

### III.1. Introduction

Afin de modéliser et caractériser les antennes et les ensembles d'antennes, on va utiliser des méthodes numériques pour résoudre les équations d'onde. Le principe de ces méthodes numériques consiste en une discrétisation du domaine de calcul et des équations de Maxwell. On obtient une solution approximée. Le calcul numérique nécessite des ordinateurs assez puissants et le temps de calcul dépend surtout du rapport entre la longueur d'onde et la taille du domaine de calcul. Pour cela, dans ce chapitre on va voir des logiciels commerciaux très puissants tels que le HFSS Ansoft Corp. et CST Microwave Studio. La facilité de simulation sur de tels logiciels permette d'interpréter mieux et expliquer les résultats obtenus.

### III.2. Présentation du simulateur HFSS

Le logiciel HFSS de Ansoft Corporation est un logiciel commercial de simulation qui est élaboré pour apprendre le comportement des phénomènes électromagnétiques dans le domaine fréquentiel en résolvant les équations de Maxwell. Pour cela, il faut construire des objets en trois dimensions et leur assigner des caractéristiques (type de matériau, taille, épaisseur, ...). Il est également nécessaire de spécifier les sources électromagnétiques. Il est possible de paramétrer le système et de faire varier ces paramètres, itérativement, lors de la simulation. Les résultats sont présentés sous forme des graphes en 2D ou en 3D des différents paramètres S et les valeurs des champs électromagnétique (E&H).

Les principales étapes de la conception "**Design**" sous le simulateur HFSS sont illustrées par l'organigramme suivant

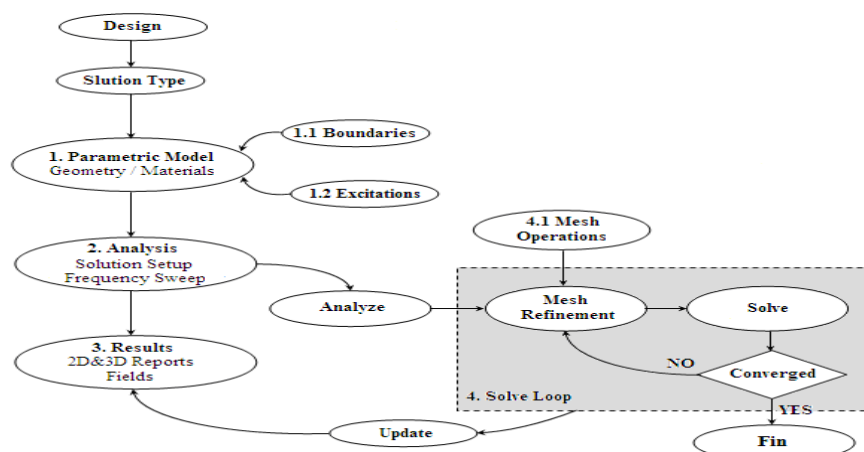


Fig.III.1 Organigramme des différentes étapes d'un design HFSS

### III.2.1. Comment commencer HFSS

Après l'installation du HFSS, lancer le facilement, en double cliquant sur l'icône Ansoft HFSS, un projet est énuméré dans l'arbre de projet dans la fenêtre de **Project Manager** et est appelé automatiquement project1 par défaut. Des définitions de projet, telles que la tâche, matériau, les états de frontière et des ports d'excitation sont stockées sous le nom de projet.

### III.2.2. Enregistrement du projet

Sur le menu fichier, cliquer **Save As**. Employer le navigateur de dossier pour localiser la chemin dans laquelle vous voulez sauvegarder le projet comme C:\Ansoft\HFSS15\Projects, puis en double-cliquant sur le nom du dossier puis taper le nom **Patchparexemple** dans **File Name** et cliquer sur **Save**.

