

III.1. Introduction :

Dans ce chapitre nous exposons les résultats numériques obtenus, concernant l'influence des paramètres de la structure d'antenne microruban (patch) de forme circulaire sur la fréquence de résonnance, la bande passante et la directivité. Nous a utilisé le logiciel de simulation CST Microwave Studio pour notre simulation.

III.2. Présentation du logiciel CST MICROWAVE STUDIO :

Durant ces dernières années, le développement de techniques rigoureuses permettant de résoudre les équations de Maxwell a introduit et imposé des outils informatiques en électromagnétisme. Ces outils sont de plus en plus utilisés dans l'analyse et la conception des dispositifs hyperfréquences utilisés dans les applications micro-ondes et de communications sans fil. Des logiciels de simulation disponible dans le commerce utilisant différentes méthodes numériques, dans notre étude nous avons utilisé le CST : Microwave Studio avec la méthode FIT finit intégration technique [1,2].

Dans Microwave-studio, chaque cellule du maillage est cubique. L'outil de résolution temporelle remplace les dérivées partielles par des différentielles Δt . Nous avons choisi ce logiciel car l'utilisation d'un outil de résolution dans le domaine temporel est très avantageuse en termes de temps de calcul pour la simulation d'antenne à large bande passante [3].

IL existe plusieurs simulateurs des circuits électromagnétiques qui sont basés sur une des méthodes :

- ✚ FDTD: finite difference time domain;
- ✚ FEM: Finite element method;
- ✚ MOM: moment method;
- ✚ FIT: Finite Integration Technique ;
- ✚ FVI: finite volume integral ;
- ✚ TLM : transmission Line Matrix.....etc

Dans ce chapitre nous montrons comment créer, simuler et analyser une antenne microruban (patch) circulaire en utilisant l'environnement de conception CST MICROWAVE STUDIO [3].

CST MICROWAVE STUDIO est un outil spécialisé pour la simulation et la conception électromagnétique trois dimensions (3D) des composantes hautes fréquences [3].

Il simplifie le processus de saisie de la structure et la définition des équipements en fournissant une interface graphique de modélisation puissante et solide Figure (III-1). Après la modélisation du composant, une procédure de maillage automatique peut être appliquée avant que le moteur de simulation ne soit lancé [3].

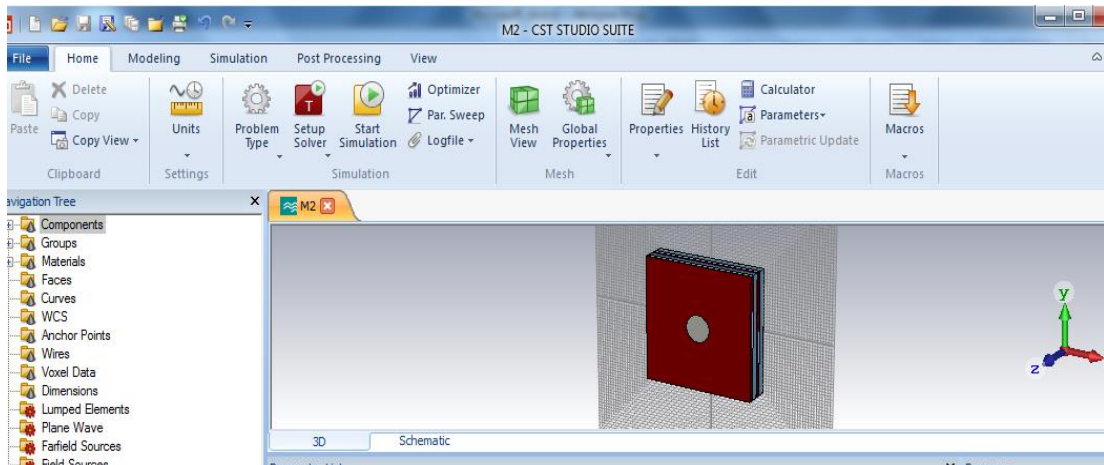


Figure (III-1) : Interface graphique de CST MICROWAVE STUDIO.

CST MICROWAVE STUDIO est un module qui fait partie du logiciel CST STUDIO SUITE et propose un certain nombre de solveurs pour différents types d'application. Comme aucune méthode ne fonctionne aussi bien dans tous les domaines d'application, le logiciel contient quatre techniques différentes de simulation (solveur transitoire, solveur fréquentiel, solveur d'équation intégrale, et solveur de mode propre) pour mieux répondre aux applications particulières. L'outil le plus flexible est le solveur transitoire, qui peut obtenir le comportement fréquentiel pour une large bande de fréquence par une seule et unique simulation (contrairement à l'approche fréquentielle de nombreux autres simulateurs) [4, 3].

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

III.3. La méthode d'intégration finie :

La combinaison de propriétaire PERFECT BOUNDARY APPROXIMATION (PBA) à l'efficacité inégalée de la méthode des intégrales finies est la base de CST MICROWAVE Studio succès [5, 2].

FIT a été proposé en (1977) par Thomas Weiland et a été amélioré continuellement au fil des ans. Cette méthode s'applique à l'ensemble de l'électromagnétisme (à partir de l'électricité statique à haute fréquence) et des applications optiques constituent la base pour les outils de simulation commerciale [5, 2].

En raison de sa capacité à résoudre des problèmes électromagnétiques à la fois dans le temps et dans le domaine fréquentiel, pour une variété de propriétés des matériaux, et à son exceptionnel numérique efficacité et précision, la FIT a été utilisé dans le monde entier dans la simulation d'une large gamme d'appareils, de DC à THz. Par ailleurs, la méthode d'intégration finie contribue, dans la dernière décennie, à des changements fondamentaux de point de vue pour d'autres méthodes numériques, telles que la méthode des éléments finis [5, 2].

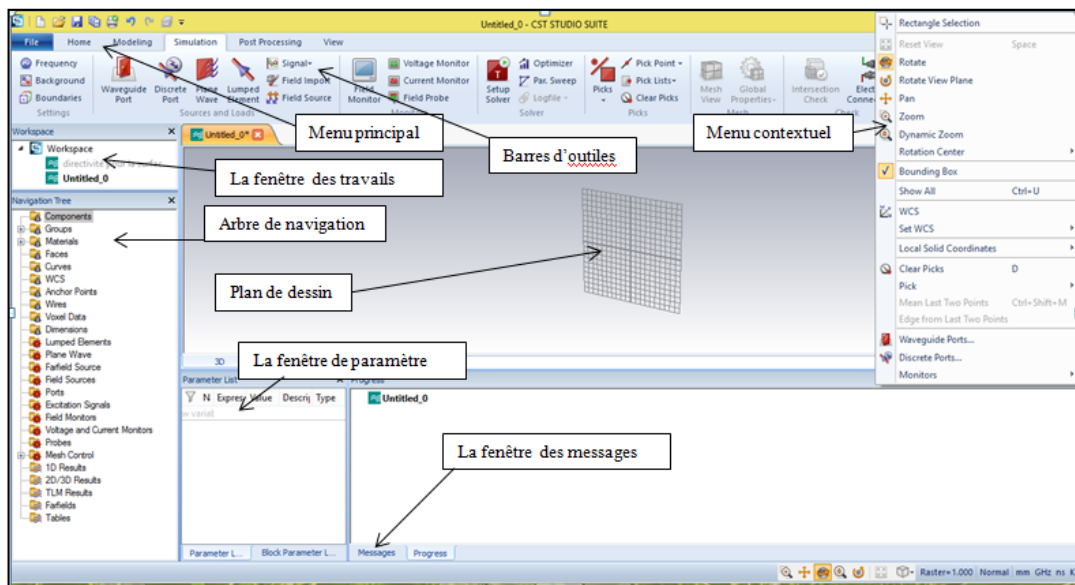


Figure (III-2) : La fenêtre principale du logiciel CST (2015).

