

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou

Faculté du génie électrique et de l'informatique

Département d'électronique



Mémoire de fin d'études de Master Académique

Spécialité: Réseaux et Télécommunication

Thème:

Miniaturisation de l'antenne PATCH sous CST

Réalisé par :

BELABAS Lynda

CHEMMOUN Lila

Encadré par:

Mr H.KANANE

Année Universitaire : 2017/2018

Remerciements

Avant tout nous aimerions exprimer notre immense gratitude et notre plus profond respect à notre maître et encadreur Mr. Kaanane. Il a été pour nous un guide, un exemple et un mentor pendant notre cursus et durant l'accomplissement de ce mémoire. Les valeurs qu'il nous a inculquées et le savoir qu'il nous a transmis ont été inestimables. Sans lui ce travail n'aurait pas été possible.

Nous adressons nos sincères remerciements aux membres du jury pour avoir pris le temps d'examiner et juger ce travail.

Nous tenons aussi à remercier nos chères familles pour leur soutien, leur engagement et leur amour inconditionnel.

Si ce document a pu voir le jour c'est grâce aux actions conjuguées de plusieurs personnes, à qui nous devons toute notre reconnaissance.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

*A mes parents, aucun hommage ne
pourrait être à la hauteur du soutien
qu'ils m'ont donné.*

A mon frère et ma sœur : Yacine et Céline.

*A ma famille et à mes amis qui ont
contribué de près ou de loin pour que ce
travail se réalise,*

Je vous dis merci.

Lynda

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

*A mes parents, aucun hommage ne
pourrait être à la hauteur du soutien
qu'ils m'ont donné.*

A mes chers frères : Tahar et Ghiles

A mes chères sœurs : Lynda et Ghania

A ma belle-sœur : Hanane

*A ma famille et à mes amis qui ont
contribué de près ou de loin pour que ce
travail se réalise,*

Je vous dis merci.

Lila

SOMMAIRE

Remerciements

Dédicaces

Liste des figures

Introduction générale 1

CHAPITRE 1: GENERALITE SUR LES ANTENNES

1-1 Préambule	4
1-2 Définition d'une antenne	4
1-3 Principe théorique pour l'étude des antennes	4
1-3- 1 Onde électromagnétique.....	4
1-3-2 Interaction onde/antenne	5
1-3-3 Equation de Maxwell	5
1-3-4 Potentiel électromagnétique	7
1-3-5 Les différents zones de rayonnement.....	7
1-4 Les principales caractéristiques d'une antenne.....	7
1-5- Différents types antennes	9
1-6 Différents domaines d'utilisation des antennes	16
1-6-1 Système de communication.....	16
1-6-2 Télévision et radiodiffusion FM	16
1-6-3 Les radars	16
1-6-4 La télédétection	17
1-6-5 La radioastronomie.....	17
1-7 Conclusion	17

CHAPITRE 2 : DESCRIPTION DU LOGICIEL CST

2-1 Préambule	19
2-2 Définition du logiciel CST.....	19
2-3 Description générale du logiciel	19
2-4 Description générale de l'interface CST.....	23
2-5 Les différentes formes géométriques	24
2-6 Configuration du modèle	40
2-7 Configurer les ports	42
2-8 Le maillage	43
2-9 Moniteur (calcul des champs)	43
2-10 Commencer une simulation.....	44
2-11 Résultat de simulation.....	45
2-12 Conclusion.....	46

CHAPITRE 3 : SIMULATION DE L'ANTENNE PATCH SOUS CST

3-1 Préambule	48
3-2 Définition d'une antenne patch	48
3-3 Les éléments rayonnants	49
3-4 Principe de fonctionnement.....	49
3-5 Techniques d'alimentation de l'antenne patch.....	50
3-5-1 Alimentation directe (par contacte)	50
3-5-2 Alimentation par proximité	51
3-6 Avantage et inconvénient d'une antenne patch	52
3-7 Simulation de l'antenne patch	53
3-7-1 Réalisation du modèle	53

3-7-2 La configuration du modèle.....	62
3-7-3 Simulation du modèle et résultat	63
3-9 Etude paramétrique.....	65
3-9 Conclusion	66

CHAPITRE 4 : MINIATURISATION DE L'ANTENNE PATCH

4-1 Préambule	68
4-2 Généralités sur la miniaturisation	68
4-3 Technique de miniaturisation	71
4-3-1 Introduction d'un court circuit.....	71
4-3-2 Utilisation des matériaux	71
4-3-3 Modification géométriques.....	72
4-4 Simulation de l'antenne	72
4-5 Etude de l'adaptation.....	74
4-6 Conclusion	76
<i>Conclusion générale</i>	78
<i>Bibliographie</i>	80

Liste des figures

Chapitre1 :

Figure1.1 : Onde électromagnétique	5
Figure1.2 : Illustration de la bande passante à -10db d'une antenne	8
Figure1.3 : dipôle demi-onde	10
Figure1.4 : Antenne monopôle quart d'onde sur un plan conducteur infini parfait.....	10
Figure1.5 : Exemple d'une boucle résonante	11
Figure1.6 : Antenne hélice	11
Figure1.7 : Antenne cornet.....	12
Figure1.8: principe de l'antenne à réflecteur parabolique.....	13
Figure1.9 : Antenne dièdre.....	13
Figure1.10: Antenne plaquée	14
Figure1.11 : Principe d'un réseau d'antenne.....	15
Figure1.12 : quelques configurations d'antennes fractales	15

Chapitre2 :

Figure2.1 : Création d'un nouveau projet.....	19
Figure2.2 : Choix du type de simulation	20
Figure2.3 : Choix de la zone de simulation.....	20
Figure2.4 : Choix de type d'antenne	21
Figure2.5 : Choix de type de simulation.....	21
Figure2.6 : Choix des unités de fréquences.....	22
Figure2.7 : Fin de la création de nouveau projet	22
Figure2.8 : Interface du CST.....	23
Figure2.9 : Fenêtre de dialogue	24
Figure2.10 : Sélectionner une forme	25
Figure2.11 : Outils d'observation.....	25
Figure2.12 : Outils de transformation géométriques	26

Figure2.13 : Exemple d'une translation de 10 selon l'axe d'une brique avec un facteur de répétition de 2 et d'une conservation de la brique d'origine.....	27
Figure2.14 : Sélectionner une face du cylindre	30
Figure2.15 : Dialogue d'Extrude d'une face.....	31
Figure2.16 : Création d'une deuxième forme de la face sélectionnée par l'outil Extrude.....	31
Figure2.17 : Sélectionner une face du cylindre	31
Figure2.18 : Spécification des bords	32
Figure2.19 : La forme obtenue après l'utilisation de la commande 'Rotate'	32
Figure2.20 : La création de deux briques	33
Figures2.21 : Sélectionner les deux faces internes des deux briques	33
Figure2.22: dialogue de réglage de la douceur de Loft	34
Figure2.23 : Structure obtenue après l'application de la commande 'loft' sur les deux briques	34
Figure2.24: Sélectionner les deux faces externes des deux briques.....	35
Figure2.25 : Définition de l'épaisseur de la matière à l'intérieure ou à l'extérieur de la structure pleine.....	35
Figure2.26 : Structure creusée obtenue.....	36
Figure2.27 : Interface de l'arbre historique.....	38
Figure2.28 : Modification de la longueur de la brique	38
Figure2.29 : Génération d'un rectangle basé sur les courbes	39
Figure2.30 : Génération d'un cercle qui recouvre l'un des bords de rectangle.....	39
Figure2.31 : Obtention d'une courbe qui contient un seul contour.....	40
Figure2.32 : Définition des unités	41
Figure2.33 : Définition de la plage de fréquence	41
Figure2.34 : Définition des conditions aux limites	42
Figure2.35 : Fenêtre de dialogue des ports de guide d'onde	43
Figure2.36 : Définition des moniteurs des champs	44
Figure2.37 : Fenêtre de dialogue de Solveur Temporel	44
Figure2.38 : Visualiser les résultats de simulation.....	45

Chapitre3 :

Figure3.1 : Structure d'une antenne imprimée	48
Figure3.2 : Les formes d'antenne patch.....	49
Figure3.3 : Rayonnement d'une antenne patch	50
Figure3.4 : Alimentation par une ligne micro ruban.....	50
Figure3.5 : Alimentation par une sonde coaxiale	51
Figure3.6 : Couplage à ouverture (fente) dans le plan de masse.....	51
Figure3.7 : Représentation de la structure du patch.....	53
Figure3.8 : Liste des paramètres d'une antenne patch alimentée par une ligne micro ruban.....	53
Figure3.9 : Création du substrat.....	54
Figure3.10 : La structure du substrat.....	54
Figure3.11 : Sélection de l'autre face du substrat	55
Figure3.12 : boîte de dialogue de création de plan de masse.....	55
Figure3.13 : Boîte de dialogue de création du patch.....	56
Figure3.14 : Structure du patch.....	56
Figure3.15 : Le vide dans le patch.....	57
Figure3.16 : Boîte de dialogue de création de l'encoche du patch	57
Figure3.17 : Structure du patch avec le vide.....	58
Figure3.18 : Structure de l'antenne patch alimentée par une ligne micro ruban.....	58
Figure3.19 : Boîte de dialogue de création du micro strip	59
Figure3.20 : Dessiner le micro strip	59
Figure3.21 : Obtention du modèle unis (patch et micro strip)	60
Figure3.22 : Zoom de la partie haute de micro strip	60
Figure3.23 : Fenêtre de dialogue de la configuration du port de guide d'onde.....	61
Figure3.24 : Structure d'une antenne patch alimentée par une ligne micro ruban.....	61
Figure3.25 : Boîte de dialogue de configuration de la plage de fréquence.....	62
Figure3.26 : Boîte de dialogue des différents résultats qu'il faut obtenir après la simulation	63

Figure3.27 : Boite de dialogue de Solveur	63
Figure3.28 : courbe du paramètre S11 en DB.....	64
Figure3.29 : Diagramme de rayonnement en 2D	64
Figure3.30 : Diagramme de rayonnement en 3D	65
Figure3.31 : Effet de la longueur du patch sur le paramètre S11	65

Chapitre4 :

Figure4.1 : Sphère CHU	69
Figure4.2 : Cartographie du champ E dans la cavité d'une antenne micro ruban.....	71
Figure4.3 : Insertion d'une fente	72
Figure4.4 : Antenne patch avec insertion d'une fente	73
Figure4.5 : Paramètre S11 après insertion de la fente	73
Figure4.6 : Diagramme de rayonnement en 2D.....	73
Figure4.7 : Diagramme de rayonnement en 3D.....	74
Figure4.8 : Antenne patch sans encoches	74
Figure4.9 : Courbe du paramètre S11 de l'antenne sans encoches	75
Figure4.10 : Antenne patch avec encoche	75
Figure4.11 : Courbe du paramètre S11 de l'antenne avec encoche	76

Introduction Générale

On ne peut pas aborder les antennes sans faire un rappel sur les découvertes scientifiques, qui ont été faites dans le second moitié XIXe siècle et qui ont conduit à la fin de ce siècle aux premières liaisons de télégraphie sans fils longues distances, en utilisant des antennes filaires

C'est en 1864, qu'un chercheur écossais nommé James Clerk Maxwell, a conçu quatre équations différentielles portant son nom, qui vont bouleverser les connaissances déjà acquises sur l'électromagnétisme.

Avec ces équations, il prévoit que toute source, constituée par un mouvement alternatif de charges électriques, donne naissance à des ondes électromagnétiques, qui se propagent à la vitesse de la lumière dans toutes les directions

Une onde électromagnétique plane est le résultat de la vibration couplée d'un champ électrique et d'un champ magnétique perpendiculaire l'un à l'autre, et perpendiculaire à la direction de propagation

Suite a cette découverte, plusieurs chercheurs ont conçu des équipements capables de générer les ondes électromagnétiques.

L'expérience d'Heinrich Hertz en 1888 a pour but de produire et à détecter des ondes décimétriques à un doublet électrique formant un éclateur. Cette dernière confirme les postulats de Maxwell.

en 1895, l'ingénieur Russe Alexandre Popov, invente la première antenne pour améliorer encore la réception. Il réussit la première transmission et réception d'ondes hertziennes entre divers bâtiments de l'université de SAINT PETERSBOURG avec des antennes d'émission et de réception verticales pour améliorer la réception. Depuis, les recherches n'ont cessées de s'améliorer. [1]

De nos jours les appareils électroniques font partie de notre quotidien. La plupart de ces appareils utilisent une liaison sans fils. Du domaine des télécommunications (ordinateur, tablettes, téléphones, GPS) en passant par le domaine médical, l'aéronautique, les transports etc., ces systèmes connectés on les retrouve partout. Ils sont équipés d'antenne, qui

représente un élément indispensable pour assurer une opération d'émission et de réception des ondes électromagnétiques dans l'espace. Elles sont présentes dans tous les systèmes de communication sans fils.

La taille de ces antennes peut être élevée pour certaines fréquences d'utilisation. Face à cette problématique des travaux de recherche ont été menées, pour cela des techniques de miniaturisation ont été adaptées pour résoudre les problèmes de dimensions, surface et fréquence de résonance

Pour étudier les problèmes électromagnétiques de rayonnement d'antenne et de propagation, on résout les équations de Maxwell sous leur forme intégral ou différentielle.

La conception d'antenne nécessite une phase de simulation numérique. Pour cela plusieurs logiciels ont été conçus tel que CST, HFSS, etc., qui résolvent les équations de Maxwell, et permettent la simulation et la conception d'antennes. Nous allons utiliser le logiciel CST durant notre travail.

Notre travail est réparti en quatre chapitres. On trouvera en premier les généralités et le principe de fonctionnement des antennes. On commence par donner une définition ainsi que les caractéristiques d'antennes. Comme on citera aussi les différents domaines d'utilisation.

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation du logiciel CST Microwave Studio où nous avons présenté de façon générale le rôle de chaque fonction pour réaliser nos simulations.

Le troisième chapitre est dédié à l'étude d'antenne imprimée, son fonctionnement, sa conception et simulation sur le logiciel CST en passant par son étude paramétrique.

Le quatrième chapitre comprend la miniaturisation d'antenne imprimée. On commence par définir une antenne miniature, on citera ses limites fondamentales. On parlera des techniques de miniaturisation d'antenne imprimée et les résultats de la simulation sous le logiciel CST.

Enfin, on terminera par une conclusion générale.

1.1. Préambule :

Le but de ce chapitre est de faire un état de l'art des antennes en définissant c'est quoi une antenne. En premier lieu on va détailler le principe théorique pour son étude. Ensuite on va parler de ses principales caractéristiques. Et à la fin, on citera les différents domaines de son utilisation.

1.2. Définition d'une antenne :

Une antenne est dispositif qui transforme l'énergie électromagnétique guidée en énergie électromagnétique rayonnée. De façon inverse, la puissance rayonnée peut être captée par une antenne de réception et transforme cette puissance rayonnée en puissance électromagnétique guidée.

Les antennes sont utilisées pour rayonner le champ électromagnétique dans l'espace ou pour le capter. [2]

1.3. Principe théorique pour l'étude des antennes:

1.3.1. Onde électromagnétique:

Les phénomènes électromagnétiques les plus importants pour les technologies modernes, et en particulier pour les télécommunications, sont ceux liées à la génération, propagation et réception d'onde électromagnétique. La vie moderne nous a familiarisés avec les ondes électromagnétiques qui ne sont plus le rayonnement mystérieux qu'Heinrich Hertz observait pour la première fois dans son laboratoire Karlsruhe, Allemagne en 1887 et dont l'existence avait été prédite par James Maxwell dans ses fameuses équations de l'électromagnétisme (1865).

Une onde électromagnétique est la propagation des champs électriques et magnétiques qui varie dans le temps et dans l'espace et à la vitesse de la lumière. Elle est caractérisée par sa longueur d'onde.

Une onde électromagnétique est constituée :

- d'un champ électrique $\vec{E}$.

- d'un champ magnétique $\vec{H}$.
- Orthogonaux et transverses (perpendiculaires à la direction de propagation). [1]

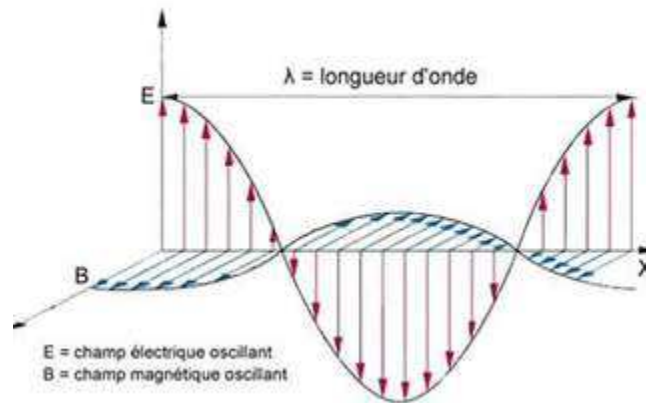


Figure1.1 : onde électromagnétique

1.3.2. Interaction onde/ antenne :

Une onde électromagnétique se propageant dans l'espace peut être produite par :

- Des courants.
- Une ouverture dans un volume où règne un champ électromagnétique. [2]

1.3.3. Equations de maxwell :

Etablies par James Clerk maxwell au siècle dernier (1876), elles sont les lois de l'électromagnétisme classiques considérées comme des postulats. Elles régissent tous les problèmes d'électromagnétisme classiques. Les équations de Maxwell fournissent des relations entre les variations des grandeurs électromagnétiques (E, D, H, B) en tout point M (x, y, z) de l'espace.

Les variations en fonctions du temps s'expriment par les dérivées partielles par rapport au temps.

Les variations en fonction des coordonnées s'expriment par l'intermédiaire des opérateurs différentiels, rotationnels, et divergence.

$$\oint_{(c)} \vec{E} \cdot d\vec{l} = \oint_{(s)} \frac{-\delta \vec{B}}{\delta t} \cdot d\vec{S} \quad \text{Equation de Maxwell - Faraday}$$

$$\oint_{(c)} \vec{H} \cdot d\vec{l} = \iint_{(s)} (\vec{J} + \frac{\delta \vec{D}}{\delta t}) \cdot d\vec{S} \quad \text{Equation de Maxwell - Ampère}$$

$$\oint_{(s)} \vec{D} \cdot d\vec{S} = \iiint_{(\tau)} \rho d\tau \quad \text{Equation de Maxwell - Gauss - électrique}$$

$$\oint_{(s)} \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0 \quad \text{Equation de Maxwell - Gauss - magnétique}$$

Où :

$\vec{E}$	le champ électrique
$\vec{H}$	le champs magnétique
$\vec{D}$	l'induction électrique
$\vec{B}$	l'induction magnétique
$\vec{J}$	la densité de courant
ρ	la densité de charge

- Les équations de Maxwell locales :

C'est -à-dire les équations que doit vérifier le champ électromagnétique en un point M de l'espace à l'instant t :

$$\overrightarrow{rot} \vec{E} = - \frac{\delta \vec{B}}{\delta t} \quad \text{Equation de maxwell - Faraday}$$

$$\text{div } \vec{B} = 0 \quad \text{Equation de maxwell - Gauss- magnétique}$$

$$\overrightarrow{rot} \vec{H} = \vec{j} + \frac{\delta \vec{D}}{\delta t} \quad \text{Equation de maxwell - Ampère}$$

$$\text{div } \vec{D} = \rho \quad \text{Equation de maxwell - Gauss -électrique}$$

$$\text{Avec : } \vec{D} = \epsilon \cdot \vec{E} \quad \text{Et } \vec{B} = \mu \cdot \vec{H} : \text{Relation du milieu}$$

1.3.4. Potentiels électromagnétique

L'antenne représente une source du champ électromagnétique. Dans de nombreux domaines de la physique, reposant sur la résolution d'équations aux dérivées partielles, il est d'usage de passer par des fonctions auxiliaires appelées potentiels. Pour la résolution des équations de Maxwell deux cas apparaissent :

- Potentiel vecteur, appelé aussi potentiel magnétique.
- Potentiel scalaire, appelé aussi potentiel électrique.

La dérivation vectorielle de ces potentiels conduit aux champs électriques et magnétiques [2]

1.3.5. Les différentes zones de rayonnement :

- Zone de Rayleigh (zone proche) :** Les termes inductifs et électrostatiques sont perpendiculaires au voisinage immédiat de l'antenne. Il y'a accumulation d'énergie électrique et magnétique, les champs vectoriels varient peu en fonction de la distance mais ils sont très complexes a analyser.
- Zone de Fresnel :** Cette zone se situe au delà de la zone proche, l'expression du champ dans cette zone est très complexe et le calcul est difficile. C'est une zone qu'on essaie d'éviter au maximum.
- Zone de Fraunhofer (zone au champ lointain) :** Cette zone apparait après la zone de Fresnel qui s'étend jusqu'à l'infini. Dans cette zone, on peut considérer que les ondes sont planes, les champs sont perpendiculaires à la direction de propagation. [3]

1.4. Les principales caractéristiques d'une antenne :

✓ La directivité:

La directivité $D(\theta, \varphi)$ d'une antenne dans une direction (θ, φ) est le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction donnée $P(\theta, \varphi)$ et la puissance que rayonnerait une antenne isotrope[1].

✓ Diagramme de rayonnement

Le diagramme de rayonnement d'une antenne, présente les variations de la puissance rayonnée par l'antenne dans différentes directions de l'espace. Il indique la direction dans l'espace dans laquelle la puissance rayonnée est maximal. . [4]

✓ Le gain :

Il est égale à la puissance rayonnée p_r sur la puissance d'alimentation P_a .

Il dépend de sa directivité, c'est le rapport entre la puissance rayonnante dans le lobe principal et la puissance rayonnée par une antenne de référence. [4]

✓ Polarisation :

La polarisation d'une antenne est la polarisation de l'onde électromagnétique qu'elle émet dans la direction de rayonnement maximum. Elle est la direction du champ électrique [4]

✓ La bande passante :

La bande passante d'une antenne définit la plage de fréquence dans laquelle le coefficient de réflexion est inférieur à un seuil fixé arbitrairement.

On déduit souvent la bande passante à partir de la courbe de son coefficient de réflexion inférieur

à -10 dB

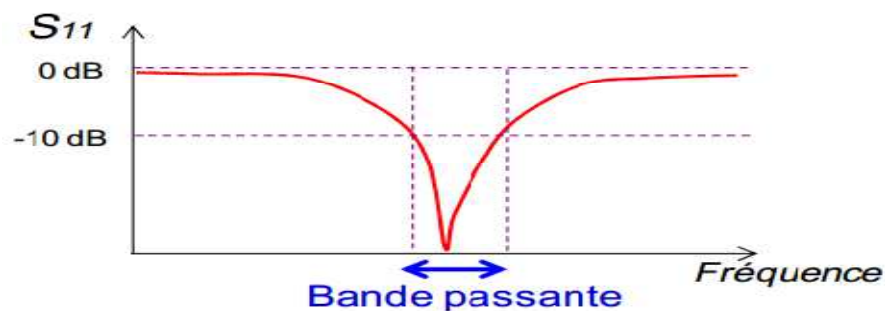


Figure1.2 : illustration de la bande passante à -10dB d'une antenne

Cette figure représente le paramètre d'une antenne en fonction de la fréquence et met en évidence la bande passante à -10 dB.

La fréquence de résonance, correspond à la fréquence pour laquelle l'antenne est la mieux adaptée, c'est-à-dire pour laquelle le coefficient de réflexion est la plus faible. [5]

✓ Coefficient de réflexion :

De manière général lorsqu'une onde incident change de milieu de propagation, une partie de cette onde est réfléchi et l'autre partie est transmise dans l'autre milieu.

Le coefficient de réflexion d'une antenne se définit comme étant le rapport des amplitudes des ondes incidentes sur les ondes réfléchies. [1]

1.5. Différents types d'antennes :

Afin de comprendre comment s'effectue la transformation entre la puissance guidée et la puissance rayonnée, nous allons présenter un certain nombre d'antennes qui sont utilisées dans les télécommunications, Leurs principes de fonctionnement leurs structures sont proposés. Les antennes filaires et les boucles constituent les antennes les plus courantes car les plus simples et les moins onéreuses, leurs performances sont parfois limitées et il est nécessaire de concevoir des éléments rayonnants plus complexes pour obtenir de meilleurs gains et des bandes passantes plus larges.

✓ Antennes filaires :

ce sont des structures basées sur des conducteurs linéiques, de section généralement circulaire ou carré. Comme cette section est faible par rapport à la longueur du conducteur, alors il y'a une distribution linéique des sources des courants lors de l'analyse de ces antennes.

Ces antennes sont généralement les plus familières car elles sont utilisées dans beaucoup d'applications : automobiles, immeubles, bateaux, avion. Elles sont constituées de groupement de conducteurs et peuvent avoir plusieurs formes rectilignes (monopôle, dipôle), cadres (rectangulaire ou circulaire), hélice.