### III.3. Insérer une conception de HFSS

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

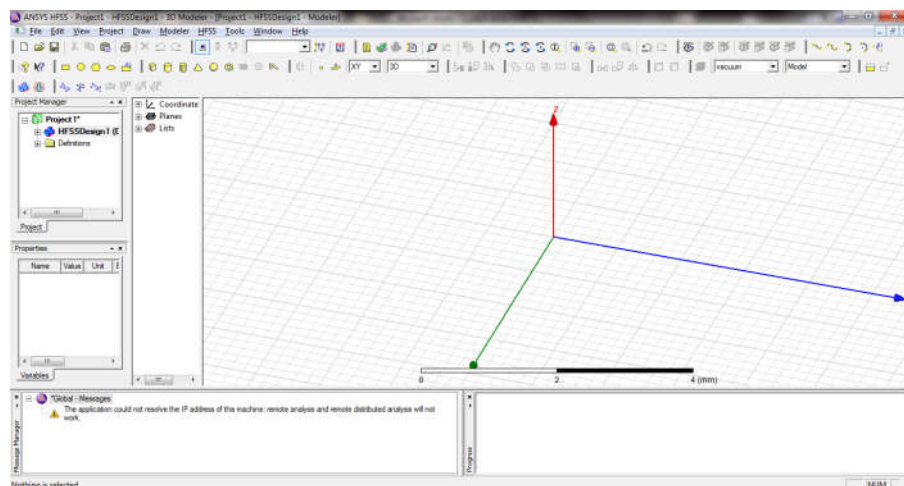


Fig.III.2 Fenêtre du simulateur HFSS

### III.4. Choix de type de solution

Pour créer une géométrie ou un modèle, il est nécessaire d'insérer un nouveau projet qui apparaît automatiquement sur la fenêtre "**Project Manager**". On va sélectionner 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 (Fig.III.3).

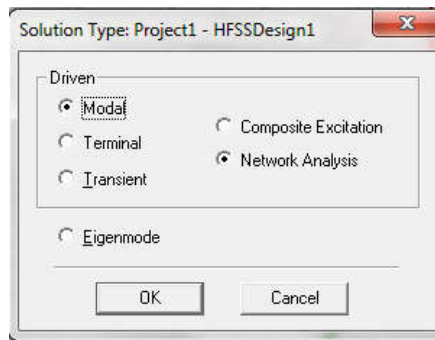


Fig.III.3Boîte de dialogue de Type de Solution

Dans notre travail, on va utiliser le type "**Driven Modal**" qui nous permet de calculer et afficher les résultats sous la forme des paramètres S des différents circuits passifs micro-ondes, les guides d'ondes et les lignes de transmission excitées par une source.

#### III.4.1. L'Arrangement des unités du modèle de mesure

Nous pouvons choisir ou changer les dimensions du modèle à une unité pertinente (mm). Sur le menu "**3D Modeler**", cliquer sur "**Units**", la boîte de dialogue "**Set Model Units**" apparaît (Fig.III.4), Dans cette boîte de dialogue, cliquons mm à partir de la liste déroulante.

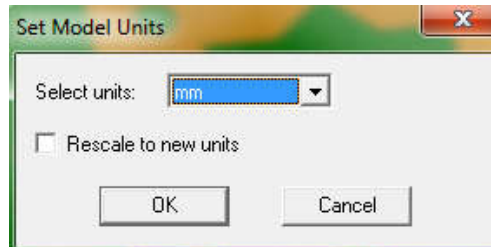


Fig.III.4Boîte de dialogue des Unités des Modèle

#### III.4.2. Création du Modèle

La clé de succès de l'utilisation du simulateur HFSS pour résoudre tout problème électromagnétique réside dans **l'optimisation** des modèles géométriques en trois dimensions. L'interface graphique du simulateur HFSS contient plusieurs commandes et des boutons qui nous permettent de dessiner des objets en 2D et en 3D avec des caractéristiques et paramètres spéciales (la permittivité, la conductivité, type de matériau,...).

