

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU**



**FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE**  
**DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE**

**Mémoire de fin d'études de**  
**MASTER ACADEMIQUE**  
**Spécialité : Télécommunication et réseaux**

**Présenté par :**

**BERROUA Nora**

**GHERIS Akila**

## **Thème**

**Etude paramétrique et simulation de**  
**l'antenne patch sous CST**

**Mémoire soutenu publiquement le 04/07/2017 devant le jury composé de :**

<b>Y.ATTAF</b>	<b>Maitre de conférences B UMMTO</b>	<b>Président</b>
<b>H. KANANE</b>	<b>Maitre de conférences B UMMTO</b>	<b>Promoteur</b>
<b>M.TAHANOUT</b>	<b>Maitre de conférences B UMMTO</b>	<b>Examineur</b>

## *Remerciement*

*Avant toute chose, nous remercions Dieu tout Puissant, miséricordieux et clément, pour nous avoir donné santé, patience, Volonté et courage.*

*Nous tenons cordialement à exprimer notre profonde et Respectueuse reconnaissance à notre promoteur **Mr KANANE H.**, pour la confiance qu'il nous a accordé en acceptant de diriger ce projet de fin d'études, ainsi que pour sa disponibilité, sa gentillesse et ses précieux conseils qui nous ont permis de nous orienter vers les voies de recherche.*

*Nous exprimons notre gratitude à tous les professeurs et enseignants qui ont collaborés à notre formation durant notre cursus universitaire à UMMTO.*

*Nous remercions infiniment les membres du jury qui nous font l'honneur de juger et critiquer notre travail.*

## *Dédicaces*

*Je dédie ce travail :*

*A la lumière de ma vie, mes très chers parents.*

*A mes très chères sœurs : Radia, Taous et Lynda*

*A mes très chers frères : Bilel et Koussayla.*

*A mon fiancé : Sid Ali et toute sa famille*

*A mes beaux-frères : Samir et Karim.*

*A toutes ma famille*

*A tous ceux que j'aime et qui m'aiment.*

*Nora*

## *Dédicaces*

*Je dédie ce travail :*

*A la lumière de ma vie, mes très chers parents.*

*A mes très chères sœurs : Fatiha et Hakima*

*A mes très chers frères : Mohamed, Farid et Mounir.*

*A ma belle sœur : Nathalie*

*A mon neveu : Akçil*

*A mon beau-frère: Brahim.*

*A toutes ma famille*

*A tous ceux que j'aime et qui m'aiment.*

*Akila*

## Table des matières :

Remerciement	
Dédicaces	
INTRODUCTION GENERALE .....	01

### **CHAPITRE I : PRESENTATION DU LOGICIEL CST**

I-1 Introduction .....	03
I-2 Définition du logiciel CST STUDIO SUITE .....	03
I-3 Démarrage du logiciel .....	04
I-4 Description générale des outils CST .....	07
I-5 Dessiner une structure .....	07
I.6 Configuration du modèle.....	25
I-7 Configurer les ports .....	27
I.8 Le maillage .....	28
I.9 Calcul des champs .....	28
I.10 Commencer une simulation.....	28
I.11 Résultat de simulation.....	29
I.12 Optimisation et variation de paramètre .....	30
I.14 Conclusion.....	32

### **CHAPITRE II : SIMULATION DES ANTENNES PATCH ET ETUDE PARAMETRIQUE**

II-1 Introduction.....	33
II.2 Description générale de l'antenne patch .....	34
II.2.1 Antenne imprimée ou patch .....	34
II.2.2 Structure d'une antenne imprimée.....	34
II.2.3 Les différentes formes d'une antenne patch .....	35
II.2.4 Principe de fonctionnement.....	35
II.3 Techniques d'alimentation des antennes patch .....	36

II.3.1 Alimentation par contact .....	37
II.3.2 Alimentation par proximité .....	38
II.4 Application des antennes micro-ruban .....	40
II.5 Avantages et limitation des antennes patches .....	40
II.6 les paramètres géométriques de l'antenne patch .....	41
II.7 Calcul des dimensions théoriques du patch sous Matlab .....	43
II.8 Simulation d'une antenne patch alimentée par une ligne microruban .....	45
II.8.1 Construction du modèle .....	46
II.8.2 Excitation du modèle .....	52
II.8.3 la configuration du modèle .....	53
II.8.4 Simulation du modèle .....	55
II.9 Étude paramétrique (effet des paramètres géométriques).....	58
II.9.1 Effet de la longueur du patch L .....	59
II.9.2 Effet de la largeur du patch W.....	59
II.9.3 Effet de l'épaisseur h du substrat.....	60
II.9.4 Effet de la largeur de la ligne microruban wf.....	61
II.9.5 Effet de la largeur gpf du l'encoche .....	61
II.9.6 Effet de la longueur de l'encoche .....	62
II.9.7 Effet de la permittivité diélectrique du substrat .....	64
II.10 simulation d'une antenne patch alimentée par un câble coaxial .....	65
II.10.1 Construction du modèle .....	65
II.10.2 Excitation du modèle .....	73
II.10.3 Configuration du modèle.....	74
II.10.4 Simulation du modèle .....	76
II.11 Étude paramétrique (effet des paramètres géométriques) .....	80
II.11.1 effet de la largeur W et la longueur L du patch .....	80
II.11.2 Effet de point d'alimentation d .....	81
II.11.3 Effet de l'épaisseur h du substrat .....	82
II.11.4 Effet de la permittivité diélectrique du substrat .....	83
II.12 Conclusion .....	83

## **CHAPITRE III : MESURES PRATIQUES DES ANTENNES PATCH**

III.1 Introduction .....	84
III.2 L'analyseur de réseaux .....	84
III.3 Principe de fonctionnement .....	85
III.4 Schéma de mesure .....	85
III.5 Les paramètres S .....	86
III.6 Les mesure sur l'analyseur de réseau .....	87
- la mesure des paramètres $S_{11}$ par l'analyseur de réseau .....	87
III.7 Banc de mesure du diagramme de rayonnement .....	88
III.8 Comment tracer le diagramme de rayonnement d'une antenne avec Lucas nulle- Unitrain ?.....	91
III.9 Antenne patch à polarisation linaire .....	96
III.9.1 Diagramme de rayonnement théorique de l'antenne patch à polarisation linaire..	96
III.9.2 Diagramme de rayonnement pratique de l'antenne patch à polarisation linaire ...	97
III.10 Conclusion .....	97
 CONCLUSION GENERALE .....	 98

# Liste des figures

---

## Chapitre I :

Figure I.1	Création d'un nouveau projet .....	04
Figure I.2	Choix du type de simulation.....	04
Figure I.3	Choix de l'environnement de simulation .....	05
Figure I.4	Le choix du type d'antenne .....	05
Figure I.5	Le choix du domaine de résolution.....	05
Figure I.6	Le choix des unités et la gamme de fréquence d'étude .....	06
Figure I.7	Fin de la création de nouveau projet .....	06
Figure I.8	La fenêtre de Quick Start Guide .....	06
Figure I.9	L'interface du logiciel CST MWS.....	07
Figure I.10	Dialogue d'ajout d'une forme de base .....	08
Figure I.11	Les formes de base utilisés pendant le dessin des structures .....	08
Figure I.12	Sélectionner une forme .....	09
Figure I.13	Création d'un nouveau matériel .....	10
Figure I.14	Les outils d'observation de la structure .....	10
Figure I.15	Les outils de transformation géométrique.....	11
Figure I.16	Exemple d'une translation de 10 selon l'axe x d'une brique avec un facteur de répétition de 2 et avec une conservation de la brique d'origine.....	12
Figure I.17	Combinaison d'une brique avec une sphère.....	13
Figure I.18	Sélectionner une face de cylindre .....	15
Figure I.19	Dialogue d'extrude d'une face .....	15
Figure I.20	Création d'une deuxième forme de la face sélectionnée par l'outil ' <b>Extrude</b> '. ..	16
Figure I.21	Sélectionner une face de cylindre .....	16
Figure I.22	La spécification des bords .....	17
Figure I.23	La forme obtenue après l'utilisation de l'opération ' <b>Rotate</b> ' .....	17
Figure I.24	Création de deux briques.....	17
Figure I.25	Sélectionner les deux faces internes des deux briques.....	18
Figure I.26	Dialogue de réglage de la douceur du loft.....	18
Figure I.27	La structure obtenue après l'application de l'opération ' <b>Loft</b> ' sur les deux briques.....	19
Figure I.28	Sélectionner les deux faces externes de deux briques .....	19
Figure I.29	Définir l'épaisseur de la matière restante et si cette matière doit être à l'intérieur ou à l'extérieur de la structure pleine .....	20

# Liste des figures

---

Figure I.30 La structure creusée .....	20
Figure I.31 Dialogue de la liste historique .....	22
Figure I.32 Modifier la liste historique .....	22
Figure I.33 L'interface de l'arbre historique .....	23
Figure I.34 Modifier la longueur de brique ( $x_{\min}$ , $x_{\max}$ ) .....	23
Figure I.35 Générer un rectangle basé sur les courbes. ....	24
Figure I.36 Générer un cercle qui recouvre l'un des bords de rectangle .....	24
Figure I.37 Obtention d'une courbe qui contient un seul contour .....	25
Figure I.38 Définir les unités .....	25
Figure I.39 Définir une plage de fréquence.....	26
Figure I.40 Définir les conditions aux limites .....	26
Figure I.41 Définir les plans de symétries.....	27
Figure I.42 La boîte de dialogue des ports .....	27
Figure I.43 Définir les moniteurs de champs .....	28
Figure I.44 Boite de dialogue de contrôle de solveur temporel.....	29
Figure I.45 Visualisation du résultat de simulation .....	29
Figure I.46 Boite de dialogue de variation des paramètres de simulation .....	31
Figure I.47 Boites de dialogue d'optimisation .....	32
Figure I.48 Rapport de l'optimisation.....	32

## Chapitre II :

Figure II.1 Organigramme de conception d'antenne .....	33
Figure II.2 Exemple d'antennes patch .....	34
Figure II.3 Structure d'une antenne patch rectangulaire .....	34
Figure II.4 Différentes formes d'antennes patch .....	35
Figure II.5 Rayonnement d'une antenne patch rectangulaire.....	36
Figure II.6 Alimentation par une ligne micro ruban.....	37
Figure II.7 Alimentation par une sonde coaxiale.....	37
Figure II.8 Alimentation par couplage électromagnétique.....	38
Figure II.9 Alimentation par couplage à une ligne micro ruban par ligne micro ruban à travers une fente dans le plan de masse.....	38
Figure II.10 Circuit RC équivalent d'une antenne en microruban.....	42
Figure II.11 L'antenne patch avec le point d'insertion de couplage .....	43

# Liste des figures

---

Figure II.12 Choix de l'environnement, type d'antenne, domaine de résolution, les unités et la gamme de fréquence d'étude.....	45
Figure II.13 Boite de Dialogue de configuration des unités de base .....	46
Figure II.14 Création du substrat et la sélection d'un matériau à partir de la librairie de Microwave Studio .....	47
Figure II.15 la structure du substrat .....	47
Figure II.16 La sélection de l'autre face du substrat .....	48
Figure II.17 Boite de dialogue de création du plan de masse.....	48
Figure II.18 La structure du patch .....	49
Figure II.19 Dessiner le vide dans le patch .....	49
Figure II.20 Boite de dialogue de création de vide du patch.....	50
Figure II.21 La structure du patch avec l'empty space .....	50
Figure II.22 La structure du l'antenne patch alimenté par une ligne microruban .....	50
Figure II.23 Dessiner le microstrip .....	51
Figure II.24 Obtention du modèle uni (patch plus le microstripe) .....	51
Figure II.25 Zoom de la partie haute du microstrip .....	52
Figure II.26 Boite de dialogue de la configuration du port de guide d'onde .....	52
Figure II.27 Structure d'une antenne patch alimentée par une ligne microruban .....	53
Figure II.28 Boite de dialogue de configuration de la plage de fréquence .....	53
Figure II.29 Boite de dialogue de définition des différents résultats qu'il faut obtenir après la simulation .....	54
Figure II.30 Spécification du milieu environnant.....	54
Figure II.31 Spécification des conditions aux limites.....	54
Figure II.32 La boite de dialogue de solveur.....	55
Figure II.33 Courbe du paramètre $S_{11}$ en dB .....	55
Figure II.34 La partie réelle de l'impédance d'entrée d'une antenne patch rectangulaire.....	56
Figure II.35 La partie imaginaire de l'impédance d'entrée d'une antenne patch Rectangulaire .....	56
Figure II.36 Courbe de paramètre $S_{11}$ en dB.....	57
Figure II.37 Diagramme de rayonnement en 2D .....	57
Figure II.38 Diagramme de rayonnement en 3D .....	57
Figure II.39 La partie réelle de l'impédance d'entrée d'une antenne patch rectangulaire.....	58

# Liste des figures

---

Figure II.40 La partie imaginaire de l'impédance d'entrée d'une antenne patch Rectangulaire .....	58
Figure II.41 Effet de la longueur du patch L sur le paramètre $S_{11}$ en dB .....	59
Figure II.42 Effet de la largeur du patch W sur le paramètre $S_{11}$ en dB .....	60
Figure II.43 Effet de l'épaisseur h du substrat sur le paramètre $S_{11}$ en dB .....	60
Figure II.44 Effet de la largeur de la ligne microruban wf sur le paramètre $S_{11}$ en dB .....	61
Figure II.45 Effet de la largeur gpf du l'encoche sur le paramètre $S_{11}$ en dB .....	61
Figure II.46 La partie réelle de l'impédance d'entrée d'une antenne patch rectangulaire en fonction de gpf .....	62
Figure II.47 La partie imaginaire de l'impédance d'entrée d'une antenne patch rectangulaire en fonction de gpf .....	62
Figure II.48 Effet de la longueur de l'encoche sur le paramètre $S_{11}$ en dB .....	63
Figure II.49 La partie réelle de l'impédance d'entrée d'une antenne patch rectangulaire en fonction de fi .....	63
Figure II. 50 La partie imaginaire de l'impédance d'entrée d'une antenne patch rectangulaire en fonction de fi .....	63
Figure II.51 Effet de la permittivité diélectrique du substrat .....	64
Figure II.52 La structure de l'antenne patch alimentée par un câble coaxial .....	65
Figure II.53 Boite de dialogue de la configuration des unités de base .....	66
Figure II.54 La création du substrat .....	66
Figure II.55 Sélectionner la face du substrat .....	67
Figure II.56 Boite de dialogue création du plan de masse .....	67
Figure II.57 La création du patch .....	68
Figure II.58 Positionner un point au milieu du patch .....	68
Figure II.59 La transformation du système des coordonnées locales .....	68
Figure II.60 La structure obtenue après la transformation des coordonnées locales .....	69
Figure II.61 La création du premier cylindre .....	69
Figure II.62 Sélectionné la base du cylindre .....	70
Figure II.63 La création du deuxième cylindre .....	70
Figure II.64 Translater le deuxième cylindre (cylinder 2) de $W = -(h_2-h_1)$ .....	71
Figure II.65 La structure obtenue après la translation de deuxième cylindre .....	71
Figure II.66 La sélection de surface latérale du cylindre 2 .....	71
Figure II.67 Mettre un conducteur à partir de la surface sélectionné .....	72

# Liste des figures

---

Figure II.68 Sélectionné la base du cylindre 2 .....	73
Figure II.69 Spécification du port d'excitation .....	73
Figure II.70 Le port de guide d'onde (en rouge) .....	74
Figure II.71 La définition de la plage de fréquence .....	74
Figure II.72 Boite de dialogue de définition des différents résultats qu'il faut obtenir après la simulation .....	75
Figure II.73 Spécification de milieu environnant .....	75
Figure II.74 Spécification des conditions aux limites .....	76
Figure II.75 Le lancement de la simulation du modèle .....	76
Figure II.76 La Structure finale d'une antenne patch alimentée par un câble coaxial .....	77
Figure II.77 Courbe du paramètre $S_{11}$ en dB .....	77
Figure II.78 La partie réelle de l'impédance d'entrée d'une antenne patch rectangulaire .....	78
Figure II.79 La partie imaginaire de l'impédance d'entrée d'une antenne patch rectangulaire .....	78
Figure II.80 Courbe de paramètre $S_{11}$ en dB obtenu après l'ajustement du modèle .....	79
Figure II.81 Diagramme de rayonnement en 2D .....	79
Figure II.82 Diagramme de rayonnement en 3D .....	79
Figure II.83 Partie réelle de l'impédance d'entrée d'une antenne patch rectangulaire .....	80
Figure II.84 Partie imaginaire de l'impédance d'entrée d'une antenne patch rectangulaire .....	80
Figure II.85 Effet de la largeur $W$ et la longueur $L$ du patch sur le paramètre $S_{11}$ en dB .....	81
Figure II.86 Effet de la position de point d'alimentation sur le paramètre $S_{11}$ en dB .....	82
Figure II.87 Effet de l'épaisseur $h$ du substrat sur le paramètre $S_{11}$ en dB .....	82
Figure II.88 Effet de la permittivité diélectrique du substrat sur le paramètre $S_{11}$ en dB .....	83

## Chapitre III :

Figure III.1 Analyseur de réseau scalaire du laboratoire d'antennes .....	84
Figure III.2 Analyseur de réseau vectoriel .....	84
Figure III.3 Schéma de mesure .....	85
Figure III.4 Accès d'un quadripôle .....	86
Figure III.5 Montage pour la mesure du paramètre $S_{11}$ des antennes considérées du laboratoire d'antenne .....	87
Figure III.6 Montage pour déterminer les conditions d'adaptation de l'antenne patch .....	88

# Liste des figures

---

Figure III.7 Détermination de la fréquence de résonance et de la bande passante de l'antenne patch.....	88
Figure III.8 Kit du système Lucas nulle-Unitrain pour les mesures d'antennes au laboratoire d'antennes.....	89
Figure III.9 Émetteur.....	89
Figure III.10 Récepteur .....	89
Figure III.11 Plate forme rotative .....	89
Figure III.12 Interface UniTrain-I.....	90
Figure III.13 Interface du Labsoft.....	90
Figure III.14 Antenne de réception.....	91
Figure III.15 Positions des antennes émettrice et réceptrice .....	91
Figure III.16 Menu Instruments .....	92
Figure III.17 Menu centre de contrôle.....	92
Figure III.18 Coupe dans le plan E (vertical) et H (horizontal) .....	94
Figure III.19 Menu diagramme .....	94
Figure III.20 Menu Propriétés .....	94
Figure III.21 Exemple d'un Diagramme de rayonnement mesuré sur système Lucas nulle-Unitrain .....	95
Figure III.22 Montage pour la mesure du diagramme de rayonnement de l'antenne Patch à polarisation linéaire.....	96
Figure III.23 Diagramme de rayonnement théorique de l'antenne Patch à polarisation linéaire.....	96
Figure III.24 Diagramme de rayonnement pratique de l'antenne Patch à polarisation linéaire.....	97

## Liste des tableaux :

### Chapitre I :

Tableau I.1 Combinaison des formes (brique+sphère) a l'aide des opérations booléennes (Add, Subtract, Intersect, Insert) .....	13
--	----

### Chapitre II :

Tableau II.1 Avantages et inconvénients de différentes techniques d'alimentations .....	39
Tableau II.2 Liste des paramètres d'une antenne patch alimentée par une ligne microruban.....	46
Tableau II.3 Liste des paramètres ajustée d'une antenne patch alimentée par une ligne microruban .....	56
Tableau II.4 La liste des paramètres de l'antenne patch alimentée par un câble Coaxial .....	65
Tableau II.5 La liste des paramètres ajustée d'une antenne patch alimenté par un câble coaxial .....	78

## Liste des abréviations :

3D	Trois dimensions
a <sub>2</sub>	Champs électriques de l'onde incidente à la sortie de la composante
a <sub>1</sub>	Champs électriques de l'onde incidente à l'entrée de la composante
b <sub>1</sub>	Champs électriques de l'onde réfléchi à l'entrée de la composante
b <sub>2</sub>	Champs électriques de l'onde réfléchi à la sortie de la composante
c	Célérité de la lumière
CST	Computer Simulation Technology
dB	decibel
$\epsilon_0$	permittivité du vide, $8.85411878 \times 10^{-12}$ F / m
$\epsilon_r$	permittivité diélectrique relative du substrat
$\epsilon_{\text{reff}}$	permittivité diélectrique effective du substrat
f <sub>r</sub>	Fréquence de résonance de l'antenne
h	Épaisseur du substrat
J <sub>0</sub>	Fonction de Bessel d'ordre 0.
L	Longueur réelle de l'élément de rayonnement
L <sub>eff</sub>	Longueur effective du patch
MMIC	Microwave Monolithic Integrated Circuits
MWT	Micro Wave Technology
R <sub>in</sub>	Impédance d'entrée calculée du patch
R <sub>ligne</sub>	Impédance de la ligne d'alimentation
S <sub>11</sub> (dB)	Coefficient de réflexion (dB) à l'entrée
S <sub>12</sub> (dB)	Isolation (dB)
S <sub>21</sub> (dB)	Coefficient de transmission (dB)
S <sub>22</sub> (dB)	Coefficient de réflexion (dB) à la sortie
VHF	Very High frequency
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio
W	Largeur du patch
Y <sub>0</sub>	Profondeur d'insertion de la ligne d'alimentation
Z <sub>0</sub>	Impédance caractéristique de la ligne
Z <sub>in</sub>	Impédance d'entrée de l'antenne
$\mu_0$	perméabilité magnétique du vide, $1.2566371 \times 10^{-6}$ N / A <sup>2</sup>

# **INTRODUCTION GENERALE**

# INTRODUCTION GENERALE

---

Nous assistons à une profonde évolution dans le domaine des télécommunications, qu'il s'agisse de la téléphonie mobile, des réseaux sans fils, de la télévision par satellites, ou des applications radar...etc. Ces systèmes de télécommunications permettent généralement l'échange d'informations dans différents milieux. Ils peuvent être décomposés en deux parties: une partie servant au traitement des signaux électriques contenant les informations à transmettre et une seconde partie permettant la transformation de ces signaux électriques en ondes électromagnétiques rayonnées dans l'espace. Cette dernière fonction est réalisée par des dispositifs appelés « antennes ».

Une antenne est un dispositif permettant de transformer l'énergie électromagnétique guidée en énergie électromagnétique rayonnée en émission et inversement en réception.

L'étude des problèmes électromagnétiques de rayonnement et de propagation revient souvent à la résolution des équations de Maxwell sous leur forme intégrale ou différentielle.

La résolution d'un système électromagnétique, à partir des équations de Maxwell nécessite une phase de simulation numérique. De ce fait, plusieurs logiciels sont employés .Nous pouvons citer quelques-uns parmi les plus importants : CST, HFSS, IE3D, FEKO, etc. Chacun utilise une méthode numérique donnée et présente donc des avantages et limitations mais en revanche ils résolvent tous les équations de Maxwell, et permettent la conception et la simulation d'antennes.

Nous allons utiliser dans ce travail, le logiciel CST qui présente une interface très évoluée et souple pour le design et pour la visualisation des résultats.

Le manuscrit présenté s'articule autour de trois chapitres développant les divers aspects du sujet abordé, précédés par une introduction générale, et suivis par une conclusion générale. Le premier chapitre est consacré à la présentation du logiciel CST Microwave Studio où nous allons présenter de façon générale le rôle de chaque fonction utilisée afin de réaliser nos simulations. Nous insisterons notamment sur les étapes à suivre pour créer un projet.

Le deuxième est dédié à la conception et la simulation de l'antenne patch ainsi qu'à son étude paramétrique. Nous allons présenter essentiellement ses caractéristiques principales que sont : le coefficient de réflexion en dB, le diagramme de rayonnement ainsi que l'impédance d'entrée. Le troisième chapitre est réservé aux mesures pratiques des caractéristiques de l'antenne patch. Nous présenterons le fonctionnement de l'analyseur de réseau scalaire et le

## INTRODUCTION GENERALE

---

banc de mesure "Lucas nulle-Unitrain". Le premier nous donne le coefficient de réflexion, le second le diagramme de rayonnement.

**CHAPITRE I**  
**PRESENTATION DU LOGICIEL CST**

# Chapitre I : Présentation du logiciel CST

---

## **I-1 Introduction :**

Nous allons consacrer ce chapitre à la présentation générale du logiciel CST (Computer Simulation technology) Microwave Studio. Nous allons aussi présenter de façon générale le rôle de chaque fonction utilisée afin de réaliser nos simulations. Nous insisterons notamment sur les étapes à suivre pour créer un projet.

## **I-2 Définition du logiciel CST STUDIO SUITE :**

CST (Computer Simulation Technology) est une société allemande qui a été fondée en 1992. La première version de CST Microwave Studio est sortie en 1998. Le logiciel CST résout les équations caractérisant le champ électromagnétique.

Le logiciel que nous employons, fait usage de la méthode des intégrales finies (FIT, Finite Integration Technique) développée par Tomas Weiland [1] en 1977 lors de sa thèse universitaire à Darmstadt. Il s'agit de la reformulation des équations intégrales de Maxwell sous une forme discrète afin de les rendre compatibles avec l'informatique pour résoudre des problèmes à géométrie complexe.

La FIT procède par la description des équations de Maxwell sur un espace de grille, en préservant les propriétés de conservation de l'énergie, et en constituant des équations différentielles particulières telles que celle de Poisson ou l'équation d'onde. Il s'agit d'une approche très sophistiquée, et on peut l'utiliser à la fois dans le domaine temporel et dans le domaine fréquentiel. [1]

Comme tous les simulateurs 3D, l'avantage de cet outil est sa possibilité de traiter toutes sortes de structures homogènes et inhomogènes, quelle que soit la technologie utilisée.

## I-3 Démarrage du logiciel :

Après avoir lancé le STUDIO SUITE de CST, nous serons invités à ouvrir un dossier existant ou à créer un nouveau projet :

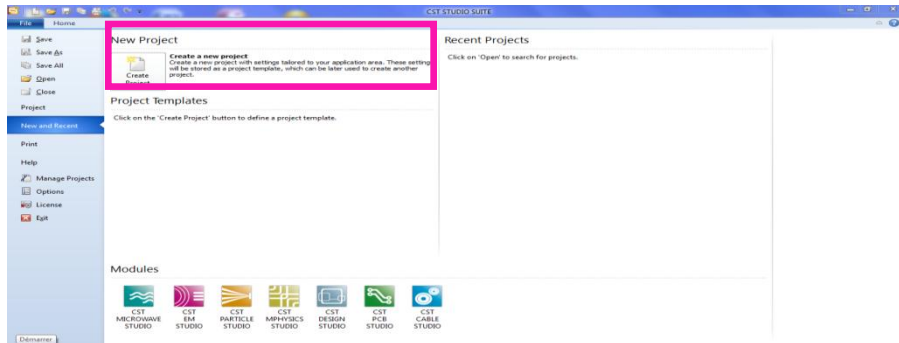


Figure I.1 : Création d'un nouveau projet

### a) Ouvrir un projet :

Pour ouvrir un projet existant, nous sélectionnons 'Open' ensuite aller dans le répertoire dans lequel a été enregistré le projet. Nous choisissons le fichier xxx.cst. Quand nous enregistrons un projet, le logiciel CST crée un fichier ayant l'extension nom\_projet.cst dans lequel se trouve les résultats de simulation.

### b) Créer un nouveau projet :

Nous cliquons sur l'icône 'Create Project', la boîte de dialogue nous donne la possibilité de choisir le type de simulation que nous souhaitons réaliser.

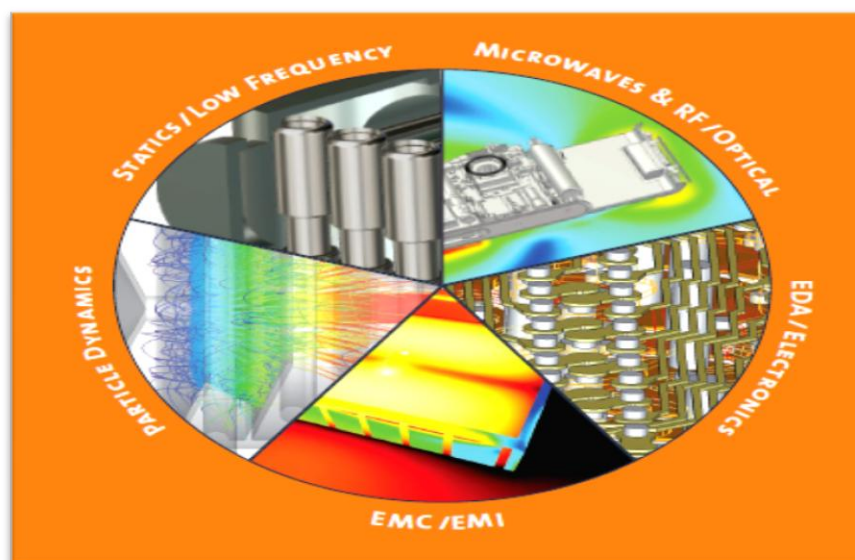


Figure I.2 : Choix du type de simulation

# Chapitre I : Présentation du logiciel CST

Nous cliquons sur **MW & RF & OPTICAL** puis sur ‘**Antenna**’

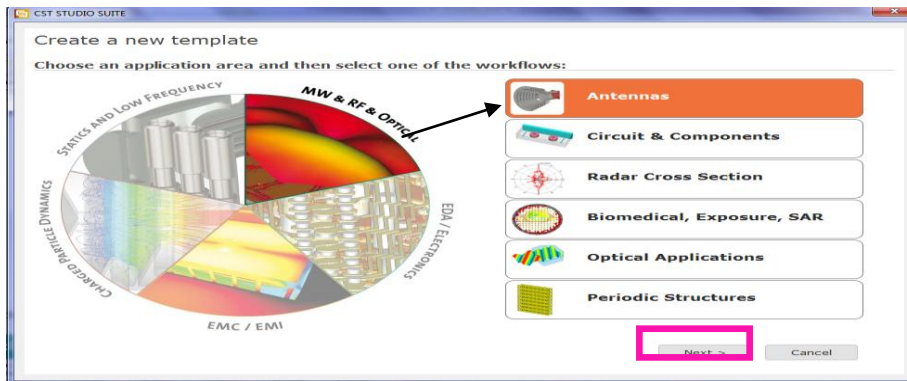


Figure I.3 : le Choix de l’environnement de simulation

La fenêtre suivante apparaît nous demandant de sélectionner un modèle de la structure qui est le plus proche de celui qu’on veut réaliser.

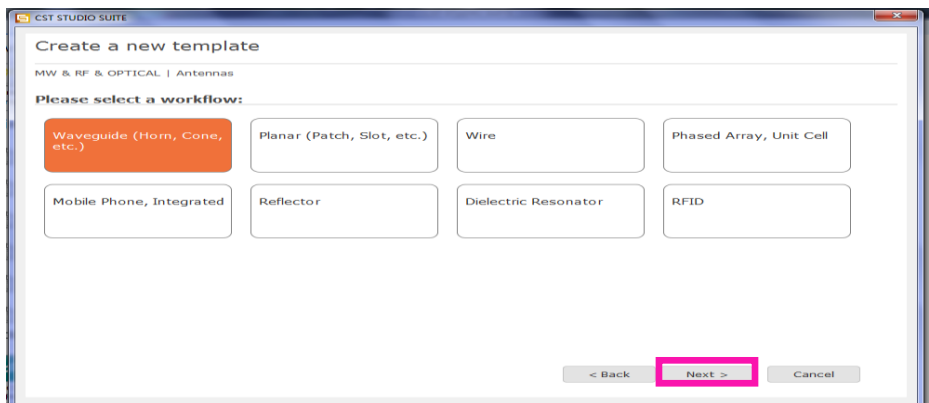


Figure I.4 : le choix du type d’antenne

Nous sélectionnons le type de simulation (pour nous ce sera Time Domain)

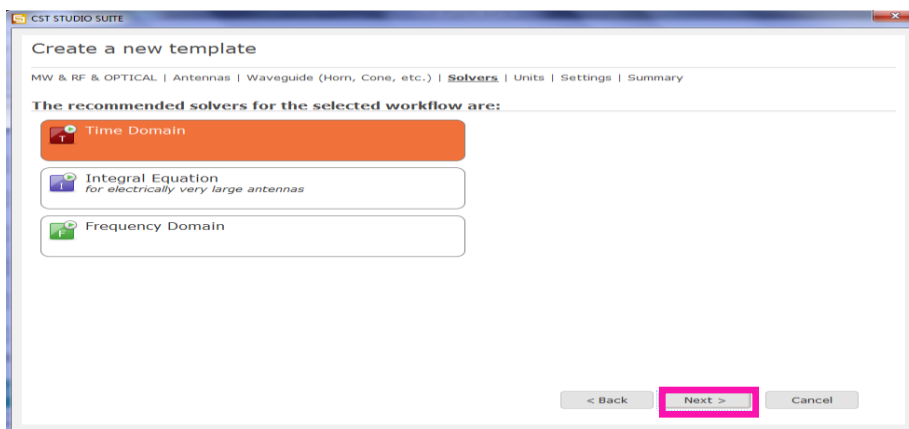


Figure I.5 : Le choix du domaine de résolution

# Chapitre I : Présentation du logiciel CST

Nous choisissons les unités que nous allons utiliser et la gamme de fréquence d'étude

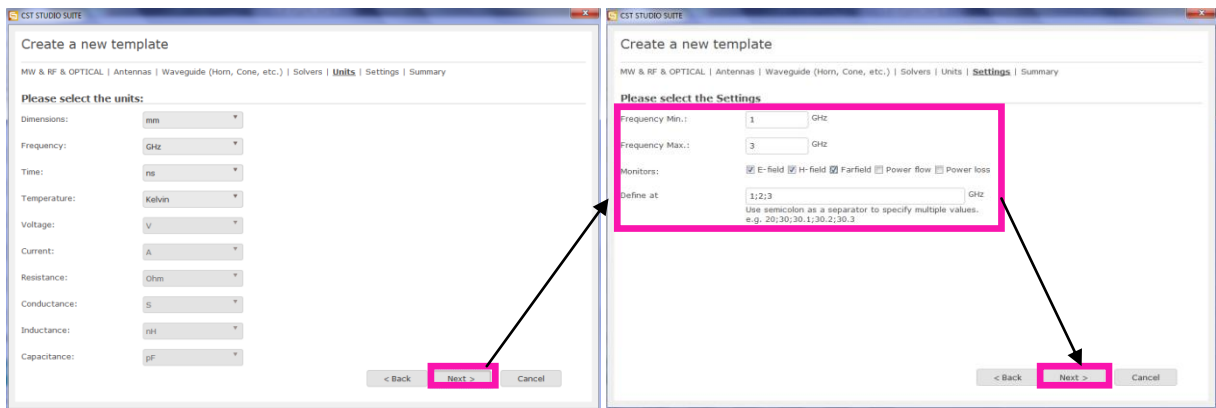


Figure I.6 : Le choix des unités et la gamme de fréquence d'étude

Pour finir la fenêtre suivante apparait, nous pouvons laisser les informations par défaut et cliquer ensuite sur finish.

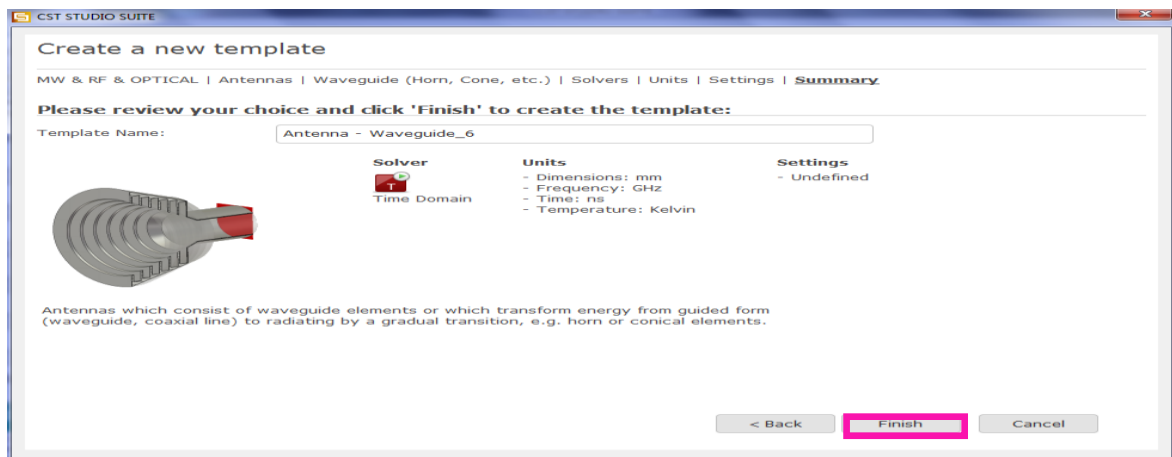


Figure I.7 : fin de la création de nouveau projet

Une caractéristique intéressante du système d'aide en ligne et le guide de démarrage rapide « Quick Start Guide » dans le menu 'file → option → Quick Start Guide'.

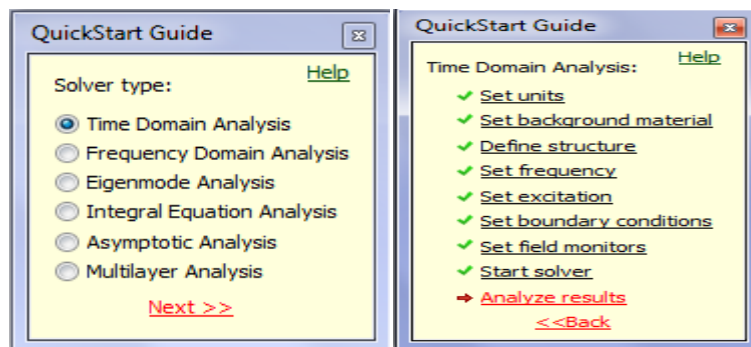


Figure I.8 : la fenêtre de Quick Start Guide

# Chapitre I : Présentation du logiciel CST

Le « **Quick Start Guide** » exécute une animation montrant l'emplacement de l'entrée désiré afin de définir les étapes essentielles à suivre dans un projet.

## I-4 Description générale des outils CST :

Une fois le modèle de structure choisi, nous accédons à l'interface d'utilisateur du CST.

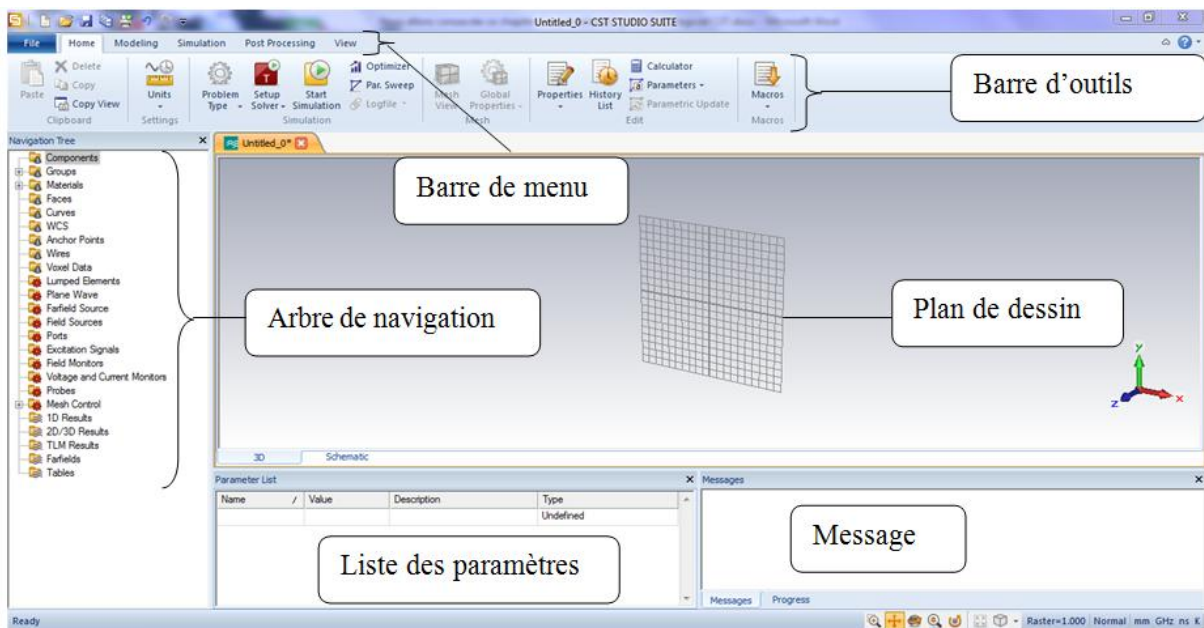



Figure I.9 : L'interface du logiciel CST MWS

- **liste des paramètres** : est la liste de toutes les variables utilisées pendant la simulation. Où on indique leurs valeurs, leurs descriptions et leurs types.
- **le plan de dessin** : est le plan de travail sur lequel on dessine la structure en trois dimensions (3D).
- **la barre d'outils** : est un ensemble de raccourcis de la barre de menu.
- **l'arbre de navigation** : est une partie essentielle de l'interface d'utilisateur. On peut accéder aux éléments structuraux et aux résultats de simulation.
- **Message** : donne le bilan de la simulation en nous informant sur chaque étape si elle est simulée avec succès ou dans le cas contraire elle nous signale des erreurs.