Parmi les antennes rectilignes les plus utilisées, on peut citer le dipôle demi-onde et l'antenne fouet quart d'onde (monopôle) [6].

a) Dipôle demi-onde :

C'est l'antenne filaire la plus ancienne mais toujours utilisée. Elle est constituée de deux brins métalliques alignés sur le même axe et alimentée en son centre. Les deux autres extrémités libres des deux brins sont laissées ouvertes, ce qui permet d'imposer une valeur nulle du courant en ces points. On aboutit ainsi à une répartition de type onde stationnaire avec un maximum de courant à l'entrée du dipôle.

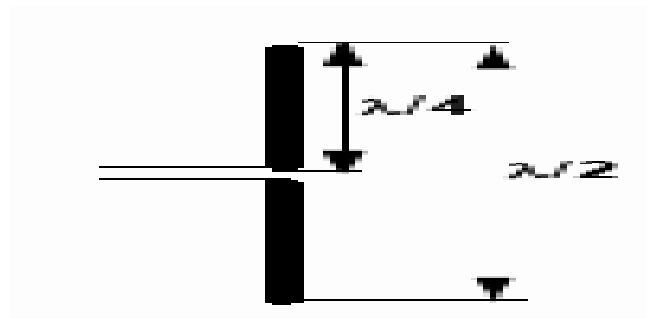


Figure1.3 : Dipôle demi-onde

b) Antenne monopôle ou quart d'onde :

Elle est constituée d'un élément égal au quart de la longueur d'onde perpendiculaire à un plan conducteur. Elle se comporte comme une antenne demi-onde

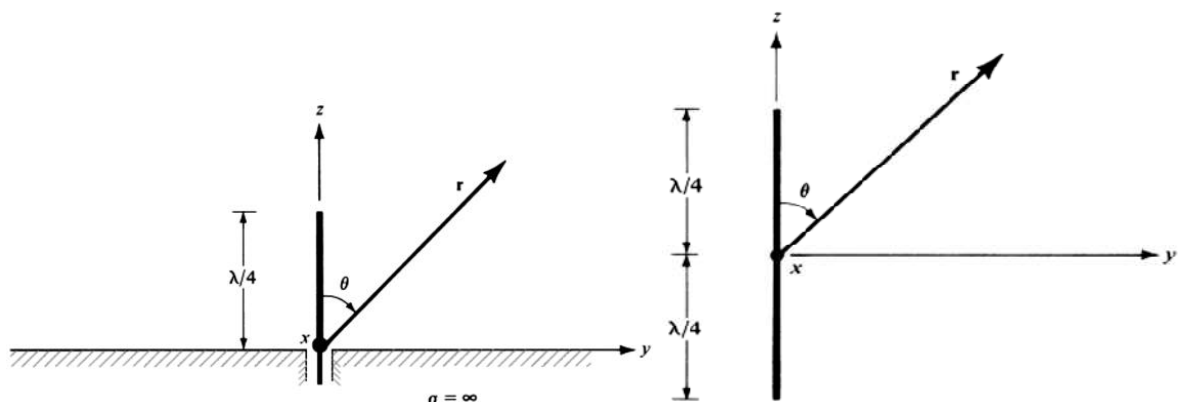


Figure1.4 : Antenne monopôle quart d'onde sur un plan conducteur infini parfait.

c)Antenne boucle :

La boucle magnétique est constituée d'un fil conducteur ayant une forme qui permet le retour du fil sur lui-même. Elle peut être carrée, rectangulaire, circulaire ou en forme de losange. Son rayonnement peut être longitudinal ou transversal. Ce dispositif est très utilisé pour la réception de la radiodiffusion. Sensibles au champ magnétique, les boucles magnétiques sont aussi utilisées pour la détection d'objets métalliques.

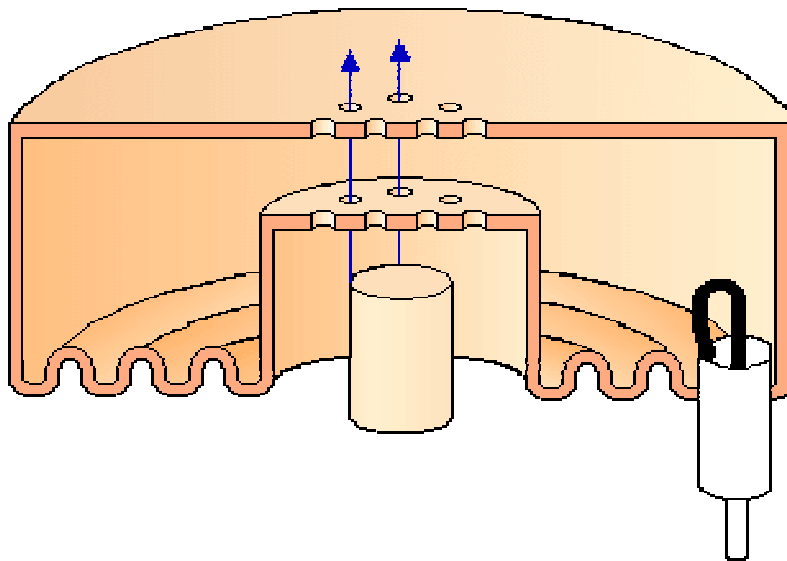


Figure1.5 : Exemple d'une boucle résonante

d) Antenne hélice :

L'antenne hélice peut être assimilée à une association d'une série de doublets électriques et de boucles magnétiques. Son diagramme de rayonnement peut être en mode axial (longitudinal) ou en mode normal (transversal) selon le diamètre du cylindre sur lequel l'hélice est enroulée.



Figure1.6 : antenne hélice.

✓ Antenne à ouverture :

Ces antennes sont constituées d'ouvertures pratiquées sur des structures métalliques. Au niveau de ces ouvertures, les sources d'excitation ne sont plus des courants mais des champs. Elles sont utilisées dans le domaine des hyperfréquences. [6]

→ Antenne cornet :

Sa qualité de transmission est excellente. Sa forme permet de passer graduellement des dimensions du guide d'onde à l'espace libre. L'onde est ainsi naturellement projetée dans l'espace libre.

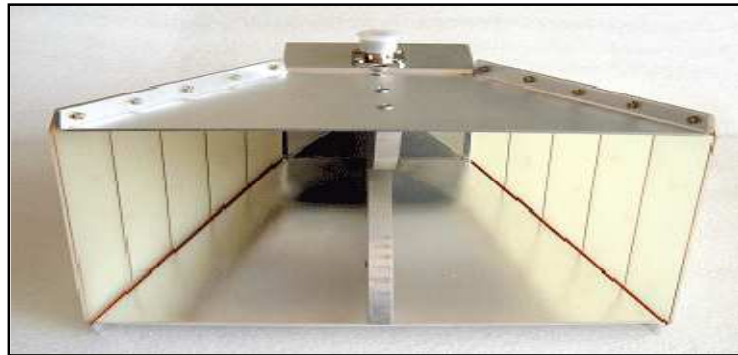


Figure1.7 : Antenne cornet.

✓ Antennes à réflecteurs :

Le besoin de réaliser des liaisons radioélectriques sur de grandes distances et à des fréquences très hautes a conduit à la conception d'antennes unidirectionnelles en plaçant un réflecteur au voisinage de la source rayonnante. Parmi ces antennes, on peut citer l'antenne à réflecteur parabolique et l'antenne dièdre. [6]

a) Antenne à réflecteur parabolique :

L'antenne à réflecteur est constituée de la source d'émission associée à une partie métallique réfléchissante souvent de forme parabolique. Selon la propriété bien connue de la parabole, tous les rayons sont réfléchis parallèlement. Ce type d'antenne est utilisé pour viser dans une direction très précise, puisque tous les rayons passant par le foyer sortent parallèles. Les antennes de ce type sont très répandues pour la réception de la télévision.

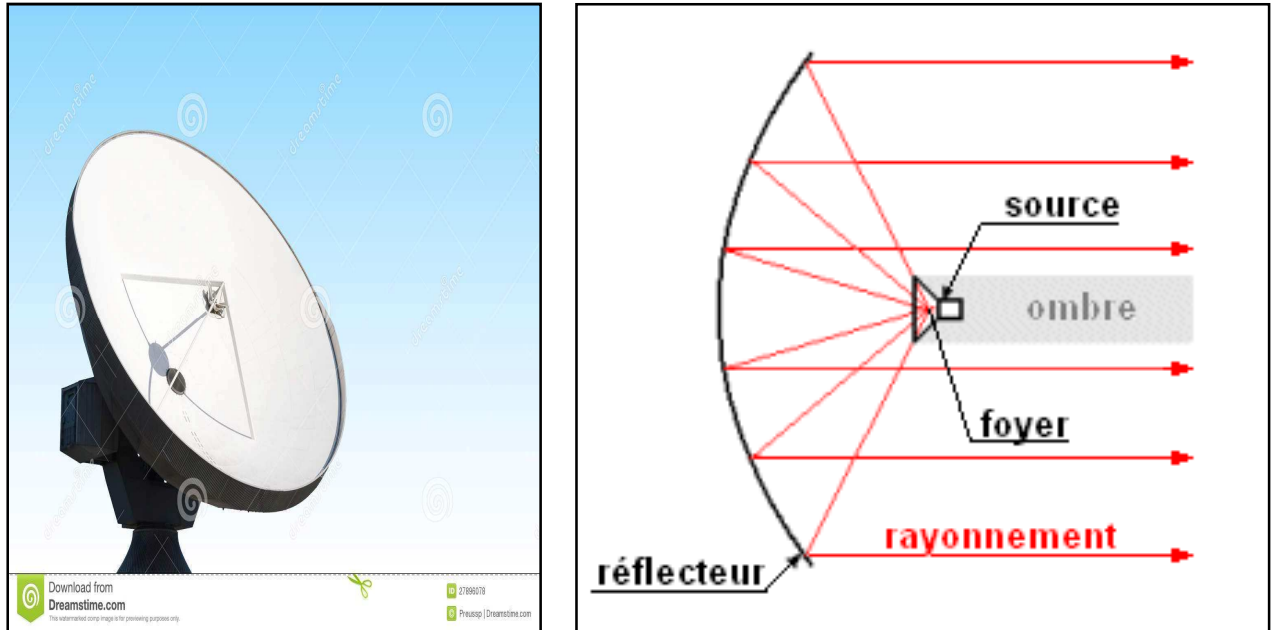


Figure1.8 : Principe de l'antenne à réflecteur parabolique

b) Antennes dièdres :

L'antenne dièdre est constituée d'un dipôle demi-onde placé devant un réflecteur formé de deux écrans identiques formant un dièdre. Suivant les dimensions de ce réflecteur, le gain peut atteindre des valeurs élevées ce qui est très intéressant pour les fréquences les plus élevées particulièrement en gamme UHF.

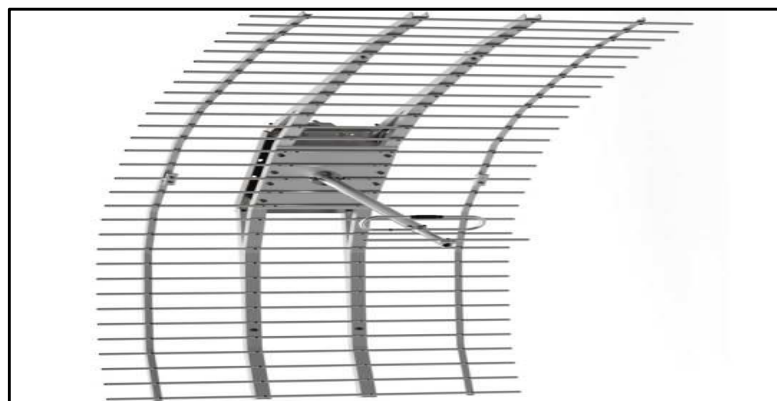


Figure1.9 : Antenne dièdre.

✓ Antennes plaques micro ruban :

Les antennes plaquées micro ruban ont une structure physique dérivée des lignes de transmission micro ruban. On utilise diverses terminologies pour désigner ce type d'antennes : antenne plaquée, antenne imprimée, antenne patch.

L'antenne consiste en une très fine pellicule de métal, un substrat diélectrique et un plan de masse conducteur. Le patch peut avoir une forme quelconque. Toutefois, les géométries les plus utilisées sont : rectangulaires, circulaires, triangulaires, annulaires.

On les trouve dans les émetteurs-récepteurs portables de radiocommunications, dans les récepteurs GPS, etc. [6]

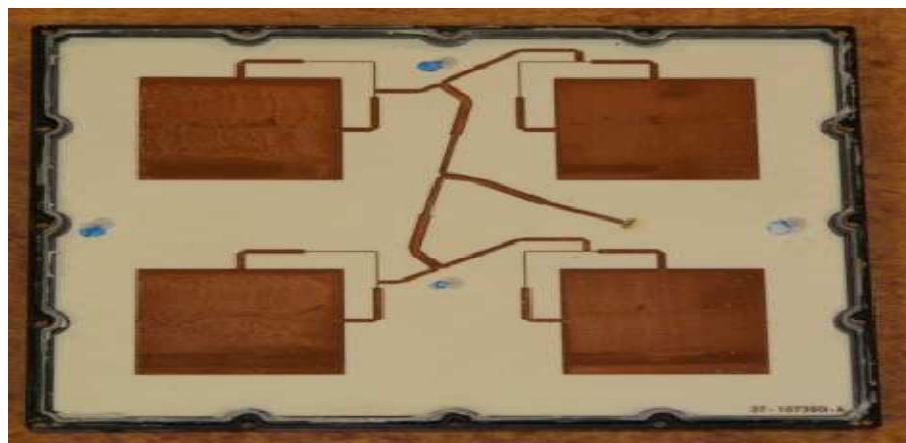


Figure1.10 : Antenne plaquée

✓ Réseau d'antennes :

Certaines applications nécessitent des caractéristiques radioélectriques (directivité par exemple) impossible à obtenir à l'aide d'un seul élément d'antenne. Une association adéquate d'éléments rayonnants (pas nécessairement identiques) permet d'augmenter la directivité dans des directions désirées et de la diminuer dans d'autres. [6]

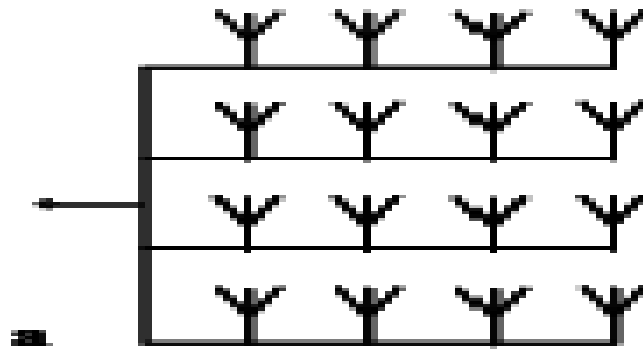


Figure1.11 : principe d'un réseau d'antenne.

✓ **Antennes fractales :**

Un fractal est un objet mathématique servant à décrire des objets de la nature dont les formes découpées laisse apparaitre à des échelles d'observation, de plus en plus fines, des motifs similaires.

Le concept des fromes fractals mis à profit pour la conception d'antennes dont on peut citer les avantages suivants :

L'amélioration de l'adaptation d'impédance pour les antennes électriquement réduits.

La miniaturisation de la taille des antennes résonantes (cadres et rectilignes). [6]

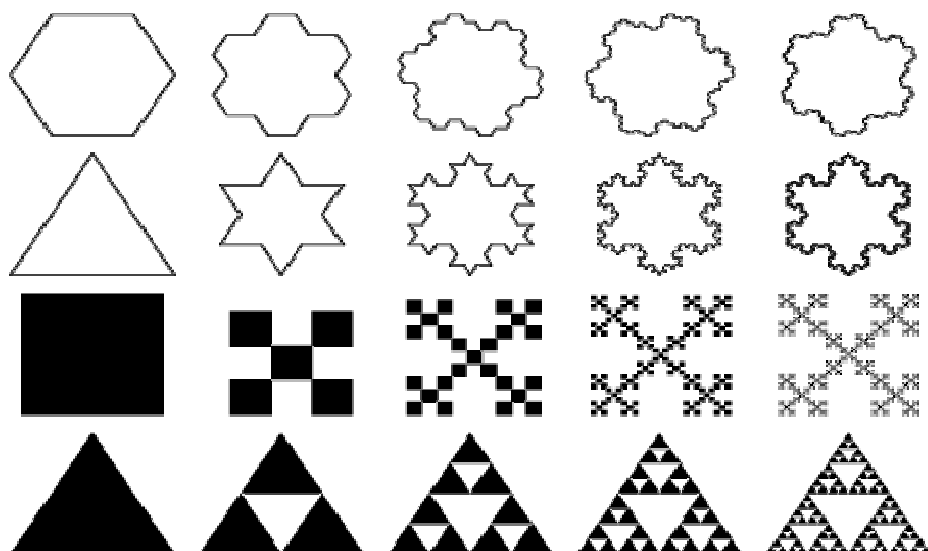


Figure1.12 : Quelques configurations d'antennes fractales.

1.6. Différents domaines d'utilisation des antennes :**1.6.1. Les systèmes de communications :**

Les communications représentent un domaine très vaste dans lequel les systèmes utilisent des antennes de formes variées .Au début des télécommunications, il paraissait extraordinaire de transmettre la voix. On est ensuite passé à la transmission de données. Ensuite, grâce au développement, des technologies sans fil ont permis la transmission d'internet. Pour cela les types d'antennes ont beaucoup évolué dans chaque domaine d'applications. par exemple celui des antennes de terminaux mobiles qui sont passées en très peu de temps d'antennes filaires rectilignes aux antennes patch, en satisfaisant des contraintes comme une diminution de taille et à une esthétique imposée par le marché grand public.

Les antennes n'utilisent qu'une partie du spectre électromagnétique qui est appelé spectre radiofréquence (spectre des fréquences radioélectrique) qui s'étend approximativement de 1KHZ à 300GHZ.

Ce spectre est très étendu, il est utilisé dans de nombreuses applications qui sont différentes en fonction de la fréquence et sont généralement relatives à un domaine de fréquences particulier.

1.6.2. Télévision et radiodiffusion FM :

Les bandes de fréquences utilisées pour la télévision et la radiodiffusion FM occupent une grande partie du spectre VHF et UHF.

Il existe de nombreuses antennes utilisées aussi bien pour la transmission que la réception. Cependant, le respect de certaines caractéristiques et notamment l'adaptation de l'antenne à l'amplificateur est obligatoire pour la conception des antennes utilisées en transmission.

1.6.3. Les radars :

Le radar est une technique de détection et de mesure de position d'objets réfléchissant les ondes électromagnétiques. Les caractéristiques d'antennes radar sont étroitement liées aux capacités de couvertures, c'est-à-dire la capacité à discerner deux cibles proches.

1.6.4. La télédétection :

La télédétection est par définition le domaine qui consiste à détecter à distance. Les applications dans ce domaine sont actuellement très nombreuses. Les différents types d'antennes dont on a parlé sont choisis en fonction de leurs caractéristiques selon les applications visées.

1.6.5. La radioastronomie :

La radioastronomie est le domaine d'observation des corps célestes dans les bandes de fréquences micro-onde et millimétriques.

Les antennes sont souvent composées de deux réflecteurs. Le récepteur se trouve juste derrière le réflecteur primaire qui est percé de façon à laisser passer le rayonnement qui vient se focaliser. Ces antennes peuvent être associées en réseau.

Les qualités d'une antenne pour la radioastronomie sont :

- La sensibilité.
- Son pouvoir de résolution. [2]

1.7. Conclusion :

Nous avons parlé d'une façon générale sur les antennes. Maintenant, on sait bien que les éléments préformant l'antenne sont surtout la bande passante et le rayonnement. Nous avons vu qu'il existe plusieurs types et plusieurs formes de cette dernière. Nous pouvons bien la trouver dans différents domaines et plus essentiellement dans les systèmes de communication vu qu'elle transforme l'énergie guidée en énergie rayonnée. Finalement, les antennes sont la base et la pièce maitresse de la télécommunication.

2.1. Préambule:

Nous allons attribuer ce chapitre à la présentation générale du logiciel CST (Computer Simulation Technology) Microwave Studio dans lequel nous discuterons globalement du rôle de chaque fonction utilisée pour réaliser nos simulations.

2.2. Définition du logiciel CST STUDIO SUITE :

En 1992, la société allemande CST STUDIO a été fondée. Après de nombreuses recherches, la première version de CST Microwave studio fut apparue en 1998. Cette dernière a pour but la conception magnétique. Elle permet l'analyse rapide et précise des dispositifs à haute fréquence tel que : les antennes, les filtres ...etc.

CST Microwave studio est un outil spécialisé pour la simulation en 3D des composants à haute fréquence basé sur la résolution des équations de MAXWELL suivant la technique des intégrales finies (FIT, Finit Integration Technique).

Comme tous les simulateurs 3D, l'avantage de cet outil est la possibilité de traiter toutes sortes de structures homogènes quelle que soit la technologie utilisée. [7]

2.3. Description générale du logiciel :

Après avoir lancé notre logiciel, l'interface ci-dessus apparaît pour créer un nouveau projet :

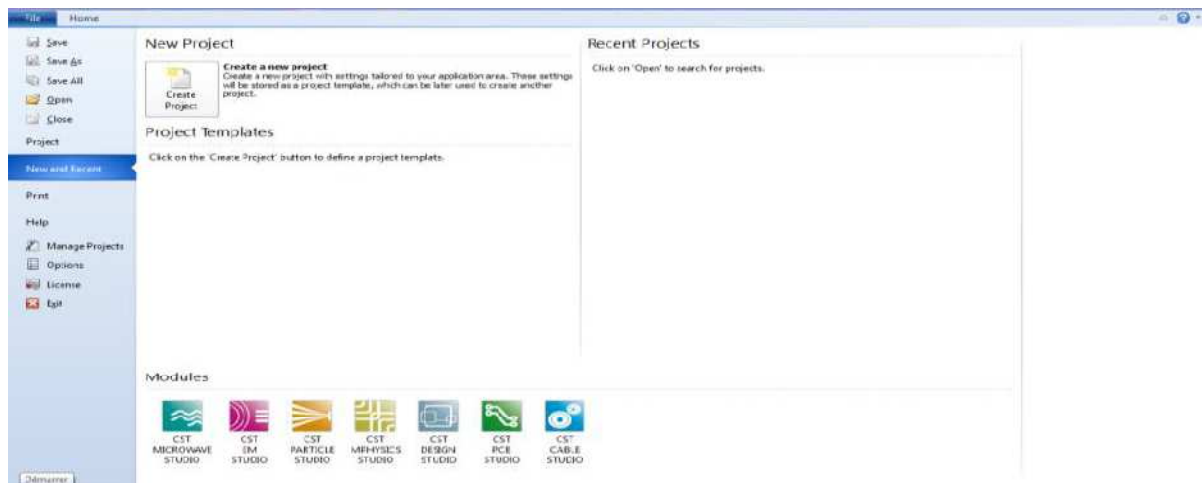


Figure 2.1 : Création d'un nouveau projet

Créer un projet :

On clique sur l'icône 'create project' et on choisit le type de simulation qu'on souhaite réaliser.