Avant de créer le modèle étudié, il faut accéder à l'icône "**HFSS**", puis "**design properties**", passant par "**Add**" afin de régler les paramètres et les dimensions de la structure. (Fig.III.5).

L'antenne patch rapportée est créée par quatre boîtes (box), le premier pour le plan de rayonnement, le deuxième pour la ligne de micro-ruban, le troisième pour le substrat et le quatrième pour le plan de masse. Le plan de masse est spécifié par un état de frontière électriquement de conduction parfaite. Les coordonnées sont assignées comme suit où le point de départ pour le plan de masse est fixé à  $(0.0, -h)$ . La longueur,  $L$ , du substrat et de la largeur,  $W$ . Le dessin du modèle serait maintenant facile. Tout que nous devons faire est de compléter les coordonnées.

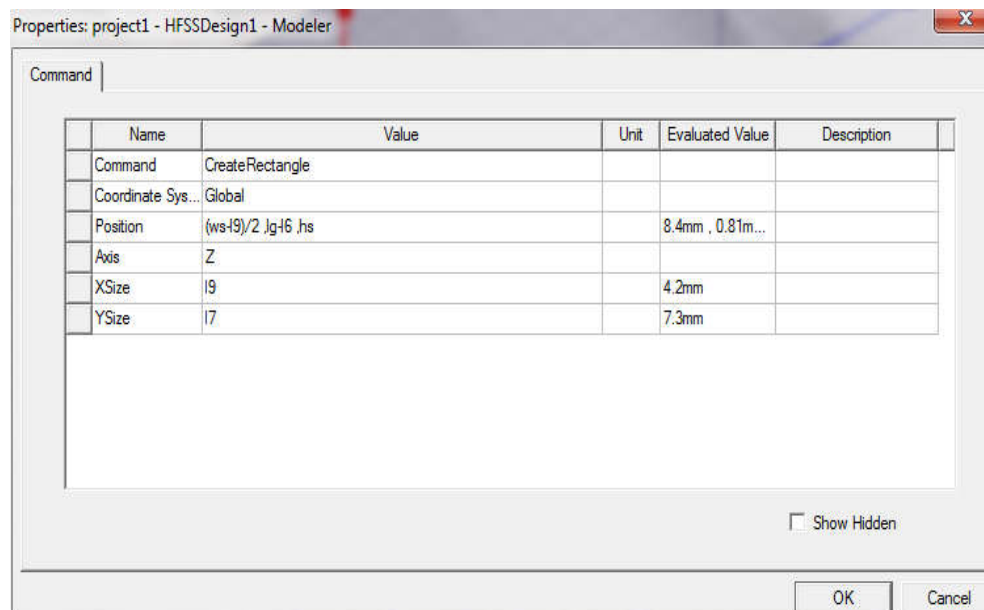


Fig.III.5 Déclaration et affectation des variables

L'antenne patch sera créée en 4 étapes eux même, la première pour la création des différents rectangles, la deuxième pour grouper tous ces rectangles dans un seul objet, la troisième pour les étoiles et le quatrième pour la ligne d'alimentation microruban.

Tout d'abord, on va commencer par l'élaboration du substrat, sélectionner l'icône spécifiée pour le dessin d'un Box et tracer ou placer le Box dans la fenêtre "**3D Modeler**", avec les dimensions de votre modèle, le substrat est illustré dans la Fig.III.6

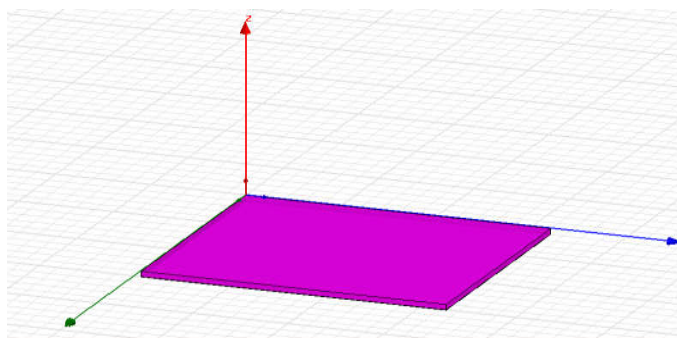


Fig.III.6 Création du substrat (diélectrique).