## I-5 Dessiner une structure :

a) **Les formes de base** : 

Pour créer par exemple un cylindre, nous cliquons sur '**Cylinder** ' dans la barre d'outils.

## Chapitre I : Présentation du logiciel CST

Une boîte de dialogue s'ouvre afin de saisir les dimensions de l'objet puis on clique sur 'OK'

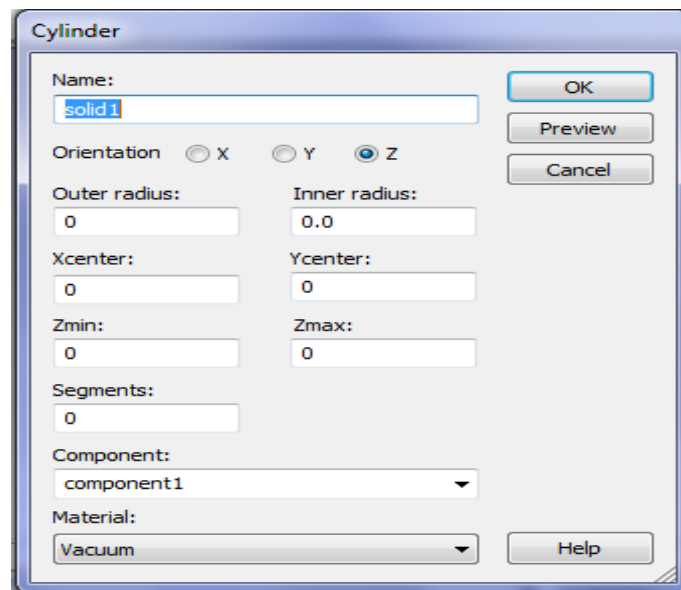


Figure I.10 : Dialogue d'ajout d'une forme de base

La figure suivante donne un bref aperçu de toutes les formes de base qui peuvent être utilisées pour dessiner les structures.

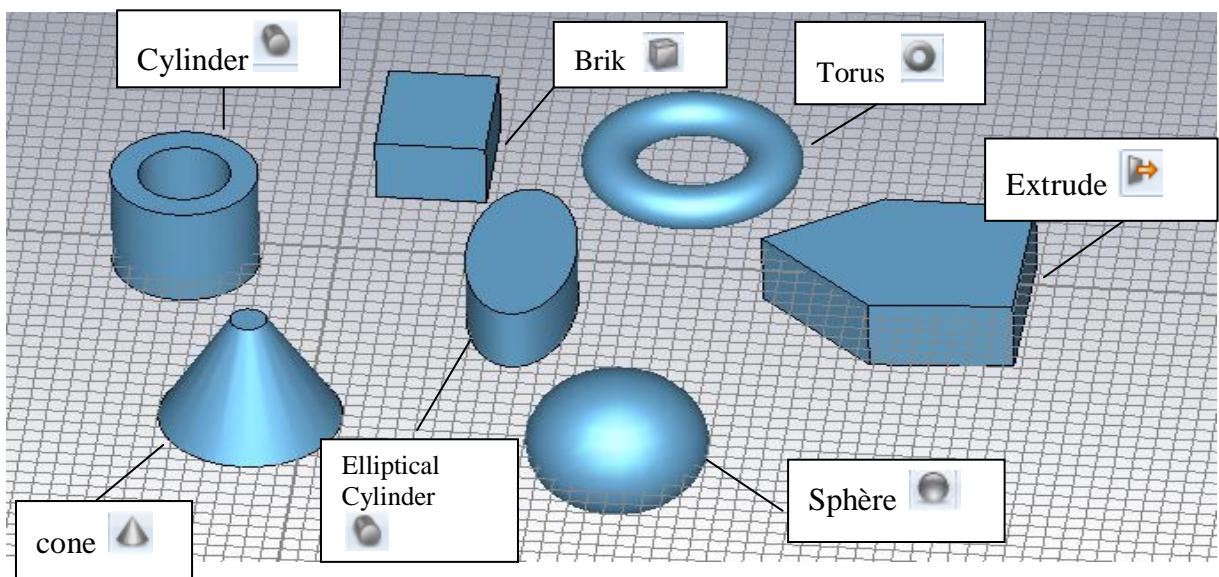


Figure I.11 : Les formes de base utilisées pendant le dessin des structures

Après qu'une forme a été définie, elle est automatiquement cataloguée dans l'arbre de navigation. Nous pouvons trouver toutes les formes dans le dossier 'components'.

# Chapitre I : Présentation du logiciel CST

Le nom de chaque forme est attribué dans la boîte de dialogue de forme définitive lorsque la forme est créée. Les noms par défaut commencent par ‘solide’, suivi par un nombre croissant : solide1, solide2,...etc

Nous pouvons sélectionner une forme en cliquant sur la rubrique correspondante dans l’arbre de navigation.

Lorsque nous sélectionnons une forme, elle sera affichée opaque tandis que les autres seront transparentes.

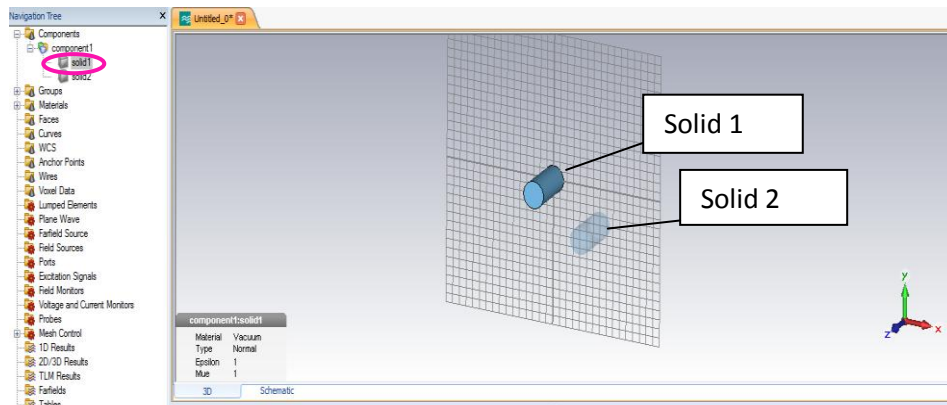


Figure I.12 : sélectionner une forme

Pour changer le nom d’une forme, il suffit juste de la sélectionner et cliquer à l’aide de bouton droit de la souris sur solid1 et choisir ‘Rename’ ou en appuyant sur la touche **F2**.

## b) Définir les matériaux :

Avant de dessiner notre structure nous pouvons définir les matériaux que nous allons utiliser dans le répertoire ‘Materials’ de l’arbre de Navigation : par défaut il y a déjà deux matériaux créés :



**-PEC** : perfect Electrical conductor (Métal Parfait).

**-Vacuum** : vide ou air.

Nous pouvons créer d’autres matériaux, en faisant un clic droit sur le répertoire ‘Materials’ et choisissant ‘New Material’. La fenêtre suivante apparaît.

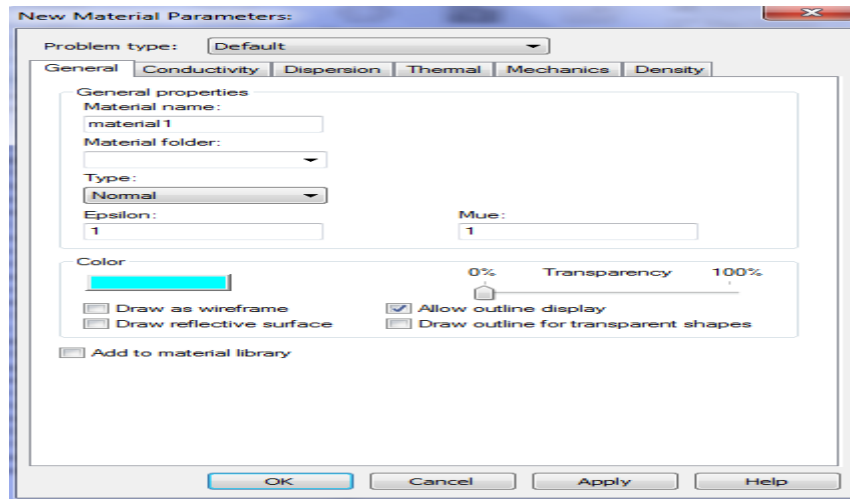


Figure I.13 : Création d'un nouveau matériau

**Barre des outils et barre de menu :** elles englobent tous les outils pour créer un model.

### c) Observation de la structure :

Dans le menu 'view', nous avons à notre disposition des outils pour observer notre structure dans tous les sens.

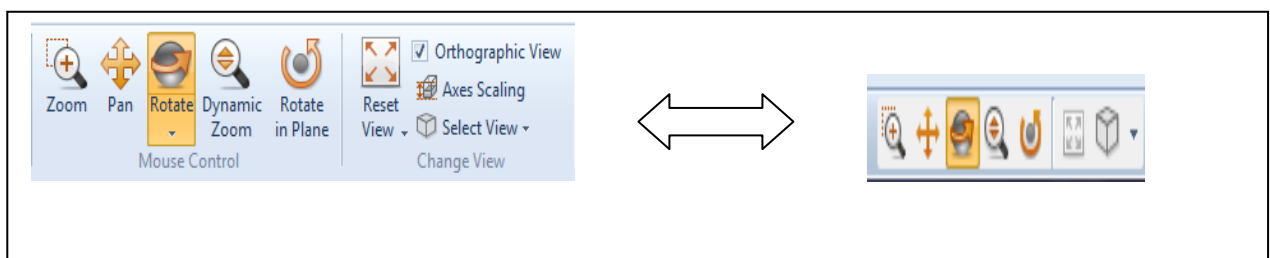


Figure I.14 : les outils d'observation de la structure



**Axes :** cette option spécifie si oui ou non le système de coordonnées s'affiche.

**Bounding Box :** boîte limite (volume limite).


**Wire Frame :** cette commande indique si la forme est affichée par des modèles de fils simples ou objets ombrés solides.

**Working Plane :** on peut spécifier la présence ou non du plan de dessin.

### d) Les transformations géométriques :

Pour accéder aux outils de transformation géométriques, nous devons sélectionner la forme que nous voulons transformer.

Nous ouvrons la boîte de dialogue de transformation comme suit :

- Soit nous cliquons sur le bouton droit et nous sélectionnons la commande ‘ **Transforme**’
- Soit à partir de la barre de menu nous cliquons sur ‘**Modeling**’ ensuite nous choisissons



Une boîte de dialogue apparaît nous demandant de sélectionner l’une des transformations suivantes

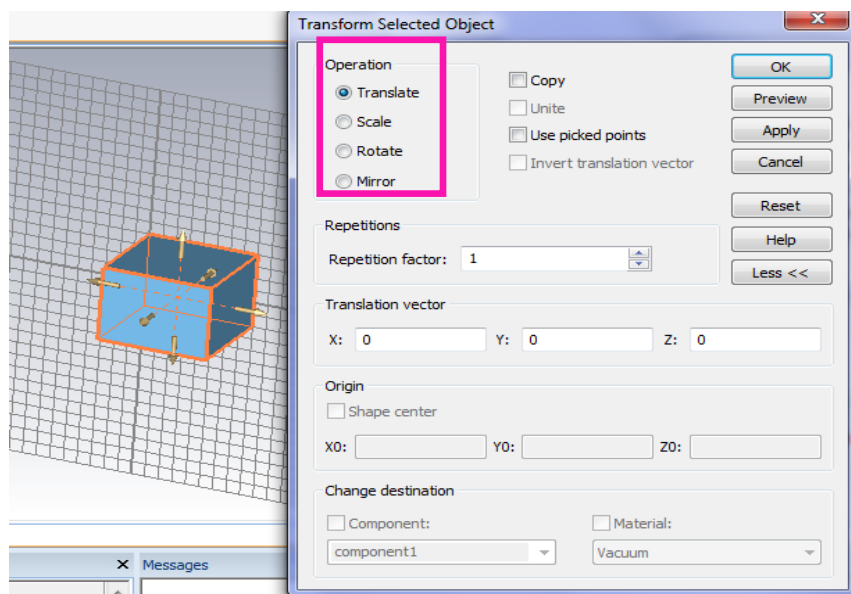


Figure I.15 : les outils de transformation géométrique

Il existe 4 transformations :

- **Translate** : Cette transformation applique une translation de vecteur à la forme sélectionnée.
- **Scale** : pour spécifier la taille de chaque forme.
- **Rotate** : cette transformation applique une rotation de la forme autour d’un axe d’un angle fixe. On spécifie l’angle de rotation et les paramètres de l’axe en entrant l’angle correspondant dans le champ de saisie pour l’axe correspondant (par exemple, 60 degrés) dans le champ de y, tout en laissant les autres champs mis à zéro pour effectuer une rotation autour de l’axe de 60 degrés.

- **Mirror** : cette transformation permet de fixer l'image d'un objet autour d'un plan spécifié et créer son double.

Pour toutes ces transformations nous pouvons décider de garder ou non la figure d'origine avec l'option '**Copy**'. Nous pouvons aussi spécifier le nombre de fois la transformation sera appliquée à la forme (facteur de répétition).

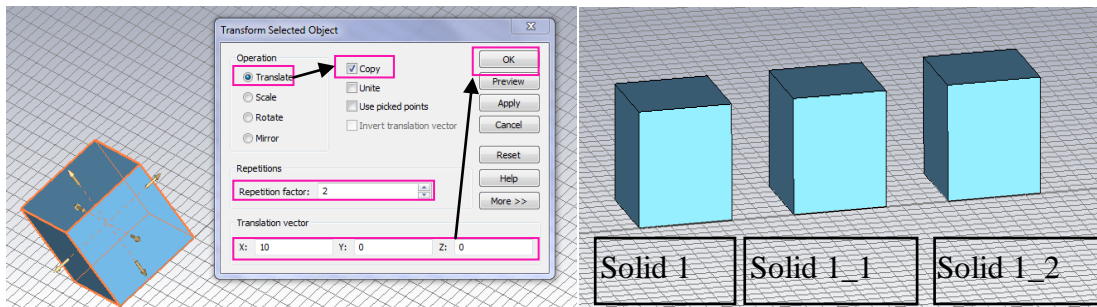


Figure I.16 : exemple d'une translation de 10 selon l'axe x d'une brique avec un facteur de répétition de 2 et avec une conservation de la brique d'origine.

### e) Opération booléenne :



Cette opération consiste à créer des formes et les combiner à l'aide des opérations booléennes.

Après avoir sélectionné une forme, dans le menu '**Modeling**'. Soit les deux formes suivantes : une brique et une sphère, sur lesquelles on va effectuer les opérations booléennes.

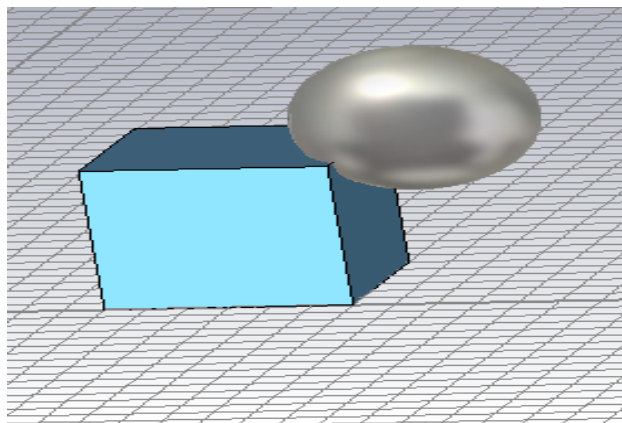


Figure I.17 : Combinaison d'une brique avec une sphère

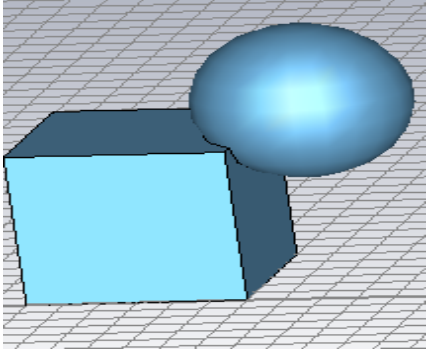
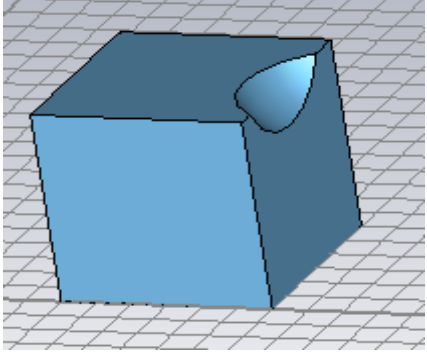
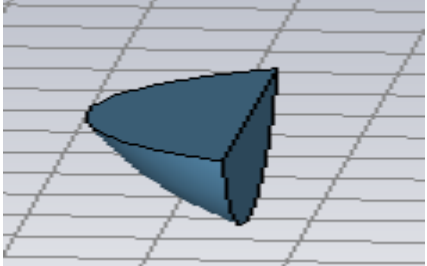
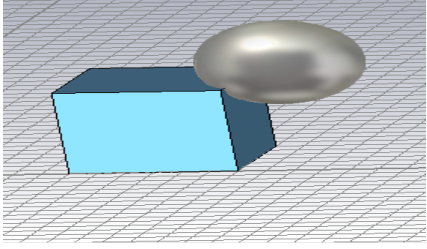
<p><b>Add</b></p>	<p>Additionner les deux formes ensemble pour obtenir une autre forme. La forme finale aura comme matériau celui de la première forme sélectionnée.</p>	
<p><b>Subtract</b></p>	<p>Soustraire la première forme de la deuxième va permettre d'obtenir une forme unique. La forme finale aura comme matériau celui de la forme sélectionnée.</p>	
<p><b>Intersect</b></p>	<p>La forme finale correspond à l'intersection entre les deux formes. La forme finale aura toujours comme matériau celui de la première forme sélectionnée.</p>	
<p><b>Insert</b></p>	<p>Les deux formes seront conservées avec leurs matériaux respectifs. Le résultat est différent de celui de l'opération 'Add'.</p>	


Tableau I.1 : Combinaison des formes (brique+sphère) a l'aide des opérations booléennes  
(Add, Subtract, Intersect, Insert)

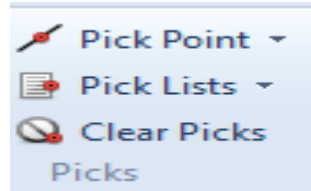
**f) Sélectionner un point, une face, un côté....**

Beaucoup de construction nécessite la sélection d'un point, d'une face ou d'un côté.

## Chapitre I : Présentation du logiciel CST

---

Pour chacune des opérations ‘pick’, on doit d’abord sélectionner l’outil de sélection approprié à partir du menu ‘**Modeling** → **Picks**  → **Pick points/...**’ ou bien à partir de la barre d’outils de sélection.



La liste suivante donne un aperçu des modes de sélection disponible :

**Pick point, edge, or face (S):** on double clique sur le modèle et l’élément correspondant sera sélectionné: un bord, un point d’une extrémité d’un bord, ou une face.

**Pick edge end point (p):** on double clique près du point d’un bord d’extrémité et le point correspondant sera sélectionné.

**Pick edge mid points (M):** on double clique sur un bord, le point milieu de ce bord sera sélectionné.

**Pick circle center (C):** on double clique sur un bord circulaire, le centre sera sélectionné.

**Pick points on circles (R):** on double clique sur un bord circulaire, un point sur le cercle sera sélectionné.

**Pick face centers (A):** on double clique sur une face plane du modèle, le point central de cette face sera sélectionné.

**Pick point on face (O) :** on double clique sur le modèle et un point sera sélectionné.

**Pick edge (E) :** on double clique sur un bord du modèle pour le sélectionner.

**Pick faces (F) :** on double clique sur une face du modèle pour le sélectionner.

Les points sélectionnés, les arêtes ou les faces peuvent être effacés en utilisant :

‘**Modeling** → **clear picks (D)**’.

### g) Opérations Extrude, Rotate, et Loft Faces:

**Extrude :**

On crée un cylindre puis nous sélectionnons sa face,

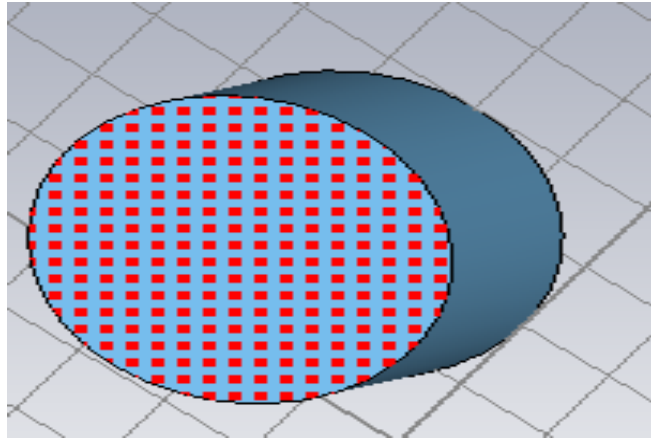



Figure I.18 : sélectionner une face de cylindre

Maintenant, nous pouvons appliquer l'outil 'extrude' à cette face en sélectionnant simplement 'modeling → Extrude '. Quand une face est sélectionnée avant que cet outil est activé, la commande extrude se réfère vers la face sélectionnée, et la boîte de dialogue suivante apparaît :

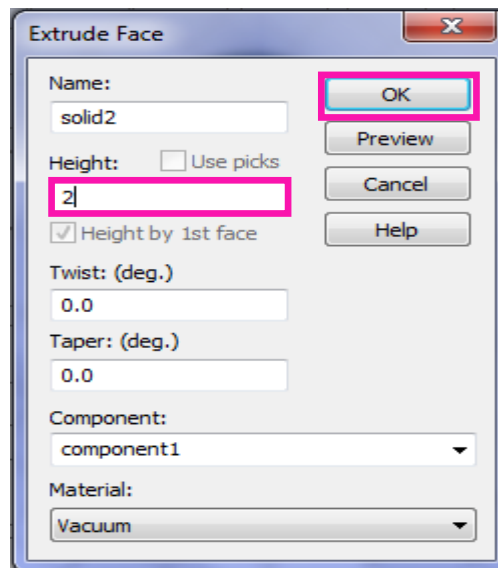


Figure I.19 : dialogue d'extrude d'une face

Nous devons entrer une hauteur et cliquer sur le bouton 'OK'. La structure devait se présenter comme suit :

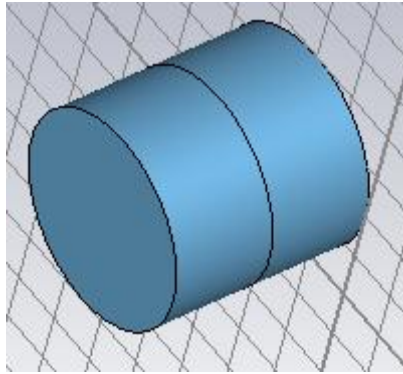


Figure I.20 : création d'une deuxième forme de la face sélectionnée par l'outil '**Extrude**'.

### **Rotate :**

Pour la rotation, on commence avec la même géométrie de base comme avant :

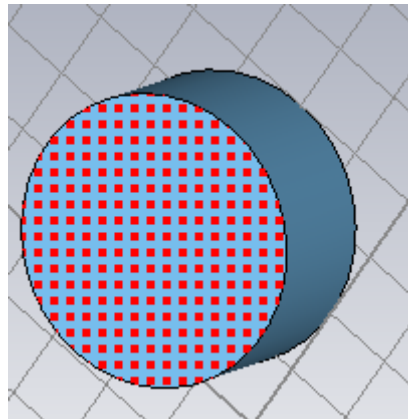


Figure I.21 : sélectionner une face de cylindre

Nous devons spécifier le bord comme suit :

**'Modeling → Pick → Edge from coordinates'** . Ensuite il nous sera demandé de choisir deux points sur le plan de dessin pour définir le bord.

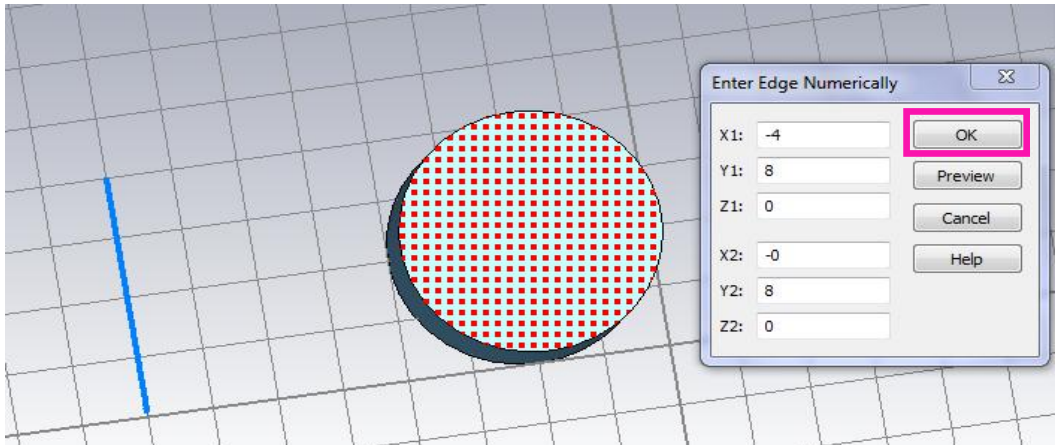


Figure I.22 : la spécification des bords

Dans la boîte de dialogue nous cliquons sur le bouton **‘OK’**. Ensuite nous sélectionnons **‘Moduling Rotate’**, la boîte de dialogue de l’outil de rotation s’ouvre. Dans cette boîte de dialogue, nous pouvons spécifier un angle (90 degrés par exemple) et nous cliquons sur **‘OK’**.

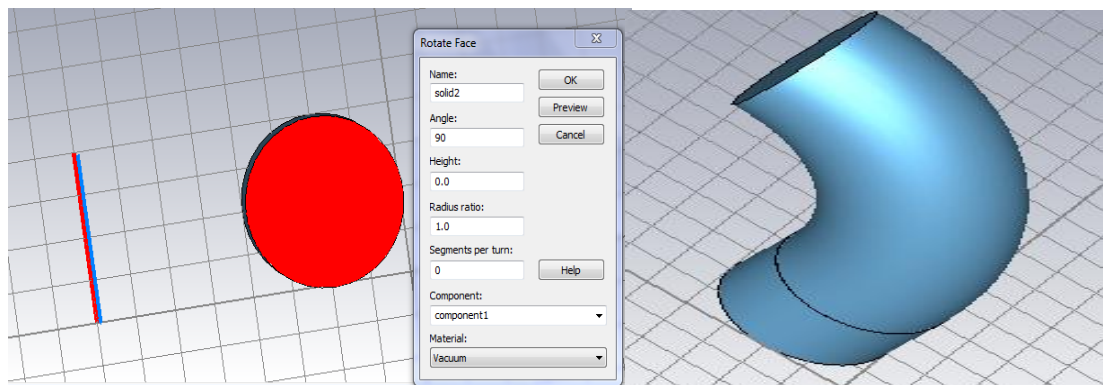


Figure I.23 : la forme obtenue après l’utilisation de l’opération **‘Rotate’**

### **Loft :**

Cette opération consiste à produire des lofts entre les faces sélectionnés. Sur la figure suivante deux briques ont été créées:

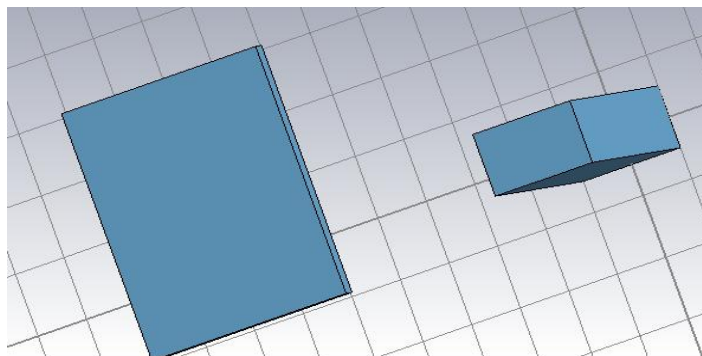


Figure I. 24 : création de deux briques

Nous sélectionnons les deux faces internes.

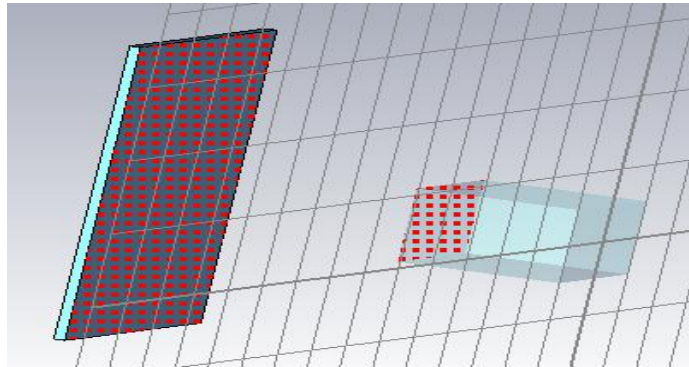



Figure I.25 : sélectionner les deux faces internes des deux briques

Dans le menu '**Modeling**', nous sélectionnons l'icône  puis nous choisissons '**Loft**'. La boîte de dialogue suivante apparaît où nous pouvons régler la douceur du grenier à une valeur raisonnable en trainant le curseur du grenier jusqu'à obtenir la forme désirée puis nous cliquons sur '**OK**'.

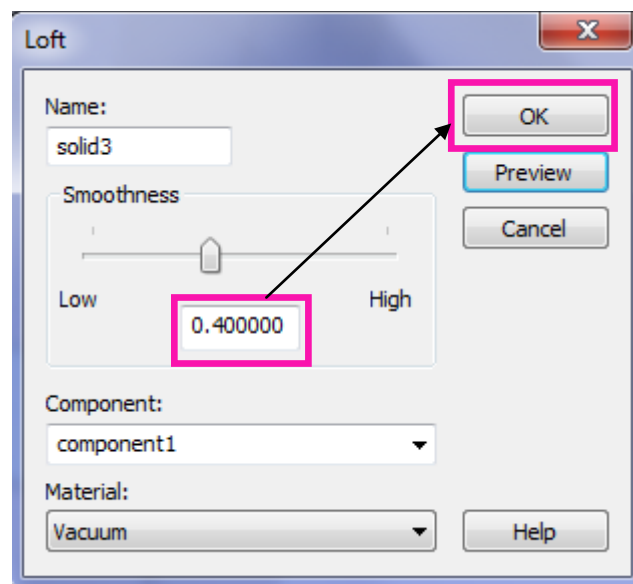


Figure I.26 : Dialogue de réglage de la douceur du loft

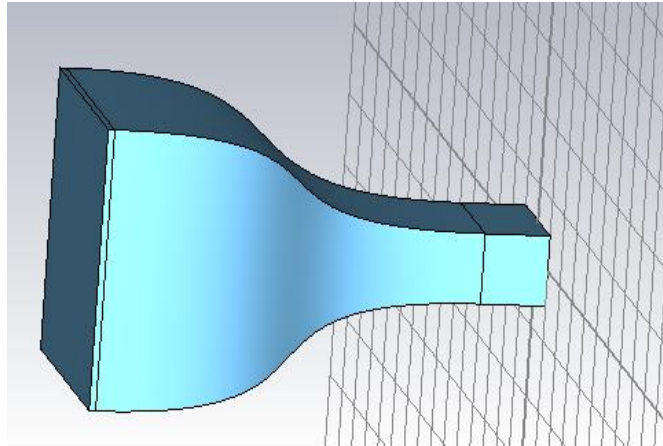


Figure I.27 : la structure obtenue après l'application de l'opération '**Loft**' sur les deux briques

### **h) Creuser une structure :**

Maintenant, si nous souhaitons vider la structure précédente. Nous sélectionnons les deux faces opposées de notre structure.

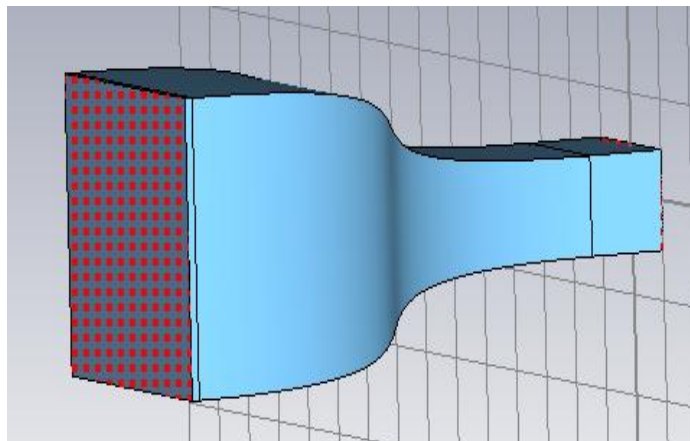



Figure I.28 : sélectionner les deux faces externes de deux briques

Ensuite, nous sélectionnons notre structure dans le répertoire '**Components**' et dans le menu '**Modeling**', dans la partie '**Tools**' nous cliquons sur  et choisissons '**Schell Solid or Thicken Sheet**'. La fenêtre suivante apparaît :

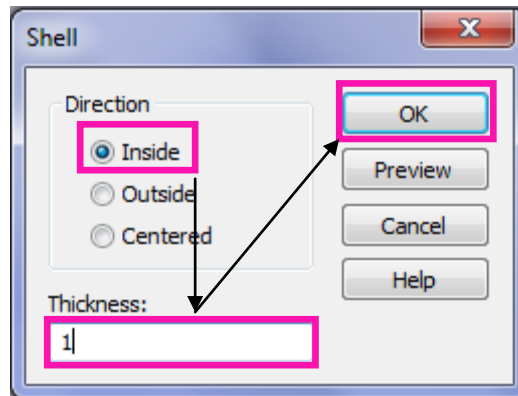


Figure I.29 : définir l'épaisseur de la matière restante à l'intérieur ou à l'extérieur de la structure pleine.

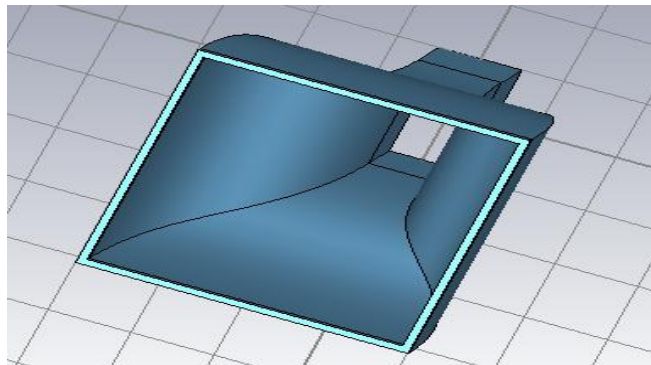


Figure I.30 : structure creusée obtenue

### i) Systèmes de coordonnées locales WCS :

Afin de faciliter la construction de notre structure nous pouvons utiliser un système de coordonnées locales qui est également connu comme '**Working coordinate System (WCS)**', accessible dans le menu '**Modeling**'.



Dans ce qui suit nous allons décrire comment créer une forme alignée avec les axes d'un système de coordonnées globales.

Le système de coordonnées locales se compose de trois axes u, v et w, contrairement aux axes globaux x, y et z. Ils peuvent être activés à tout moment.

Nous définissons l'orientation d'un système de coordonnées local comme suit :

Nous sélectionnons un point, une arête, ou une face (pick points, edges, or faces) du modèle à l'avance et nous alignons le WCS avec ces éléments sélectionnés : '**WCS → Aligne WCS(W)**'.

- Quand un point est sélectionné, l'origine du système de coordonnées local est déplacée vers ce point.
- Lorsque trois points sont sélectionnés, le plan u/v de WCS peut être aligné avec le plan défini par ces points. De plus l'origine de WCS se déplace vers le premier point sélectionné.
- Lorsqu'un bord sélectionné, l'axe u du WCS peut être orienté de telle sorte qu'il devient parallèle à l'arête sélectionnée.
- Lorsqu'une face est sélectionné le plan u / v de la WCS peut être alignée.

Outre alignement de WCS avec des éléments choisis dans le modèle, il existe trois autres façons de définir le système de coordonnées locales.

**WCS → Define Local Coordinates** : Dans cette boîte de dialogue, on peut entrer l'origine et l'orientation des axes directement.


**WCS → Transform Local Coordinates → Move Local Coordinates**: Dans cette boîte de dialogue, on peut traduire l'origine du système de coordonnées local en spécifiant le vecteur de translation.

**WCS → Transform Local Coordinates → Rotate Local Coordinates**: Dans cette boîte de dialogue, on peut faire pivoter le système de coordonnées locales autour de ses axes par un angle de rotation spécifié.

### j) La liste historique (The History liste) :

Jusqu'à maintenant, nous avons créé des structures de base et effectué des transformations géométriques. Nous pouvons toujours corriger les erreurs faites lors de la structure en utilisant la commande '**History list**'.

Cependant, parfois, il peut être nécessaire de revenir à une étape précédente pour modifier, supprimer ou insérer d'autres opérations.

Toutes les modifications structurelles sont enregistrées dans une liste qui peut être ouverte en cliquant dans la barre de menu sur la commande correspondante '**Modeling → **' ,

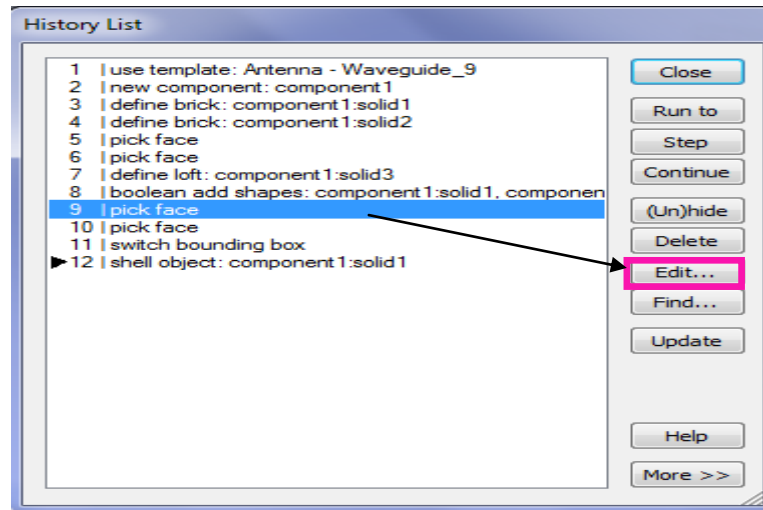


Figure I.31 : dialogue de la liste historique

La liste montre toutes les opérations précédentes dans l'ordre chronologique. Nous sélectionnons 'define brik → Edit', et la boîte de dialogue apparaît :

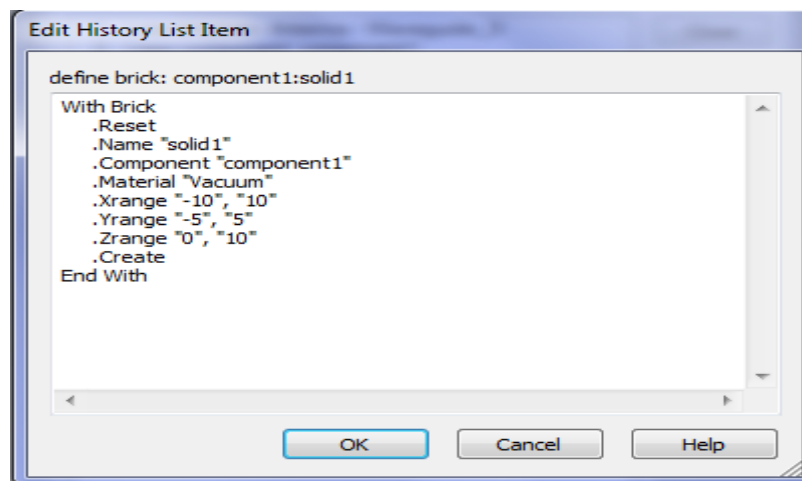


Figure I.32 : modifier la liste historique

Cette étape montre tous les paramètres de la brique et nous donne aussi la possibilité de modifier ces paramètres.

### k) L'arbre historique (The history list):

L'arbre historique est un autre outil utilisé pour éditer un objet déjà existant. Supposant qu'on souhaite modifier la longueur de la brique dans l'exemple précédent. Une façon de faire serait d'ouvrir 'History List' et modifier l'étape où la brique a été créée. Nous pouvons également sélectionner la forme dans l'arbre de navigation 'components'. Une boîte de dialogue 'History Tree' s'ouvrira, montrant l'historique de construction de la forme sélectionnée.