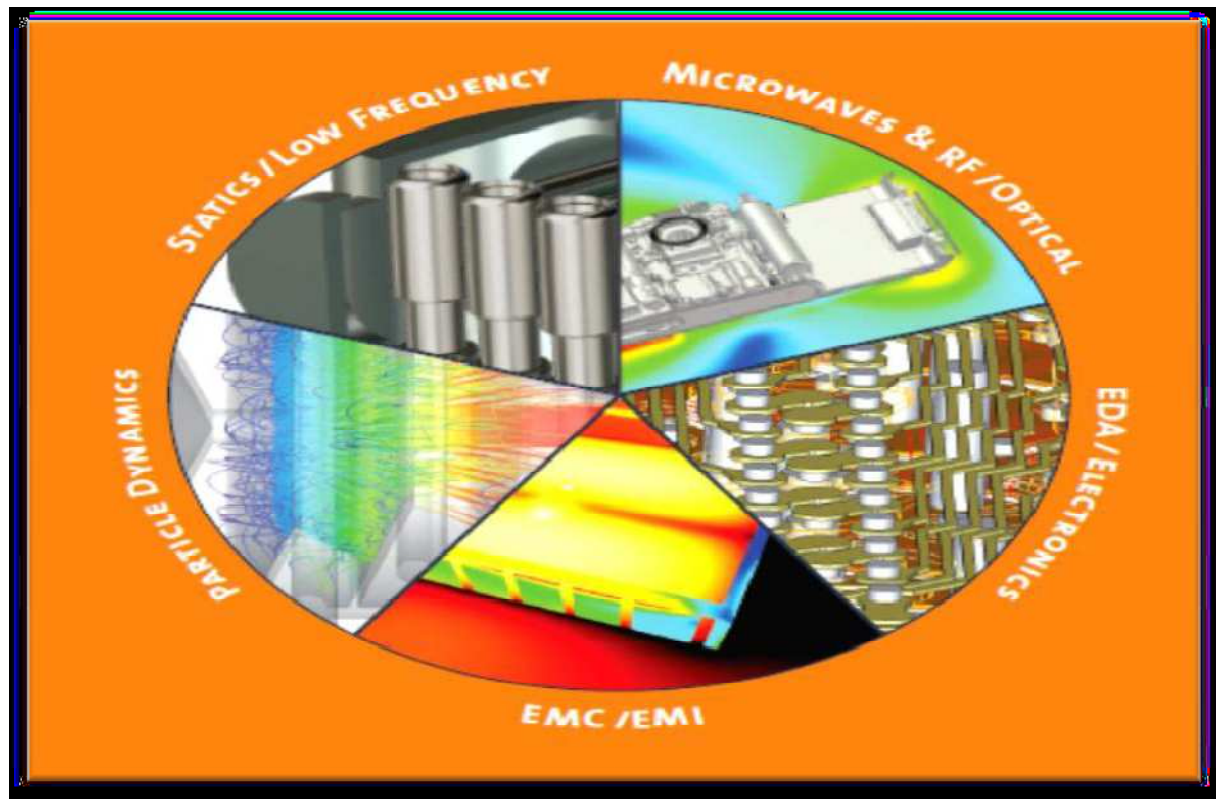
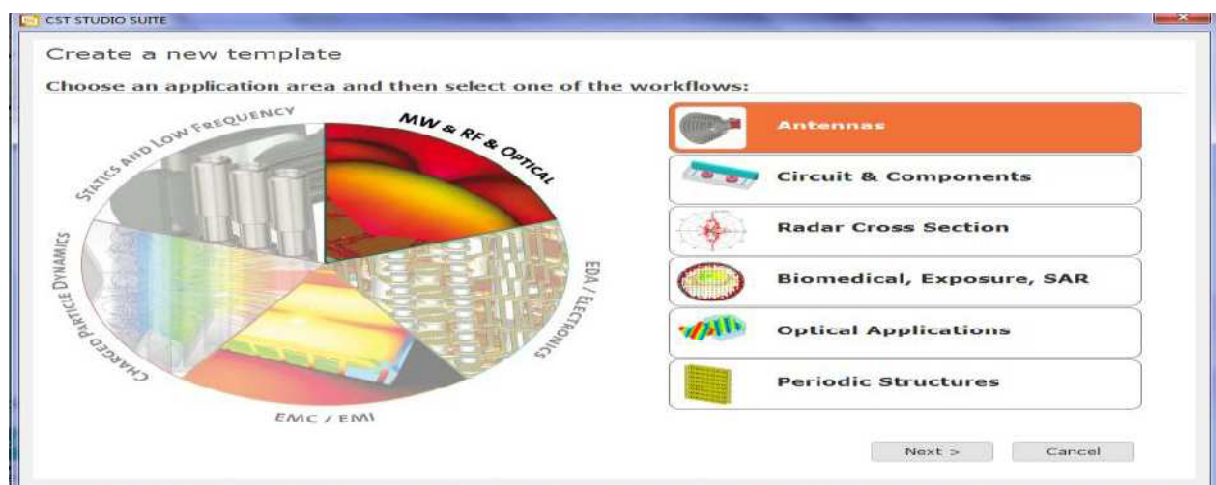


Figure2.2 : Choix du type de simulation

On clique sur MW & RF & OPTICAL puis sur 'antennas'



Figur2.3 : Choix de la zone de simulation

Une fois cliqué sur « NEXT », on choisit le modèle de la structure qu'on veut réaliser

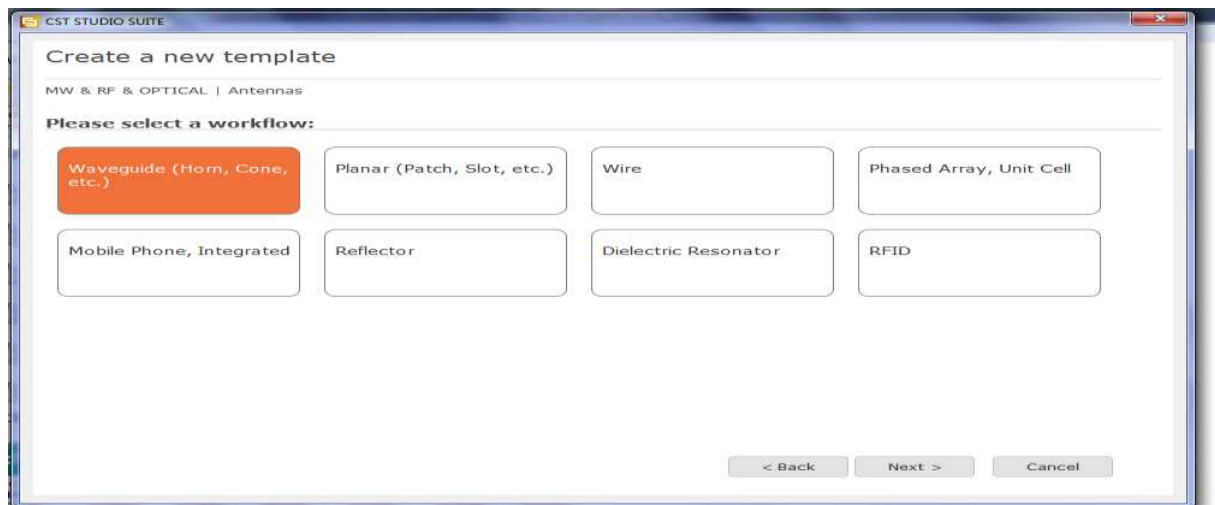


Figure2.4 : Choix du type d'antenne.

On sélectionne le type de simulation (pour nous ce sera Time Domain)

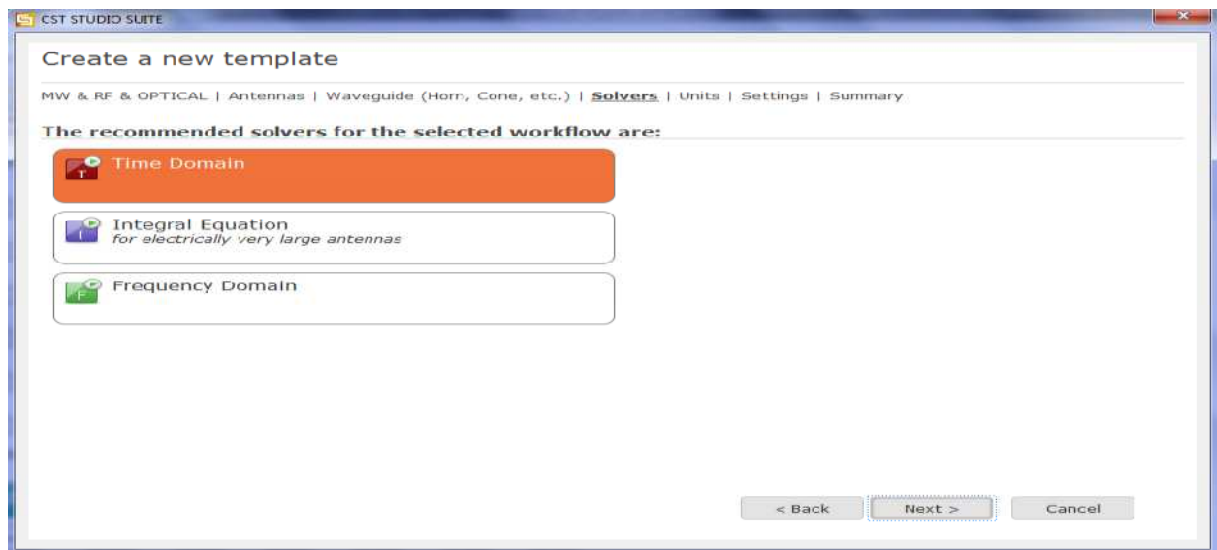


Figure2.5 : Choix du type de simulation

Après avoir sélectionné le Time Domain, on doit effectuer les unités de fréquences à utiliser

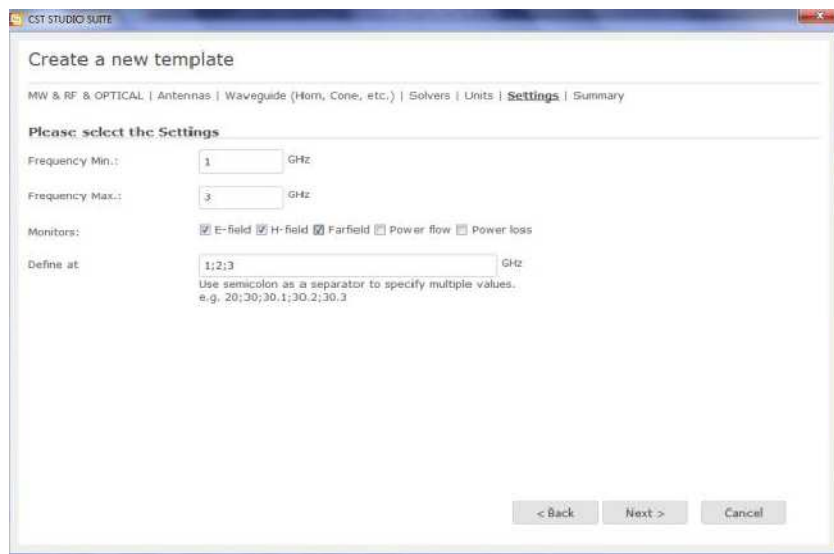


Figure2.6 : Choix des unités de fréquence

En fin, la fenêtre suivante apparaît et on clique sur 'Finish' pour terminer la création du nouveau projet.

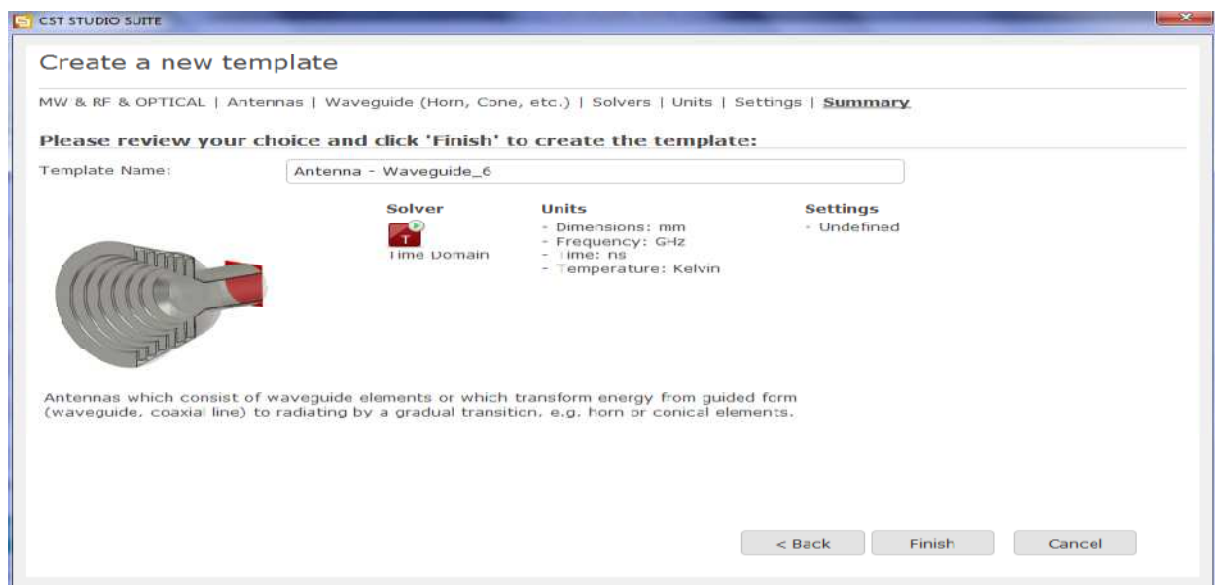


Figure2.7 : Fin de la création de nouveau projet

2.4. Description générale de l'interface CST :

Une fois le projet est crée, on accède à l'interface d'utilisateur du CST

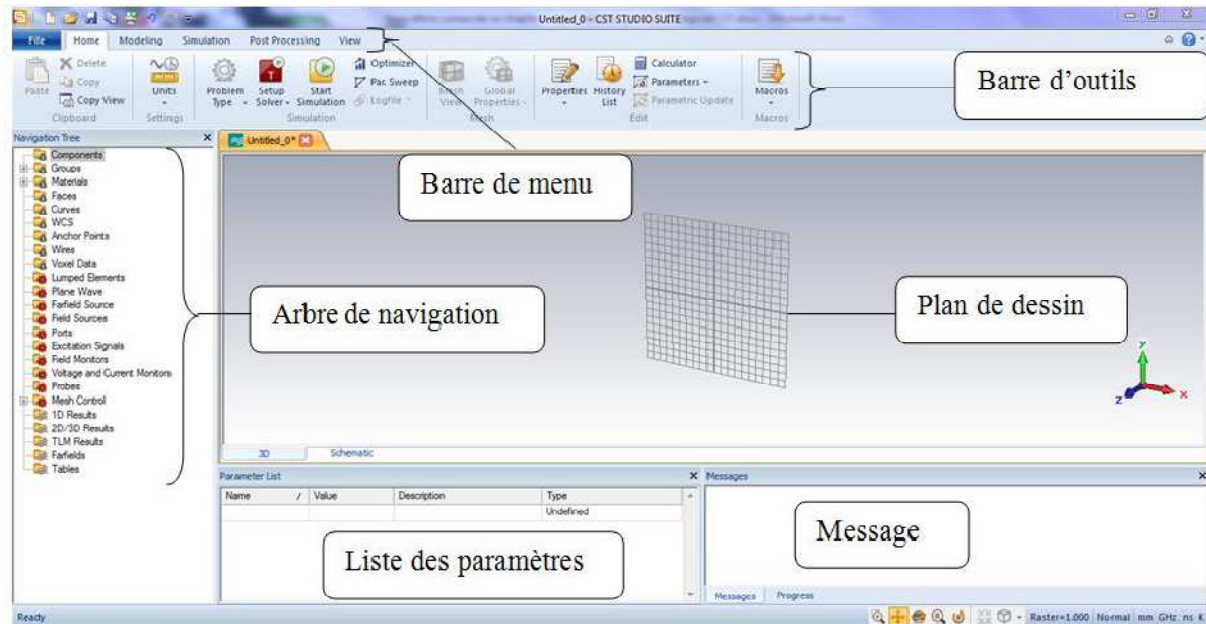


Figure2.8 : Interface du CST

- A l'entête de l'interface, on trouve la barre d'outils qui est un ensemble de raccourcis de la barre de menu.
- A gauche de l'interface, nous avons l'arbre de navigation d'où on peut accéder aux éléments structuraux et aux résultats de simulation.
- Au corps de l'interface se trouve le plan de travail sur lequel la structure est en 3D.
- Au pied de l'interface, nous avons :
 - ✓ la liste des paramètres d'où on trouve les variables utilisées pendant la simulation
 - ✓ le message qui informe si chaque étape est simulée avec succès. Dans le cas contraire, un message d'erreur apparaît.

2.5. Les différentes formes géométriques :

On a les formes de bases :



Par exemple, pour la création d'un cylindre, on clique sur 'Cylinder'  dans la barre d'outils et une fenêtre de dialogue s'affiche pour spécifier les coordonnées de l'objet à créer :

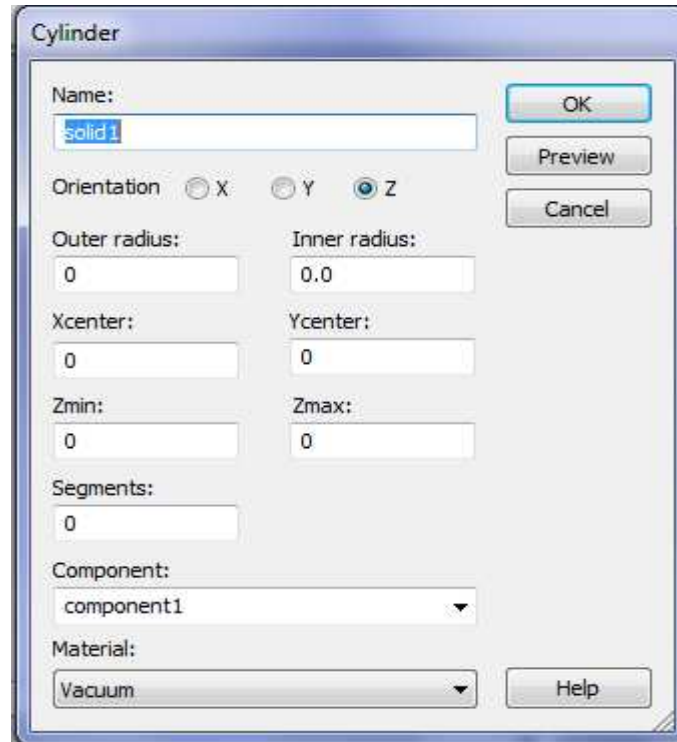


Figure 2.9 : fenêtre de dialogue

On a le nom par défaut : « SOLIDE1 » qu'on peut renommer, ainsi que le matériel à choisir dans la librairie par exemple : PEC, VACCUM...etc., puis on clique sur « OK ».

Après avoir créé cet objet, il est automatiquement catalogué dans l'arbre de navigation. On peut trouver toutes les formes créées dans le dossier « components ». Lorsqu'on sélectionne une forme sur la rubrique correspondante dans l'arbre de navigation, elle sera affichée opaque tandis que les autres seront transparentes.

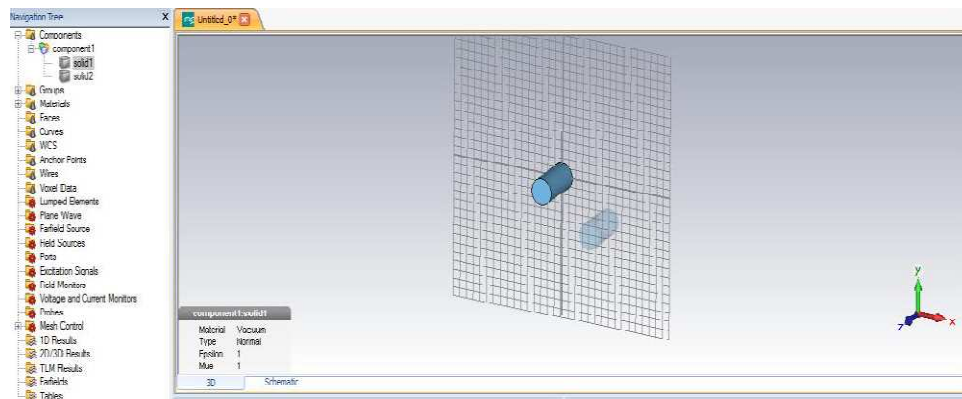


Figure2.10 : Sélectionner une forme.

Une fois que notre forme est créée, on peut changer la vue a tout moment à l'aide de quelques simples commandes comme expliqué ci-dessus :



Figure2.11 : outils d'observation.

- Zoom : dans ce, un rectangle de zoom peut être défini en faisant glisser la souris. Après qu'on relâche le bouton gauche de la souris, le facteur de zoom et l'emplacement de la vue sera mise à jour de sorte que le rectangle remplit l'écran.
- Pan : la structure sera déplacée dans le plan de l'écran suivant le mouvement du curseur de la souris.
- Rotate : c'est la rotation de la structure autour des axes.
- Dynamic Zoom : en déplaçant la souris vers le haut, le facteur de zoom sera diminué, tandis qu'en la déplaçant vers le bas, le facteur de zoom sera augmenté.
- Rotate in plane : la structure sera tournée dans le plan de l'écran.
- Reset View : réinitialiser le facteur de zoom.



- Axe : cette option spécifie si le système de coordonnées s'affiche ou non.
- 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 : c'est la spécification de la présence ou non du plan de dessin.
- **Les transformations géométriques :**

Cette section concerne l'application de transformations géométriques du modèle.

On ouvre la boîte de dialogue de transformation en sélectionnant la commande qui se trouve dans la barre de menu en cliquant que sur 'Modeling' et une boîte de dialogue apparait sur laquelle on choisit la transformation souhaitée.

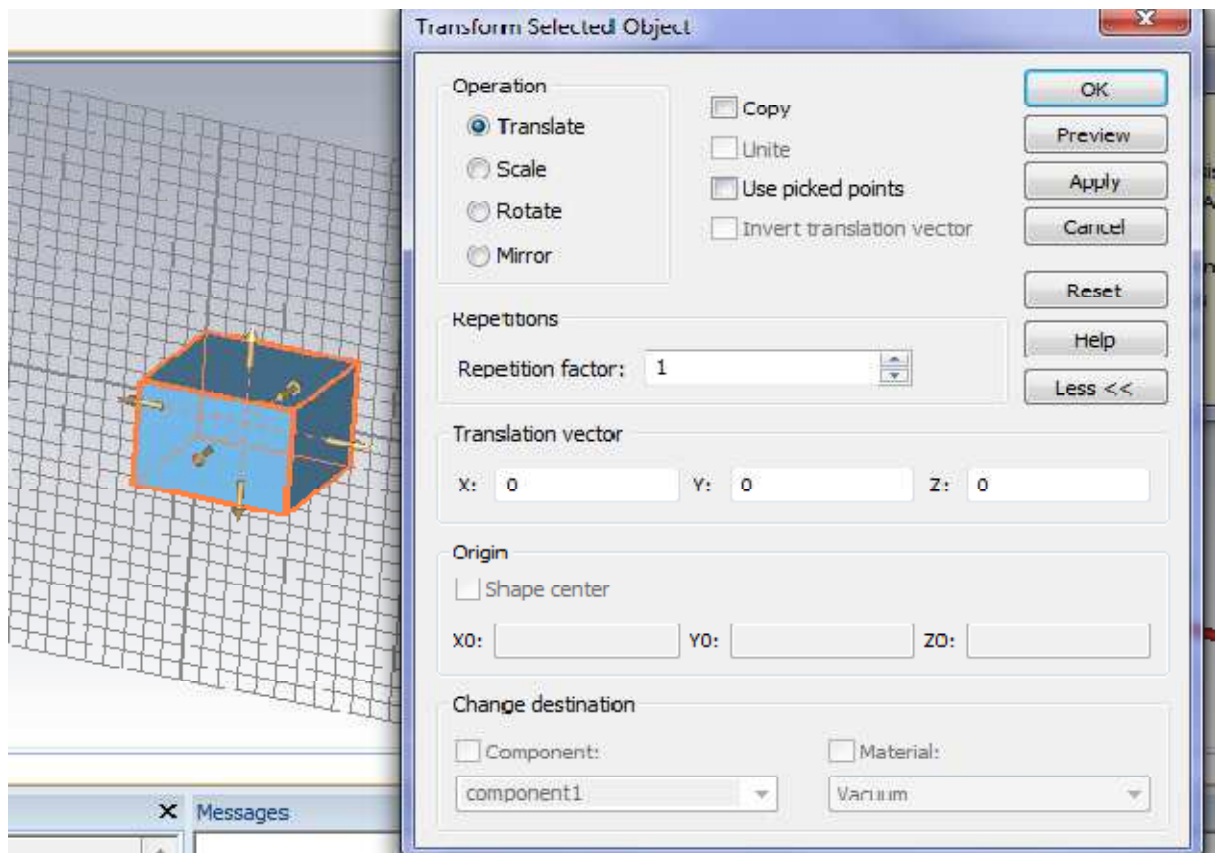


Figure2.12 : outils de transformations géométriques

Donc on a quatre types de transformation :

- Translate : cette transformation applique une translation de vecteur à la forme sélectionnée.
- Scale : c'est la spécification d'échelle pour chaque forme.
- Rotate : c'est la rotation de la forme autour d'un axe d'un angle fixe.
- Mirror : il fixe l'image d'un objet autour d'un plan et crée son double.

Pour tous ces types de transformations, on peut spécifier si la forme originale doit être maintenue avec l'option 'copy' ou supprimée. On peut aussi spécifier le nombre de fois où la transformation sera appliquée à la forme (facteur de répétition).