On va choisir le matériau du substrat utilisé par exemple, le Roger RT /Duriod5880(tm) de permittivité relative  $\epsilon_r = 1.96$  et de perméabilité relative  $\mu_r = 1$  en sélectionnant sur l'icône "3D Modeler", puis "Assign Matériel", La fenêtre de sélection apparaît "Sélect Définition" (Fig.III.7). Par défaut, il va proposer tous les matériaux dans la bibliothèque globale de HFSS aussi bien que la bibliothèque matériau local du projet. Les valeurs de paramètres du matériau sélectionné sont illustrées en détaille.

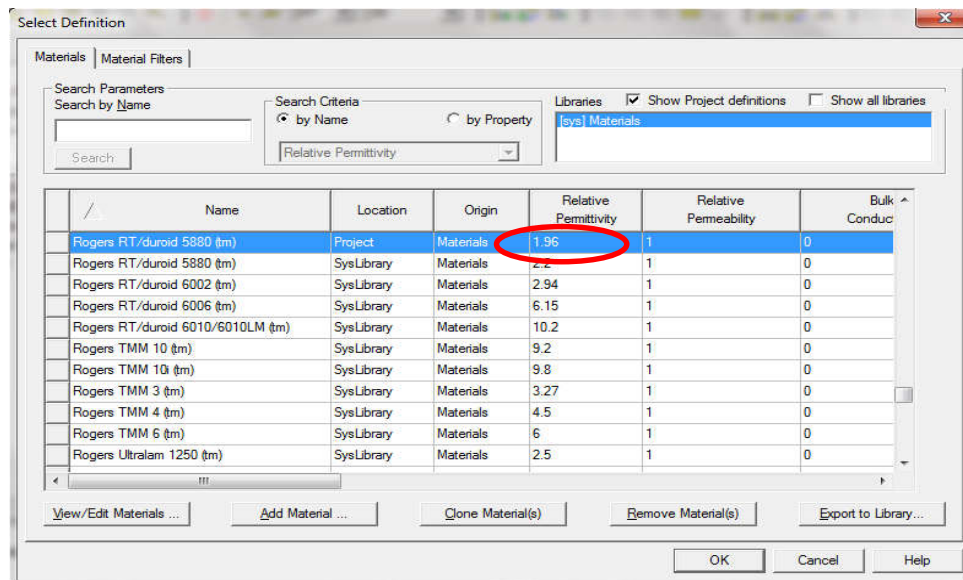


Fig.III.7 Fenêtre de Sélection de la matière pour le Substrat

Deuxièmement, pour tracer le patch d'antenne avec les mêmes étapes, créer un box, et insérer leur dimension et la position. Généralement, la matière de patch et de la masse sont de cuivre (Copper).