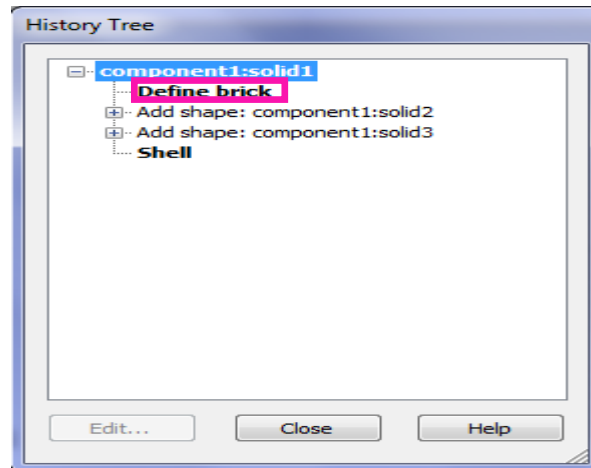


Figure I.33 : l'interface de l'arbre historique

Nous cliquons sur **'Define brick'**, une boîte de dialogue apparaît montrant tous les paramètres du Brique, nous modifions la longueur de la brique et pour obtenir un aperçu de la façon dont le changement influence le modèle nous cliquons sur **'Preview'** et si nous sommes satisfaits du résultat nous cliquons sur **'Ok'**.

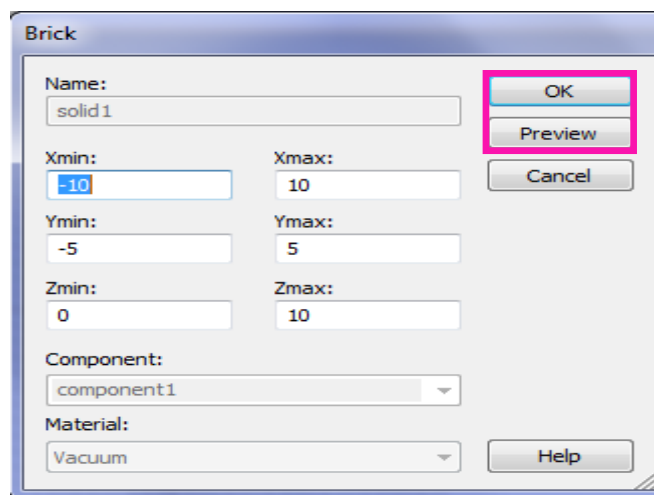
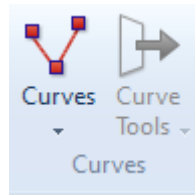


Figure I.34 : modifier la longueur de brique ( $x_{min}$ ,  $x_{max}$ )

### 1) Création de courbe (curve) :

Dans ce qui précède nous avons montrés comment un modèle peut être généré à partir de différentes formes 3D.

Une autre option pour générer des formes est basée sur les courbes.



Pour créer un élément de la courbe par exemple un rectangle nous cliquons sur **'curve → Rectangle'**.

Nous cliquons sur **'ESC'**, une boîte de dialogue apparaît sur laquelle nous saisissons les coordonnées du rectangle.

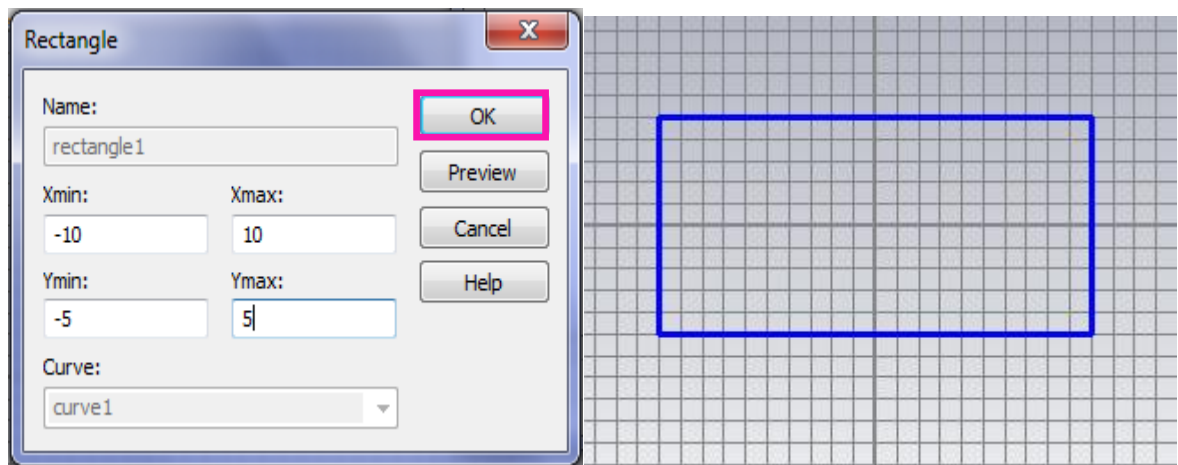


Figure I.35 : générer un rectangle basé sur les courbes.

Créer un cercle sur le plan du dessin qui recouvre l'un des bords du rectangle, comme suit : **'Curve → Circle'** l'écran doit ressembler à ce qui suit :

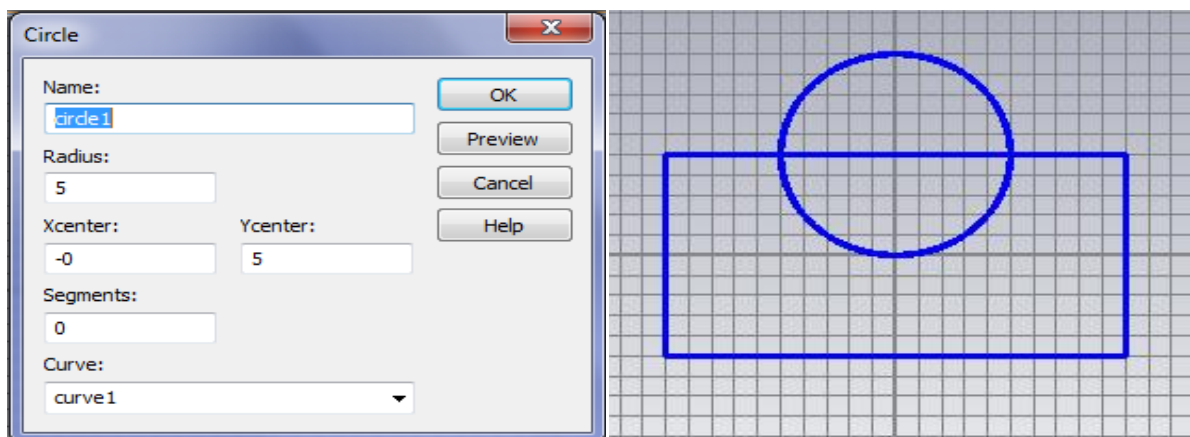


Figure I.36 : générer un cercle qui recouvre l'un des bords de rectangle

Maintenant nous devons couper les deux objets de sorte que la courbe obtenue ne contient qu'un seul contour.

D'abord, nous sélectionnons l'un des éléments de la courbe, par exemple le rectangle, nous cliquons sur '**Curve**→**Trim Curves**'.

Nous sélectionnons l'élément qui doit être coupé avec le rectangle, nous sélectionnons le cercle, puis en appuyant sur la touche '**entrer**' du clavier.

L'étape suivante consiste à double cliquer sur tous les segments de la courbe que nous souhaitons supprimer du modèle. Le résultat doit ressembler à ceci :

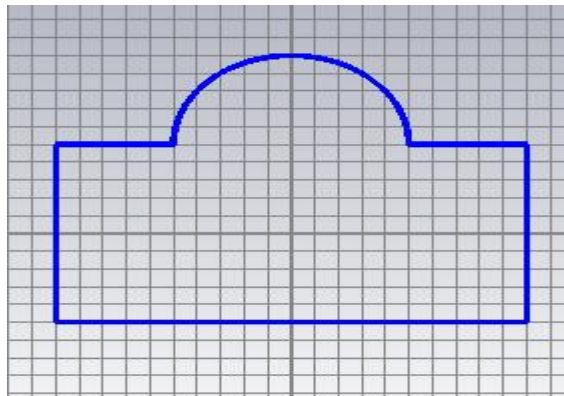
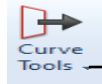


Figure I.37 : obtention d'une courbe qui contient un seul contour

Nous pouvons créer un solide en cliquant sur : '**CurveTools**  → **Sweep Curve**'  
Maintenant, que nous savons comment générer un modèle, nous allons passer à la configuration.

### I.6 Configuration du modèle :

#### a) les unités :

En choisissant un modèle de structure dans la fenêtre '**creat new project**' les unités sont définies par défaut, mais si elles ne conviennent pas on peut les changer à partir du menu

'**Home** → **Units** 

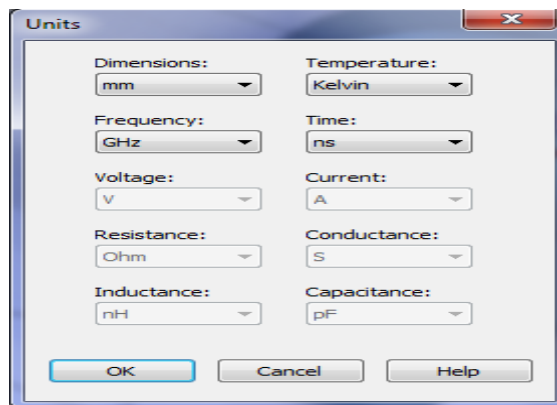



Figure I.38 : Définir les unités

### b) La fréquence :

Pour chaque modèle à réaliser, il est très important de définir une plage de fréquence pour la simulation à partir du menu **'Home** →  **Frequency** ,

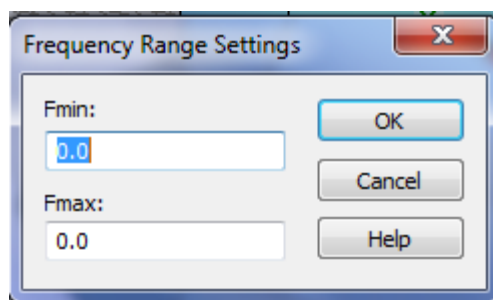



Figure I.39 : Définir une plage de fréquence

### c) Les conditions aux limites :

Pour délimiter la structure lors de la simulation on doit spécifier une condition limite pour chaque plan (Xmin/ Ymax/ Ymin/ Ymax/ Zmin/ Zmax).

Nous définissons les conditions aux limites à partir de la boîte de dialogue qui apparaît en suivant cette procédure : **'Simulation** →  **Boundaries** ,

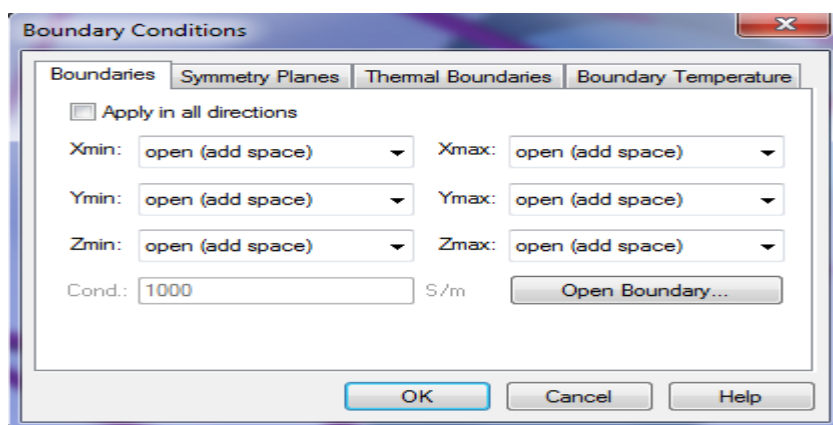


Figure I.40 : Définir les conditions aux limites

### **Boundaries :**

Correspond aux conditions aux limites : les conditions sont l'espace ouvert (Open Add Space) mais nous pouvons définir un plan ayant des caractéristiques de champ E ou H égale à zéro ou une périodicité dans la structure.

Nous pouvons aussi définir les plans de symétries qui permettront de réduire le temps de calcul, à partir de la boîte de dialogue qui apparaît en cliquant sur **'Symmetry plane'**.

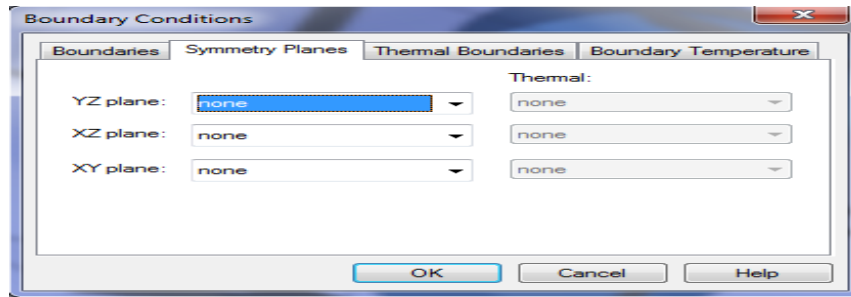
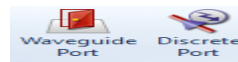


Figure I.41 : Définir les plans de symétries

## I-7 Configurer les ports :


Avant toute chose nous devons ajouter des ports de connexion à notre structure accessible dans le menu **'simulation'**.



Il existe deux types de port : **'Waveguide port et Discret Port'**.

Le Waveguide Port est le plus précis pour une simulation de paramètres S. Ils sont utilisés pour simuler par exemple, un guide d'onde rectangulaire, un câble coaxial ou une ligne micro ruban.

Bien que les Waveguide Ports soient plus précis, les discret Ports sont parfois plus pratique à utiliser. Ce type de port est souvent utilisé comme source de point d'alimentation pour les antennes.

Nous définissons un port à partir de la barre du menu **'Simulation'** → , et la boîte de dialogue des ports apparaît, mais avant de suivre cette procédure nous devons sélectionner la face correspondante.

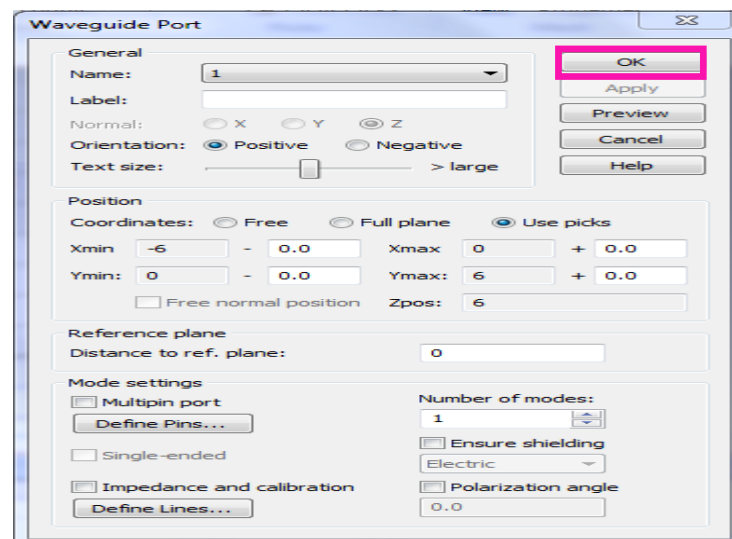



Figure I.42 : La boîte de dialogue des ports de guide d'onde


## I.8 Le maillage :

La génération du maillage de la structure est réalisée automatiquement, mais dans certaines situations, il peut être utile de considérer la maille dans le but d'améliorer la vitesse de simulations en changeant les paramètres de la maille.

Le maillage peut être configuré en sélectionnant l'icône '**Global Properties**', dans le menu '**Simulation**' ou '**Home**'. En cliquant sur .

## I.9 Calcul des champs :

En plus de l'impédance du port et des paramètres S qui sont calculés automatiquement pour chaque port, les grandeurs liées au champ électromagnétique tel que les courants électriques ou magnétiques, la densité des courants équivalente ou rayonnée en champ lointain peuvent être calculées en fonction des fréquences.

Les moniteurs de champs sont définis à partir d'une boîte de dialogue qui apparaît en suivant cette procédure : '**Simulation** → .

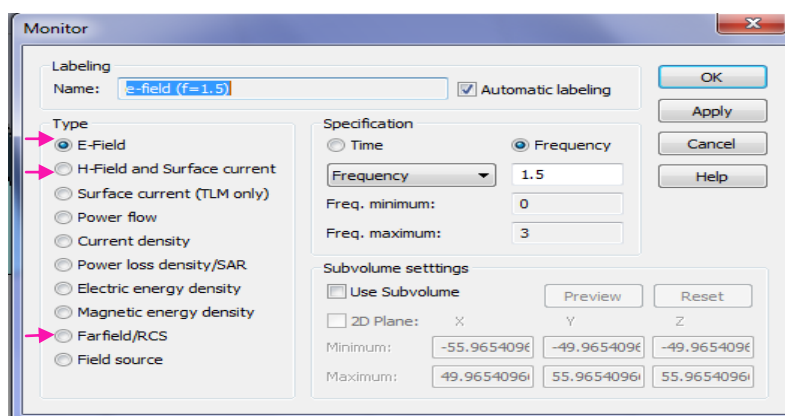



Figure I.43 : Définir les moniteurs de champs

## I.10 Commencer une simulation :

Après avoir défini tous les paramètres nécessaires, nous sommes prêts à commencer notre première simulation. Nous démarrons la simulation à partir de la boîte de dialogue de contrôle de solveur temporel  (dans le menu '**Simulation**'). Dans cette boîte de dialogue, nous pouvons spécifier quelle colonne de la matrice S devrait être calculée. Par défaut CST calcule tous les paramètres S.

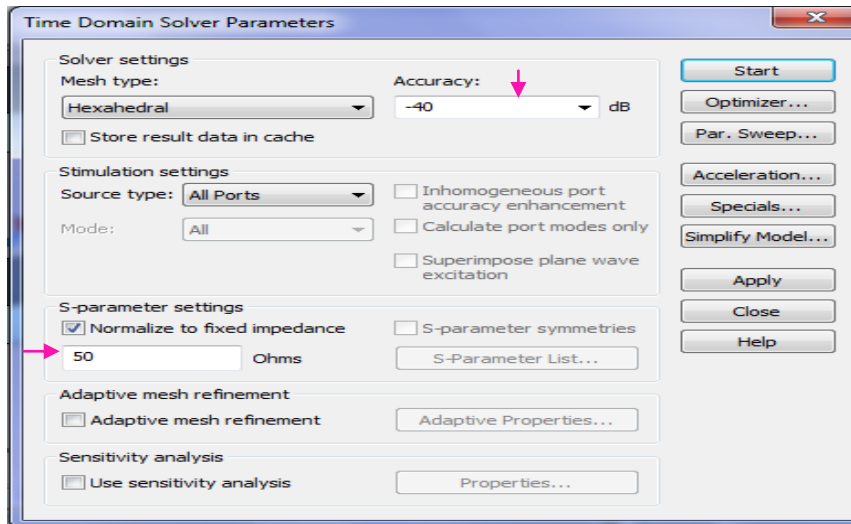


Figure I.44 : Boite de dialogue de contrôle de solveur temporel

## I.11 Résultat de simulation :

Après une simulation réussie, nous serons en mesure d'accéder à différents résultats de calcul et de récupérer les données de sortie obtenues à partir de l'arbre des objets de problème à la droite de la fenêtre de programme.

### a) Analyser le port :

Après que le solveur ait terminé le calcul du mode, nous pouvons visualiser les résultats (même si l'analyse transitoire est toujours en cours). Dans la partie navigation de notre projet (fenêtre de gauche du logiciel), nous ouvrons le dossier '2D/3D Results' puis le sous-dossier spécifique correspond au port que nous voulons analyser. Nous choisissons ensuite **e1**. Sur la fenêtre de droite nous trouverons les informations telles que le mode, l'impédance, la constante de propagation calculée pour la fenêtre centrale.

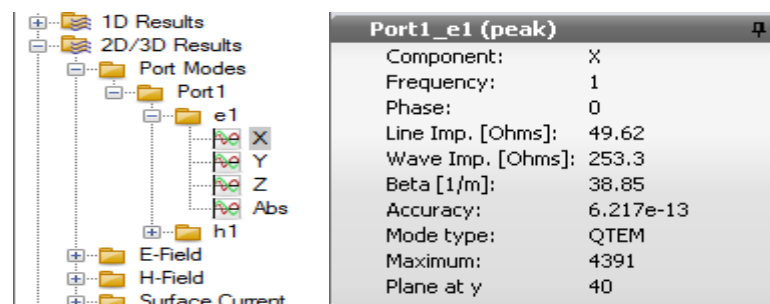
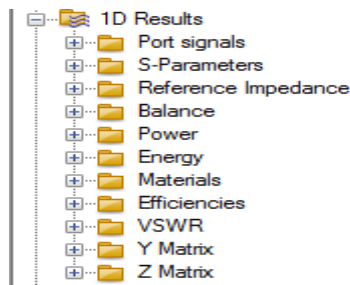


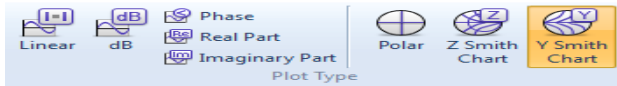
Figure I.45 : Visualisation du résultat de simulation

### b) Paramètres S :

Dans la partie navigation de notre projet, nous trouverons dans le dossier '1D Results' les résultats de simulation tels que les paramètres S, le TOS (VSWR), Z Matrix,...

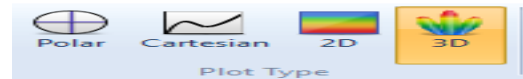


Les paramètres S peuvent être observés dans le menu '1D Results' en linéaires, en dB, en phase, sur l'abaque de Smith...

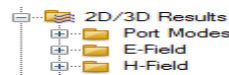


### c) Les champs :

Les champs peuvent être observés en sélectionnant le répertoire '2D/3D Results' ou le répertoire 'Farfields'. Dans le répertoire 'Farfield Plot' nous pouvons choisir de tracer le champ lointain en cartésien ou polaire, en 3D...

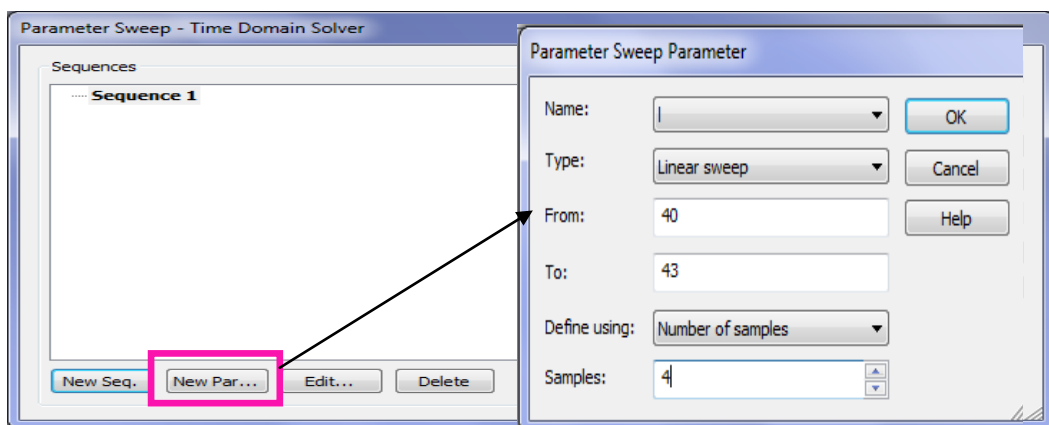
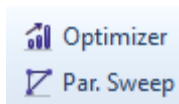


Le champ E ou H se trouve dans le menu 2D/ 3D.



## I.12 Optimisation et variation de paramètre :

Dans le menu Home ou Simulation nous trouverons des outils pour optimiser nos résultats ou faire une simulation en faisant varier un paramètre de notre structure.



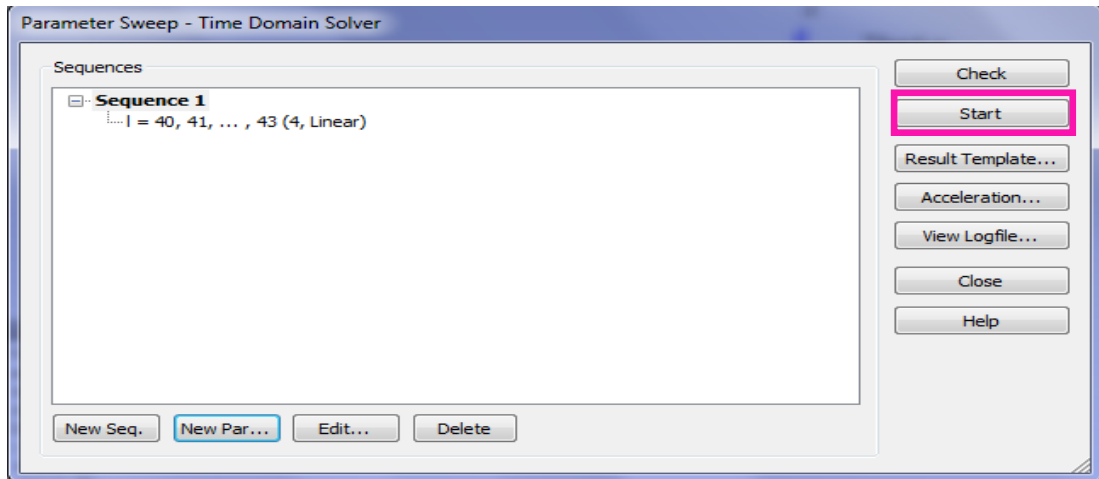
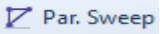
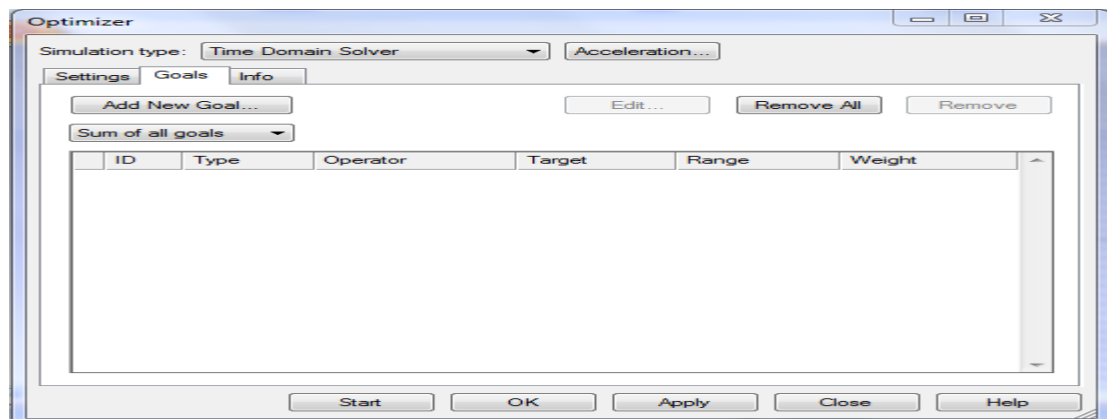
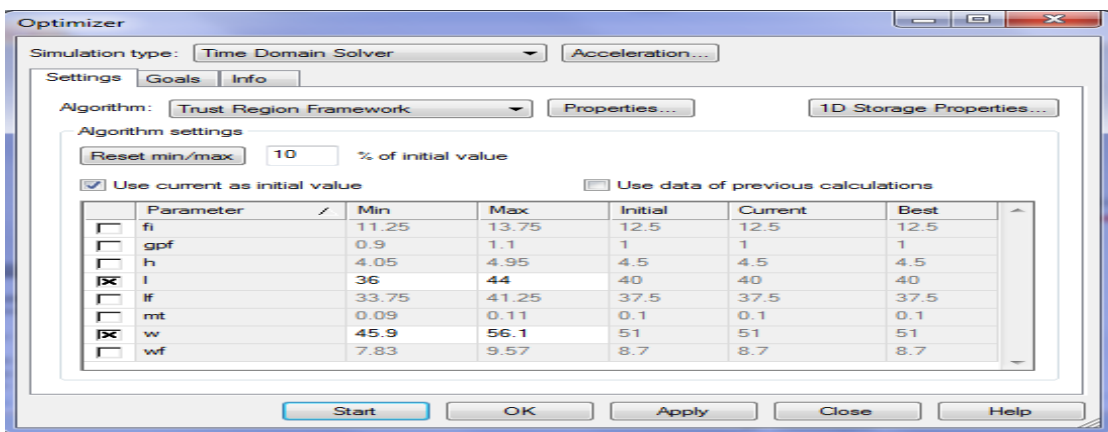


Figure I.46 : boîtes de dialogues de variation des paramètres de simulation

Nous pouvons optimiser le modèle à partir de la fenêtre de « setup Solver » ou bien directement à partir de la barre d'outils 'home' . Pour ce faire, il faut sélectionner les variables à optimiser, leurs bornes et le nombre d'échantillons. Ensuite, il faut établir une ou des fonctions cibles à atteindre, c'est-à-dire qu'il faut choisir un paramètre tel que l'amplitude du paramètre  $S_{11}$ , qui quantifie le signal réfléchi. La figure 47 montre les boîtes de dialogues utilisés pour effectuer une optimisation.



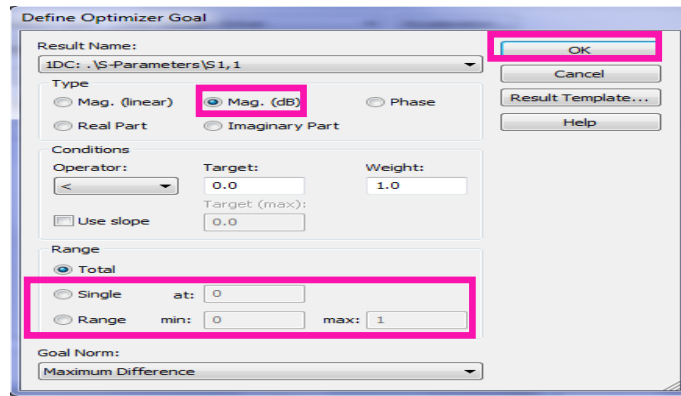


Figure I.47 : boîtes de dialogue d'optimisation

Quand l'optimisation est configurée, il ne reste plus qu'à démarrer celle-ci et attendre les résultats (le rapport de l'optimisation).

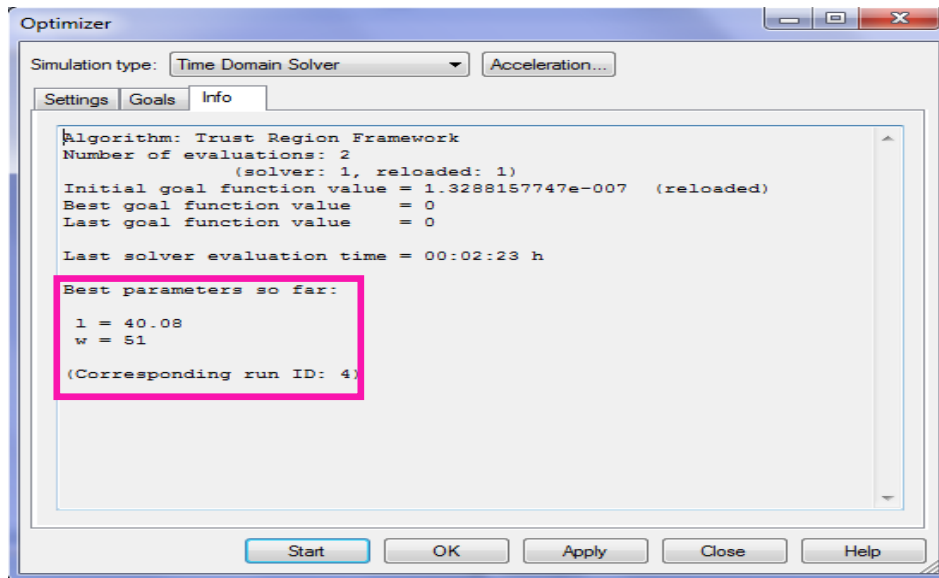


Figure I.48 : rapport de l'optimisation

## I.14 Conclusion :

Nous avons fait une description générale des différents outils du logiciel CST. L'utilisation de ce logiciel pour effectuer des simulations est simple quand nous connaissons son fonctionnement, pourtant son apprentissage est difficile étant donné le grand nombre de fonctions disponibles. Cet outil nous permet de représenter numériquement des composants micro-ondes et de les optimiser avant de les concevoir.

**CHAPITRE II**  
**SIMULATION DES ANTENNES PATCH**  
**ET ETUDE PARAMETRIQUE**

### II-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 imperfections des paramètres diélectriques et conducteurs des matériaux choisis. Pour cela, nous avons choisi un outil de simulation électromagnétique CST MWT qui étudie et simule des structures complexes en trois dimensions. Il est exploité notamment pour calculer les paramètres S, les fréquences de résonance, la visualisation du diagramme de rayonnement en 3D, l'impédance d'entrée,...

Pour concevoir ces antennes, nous allons suivre l'organigramme suivant :

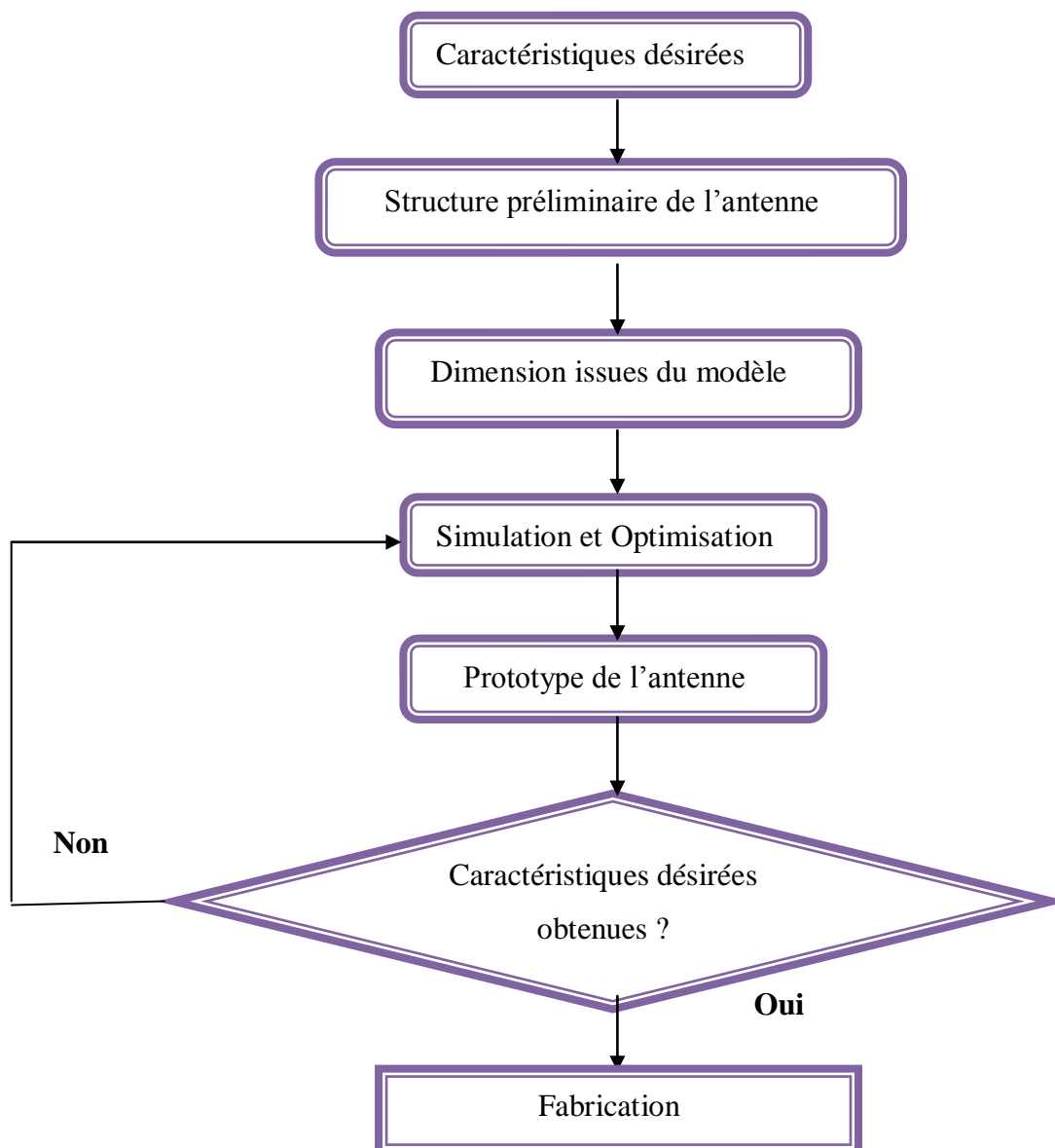


Figure II.1 Organigramme de conception d'antenne

### II.2 Description générale de l'antenne patch :

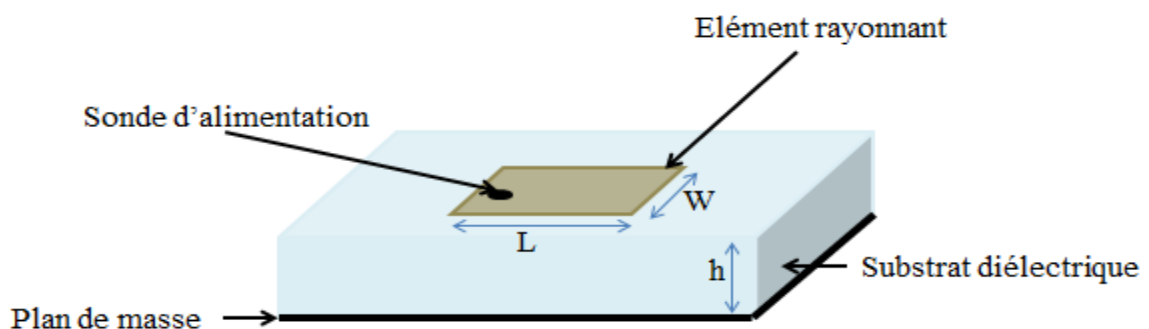
#### II.2.1 Antenne imprimée ou patch :

Le concept d'antennes patch est apparu dans les années 50, mais le véritable développement ne s'est fait que dans les années 70. Les antennes imprimées ou microruban, ou « patch » en anglais sont des éléments rayonnants planaires. L'antenne est réalisée par gravure d'un circuit imprimé. De part leur technologie de fabrication, celles-ci peuvent être intégrées au plus près des circuits électroniques en occupant un volume réduit et se conformant à différents types de surface. Leur principal avantage réside dans leur faible coût de fabrication. Les antennes patch sont utilisées dans de nombreuses applications à partir des bandes VHF (Figure II-1). [2]



#### II.2.2 Structure d'une antenne imprimée :

Une antenne patch consiste en un élément métallique de forme quelconque (rectangulaire, circulaire, à fente, ou formes plus élaborées) déposé sur la surface d'un substrat diélectrique qui présente sur l'autre face un plan conducteur (plan de masse). Une antenne patch rectangulaire est l'antenne patch la plus courante, sa structure est détaillée ci-dessous.



## Chapitre II : simulation des antennes patch et étude paramétrique

Les dimensions du patch sont généralement de l'ordre de la demi-longueur d'onde. Le choix de la longueur est guidé par la fréquence de résonance à donner à l'antenne. Le plan de masse ne pouvant pas être infini, il peut être égal à trois ou quatre fois la longueur d'onde, ce qui représente parfois un encombrement trop important. Un plan de masse plus petit conduira à une modification des propriétés de l'antenne. Les caractéristiques du substrat influent sur celles de l'antenne. En général, sa permittivité doit être faible, il doit être d'épaisseur négligeable devant la longueur d'onde et présenter de faibles pertes.

