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].**

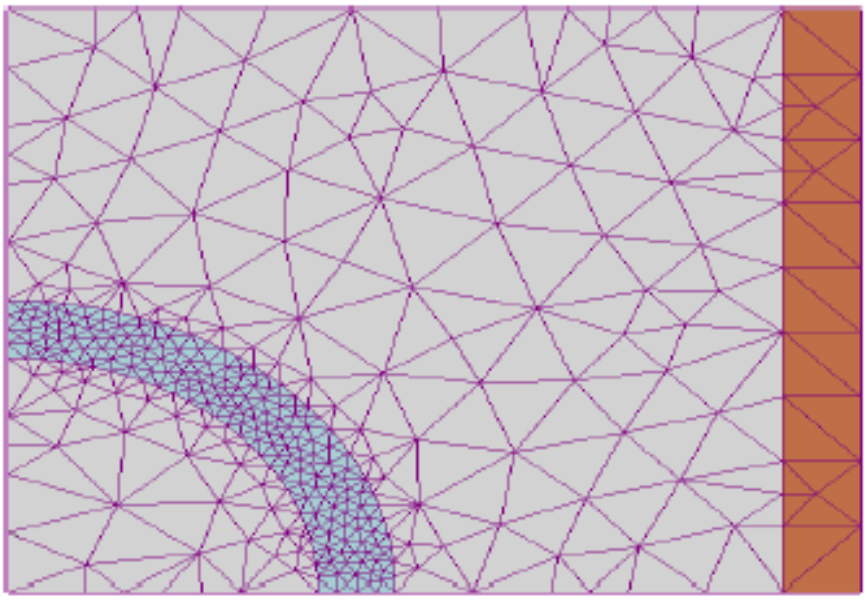


Figure II.1 Maillage 2D dans un projet HFSS (le maillage est plus dense autour de l'objet d'intérêt)

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:

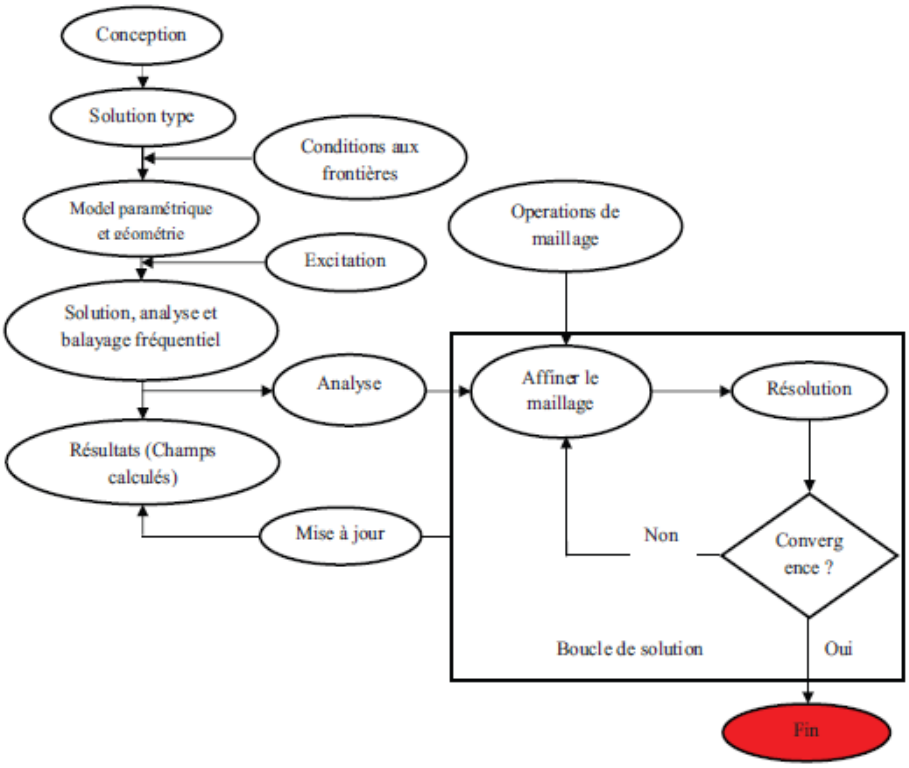


Figure II.2. Organigramme des différentes étapes d'un design HFSS

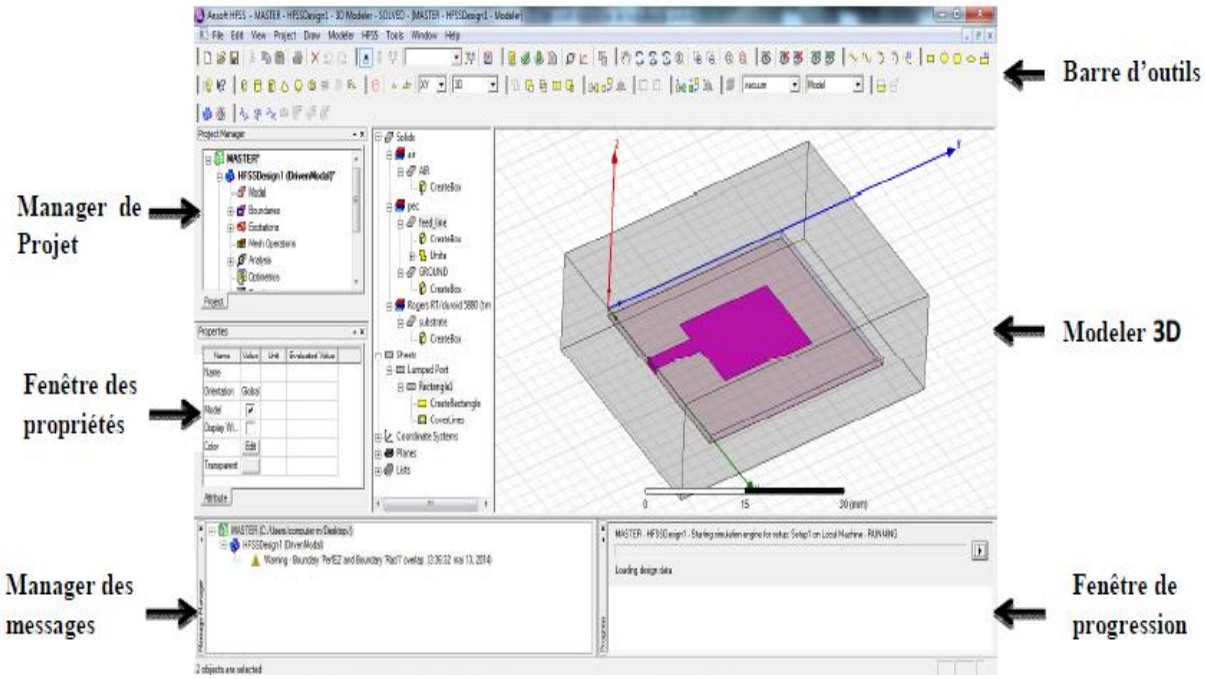


Figure II.3. La fenêtre principale du logiciel HFSS.