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

Les menus contextuels sont un moyen souple d'accéder à des commandes de menu les plus fréquemment utilisées pour le contexte actuel. Le contenu de ce menu qui peut

être ouvert en appuyant sur le bouton droit de la souris.

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

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

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

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

III.4. Exemple d'un projet en CST :

III.4.1. Démarrer le logiciel :

Après le démarrage CST Studio Suite, vous serez invité à ouvrir un fichier existant ou à créer un nouveau projet:

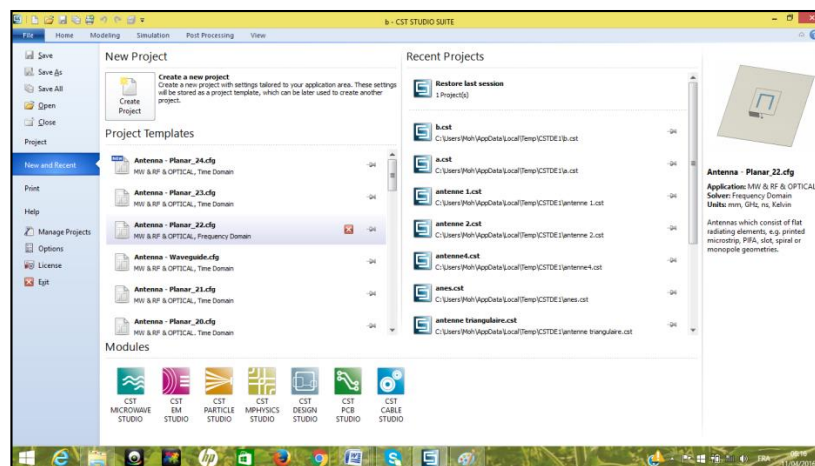
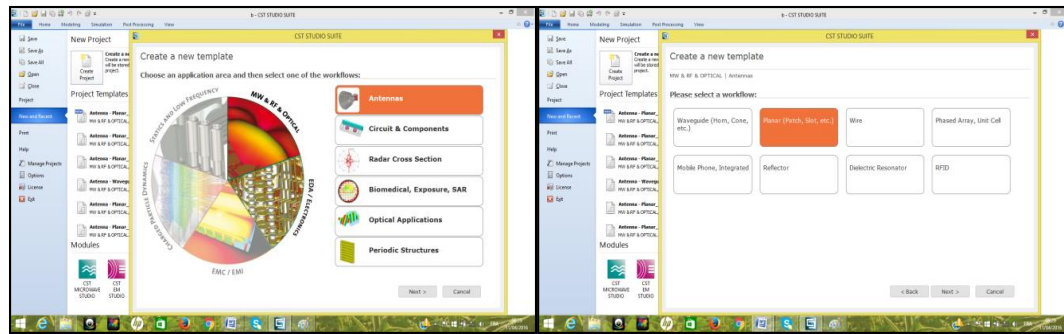
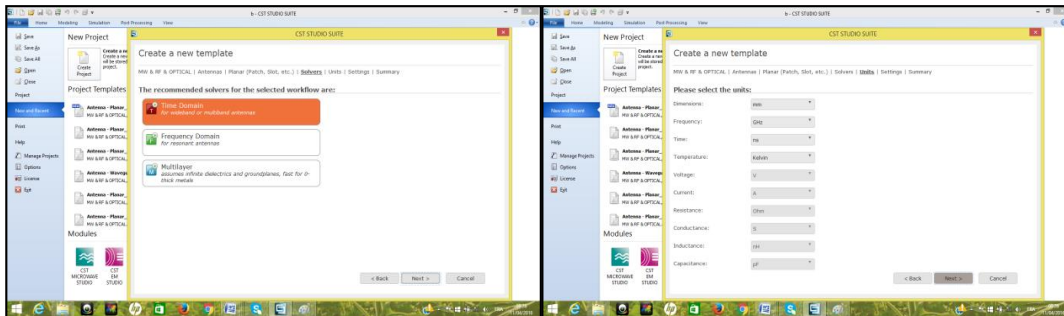


Figure (III-3) : La fenêtre d'accueil.



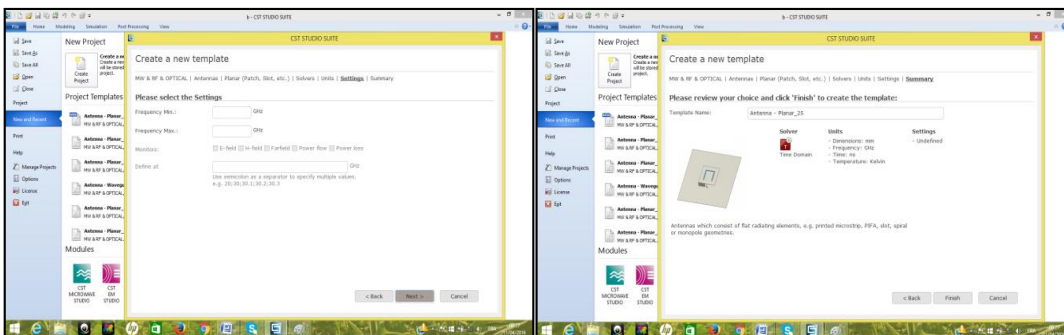
(a)

(b)



(c)

(d)




(e)

(f)

Figure (III-4) (a-b-c-d) : Les fenêtres pour créer un nouveau projet.

III.4.2. Créer le plan de masse :

- 1- Activez l'outil de briques en cliquant sur l'icône correspondante  dans la barre d'outils de l'objet (modeling).
- 2- On peut définir un point de départ par un double-clic sur un emplacement sur le plan du dessin.
- 3- Maintenant, on peut sélectionner la base de la face de coin de la brique sur le plan du dessin par double-clic dessus.
- 4- Ensuite, définir la hauteur de la brique en faisant glisser la souris. Double-cliquez pour fixer la hauteur de la brique.

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

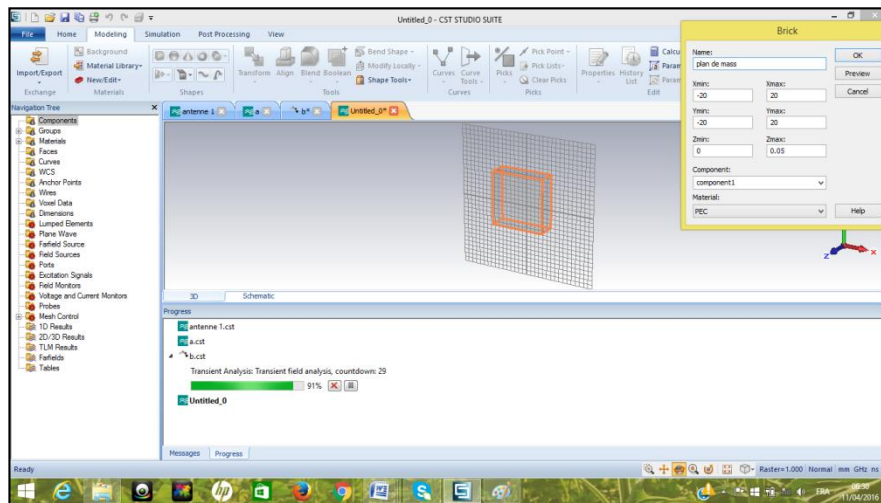



Figure (III-5) : Créer un plan de masse.

III.4.3. Créer des substrats diélectriques :

Le substrat est constitué de quatre couches diélectriques.