### II.2.3 Les différentes formes d'une antenne patch :

L'antenne patch peut prendre plusieurs formes qui peuvent être rectangulaire, carré, circulaire ou simplement un dipôle. Ces formes sont les plus courantes car elles présentent une grande facilité d'analyse et de fabrication, mais également un diagramme de rayonnement très intéressant. La figure suivante montre ces différentes formes. [3]

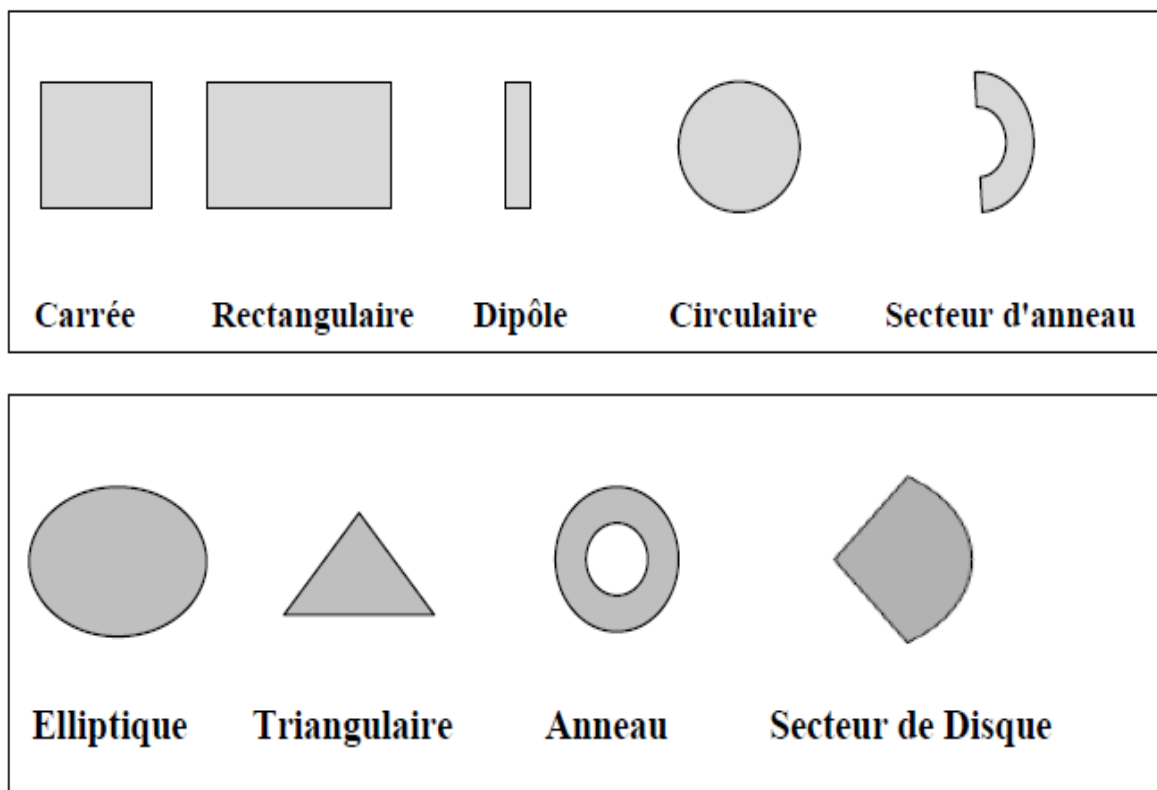


Figure II.4: Différentes formes d'antennes patch

### II.2.4 Principe de fonctionnement :

Dans sa configuration originale, le comportement de l'antenne est contrôlé à l'aide d'une sonde de courant connectée entre le patch rayonnant et le plan de masse, ce qui va provoquer

## Chapitre II : simulation des antennes patch et étude paramétrique

l'apparition et la distribution de charges qui s'établit au-dessus et en dessous de l'élément, entre le plan de masse et le substrat

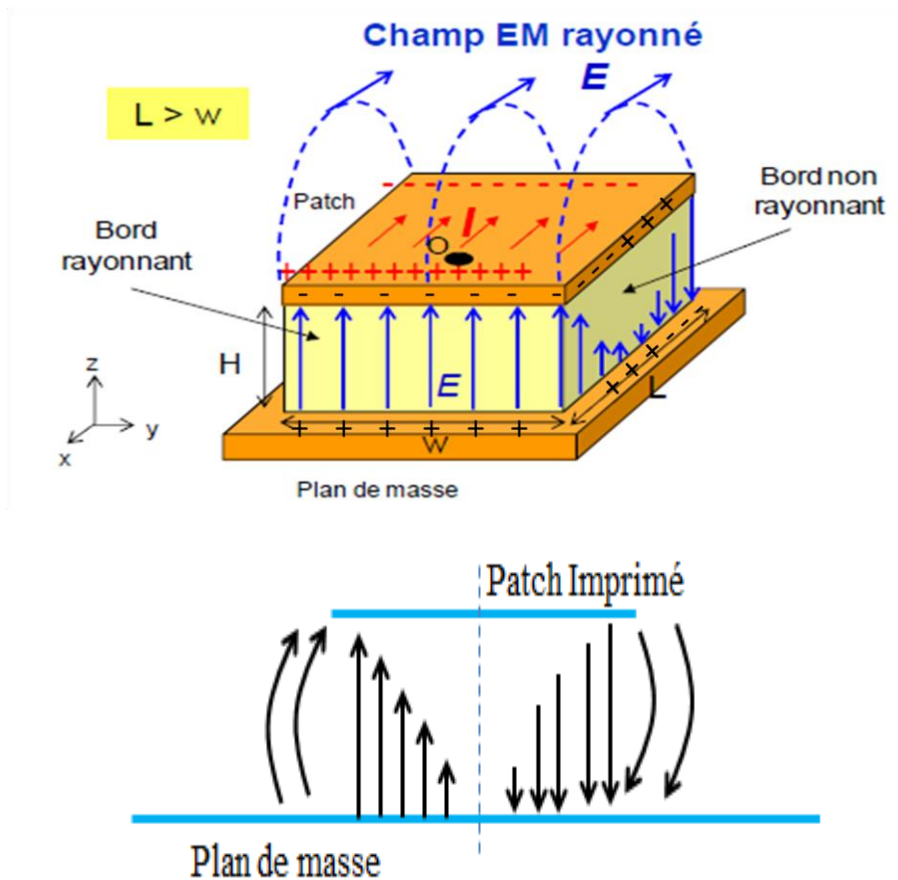


Figure II.5: Rayonnement d'une antenne patch rectangulaire

Le champ présent entre les bords du patch et le plan de masse va déborder et contribuer à générer le champ électromagnétique rayonné ; celui 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 deux bords sont donc appelés fentes rayonnantes.

### II.3 Techniques d'alimentation des antennes patch :

L'alimentation des antennes patch est l'une des parties les plus importantes dans le processus de la conception, plusieurs techniques ont été alors considérées dans ce but, on peut classer ces techniques en deux grandes catégories [4] :

### II.3.1 Alimentation par contact :

#### a) Alimentation par une ligne micro ruban :

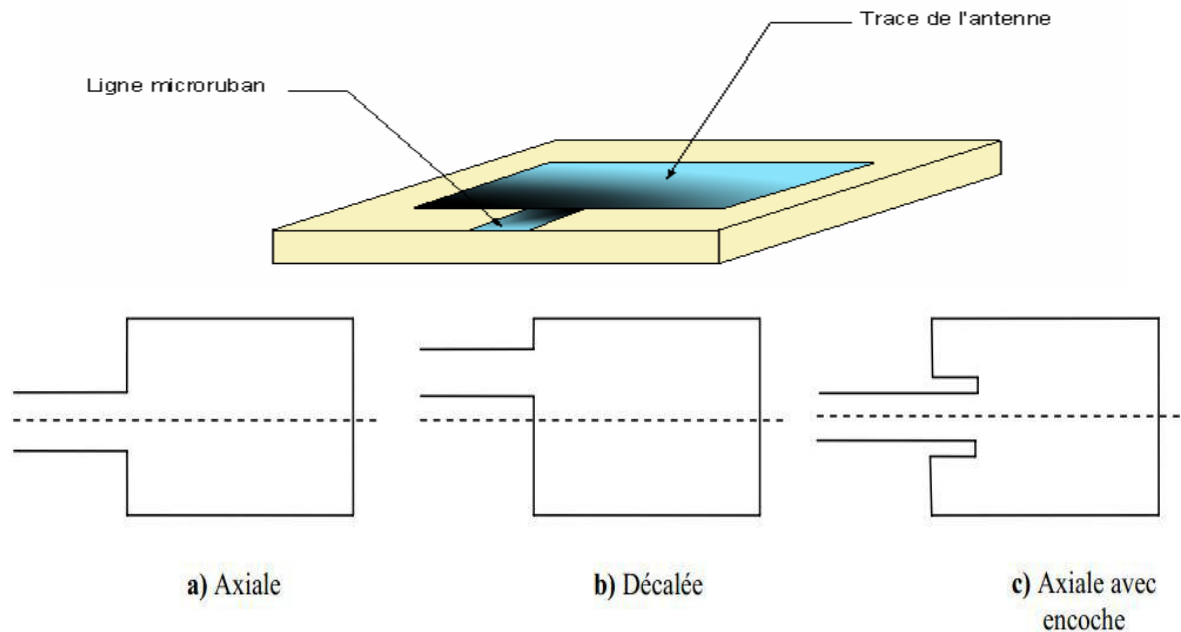


Figure II.6: Alimentation par une ligne micro ruban.

L'alimentation la plus simple consiste à utiliser une ligne micro ruban sur le même plan que le patch rayonnant. [5]

#### b) Alimentation par une sonde coaxiale :

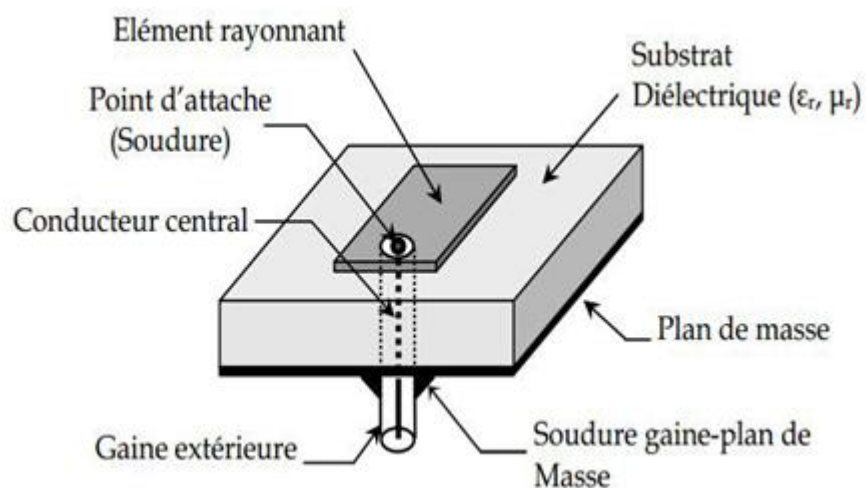


Figure II.7: Alimentation par une sonde coaxiale.

II.3.2 Alimentation par proximité :

a) Alimentation par couplage électromagnétique :

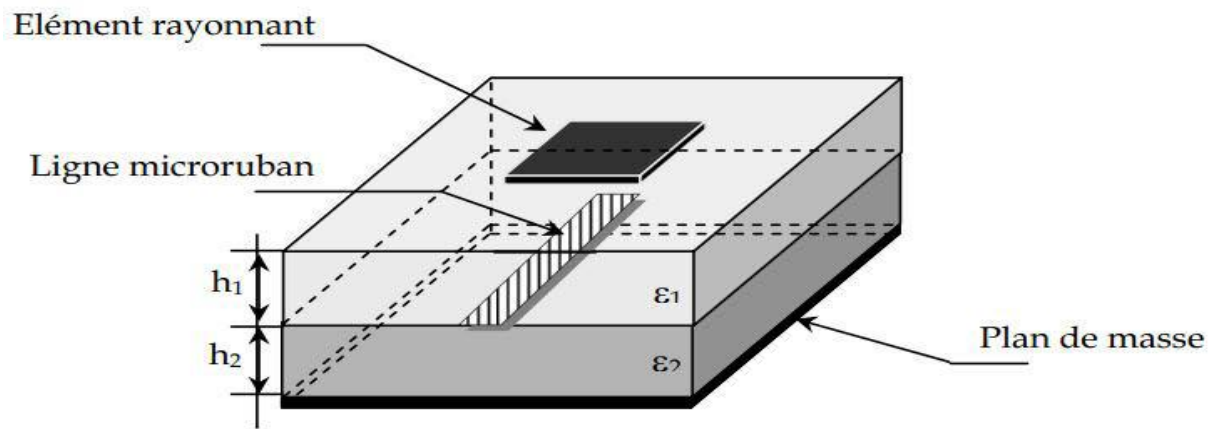


Figure II.8: Alimentation par couplage électromagnétique.

b) Alimentation par couplage à ouverture (fente) dans le plan de masse :

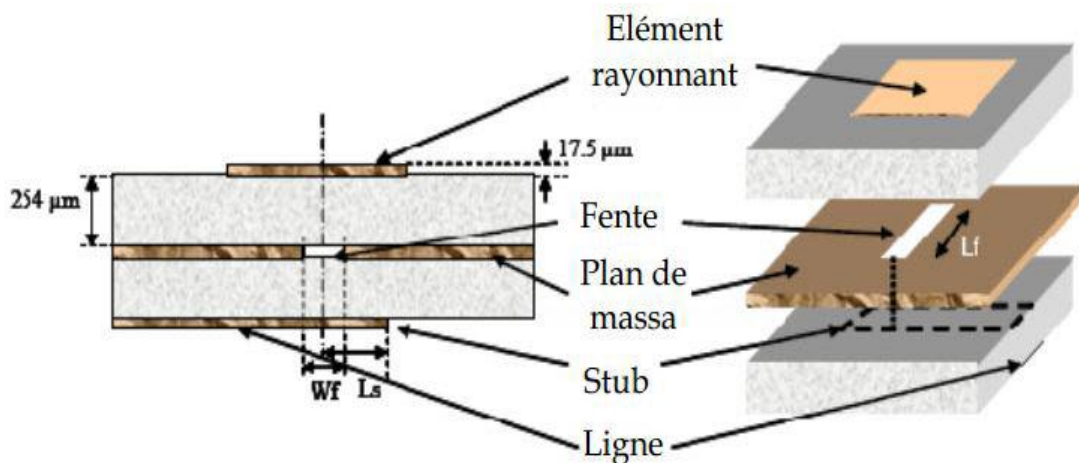


Figure II.9: Alimentation par couplage à une ligne micro ruban par ligne micro ruban à travers une fente dans le plan de masse.

Une comparaison entre l'alimentation avec contact (par sonde coaxiale et par ligne microruban et l'alimentation sans contact (par couplage, par guide d'onde coplanaire, et par couplage par fente), se résume dans le tableau suivant :

<b>Méthodes</b>		<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<b>Alimentation avec contact</b>	<b>Sonde Coaxiale</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pas de pertes par rayonnement de ligne</li> <li>- Sélection possible d'un mode privilégié</li> <li>- Obtention d'une impédance d'entrée adéquate par positionnement de la sonde</li> <li>- Prédiction aisée de l'impédance d'entrée pour des substrats faible hauteur.</li> <li>- Technique de perçage simple jusqu'à 10 GHz.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- l'augmentation du rayonnement parasite.</li> <li>- Partie selfique ramenée par l'âme du connecteur à prendre en compte.</li> <li>- Technique de perçage et de soudure plus délicate en millimétrique.</li> <li>- Difficile à exciter chaque élément d'un réseau seul</li> </ul>
	<b>Ligne microruban</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Procédé technologique plus simple par gravure sur la même face de l'antenne et du circuit d'alimentation</li> <li>- Adaptation de l'aérien possible par contact pénétrant</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rayonnement parasite de la discontinuité ligne-aérien.</li> <li>- Rayonnement parasite possible du circuit de distribution en millimétrique.</li> <li>- Structure figée après gravure</li> </ul>
<b>Alimentation Sans contact</b>	<b>Par couplage</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dessin du circuit d'alimentation modifiable par rapport aux aériens</li> <li>- Bande passante plus large par augmentation de la hauteur.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deux couches de substrat Requises</li> <li>- Difficulté pour l'intégration de dispositifs actifs et pour la dissipation de chaleur.</li> </ul>
	<b>Couplage par fente</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réalisation du circuit de distribution et de l'aérien indépendantes</li> <li>- séparation électromagnétique des deux couches</li> <li>- Possibilité d'élargir la bande passante en associant la résonance de l'élément rayonnant à celle de la fente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Technologie plus couteuse et complexe (positionnement des deux couches, quatre faces de métallisation)</li> <li>- Intégration sur un support mécanique nécessitant des précautions</li> <li>- Rayonnement arrière parasite de la fente lorsque celle-ci résonne au voisinage de l'élément</li> </ul>

Tableau II. 1 : Avantages et inconvénients de différentes techniques d'alimentations [4][6]

### II.4 Application des antennes micro-ruban :

Vu l'explosion technologique dans la télécommunication et les recherches scientifiques concernant les antennes imprimées, et vu les exigences multiples dans le domaine de communication, l'utilisation des antennes micro-ondes classiques devient incapable de répondre à ces exigences. Pour cette raison, les antennes imprimées remplacent les antennes classiques dans un bon nombre d'applications parmi lesquelles nous pouvons citer :

- La commande et le contrôle (télécommande).
- La télémétrie.
- Les équipements portatifs.
- Les antennes d'émission utilisées en médecine .
- Les récepteurs satellite de navigation.

### II.5 Avantages et limitation des antennes patches

Les antennes patches présentent de nombreux avantages et leurs utilisations couvrent un large domaine de fréquences allant de 100 MHz à 100 GHz, Parmi ces avantages [4] :

- un faible coût de fabrication.
- légères et peu encombrantes.
- la possibilité de mise en réseaux pour améliorer la directivité et pour des applications de balayage électronique de l'espace,
- compatibilité avec les circuits hybrides et MMIC (Microwave Monolithic Integrated Circuit),
- les réseaux d'alimentation et d'adaptation sont fabriqués simultanément avec l'antenne,
- la polarisation de l'onde électromagnétique linéaire ou circulaire en ajustant la géométrie et l'excitation de l'élément rayonnant.

Malgré les avantages précédemment cités, ces antennes ont des inconvénients de limitation d'utilisation tels que :

- une bande passante limitée (de 1 à 5 %) par rapport à la fréquence.
- un faible gain (de l'ordre de 5 dB).
- rayonnement limité à un demi-plan d'espace.
- supportent uniquement les faibles puissances.
- pertes de rayonnement par des ondes de surface.
- une pureté de polarisation difficile à obtenir.

### II.6 les paramètres géométriques de l'antenne patch :

Selon Balanis [3], la fréquence de résonance pour une antenne patch rectangulaire est donnée par:

$$fr = \frac{c}{2L_{eff}\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (II.1)$$

L'impédance d'entrée est donnée par l'équation :

$$Z_{in} = Z_0 \cos^2\left(\frac{\pi}{L}y_0\right) \quad (II.2)$$

La procédure d'une conception pratique d'une antenne patch rectangulaire assume la connaissance de la constante diélectrique du substrat  $\epsilon_r$ , la fréquence de résonance  $f_r$  et la hauteur du substrat  $h$ , la conception suit donc les étapes suivantes :

- Spécification de  $f_r$ ,  $\epsilon_r$  et  $h$ .
- Déterminer la largeur  $W$  et la longueur  $L$  du patch.

Pour un rayonnement efficace, la largeur pratique du patch est calculée comme suit :

$$w = \frac{c}{2fr} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r+1}} \quad (II.3)$$

Où  $c$  est la vitesse de la lumière ( $c = 3*10^8$ m/s)

Ensuite, nous pouvons calculer  $\epsilon_{re\text{ff}}$ . L'expression de  $\epsilon_{re\text{ff}}$  est donnée par Balanis [3] comme suit:

$$\epsilon_{eff} = \left(\frac{\epsilon_r+1}{2}\right) + \left(\frac{\epsilon_r-1}{2}\right) \left(1 + 12 \frac{h}{w}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (II.4)$$

Maintenant, calculons la longueur efficace  $L_{eff}$  et  $\Delta L$  avec les équations suivantes :

$$L_{eff} = \frac{c}{2fr\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (II.5)$$

$\Delta L$  défini par l'équation suivante.

$$\Delta L = 0.412 h \left[ (\epsilon_{eff} + 0.3) \frac{\left(\frac{w}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{w}{h} + 0.813\right)} \right] \quad (II.6)$$

Finalement, nous pouvons calculer la longueur réelle de l'élément de rayonnement rectangulaire avec l'équation suivante :

$$L = L_{eff} - 2 \Delta L \quad (II.7)$$

## Chapitre II : simulation des antennes patch et étude paramétrique

Détermination du point d'alimentation :

La première étape dans la détermination du point d'alimentation est le calcul de l'impédance d'entrée de l'antenne patch. Afin de pouvoir déterminer cette impédance, nous pouvons modéliser l'antenne patch rectangulaire par un circuit RC (résistance condensateur) équivalent (Figure II.8) [3].

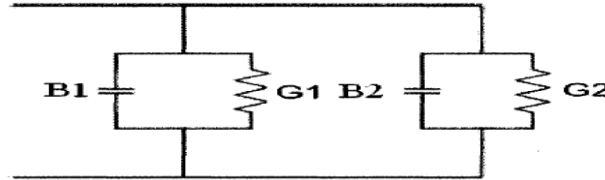


Figure II.10 Circuit RC équivalent d'une antenne en microruban [3]

$$R_{in} = \frac{1}{2(G_1 \pm G_{12})} \quad (II.8)$$

Ensuite, nous pouvons définir les équations de  $G_1$  et de  $G_{12}$ . Mais avant, nous définissons  $I_1$  et  $k_0$  qui seront utilisés par  $G_1$  et  $G_{12}$ .

$$I_1 = \int_0^\pi \left[ \frac{\sin\left(\frac{K_0 w \cos(\theta)}{2}\right)}{\cos(\theta)} \right]^2 \sin^3 \theta d\theta \quad (II.9)$$

$$K_0 = 2\pi f_r \sqrt{\epsilon \mu_0} \quad (II.10)$$

➤ l'équation définissant  $G_1$  (conductance) [3] :

$$G_1 = \frac{I_1}{120\pi^2} \quad (II.11)$$

➤ l'équation définissant  $G_{12}$  (Partie de la conductance créée par  $G_2$ ) [3] :

$$G_{12} = \frac{1}{120\pi^2} \int_0^\pi \left[ \frac{\sin\left(\frac{K_0 w \cos(\theta)}{2}\right)}{\cos(\theta)} \right]^2 J_0(K_0 L \sin(\theta)) \sin^3 \theta d\theta \quad (II.12)$$

La fonction de Bessel d'ordre zéro est définie par l'équation suivante :

$$J(z) = \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k \frac{\left(\frac{1}{4}z^2\right)^k}{(k!)^2} \quad (II.13)$$

$z$  : argument de la fonction de Bessel

Nous avons maintenant les équations utilisées pour calculer l'impédance d'entrée  $R_{in}$ , nous pouvons déterminer le point d'alimentation de l'élément de rayonnement. Pour ce faire, considérons la figure suivante :

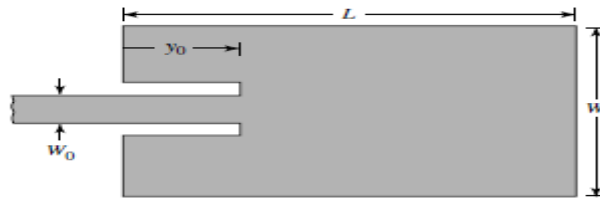


Figure II.11 L'antenne patch avec le point d'insertion de couplage [3]

L'équation qui va nous permettre d'obtenir le point d'alimentation  $y_0$  de notre élément est donc:

$$R_{ligne} = R_{in} \cos^2 \left( \frac{\pi}{L} y_0 \right) \quad (\text{II.14}) [3]$$

### II.7 Calcul des dimensions théoriques du patch sous Matlab :

Le programme suivant est conçu pour calculer les paramètres d'une antenne patch rectangulaire.

Nous devons spécifier la valeur de la fréquence de résonance  $f_r$ , la constante diélectrique  $\epsilon_r$  et la hauteur du substrat  $h$ .

Ce programme va calculer automatiquement la longueur ( $L$ ), la largeur ( $W$ ) du patch et la position de point d'alimentation ( $d$ ).

```
function[] = cal_patch
global k0 W L
f = 9      %('Donner la fréquence f en GHz: ');
Er = 4.3   %('donner la constante diélectrique du substrat
εr');
h = 1.6    %('donner la hauteur du substrat h en mm: ');
h=h/1000; % conversion de la hauteur en mètre
f=f*1e9;   % conversion de la fréquence en HZ
c = 3e8;   % la célérité de la lumière
k0=2*pi*f/c; %le nombre d'onde
Rin = 50; %l'impédance caractéristique de ligne d'alimentation
du l'antenne
% calcul de la largeur et la longueur du patch
W = ( c / ( 2 * f ) ) * ( ( 2 / ( Er + 1 ) ) ^0.5);
Er_eff = ( Er +1 )/2 + (( Er -1 )/2)*(1/(sqrt(1+(10*(h/W)))));
L_eff = c/(2*f*sqrt(Er_eff));
a1 = ( Er_eff + 0.3 ) * ( ( W / h ) + 0.264 );
```

## Chapitre II : simulation des antennes patch et étude paramétrique

---

```
a2 = ( Er_eff - 0.258 ) * ( ( W / h ) + 0.8 );
delta_L = (0.412 * ( a1 / a2 )) * h;
L = L_eff - 2*delta_L;
% calcul de la position y0 du point d'alimentation de l'antenne
t = 0:pi;
g1(t);
I1 = quad(@g1,0,pi);
G1 = I1/(120*pi*pi)
g12(t);
I12 = quad(@g12,0,pi);
G12 = I12/(120*pi*pi)
yo = (L/pi)*(acos(sqrt(2*Rin*(G1+G12))))
lambdaeff=(c/f)*sqrt(Er_eff);
LGP = (lambdaeff/4)*2+L;
WGP = (lambdaeff/4)*2+W;
LGP1 = L+6*h;
WGP1 = W+6*h;
str=['width = ', num2str(W*1000), ' mm']
str=['length = ', num2str(L*1000), ' mm']
str=['the inset feed point distance = ', num2str(yo*1000), '
mm']
str=['minimum GP length = ', num2str(LGP*1000), ' mm']
str=['minimum GP width = ', num2str(WGP*1000), ' mm']
str=['minimum GP length = ', num2str(LGP1*1000), ' mm']
str=['minimum GP width = ', num2str(WGP1*1000), ' mm']
h=h/100;
%subfunktions
function [f] = g1(t)
global k0 W
f = ((sin(k0*W*0.5*cos(t))/cos(t)).^2*(sin(t)).^3);
function [k] = g12(t)
global k0 W L
k=((sin(k0*W*0.5*cos(t))/cos(t)).^2*(sin(t).^3)).*besselj(0,
k0*L*sin(t));
```

## II.8 Simulation d'une antenne patch alimentée par une ligne microruban :

Après avoir calculé toutes les dimensions, nous pouvons simuler le modèle dans Microwave Studio et vérifier la théorie.

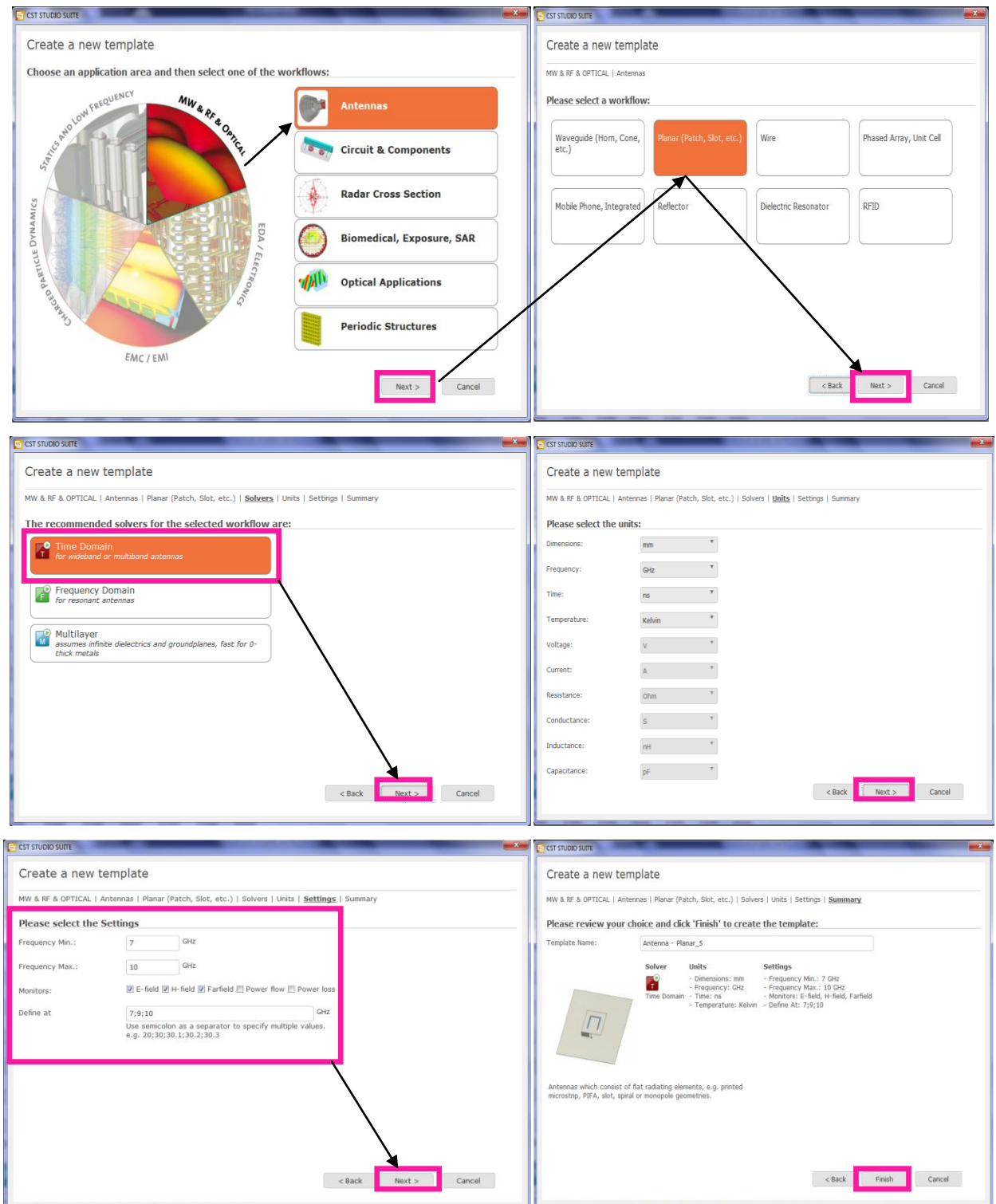


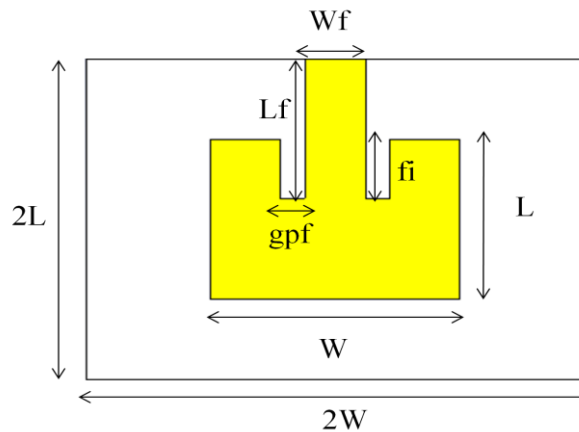
Figure II.12 : choix de l'environnement, type d'antenne, domaine de résolution, les unités et la gamme de fréquence d'étude

## II.8.1 Construction du modèle :

Nous allons remplir la liste des paramètres de la façon suivante :

Name	Value	Description	Type
fi	2.7	la longueur de l'encoche	Length
fr	9	la fréquence de résonnance	Frequency
gpf	1	la largeur de l'encoche	Length
h	1.6	la hauteur du substrat	Length
l	7.33	la longueur du patch	Length
lf	6.37	la longueur de la ligne microruban	Length
mt	0.035	l'épaisseur du patch	Length
w	10.24	la largeur du patch	Length
wf	2.56	la largeur de la ligne microruban	Length

Tableau II.2 Liste des paramètres d'une antenne patch alimentée par une ligne microruban



Nous spécifions les unités à partir de menu 'Home ', puis nous cliquons sur 'Ok'

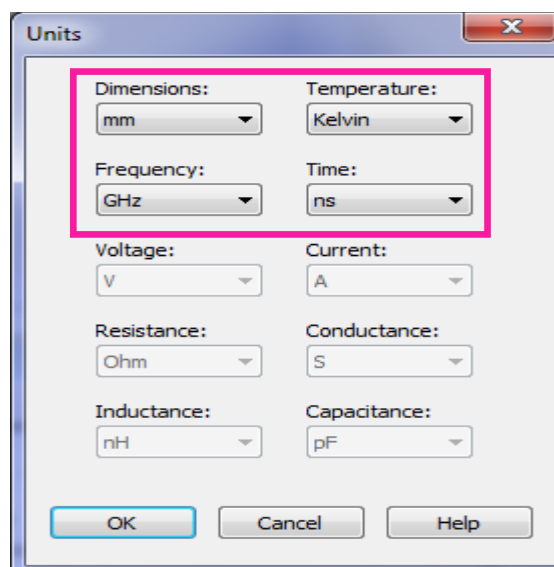



Figure II.13 : boîte de Dialogue de configuration des unités de base

## Chapitre II : simulation des antennes patch et étude paramétrique

Maintenant, nous pouvons commencer à dessiner le modèle :

### a) Dessiner le substrat :

Pour dessiner le substrat nous cliquons sur ‘brick ’, puis nous appuyons sur la touche ‘esc’, une fenêtre apparaît sur laquelle nous porterons les coordonnées du substrat ainsi que le matériau utilisé

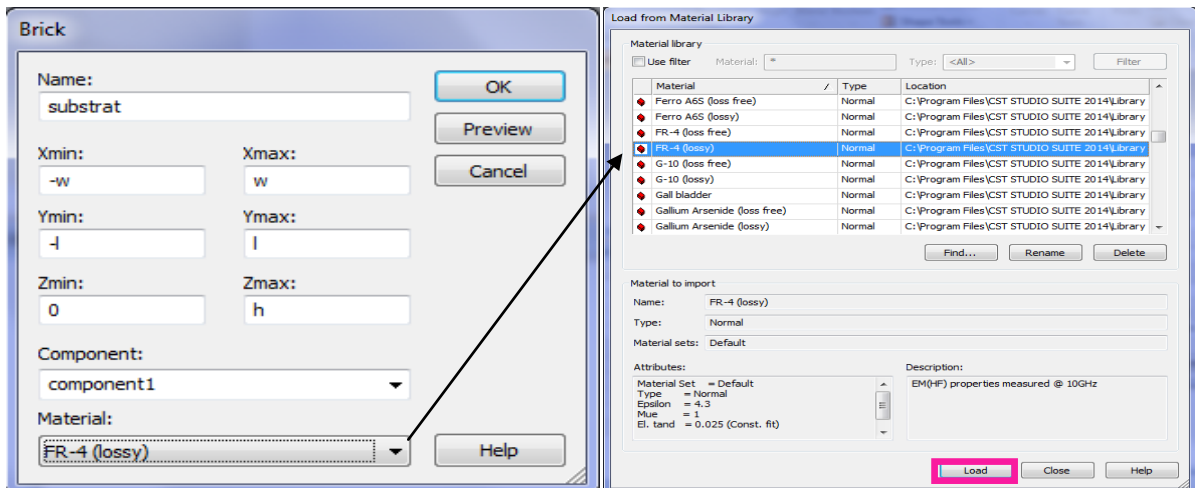


Figure II.14 : Création du substrat et la sélection d'un matériau à partir de la librairie de Microwave Studio

Une fois que nous avons choisi le matériau, nous cliquons sur ‘Load’ puis sur ‘OK’, et nous obtenons le substrat.

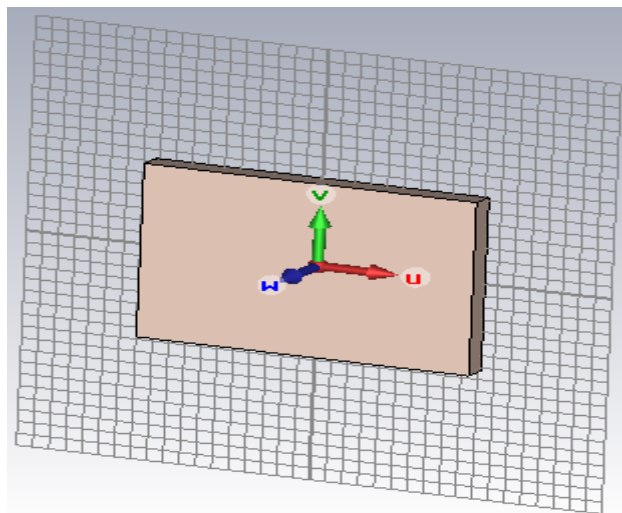


Figure II.15 : la structure du substrat

## Chapitre II : simulation des antennes patch et étude paramétrique

Nous retournons notre plan de dessin pour avoir l'autre face du substrat, et nous la sélectionnons comme suit :

**'Modeling → Picks → Pick Face'** et nous double cliquons sur le substrat.

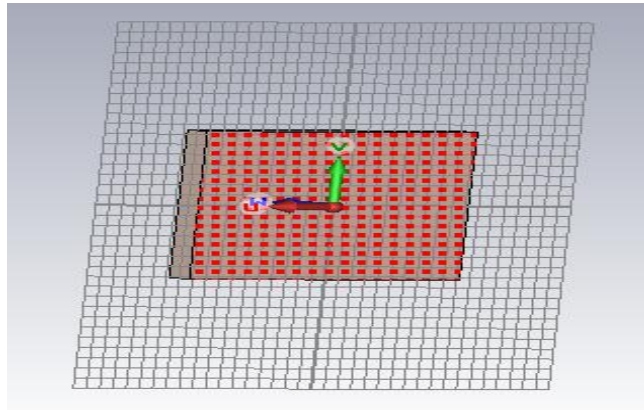



Figure II.16 : la sélection de l'autre face du substrat

Puis nous cliquons sur **'WCS aligne → aligne WCS with selected face'**

### b) Dessiner le plan de masse :

Nous sélectionnons une deuxième fois la face et nous cliquons sur **'extrude face'**  , et une fenêtre de dialogue apparaît sur laquelle nous spécifions les coordonnées exacte et le matériau utilisé puis nous cliquons sur **'OK'**.

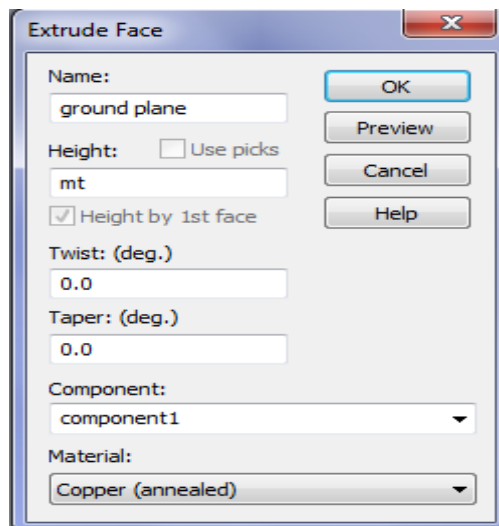



Figure II.17 : boîte de dialogue de création du plan de masse

## Chapitre II : simulation des antennes patch et étude paramétrique

Nous retournons encore notre plan sur l'autre face du substrat.

Nous sélectionnons la face comme suit 'modeling → picks → pick face', puis nous cliquons sur 'Modeling → WCS → Aligne WCS → Aligne WCS W'.

### c) Dessiner le patch :

Nous cliquons sur 'Brik ' nous appuyons ensuite sur la touche 'esc' du clavier, une fenêtre apparaît sur laquelle nous saisissons les coordonnées et le matériau du patch puis nous cliquons sur 'OK'.

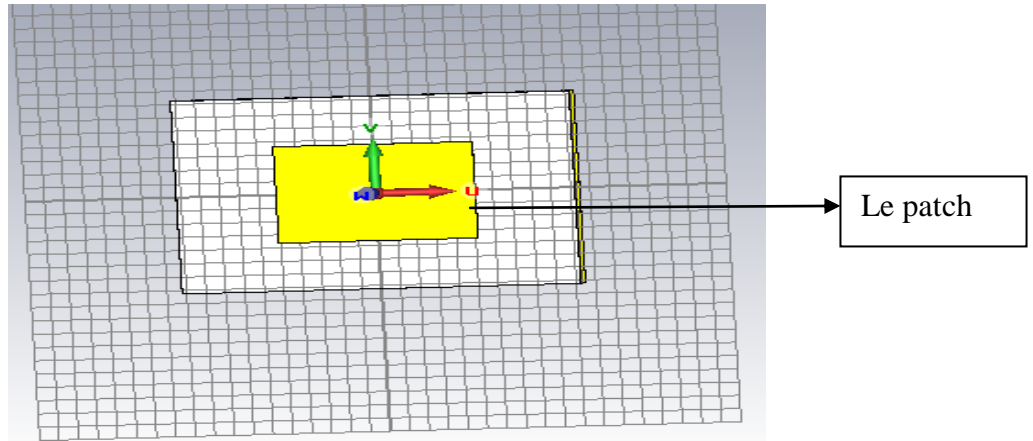


Figure II.18 : la structure du patch

### d) Dessiner le vide dans le patch :

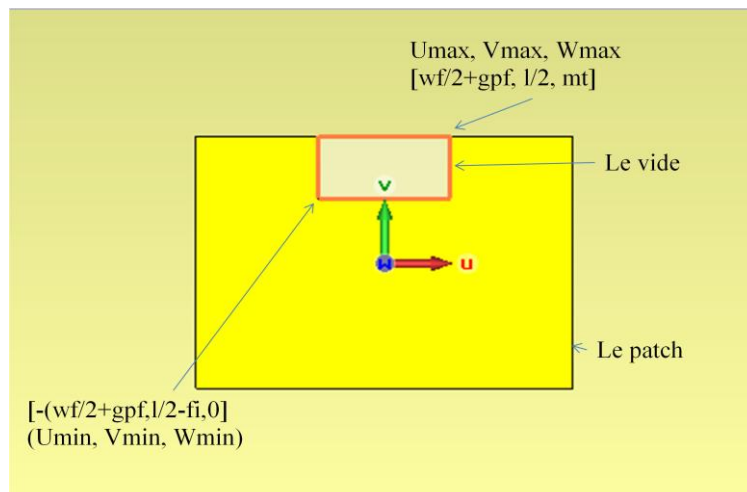


Figure II.19 : Dessiner le vide dans le patch

## Chapitre II : simulation des antennes patch et étude paramétrique

Pour créer ce vide nous suivons ces étapes :

‘**Brick**



, puis ‘**esc**’ une nouvelle fenêtre apparaît sur laquelle on porte les coordonnées et le matériau utilisé.

