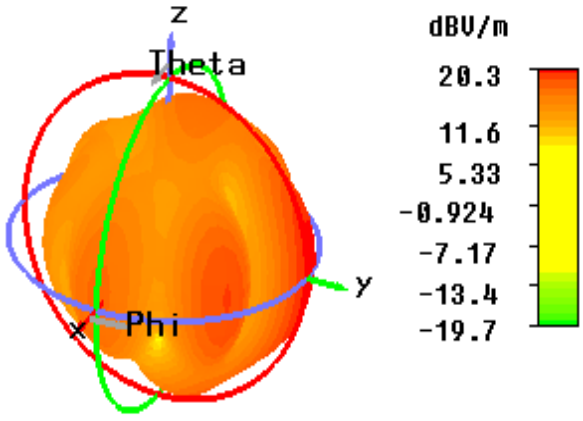
(a) Plan E, (b) plan H, (c) 3D



(a)



(b)



(c)

Figure III- 13 Diagramme de rayonnement à la fréquence10. 5 GHZ

(a) Plan E, (b) plan H, (c) 3D

III.9 Conclusion

Dans ce chapitre, une étude paramétrique a été menée pour concevoir une antenne microruban optimisée ayant de meilleures performances par rapport à l'antenne microruban conventionnelle. Le logiciel HFSS et CST nous a permis de mener une telle étude et ainsi de simuler les performances de l'antenne. En effet, les différents paramètres de l'antenne tels que : le coefficient de réflexion, le taux d'ondes stationnaire, le gain et le diagramme de rayonnement ont été simulés et calculés. On a ainsi démontré que la bande passante de l'antenne proposée a été améliorée considérablement, par rapport à l'antenne classique, on utilisant un plan de masse partiel et en choisissant délicatement le point d'alimentation et la largeur de la ligne microruban d'alimentation.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Les travaux de recherche académique et industrielle sur les technologies d'antenne patch rectangulaire a connu un essor notoire ces dernières années. Cette technologie de radiocommunication est perçue comme étant l'avenir des communications sans fil à très haut débit pour les applications grand public. Les antennes imprimées peuvent être intégrées avec le module d'émission ou de réception sur le même substrat au vue de leur performance et leurs dimensions réduites. Compte tenu du besoin des antennes imprimées dans les systèmes de radiocommunications mobiles, dans ce mémoire on a étudié la conception d'antenne microruban en appliquant une technique pour améliorer la bande passante. Cette technique consiste à couper le plan de masse de l'antenne et effectuer une étude paramétrique sur le point d'alimentation ainsi que la largeur de la ligne microruban d'alimentation. Pour mener à bien toutes ces études, on a eu recours aux deux simulateurs électromagnétiques les plus connus dans le domaine, en l'occurrence le HFSS (basé sur la méthode des éléments finis) et le CST (basé sur la méthode intégrales finis).

La conception d'une antenne patch a été très enrichissante. D'une part, elle nous a permis d'appliquer les connaissances acquises sur le logiciel HFSS et CST, et d'autre part, elle nous a donné la possibilité d'approfondir nos connaissances sur les antennes.

Dans un premier temps, nous avons présenté l'antenne microbande et leur caractéristiques. En deuxième lieu, on présenté les outils de simulation utilisés dans ce manuscrit ; le HFSS (High Frequency Structure Simulator) et le CST (Computer Simulation Technology).

Enfin dans une troisième partie, nous avons effectué une étude d'optimisation des performances d'une antenne microruban rectangulaire. En effet, nous avons utilisé comme référence une antenne microstrip rectangulaire ayant une fréquence de résonance autour de 7 GHz, caractérisée par une bande passante étroite, et nous avons essayé d'apporter des modifications sur la structure d'antenne pour élargir la bande passante de l'antenne.

L'étude s'est portée sur la coupure du plan de masse et la position de la ligne d'alimentation. Cette étude nous permis d'améliorer les performances de l'antenne en termes de : coefficient de réflexion, taux d'onde stationnaire, impédance d'entrée, gain, et diagramme de rayonnement. On a, en effet, pu augmenter la bande passante de l'antenne conventionnelle par un coefficient de 36 et ceci sans dégrader les caractéristiques de l'antenne.

En perspectives et en continuation à ce travail, on peut envisager l'amélioration des performances des antennes microrubans en utilisant d'autres approches. Un voie de recherche très intéressante est l'utilisation de nouveaux matériaux dan la conception de telles antennes tels que : le méta matériaux (metamaterials) et les matériaux à gap électromagnétiques (EBG). En effet, ces deux classes de matériaux répondent aux exigences de nouveaux systèmes de communication en termes de largeur de bande passante et de miniaturisation.

REFERENCES

[1] F.BEN MEDDOUR, " Etude et réalisation d'une résonateur microbande de forme circulaire ", mémoire de doctorat, Université de Constantine, 2012.

[2] B.BECITA, "Antenne microbande de forme rectangulaire à substrats cristaux photonique ", mémoire de magister, Université de M'sila, 2014.