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**.

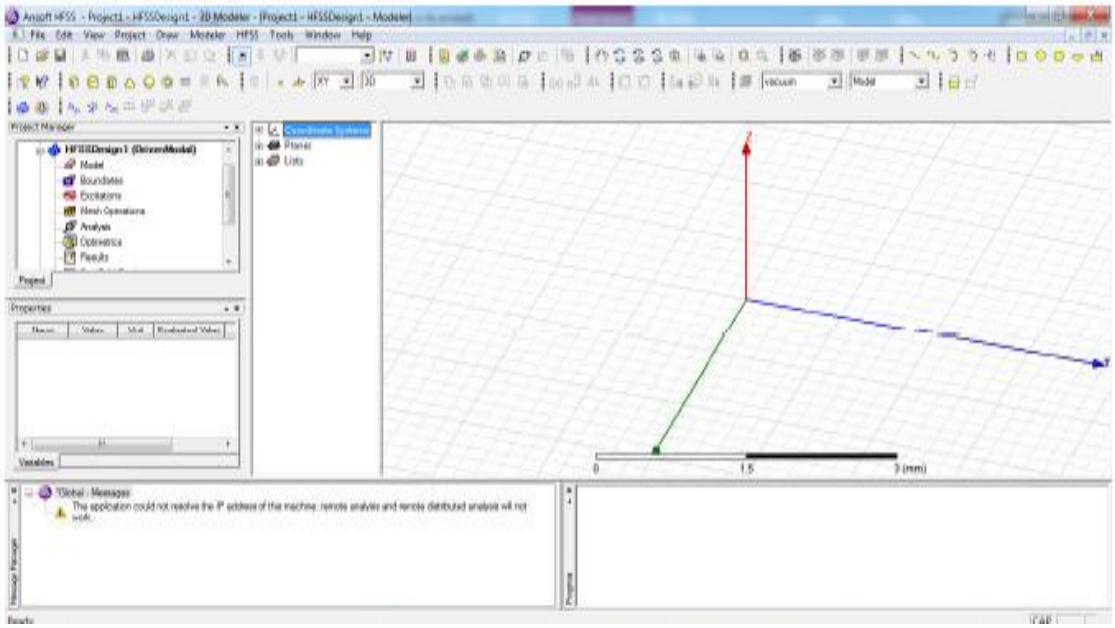


Figure II.4. Fenêtre de HFSS

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.

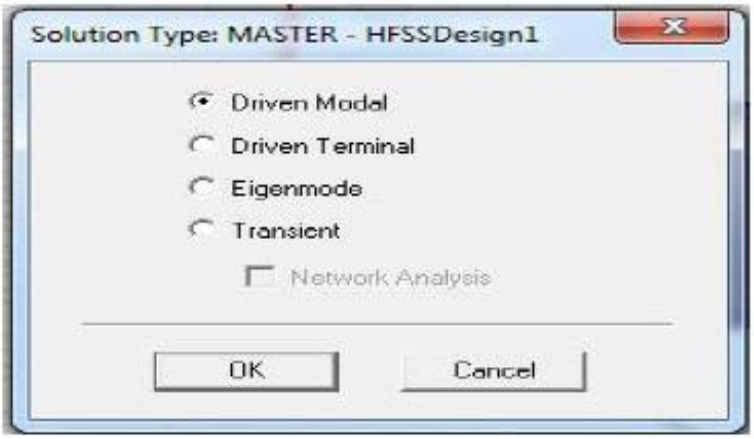


Figure II-5. Boîte de dialogue de Type de Solution

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

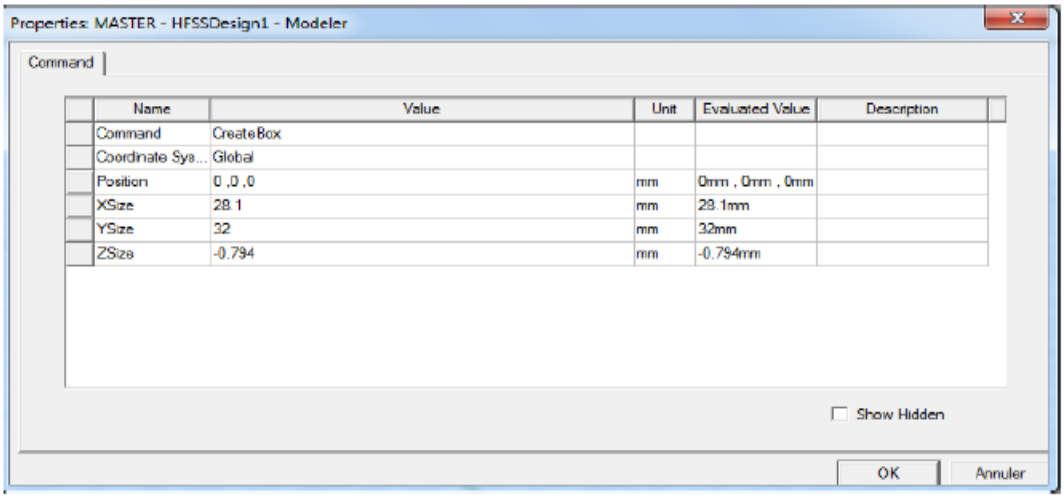
Nous pouvons choisir ou changer les dimensions du modèle à une unité pertinente (mm), par exemple. Sur le menu "**3DModeler**", cliquer sur "**Units**", La boîte de dialogue "**Set Model Units**" apparaît (Figure II-6), dans cette boîte de dialogue, cliquons "mm" à partir de la liste déroulante.



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 :



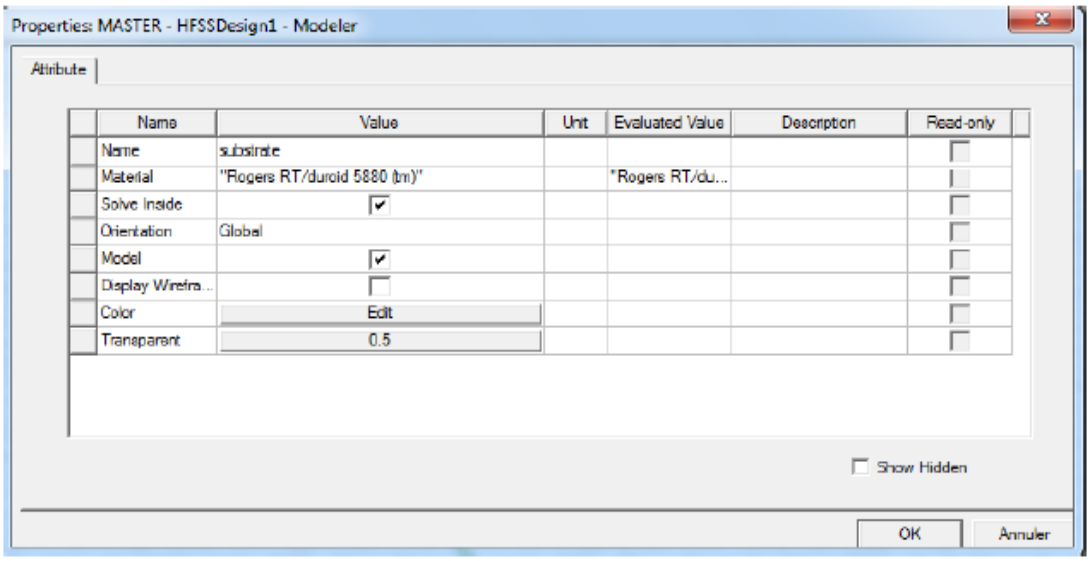
Choisir la matière de substrat :

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.