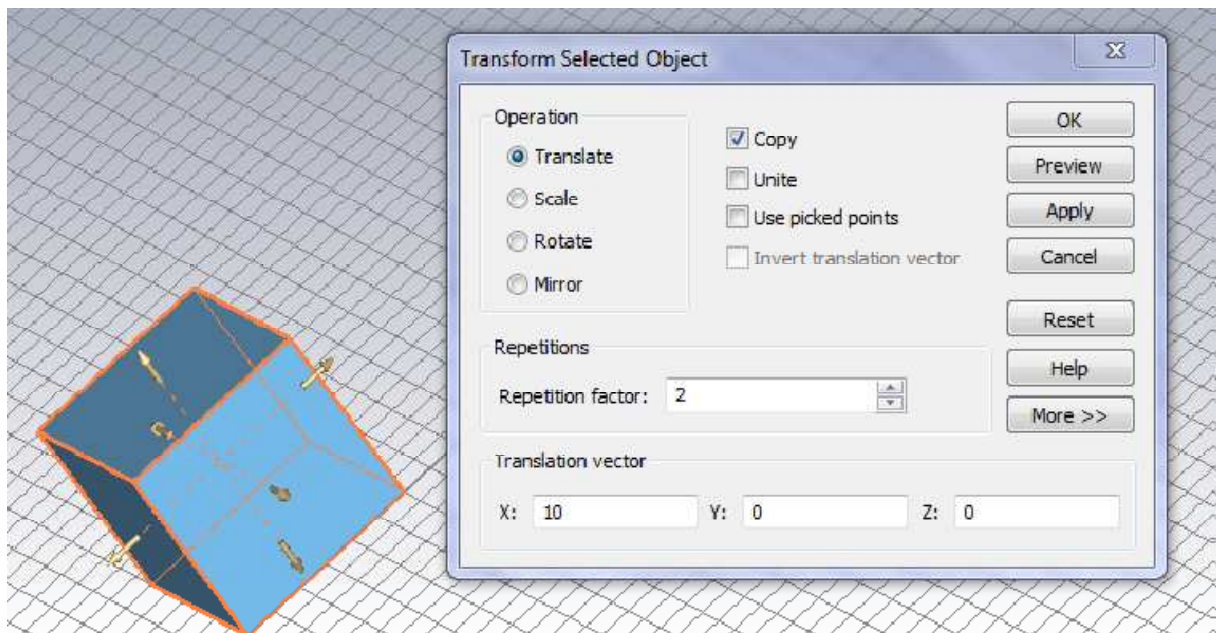
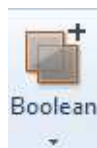


Figure2.13 : exemple d'une translation de 10 selon l'axe X d'une brique avec un facteur de répétition de 2 et avec une conservation de la brique d'origine.

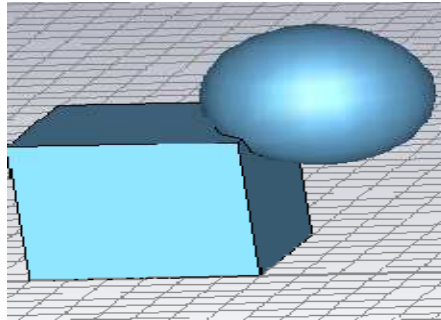
- **Combinaison des formes par les opérations booléennes :**



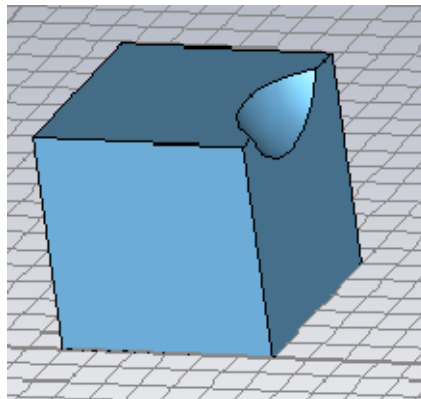
Ces opérations nous permettent d'ajouter des formes ensemble, à soustraire une ou plusieurs formes d'une autre, insérer des formes dans d'autres et à l'intersection entre deux ou plusieurs formes.

Pour y accéder on procède comme suit : barre d'outils »Modeling »Add/ substratct...etc.

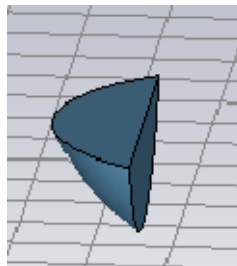
- ✓ L'addition(Add) : additionner les deux formes ensembles pour obtenir une autre forme. La forme obtenue aura les caractéristiques de la première forme sélectionnée.



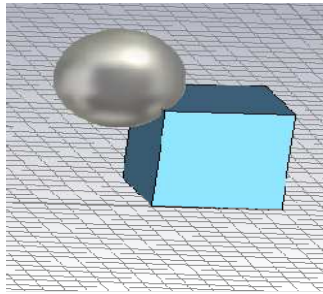
- ✓ La soustraction (subtract) : soustraire la première forme de la deuxième, va permettre d'obtenir une forme unique. la forme finale aura les paramètres et les matériaux de la forme a partir de laquelle l'autre forme est soustraite.



- ✓ L'intersection (intersect) : c'est l'intersection de deux formes pour former une seule forme, celle obtenue aura les mêmes caractéristiques de la première forme de cette opération.



- ✓ L'insertion (insert) : les deux formes seront conservées avec leurs matériaux



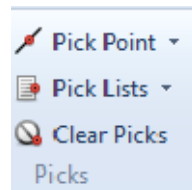
- **Sélectionner un point, une face, un coté... :**

De nombreuses étapes de construction exigent la sélection d'un point, d'une face, ou d'un coté...etc.

Pour chacune des opérations « pick », on doit d'abord sélectionner l'outil de sélection



approprié à partir du menu : 'Modeling » Picks »' ou bien à partir de la barre d'outil de sélection.



Dans la liste qui suit, on trouve 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 point (M) : on double clique sur un bord, et le point milieu de ce dernier sera sélectionné.
- ✓ Pick circle center (C) : on double clique sur un bord circulaire, et 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 center (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 face (F) : on double clique sur une face du modèle pour le sélectionner

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

‘Modeling »clear pick (D)’.

- **Opérations Extrude, Rotate, et Loft Face :**

- ✓ Extrude :

Nous allons créer un cylindre puis on va sélectionner une face.

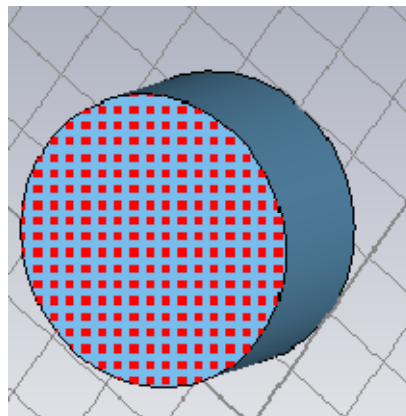


Figure 2.14 : sélectionner une face de cylindre

On peut appliquer l’outil ‘Extrude’ à cette face en sélectionnant ‘Modeling »Extrude ‘. Lorsqu’une face est sélectionnée avant que cet outil est activé, la commande ‘Extrude’ se réfère à la face sélectionnée, et une boîte de dialogue apparait comme suit :

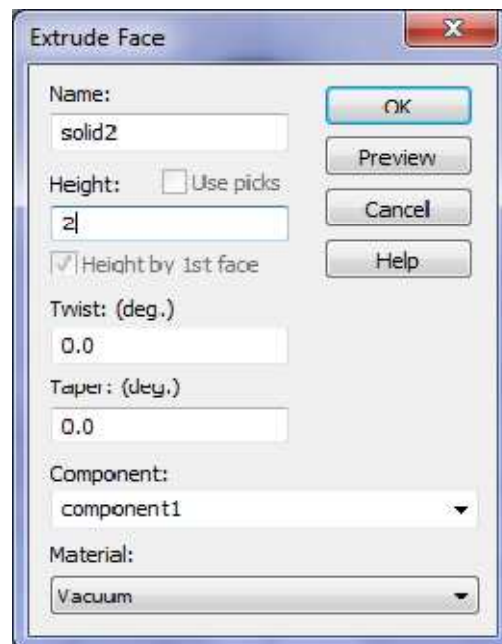


Figure 2.15 : dialogue d'extrude d'une face

On doit entrer une hauteur et on clique sur 'OK'. Le modèle doit se présenter comme suit :

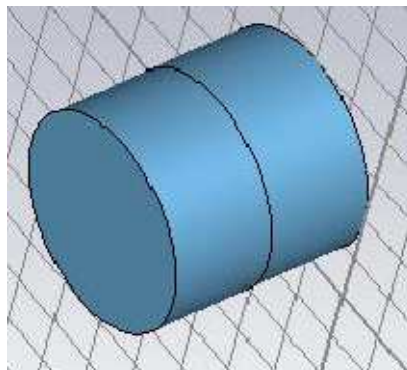


Figure2.16 : création d'une deuxième forme de la face sélectionnée par l'outil Extrude

✓ **Rotate :**

On commence avec la même géométrie de base comme suit :

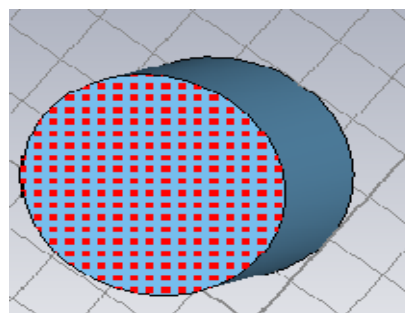


Figure 2.17 : sélectionner une face du cylindre

On doit spécifier le bord de la manière suivante :

‘Modeling »Pick »Edge from coordinates’. Ensuite on choisit deux points sur le plan de dessin pour définir le bord.

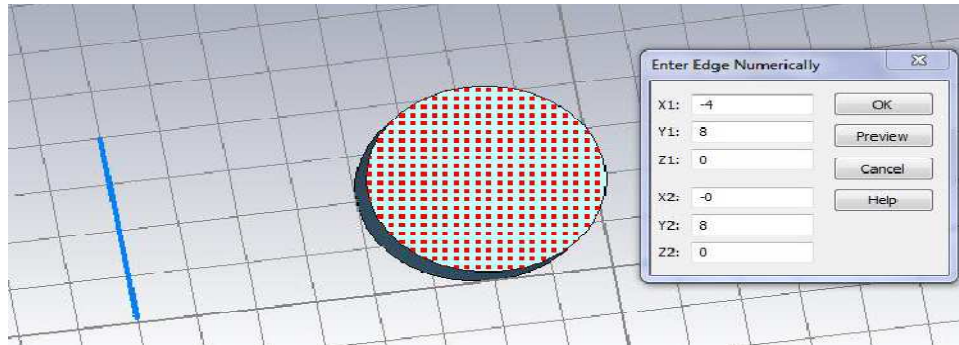


Figure 2.18 : spécification des bords

Dans la boîte de dialogue, on clique sur ‘OK. Puis on sélectionne ‘Modeling »Rotate’ et la boîte de dialogue de l’outil de rotation s’ouvre. Dans cette dernière, on peut spécifier un angle (90 degré par exemple) et on clique sur ‘OK’.

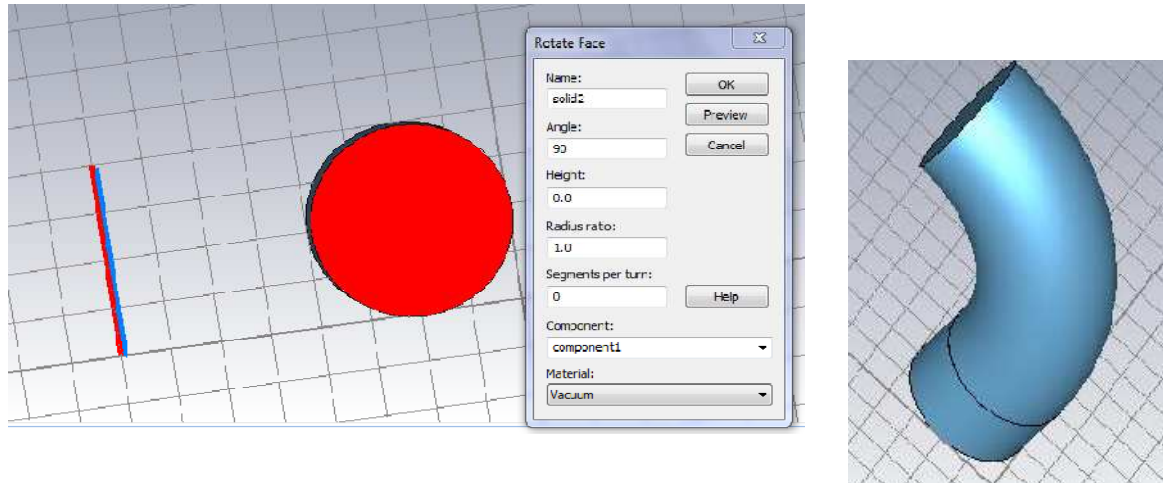


Figure2.19 : la forme obtenue après l’utilisation de la commande ‘ Rotate’

✓ Loft :

Cette commande consiste à produire des lofts entre les faces sélectionnées. La figure ci-dessus nous montre la création de deux briques :

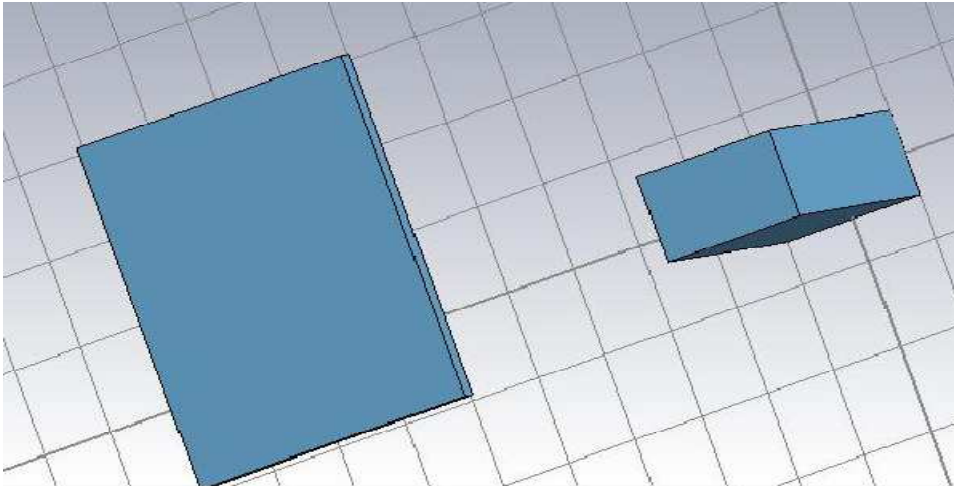


Figure2.20 : la création de deux briques

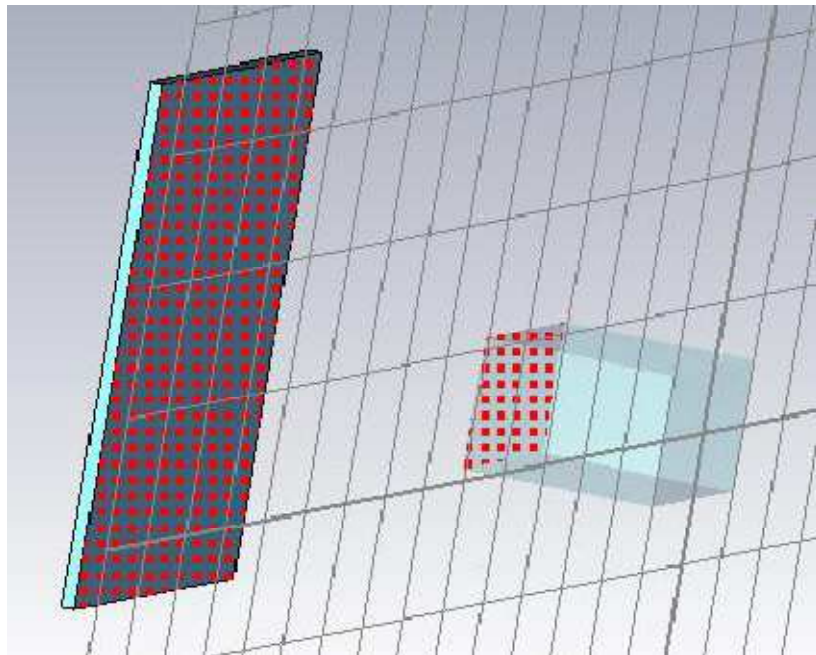


Figure2.21 : sélectionner les deux faces internes des deux briques

Dans le menu 'Modeling', on sélectionne l'icône  puis on choisit 'Loft'. Ensuite, une boîte de dialogue apparaît dont on peut régler la douceur du grenier à une valeur raisonnable en trainant le curseur du grenier jusqu'à obtention de la forme désirée puis on clique sur 'OK'.

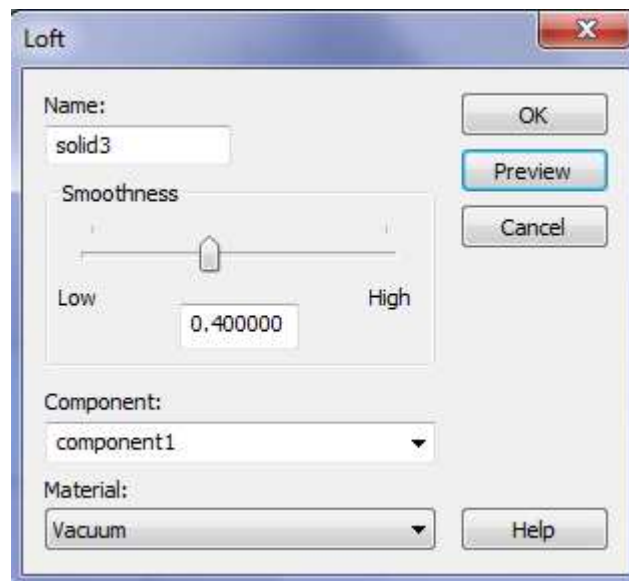


Figure2.22 : dialogue de réglage de la douceur du Loft

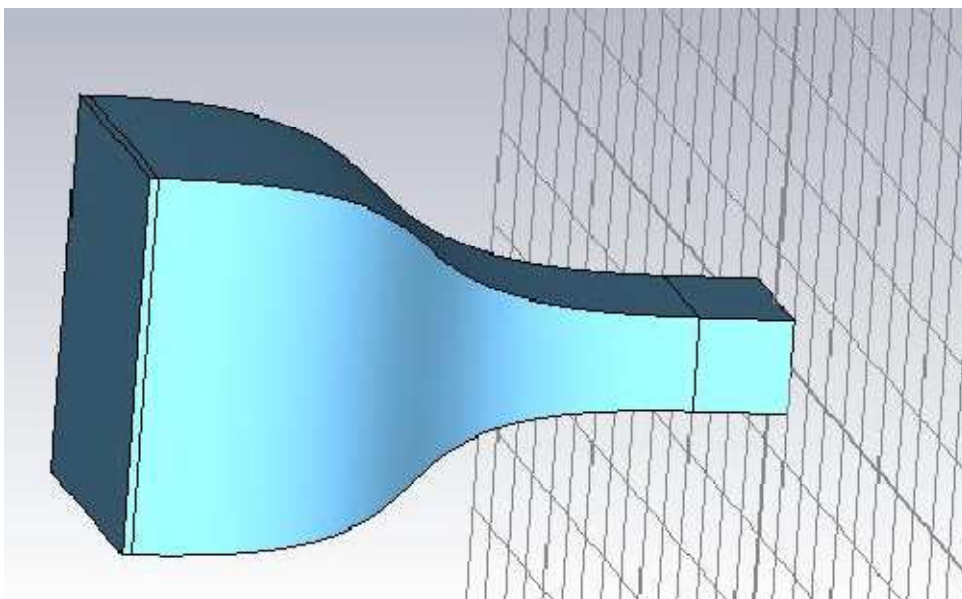


Figure2.23 : la structure obtenue après l'application de la commande 'Loft' sur les deux briques.

- **Creuser une structure :**

Si on désire vider la structure précédente, on a qu'à sélectionner les deux faces opposées de notre structure :

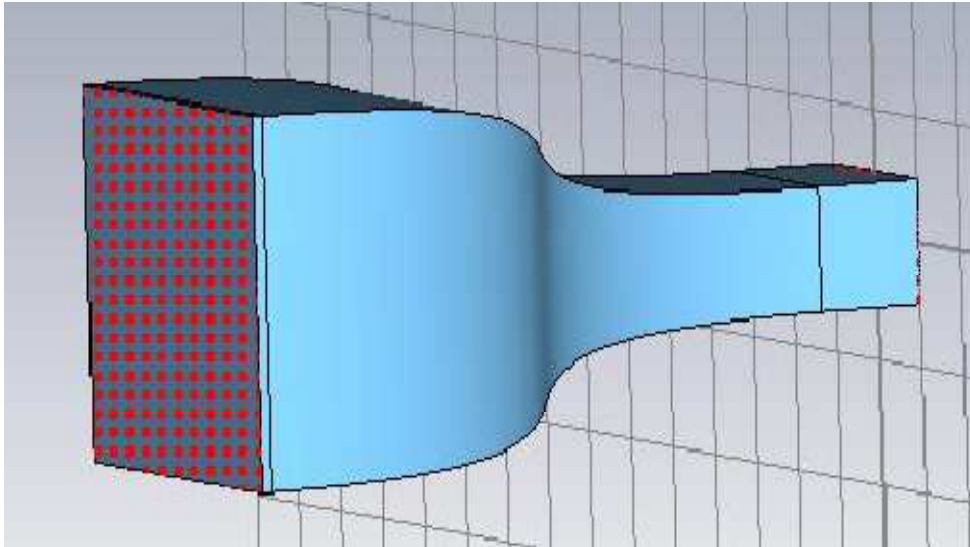


Figure2.24 : sélectionner les deux faces externes de deux briques.

Ensuite, on sélectionne notre structure dans le répertoire 'Components', et dans le menu 'Modeling', dans la partie 'Tools', on clique sur  et on choisit 'Shell Solid or Thicken Sheet' et la fenêtre ci-dessus apparaît :



Figure2.25 : définition de l'épaisseur de la matière restante à l'intérieur ou à l'extérieur de la structure pleine.

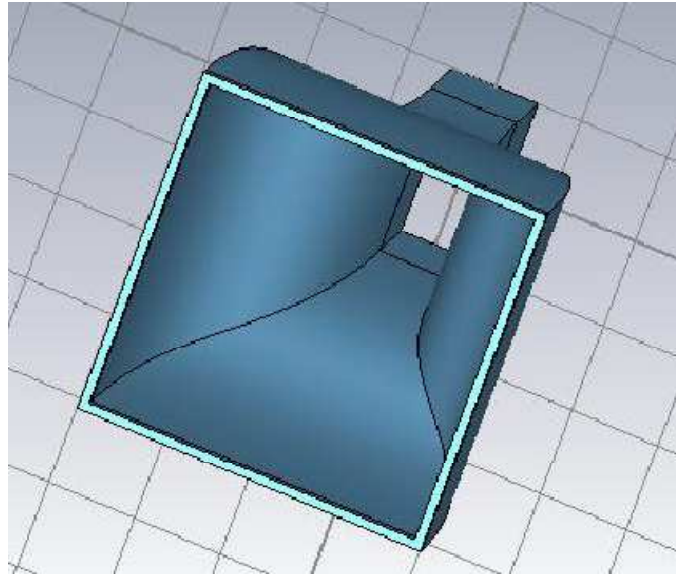


Figure2.26 : structure creusée obtenue

- **Système de coordonnées locales WCS :**

Il se compose de trois axes u, v, et w. il permet la définition facile de la forme lorsqu'elle n'est pas alignée dans le système de coordonnées globales lui ajoutant de la flexibilité.

On peut activer le système de coordonnées locales à partir du menu WCS »local coordinate system, ou bien à partir de la barre d'outil 'Working Coordinate System (WCS)' se trouvant



dans le menu 'Modeling'.

- ✓ Création d'une forme alignée avec les axes d'un système de coordonnées globales :

On décrit l'orientation de ce système de la manière suivante :

Après avoir sélectionné un point, une arête, ou une face (Pick point, Pick edges, or face) du modèle, on va aligner le WCS avec ces éléments sélectionnés : 'WCS »Aligne WCS(W)'.

- ✓ Lorsqu'on sélectionne un point, l'origine du système de coordonnées local se déplace vers ce point ci.
- ✓ Lorsqu'on sélectionne trois points, l'origine du WCS se déplace vers le premier point sélectionné.
- ✓ Lorsqu'un bord est sélectionné, l'axe 'u' du WCS peut être orienté de telle sorte qu'il devient parallèle à l'arête sélectionnée.

- ✓ Lorsqu'une face est sélectionnée, le plan 'u' et 'v' de WCS peut être aligné.

WCS »Define Local Coordinate : dans cette boîte de dialogue, on peut entrer l'origine et orienter directement les axes.

WCS »Trsansform Local Coordiante »Move Local Coordiante : dans cette boîte de dialogue, on peut traduire l'origine du système de coordonnées local en spécifiant le vecteur de translation.

WCS »Trnasform Local Coordinate »Rotate Local Coordiante : dans cette boîte de dialogue, on pivote le système de coordonnées locale autour de ses axes par un angle de rotation spécifié.

- **La liste historique (the History liste) :**

Une fois qu'une structure géométrique est créée, nous pouvons corriger les erreurs effectuées lors de la génération de cette dernière, comme nous pouvons ainsi revenir à une étape pour modifier, supprimer, ou insérer d'autres opérations et tous cela en utilisant simplement la



commande correspondante « History liste » .

- **L'arbre historique :**

L'arbre historique est un autre outil utilisé pour éditer un objet déjà existant. Supposons qu'on souhaite modifier la longueur d'une brique. Une façon de faire ce serait d'ouvrir « History liste » et modifier l'étape ou la brique a été créée. Cependant, on peut également sélectionner la forme correspondante dans l'arbre de navigation dans le menu 'Components', une boîte de dialogue (History Tree) s'ouvrira, montrant l'historique de construction de la forme sélectionnée.