Pour créer les couches 1 et 3 il faut :

- 1- Choisir dans la barre d'outils l'icône correspondante  et les mêmes étapes que celles du plan de masse.
- 2- En utilisant la boîte de dialogue, on va introduire les valeurs numériques et choisir le matériau dans ce cas (vacuum : air) cliquez sur OK
- 3- Pour créer les couches 2 et 4 mêmes étapes de la création les couches 1 et 3, mais le matériau dans ce cas (paper (oilimpregnated))

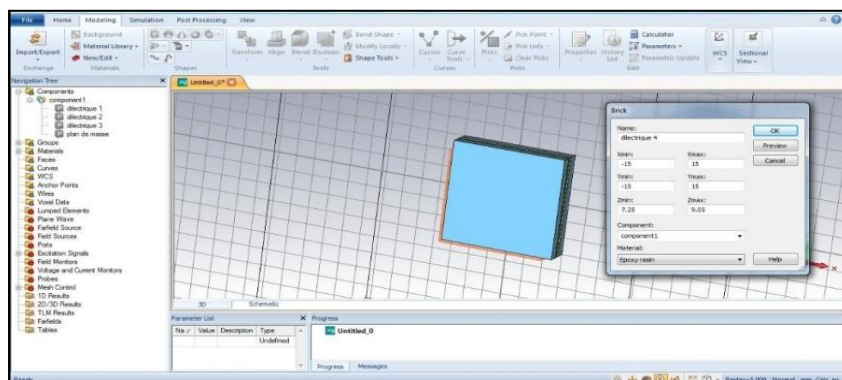



Figure (III-6) : Créer des substrats diélectriques.

III.4.4. Créer le patch :

- 1- Choisir dans la barre d'outils l'icône correspondante  et les mêmes étapes du plan de masse.
- 2- En utilisant la boîte de dialogue, on va introduire les valeurs numériques et choisir le matériau dans ce cas (PEC) et cliquez sur OK.

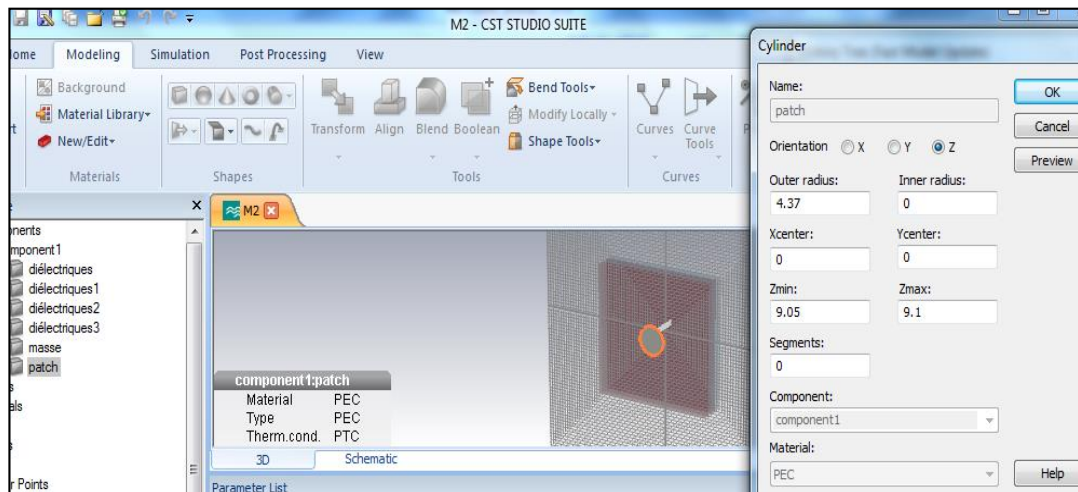

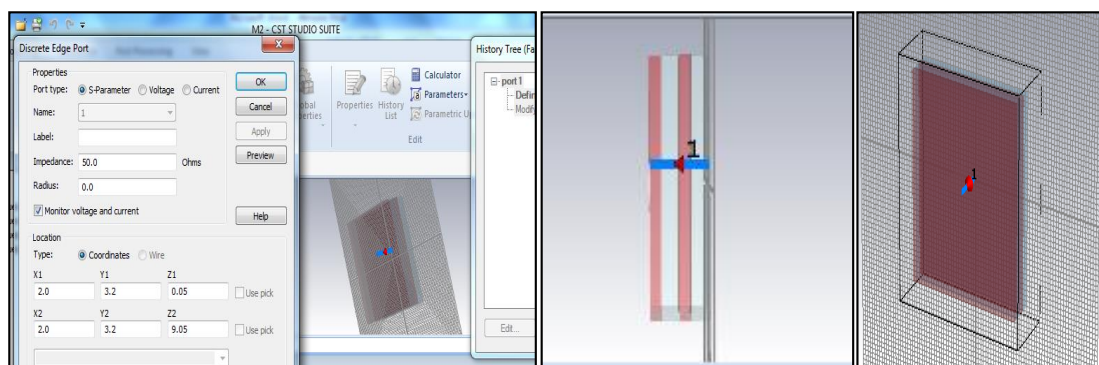


Figure (III-7) : Créer le patch.

III.4.5. Définir le port :

- 1-Activez l'outil de PORT en cliquant sur l'icône correspondante  dans la barre d'outils de l'objet.
- 2-En utilisant la boîte de dialogue s'ouvre on va entrer l'emplacement de ce port suivant x, y et




(a)

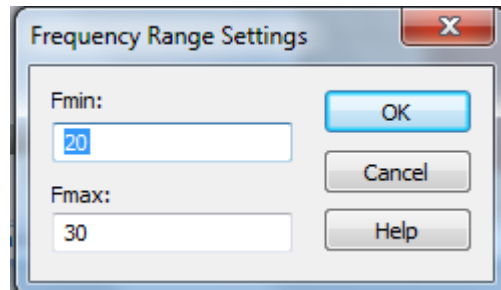
(b)

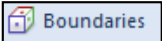
(c)

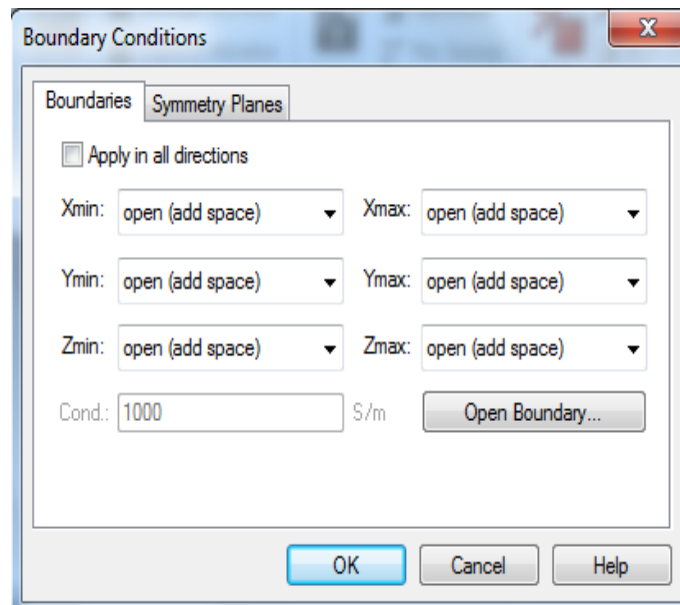
Figure (III-8) (a-b-c) : Définir le port.

III.4.6. Définir le domaine de fréquence :

- 1- Activez l'outil de fréquence en cliquant sur l'icône correspondante  dans la barre d'outils de l'objet.
- 2- En utilisant la boîte de dialogue on limite le domaine de fréquence et cliquez sur OK.

**Figure (III-9) : Définir le domaine de fréquence.****III.4.7. Définir les conditions au bord :**

- 1- Activez l'outil de condition au bord en cliquant sur l'icône correspondante  dans la barre d'outils de l'objet.
- 2- En utilisant la boîte de dialogue on choisit (open add space) sur tous les directions dans notre cas et cliquez sur OK.