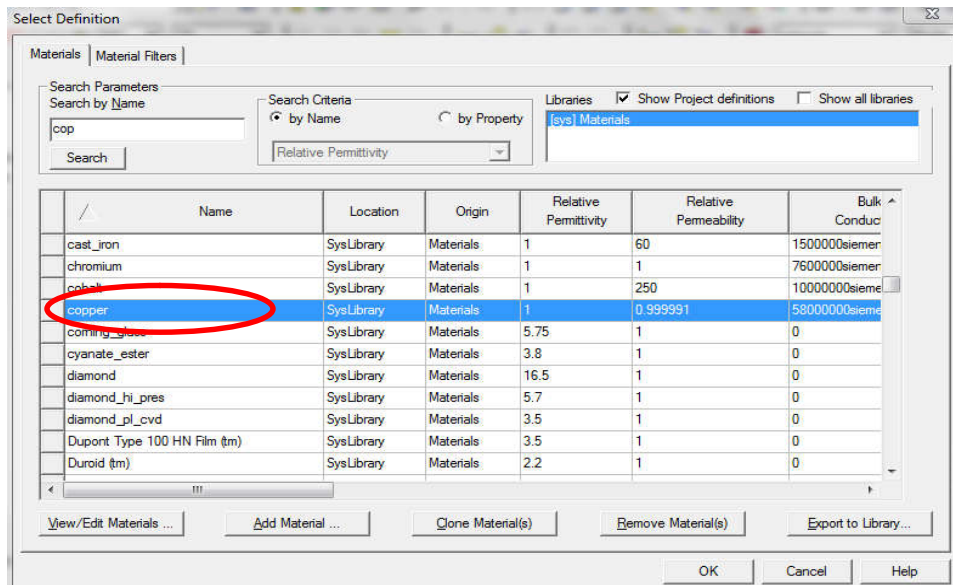


Fig.III.8 Fenêtre de choix du matériau de la masse

La position de chaque élément doit être précisée. Pour la ligne de transmission, les mêmes étapes précédentes sont suivies, créer un box avec les dimensions et la position.

Afin de terminer toutes les 3 parties précédentes, on fait raccorder ou grouper les éléments de l'antenne (microruban et le patch) pour obtenir une antenne patch complète. La commande "Units" contenue dans le menu "3DModeler" permet d'accomplir cette opération en cliquant sur **Modeler>Boolean>Unite**

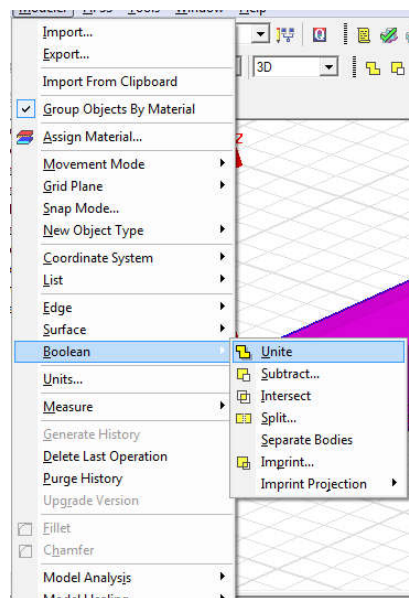


Fig.III.9.L'assemblage des parties de l'antenne

### III.4.3. Les conditions aux limites

Dans HFSS, "**Radiation Boundaries**" sont utilisées pour simuler les problèmes ouverts avec un rayonnement infini dans l'espace, comme les 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**".

On va commencer par la création 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 (domaine de compilation) 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 frontières type "**Radiation**" ou "**Perfect H**". Le box à dessiner est placé dans la même position du substrat, avec les mêmes largeurs et longueurs et hauteur.

Pour attribuer une frontière "**Radiation boundary**" au box, on le sélectionne, on clique sur le menu HFSS puis la commande "**Assignboundary>Radiation**".

### III.4.4. Choix de l'excitation

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 suivants :

<b>Wave Port</b>	Représente la surface par laquelle un signal entre ou sort de la géométrie
<b>OndeIncidente</b>	Représente la propagation d'une onde impact sur la géométrie.
<b>Lumped Port</b>	Représente une surface interne par laquelle un signal entre ou sort de la géométrie
<b>Incident Wave</b>	Représente un champ électrique constant à travers les points d'une alimentation
<b>Volotage Source</b>	Représente un courant électrique constant à travers les points d'une alimentation
<b>Magnetic Bias</b>	Utilisé pour définir le champ intérieur net qui influe sur un objet de matérielleen ferrite (3D)

Tableau III.1. Les différents types d'excitations pour le type de solution " Driven Model"

Faisant placer le modèle complet, la seule partie absente est l'excitation. L'excitation est un port de guide d'ondes au début de la ligne de micro ruban, le plan de référence de ce port est situé directement au début de plan de rayonnement. L'antenne est alimentée par le port. Nous devons créer le port de type **Lumped port** utilisant la commande "**Assign excitation>Lumped port**"

### III.4.5.L'analyse du modèle

Maintenant, nous devons identifier notre installation d'analyse. Pour créer une analyse, on va choisir dans le menu : **HFSS >Analysis Setup >Add Solution Setup** afin d'ajouter une gamme de fréquence pour faire l'analyse pendant la simulation.