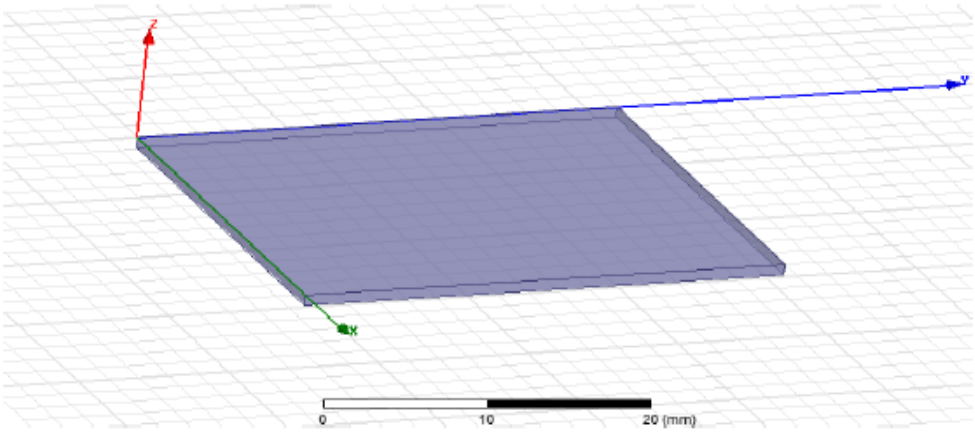


Figure II.7. Le Substrat diélectrique

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.

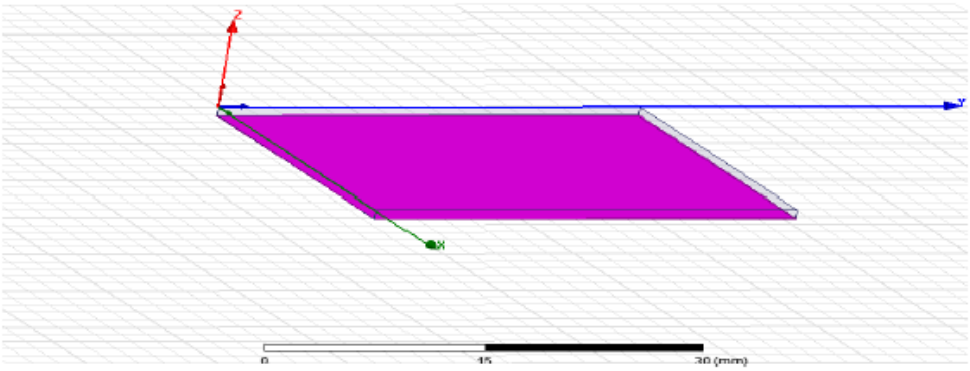
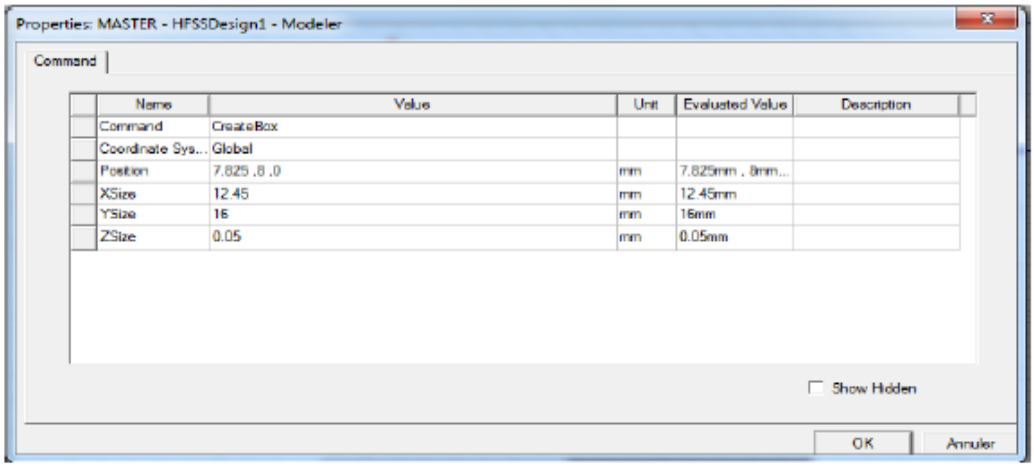
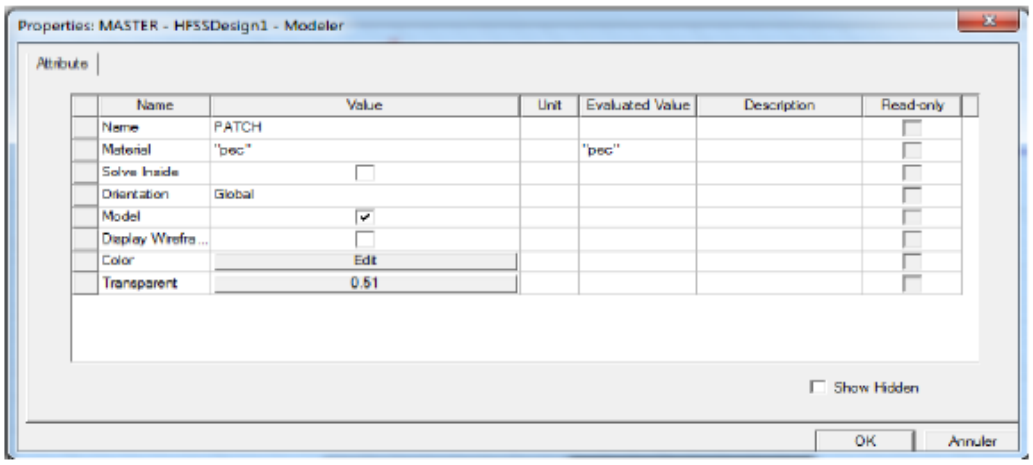


Figure II-8. Le plan de mass

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:



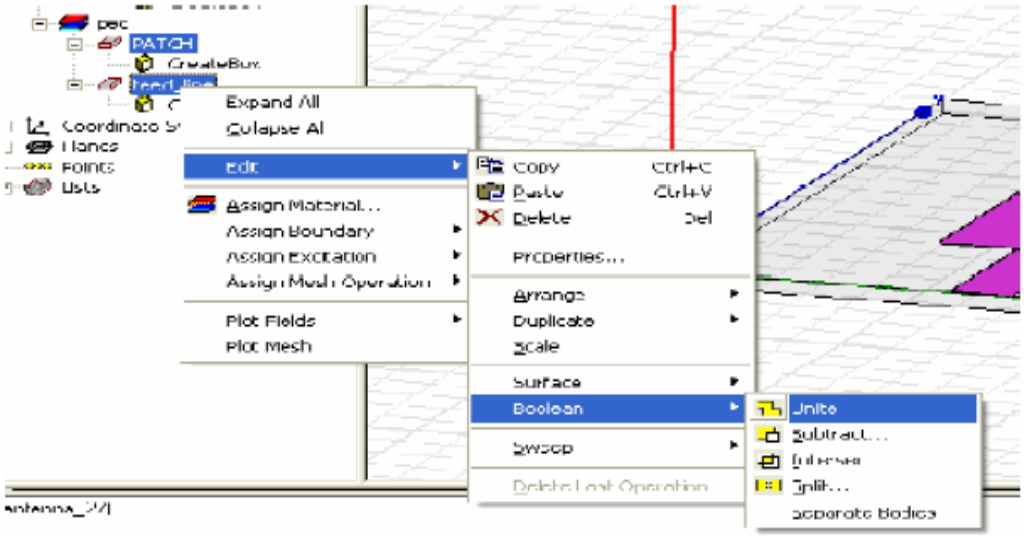


Après, dessiner la ligne d'alimentation en cliquant sur et suivre les mêmes étapes

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.

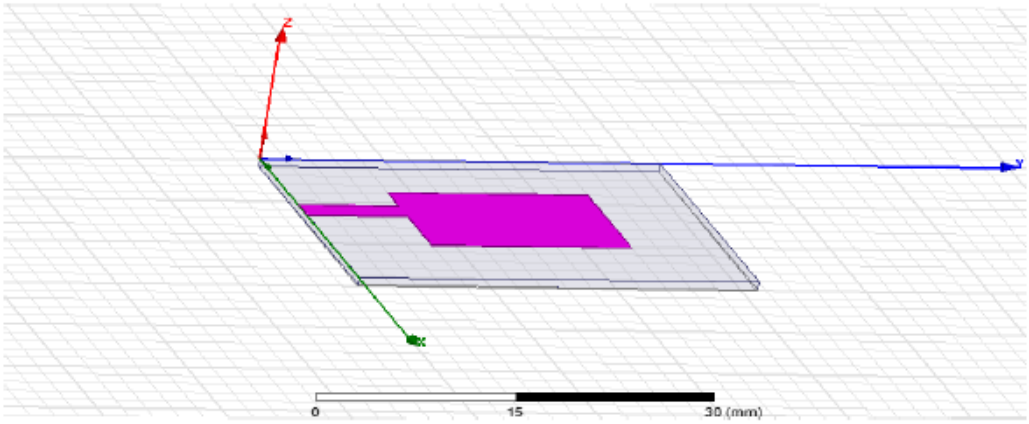
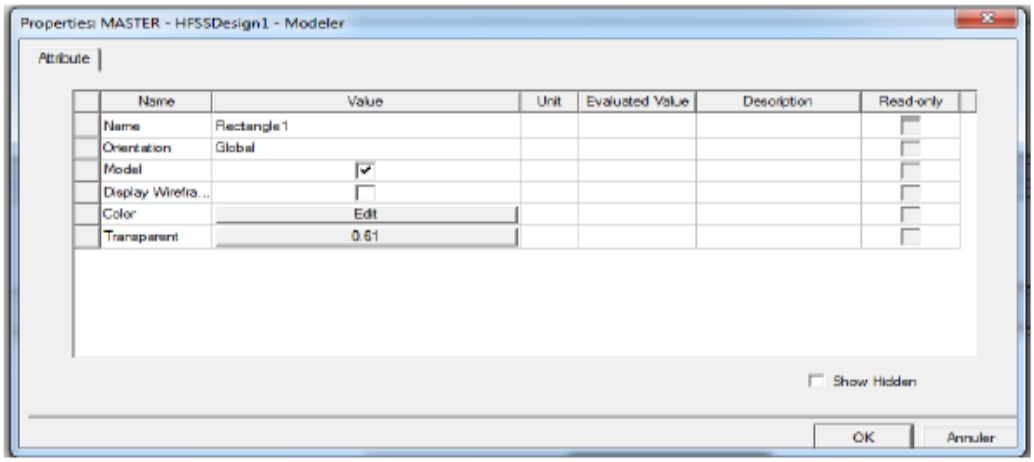
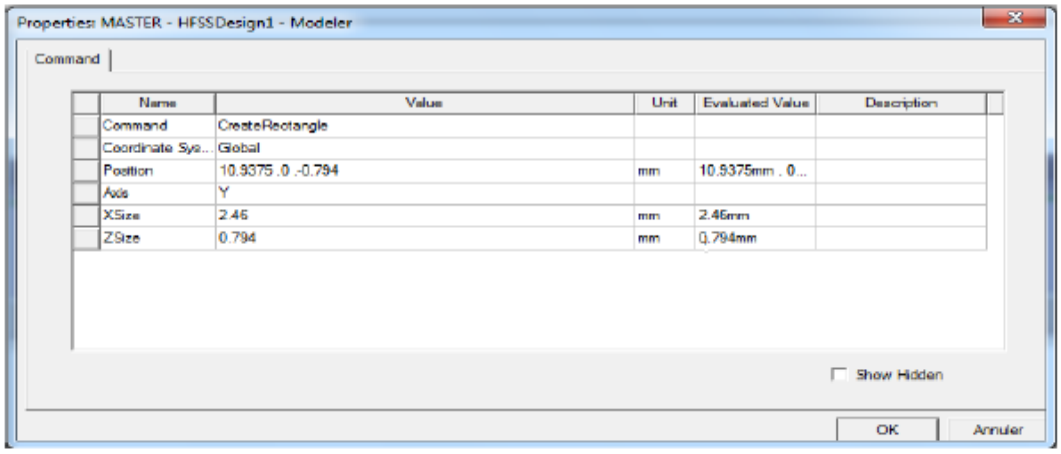


Figure II.9. Le patch et la ligne d'alimentation

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.