[3] A.AICHE, " Etude de l'alimentation par ouverture d'une antenne microstip circulaire", mémoire de master, Université de M'sila, 2013.

[4] B.MEKIMAH, " Etude du fonctionnement en mode bifréquence des patchs microbandes empilés et excentrés" , mémoire de magister, Université de Kasdi Merbah Ouargla .

[5] S.TEBACHE, " M'méthodes de caractérisation hyper fréquence des antennes imprimées ", mémoire de magister, Université de Mohamed Khider Biskra, 2013.

[6] H.MASSAI, "Analyse et conception d'une antenne patch micro strip", mémoire de master, Université de M'sila ,2013.

[7] DJ. ASSAOUI, " Analyse a l'aide de modèle équivalents d'antennes imprimées alimentées par ligne adaptées ", mémoire de magister, Université de Abou Baker Belkaid Tlemcen ,2007.

[8] L.DJOUABLIA, "Contribution a l'étude des structures microbandes rayonnantes par la méthode des moments application a la forme triangulaire ", mémoire de doctorat, Université de Constantine ,2012.

[9] M.CORRIVEAU, "Modélisation d'une antenne microbande de type microruban avec radome ", mémoire de doctorat, Université de Québec, Mai 2006.

[10] A. B0YER, " Antenne", support de coursenonce de travaux diriges, Institut Informatique et Réseau, Université Toulouse, Octobre 2011.

[11] K.BOUFELDJA, "Modélisation et synthèse de réseau périodiques et non périodiques d'antenne microrubans par l'application d'un algorithme géométrique – flou ", mémoire de doctorat, Université de Abou Baker Belkaid Tlemcen, 2011.

[12] M.HASSAD, "Modélisation d'une antenne patch réalisée sur un substrat à tenseurs de permittivité et de perméabilité diagonaux ", mémoire de magister, Université de Batna, 17 juin 2009.

[13] L.CHOUTI, "Contribution à l'étude d'antenne imprimés rectangulaire double bande et multi bande tenant compte de l'effet de couplage", mémoire de magister, Université de Constantine, 2009.

[14] CH.ZEBIRI, " Effet de l'anisotropie tensorielle sur les paramètres des structures planaire contribution à réalisation d'un résonateur micro-ondes", mémoire de doctorat, Université de Constantine, 2011.

[15] A.S. BOUGHRARA, " Analyse d'une structure planaire ouvert utilisant divers types de développent modal avec ou sans inclusion des singularités de bord ", mémoire de magister, Université de Batna.

[16] Y.TIGHILT, " Identification des antennes microrubans multi couches par la méthode spectrale et le réseaux de neurones ", mémoire de doctorat, Université de Ferhat Abbas Sétif, 2011.

[17] A.AICHE, " Etude de l'alimentation par ouverture d'une antenne microstip circulaire", mémoire de master, Université de M'sila, 2013.

[**18**] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl, A. ittipiboon " Microstrip antenna design handbook " Artech House, Boston, London, 2001.

Résumé

Dans ce travail nous avons faire la conception d'une antenne microbande rectangulaire alimentée par ligne microbande, avec an plan de masse partial, pour cela nous avons étudié l'effet de largeur de plan de masse, ainsi que la position de la ligne sur la bande passante de l'antenne, on a arrivé à une structure d'antenne qui peut fonctionner en gamme de fréquence de 2.5 GHz à 11 GHz.

Ensuite, nous avons présenté les paramètres de l'antenne tel que, le coefficient de réflexion, l'impédance d'entrée, VSWR, le diagramme de rayonnement, et le gain.

Ce travail a été effectué en utilisant les deux simulateurs électromagnétiques HFSS et CST.

Mots clés : Antenne micro ruban, plan de masse partial, bande passante large.

Abstract

In this work we have design of a microstrip patch antenna with partial ground plane excited by microstrip feed line, for, it we studied the effect of width of the ground plane, as well as the position of the feed line on the bandwidth of the antenna,

After that, we presented the parameters of the antenna as, the return loss, input impedance, VSWR, the radiation pattern, and the gain.

This work has been designed using the two simulators electromagnetic HFSS and CST

Key words: microstrip antenna, partial ground plane, wideband.

مُلَخَّص

في هَذَا العَمَل قُمْنَا بدراسة وتصميم هوائي شريطي قاعدته جزئية وعُنْصُرُه المشع مربع الشَّكْل مغذى بخط شريطي دقيق. قمنا بدراسة تأثير كل من عرض قاعدة الهوائي وموضع خط الغذاء على عرض النطاق العابر للتوتر للهوائي، تم التوصل إلى هوائي عريض النطاق يشتغل في مجال من 2.5 إلى 11 جيغا هرتز.

بعد ذلك عرضنا وسائط الهوائي المتمثلة في معامل الانعكاس وممانعة الدخول ومعدل الموجات المستقرة ومخطط الإشعاع والكسب للهوائي.

تَمَّت الدراسة باستخدام برنامجي التصميم HFSS و CST.