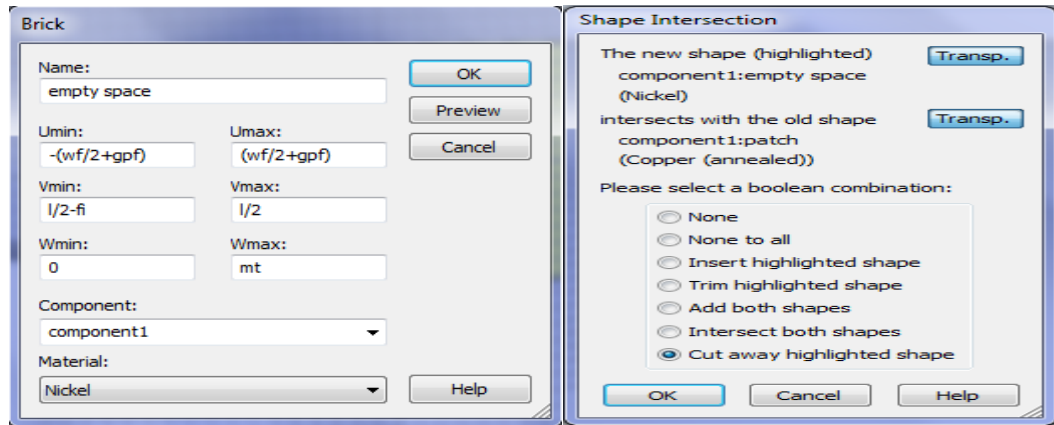


Figure II.20 : boîte de dialogue de création de vide du patch

Et nous obtenons la figure suivante :

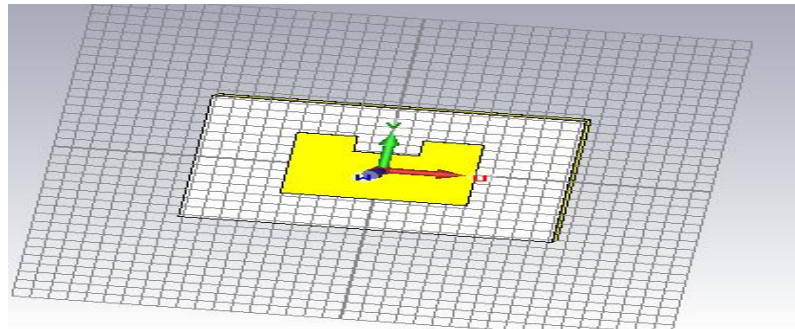


Figure II.21 : la structure du patch avec l'empty space

### e) Dessiner le micro ruban :

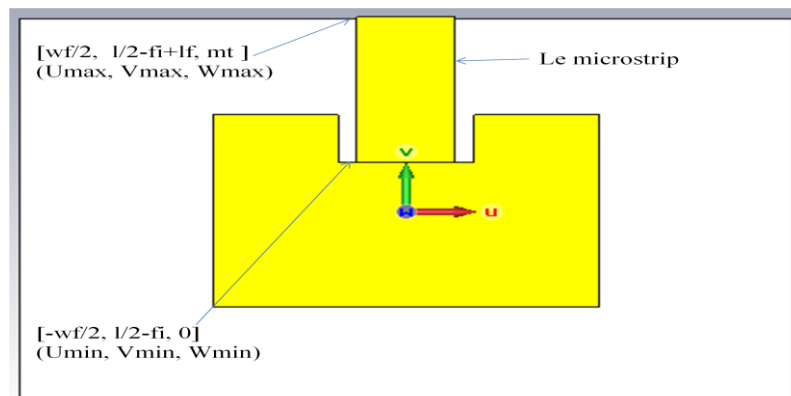


Figure II.22 : la structure de l'antenne patch alimenté par une ligne microruban

## Chapitre II : simulation des antennes patch et étude paramétrique

‘**Brick**

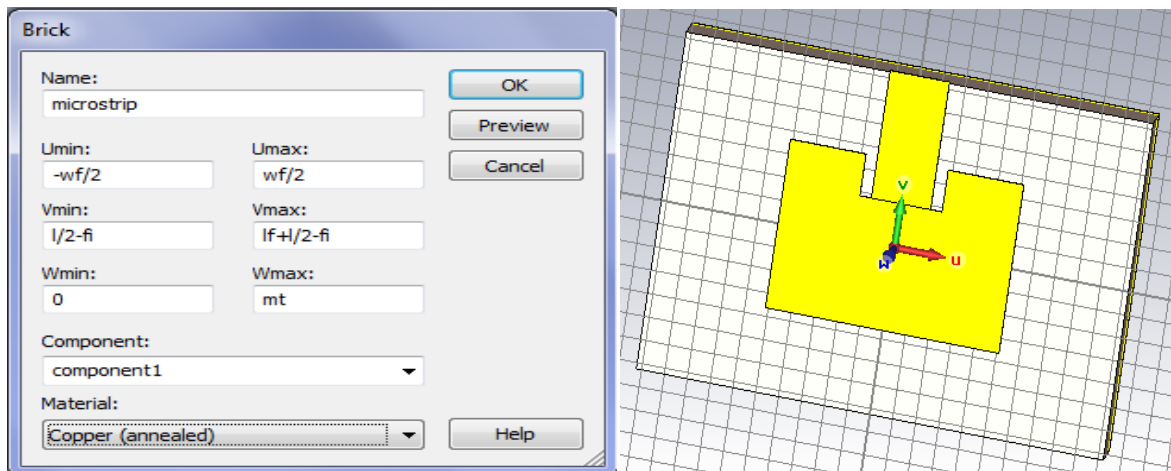
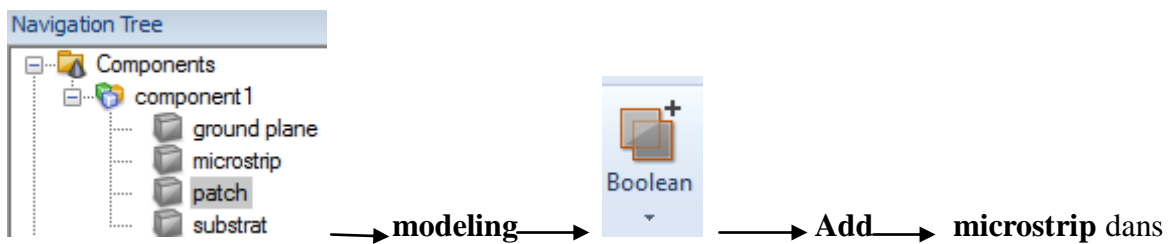


Figure II.23: dessiner le microstrip

Et pour finir le dessin de notre modèle, le patch et le microstrip (ligne d’alimentation) doivent être en seul objet, alors nous doivent les assembler comme suit :

Nous cliquons sur le ‘**patch**’ dans l’arbre de navigation :



l’arbre de navigation, puis nous appuyons sur la touche ‘**entrer**’ du clavier et nous obtenons le modèle uni.

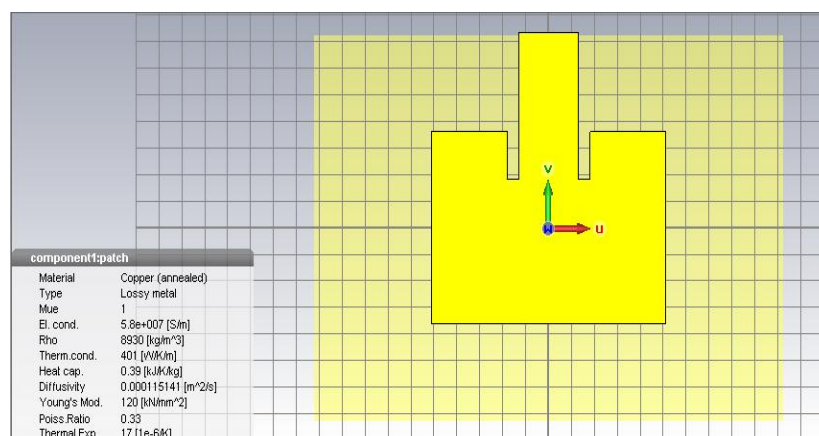


Figure II.24 : obtention du modèle uni (patch plus le microstrip)

### II.8.2 Excitation du modèle :

On zoom le microstrip au maximum, et nous suivons les données.

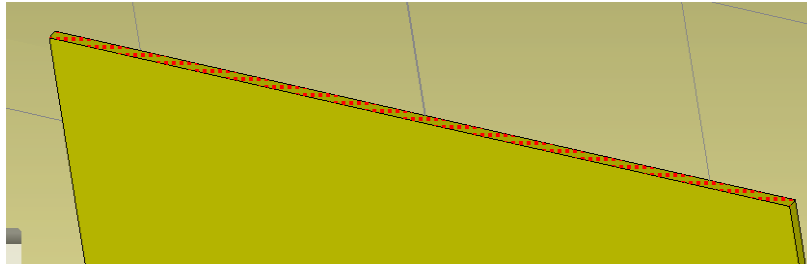



Figure II.25 : Zoom de la partie haute du microstrip

Nous cliquons sur ‘Simulation → waveguide port’ ’, une fenêtre apparaît et nous saisissons les données :

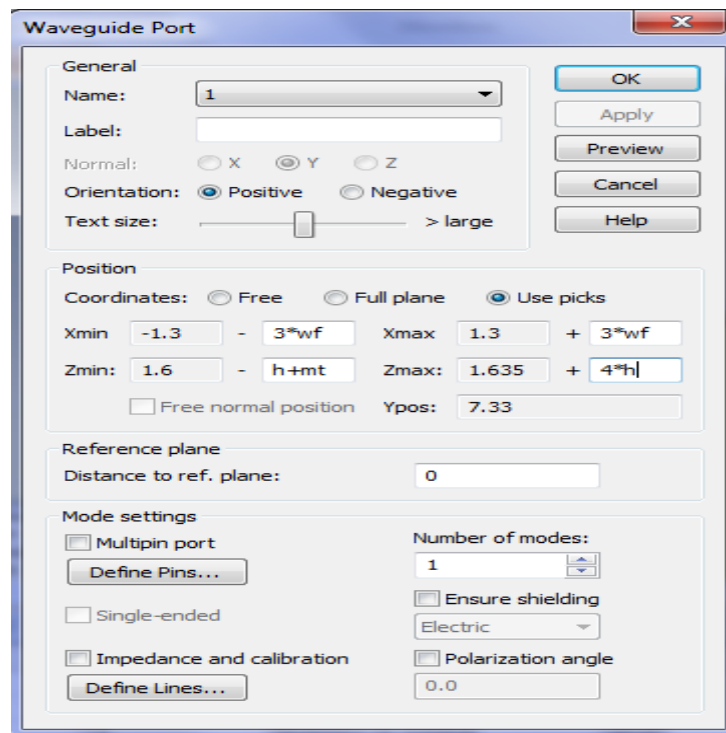


Figure II.26 : boîte de dialogue de la configuration du port de guide d’onde

Et nous obtenons le résultat suivant :

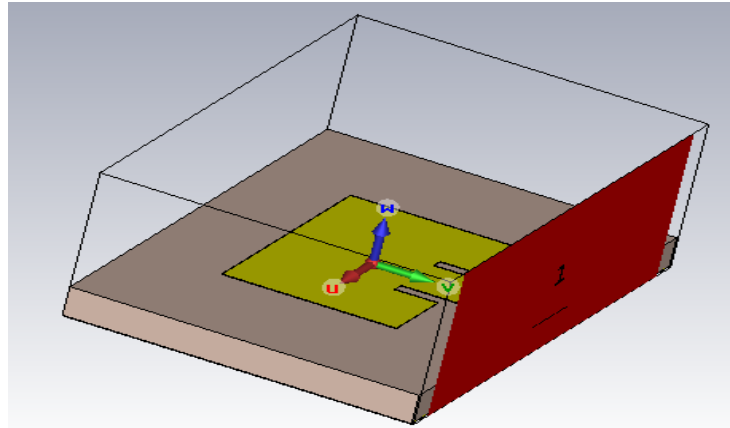
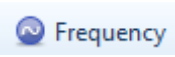


Figure II.27 : Structure d'une antenne patch alimentée par une ligne microruban

### II.8.3 la configuration du modèle :

#### a) Définir la plage de fréquence :

Nous cliquons sur 'simulation' → , nous spécifions la plage de fréquence puis nous cliquons sur 'OK'.

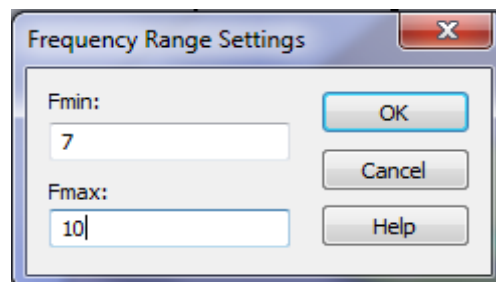



Figure II.28 : boîte de dialogue de configuration de la plage de fréquence

#### b) Définir les différents résultats que nous voulons obtenir après la simulation :

'Simulation' → , une fenêtre apparaît sur laquelle nous suivrons cette procédure :

- E-field → apply
- H-field and surface current → apply
- Farfield /RCS → apply

Puis nous cliquons sur l'icône 'OK'

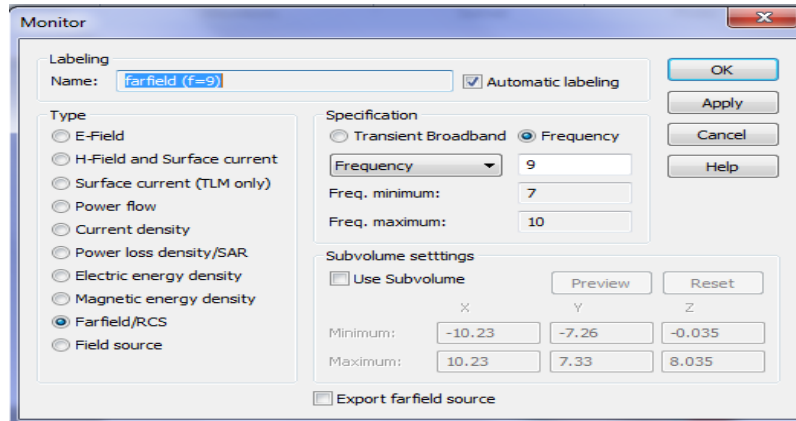


Figure II.29 : boîte de dialogue de définition des différents résultats qu'il faut obtenir après la simulation

### c) Spécification du milieu environnant :

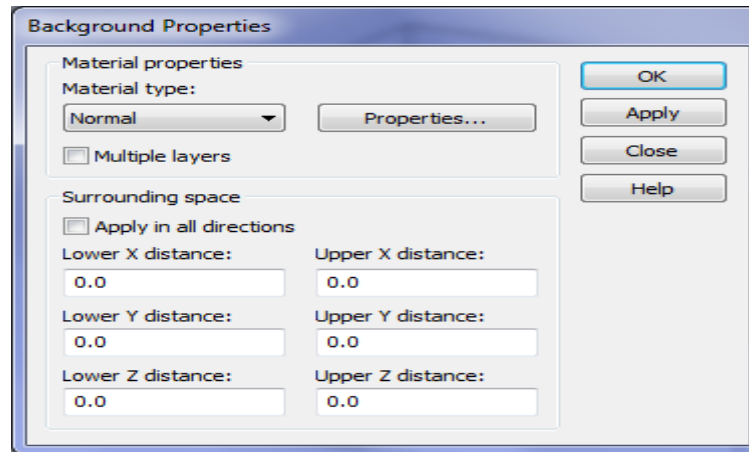


Figure II.30 Spécification du milieu environnant

### d) Spécification des conditions aux limites :

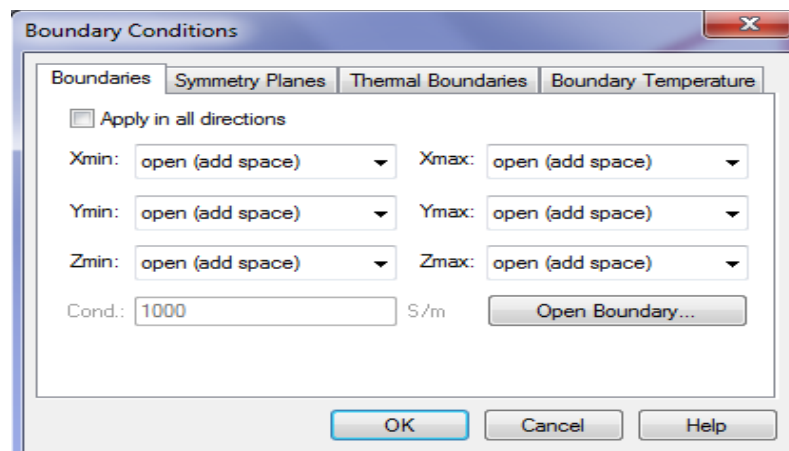


Figure II.31 Spécification des conditions aux limites

### II.8.4 Simulation du modèle :

Après avoir défini tous les paramètres nécessaires, nous sommes prêts à commencer notre simulation.



Nous cliquons sur '**Simulation** Setup Solver', puis nous cliquons sur '**Start**' pour commencer la simulation.

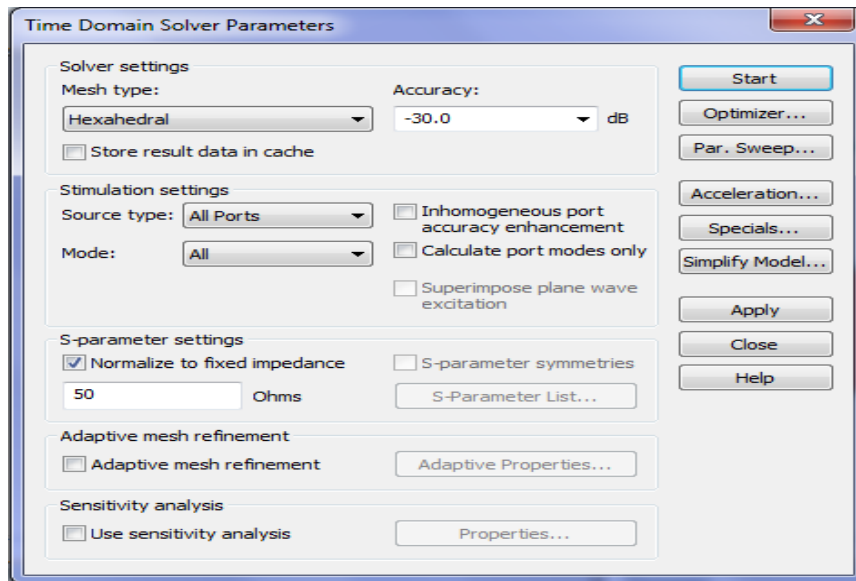


Figure II.32 : la boîte de dialogue de solveur

Nous voyons maintenant les résultats de simulation de ce modèle.

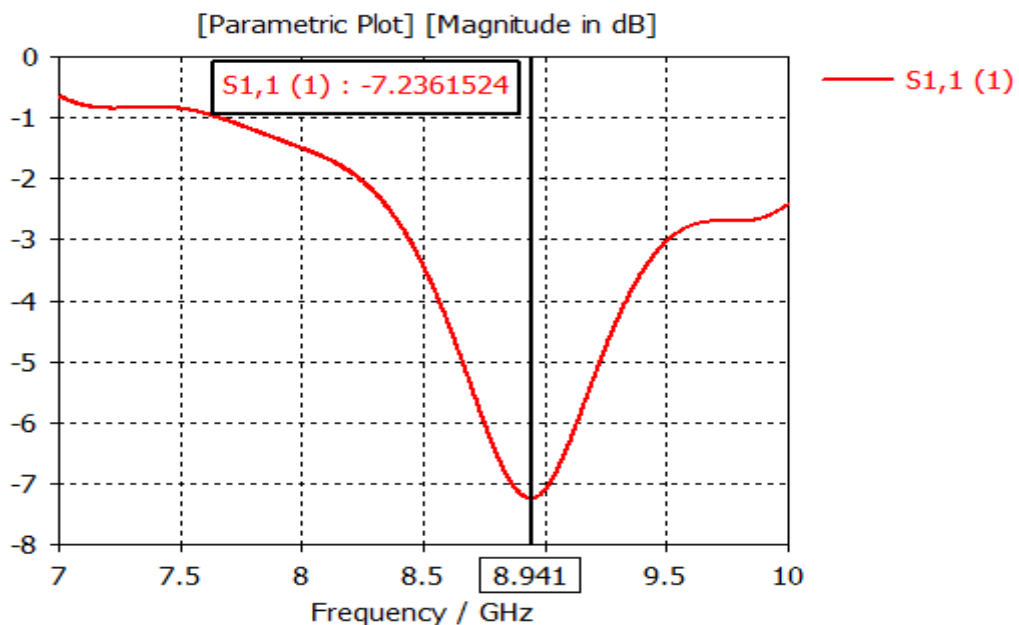


Figure II.33 : Courbe du paramètre  $S_{11}$  en dB

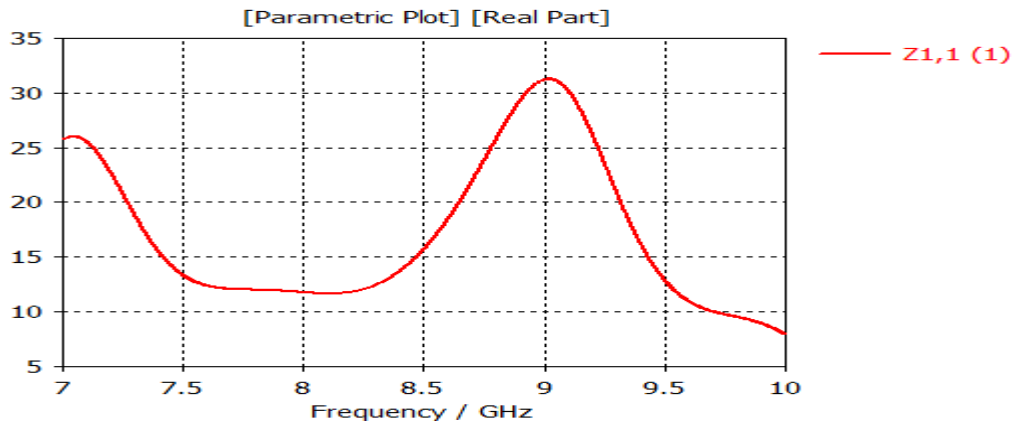


Figure II.34 La partie réelle de l'impédance d'entrée d'une antenne patch rectangulaire

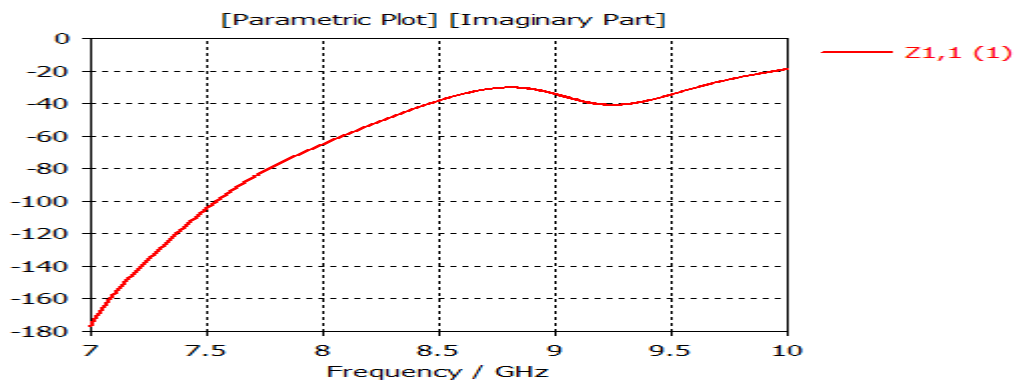


Figure II.35 la partie imaginaire de l'impédance d'entrée d'une antenne patch rectangulaire

Comme nous pouvons le constater, la fréquence de résonance n'est pas centrée à la fréquence de résonance théorique, elle est centrée à environ 8.94 GHz au lieu de 9GHz, Et surtout que  $S_{11}$  (dB) est relativement grand. Des ajustements sur le modèle seront donc nécessaires afin de recentrer la fréquence de résonance et d'adapter mieux l'antenne. C'est le rôle des encoches.

Name	/	Value	Description	Type
fi		2	la longueur de l'encoche	Length
fr		9	la fréquence de résonance	Frequency
gpf		1	la largeur de l'encoche	Length
h		1.6	la hauteur du substrat	Length
l		7.48	la longueur du patch	Length
lf		5.74	la longueur de la ligne microruban	Length
mt		0.035	l'épaisseur du patch	Length
w		10.24	la largeur du patch	Length
wf		2.56	la largeur de la ligne microruban	Length

Tableau II.3 Liste des paramètres ajustés d'une antenne patch alimentée par une ligne microruban

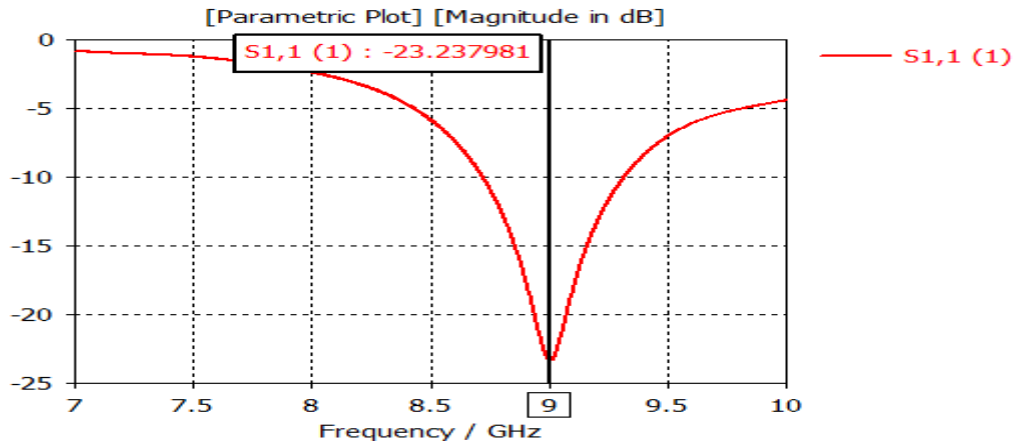


Figure II.36 Courbe de paramètre  $S_{11}$  en dB

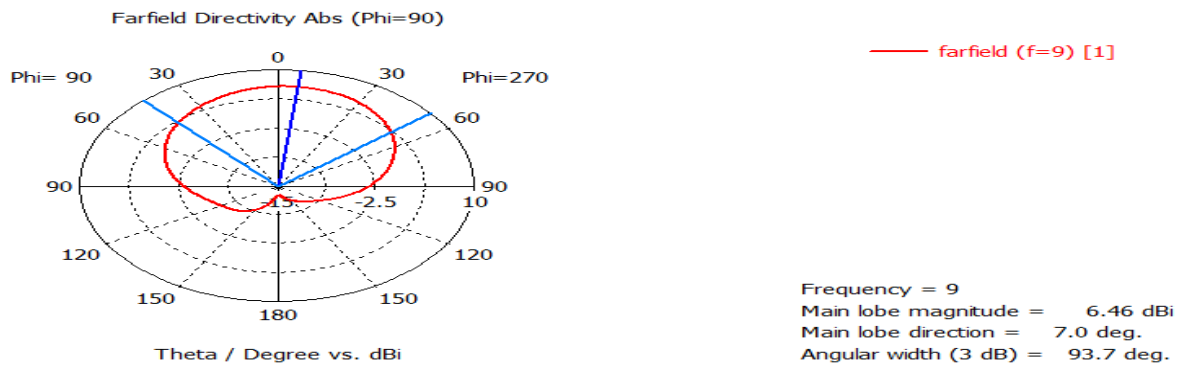


Figure II.37 Diagramme de rayonnement en 2D

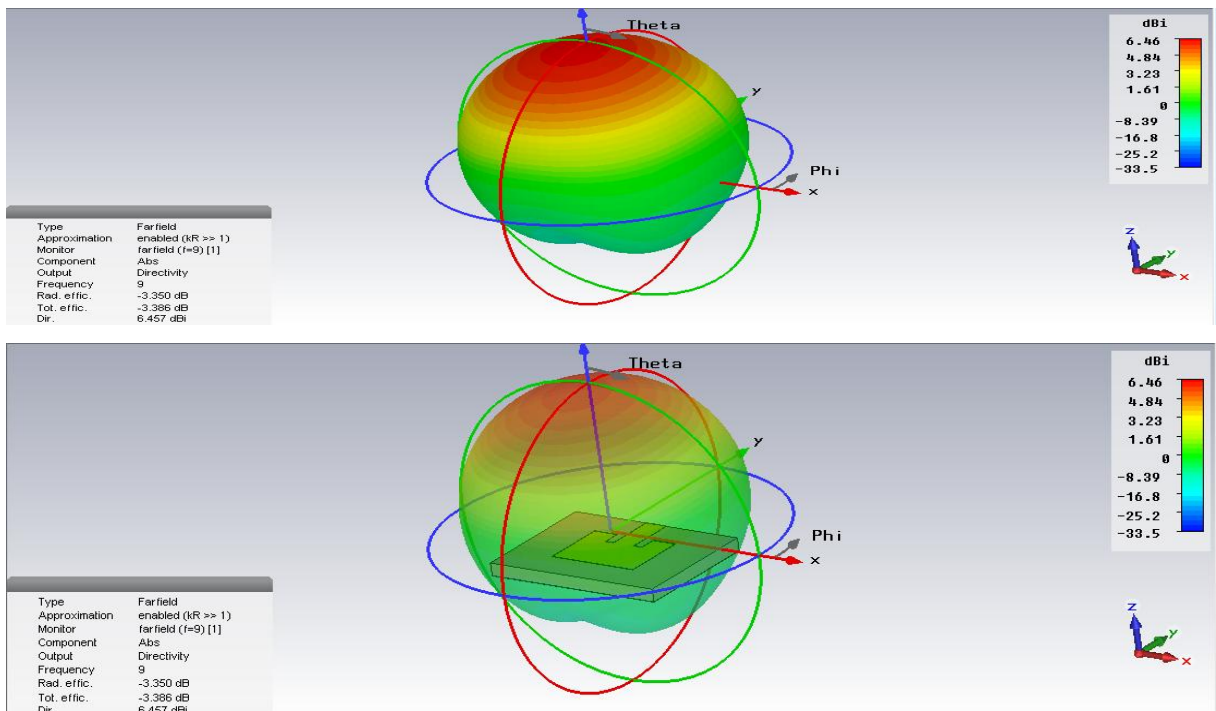


Figure II.38 Diagramme de rayonnement en 3D

## Chapitre II : simulation des antennes patch et étude paramétrique

A partir de diagramme de rayonnement on déduit que le rayonnement est maximal à  $\theta=0^\circ$  est nul à  $\theta=180^\circ$ .

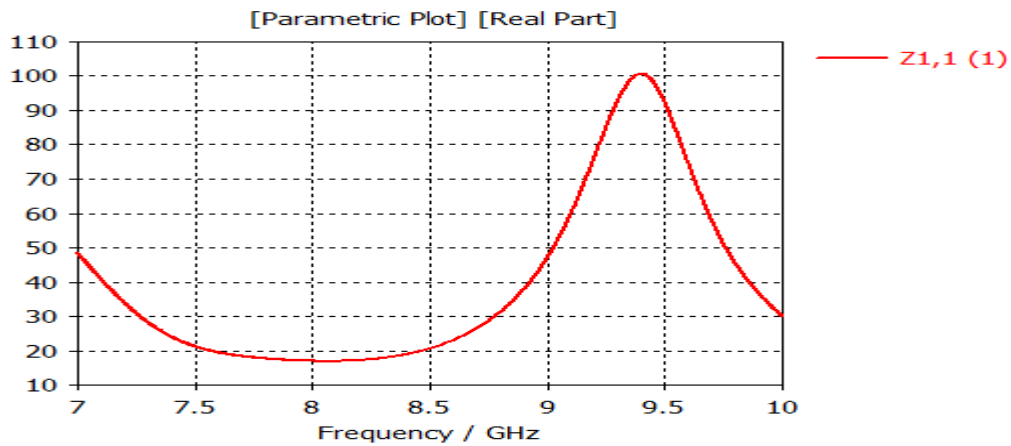


Figure II.39 La partie réelle de l'impédance d'entrée d'une antenne patch rectangulaire

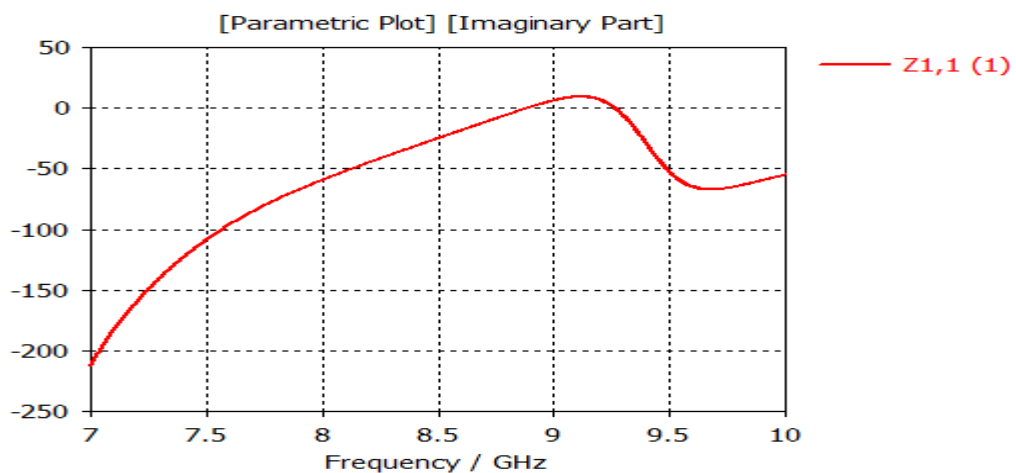


Figure II.40 La partie imaginaire de l'impédance d'entrée d'une antenne patch rectangulaire

Nous notons que, pour l'antenne rectangulaire alimentée par une ligne microruban, lorsque la partie réelle de l'impédance d'entrée atteint son maximum, la partie imaginaire s'annule.

### II.9 Étude paramétrique (effet des paramètres géométriques)

Ce paragraphe est consacré à l'étude de l'influence de différents paramètres sur le coefficient de réflexion  $S_{11}$ . Une étude paramétrique a été menée pour comprendre les effets des divers paramètres afin d'aboutir à une structure finale efficace et optimisée.

Nous allons adopter le matériau FR-4 (lossy) comme substrat, ayant généralement une permittivité relative égale à 4.3, alors les paramètres que nous allons changer sont la longueur

L, la largeur W, l'épaisseur h du patch, la largeur de la ligne microruban wf, la longueur fi et la largeur gpf de l'encoche.

### II.9.1 Effet de la longueur du patch L :

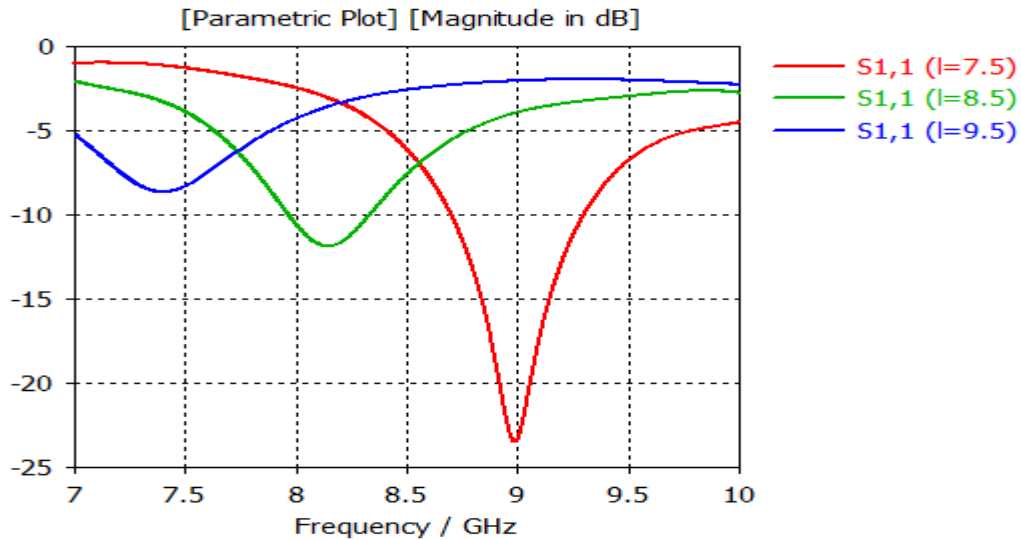


Figure II.41 Effet de la longueur du patch L sur le paramètre  $S_{11}$

Le résultat obtenu représenté par la figure II.41 est assez intéressant et montre un effet remarquable de la longueur sur la fréquence de résonance et la bande passante.

Nous constatons qu'une diminution de la longueur L du patch entraîne une augmentation de la fréquence de résonance et de la bande passante.

### II.9.2 Effet de la largeur du patch W :

La largeur W du patch joue un rôle très important dans la détermination de la fréquence de résonance. Lors de l'étude de l'effet de la largeur du patch, les autres paramètres tels que la longueur L, la permittivité  $\epsilon_r$ , la hauteur h du substrat sont fixés. Seule la largeur du patch W varie.

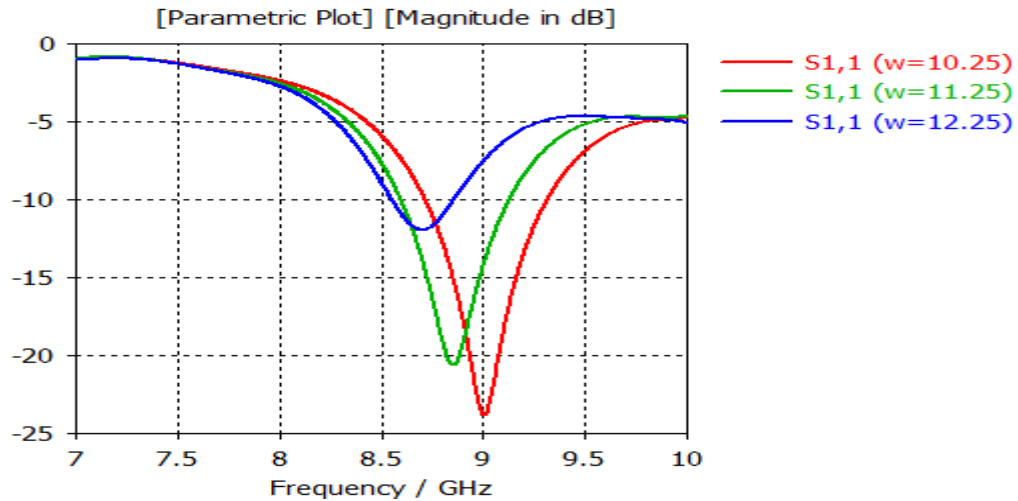


Figure II.42 Effet de la largeur du patch  $W$  sur le paramètre  $S_{11}$  en dB

Dans le cas d'une variation de la largeur  $W$  du patch, la figure II.42 indique que la fréquence de résonance et la bande passante sont moins affectées par ces changements par rapport à la variation de la longueur  $L$ . Par contre, elle influe sur l'impédance d'entrée de l'antenne (l'adaptation se dégrade de plus en plus)

Nous constatons que la fréquence de résonance est inversement proportionnelle à la largeur du patch  $W$ .

### II.9.3 Effet de l'épaisseur $h$ du substrat :

Nous allons fixés tous les paramètres de l'antenne et varie la valeur de l'épaisseur  $h$  du substrat.