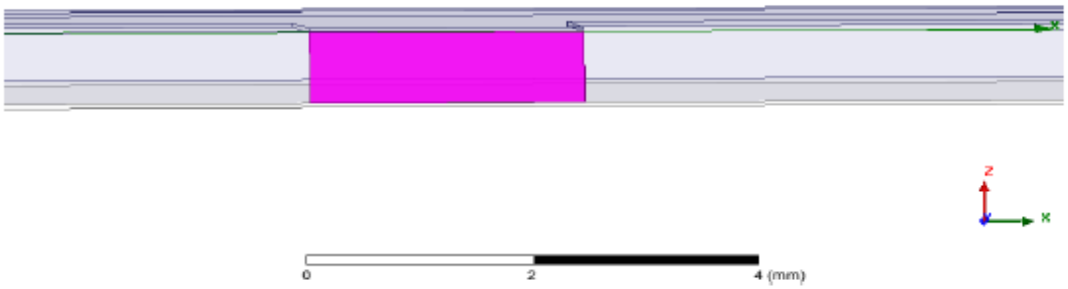


Figure II.10. Le port

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.

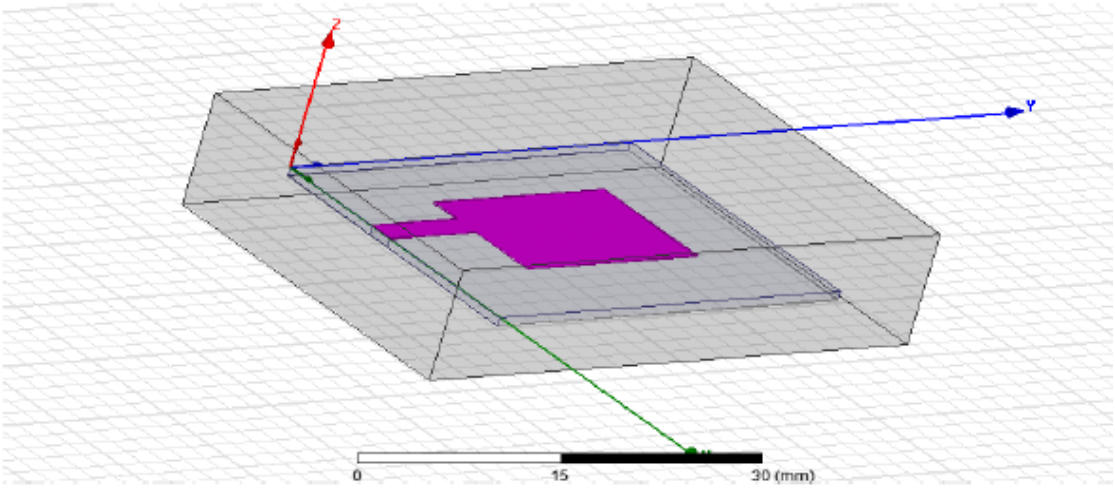


Figure II-11. Le boitier d'air

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.

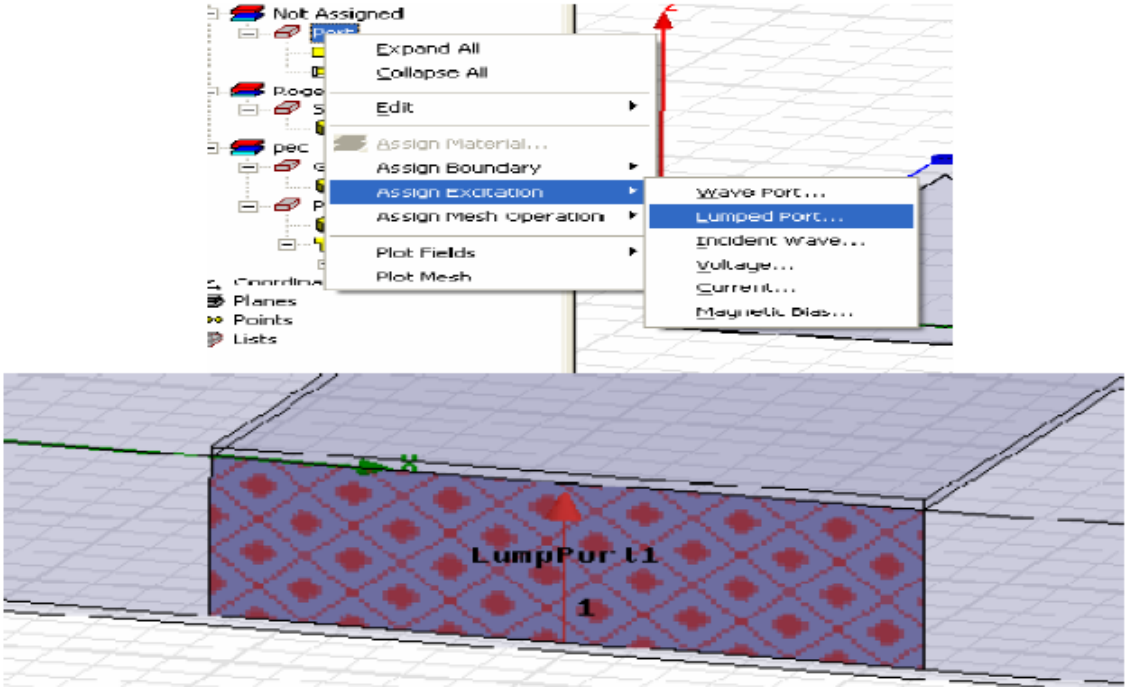


Figure II.12. Lumped port

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.