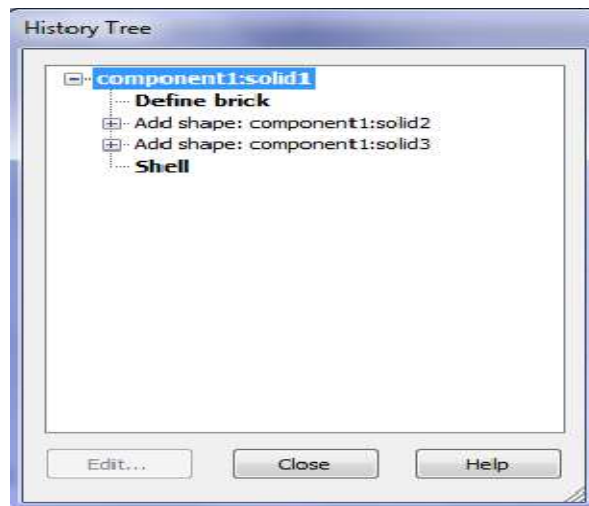


Figure2.27 : interface de l'arbre historique

On clique sur « Define brick », une fenêtre de dialogue apparaît montrant tous les paramètres de la brique, on modifie la longueur de la brique et pour obtenir un aperçu de la façon dont le changement influence le modèle, on clique sur « Preview » et si on est satisfait du résultat on clique sur 'OK'.

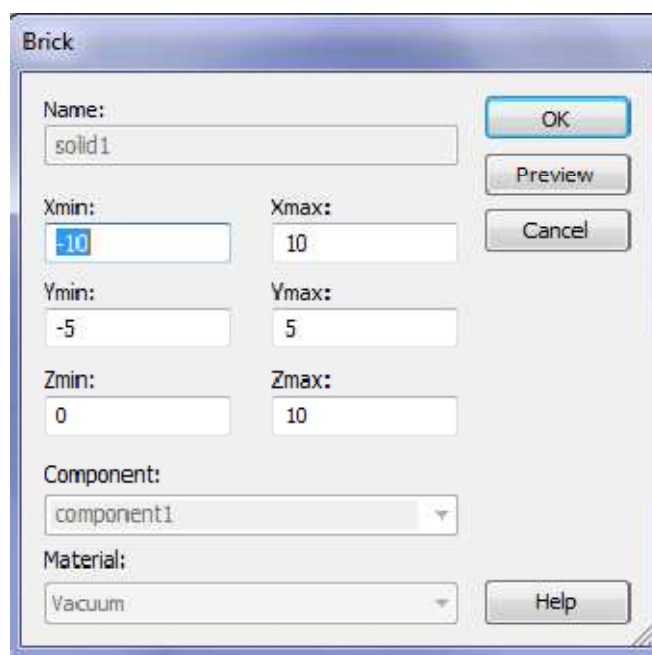


Figure2.28 : Modification de la longueur de la brique.

✓ Création de courbe (curve) :

Pour créer un élément de la courbe, par exemple un rectangle, on clique sur 'curve »rectangle'.



On clique sur 'ESC', une boîte de dialogue apparaît pour spécifier les coordonnées du rectangle.

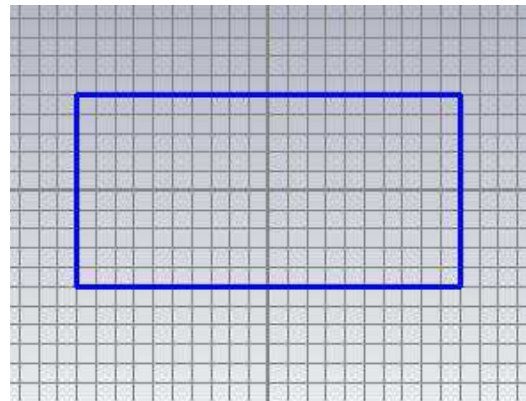
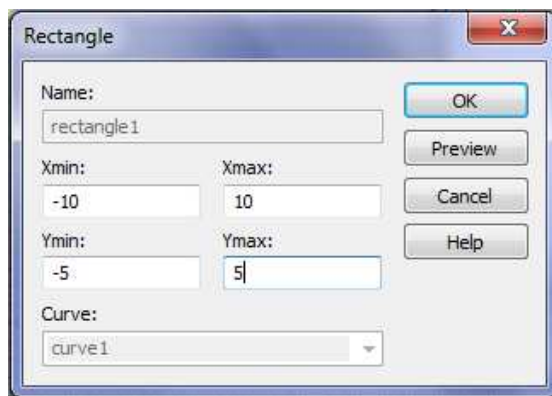


Figure2.29 : génération d'un rectangle basé sur les courbes.

Ensuite, on crée un cercle sur le plan du dessin qui recouvre l'un des bords du rectangle en cliquant sur 'Curve »Circle'.

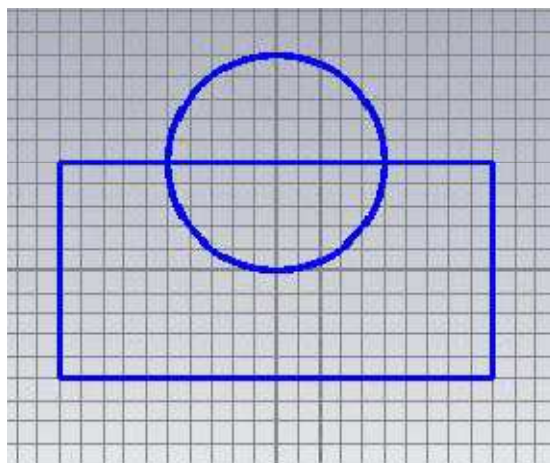
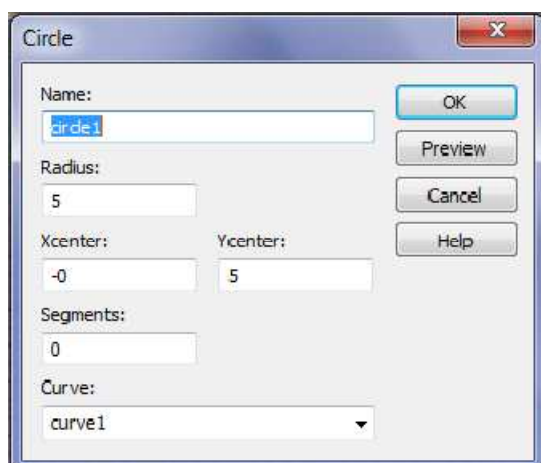


Figure2.30 : génération d'un cercle qui recouvre l'un des bords de rectangle

Maintenant, il doit avoir une coupure des deux objets de sorte que la courbe obtenue ne contient qu'un seul contour.

On doit d'abord sélectionner l'un des éléments de la courbe, par exemple le rectangle, en cliquant 'Curve »Trim Curves'.

Ensuite, on sélectionne l'élément qui doit être coupé avec le rectangle, donc on sélectionne le cercle et on valide en appuyant sur la touche 'enter' du clavier.

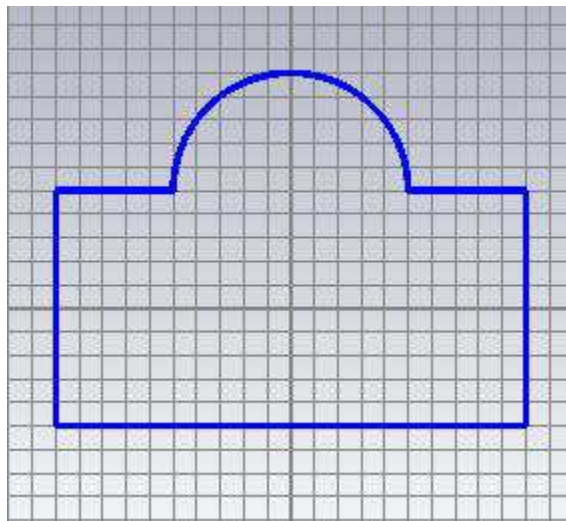
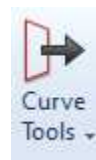


Figure2.31 : obtention d'une courbe qui contient un seul contour



On peut aussi créer un solide en cliquant sur 'Curve Toos » Sweep Curve'.

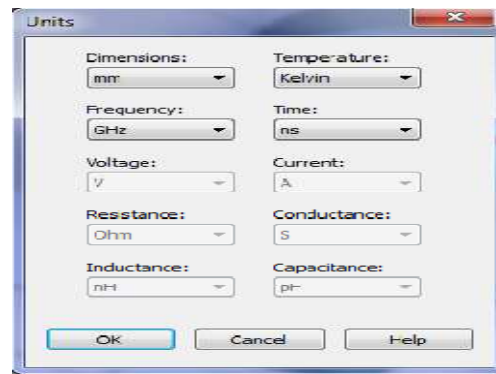
Maintenant, on va passer à la configuration.

2.6. Configuration du modèle :

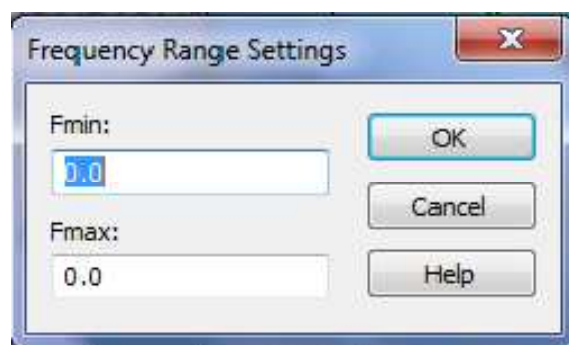
a) système unitaire : Les unités sont définies par défaut après avoir choisit un modèle, mais



on peut les changer si elles nous conviennent pas à partir de menu 'Home »Unit'.

**Figure2.32** : définition des unités**b) la fréquence :**

On doit toujours définir une plage de fréquence pour la simulation et ceci c'est en cliquant sur 'Home »  Frequency', dans la barre d'outils.

**Figure2.33** : définition de la plage de fréquence**c) les conditions aux limites :**

Pour définir les conditions aux limites, on suit la procédure 'Simulation »  Boundaries', et cette boîte de dialogue apparaît :

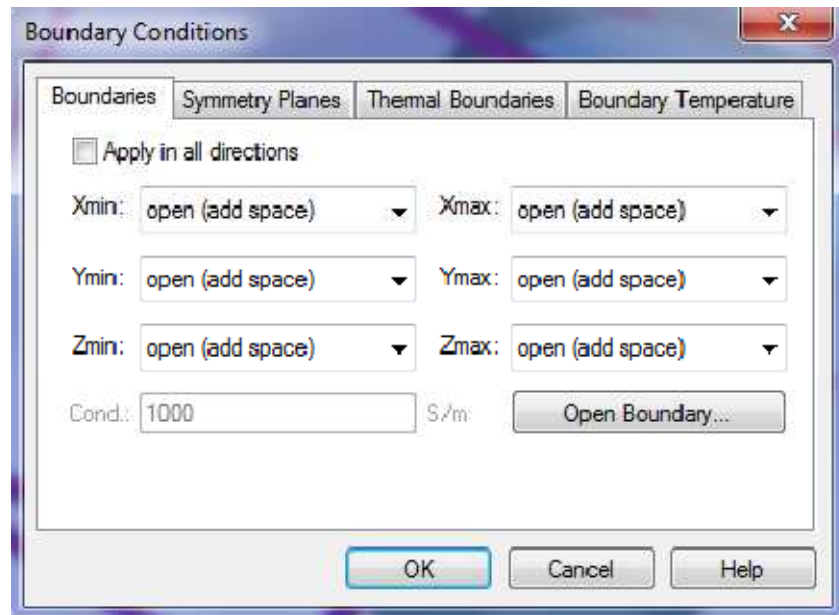


Figure2.34 : définition des conditions aux limites

Pour délimiter la structure lors de la simulation, on spécifie une condition limite pour chaque plan.

2.7. Configurer les ports :



On a deux types de ports : 'Waveguide Port et Discret Port'

- Waveguide Port : c'est le plus précis pour la simulation. Par exemple : simuler un guide d'onde, un câble coaxial, ligne micro-ruban.
- Discret Port : est souvent le plus utilisé comme source d'alimentation pour les antennes.



On définit u port à partir de la barre de menu 'simulation » et la fenêtre ci-dessus apparait :

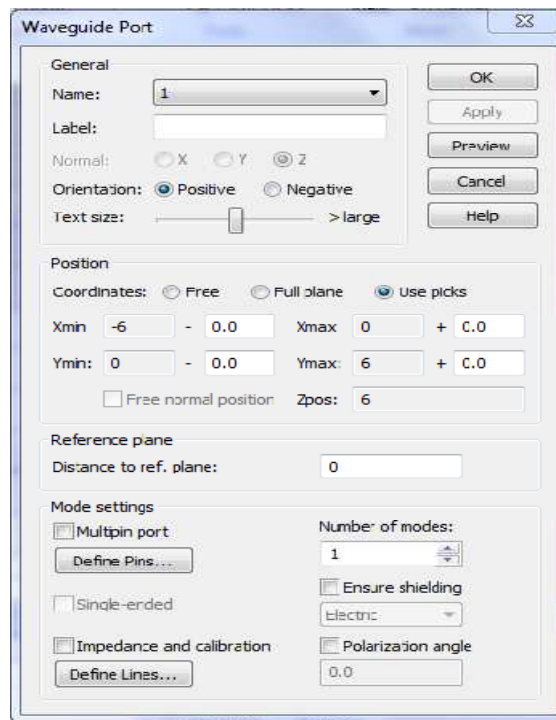


Figure2.35 : fenêtre de dialogue des ports de guide d'onde

2.8. Le maillage :

La génération du maillage d'une structure est réalisée automatiquement.

Le maillage peut être configuré en sélectionnant l'icône 'Global Properties' dans le menu

'Simulation' ou 'Home' en cliquant sur .

2.9. Moniteur (calcul des champs) :

Il calcule le gain des champs lointains pour les antennes en fonction des fréquences. Il doit être défini avant qu'une simulation commence. Pour cela, on procède comme suit :



'Simulation »  ' et on aura la boîte de dialogue suivante :

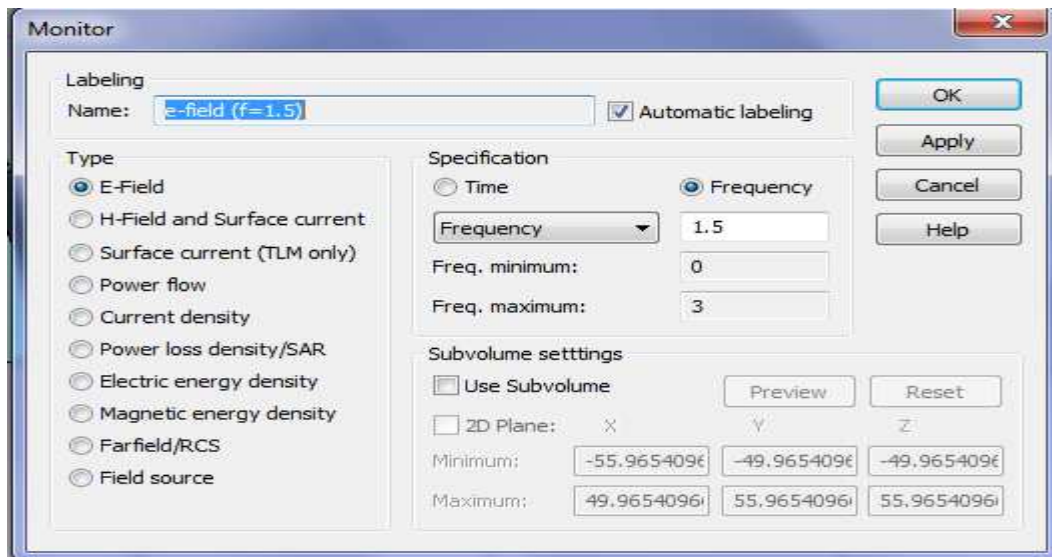


Figure2.36 : définition des moniteurs des champs

2.10. Commencer une simulation :

Le CST offre plusieurs modèles de solveur puissant tel que : Transit Solver, Frequency Domain Solver...etc.

Dans nos simulations, on s'intéresse au « Transit Solver ».

On démarre notre simulation à partir de la boîte de contrôle de Solveur Temporel , et dans cette dernière on peut spécifier quelle colonne de la matrice 'S' qui devrait être calculée. par défaut, le CST calcule tous les paramètres S.



Figure2.37 : fenêtre de dialogue de Solveur Temporel

2.11. Résultats de la simulation :

On obtient les différents résultats de calculs et de données des objets à partir de l'arbre des objets de problème.

- **Analyser le port :**

Pour visualiser les résultats, on ouvre le dossier '2D/3D Results', ensuite le sous dossier spécifique correspondant au port qu'on veut analyser, puis on choisit 'e1'. Sur la fenêtre de droite, on trouve les informations tel que : le mode, l'impédance, la constante de propagation calculée pour la fenêtre centrale.

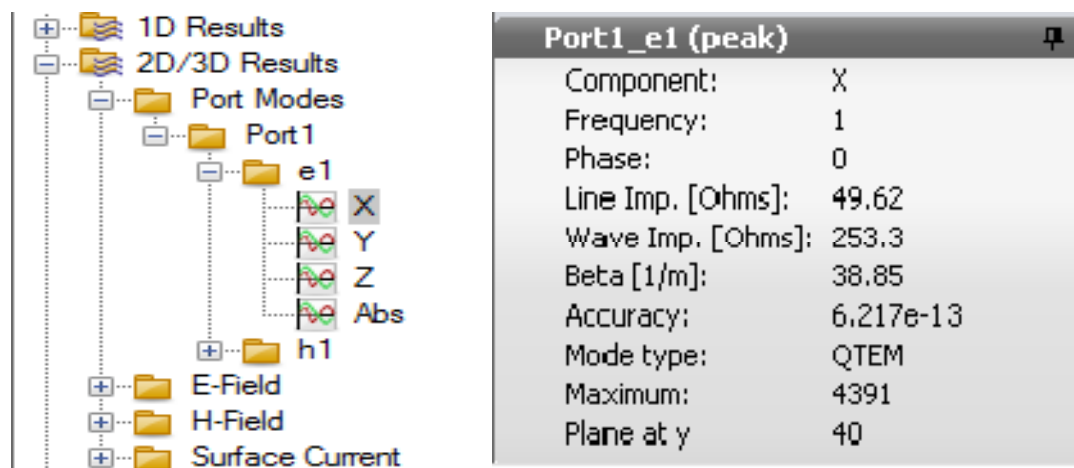
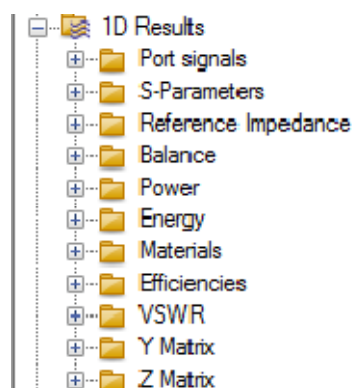


Figure2.38 : visualiser les résultats de simulation

- **Paramètre S :**

On trouve dans le dossier '1D Result' les résultats de simulations tels que les paramètres S, le TOS (VSWR) Z Matrix.

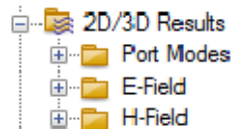


On peut prévoir les paramètres S dans le menu '1D Result' en linéaire, en DB, en phase, et sur l'abaque de Smith.



- **Les champs :**

On peut observer les champs en sélectionnant le répertoire '2D/3D Result' ou le répertoire 'Farfields'. Dans le répertoire 'Farfield Plot', on peut choisir de tracer le champ lointain en cartésien ou polaire, en 3D.



Les champs E ou H se trouvent dans le menu 2D/3D.

2.12. Conclusion :

On a décrit les différents outils du logiciel CST. Ce logiciel a pour but d'effectuer des simulations de structures aussi complexes soient-elles. C'est une étape très importante dans la conception d'antennes et de systèmes microondes. Il résout numériquement les équations de Maxwell. C'est un outil qu'un ingénieur de télécommunication doit impérativement maîtriser.

3.1. Préambule :

Le but de ce chapitre est d'étudier les antennes imprimées, leurs mécanismes de fonctionnement et de conception en utilisant le logiciel CST, et leur étude paramétrique .

3.2. Définition d'antenne patch :

C'est dans les années 50 que son concept est apparu, mais il faut attendre les années 70 pour voir un développement conséquent, grâce à l'arrivée du diélectrique sur le marché. Depuis, la recherche dans ce domaine n'a cessée de s'intensifier.

Actuellement, les antennes imprimées deviennent de plus en plus importantes en raison des grandes variétés des formes géométriques (rectangulaire, circulaire, à fente, ou formes plus élaborées). Cet élément rayonnant est réalisé par un circuit imprimé. On l'intègre dans des circuits électroniques.

Une antenne patch est constituée d'un élément métallique déposé sur la surface d'un substrat diélectrique qui représente sur l'autre face un plan conducteur (plan de masse).

L'antenne patch rectangulaire est la plus courante, et sa structure est décrite dans la figure suivante :

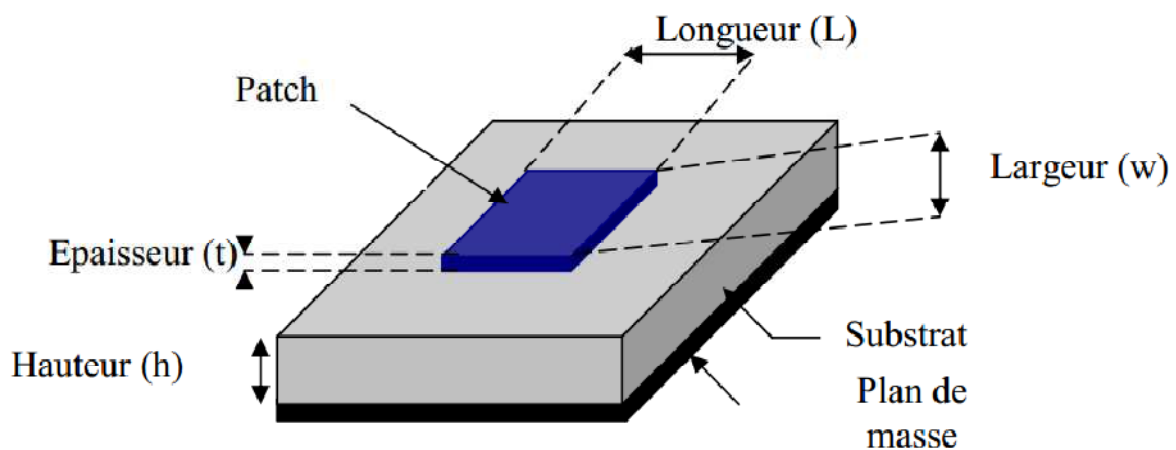


Figure3.1 : structure d'une antenne imprimée.

Les paramètres physiques et géométriques liés à cette structure sont :

- La permittivité relative du diélectrique (ϵ_r) et sa structure de perte $\tan \alpha$

- La hauteur du diélectrique h
- Les dimensions de l'élément rayonnant (L, W) [8]

3.3. Les éléments rayonnants :

L'élément rayonnant est un conducteur comme le cuivre, l'argent ou l'or. Généralement de forme quelconque, mais les plus utilisés en pratique sont montrés sur la figure suivante [8] :

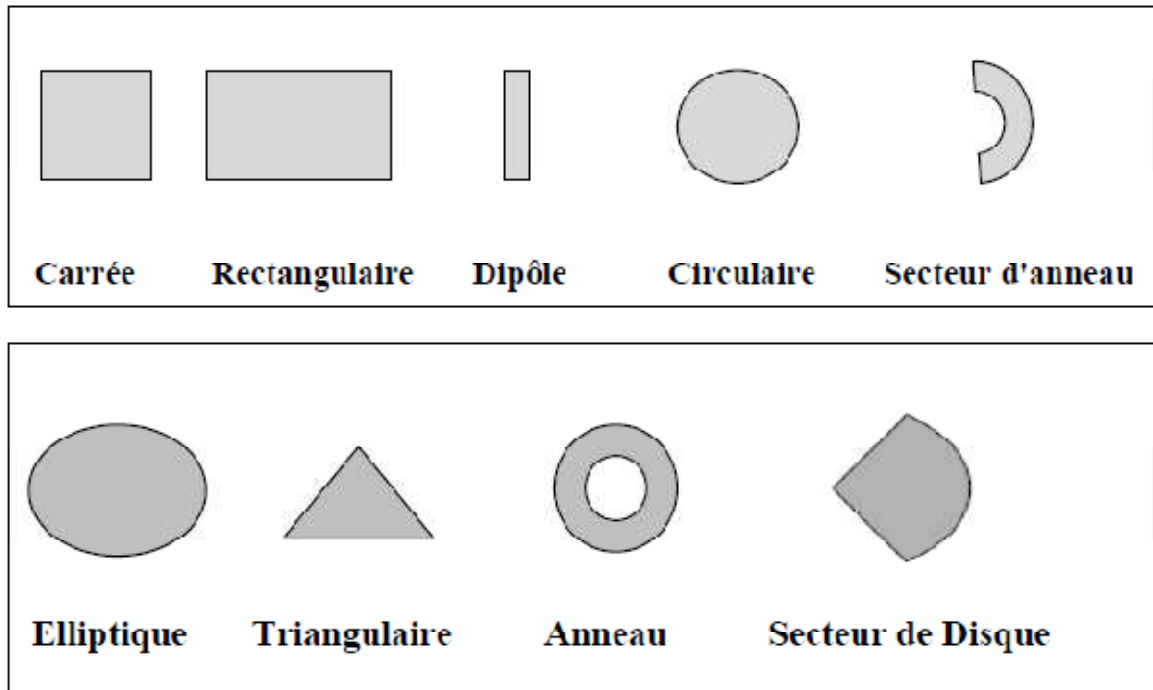


Figure3.2 : les formes d'Antenne Patch

3.4. Principe de fonctionnement :

Après l'excitation de la ligne d'alimentation, une onde électromagnétique se forme et se propage tout au long pour rencontrer l'élément rayonnant, ce qui provoque une distribution de charge qui s'établit au dessus et en dessous de l'élément entre le plan de masse et le substrat.