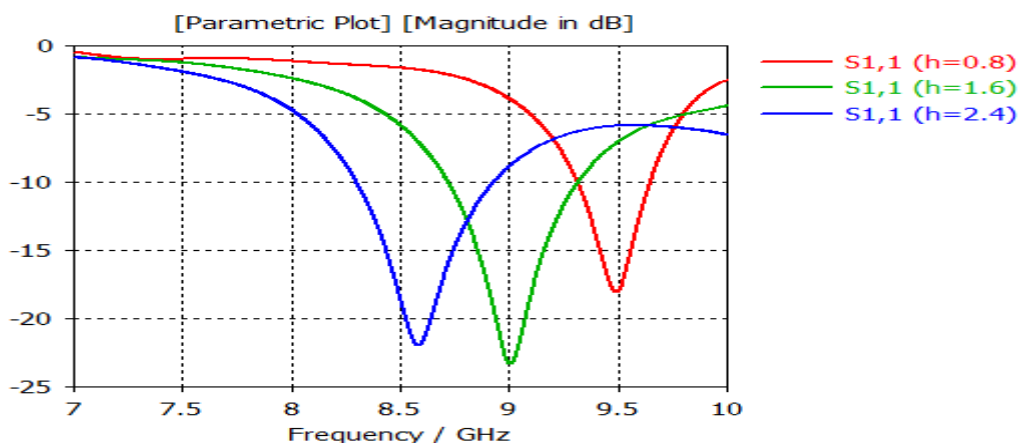


Figure II.43 Effet de l'épaisseur  $h$  du substrat sur le paramètre  $S_{11}$

L'analyse de la Figure II.43 indique qu'avec une augmentation de l'épaisseur  $h$  du substrat la bande passante augmente [11]. En outre, la fréquence de résonance diminue avec l'augmentation de l'épaisseur  $h$ . [12]

Donc la fréquence de résonance est inversement proportionnelle à l'épaisseur du substrat  $h$ . Par contre, la bande passante est directement proportionnelle à l'épaisseur du substrat  $h$ .

### II.9.4 Effet de la largeur de la ligne microruban $wf$ :

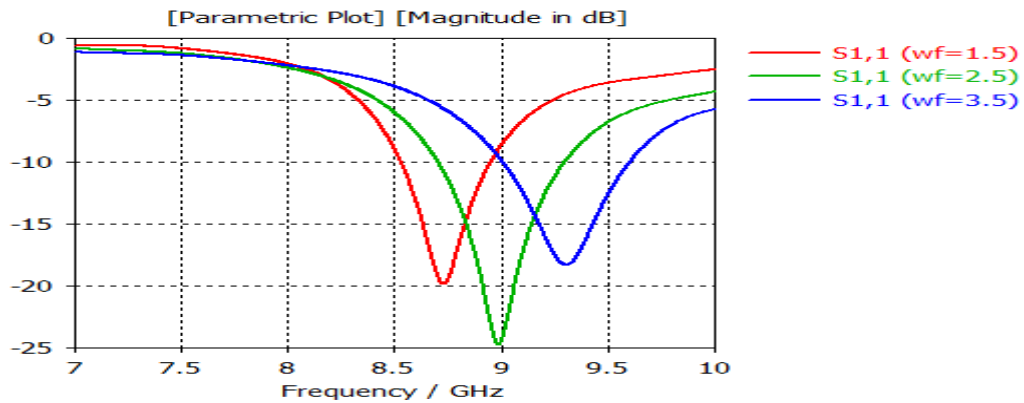


Figure II.44 : Effet de la largeur de la ligne microruban  $wf$  sur le paramètre  $S_{11}$

Il est à noter que la variation de la largeur de la ligne microruban  $wf$  a un effet opposé à celui dû à la variation de la largeur  $W$  du patch.

Lorsque  $wf$  augmente la fréquence de résonance et la bande passante augmentent.

### II.9.5 Effet de la largeur $gpf$ de l'encoche :

Pour améliorer l'adaptation entre la ligne microruban et l'antenne, il est courant de réaliser des encoches. Le choix d'une encoche permet d'ajuster l'impédance d'entrée pénétrant dans l'antenne pour l'adapter à l'impédance de source. [5]

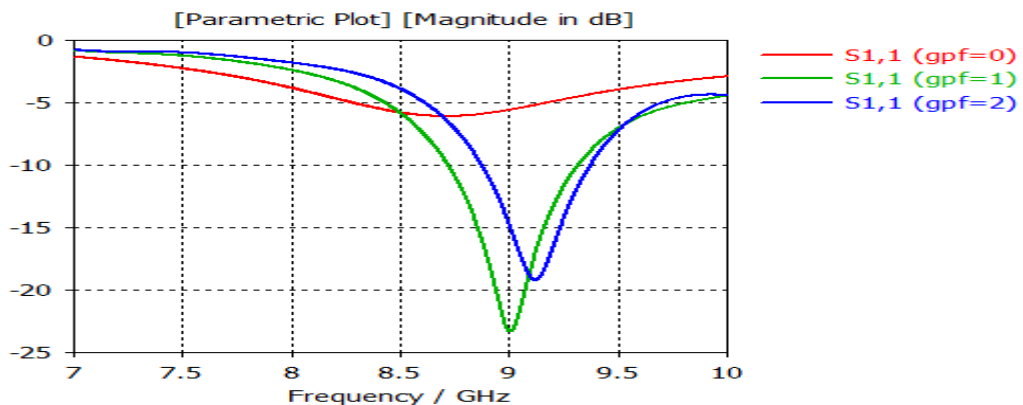


Figure II.45 Effet de la largeur  $gpf$  de l'encoche sur le paramètre  $S_{11}$

## Chapitre II : simulation des antennes patch et étude paramétrique

Sur cette figure, nous remarquons que la largeur de l'encoche, pour des valeurs petites, n'apporte pas de changement important sur la bande passante. Mais il subit cependant un léger décalage en fréquence.

Lorsque  $gpf=0$  mm, nous remarquons que l'adaptation entre la ligne microruban et l'antenne est faible.

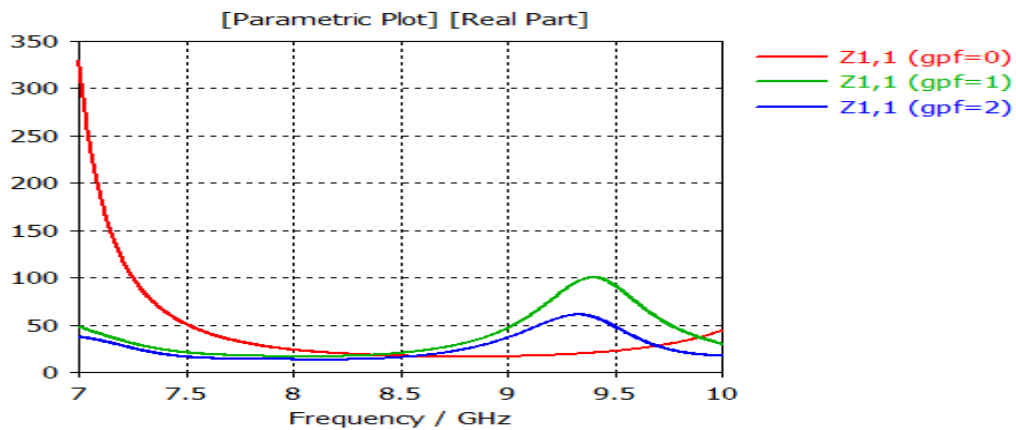


Figure II.46 La partie réelle de l'impédance d'entrée d'une antenne patch rectangulaire en fonction de  $gpf$

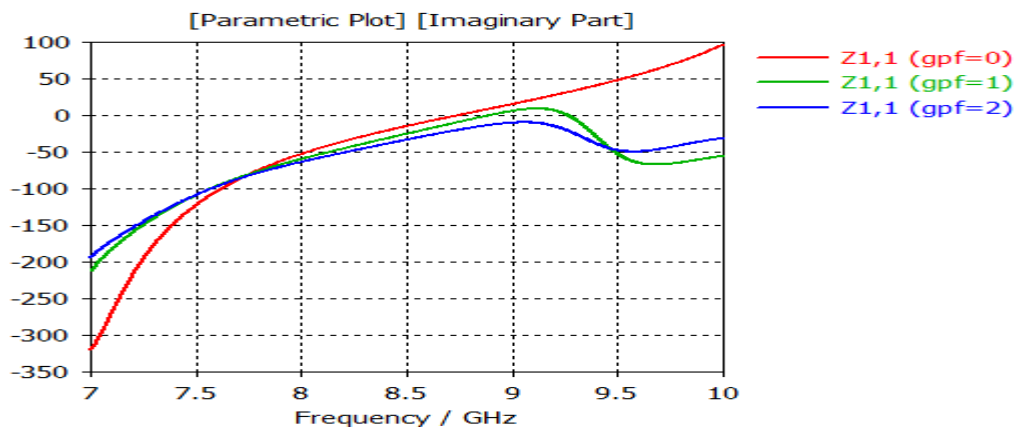


Figure II.47 La partie imaginaire de l'impédance d'entrée d'une antenne patch rectangulaire en fonction de  $gpf$

### II.9.6 Effet de la longueur du l'encoche:

Selon AKSAS Rabia [7]: nous pouvons changer la valeur de l'impédance d'entrée à la résonance en déplaçant le point de contact entre l'antenne et la ligne microruban d'alimentation.

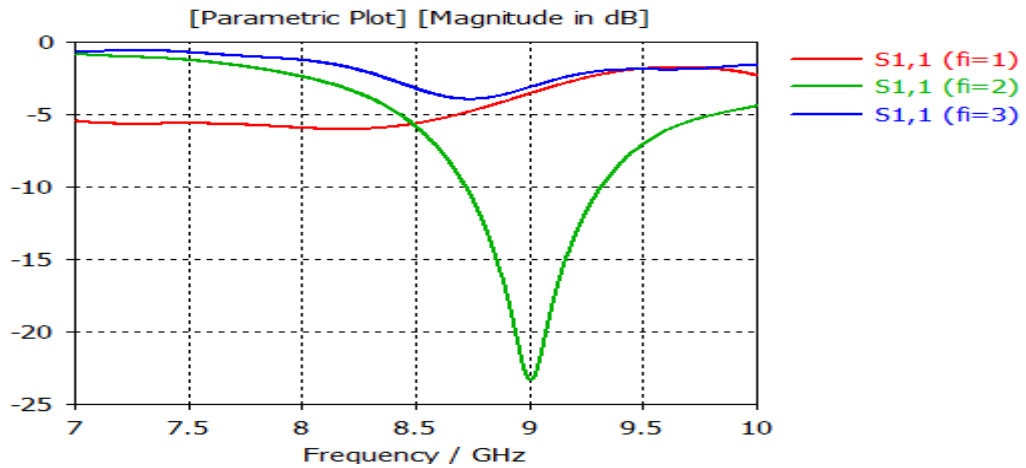


Figure II.48 Effet de la longueur de l'encoche sur le paramètre  $S_{11}$

Nous constatons que l'impédance d'entrée change en fonction de la longueur de l'encoche.

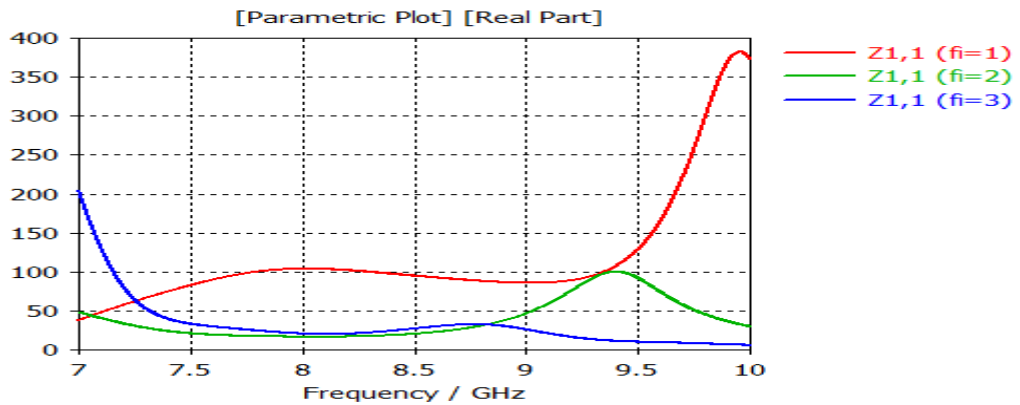


Figure II.49 La partie réelle de l'impédance d'entrée d'une antenne patch rectangulaire en fonction de  $f_i$

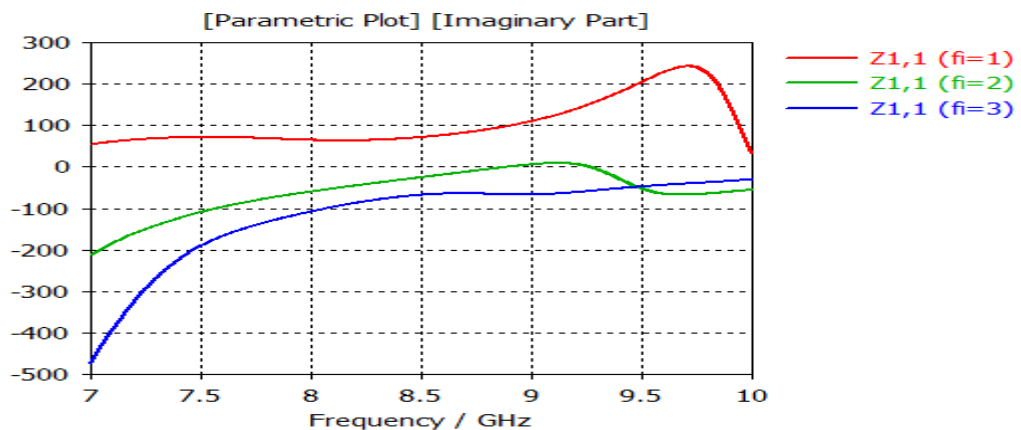


Figure II. 50 La partie imaginaire de l'impédance d'entrée d'une antenne patch rectangulaire en fonction de  $f_i$

### II.9.7 Effet de la permittivité diélectrique du substrat :

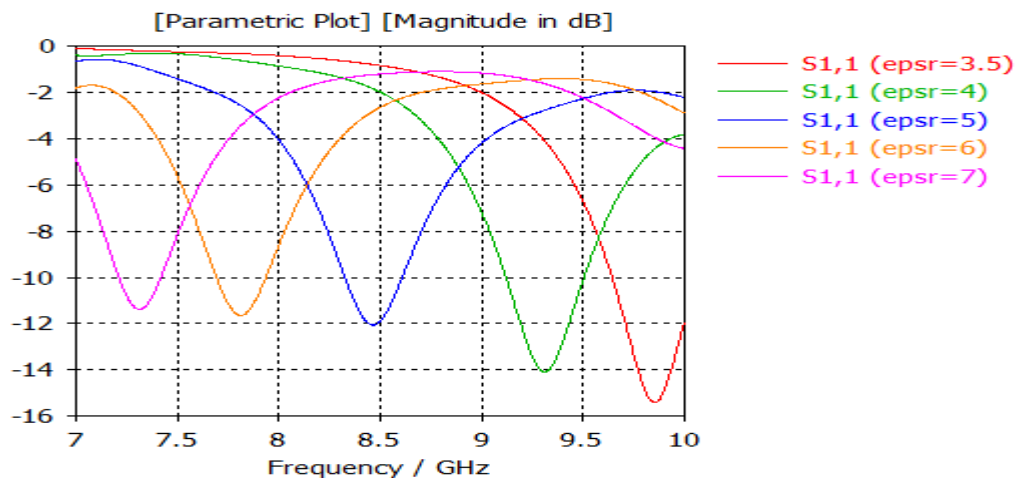


Figure II.51 Effet de la permittivité diélectrique du substrat sur le paramètre  $S_{11}$  en dB

Cette figure montre bien que, les substrats à faible permittivité diélectrique  $\epsilon_r$  offrent de meilleures performances.

Un substrat de forte permittivité permet de diminuer les dimensions de l'antenne et donc de diminuer la fréquence de résonance et la bande passante. [8][9][10]

### II.10 simulation d'une antenne patch alimentée par un câble coaxial :

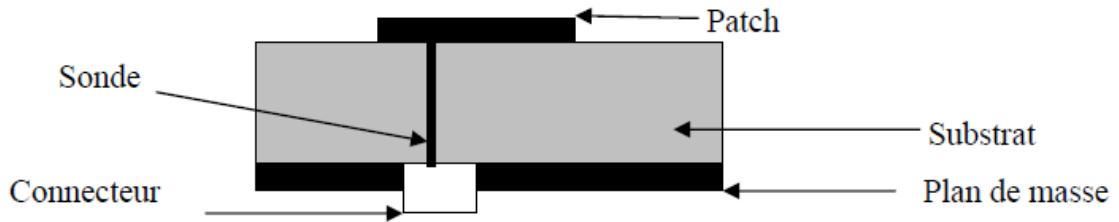


Figure II.52 La structure de l'antenne patch alimentée par un câble coaxial


Pour concevoir ce modèle, nous devons sélectionner l'environnement dans lequel la structure sera créée. Ensuite, nous choisissons le type d'antenne, le domaine de résolution, les unités et la gamme de fréquence d'étude. (Nous allons suivre la même procédure que l'antenne précédente).

#### II.10.1 Construction du modèle :

Nous allons remplir la liste des paramètres comme suit :

Name	/	Value	Description	Type
d		2.7	la position du point d'alimentation	Length
fr		9	la fréquence de résonance	Frequency
h1		1.6	la hauteur du substrat	Length
h2		5	la hauteur du cylindre 2	Length
l		7.33	la longueur du patch	Length
mt		0.035	l'épaisseur du patch	Length
r1		0.5	le rayon du cylindre 1	Length
r2		1.5	le rayon du cylindre 2	Length
w		10.24	la largeur du patch	Length

Tableau II.4 la liste des paramètres de l'antenne patch alimentée par un câble coaxial

Nous cliquons sur 'Home → **units** 

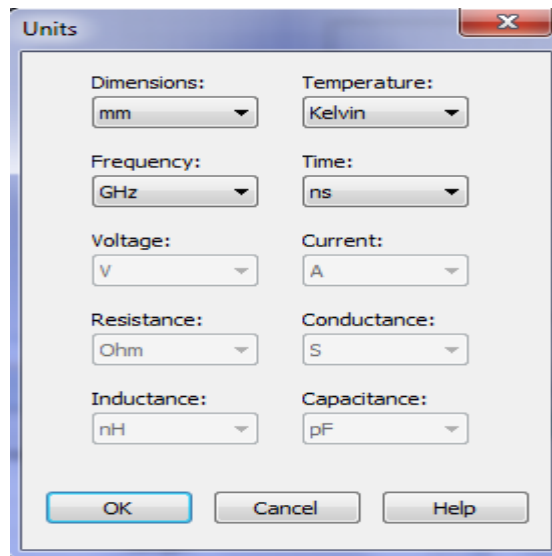



Figure II.53 boîte de dialogue de la configuration des unités de base

### a) Dessiner le substrat :

Nous cliquons sur 'Brick' , nous appuyons ensuite sur la touche 'esc' du clavier, nous spécifions les coordonnées exactes et le matériau dans la fenêtre qui apparaît puis nous cliquons sur 'OK'.

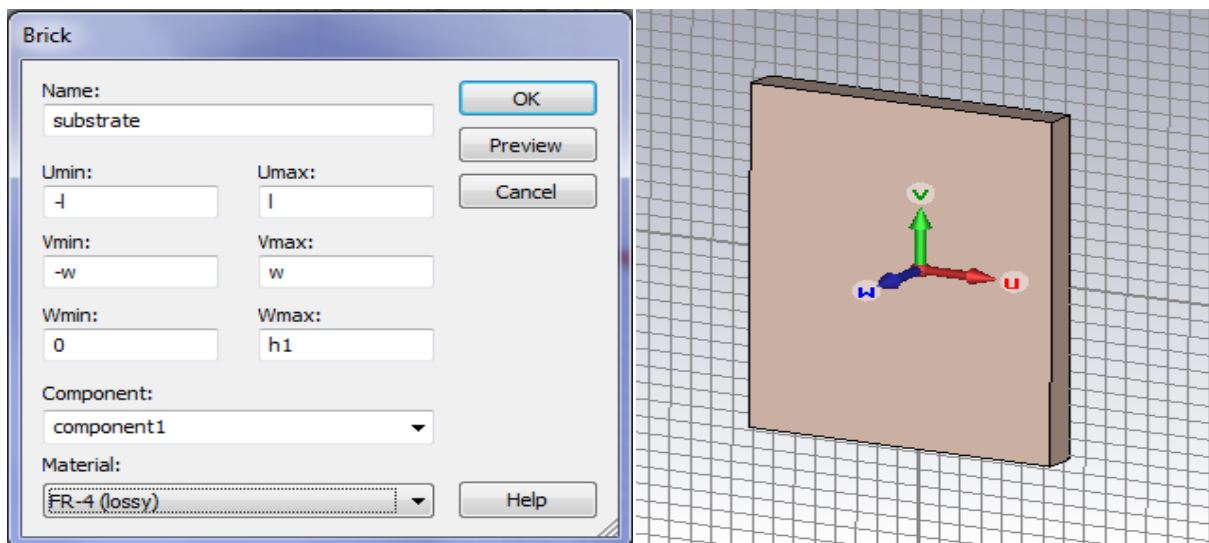


Figure II.54 la création du substrat

### b) Dessiner le plan de masse :

Nous tournons le substrat, puis nous sélectionnons la face du substrat en cliquant sur : 'Modeling → Picks → Pick Face', et nous double cliquons sur la face de substrat.

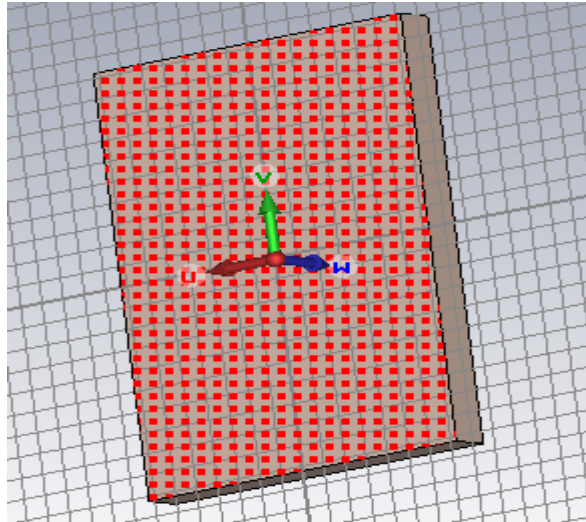


Figure II.55 Sélectionner la face du substrat

Nous cliquons sur ‘**Modeling** → **Faces**  **Shape from Picked Faces**’, une fenêtre apparaît où nous définissons le nom et le matériau du plan de masse.

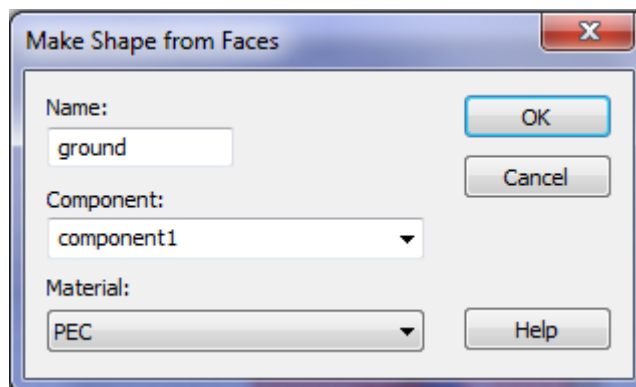


Figure II.56 Boite de dialogue création du plan de masse

Nous retournons le substrat, puis nous sélectionnons une autre fois la face du substrat comme suit : ‘**Modeling** → **Picks** → **Pick Face**’, ensuite nous cliquons sur ‘**WCS** → **Aligne with selected face**’.

### c) Dessiner le patch :

Nous cliquons sur ‘**Modeling** → **Brick** ’, puis sur la touche ‘**esc**’ du clavier, et nous spécifions les coordonnées et le matériau dans la fenêtre qui apparaît.

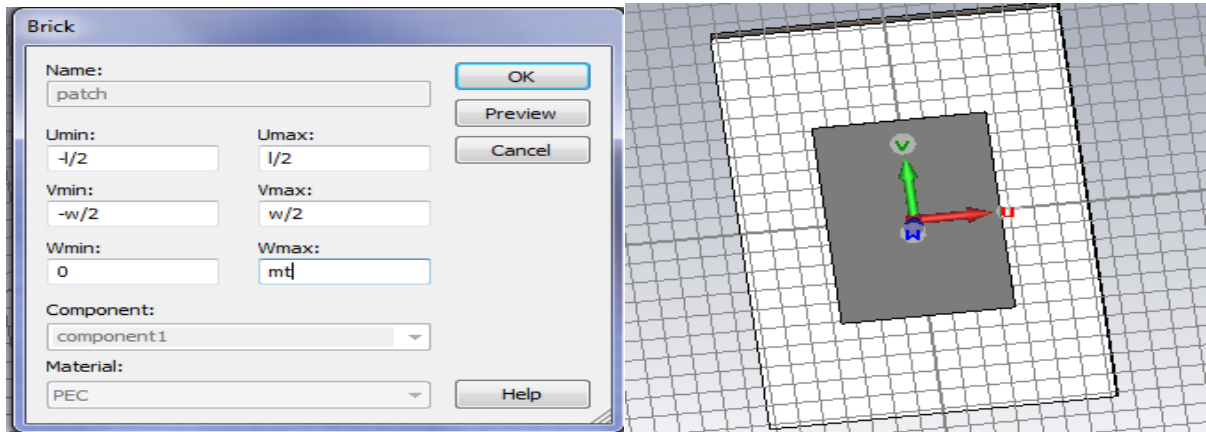
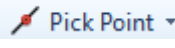


Figure II.57 la création du patch

Nous positionnons un point au milieu dont les coordonnées sont  $p(-3.6, 0, 0)$  comme suit :

‘Modeling → Pick point  → Pick Edge center M’

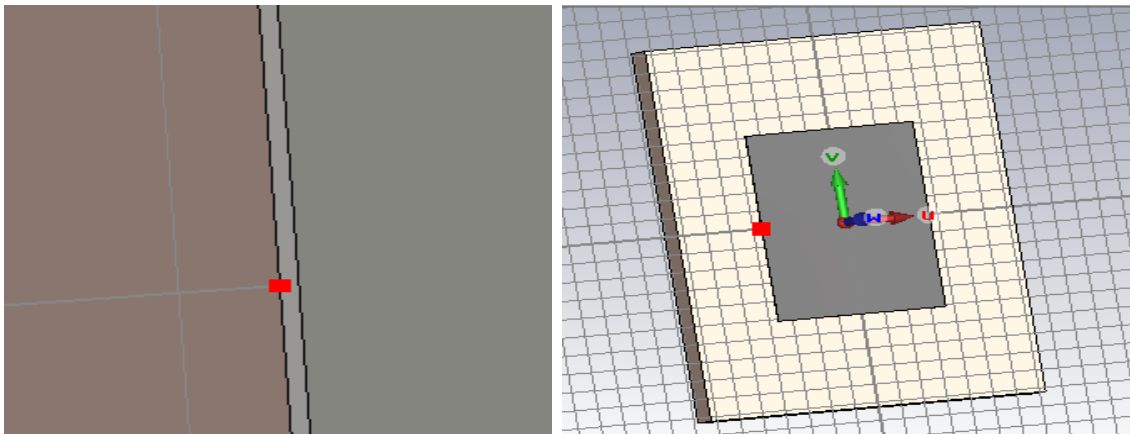


Figure II.58 positionner un point au milieu du patch

Nous déplaçons les coordonnées vers le point sélectionné en cliquant sur : ‘Modeling → WCS → Transform WCS’, puis nous cliquons sur ‘OK’.

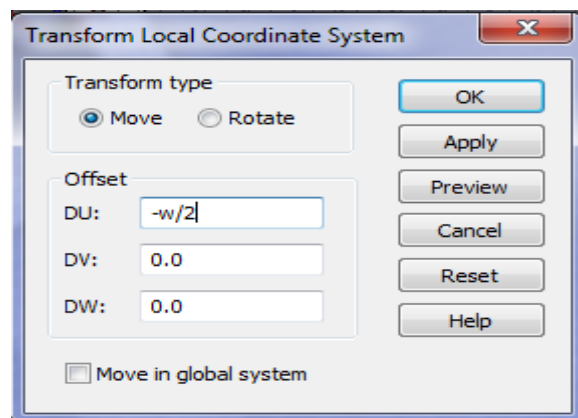


Figure II.59 La transformation du système des coordonnées locales

## Chapitre II : simulation des antennes patch et étude paramétrique

Ensuite nous cliquons sur ‘WCS → Align WCS → Align with Selected Point’.

Nous obtenons le résultat suivants :

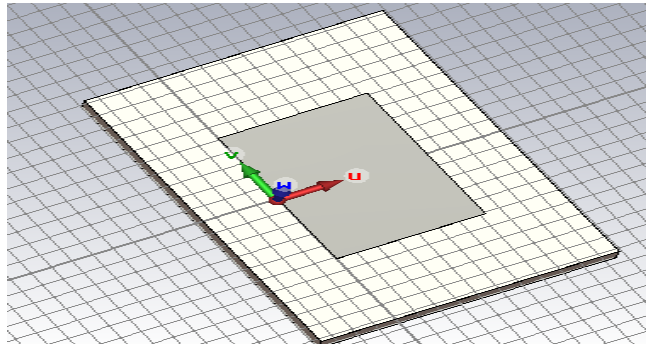



Figure II.60 la structure obtenue après la transformation des coordonnées locales

### d) Dessiner l’alimentation (le câble coaxial) :

Nous cliquons sur ‘Modeling → Circular cylinder ’, puis sur ‘esc’, une fenêtre apparaît :

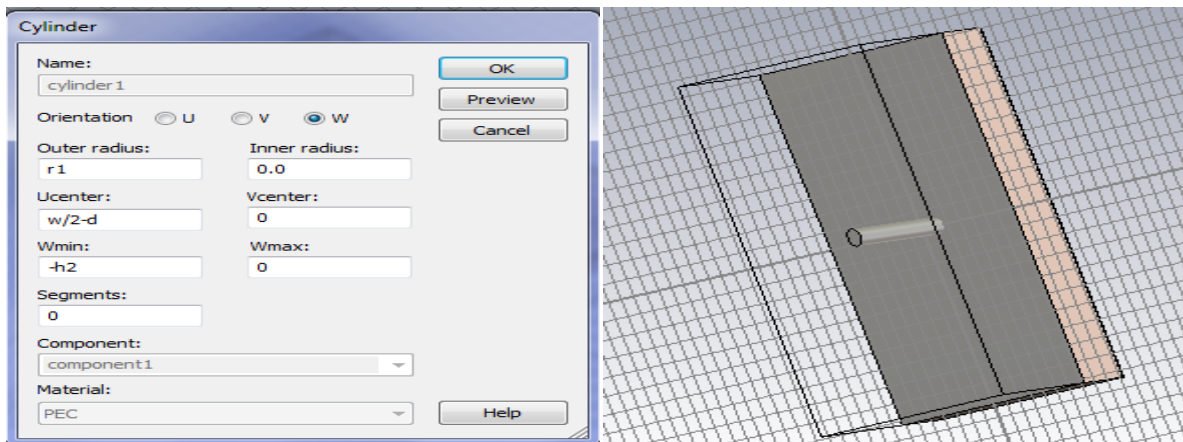



Figure II.61 la création du premier cylindre

Nous sélectionnons la base du cylindre la plus loin du patch comme suit :

‘Modeling → Picks  → Pick Point, Edge or Face S’. Puis nous cliquons sur ‘WCS → Align with selected face’

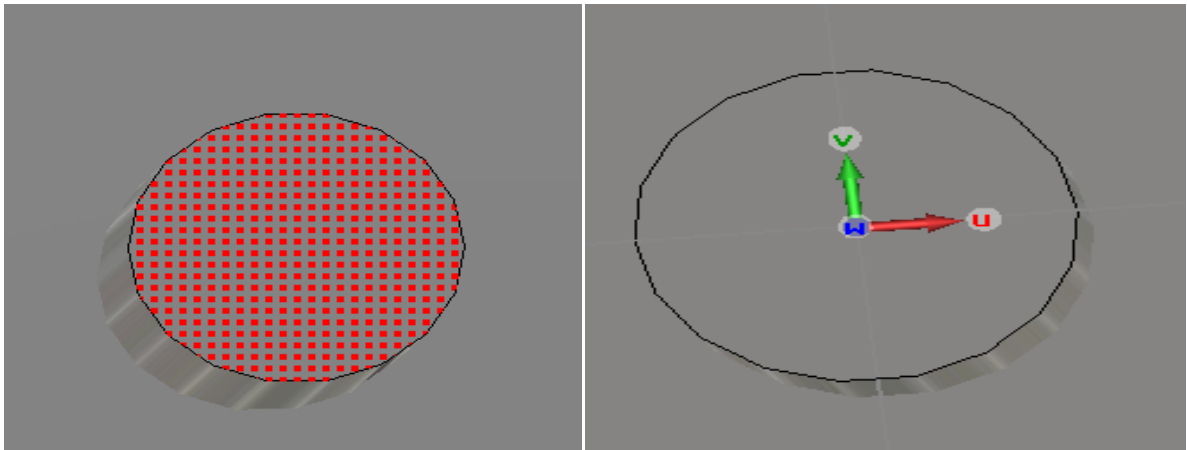



Figure II.62 sélectionné la base du cylindre

Nous créons un autre cylindre en cliquant sur ‘**Modeling** → **Circular cylinder** ’, puis sur ‘**esc**’, une fenêtre apparait :

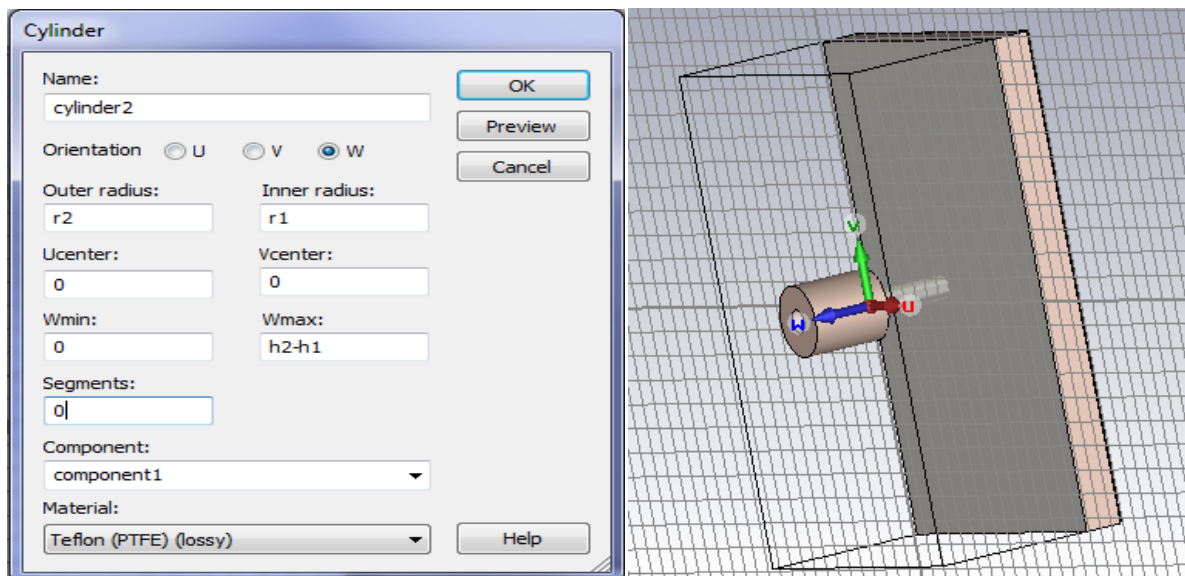


Figure II.63 la création du deuxième cylindre

Nous sélectionnons cylinder 2 dans l’arbre de navigation puis nous cliquons sur ‘**modeling** →



’, une fenêtre apparait, nous sélectionnons ‘**Translat**’, et remplir la case ‘**translation vector W : -(h2-h1)**’, puis nous sélectionnons ‘**Insert highlighted shape**’

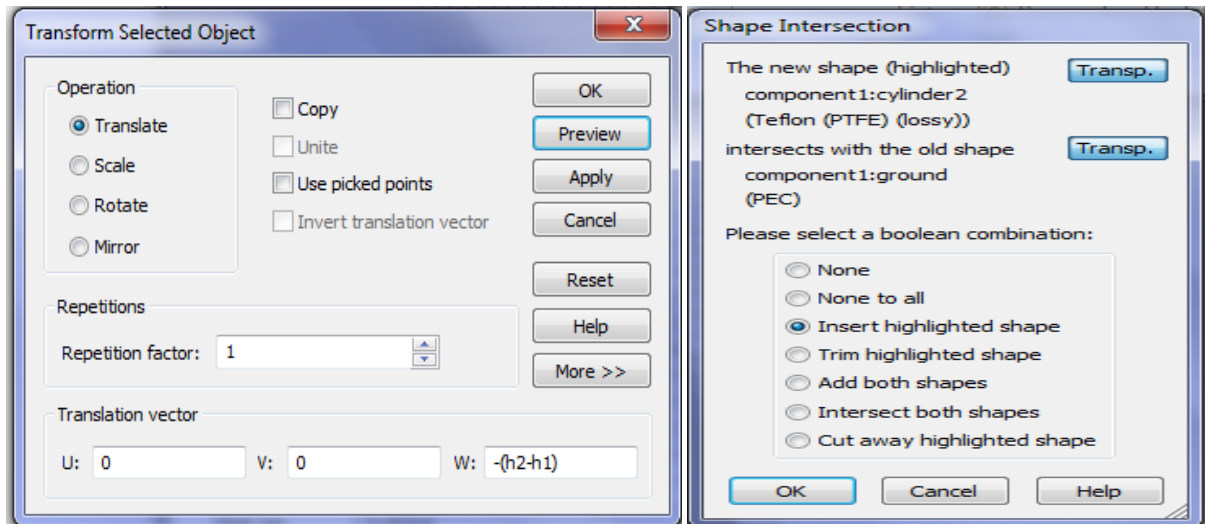


Figure II.64 traduire le deuxième cylindre (cylinder 2) de  $W = -(h_2 - h_1)$

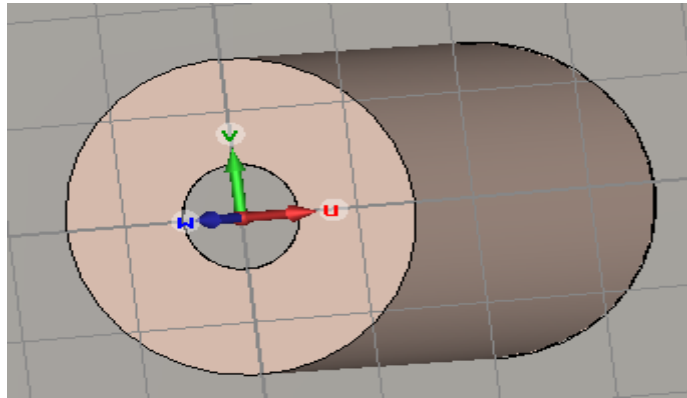


Figure II.65 la structure obtenue après la translation de deuxième cylindre

Nous sélectionnons la surface latérale du cylindre 2 comme suit : **'Modeling → Picks → Pick Face'**

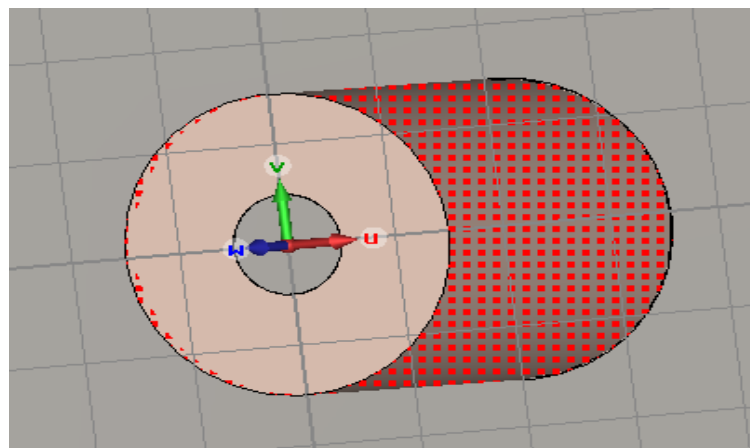


Figure II.66 la sélection de surface latérale du cylindre 2

## Chapitre II : simulation des antennes patch et étude paramétrique

Nous cliquons sur sur ‘**Modeling** → **Faces**  **Shape from Picked Faces**’, a fin de mettre un conducteur à partir de la face sélectionner d’épaisseur nulle.