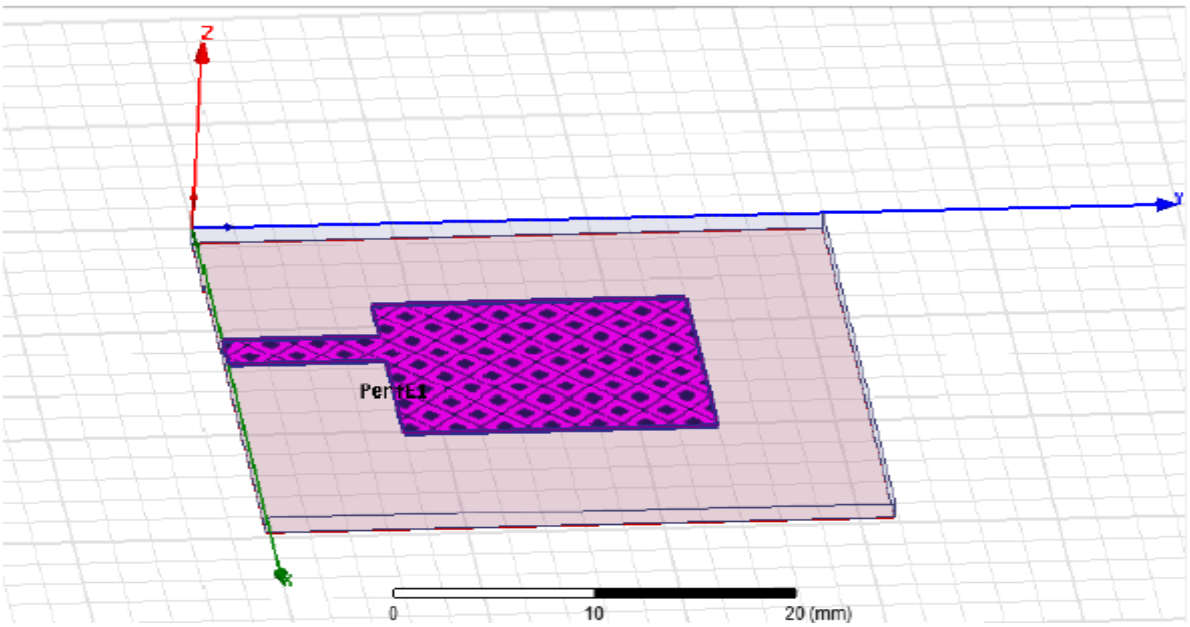


Figure II.13. Assignement de la condition "Conducteur parfait" pour le patch, la ligne microstrip d'excitation et le transformateur d'adaptation

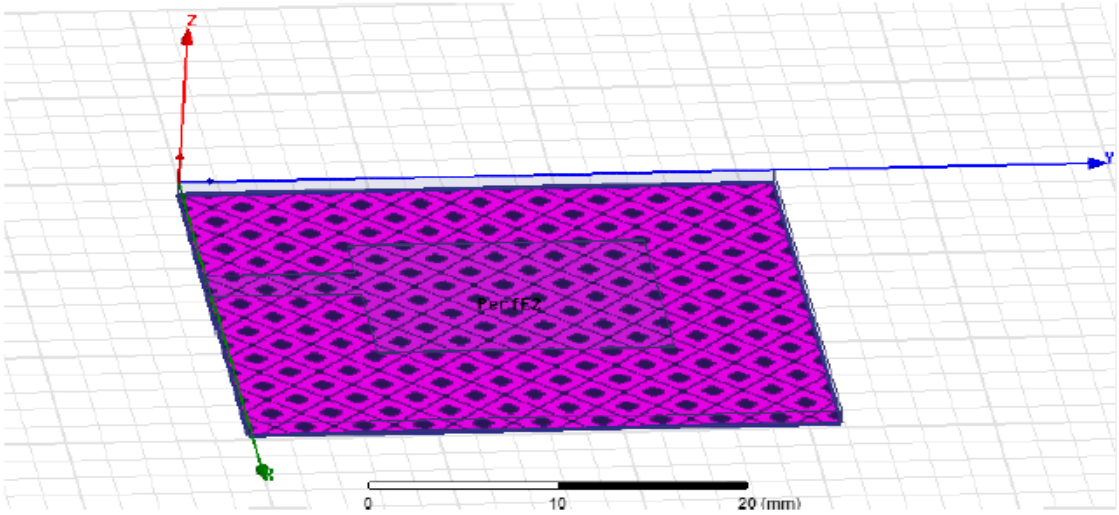


Figure II.14. Assignement de la condition "Conducteur parfait" pour le plan de masse

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

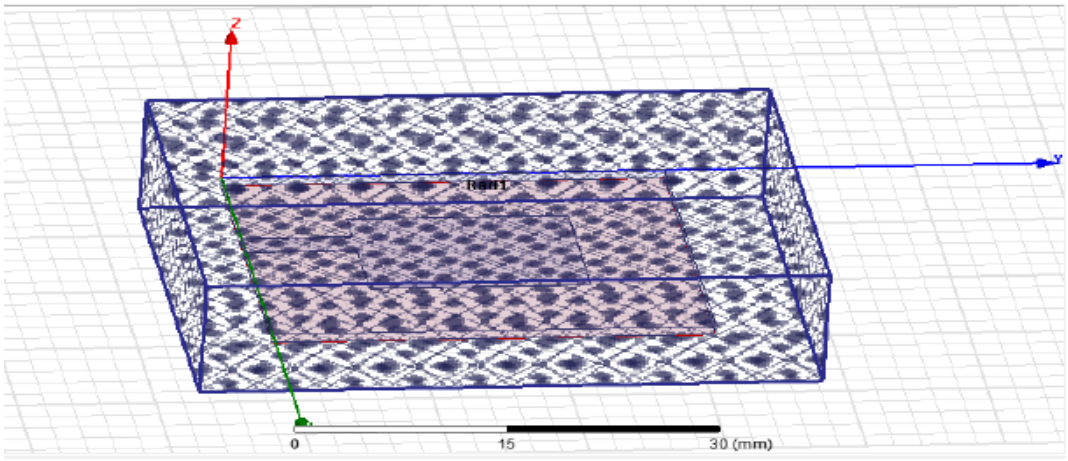


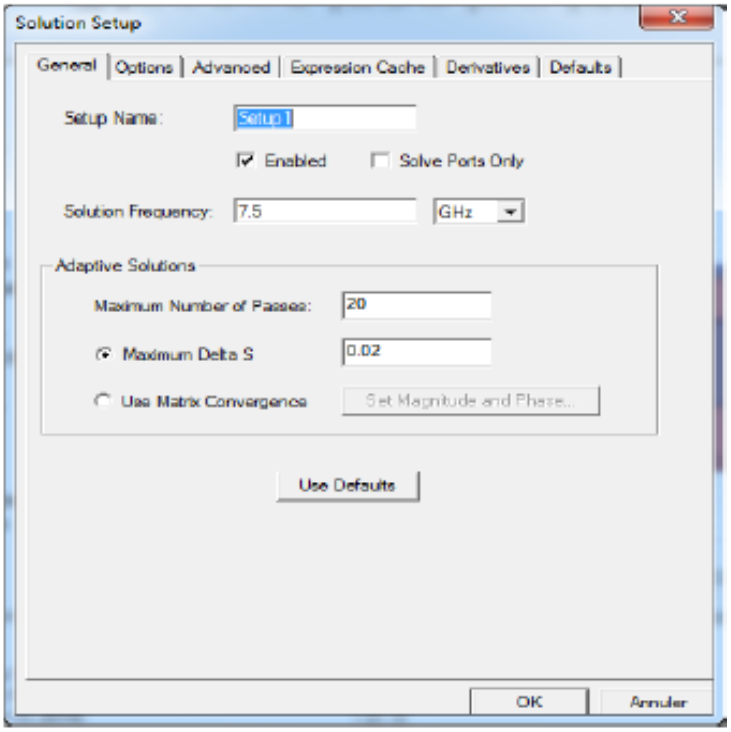
Figure II.15. Assignement des frontières