**Figure (III-10) : Définir les conditions au bord.**

III.4.8. La simulation :

Pour lancer la simulation il faut :

- 1- Activez l'outil de simulation en cliquant sur l'icône correspondante dans la barre d'outils de l'objet.
- 2- En utilisant la boîte de dialogue on peut choisir la précision -30.0 dB et cliquez sur **Start**>

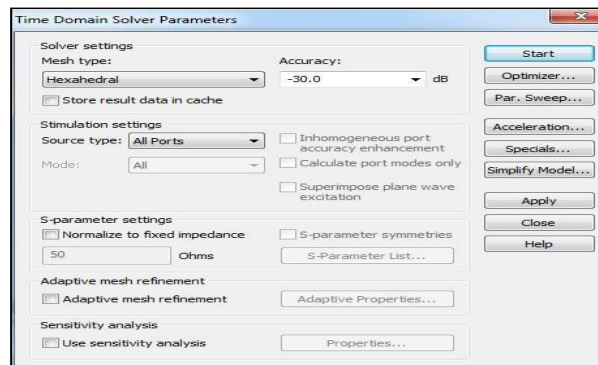


Figure (III-11) : choisir la précision.

III.4.9. Résultats :

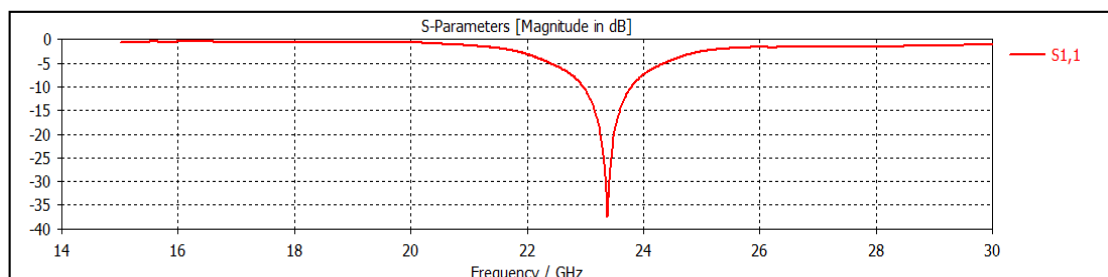


Figure (III-12) : Coefficient de réflexion S11 pour une antenne patch circulaire.

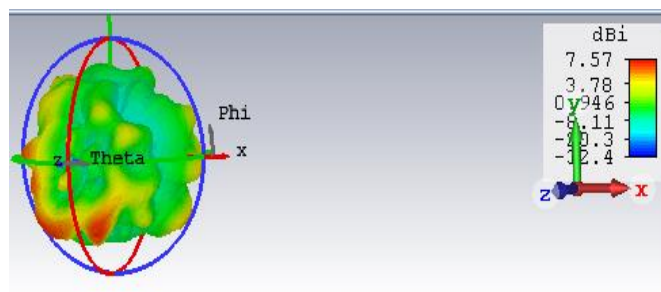


Figure (III-13) : directivité en 3D d'une antenne patch circulaire.

III.5. Présentation de la structure :

La structure de base que nous avons adoptée pour notre antenne est une structure composée d'un plan de masse, d'un substrat à BIE de type 1D qui est constitué de quatre couches : deux couches diélectriques d'une permittivité de $\epsilon_{r1}=1$ (vacuum), d'épaisseur $h_1=2.7\text{mm}$ et les deux couches diélectriques d'une permittivité de $\epsilon_{r2}=3.87$ (paper (oil impregnated)), de l'épaisseur $h_2=1.8\text{mm}$, le rayon du patch circulaire $R=4.37\text{mm}$ et les dimensions du substrat $a=b=40\text{mm}$. Cette antenne est alimentée par une sonde coaxiale.

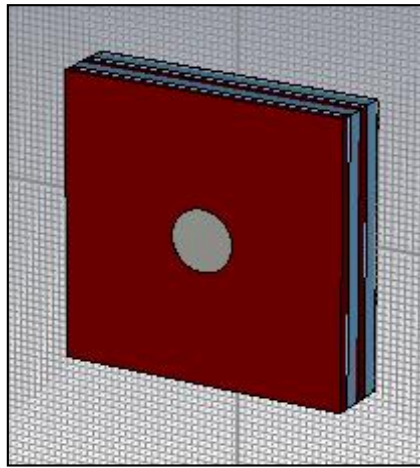
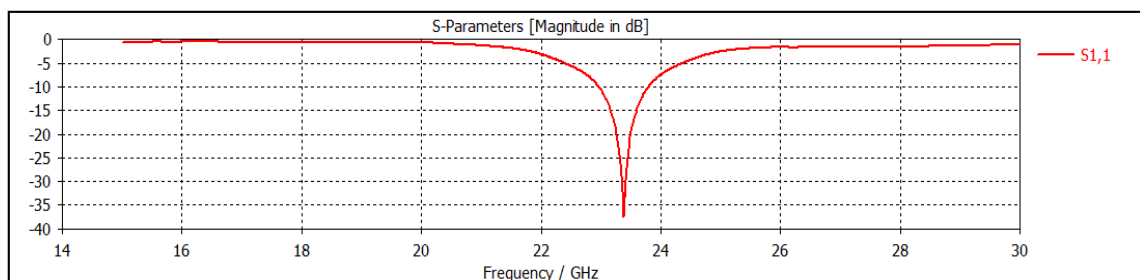


Figure (III-14) : La Structure de l'antenne microruban.



Figure(III-15) : Coefficient de réflexion S11 pour une antenne patch circulaire.

A partir du Figure (III-15) qui représente le coefficient de réflexion S_{11} pour une antenne patch circulaire, on remarque que la fréquence de résonance est 23.379 GHz.

III.6. Influence des paramètres de l'antenne sur la directivité :

Dans cette partie on étudie la variation de la directivité de la fréquence de résonance en fonction des paramètres de l'antenne, premièrement on compare une structure à substrat normal avec une structure à substrat à BIE, et ensuite l'influence des paramètres géométriques (rayon et épaisseurs des substrats) et la permittivité des différentes couches sur la directivité.

III.6.1. Comparaisons entre une antenne à un substrat à BIE et un substrat normal :

On étudie la variation de la directivité de deux antennes microrubans de forme circulaire: une à substrat à BIE, de rayon $R=4.37\text{mm}$, la permittivité du substrat qui est constitué de quatre couches : deux couches diélectriques de permittivité $\epsilon_{r1}=1$, et leurs épaisseur $h_1=2.7\text{mm}$ et les deux autres couches diélectriques (paper (oil impregnated)) de permittivité $\epsilon_{r2}=3.87$, d'épaisseur $h_2=1.8\text{mm}$, et une antenne à substrat normal dans ce cas on utilise le diélectrique paper (oil impregnated) d'épaisseur $h=9\text{mm}$.

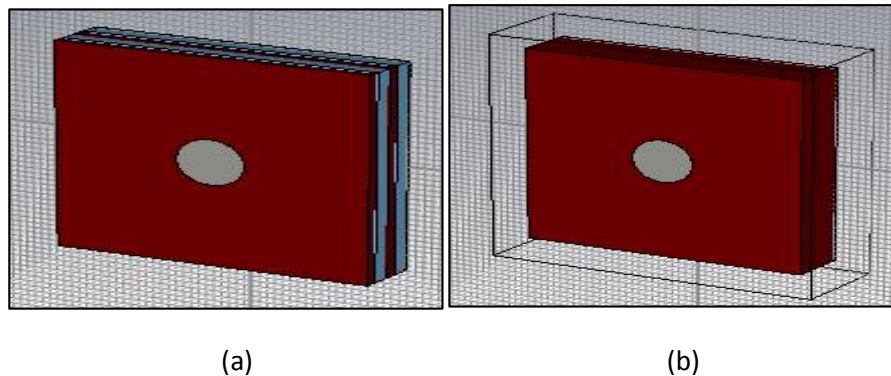


Figure (III-16) : Structure des antennes : a) à substrat à BIE b) à substrat normal.

La Figure (III-17) permet une visualisation en 3D la directivité pour les deux antennes.