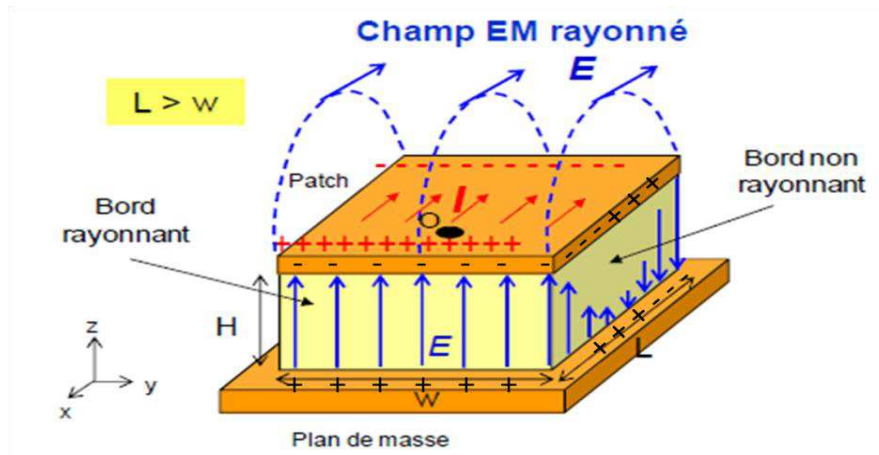


Figure3.3 : rayonnement d'une antenne patch

3.5. Techniques d'alimentation de l'antenne patch :

Même si elle est susceptible de rayonner, une antenne n'est utilisable que s'il existe un circuit d'alimentation permettant un transfert acceptable de l'énergie guidée vers l'antenne.

Le choix du type d'alimentation dépend de contraintes telles que : la simplicité du circuit d'alimentation, l'isolation entre le circuit d'alimentation et l'antenne ou la mise en réseau éventuelle de l'élément rayonnant. On trouve essentiellement deux mécanismes d'alimentation pour les antennes imprimées :

3.5.1. Alimentation directe (par contact) :

- Alimentation par une ligne imprimée :

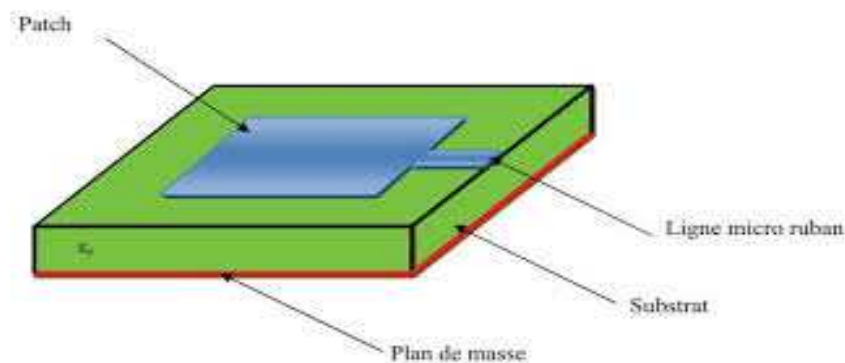


Figure3.4.Alimentation par une ligne micro ruban

C'est l'alimentation la plus simple utilisant une ligne imprimée sur le même plan que le patch rayonnant.

- **Alimentation coaxial directe :**

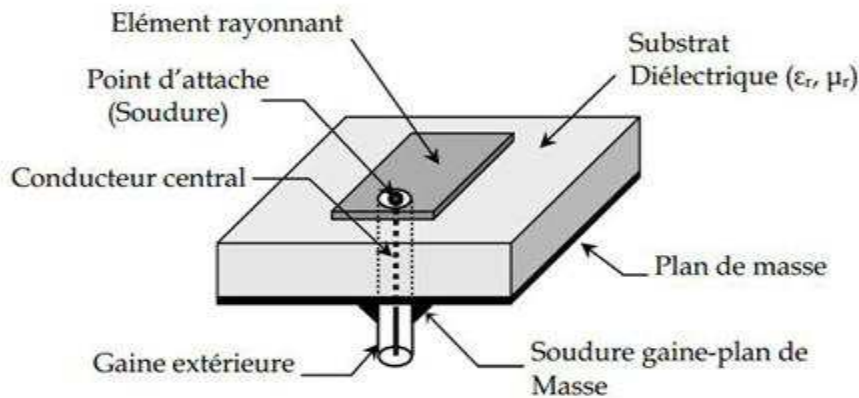


Figure3.5. Alimentation par une sonde coaxiale.

La soudure de l'embase rend la structure mécaniquement robuste en cas de torsion du câble coaxial visée au connecteur.

3.5.2. Alimentation par proximité :

Le couplage de proximité permet d'exciter l'antenne en évitant une connexion directe entre l'alimentation et le patch.

- **Couplage à travers une fente :**

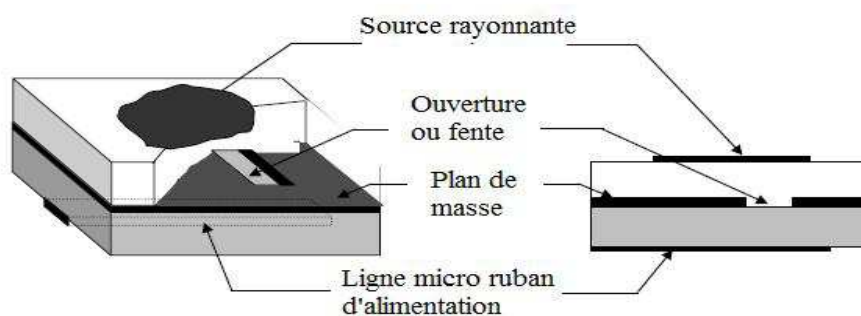


Figure3.6. couplage à ouverture (fente) dans le plan de masse

Il est possible d'élargir la bande passante en associant la résonance de l'élément rayonnant à celle de la fente. [9]

3.6. Avantages et inconvénients d'une antenne patch :

Les antennes patches présentent de nombreux avantages dont on peut citer :

- Un encombrement réduit.
- Un faible poids.
- Un faible coût de fabrication.
- 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.

Ces antennes ont aussi des inconvénients qui sont les suivants :

- Une bande passante étroite.
- Un faible gain (de l'ordre de 5dB).
- Supportent uniquement les faibles puissances.
- Une pureté de polarisation difficile à obtenir.
- Rayonnement limité à un demi-plan de l'espace.
- Pertes de rayonnement par des ondes de surface.

3.7. Simulation de l'antenne patch :

Dans notre travail, on s'intéresse la simulation d'une antenne patch alimentée par une ligne micro ruban.

Le schéma représentant l'antenne patch est décrit comme suit :

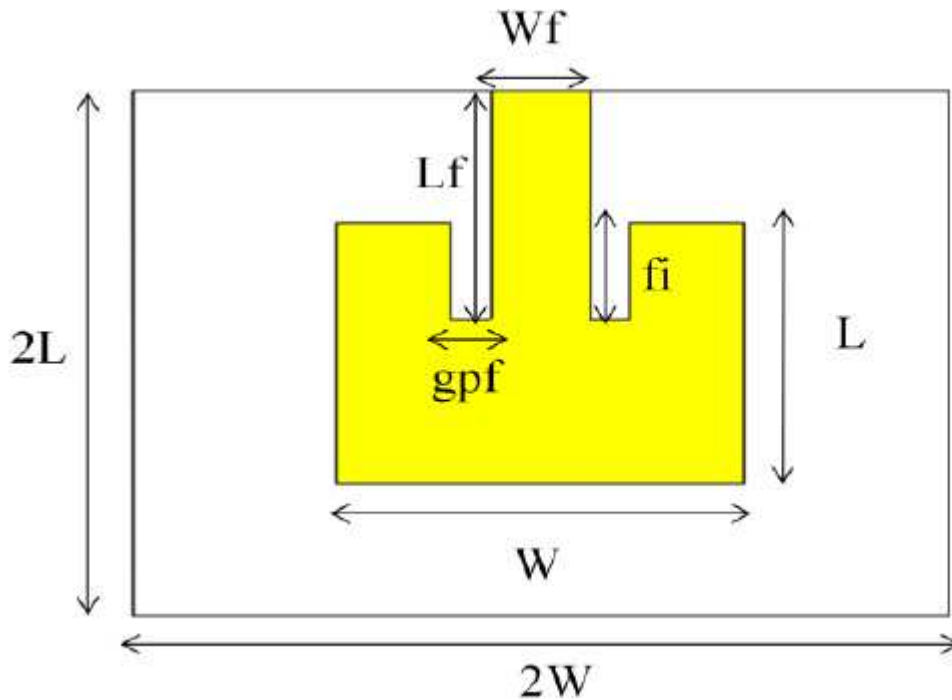


Figure3.7 : représentation de la structure de patch

3.7.1. Réalisation du modèle :

Premièrement, on remplit la liste des paramètres en insérant leurs valeurs numériques :

Parameter List				
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

Figure3.8: liste des paramètres d'une antenne patch alimentée par une ligne micro ruban.

On sélectionne les unités en partant du menu 'HOME' , puis on clique sur 'OK'.

- a) **Dessiner le substrat** : Pour cela, on clique sur 'brick', puis on appuie sur la touche 'ESC' du clavier et on aura une fenêtre de dialogue dans laquelle on définit les coordonnées du substrat.

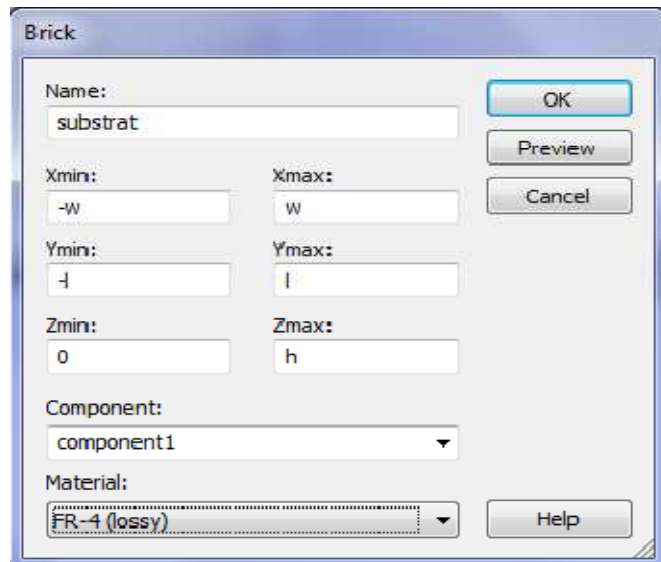


Figure3.9 : Création du substrat

Puis, le substrat apparaît comme suit :

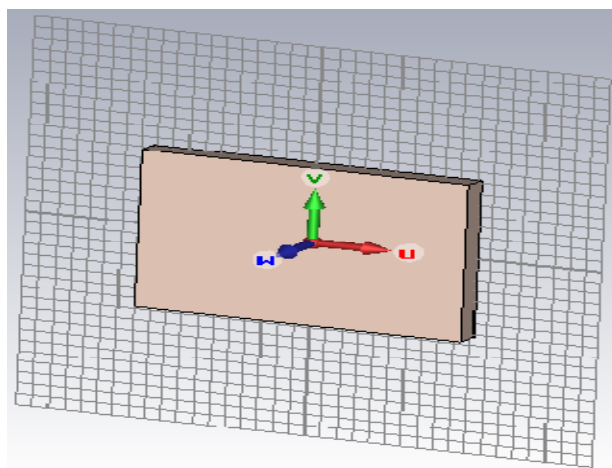


Figure.3.10 : la structure du substrat.

On retourne notre plan de dessin pour avoir l'autre face du substrat.

On clique sur : 'Modeling »pick »pick face', puis on valide.

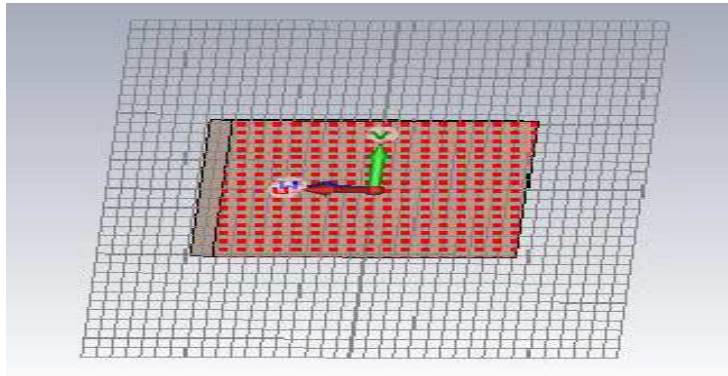


Figure3.11 : la sélection de l'autre face du substrat.

Ensuite, on clique sur WCS aligne »aligne with selected face.

- b) **Dessiner le plan de masse** : Après avoir sélectionné une deuxième fois la face, on clique sur 'Extrude face' , et une boîte de dialogue apparaît sur laquelle on précise les coordonnées et le matériau utilisé et on clique sur 'ok'.

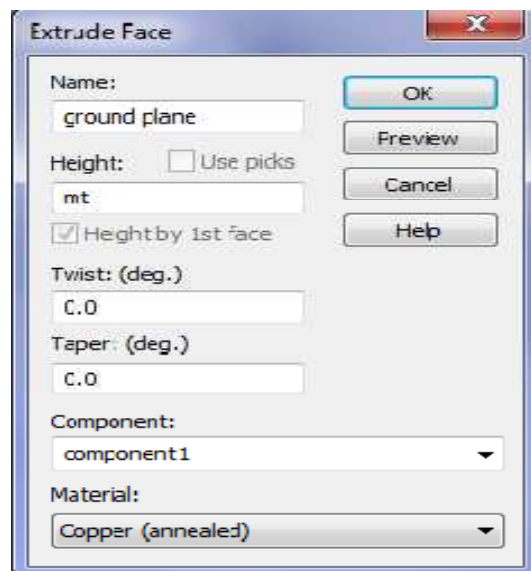


Figure3.12 : boîte de dialogue de création de plan de masse.

On retourne encore une fois notre plan sur l'autre face du substrat, et on sélectionne la face en cliquant sur : 'Modeling »WCS »Aligne WCS »Aligne WCS W'.

Dessiner le patch : On clique sur 'Brick', ensuite on appuie sur la touche « ESC » du clavier, et une boîte de dialogue apparaît pour qu'on puisse injecter les coordonnées et le matériau du patch, puis on valide.

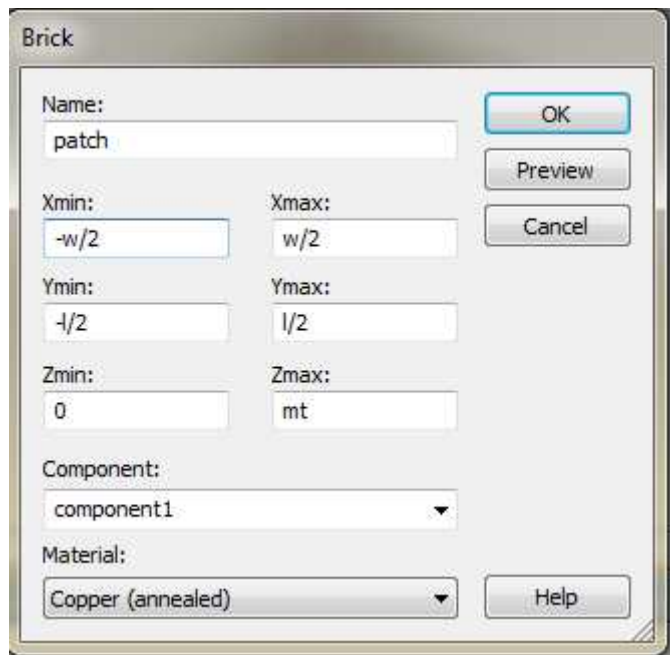


Figure3.13 : Boîte de dialogue de création du patch

La structure du patch est définie comme dans la figure suivante :

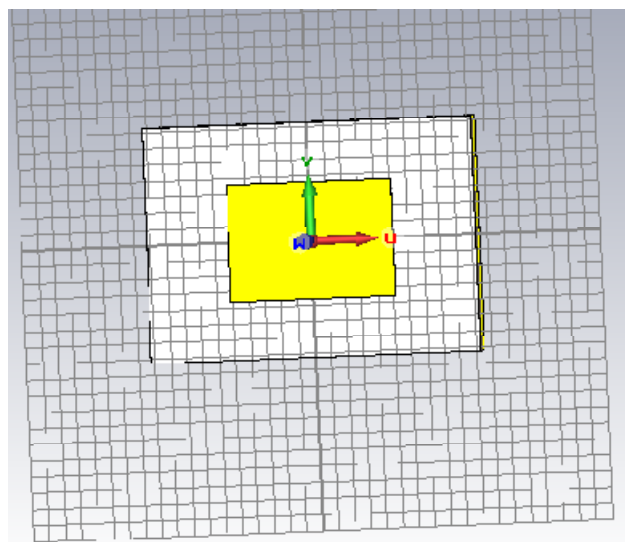


Figure3.14 : la structure du patch.

- c) **Dessiner une encoche dans le patch** : Le schéma représentant le vide dans le patch est défini comme suit :

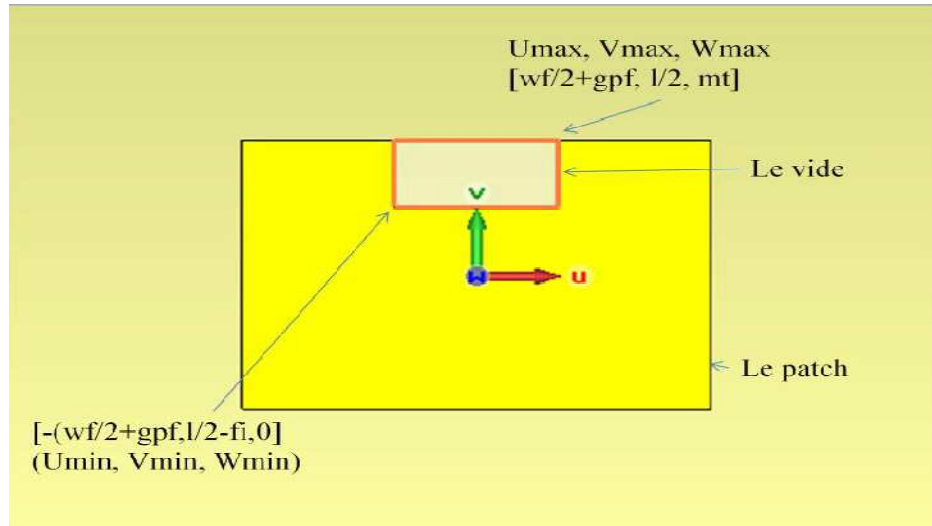


Figure3.15 : le vide dans le patch.

Pour réaliser ceci, on clique sur 'Brick', puis 'ESC' du clavier alors une fenêtre de dialogue apparait sur laquelle on définit les coordonnées et le matériau utilisé.

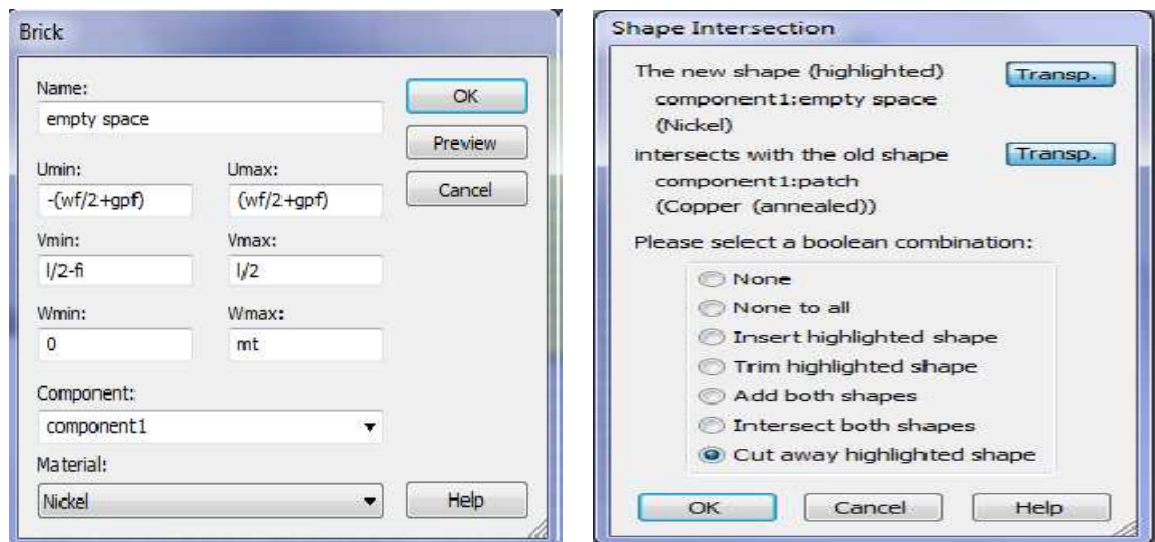


Figure3.16 : Boîte de dialogue de création de l'encoche du patch.

On obtient alors la figure suivante :

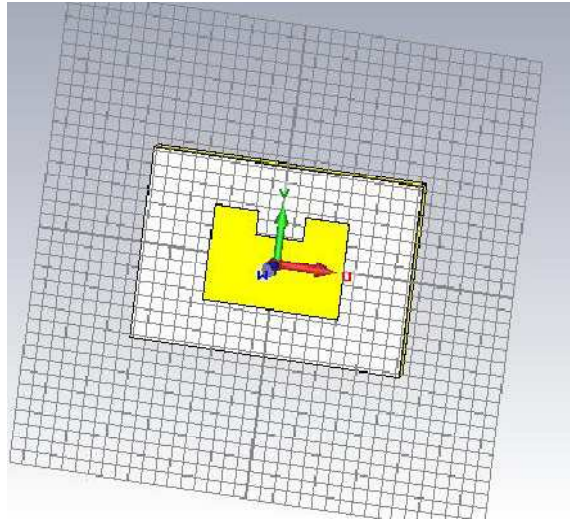


Figure3.17 : structure du patch avec le vide

- d) **Dessiner le micro strip** : Le schéma représentant l'antenne patch alimentée par une ligne micro ruban est défini dans la figure suivante :

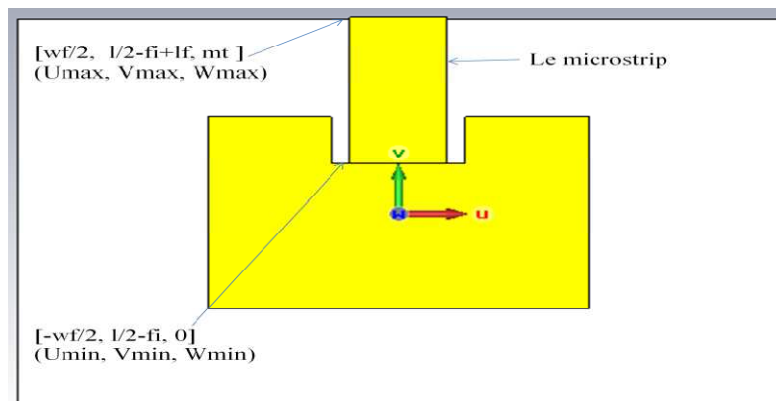


Figure3.18 : structure de l'antenne patch alimentée par une ligne micro ruban.

On clique sur 'Brick', puis 'ESC' du clavier et on aura une boîte de dialogue sur laquelle on spécifie les coordonnées et le matériau utilisé.