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

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

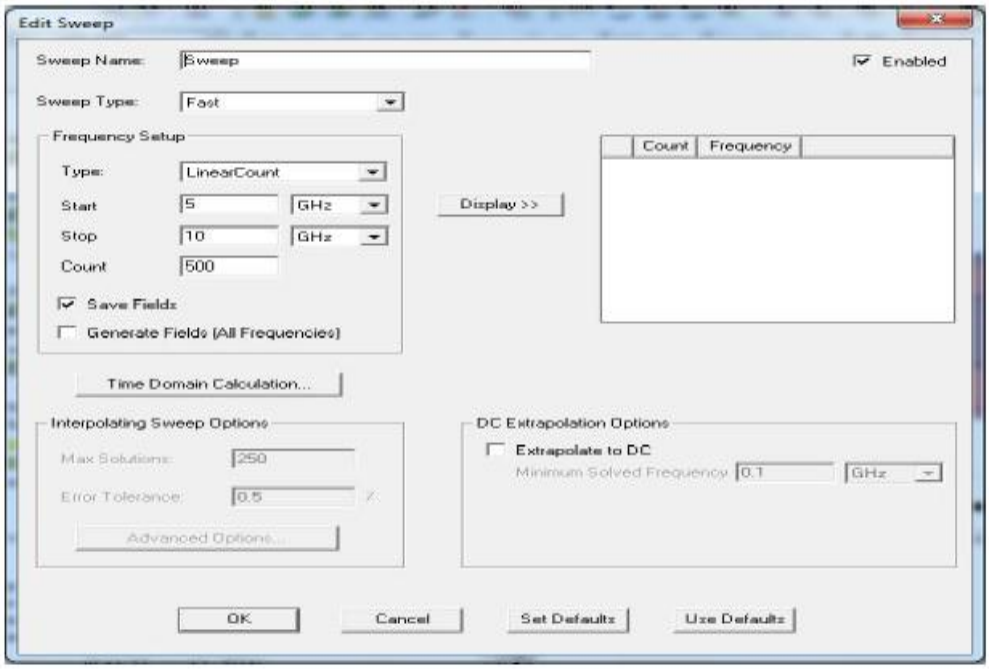
2) Dans la Fenêtre de **Solution Setup**

- 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**.

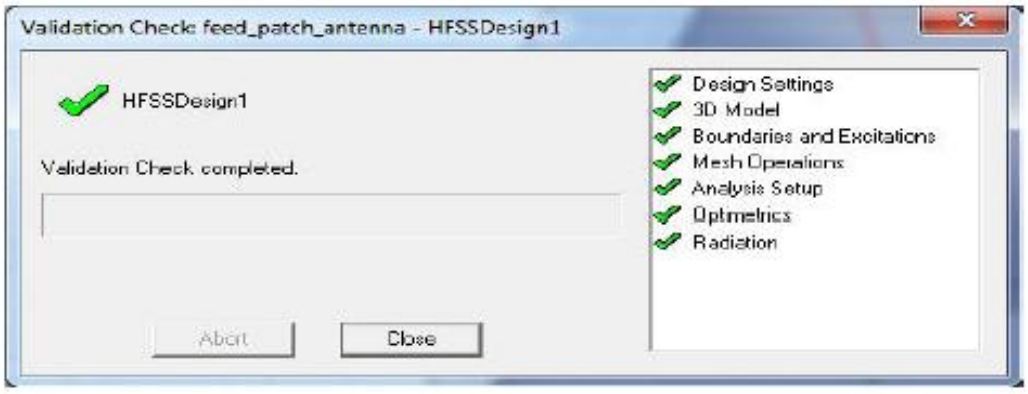


II.2.16 Analyse

- Pour valider le modèle:

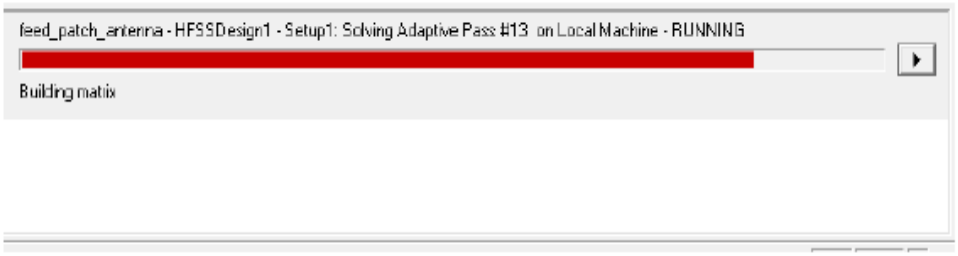
1) Choisir **Check** dans le menu **HFSS > Validation > Check.**

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



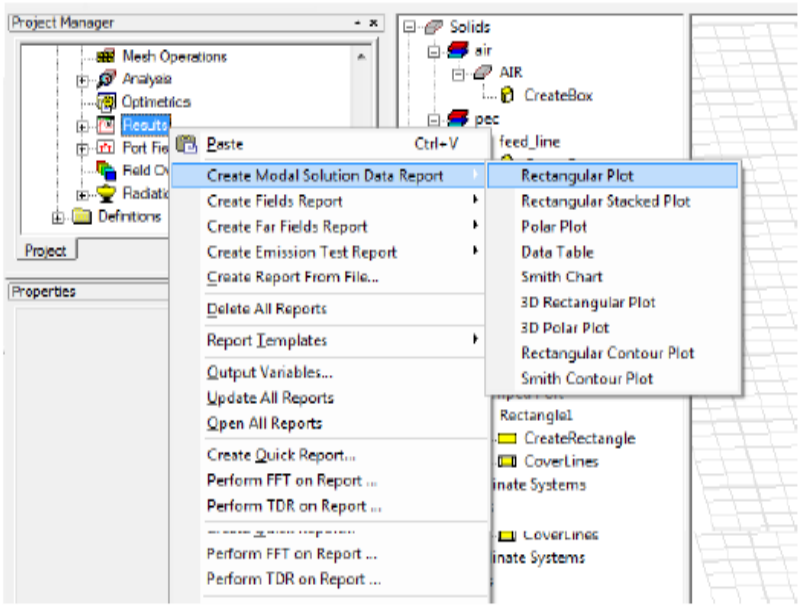
- Pour commencer le processus de solution:

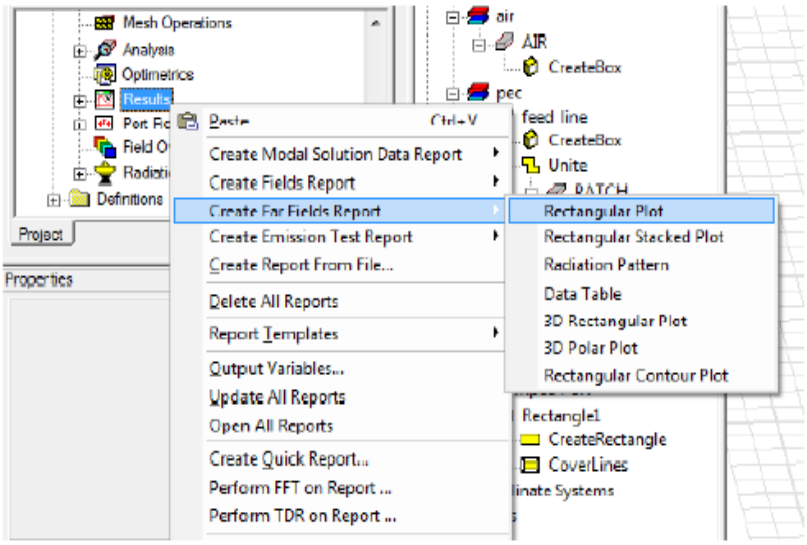
- Choisir dans le menu **HFSS >Analyze All.**