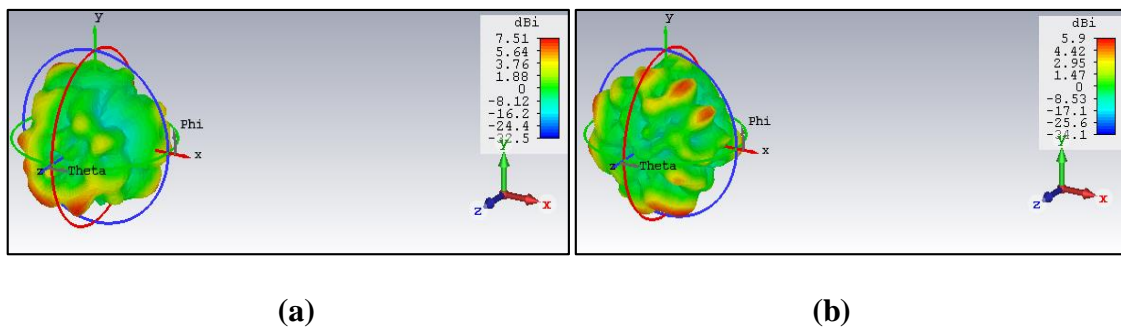


Figure (III-17) : La directivité en 3D : a) Substrat à BIE b) Substrat normal.

À partir de figure (III-17) on déduit la directivité sur le tableau (III-1).

Substrat	Directivité (dBi)
Normal	5.9
BIE	7.51

Tableau (III-1) : La directivité pour différents substrats.

A partir du Tableau (III-1) et la Figure (III-17) pour différents substrats, on remarque que la directivité est plus importante pour le substrat à BIE par rapport au substrat normal.

IV.6.2. Effet de la variation de la constante diélectrique ϵ_{r1} :

On étudie la variation de la directivité en fonction de la constante diélectrique ϵ_{r1} . L'antenne microruban à substrat à BIE a un rayon du patch $R=4.37$ mm les épaisseurs $h_1= 2.7$ mm, les deux couches diélectriques ont une permittivité $\epsilon_{r2}=3.87$, et leurs épaisseur $h_2=1.8$ mm, la longueur et la largeur du substrat $a=b=40$ mm.

La Figure (III-18) permet une visualisation en 3D de la directivité, dans le Tableau III-2 les résultats obtenus pour une variation de la constante diélectrique ϵ_{r1} .

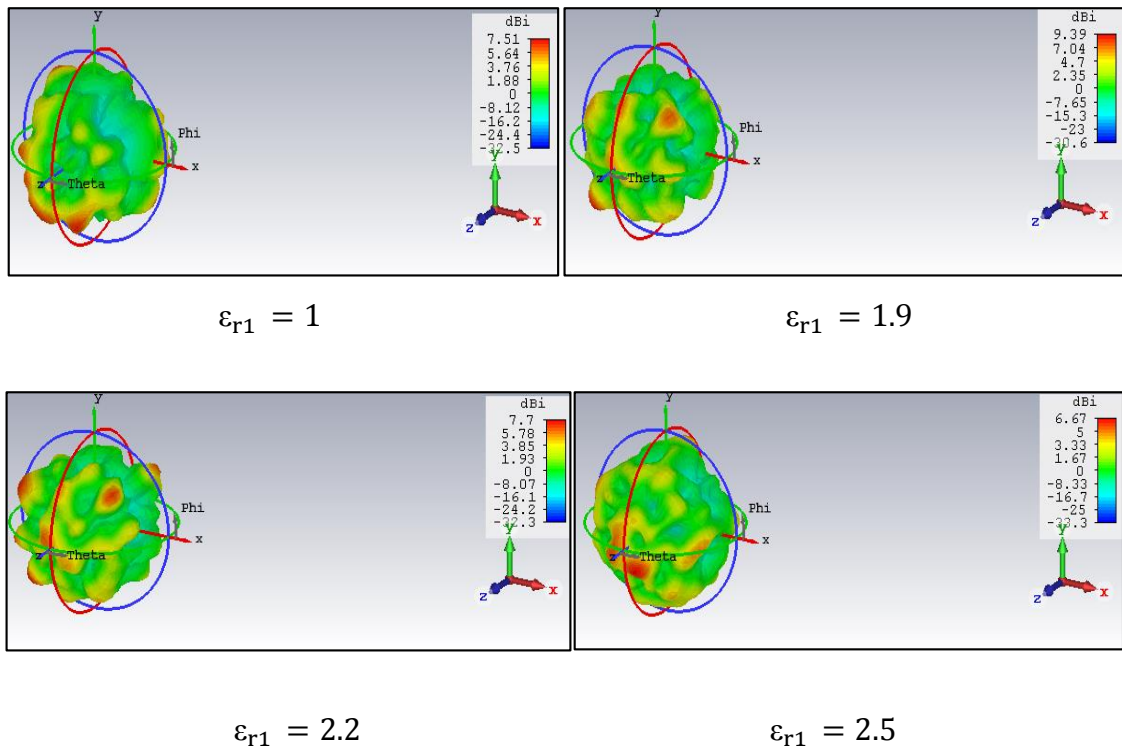


Figure (III-18) : La directivité en 3D pour différents valeurs de la permittivité ϵ_{r1} .

A partir de Figure (III-18) on déduit la directivité sur le Tableau (III-2).

Permittivité	Directivité
1	7.51
1.9	9.39
2.2	7.7
2.5	6.67

Tableau (III-2) : Variation de la directivité pour différents valeurs de la permittivité ϵ_{r1} .

A partir du Tableau (III-2) et la Figure (III-18) pour différentes valeurs de la permittivité ϵ_{r1} de substrat on note que : la directivité dépend de la permittivité ϵ_{r1} , mais la variation de la directivité n'est pas uniforme.

III.6.3. Effets de la variation de permittivité ϵ_{r2} :

On étudie la variation de la directivité en fonction de la constante diélectrique ϵ_{r2} , d'une antenne microruban à substrat à BIE pour une rayon du patch $R= 4.37\text{mm}$, les deux couches diélectriques ont une permittivité $\epsilon_{r1}=1$, et leurs épaisseurs $h_1=2.7\text{mm}$ et $h_2=1.8\text{mm}$, la longueur et la largeur du substrat $a=b= 40\text{mm}$.

La Figure (III-19) permet une visualisation en 3D de la directivité pour différentes valeurs de la permittivité ϵ_{r2} .

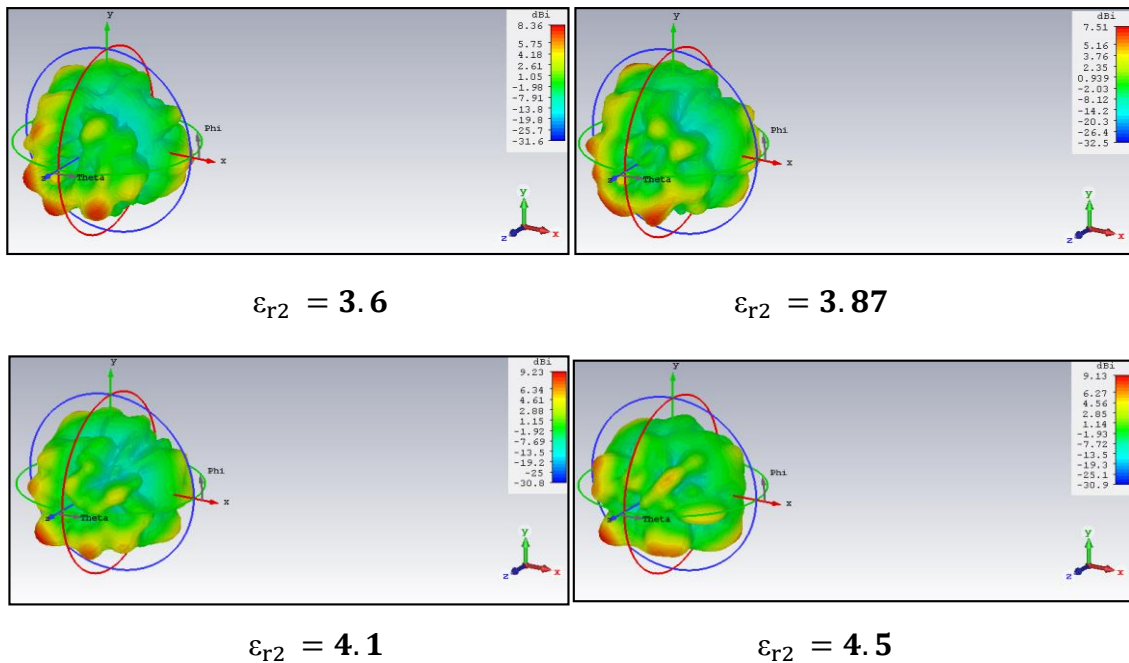


Figure (III-19) : la directivité en 3D pour différentes valeurs de la permittivité ϵ_{r2} .