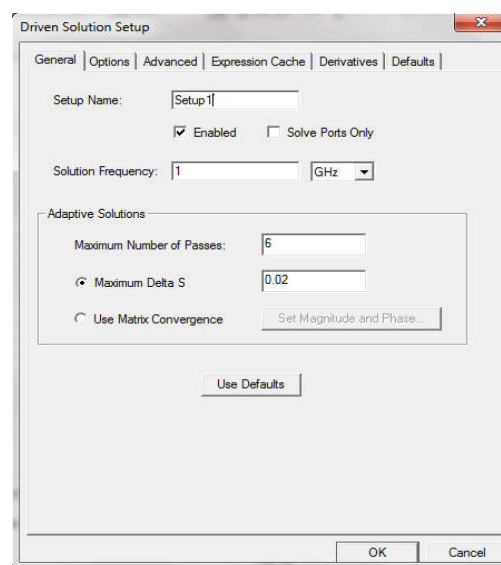


Fig.III.10. Identification de la solution.

- Solution frequency (fréquence de résonance): 7.55 GHz
- Maximum number of passes : 20
- Maximum Delta S : 0,02

En outre, dans l'onglet "**Solution setup**", le minimum des passes convergeant a été changé à 1, un balayage rapide de 5 GHz à 10GHz est choisis, la solution fréquentielle (fréquence de résonance) doit être alignée au sein de la gamme de fréquence du balayage et près de la bande passante. En plus, les données sur le champ sont enregistrées pour chaque fréquence dans le balayage; elles doivent être sauvegardées afin de faire tous les calculs de Post-Processing.



Finalement, on doit s'assurer que tous les éléments du dessin sont corrects et que toutes les étapes sont complètes. Pour ce faire, on clique sur l'icône "**Validation check**".

Ensuite on lance l'exécution de notre analyse à partir de l'icône "**Analyse**", la fenêtre apparaît en bas de l'écran montre la tâche en cours du solveur et le pourcentage effectué (Fig. II.11).