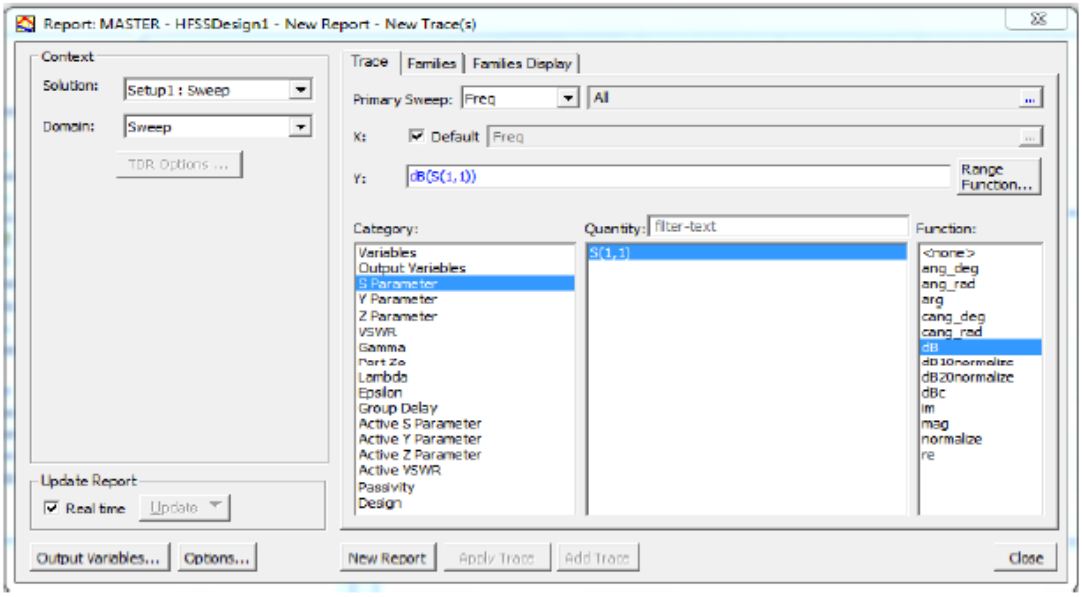


II.2.17 Créer les rapports

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.

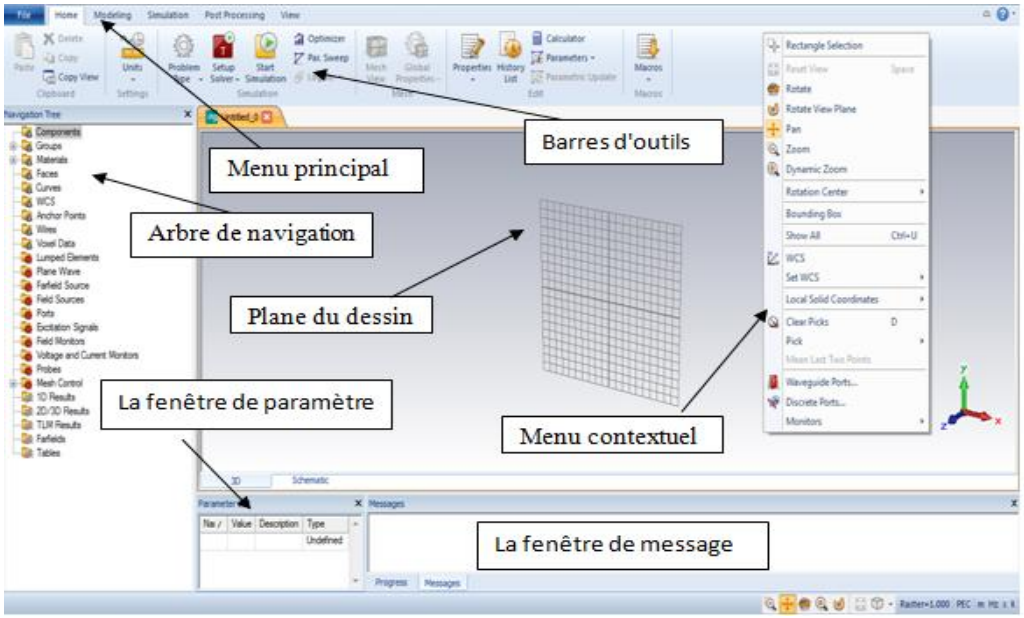


Figure II-16 La fenêtre principale du logiciel CST

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

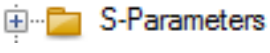
1. Activez l'outil de cube en cliquant sur l'icône correspondante  dans la barre d'outils de l'objet.

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 

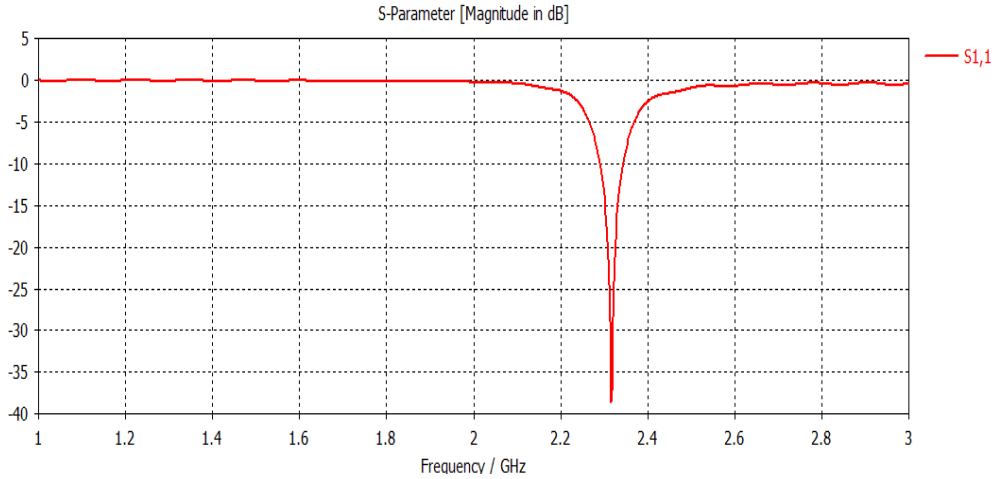


Figure II-17 variation du paramètre S_{11} d'un patch rectangulaire

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.