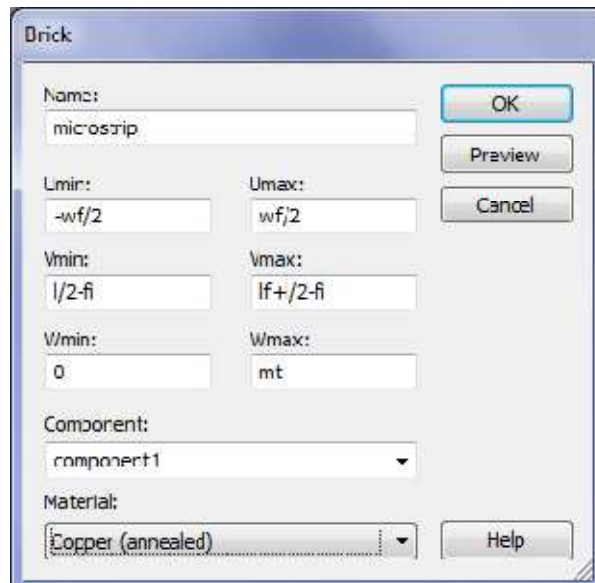


Figure3.19 : Boîte de dialogue de création du micro strip.

Donc on obtient la figure suivante :

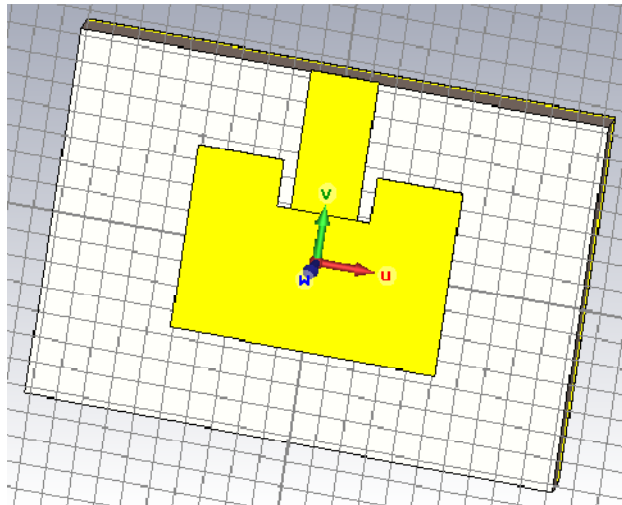


Figure.3.20 : Dessiner le micro strip.

Après avoir réalisé le dessin de notre structure, le patch et le micro strip doivent être assemblés en un seul objet .et pour cela, on procède de la manière suivante :

On clique sur le patch dans l'arbre de navigation :

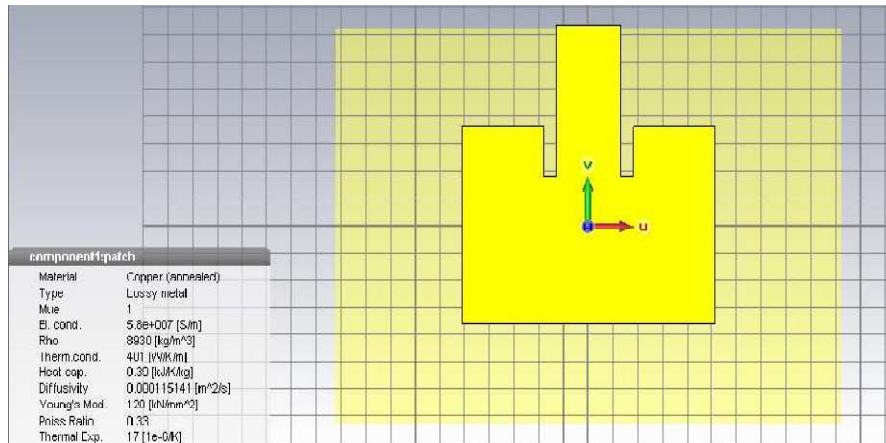
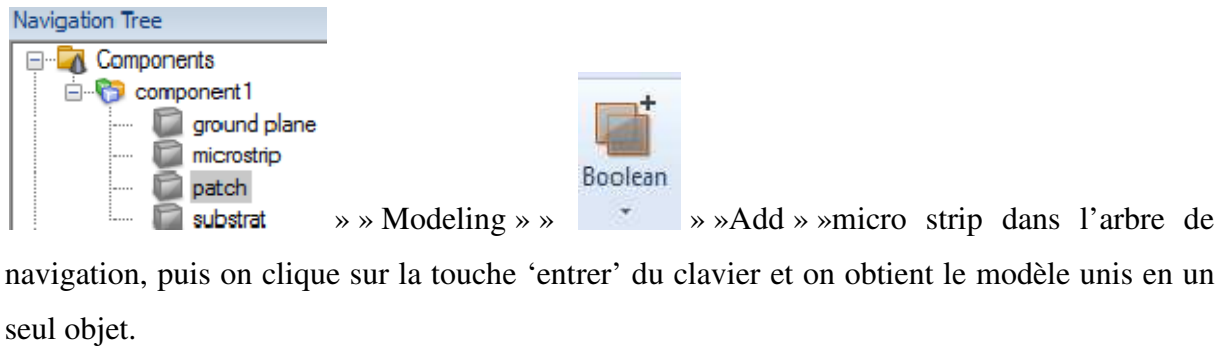


Figure3.21 : obtention du modèle unis (patch et le micro strip).

Excitation de l'élément : On zoom au maximum le micro strip.

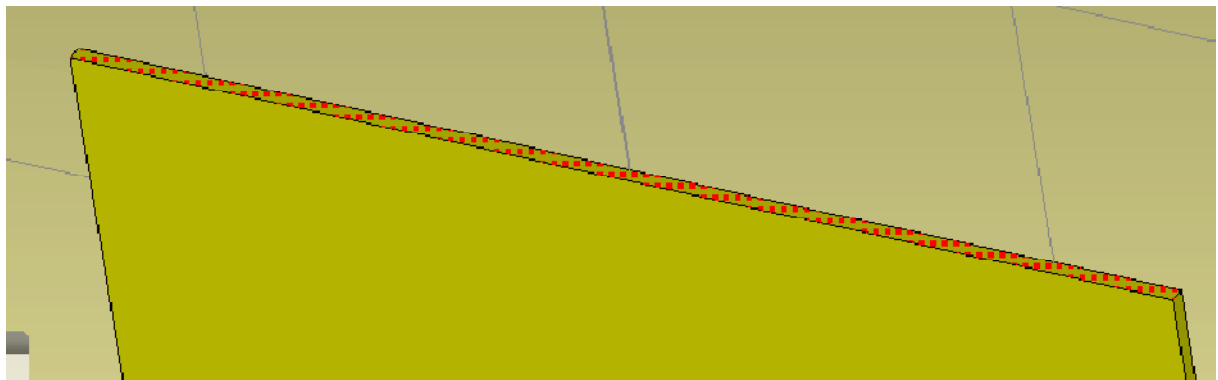


Figure3.22 : zoom de la partie haute de micro strip.



On clique sur 'Simulation » Waveguide Port', et une fenêtre de dialogue apparaît sur laquelle on spécifie les données :

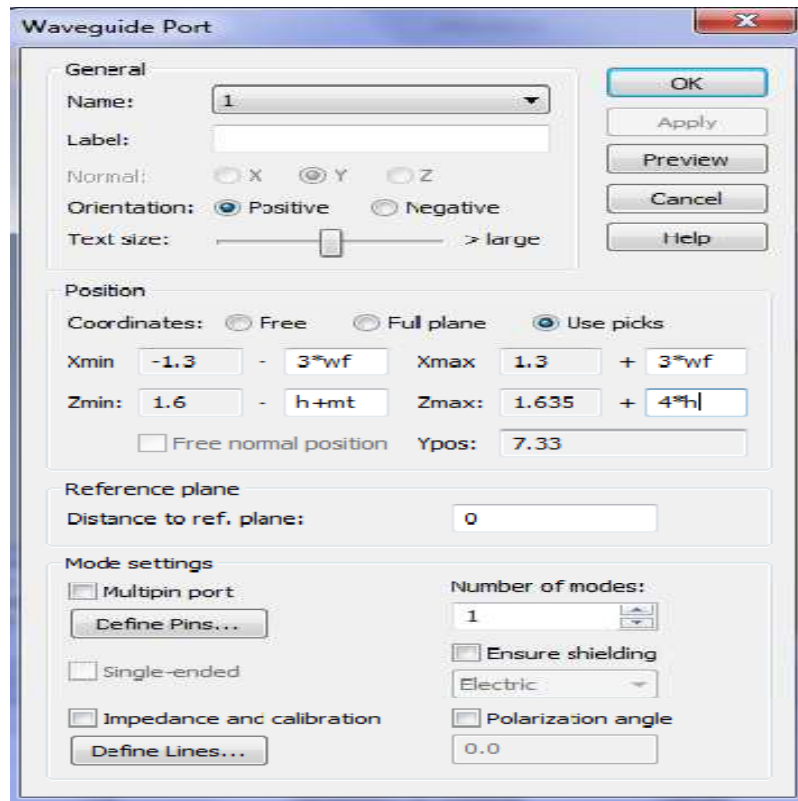


Figure3.23 : fenêtre de dialogue de la configuration du port de guide d'onde.

Enfin, on obtient le résultat suivant :

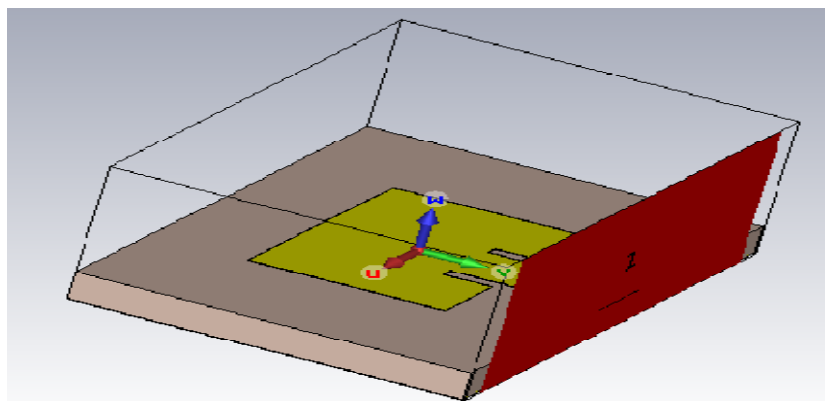


Figure3.24 : structure d'une antenne patch alimentée par une ligne micro ruban.

3.7.2. La configuration du modèle :

a) Définition de la plage de fréquence :

On clique sur 'Simulation »  Frequency', on spécifie la plage de fréquence puis on valide.

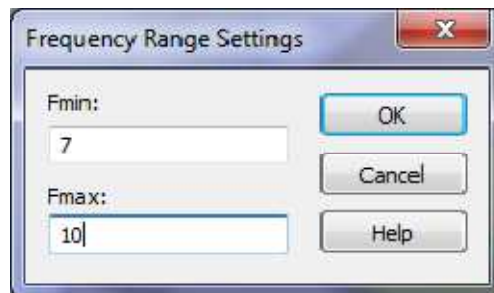


Figure3.25 : boîte de dialogue de configuration de plage de fréquence.

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



'Simulation »  », et on aura une boîte sur laquelle on choisit les paramètres suivants :

» » **E-field** » » **apply**

» » **H-field and Surface Current** » » **apply**

» » **Farfield/RCS** » » **apply**

Puis, on valide par « OK »

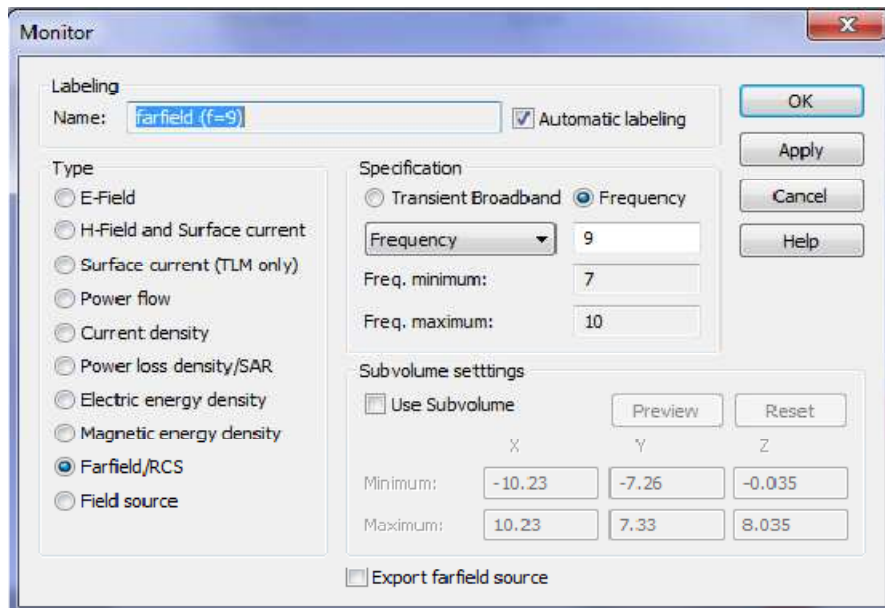


Figure 3.26: boîte de dialogue des différents résultats qu'il faut obtenir après la simulation.

3.7.3. Simulation du modèle et résultat :



On clique sur 'Simulation', ensuite, on clique sur 'Start' et on commence la simulation.

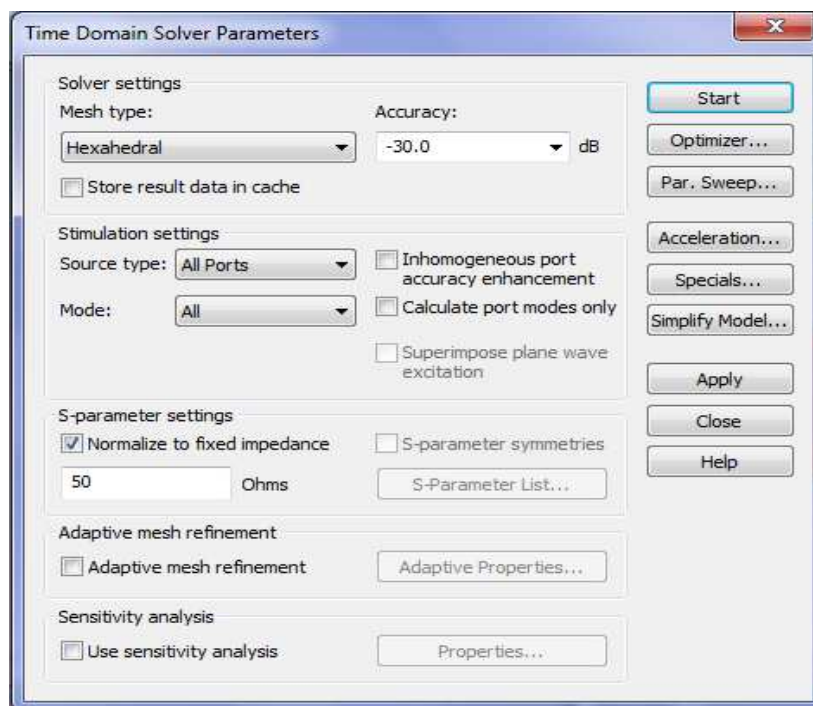


Figure 3.27 : boîte de dialogue de solveur.

On observe alors les résultats de simulation de cet élément :

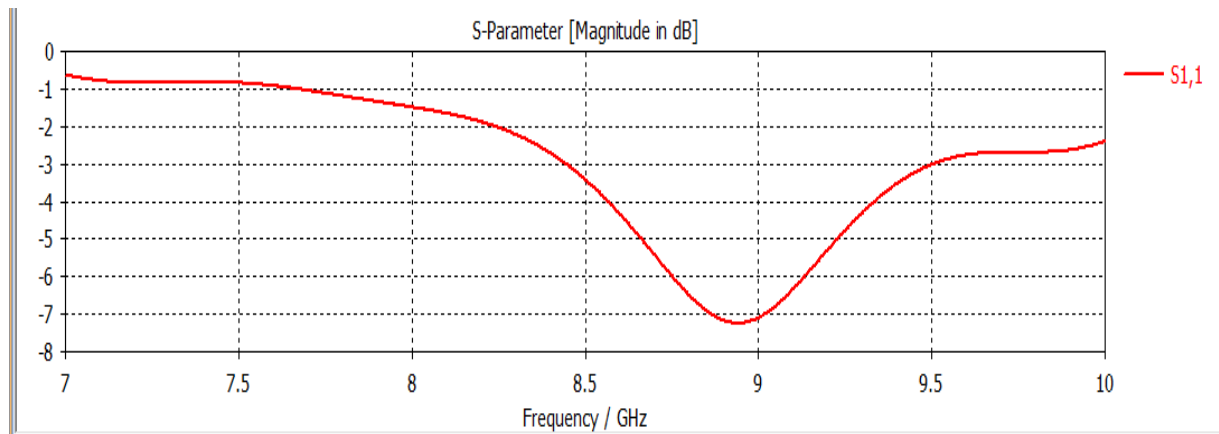


Figure3.28 : courbe du paramètre S11 en DB

Le diagramme de rayonnement est illustré ci-dessous.

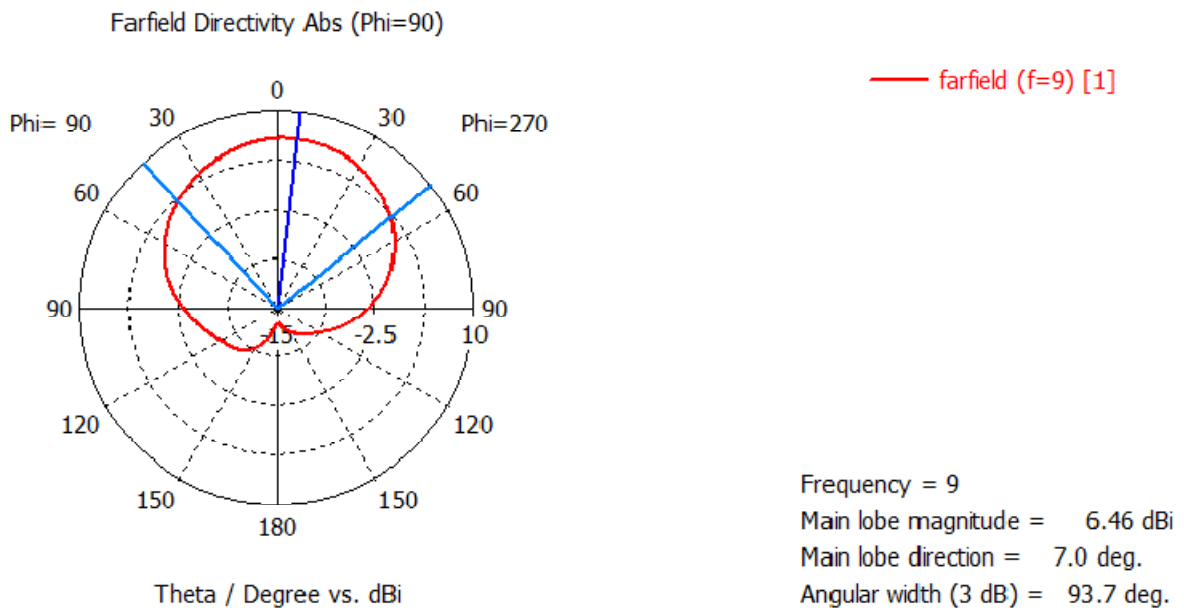


Figure3.29 : Diagramme de rayonnement en 2D

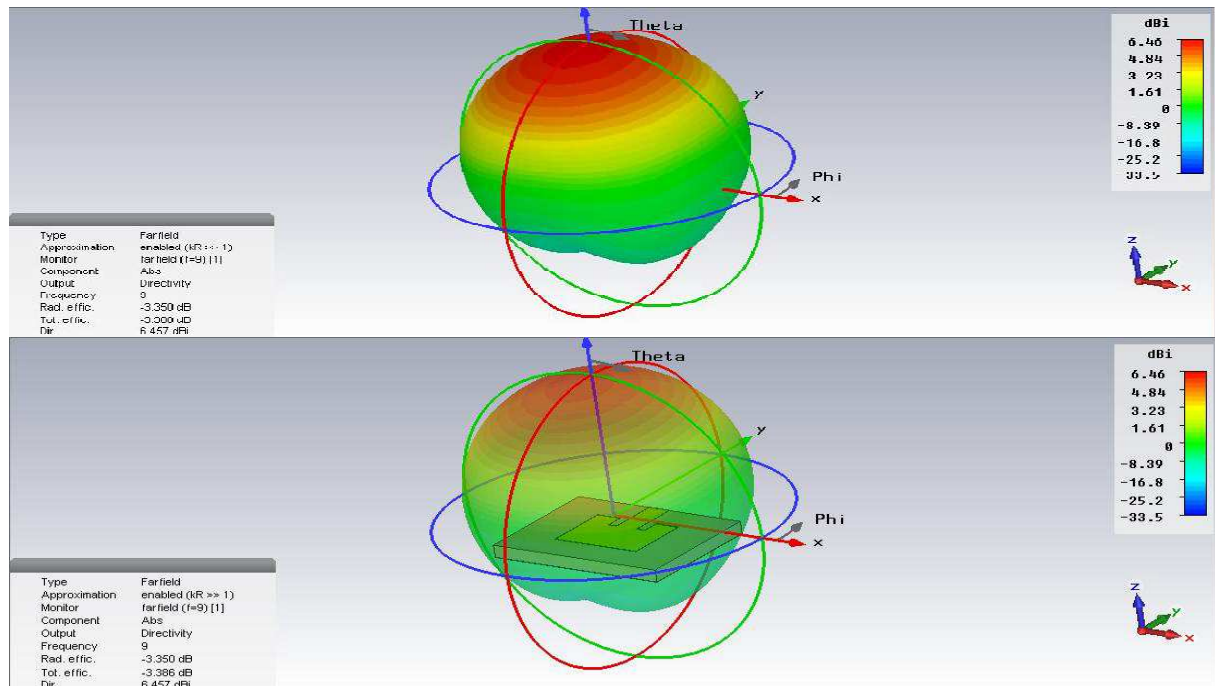
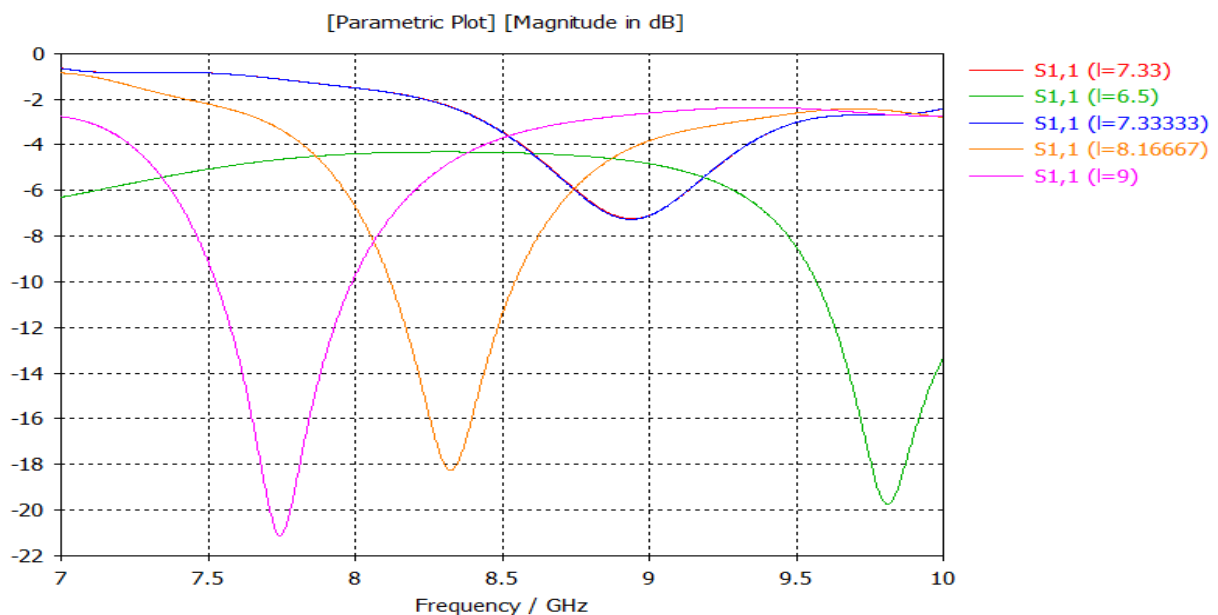


Figure 3.30 : Diagramme de rayonnement en 3D.

3.8. Etude paramétrique:

Dans cette partie nous allons étudier l'influence de la longueur sur la fréquence de résonance, en variant la longueur du patch.

Une fréquence de résonance initiale sera fixée à 9 GHz.

Figure 3.31: Effet de la longueur du patch sur le paramètre S_{11}

On constate qu'il existe une corrélation inverse entre la longueur du patch et la fréquence de résonance, autrement dit une augmentation de la longueur implique la diminution de la fréquence, et inversement une réduction de la longueur du patch ferait augmenter la fréquence du paramètre S_{11} .