A partir de Figure (III-19) on déduit la directivité sur le Tableau (III-3).

La constante diélectrique ϵ_{r2}	Directivité (dBi)
3.6	8.36
3.87	7.51
4.1	9.23
4.5	9.13

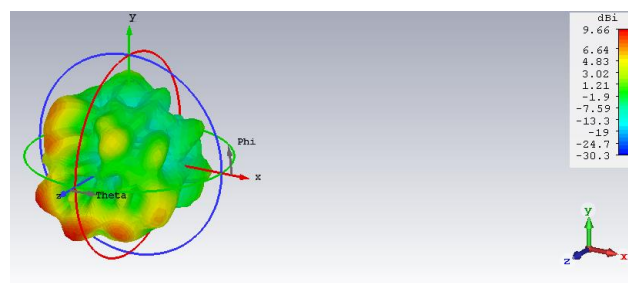
Tableau (III-3) : Variation de la directivité en fonction de la permittivité ϵ_{r2} .

A partir du Tableau (III-3) et la Figure (III-19) pour différentes valeurs de la permittivité ϵ_{r2} du substrat on note que: la directivité dépend de la permittivité ϵ_{r2} , mais la variation de la directivité n'est pas uniforme.

III.6.4. L'effet de Variation de l'épaisseur de substrat h_1 :

On étudie la variation de la directivité en fonction de la variation de l'épaisseur du substrat à partir de variation de l'épaisseur h_1 d'une antenne pour un rayon du patch $R=4.37$ mm, les deux diélectriques ont une permittivité $\epsilon_{r1}=1$, et $\epsilon_{r2}=3.87$, l'épaisseur $h_2=1.8$ mm, la longueur et la largeur du substrat $a=b=40$ mm.

La Figure (III-20) permet une visualisation en 3D de la directivité pour une variation de l'épaisseur h_1 .



$$h_1 = 2 \text{ mm}$$

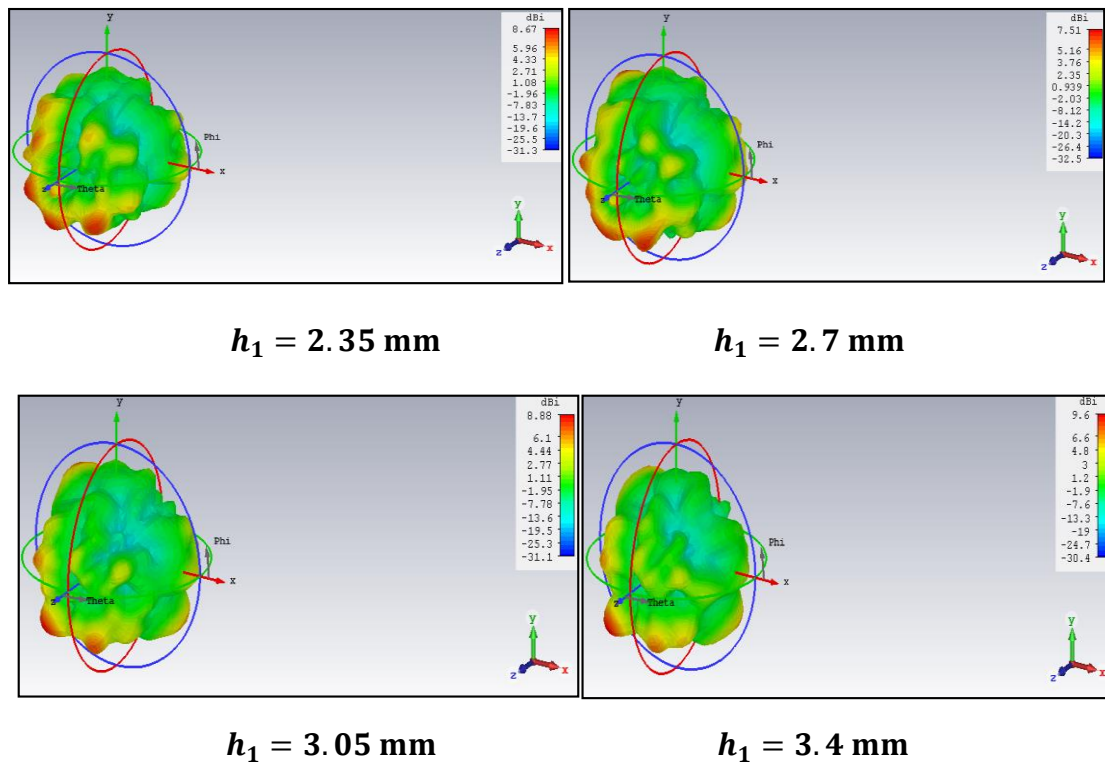


Figure (III-20) : La directivité en 3D pour une variation de l'épaisseur h_1 .

A partir de Figure (III -20) on déduit la directivité sur le Tableau (III-4).

Epaisseur du substrat du patch h_1 (mm)	Directivité (dBi)
2	9.66
2.35	8.67
2.7	7.51
3.05	8.88
3.4	9.6

Tableau (III-4) : Variation de la directivité en fonction de l'épaisseur de substrat de patch h_1 (mm).

A partir du Tableau (III-4) et la Figure (III-20) pour différente valeur de l'épaisseur du substrat du patch h_1 , on note que la directivité dépend de l'épaisseur du substrat du patch h_1 mais la variation de la directivité n'est pas uniforme.

III.6.5. L'effet de Variation des dimensions du patch circulaire :

On étudie la variation de la directivité en fonction de la variation du rayon R du patch circulaire, les deux couches diélectriques ont une permittivité $\epsilon_{r1}=1$, et $\epsilon_{r2}=3.87$, leurs épaisseurs $h_1=2.7$ mm et $h_2=1.8$ mm, la longueur et la largeur du substrat $a=b=40$ mm.

La Figure (III-21) permet une visualisation en 3D de la directivité pour une variation du rayon R du patch circulaire.