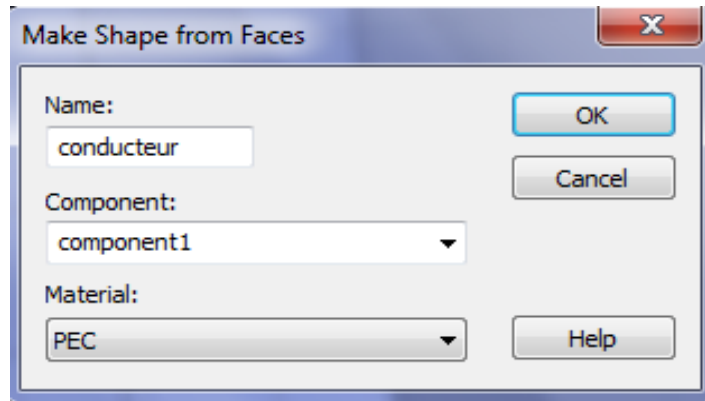
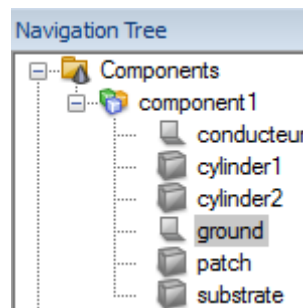




Figure II.67 mettre un conducteur à partir de la surface sélectionné


Nous sélectionnons ‘**ground**’ dans l’arbre de navigation



Nous cliquons sur : ‘**Modeling** →  **Boolean** **Insert** → **conducteur** → **entrer**’

‘**ground** →  **Boolean** **Insert/** → **cylinder 1** → **entrer**’

‘**ground** →  **Boolean** **Insert/** → **cylinder 2** → **entrer**’

‘**substrate** →  **Boolean** **Insert /** → **cylinder 1** → **entrer**’

### II.10.2 Excitation du modèle :

Nous cliquons sur ‘**Modeling** → **Picks** → **Pick face**’, et nous sélectionnons la surface de base du cylindre 2.

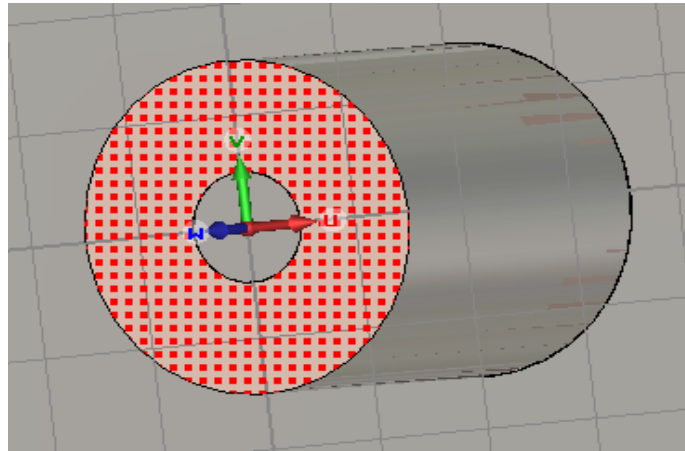


Figure II.68 sélectionné la base du cylindre 2

Nous cliquons sur ‘**Simulation**

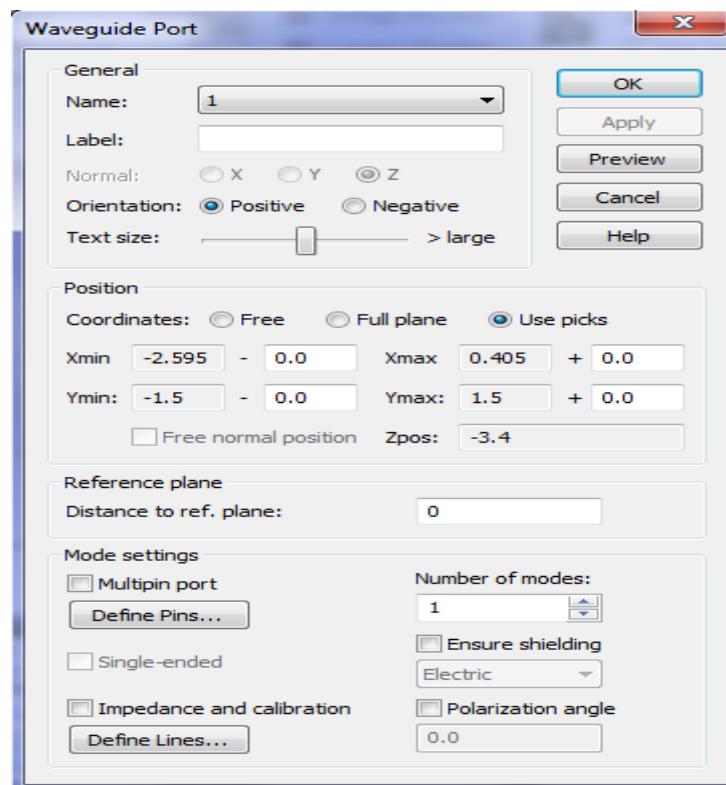


Figure II.69 Spécification du port d'excitation

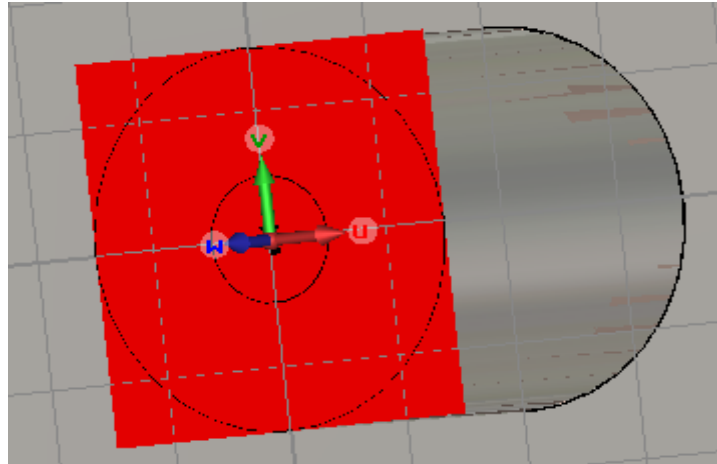


Figure II.70 le port de guide d'onde (en rouge)

### II.10.3 Configuration du modèle :

#### a) Définir la plage de fréquence :

Nous cliquons sur 'simulation' →  Frequency ,

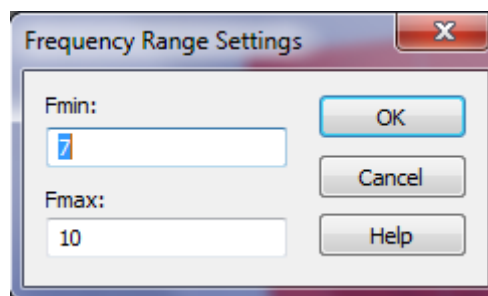


Figure II.71 la définition de la plage de fréquence

#### b) Définir les différents résultats que nous voulons obtenir après la simulation :

'Simulation' →  , une fenêtre apparaît sur laquelle nous suivrons cette procédure :

- E-field → apply
- H-field and surface current → apply
- Farfield /RCS → apply

Puis nous cliquons sur 'OK'

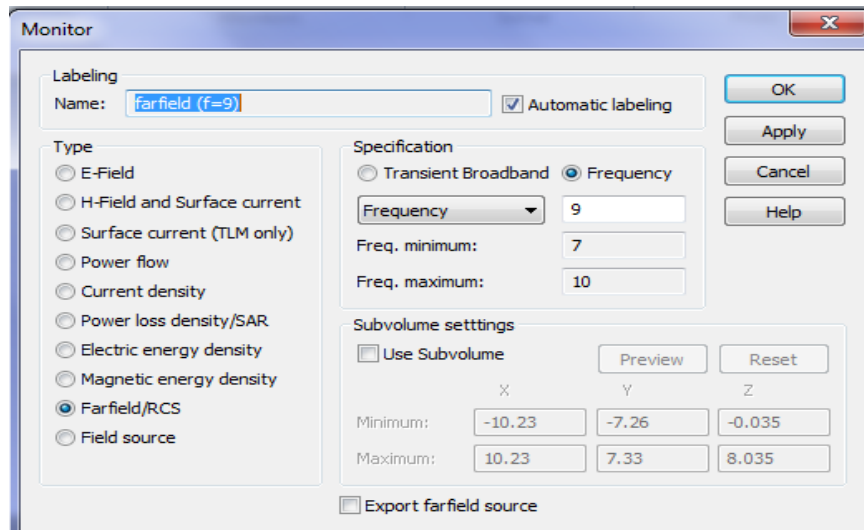


Figure II.72 boîte de dialogue de définition des différents résultats qu'il faut obtenir après la simulation

### c) Spécification du milieu environnant :

Nous cliquons sur 'modeling  Background ' ,

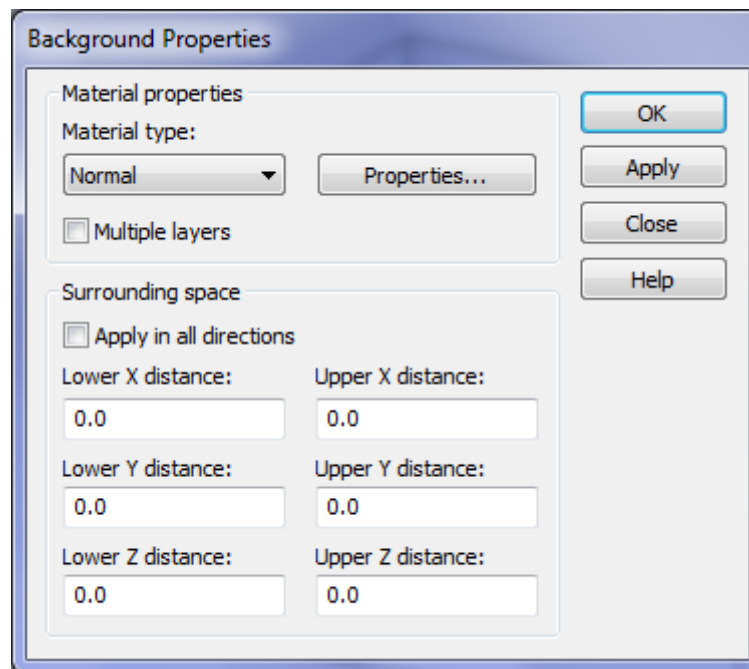


Figure II.73 spécification de milieu environnant

### d) Spécification des conditions aux limites :

Nous cliquons sur ‘Simulation ’,

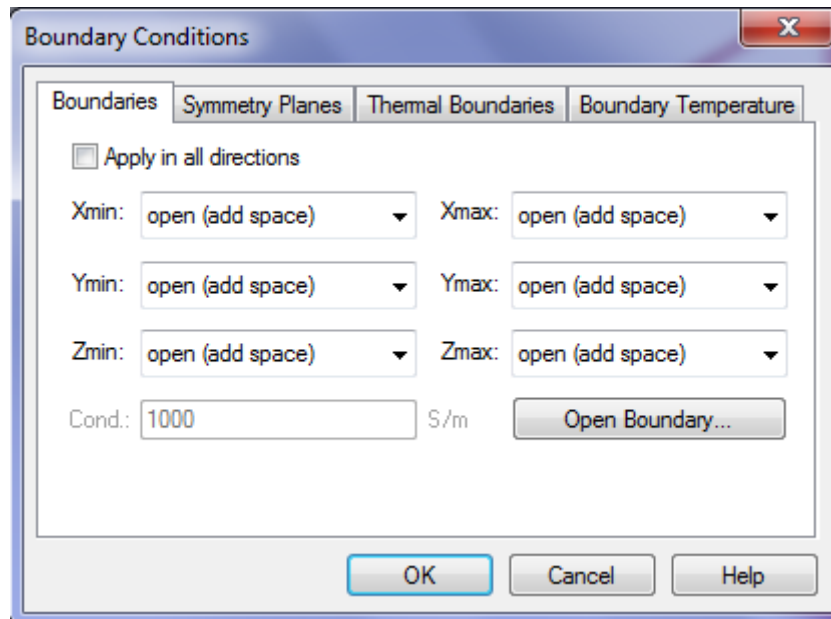



Figure II.74 Spécification des conditions aux limites

### II.10.4 Simulation du modèle :

Nous cliquons sur ‘Simulation ’, puis nous cliquons sur ‘Start’ pour commencer la simulation.

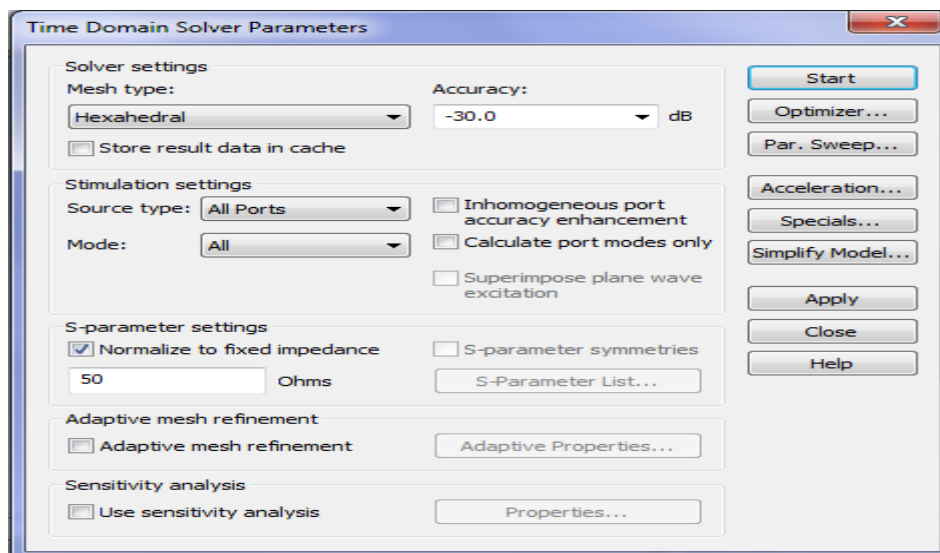


Figure II.75 le lancement de la simulation du modèle

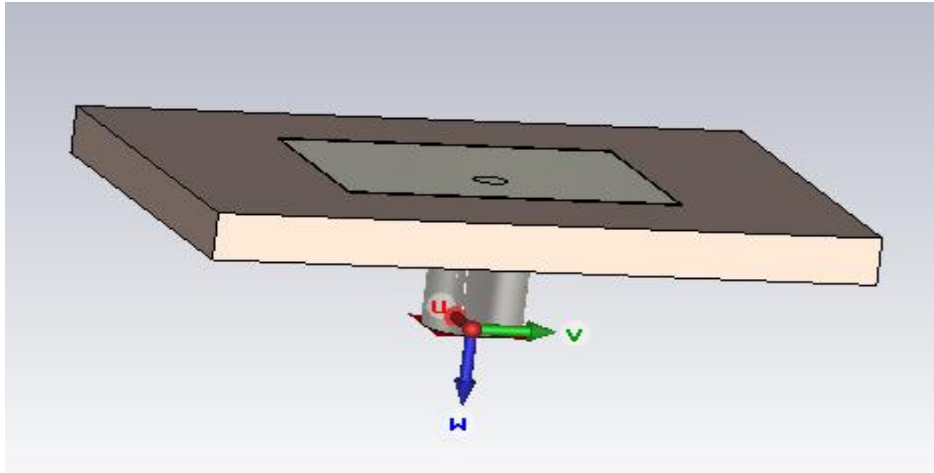


Figure II.76 La Structure finale d'une antenne patch alimentée par un câble coaxial

Après que la simulation soit effectuée, nous pouvons observer les résultats à partir de l'arbre de navigation.

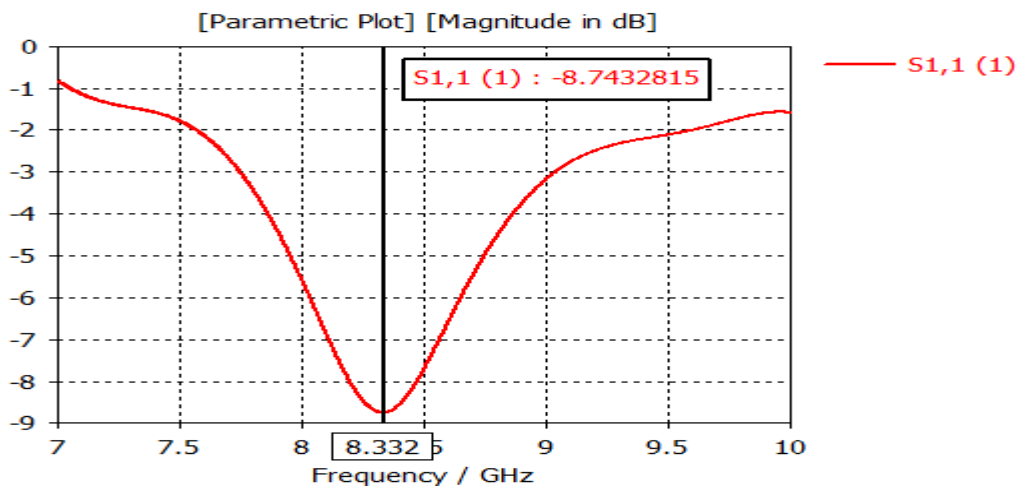
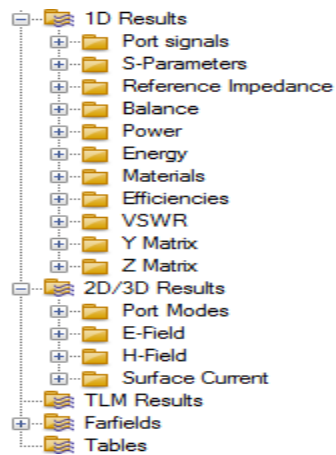


Figure II.77 Courbe du paramètre  $S_{11}$  en dB

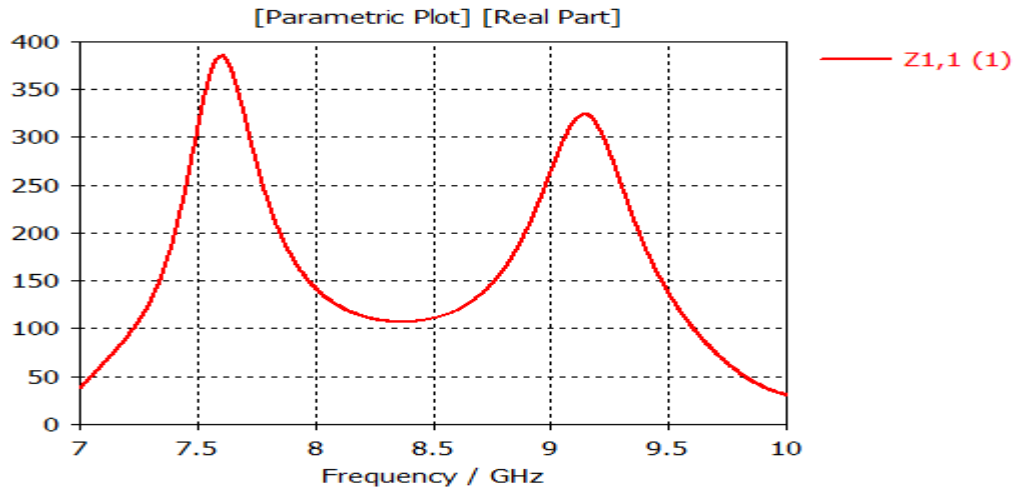


Figure II.78 La partie réelle de l'impédance d'entrée d'une antenne patch rectangulaire

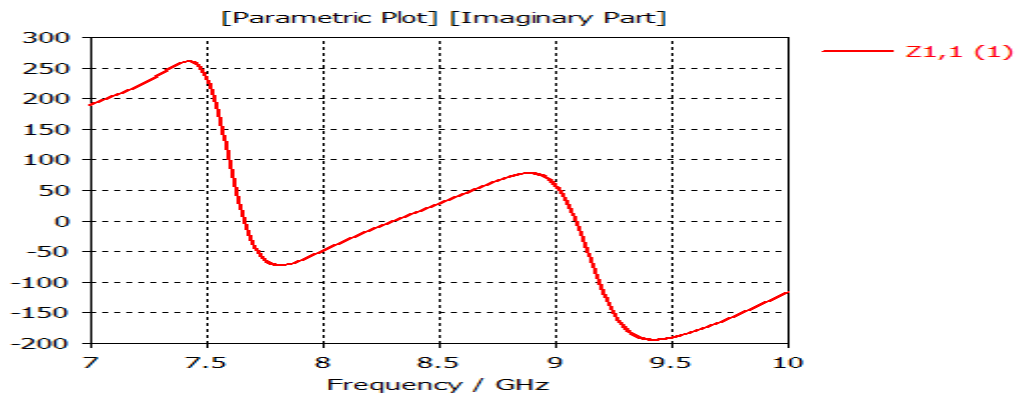


Figure II.79 La partie imaginaire de l'impédance d'entrée d'une antenne patch rectangulaire

Comme nous pouvons le constater, la fréquence de résonance n'est pas centrée à la fréquence de résonance théorique, elle est centrée à environ 8.33 GHz au lieu de 9GHz. Des ajustements sur le modèle seront donc nécessaires afin de recentrer la fréquence de résonance et améliorer l'adaptation.

Name	/	Value	Description	Type
d		3.5	la position du point d'alimentation	Length
fr		9	la fréquence de résonance	Frequency
h1		1.6	la hauteur du substrat	Length
h2		5	la hauteur du cylindre 2	Length
l		7	la longueur du patch	Length
mt		0.035	l'épaisseur du patch	Length
r1		0.5	le rayon du cylindre 1	Length
r2		1.5	le rayon du cylindre 2	Length
w		9.6	la largeur du patch	Length

Tableau II.5 La liste des paramètres ajustés d'une antenne patch alimentée par un câble coaxial

## Chapitre II : simulation des antennes patch et étude paramétrique

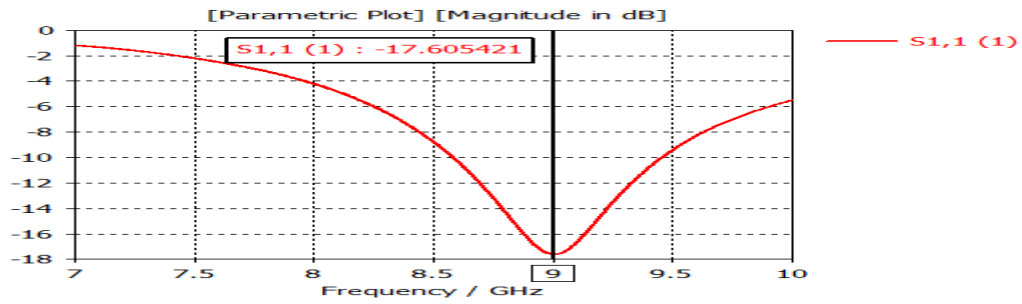


Figure II.80 Courbe de paramètre  $S_{11}$  en dB obtenu après l'ajustement du modèle

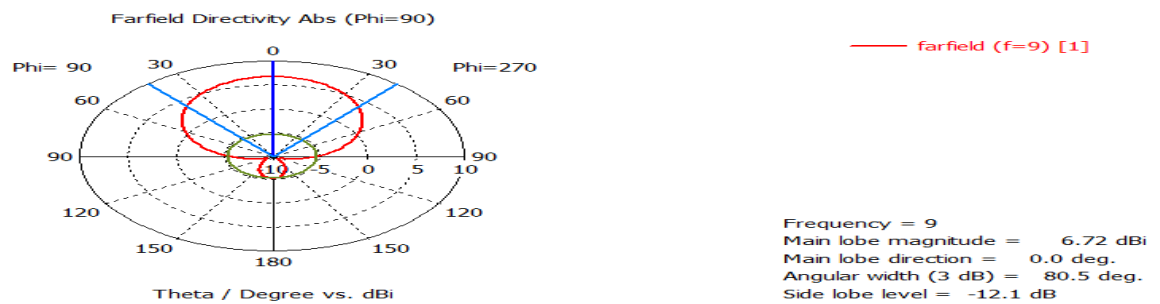


Figure II.81 Diagramme de rayonnement en 2D

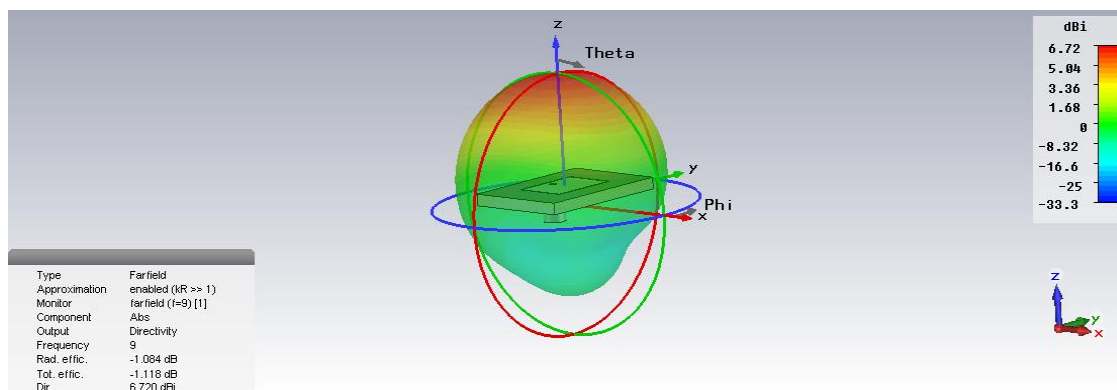
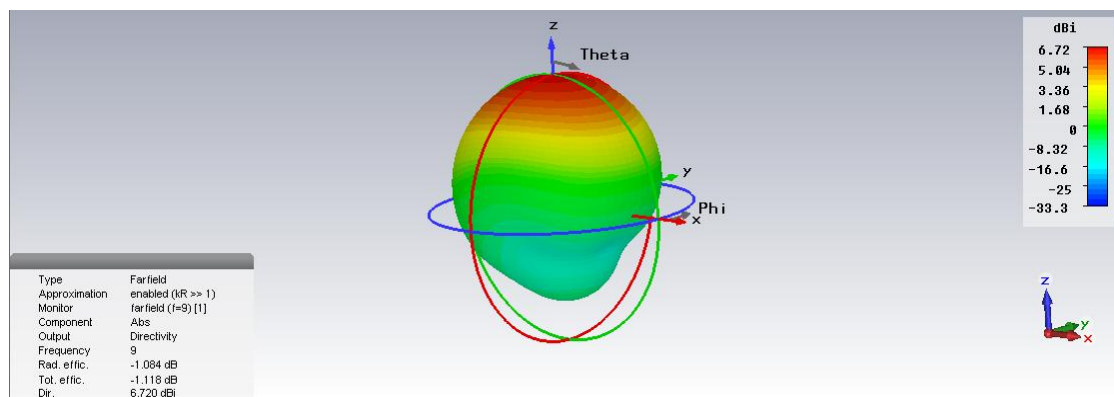


Figure II.82 Diagramme de rayonnement en 3D

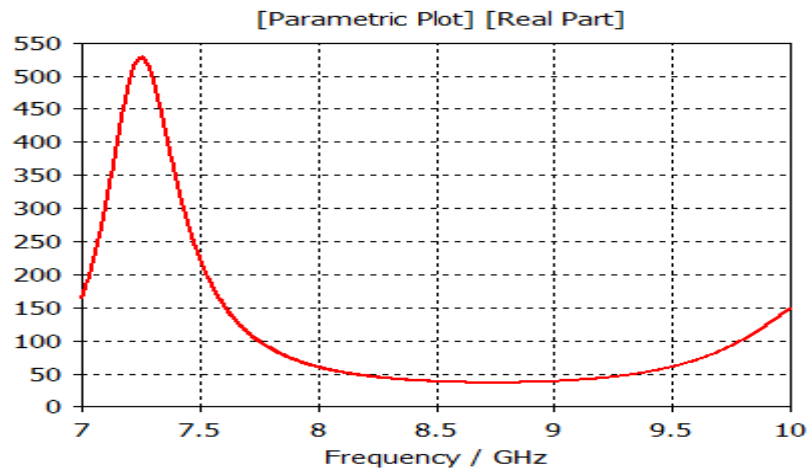


Figure II.83 partie réelle de l'impédance d'entrée d'une antenne patch rectangulaire

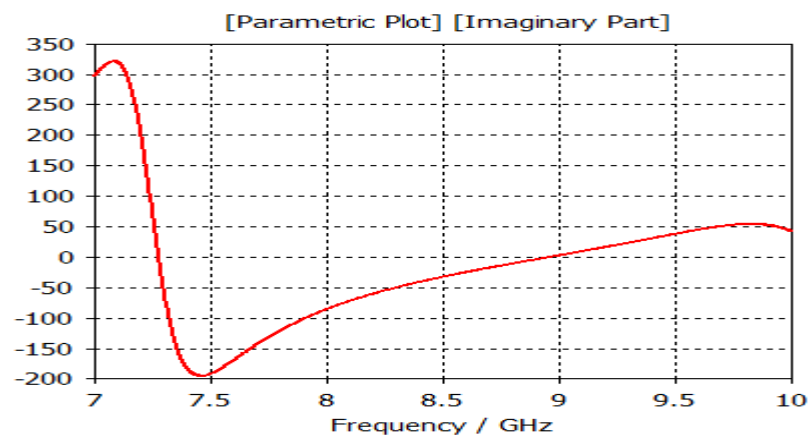


Figure II.84 partie imaginaire de l'impédance d'entrée d'une antenne patch rectangulaire

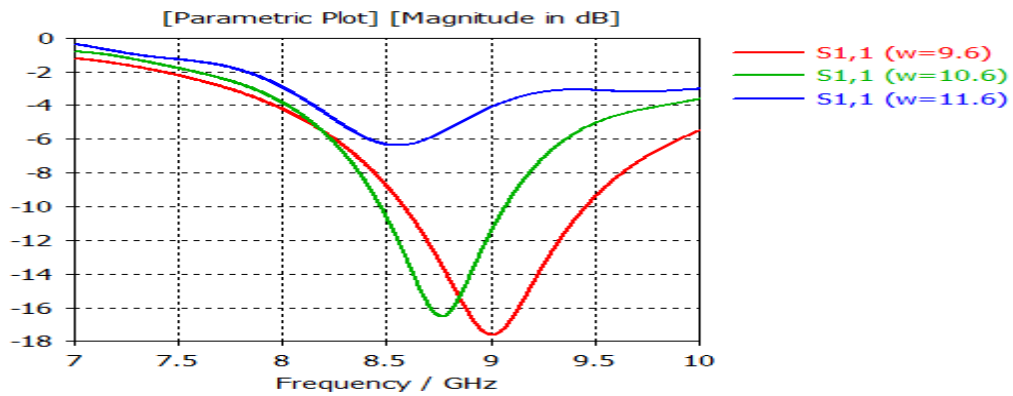
Nous notons que, pour l'antenne rectangulaire alimentée par un câble coaxial, lorsque la partie réelle de l'impédance d'entrée atteint son maximum, la partie imaginaire s'annule.

### II.11 Étude paramétrique (effet des paramètres géométriques) :

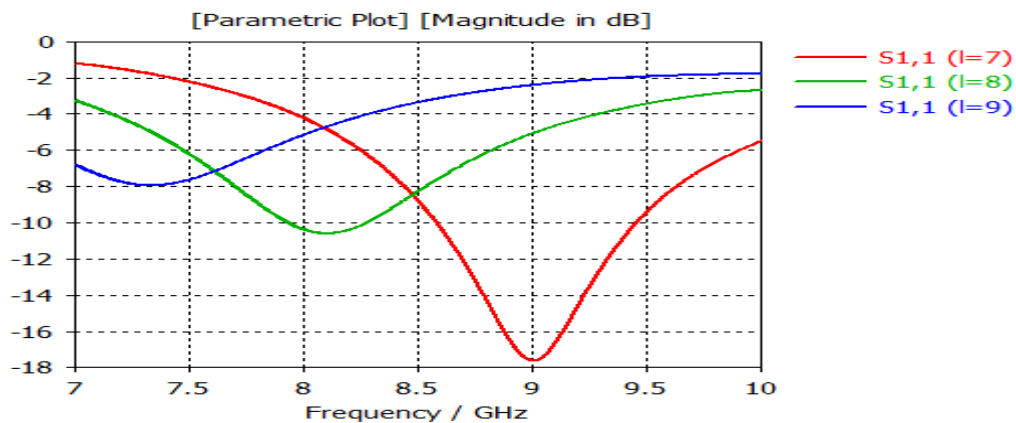
Ce paragraphe est consacré à l'étude de l'influence de différents paramètres sur le coefficient de réflexion  $S_{11}$ . Une étude paramétrique a été menée pour comprendre les effets des divers paramètres afin de les optimiser et d'aboutir à une structure finale efficace.

#### II.11.1 effet de la largeur $W$ et la longueur $L$ du patch :

Nous présentons d'abord les résultats de simulation de l'effet de la longueur  $L$  et la largeur  $W$  du patch.



a) effet de la largeur  $W$  du patch



b) effet de la longueur  $L$  du patch

Figure II.85 effet de la largeur  $W$  et la longueur  $L$  du patch sur le paramètre  $S_{11}$  en dB

Nous remarquons qu'une diminution de la largeur  $W$  du patch entraîne une augmentation de la fréquence de résonance et de la bande passante. Aussi la diminution de la longueur  $L$  entraîne une augmentation de la fréquence de résonance et la bande passante.

Nous constatons que la variation des paramètres  $W$  et  $L$  du patch à la même influence dans les deux cas (alimentation d'une antenne patch par une ligne microruban et par un câble coaxial).

### II.11.2 Effet de point d'alimentation $d$ :

La position du point d'excitation peut être ajustée de façon à obtenir une bonne adaptation entre l'antenne et la ligne d'alimentation. [7]

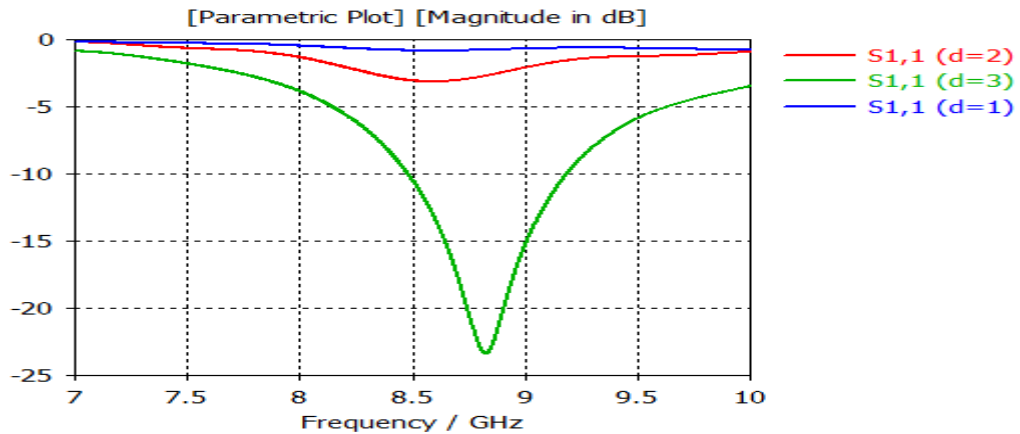


Figure II.86 Effet de la position de point d'alimentation sur le paramètre  $S_{11}$  en dB

La Figure II.86 montre les résultats de la simulation du paramètre  $S_{11}$  en dB de l'antenne pour les différentes valeurs de  $d$ . Nous pouvons constater clairement l'augmentation légère de la bande passante et la fréquence de résonance avec la variation de la position d'excitation. Quand le point d'alimentation s'approche du milieu du patch l'impédance d'entrée diminue. La position du point d'alimentation garantit une bonne adaptation entre générateur et l'antenne patch.

### II.11.3 Effet de l'épaisseur $h$ du substrat:

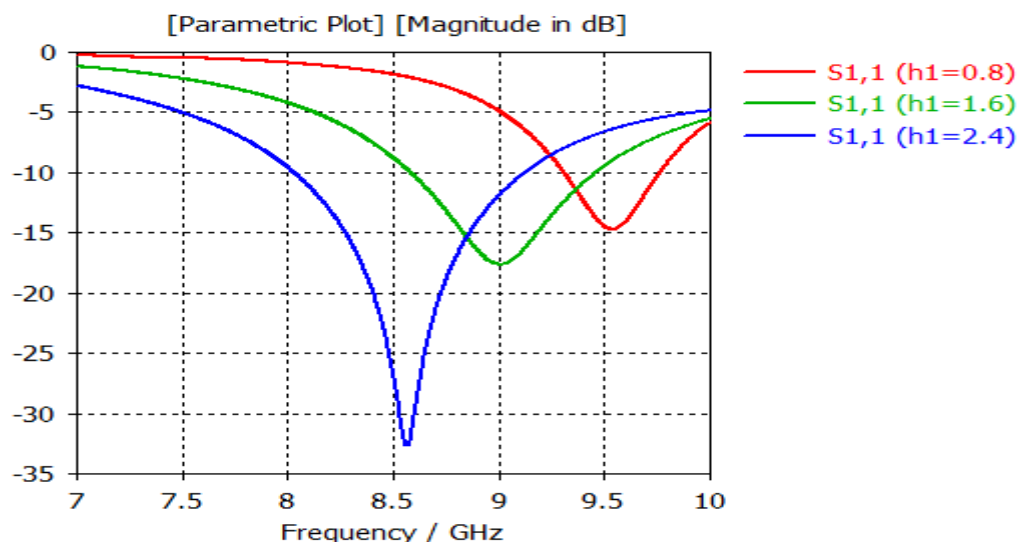


Figure II.87 Effet de l'épaisseur  $h$  du substrat sur le paramètre  $S_{11}$  en dB

Nous constatons que l'augmentation de l'épaisseur du substrat entraîne la diminution de la fréquence de résonance et l'augmentation de la bande passante de l'antenne.

### II.11.4 Effet de la permittivité diélectrique du substrat :

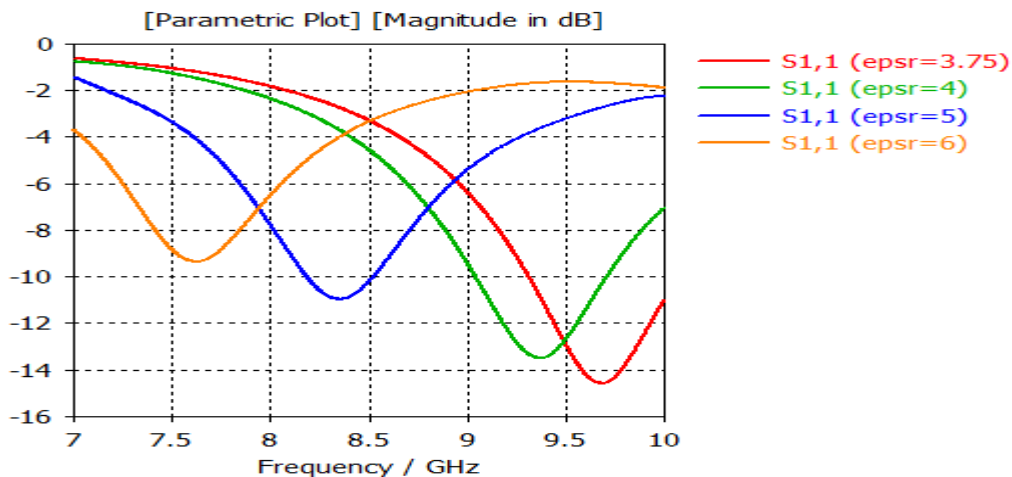


Figure II.88 Effet de la permittivité diélectrique du substrat sur le paramètre  $S_{11}$  en dB

Nous constatons qu'une augmentation de la constante diélectrique se traduit par la diminution de fréquence de résonance et la bande passante. [8][9][10]

### II.12 Conclusion :

Ce chapitre est une représentation de la conception et la simulation des antennes patch alimentées par une ligne microruban et par un câble coaxial, par le logiciel CST.

Nous avons conclu que :

- la fréquence de résonance est inversement proportionnelle à ces paramètres (longueur  $L$ , largeur  $W$  et l'épaisseur  $H$  du patch).
- L'épaisseur du substrat, le choix du type d'alimentation, la position de la ligne d'alimentation (soit le câble coaxial, soit la ligne microruban) influent considérablement sur les performances de l'antenne (coefficient de réflexion, bande passante et le rayonnement).
- L'augmentation de la constante diélectrique se traduit par la diminution de fréquence de résonance et la bande passante.

**CHAPITRE III**  
**MESURES PRATIQUES DES ANTENNES**  
**PATCH**

## Chapitre III : Mesures pratiques des antennes patch

### III.1 Introduction :

Les paramètres S sont vérifiés grâce un appareil qui est l'analyseur de réseau, sur le plan réel notre antenne doit avoir des valeurs proches à celles trouvé par le logiciel.

Dans ce chapitre nous allons présenter l'instrument de mesure qui est l'analyseur de réseau, son fonctionnement est son schéma puis nous passerons aux mesures des paramètres S de l'antenne patch, enfin, vérifier les diagrammes de rayonnement a l'aide d'un banc de mesure de diagramme de rayonnement « Lucas nülle-Unitrain ».

### III.2 L'analyseur de réseaux :

L'analyseur de réseaux est un outil principal de mesure qui permet de déterminer les paramètres S d'une antenne ou la caractérisation d'un objet sous test.

Il existe deux catégories d'analyseurs de réseaux :

- L'analyseur de réseau scalaire qui ne donne accès qu'au module des paramètres S.