3.9. Conclusion :

On a étudié la conception et la simulation de l'antenne patch alimentée par une ligne micro ruban en utilisant le logiciel CST.

On a constaté que :

La fréquence de résonance est inversement proportionnelle à la longueur L du patch.

L'épaisseur du substrat, le choix du type d'alimentation, la position de la ligne d'alimentation (ligne micro ruban) influent considérablement sur les performances de l'antenne : coefficient de réflexion, bande passante et le rayonnement.

On a montré aussi qu'une étude paramétrique de l'antenne est possible et de manière aisée.

4.1 Préambule :

Nous allons attribuer ce chapitre à la miniaturisation de l'antenne imprimée. Nous commençons par sa définition ainsi que ses limites fondamentales. Ensuite, nous allons aborder ses différentes techniques. Puis nous allons effectuer une comparaison entre l'antenne qu'on a déjà créé en chapitre 3 avec celle munie d'une fente puis nous allons discuter les différents résultats.

4.2 Généralités sur la miniaturisation :

Lors des dernières décennies, nous avons observé une montée exponentielle dans les télécommunications. En effet, les développements des appareils mobiles et tablette sont devenu indispensables dans notre vie de tous les jours.

De nouvelles techniques permettent la miniaturisation des dispositifs électroniques. Plus de leurs petites tailles, ces appareils ont l'avantage de pouvoir communiquer sans fils, et pour cela, ils ont besoin d'un élément primordial qui est l'antenne.

De nos jours, l'antenne occupe de grande place d'où le challenge est de la réduire autant que possible.

La miniaturisation d'une antenne consiste à réduire ses dimensions, sa surface, son volume à fréquence de résonance. Elle doit être intégrée au plus près de l'antenne des circuits d'adaptation nécessaire à son fonctionnement.

Pour cela, des limites théoriques ont été établies par WHEELER 1947 et CHU 1948, ces dernières déterminent comment la taille de l'antenne et la bande passante (ou son facteur de qualité) sont reliées.

a) Définition d'une antenne miniature :

Une antenne miniature ou électriquement petite (AEP) est l'antenne dont la taille est beaucoup plus petite que la longueur d'onde à sa fréquence de travail.

WHEELER indique qu'une antenne pouvait être considérée comme électriquement petite si ses dimensions maximales étaient inférieures à « K » qui représente le nombre d'onde.

$$K = \frac{2\pi}{\lambda}$$

Avec « λ » : la longueur d'onde de l'antenne à sa fréquence d'utilisation.

On a $Ka < 1$ avec « a » : c'est le rayon de la sphère minimale qui entoure complètement l'antenne. Cette sphère est appelée sphère de WHEELER ou de CHU.

Définition d'une sphère CHU :

C'est une sphère qui contient l'intégralité de l'antenne, elle est définie par « a ».

Elle correspond à la distance de transition entre le champ proche où l'énergie électromagnétique est stockée dans l'antenne et le champ lointain où celle-ci est propagée. Cette réduction de taille des antennes par rapport à la longueur d'onde électrique limite les performances radioélectriques des antennes. Les performances d'une AEP sont caractérisées par la taille électrique ka, le facteur de qualité Q (ou bande passante), et l'efficacité.

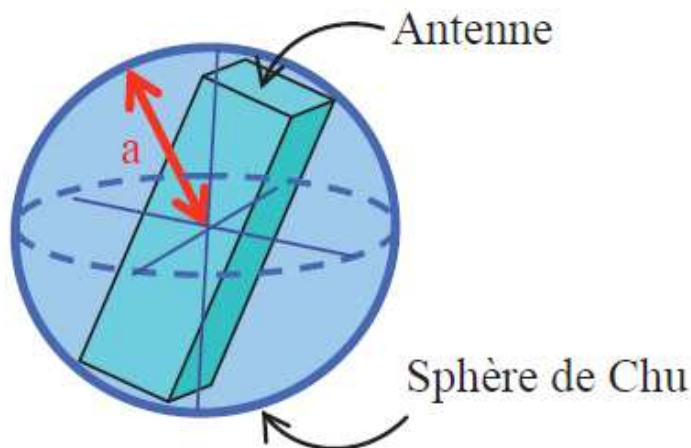


Figure4.1 : Sphère Chu

b) Les limites fondamentales des antennes miniatures :

- ✓ **Le facteur de qualité** : Le but de la miniaturisation est de réduire la taille de l'antenne tout en gardant les caractéristiques électromagnétiques optimales (bande passante et le gain).

Le facteur de qualité est l'un des critères limitant. Il est inversement proportionnel à la bande passante. C'est un paramètre intrinsèque qui est défini comme dans l'équation suivante :

$$Q = \frac{2W_{0MAX}(W_e, W_m)}{P_A}$$

W_e et W_m sont les quantités moyennes d'énergie stockée dans l'antenne.

P_A : c'est la puissance reçue par l'antenne.

- ✓ **L'efficacité rayonnée** : Elle est définie par le rapport entre la puissance rayonnée et celle reçue par l'antenne. Les pertes au niveau de l'antenne sont modélisées par une résistance en série de perte (R_{LOSS}).

On écrit l'efficacité rayonnée de la manière suivante :

$$\eta = \frac{R_{rad}}{R_{rad} + R_{loss}} = \frac{R_{rad}}{R_a}$$

R_{rad} : c'est la résistance de rayonnement

R_a : c'est la résistance totale d'entrée

L'origine de la dimension de l'efficacité est due aux pertes par conduction et aux pertes diélectriques. [5]

4.3 Techniques de miniaturisation :

4.3.1. Introduction d'un court circuit:

Parmi les méthodes utilisées pour la miniaturisation d'antenne imprimée est l'introduction d'un ou plusieurs court-circuits entre l'antenne et le plan de masse. L'introduction d'un court-circuit revient à l'ajout d'une inductance dans la valeur et lier directement au court-circuit

En effet, comme le court-circuit est long et fin alors l'effet inductif qu'il génère augmente entraînant une diminution de l'efficacité. En jouant sur la position du court-circuit par rapport à l'antenne et sur sa longueur, nous arrivons à modifier la fréquence de résonance de l'antenne ainsi que son impédance d'entrée. Cette technique, facilement réalisable implique cependant une diminution de la bande passante de l'antenne par rapport à une simple antenne patch.

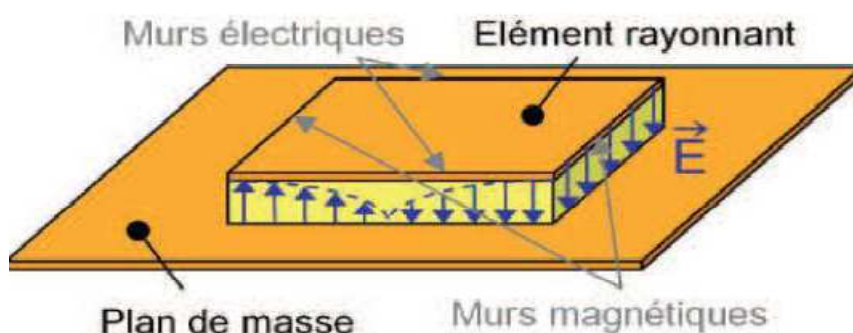


Figure 4.2 : Cartographie du champ E dans la cavité d'une antenne micro ruban.

4.3.2. Utilisation des matériaux:

Les antennes imprimées sont des antennes largement utilisées du fait de leur facilité de conception, d'intégration et de leur faible coût. Ces antennes font souvent l'objet de réduction de taille électrique par l'utilisation de matériaux, parmi eux on trouve :

- a) **Utilisation d'un diélectrique:** Pour réduire l'encombrement, on peut aussi jouer sur les propriétés diélectriques des matériaux. En effet de nombreux travaux ont montré que les substrats à forte permittivité, typiquement de l'ordre de 10 à 20 permettaient de réduire les dimensions d'une antenne sans en modifier la géométrie.

Avec un tel matériau, les lignes de champ sont concentrées sous l'antenne. Ce phénomène s'explique par le fait qu'un milieu avec une très haute permittivité influe sur l'organisation des charges électriques. Ainsi avec un substrat de permittivité diélectrique ϵ_r élevée, la longueur d'onde guidée λ_g diminue [10].

- b) Utilisation d'un matériau magnéto-électrique :** L'utilisation de matériaux magnéto-diélectriques dont la permittivité et la perméabilité sont toutes les deux supérieures à 1, permet de miniaturiser une antenne sans dégrader ses performances en termes de bande passante. Ils réduisent la taille des antennes imprimées car les dimensions de l'antenne sont inversement proportionnelles à l'indice de réfraction du substrat. [11].

4.3.3 Modification géométrique :

- **Insertion de la fente :**

Cette technique de miniaturisation consiste à la modification structurelle de l'antenne en utilisant des fentes.



Figure 4.3 : Insertion d'une fente

Dans notre travail, on s'intéresse à cette technique de miniaturisation.

4.4 Simulation de l'antenne :

La structure obtenue après avoir insérer la fente est décrite comme suit :

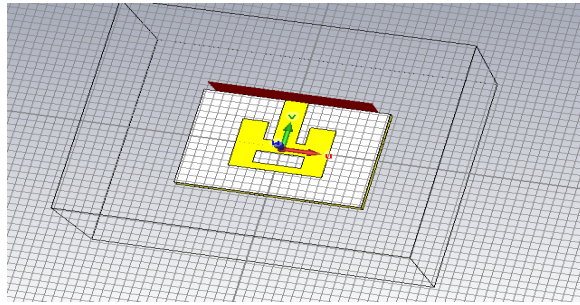


Figure4.4 : Antenne patch avec insertion d'une fente.

Après avoir simulé on obtient la courbe suivante :

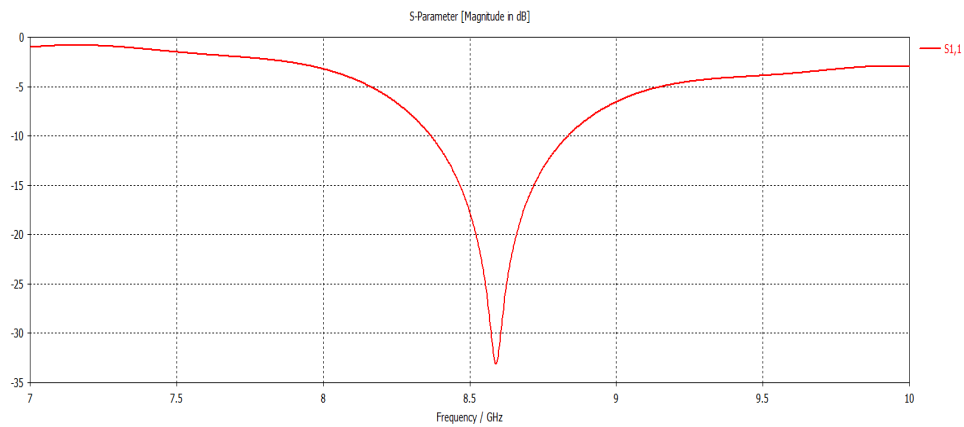


Figure4.5 : Paramètre S11 après insertion de la fente.

On remarque que la fréquence qui a déjà été fixé à 9Ghz a diminué jusqu'à 8.5Ghz.

La représentation de son diagramme de rayonnement en 2D est comme suit

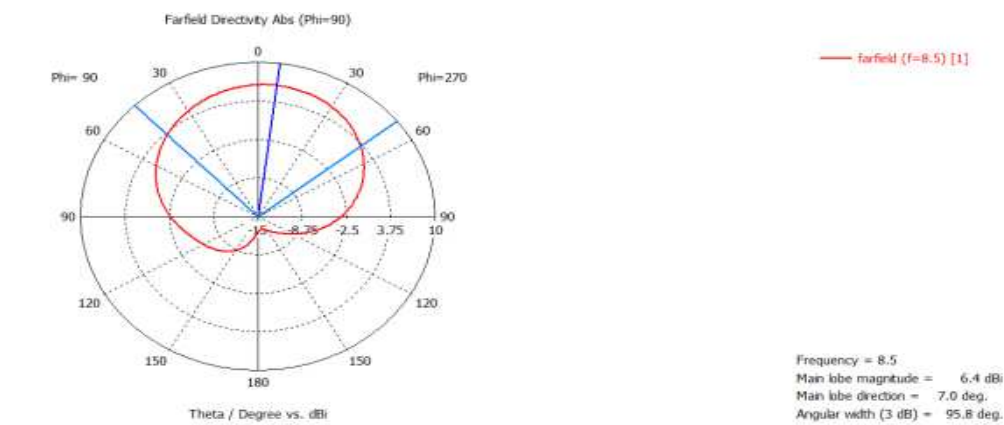


Figure 4.6: Diagramme de rayonnement en 2D

La représentation de son diagramme de rayonnement en 3D est comme suit :

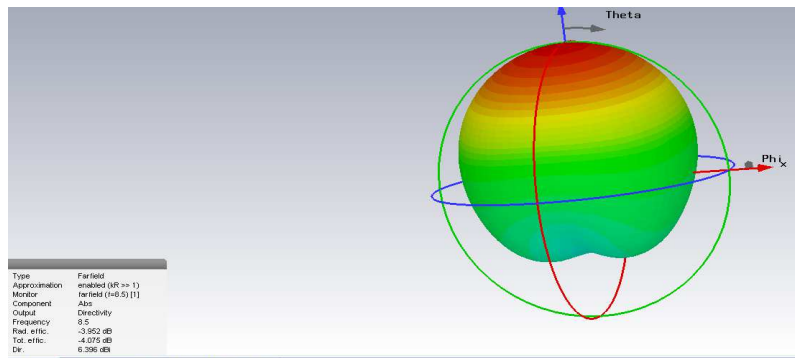


Figure4.7 : diagramme de rayonnement en 3D

On constat que Cette technique est conçue pour allonger le chemin électrique des courants. Le but est de forcé le courant à contourner la fente insérée donc allongé son trajet.

La longueur électrique sera ainsi augmentée.

Le rallongement parcouru des courants surfaciques, aura pour conséquence de diminuer la fréquence de résonance.

4.5. Etude de l'adaptation :

Dans cette partie nous allons étudier la simulation de l'antenne patch sans lui introduire les encoches, ensuite nous allons comparer son amplitude avec celle qui contient les encoches qu'on a crée dans le chapitre3.

La figure suivante représente la simulation d'une antenne patch sans encoche.

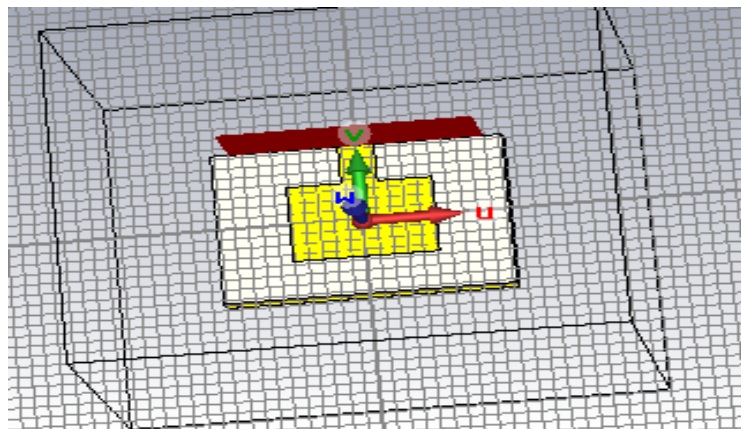


Figure4.8 : antenne patch sans encoche

Le paramètre S_{11} de l'antenne patch sans encoche prend l'allure suivante :

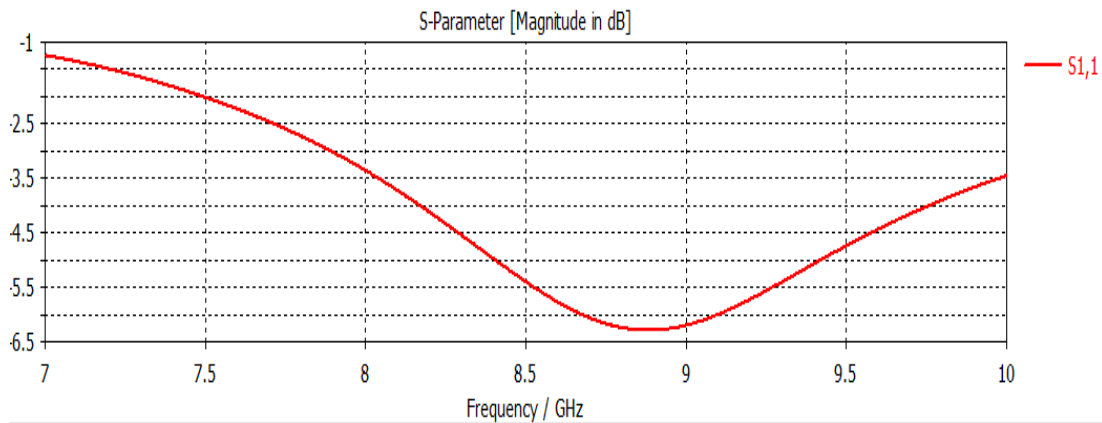


Figure4.9: courbe du paramètre S_{11} en dB de l'antenne sans encoche

Dans cette figure on constate que le coefficient S_{11} est de l'ordre de -5.6 dB, à une fréquence de résonance fixée 8.94 GHz.

La figure suivante représente la simulation d'une antenne patch avec encoche.

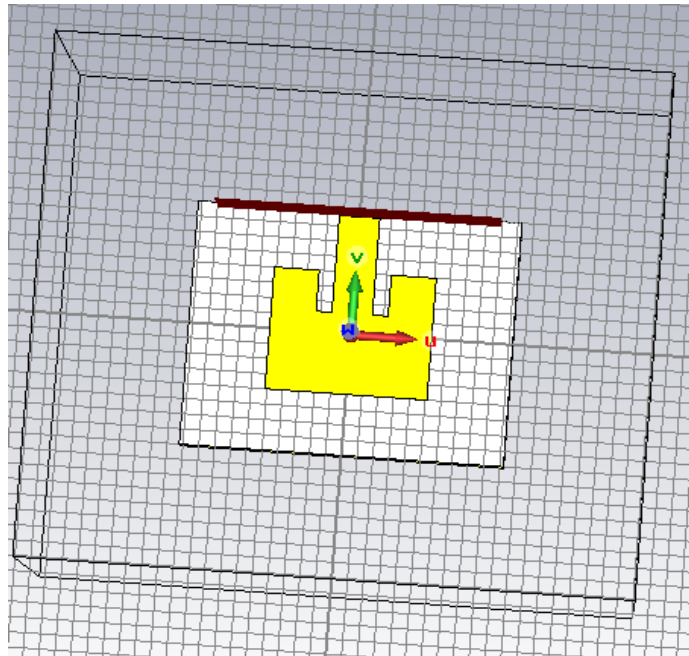


Figure4.10 : Antenne patch avec encoche

L'étude du paramètre S_{11} pour cette antenne résulte dans le diagramme ci-dessous.

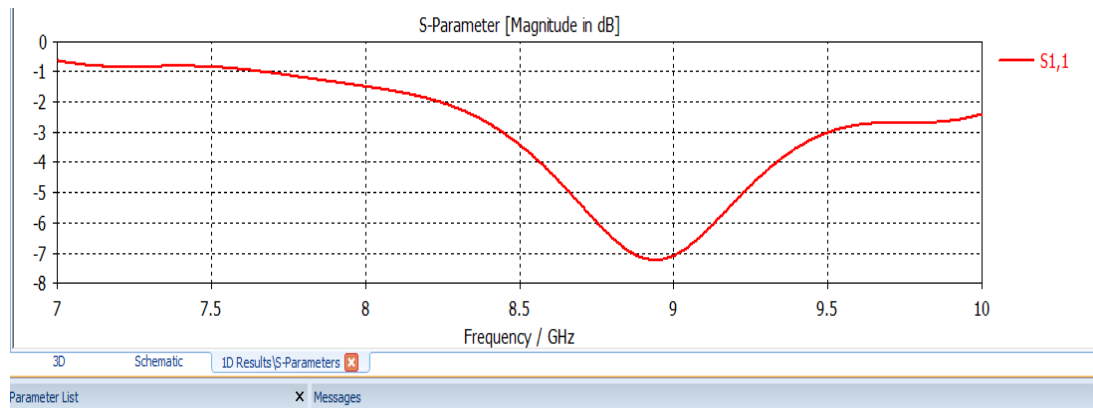


Figure 4.11: Courbe du paramètre S_{11} avec encoche

Dans la deuxième figure le coefficient S_{11} est d'ordre de -7 dB à la même fréquence de résonance.

On remarque que l'encoche a un impact sur l'amplitude en fonction de la fréquence.

Les deux graphes montrent le comportement de l'antenne selon la présence ou l'absence de l'encoche.

4.6 Conclusion :

La miniaturisation des antennes patch permet de mieux les intégrer dans les objets communicants. Et pour cela nous avons utilisé l'une des méthodes de miniaturisation qui est l'insertion de la fente, et d'après cette étude on déduit que :

- ✓ Le but de la fente et l'augmentation de la longueur du patch entraîne la diminution de la fréquence de résonance. Donc on diminuera les dimensions de l'antenne munie d'une fente pour qu'elle résonne à la fréquence dérivée. En effet, le but de la miniaturisation est de réduire la taille de l'antenne tout en gardant les caractéristiques électromagnétiques optimales (bande passante et le gain).
- ✓ Le but de l'encoche est de minimiser les ondes réfléchies, et donc de mieux adapter la ligne d'alimentation à l'antenne.
- ✓ Le CST est vraiment un outil d'aide à la conception d'antenne, simple, rapide, efficace et surtout économique.

CONCLUSION

Le travail qui a été effectué dans le cadre de ce mémoire est l'initiation au CST, la conception et la miniaturisation d'une antenne patch.

Dans un premier temps une présentation générale des antennes nous a permis de bien assimiler leur principe de fonctionnement et leur méthode théorique de calculs. L'étude bibliographique nous a servi de base pour la partie simulation.

Après la présentation du logiciel CST, nous avons simulé notre antenne imprimée alimentée par une ligne micro ruban. Une étude paramétrique a été élaborée pour comprendre l'effet de la longueur. Ceci nous a menés à la conclusion qu'il existe une corrélation inverse entre la longueur du patch L et la fréquence de résonance : si la longueur augmente la fréquence diminue, et inversement la diminution de la longueur augmente la fréquence.

Parmi les méthodes de miniaturisation, nous avons choisis l'insertion de fentes dans l'antenne patch. La fente a permis de détourner les courants générés par la ligne micro ruban, ce qui allonge l'itinéraire du courant. Ceci induisant une baisse de fréquence de résonance sans affecter la bande passante de l'antenne.

Un système d'adaptation à base de fente est aussi mis en œuvre. Notre étude nous a permis de constater que le CST est vraiment un outil d'aide indispensable lors de la conception d'antenne. Il est simple, rapide et efficace. En outre, il est économique car il nous a évité : la fabrication de prototypes : on ne réalisera que le prototype optimisé.

Ce travail peut être complété par l'utilisation de ce logiciel dans d'autres domaines tels que les dispositifs micro ondes, la compatibilité électromagnétique, l'électrostatique. En effet, ces systèmes sont régis par les équations de Maxwell et le CST, justement, les résoud numériquement.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Bruno Delorme : << les antennes dans les réseaux de téléphonie mobile>> , Paris,2010
- [2] Odile Picon et Coll : << Les Antennes Théorie, conception et application >> , Paris,2009
- [3] Aberkane Djamila, Mémoire de fin d'étude de master académique :<< Etude des antenne à ouverture rayonnantes >>, UMMTO 2011
- [4] Chorfi Hamid , thèse de doctorat << conception d'un nouveau système d'antenne réseau en onde millimétrique >> , Université du Québec ,2012
- [5] Oumy Diop, thèse de doctorat << Etude de miniaturisation du facteur de qualité d'antenne miniature conçue pour des petits objets communiquant >>, de l'Université de Nice.2013
- [6] Jacques Pezzani & Philippe Picard :<< Les Antennes>>, Paris.2007
- [7] Belgacem Nassima , Mémoire de fin d'étude de master académique:<< Conception des antennes PIFA mono-bande et multi-bande GSM,DCS, PCS, UMTS et WIFI>> Université de Tlemcen, 2013
- [8] Guenach Mohamed , diplôme de magister:<< Conception d'une antenne PIFA Multi-bandes pour applications sans fils>> , Université du Maroc ,2016
- [9] Jean Marc Laheurte :<< Petite antenne >>,Paris,2011
- [10] Arab Tarik, diplôme de Magister:<< Etude des matériaux composites (Titanate oxyde): application pour la réalisation des substrats d'antennes miniature >> , Université de Sétif,2014
- [11] Sarah Sufyar,Thèse de doctorat :<< Contribution à l'étude d'antenne Miniature Reconfigurables en fréquence par association d'élément actifs>>,Université de Grenoble,2011