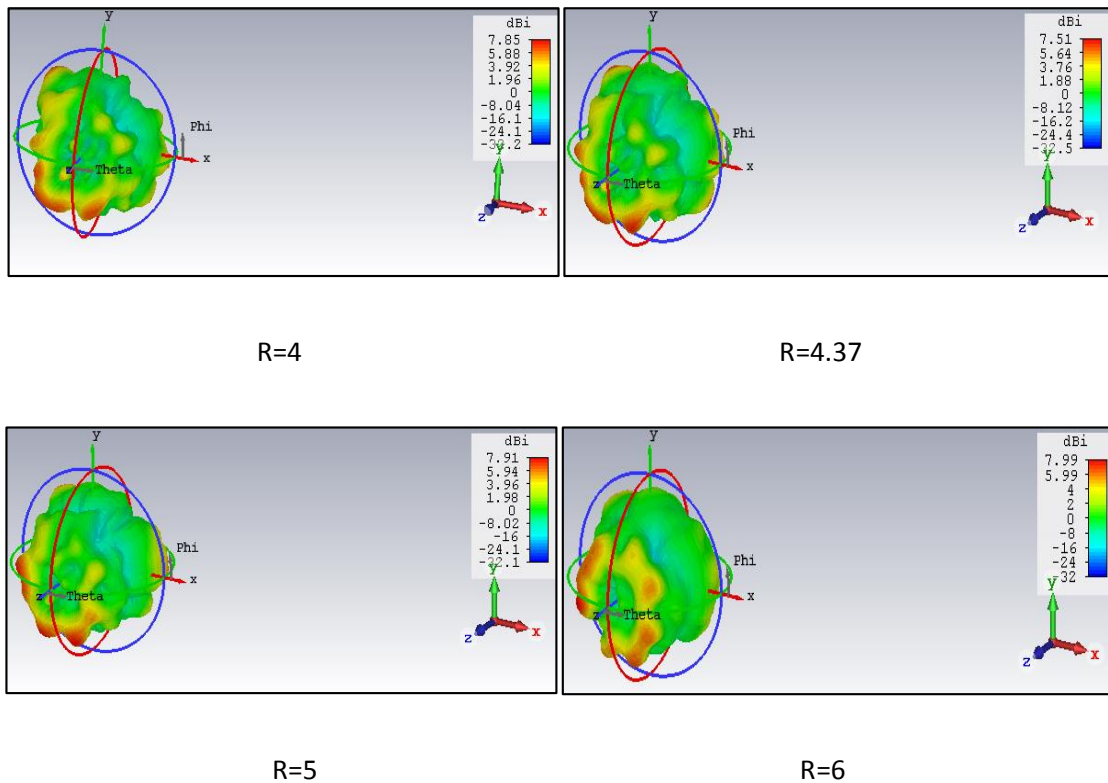


Figure (III-21) : la directivité en 3D pour une variation de la rayon R du patch.

A partir de Figure (III-21) on déduit la directivité sur le Tableau (III-5).

La rayon de patch R mm	Directivité (dBi)
4	7.85
4.37	7.51
5	7.91
6	7.99

Tableau (III-5) : Variation de la directivité pour une variation de la rayon R du patch.

À partir du Tableau (III-5) et la Figure (III-21) pour différentes valeurs de la rayon du patch **R (mm)** on note que la directivité dépend du rayon **R** du patch, mais la variation de la directivité n'est pas uniforme.

III.7. Influence des paramètres de l'antenne sur la fréquence de résonance et la bande passante :

Nous allons étudier l'effet de la variation des paramètres physique tels que les permittivités des différentes couches du substrat, et les paramètres géométriques tels que le rayon du patch et les épaisseurs des diélectriques sur la fréquence de résonance et la bande passante.

On a pris les valeurs $\epsilon_{r1}=1$ (vacum), 1.96 (Rogers RT 5880LZ(loss free)), 2.2 (Arlon Di 880 (loss free)) , 2.5 (Arlon AD 250 (loss free)) et $\epsilon_{r2}=3.6$ (Arlon AD 360 (loss free)), 3.87 (paper (oil impregnated)), 4.1(Getek ML200M (loss free)), 4.5(Arlon AR 450 (loss free)).

III.7.1. Effet de la variation de la permittivité ϵ_{r1} :

On étudie la variation de la fréquence de résonance et la bande passante en fonction de la permittivité ϵ_{r1} d'une antenne pour un rayon du patch **R=4.37mm**, les deux couches diélectriques ont une permittivité $\epsilon_{r2}=3.87$ (Paper (Oil Impregnated)), et leurs épaisseurs **h₁=2.7mm** et **h₂=1.8 mm**, la longueur et la largeur du substrat **a=b=40mm**.

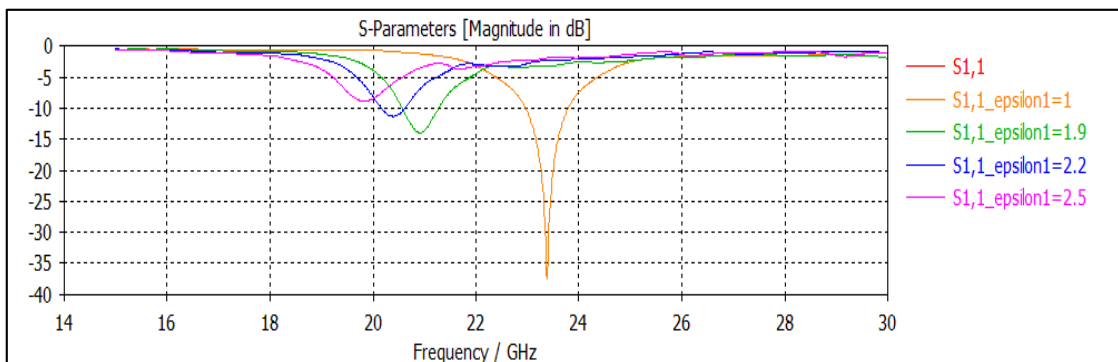


Figure (III- 22) : Coefficient de réflexion S_{11} pour différentes valeurs de la permittivité (ϵ_{r1}).

A partir des courbes du coefficient de réflexion S_{11} Figure (III-22), on déduit la fréquence de résonance et la bande passante de la structure étudiée en fonction de la constante diélectrique (ϵ_{r1}) Tableau (III-6).

Permittivité (ϵ_{r1})	Fréquence de résonance (GHz)	Bande passante (GHz)
1	23.379	0.8607
1.9	20.931	0.805
2.2	20.398	0.6
2.5	19.735	-

Tableau (III-6) : La fréquence de résonance et la bande passante pour différentes valeurs de la permittivité (ϵ_{r1}).

A partir du Tableau (III-6) et les courbes de la Figure (III-22) pour différentes valeurs de la permittivité ϵ_{r1} on remarque que la fréquence de résonance et la bande passante diminuent avec l'augmentation de la constante diélectrique ϵ_{r1} .

III.7.2. Effet de la variation de la permittivité ϵ_{r2} :

On étudie la variation de la fréquence de résonance et la bande passante pour différentes valeurs de la permittivité ϵ_{r2} d'une antenne pour un rayon du patch $R=4.37\text{mm}$, les deux couches diélectriques ont une permittivité $\epsilon_{r1}=1$, et leurs épaisseurs $h_1=2.7\text{mm}$ et $h_2=1.8\text{ mm}$, la longueur et la largeur du substrat $a=b=40\text{mm}$.

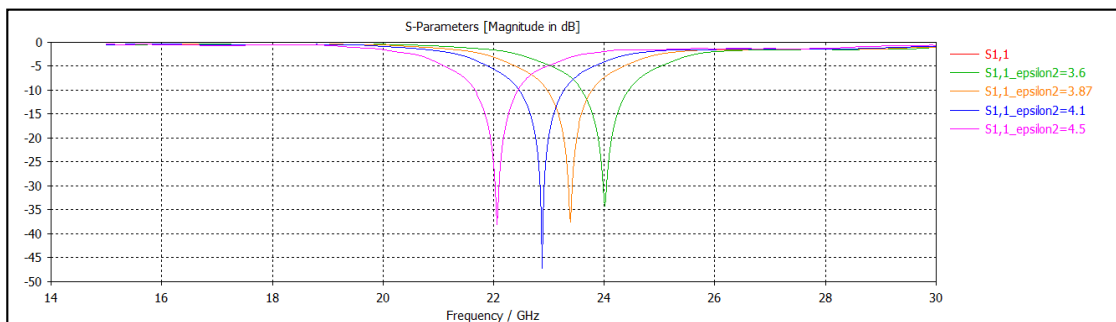


Figure (III-23) : Coefficient de réflexion S_{11} pour différentes valeurs de la permittivité (ϵ_{r2}).