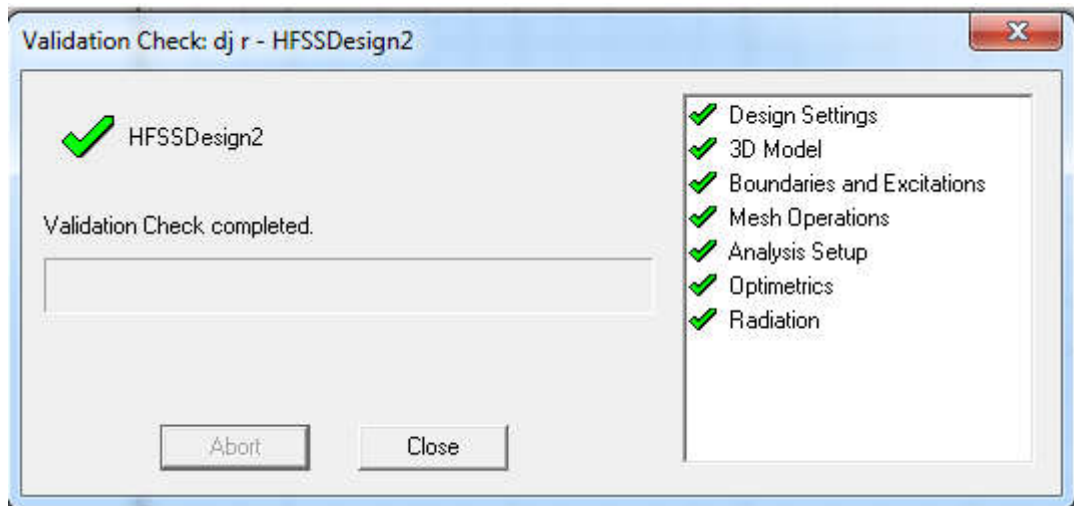


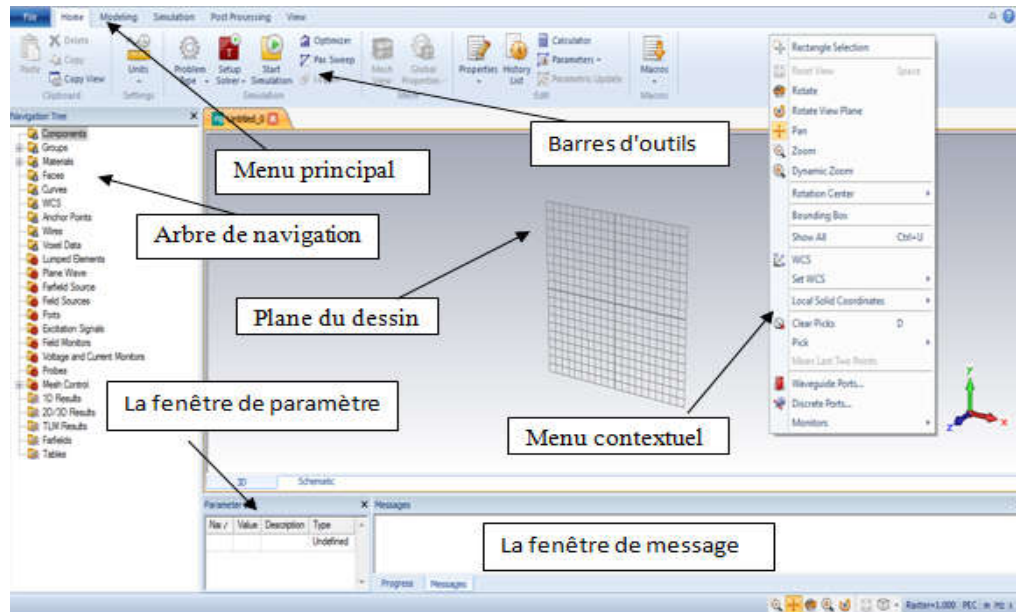
Fig.III.11. Fenêtre de contrôle de validation (Avant de faire l'analyse)

### III.5. Description du logiciel de simulation CST

CST Microwave Studio est un logiciel de simulation électromagnétique de structure passives en 3 dimensions basé sur la résolution des équations de Maxwell suivant la technique des équations intégrales (Finite Intégration Technique) . Cette méthode numérique offre une discrétisation de l'espace permettant la description directement en 3-dimensions de tous les composants des systèmes décrits, ce qui lui permet d'être appliqué à de nombreux problèmes électromagnétiques allant de la statique aux hyperfréquences en analyses temporelle et fréquentielle. De plus, contrairement à la plupart des logiciels de simulation électromagnétique, CST, d'une par sa méthode, discrétise la forme intégrale des équations de Maxwell plutôt que leurs formes différentielles. La méthode est une caractéristique clé de CST Microwave qui approche est donne le choix de type de simulateur ou un treillis qui est le mieux adapté à un problème particulier [25].

CST Microwave Studio est vu par un nombre croissant d'ingénieurs comme un outil de développement standard de l'industrie qui offre à ses clients le choix de six modules solveur puissants.

CST Microwave Studio fait partie de la CST design studio suite, et offre un certain nombre de solveurs différents pour différents types d'application. Étant donné aucune méthode ne fonctionne aussi bien dans tous les domaines d'application.