Figure III.1 Analyseur de réseau scalaire du laboratoire d'antennes

- L'analyseur de réseau vectoriel qui donne le module et la phase des paramètres S qui s'affichèrent. En diagrammes de Bode et abaques de Smith.



Figure III.2 Analyseur de réseau vectoriel

### III.3 Principe de fonctionnement :

L'analyseur comporte une source radiofréquence qui produit un signal incident auquel est soumis le composant à tester. Ce dernier répond en réfléchissant une partie du signal incident et en transmettant la partie restante, révélant ainsi un dispositif avec perte (ou type « dispositif »).

Soient deux onde représentées en valeurs instantanées par :

$$a = A \cos(\omega\tau + \phi a) \quad \text{III.1}$$

$$b = B \cos(\omega\tau + \phi b) \quad \text{III.2}$$

Si la fréquence est trop élevée (à partir des 100MHz), nous pouvons mesurer directement les déphasages relatifs. Il faut donc effectuer une transposition en fréquences plus basses.

$$a' = A' \cos(\omega\tau + \phi' a) \quad \text{III.3}$$

$$b' = B' \cos(\omega\tau + \phi' b) \quad \text{III.4}$$

Il faut cependant respecter:

$$A'/B' = A/B \text{ et } (\phi' a - \phi' b) = (\phi a - \phi b) \quad \text{III.5}$$

Comme les analyseurs de réseaux permettent d'effectuer des mesures sur des plages de fréquences importantes, il y a nécessité d'un étalonnage des amplitudes et phases en fonction de la fréquence de mesure. [13]

### III.4 Schéma de mesure :

L'analyseur de réseau est constitué d'un générateur et un détecteur large bande ou sélectif.

Comme la figure le montre :

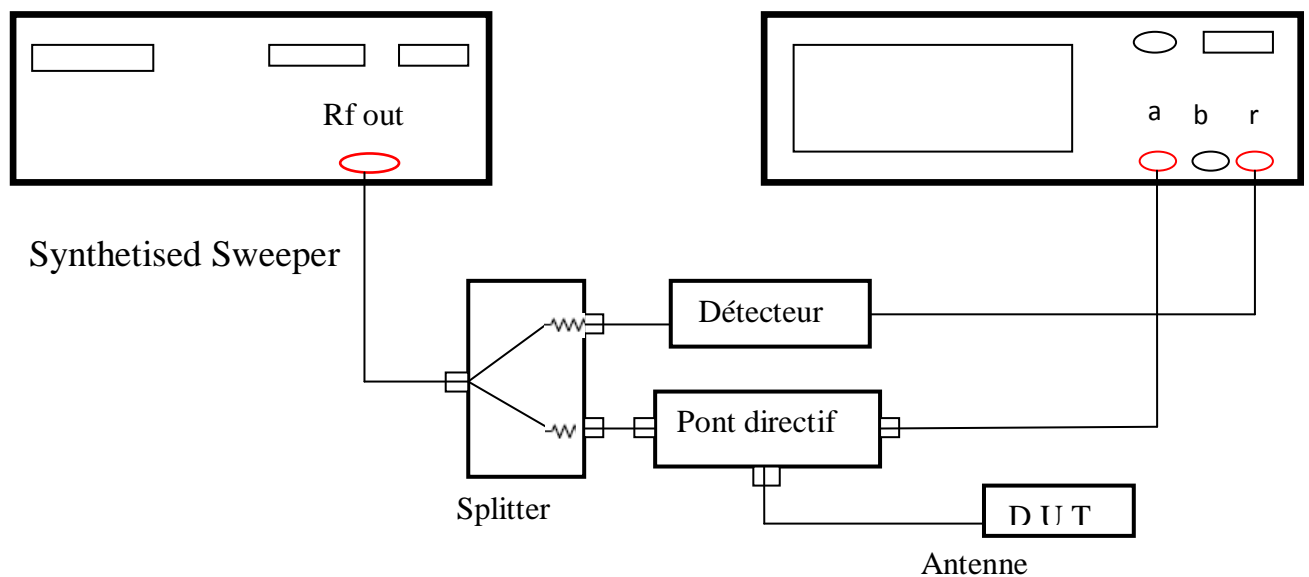


Figure III.3 Schéma de mesure

## Chapitre III : Mesures pratiques des antennes patch

Le générateur travaille avec des fréquences entre 0.01 et 20 GHz, on lui branche le splitter qui a deux entrées, une vers le détecteur qui sera relié à l'analyseur de réseau et l'autre au pont directif qui a une entrée branchée à notre objet sous test et une sortie à l'analyseur de réseau.

### III.5 Les paramètres S :

Une façon de quantifier la puissance réfléchi est l'utilisation des paramètres S. En effet, les paramètres S définissent les paramètres de réflexion et de transmission entre l'onde réfléchi et incidente aux bornes d'une composante.

Considérons le quadripôle suivant (figure III.4) :

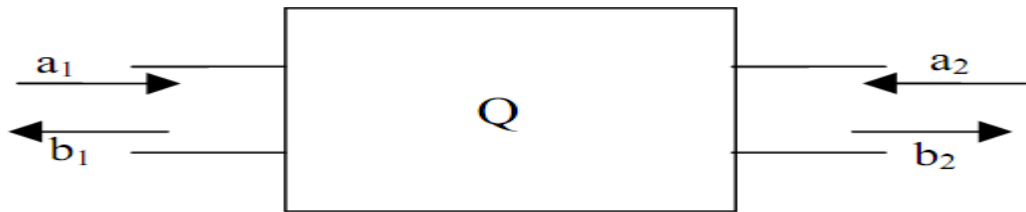


Figure III.4 Accès d'un quadripôle.

$a_1$  = Champs électriques de l'onde incidente à l'entrée de la composante

$a_2$  = Champs électriques de l'onde incidente à la sortie de la composante

$b_1$  = Champs électriques de l'onde réfléchi à l'entrée de la composante

$b_2$  = Champs électriques de l'onde réfléchi 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  $Z_0 \Omega$ .

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1} \quad \text{III. 6}$$

$$S_{21} = \frac{b_2}{a_1} \quad \text{III. 7}$$

$$S_{12} = \frac{b_1}{a_2} \quad \text{III. 8}$$

$$S_{22} = \frac{b_2}{a_2} \quad \text{III. 9}$$

## Chapitre III : Mesures pratiques des antennes patch

$S_{11}$  : Coefficient de réflexion (dB) à l'entrée

$S_{21}$  : coefficient de transmission (dB)

$S_{12}$  : Isolation (dB)

$S_{22}$  : Coefficient de réflexion (dB) à la sortie

Donc, comme nous pouvons le constater, le paramètre  $S_{11}$  devra être minimal dans la conception de l'antenne parce qu'il caractérise directement la quantité de signaux réfléchis par la composante étudiée.

### III.6 Les mesures sur l'analyseur de réseau :

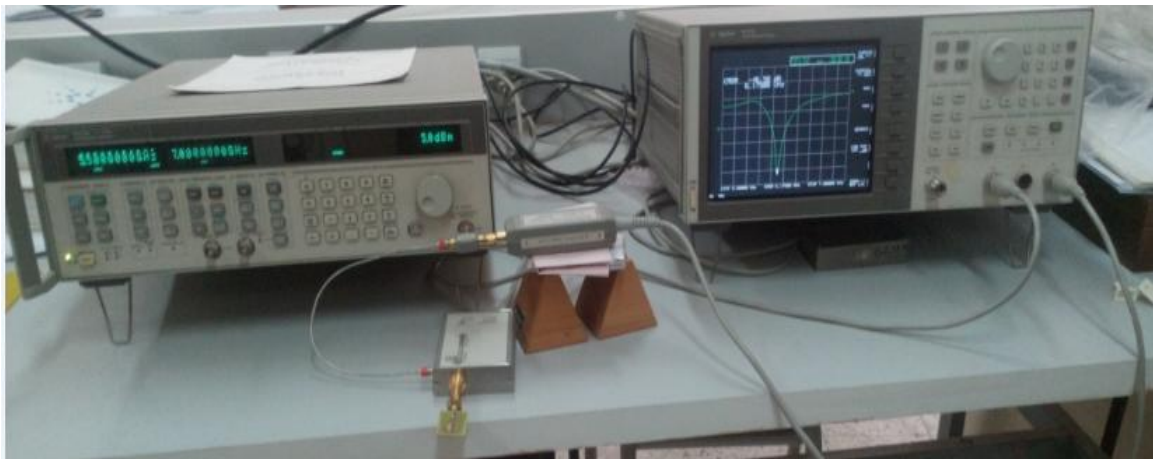


Figure III.5 Montage pour la mesure du paramètre  $S_{11}$  des antennes considérées du laboratoire d'antennes

#### - la mesure des paramètres $S_{11}$ par l'analyseur de réseau :

Le générateur excite l'antenne à partir de (a) la même puissance (b) est envoyée en parallèle à l'analyseur de réseau. La puissance réfléchie par l'antenne est envoyée également vers l'analyseur réseau(c). Ce dernier fait le rapport entre l'onde réfléchie et l'onde incidente.

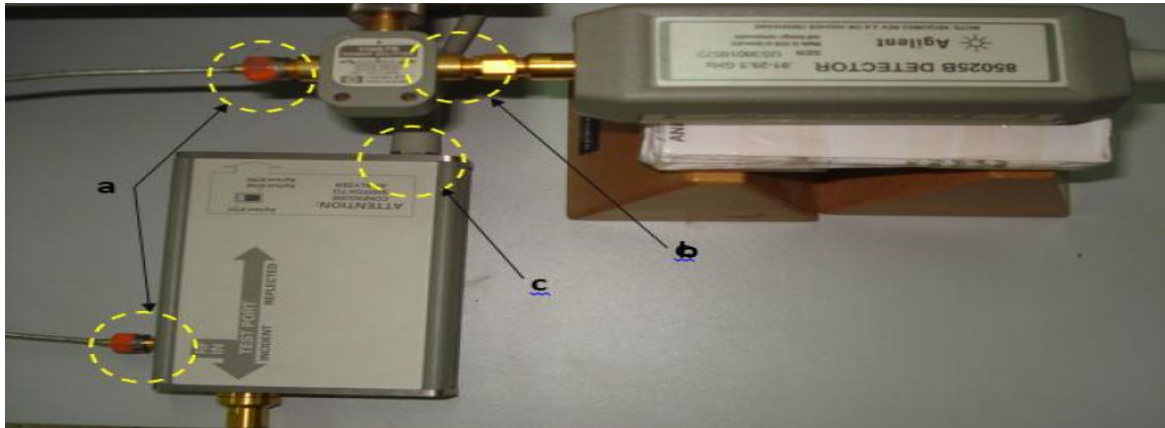


Figure III.6 Montage pour déterminer les conditions d'adaptation de l'antenne patch

Ainsi nous avons pu déterminer la fréquence de résonance des antennes considérées ainsi que leurs bandes passantes.

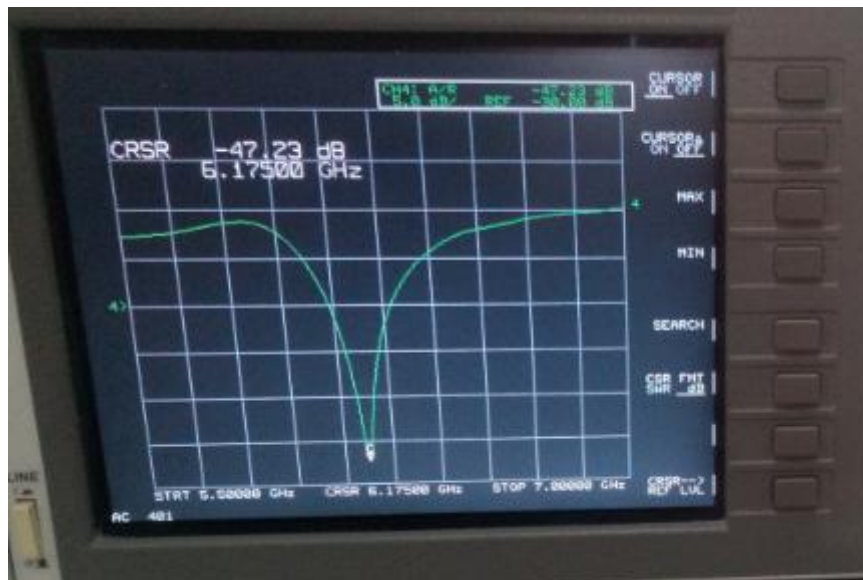


Figure III.7 Détermination de la fréquence de résonance et de la bande passante de l'antenne patch

### III.7 Banc de mesure du diagramme de rayonnement :

“Lucas nulle-Unitrain“ (figure III.8) est un système qui permet, entre autres, de mesurer le rayonnement d'une antenne et donner son diagramme de rayonnement en coordonnées cartésienne et en coordonnées polaires et déterminer l'angle d'ouverture de cette dernière.



Figure III.8 Kit du système Lucas nulle-Unitrain pour les mesures d'antennes au laboratoire d'antennes

Le système est constitué principalement [14] :

**A. D'un émetteur :**

- Oscillateur en bande X à résonateur diélectrique.
- Fréquence fixe de 9,0 GHz.
- Rayonnement signalé par témoin optique.



Figure III.9 Émetteur

**B. D'un récepteur :**

- LNC en bande X
- Mesures exactes à haute sensibilité jusqu'à -65dBm,
- Mesure réelle de la fréquence



Contrairement à l'émetteur, le récepteur n'a pas de témoin optique.

Figure III.10 Récepteur

**C. D'une plate-forme tournante pour antenne**

Elle est commandée par un moteur pas à pas avec une résolution de  $0,1^\circ$ .



Figure III.11 Plate forme rotative

### D. d'une interface UniTrain-I avec USB :

- Oscilloscope avec 2 entrées différentielles
- analogiques
- Taux d'échantillonnage : 40 Msample/s
- 9 calibres 100 mV - 50 V
- 22 plages de temps 1  $\mu$ s - 10 s
- 16 entrées et sorties numériques
- Générateur de fonctions jusqu'à 1 MHz
- 8 relais pour la simulation.



Figure III.12 Interface UniTrain-I

### E. D'un LabSoft :

LabSoft constitue l'interface de contrôle de l'UniTrain-I, une plateforme d'expérimentation ouverte qui permet d'accéder à tous les médias du laboratoire UniTrain-I :

- Fenêtre de navigation avec structure en arborescence pour l'affichage et la sélection directe de tous les cours UniTrain-I installés
- Réalisation des expériences, y compris documentation, évaluation et enregistrement des mesures.

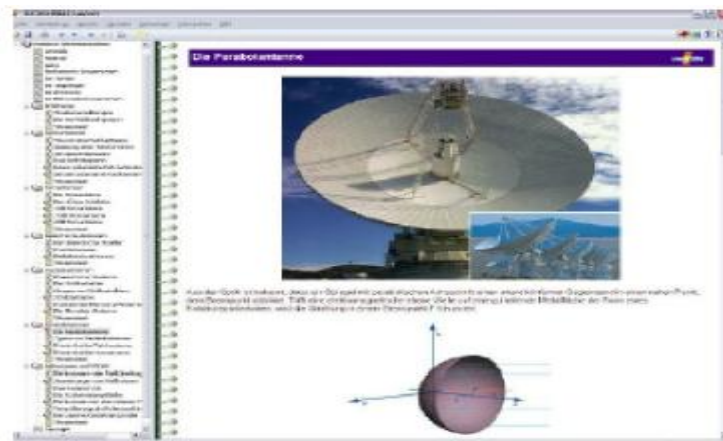


Figure III.13 Interface du Labsoft



Figure III.14 Antenne de réception

### III.8 Comment tracer le diagramme de rayonnement d'une antenne avec Lucas nulle-Unitrain ?

Pour tracer un diagramme de rayonnement d'une antenne dans le système, nous procédons de la façon suivante :

Après avoir alimenté le système et installé les antennes émettrice et réceptrice dans leurs emplacements respectifs (nous fixons toujours l'antenne que nous aimerions mesurer dans l'émetteur)

- 1- Nous devons contrôler à ce que l'antenne émettrice (c'est-à-dire celle dont nous aimerions tracer le diagramme de rayonnement) et l'antenne réceptrice soient parfaitement alignées et séparées d'une distance comprise entre 0.5 et 1 m comme c'est indiqué dans l'interface du LabSoft (figure III.15)

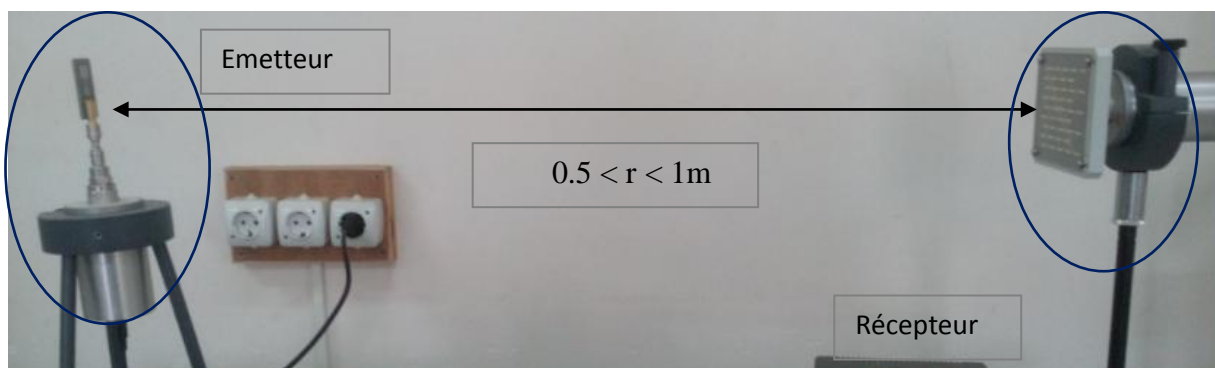


Figure III.15 Positions des antennes émettrice et réceptrice

## Chapitre III : Mesures pratiques des antennes patch

2- Dans l'interface du LabSoft, en haut à gauche nous cliquons sur « centre de contrôle »

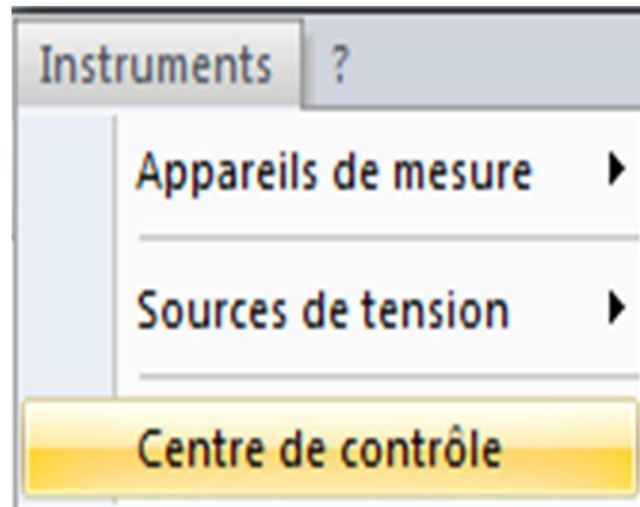


Figure III.16 Menu Instruments

3- La fenêtre suivante apparaît :

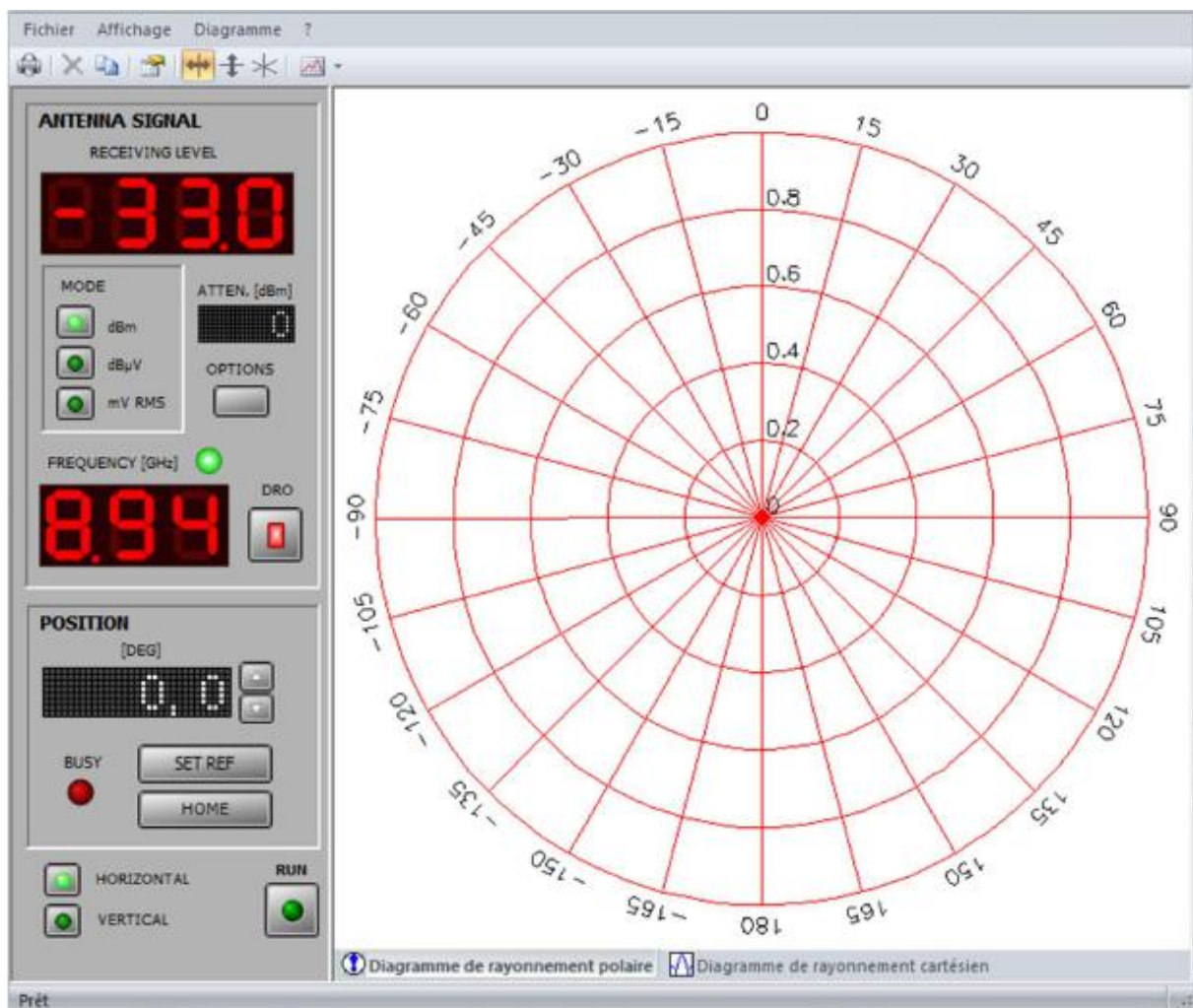


Figure III.17 Menu centre de contrôle

## Chapitre III : Mesures pratiques des antennes patch

Elle est constituée de :



Indique le niveau de la réception. Plus ce niveau est grand mieux est la réception.



Il nous donne la possibilité de choisir avec quel mode nos mesures seront faites.

Nous choisissons dans la majorité des cas le mode dBm.



Cette fenêtre nous informe de la fréquence avec laquelle nous travaillons, c'est à- dire la fréquence avec laquelle rayonnent les antennes que nous mesurons. Elle est fixée autour de 9 GHz pour nos mesures.



Il nous permet d'allumer ou d'éteindre l'émetteur (DRO).



Il nous informe de la Position(en degrés) de l'antenne lors de sa rotation.



Une fois le diagramme de rayonnement tracé, cette icône nous donne la possibilité de le visualiser en coordonnées polaires ou bien en coordonnées cartésiennes



Cette application sert à lancer la rotation de la plateforme rotative ou bien l'arrêter si nous le désirons.



Cette touche nous permet de visualiser le diagramme de rayonnement soit (de gauche a droite) : dans le plan vertical, horizontale ou bien en 3D.



Cette icône sert à fixer le point zéro de notre diagramme de rayonnement. On ajuste les antennes jusqu'à lire la plus grande valeur dans « Receiving Level », ensuite on click sur elle, on éteint le DRO puis on le rallume, la valeur est alors fixée.

## Chapitre III : Mesures pratiques des antennes patch



Cette icône nous permet de sélectionner le plan dans lequel nous aimerions tracer le Diagramme de Rayonnement. Verte pour le plan vertical. Jaune pour le plan horizontal.

Dans le plan vertical, la représentation est donnée dans la couleur Bleu, sur le plan horizontal, elle est donnée en rouge.

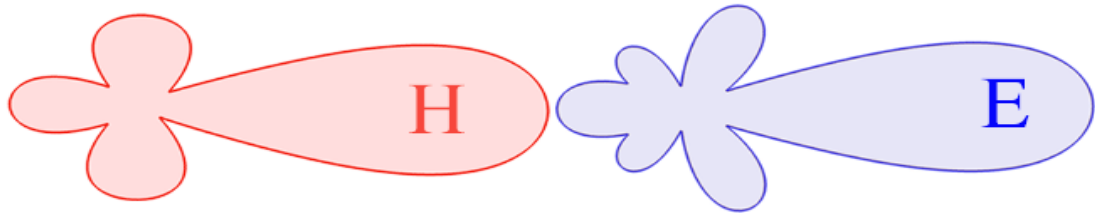


Figure III.18 Coupe dans le plan E (vertical) et H (horizontal).

- 4- Pour fixer certains paramètres du diagramme, nous avons l'icône Diagramme puis propriétés comme le montre cette illustration

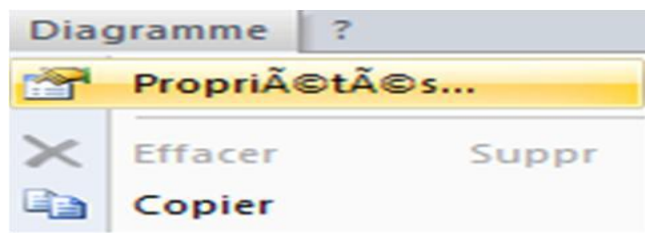


Figure III.19 Menu diagramme

- 5- Cette fenêtre apparaît :

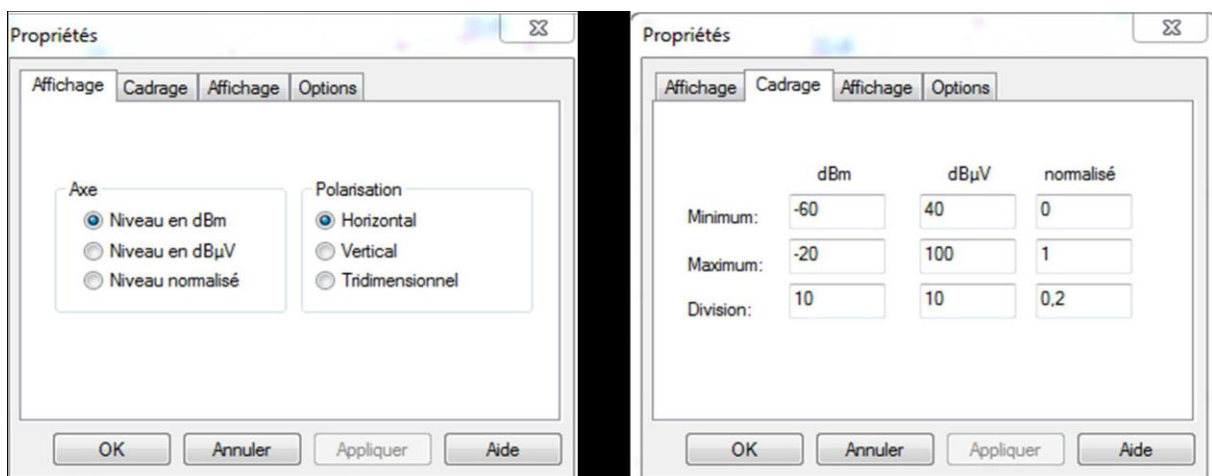


Figure III.20 Menu Propriétés

## Chapitre III : Mesures pratiques des antennes patch

Nous sélectionnons dans cette fenêtre les critères qui nous sont demandés pour la manipulation.

Exemple : lors de la mesure du diagramme de rayonnement l'antenne hélicoïdale nous devons sélectionner « niveau normalisé ». Pour le pour le dipôle, dans l'icône cadrage nous mettrons les valeurs suivantes Minimum-70 | Maximum -20.

- 6- Une fois l'antenne fixée et les critères choisis, on peut lancer le traçage du diagramme de rayonnement avec le bouton Run. Le diagramme une fois mesuré apparaîtra dans le menu centre de contrôle comme suit (figure III.21) :

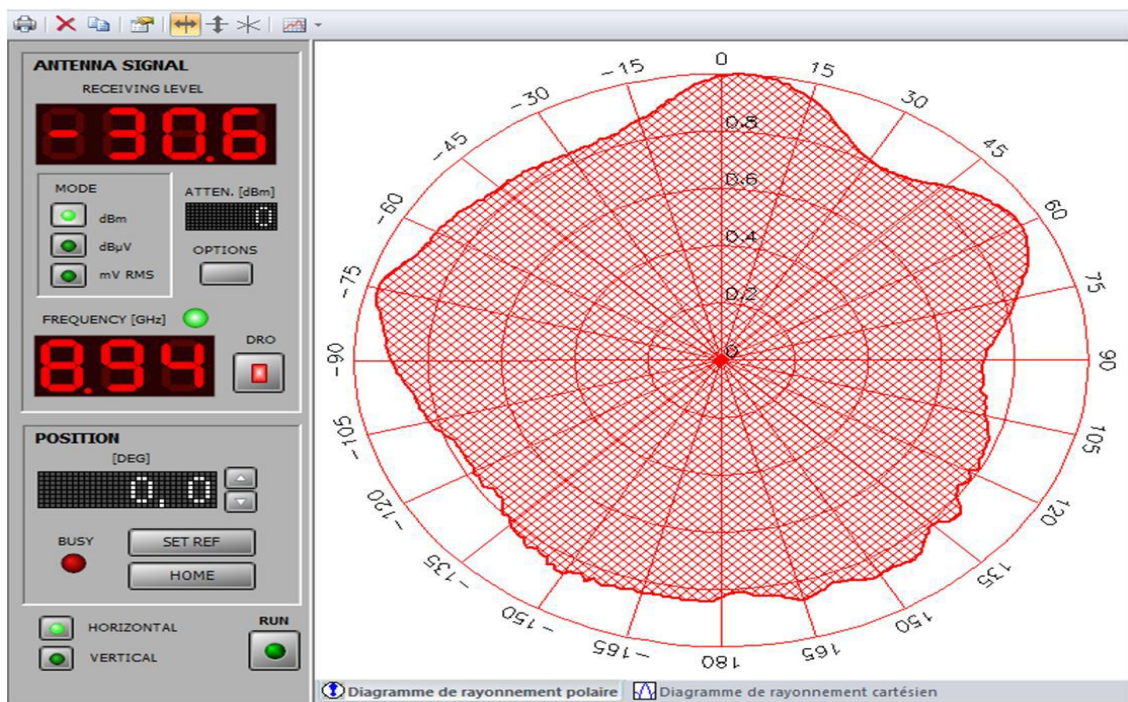


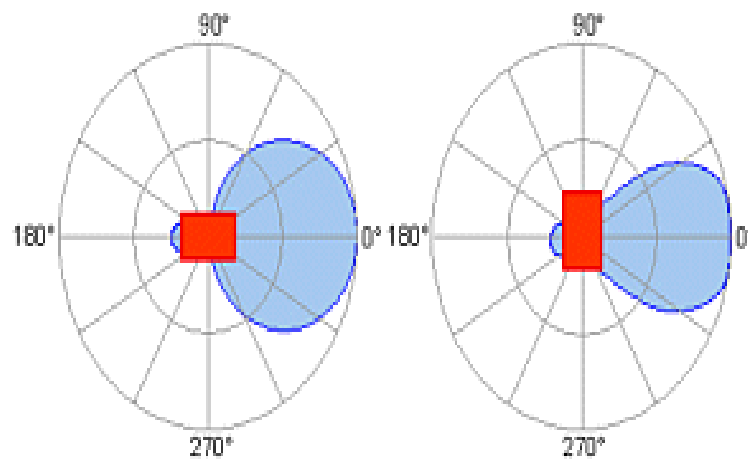
Figure III.21 Exemple d'un Diagramme de rayonnement mesuré sur système  
Lucas nulle-Unitrain

### III.9 Antenne patch à polarisation linéaire :



Figure III.22 Montage pour la mesure du diagramme de rayonnement de l'antenne Patch à polarisation linéaire.

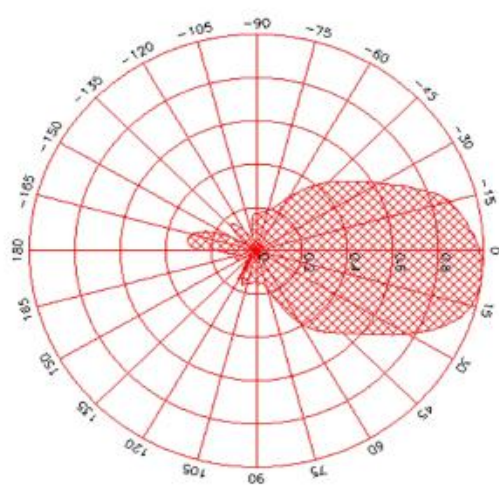
#### III.9.1 Diagramme de rayonnement théorique de l'antenne patch à polarisation linéaire :



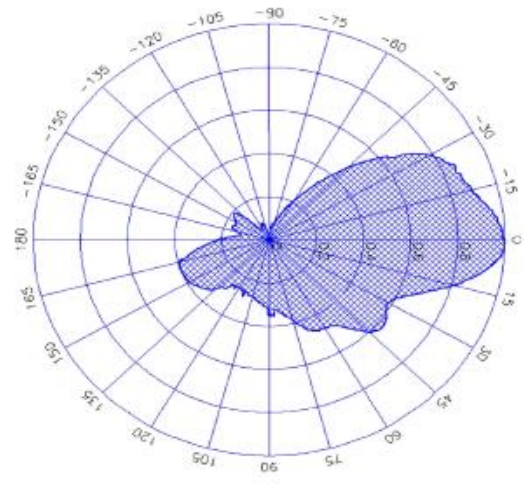
a. Dans le plan horizontal.      b. Dans le plan vertical.

Figure III.23 Diagramme de rayonnement théorique de l'antenne Patch à polarisation linéaire

### III.9.2 Diagramme de rayonnement pratique de l'antenne patch à polarisation linéaire :



a. Dans le plan horizontal.



b. Dans le plan vertical.

Figure III.24 Diagramme de rayonnement pratique de l'antenne Patch à polarisation linéaire.

### III.10 Conclusion :

L'étude expérimentale nous permet d'observer en pratique les résultats obtenus, grâce au tracé du coefficient de réflexion (le paramètre  $S_{11}$ ) à l'aide d'un analyseur de réseau et du diagramme de rayonnement obtenu par le banc de mesure Lucas nulle- Unitrain en fonction de la fréquence.

# **CONCLUSION GENERALE**

## CONCLUSION GENERALE

---

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

L'objectif de notre travail rapporté dans ce manuscrit a été de maîtriser le logiciel CST Microwave Studio que nous avons utilisé pour la conception des antennes patch travaillant à une fréquence de résonance de 9 GHz. Afin d'atteindre nos objectifs, nous avons effectué dans un premier temps une représentation générale de différentes fonctionnalités du logiciel CST, son utilisation et le rôle de chaque fonction que nous avons utilisé pour réaliser nos simulations.

Après la présentation du logiciel CST, nous avons simulé deux antennes patch ; l'une alimentée par une ligne microruban et l'autre par un câble coaxial. Une étude paramétrique a été menée pour comprendre les effets des divers paramètres et ainsi aboutir à une structure finale efficace. Nous avons conclu que la fréquence de résonance est inversement proportionnelle aux paramètres suivants : longueur  $L$  du patch, sa largeur  $W$  et l'épaisseur  $h$  du substrat.

L'épaisseur du substrat, le choix du type d'alimentation par câble coaxial ou par la ligne microruban, la position de la ligne d'alimentation influent considérablement sur les performances de l'antenne (coefficient de réflexion, bande passante et diagramme de rayonnement). Nous concluons aussi qu'une augmentation de la constante diélectrique se traduit par la diminution de fréquence de résonance et la bande passante.

Le logiciel CST studio nous a permis de simuler les performances de l'antenne.

Nous avons consacré le troisième chapitre pour la représentation des instruments de mesures qui sont : l'analyseur de réseau scalaire et le banc de mesure du diagramme de rayonnement, qui nous ont permis de vérifier les résultats de la simulation expérimentalement (le paramètre  $S_{11}$  et le diagramme de rayonnement).

En guise de perspective ce travail peut être considéré comme étant un lien vers d'autres études basées sur d'autres logiciels de simulation tel que le HFSS, IE3D, le FEKO, car l'utilisation de deux simulateurs différents, basés sur deux méthodes numériques différentes peut donner une meilleure idée sur la qualité des résultats de simulation.

# BIBLIOGRAPHIE

## BIBLIOGRAPHIE

---

- [1] ADIL KAMIL, « conception d'une antenne patch ultra-large bande (3.1 ghz-10.6 ghz) », Université du Québec, 2011.
- [2] Alexandre Boyer : institue nationale des sciences appliquées de Toulouse 5eme année Réseau et Télécom, Toulouse 2011.
- [3] Balanis.A, « Antenna theory analysis and design », Paris 2005.
- [4] Benomar Ahmed, Thèse du doctorat « Etude des Antennes à Résonateurs Diélectriques. Application aux Réseaux de Télécommunications. Electronique ». Université de Limoges, 2015.
- [5] odile Picon et coll : « Les Antennes Théorie, conception et application », Paris, 2009.
- [6] Soltane Samia, Diplôme de Magister « Etude Et Caractérisation D'antennes Imprimées Pour Système Ultra-large Bande», Université Mohamed Khider – Biskra, 2015.
- [7] Aksas Rabia: « Antenne théorie et application », Paris 2013.
- [8] Suvadeep Choudhury, «Effect of Dielectric Permittivity and Height on a Microstrip-Fed Rectangular Patch Antenna», International Journal of Electronics & Communication Technology, Jan - March 2014, Vol.5, Issue Spl-2, p 129 – 130.
- [9] Amita Thakur, Manoj Chauhan, Mithilesh Kumar, «Effect of Substrate relative dielectric constant on Bandwidth characteristics of Line feed Rectangular Patch Antenna », International Journal of Engineering Science Invention Research & Development, April 2015, Vol.1, Issue 10, p 391- 396.
- [10] Gurpreet Kaur, Er. Sonia Goyal, «To Study the Effect of Substrate Material for Microstrip Patch Antenna», International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), June 2016, Volume 36, n° 9, p 490- 493.

## BIBLIOGRAPHIE

---

[11] Vivek Hanumante, Panchatapa Bhattacharjee, Sahadev Roy, Pinaki Chakraborty, Santanu Maity, «Performance Analysis of Rectangular Patch Antenna for Different Substrate Heights », International Journal Of Innovative Research In Electrical, Electronics, Instrumentation And Control Engineering, January 2014, Vol. 2, Issue 1, p 515- 518.

[12] Liton Chandra Paul, Md. Sarwar Hosain, Sohag Sarker, Makhluq Hossain Prio, Monir Morshed, Ajay Krishno Sarkar. «The Effect of Changing Substrate Material and Thickness on the Performance of Inset Feed Microstrip Patch Antenna». American Journal of Networks and Communications. Vol. 4, No. 3, 2015, pp. 54-58.

[13] CHABOUNI Mohamed Yacine, Mémoire de fin d'études de Master Académique «Simulation d'antennes sous FEKO», UMMTO, 2015.

[14] TOUDERT Sofiane, Mémoire de fin d'études de Master Académique « Caractérisation d'antennes avec le banc de mesure « Lucas nulle-Unitrain » en bande X », UMMTO, 2016.

## **Résumé**

L'objectif de notre travail rapporté dans ce mémoire a été de maîtriser le logiciel CST Microwave Studio. Afin d'atteindre nos objectifs, nous avons effectué dans un premier temps une représentation générale de différentes fonctionnalités du logiciel CST, son utilisation et le rôle de chaque fonction que nous avons utilisé pour réaliser nos simulations.

Après la présentation du logiciel CST, nous avons simulé deux antennes patch ; l'une alimentée par une ligne microruban et l'autre par un câble coaxial. Une étude paramétrique a été menée pour comprendre les effets des divers paramètres et ainsi aboutir à une structure finale efficace.

Nous avons consacré le troisième chapitre pour la représentation des instruments de mesures qui sont : l'analyseur de réseau scalaire et le banc de mesure du diagramme de rayonnement.

Finalement, les résultats essentiels de notre travail ont été résumés dans la conclusion générale.

### **Mots clefs :**

Antennes patch, Logiciel CST, Ligne micro ruban, Diagramme de rayonnement, Les paramètres S, La permittivité diélectrique,