Figure

III.12 La fenêtre principale du logiciel CST

### III.5. 1. Modules deCST

L'outil CST est constitué d'un certain nombre de modules appelés « solveurs ».

#### a) Un solveurtransitoire

Il s'agit d'un module 3D général qui permet d'obtenir des simulations en temps réel, ce qui peut être intéressant pour étudier la propagation du champ dans un composant électronique en fonction du temps [26].

#### b) Un solveurfréquentiel

Comme le solveur transitoire, il est constitué d'un solveur général basé sur une méthode fréquentielle. Selon la structure étudiée, le maillage peut être cartésien ou tétraédral[27].

#### c) Un Solveurintegral

Ce solveur est dédié aux plus grandes structures électriques. Il se fonde sur la méthode des moments avec une formulation intégrale des champs électriques et magnétiques. Afin de réduire la complexité numérique l'approche MLFMM (Multi levelFastMultipoleMethod) est utilisée [26].

**d) Un Solveurmodal**

Ce solveur est dédié à des simulations de structures fermées résonantes. Les résultats qui peuvent être obtenus sont par exemple la distribution des modes ainsi que les fréquences de résonance de la structure [26].

L'outil le plus flexible est le solveur transitoire, qui peut obtenir le haut débit et le comportement en fréquence du dispositif simulé. Ce solveur est efficace pour la plupart des types d'applications à haute fréquence tels que les connecteurs, lignes de transmission, filtres, antennes et plus encore.

**III.6.Principales caractéristiques de logicielCST**

Les principales caractéristiques de logiciel CST Microwave Studio sont :

- Rapide et efficace.
- Très bonne performance en raison de rapprochement frontière Perfect (PBA). fonctionnalité pour les unités à l'aide d'une grille hexaédrique. Les solveurs transitoires et mode propre également en charge la technique Tôle mince(TST).
- La structure peut être vue soit comme un modèle 3D ou un schéma. Ce dernier permet un raccordement facile de l'EM de simulation avec la simulation de circuit modélisation de lastructure.
- Avancée basée sur ACIS1, paramétrique fin solide devant la modélisation avec une excellente la visualisation destructures.
  
- Caractéristique hybride à base de modélisation permet un change mentrapide des structurels.
- L'importation de données CAO 3D par la SAT (par exemple Auto CAD).
- L'importation de données CAO 2D par DXF, Gerber RS274X GDSII et, fichiers RS274D.
- Importation de données EDA de la conception, y compris les flux Cadence Allegro / APD / SIP, Mentor Graphics Expeditions, Mentor Graphics PADS.
- L'importation de conceptions de PCB provenant de Sim Lab PCB Mod / CST PCB Studio.
- Interface utilisateur graphique basée sur Windows XP, Windows Vista, Windows 7 et Linux.
- L'importation de modèles 2D et3D.
- Importer de l'ADS d'Agilent.

- Importation de modèles Sonnet EM.
- Importation d'un ensemble de données modèle humain visible ou d'autres ensembles de données.
- Export des données de CAO par SAT, IGES, STEP, NASTRAN, STL, DXF, Gerber, la RDC ou fichiers POV.
- Paramétrage des fichiers de CAO importés.
- Base de données des matériaux.
- Modèles de structure pour la description du problème simplifié

### **III.8.Conclusion :**

Dans ce chapitre, on a présenté les principales fonctionnalités des simulateurs HFSS et CST avec les différentes étapes; illustrations faites sur une antenne patch excitée par une ligne microstrip, l'optimisation d'une antenne. On a vu aussi les méthodes numériques qui sont utilisées par ces logiciels et comment faire une conception d'une antenne microruban de début jusqu'à la fin.

Comme on a vu, la conception et l'analyse d'une antenne patch est facile par ces simulateurs, dans le chapitre suivant, on va utiliser le HFSS et CST pour faire la conception et l'analyse d'une antenne patch pour la détection d'une tumeur comme le cancer du sein.