Permittivité (ϵ_{r2})	Fréquence de résonance (GHz)	Bande passante (GHz)
3.6	24.075	0.9159
3.87	23.379	0.8607
4.1	23.017	0.8570
4.5	22.105	0.8315

Tableau (III-7) : Variation de la fréquence de résonance et la bande passante en fonction de valeur de la constante diélectrique (ϵ_{r2}).

A partir du Tableau (III-7) et les courbes de la Figure (III-23) pour différentes valeurs de la permittivité ϵ_{r2} , on remarque que la fréquence de résonance et la bande passante diminuent avec l'augmentation de la permittivité ϵ_{r2} .

Remarque :

On remarque que dans le cas de la variation de ϵ_{r1} , on a une grande influence sur l'adaptation.

Par contre dans le cas de la variation de ϵ_{r2} l'antenne est restée adaptée.

III.7.3. Effet de l'épaisseur du substrat h_1 :

On étudie la variation de la fréquence de résonance et la bande passante en fonction de la variation de l'épaisseur de substrat h_1 d'une antenne pour un rayon du patch $R=4.37\text{mm}$, les deux couches diélectriques ont une permittivité $\epsilon_{r1}=1$, et $\epsilon_{r2}=3.87$ leur épaisseur $h_2=1.8\text{ mm}$, la longueur et la largeur du substrat $a=b=40\text{mm}$.

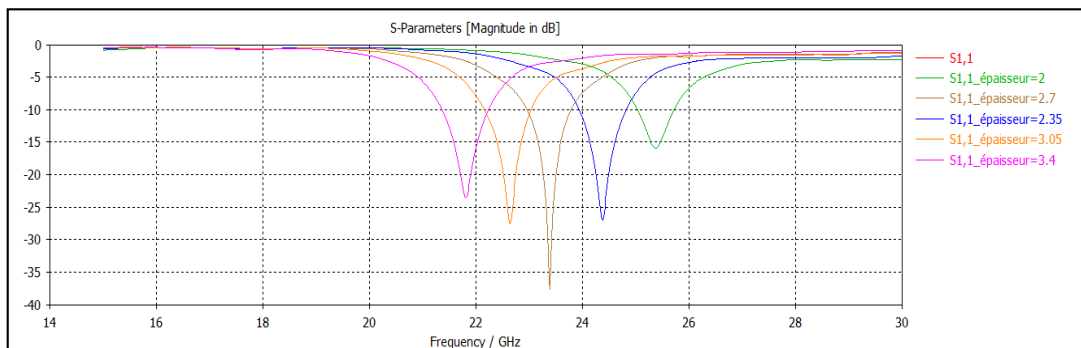


Figure (III-24) : Coefficient de réflexion S_{11} pour différentes valeurs de l'épaisseur du substrat h_1 .

épaisseur de vacum h_1 (mm)	Fréquence de résonance (GHz)	Bande passante (GHz)
2	25.38	0.8957
2.35	24.375	0.8923
2.7	23.379	0.8607
3.05	22.635	0.8345
3.4	21.81	0.7196

Tableau (III-8) : Fréquence de résonance et bande passante pour différentes valeurs de l'épaisseur du substrat h_1 .

A partir du Tableau (III-8) et les courbes de la Figure (III-24) pour différentes valeurs de l'épaisseur de substrat h_1 , on remarque que la fréquence de résonance et la bande passante diminuent avec l'augmentation de l'épaisseur du substrat.

III.7.4. Effet de la variation des dimensions du patch circulaire :

On étudie la variation de la fréquence de résonance et la bande passante en fonction de la Variation du rayon R du patch circulaire, les deux couches diélectriques ont les permittivités : $\epsilon_{r1}=1$, et $\epsilon_{r2}=3.87$ leurs épaisseurs $h_1=2.7$ mm et $h_2=1.8$ mm, la longueur et la largeur du substrat $a=b=40$ mm.

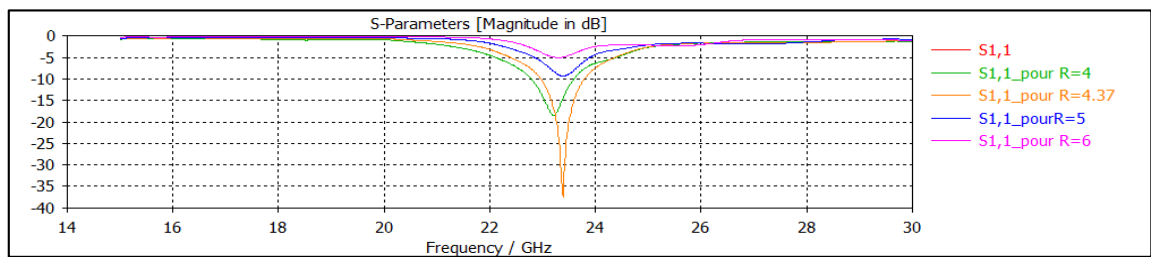


Figure (III-25) : Coefficient de réflexion S_{11} pour différentes valeurs du rayon du patch circulaire (R).

Rayon R (mm)	Fréquence de résonance (GHz)	Bande passante (GHz)
4	23.205	0.811
4.37	23.379	0.8607
5	23.385	-
6	23.295	-

Tableau (III-9) Variation de la fréquence de résonance et la bande passante pour différentes valeurs du rayon du patch circulaire (R).

A partir du Tableau (III-9) et les courbes de la Figure (III-25) pour différentes valeurs du rayon du patch (**R**). On remarque que la fréquence de résonance et la bande passante augmentent avec la diminution du rayon du patch (**R**).

III.8. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons étudié une antenne microruban de forme circulaire imprimée sur un substrat à BIE 1D et l'influence des paramètres géométriques (rayon, épaisseurs de substrat) et les permittivités du substrat de l'antenne sur la fréquence de résonance, la bande passante et la directivité.

Le logiciel CST intègre, la simulation, la visualisation et aussi il est facile à utiliser dans l'environnement 3D avec une bonne précision.

A partir des résultats nous avons conclu que :

A- Pour la directivité :

- 1- La directivité est plus intéressante pour un substrat à BIE par rapport à un substrat normal ;
- 2- La directivité dépend de la constante diélectrique ϵ_{r1} ;
- 3- La directivité dépend de la constante diélectrique ϵ_{r2} ;
- 4- La directivité dépend de l'épaisseur du substrat h_1 ;

B-Pour la fréquence de résonance et la bande passante :

- 1- La fréquence de résonance et la bande passante diminuent avec l'augmentation de la constante diélectrique ϵ_{r1} .
- 2- La fréquence de résonance et la bande passante diminuent avec l'augmentation de la constante diélectrique ϵ_{r2} .
- 3- La fréquence de résonance et la bande passante diminuent avec l'augmentation de l'épaisseur du substrat h_1 .
- 4- La fréquence de résonance et la bande passante varient avec la variation du rayon **R** du patch.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] **N. Bblgacem**, " *conception des antennes PIFA MONO-BANDE ET MULTI-BANDES GSM, DCS, PCS, UMTS et WIFI* ", mémoire de Master, Institut d'électronique, Université de Tlemcen, Juin 2013.
- [2] **Azi Oussama**, " *Etude d'une antenne microruban rectangulaire à bande interdite photonique 1D* ", mémoire de master, Institut d'électronique, Université de M'sila; Juin 2015.
- [3] **B. Becita** " *Antenne microruban de forme rectangulaire à substrats cristaux photoniques* ", mémoire de Master, Institut d'électronique, Université de M'sila, juin 2014.
- [4] **L. Barlatey, T. Sphicopoulos, J. R. Mosig and F. E. Gardiol**, " *Un nouveau modèle pour l'excitation coaxiale d'une antenne microruban* ", JINA' 1986 Journées internationales de Nice sur les Antennes, Nice, France, 4-6 Novembre 1986, pp. 221-223
- [5] **G. Poitau** " *Contribution au développement d'un isolateur coplanaire à résonance par la méthode des différences finies dans le domaine temporel* ", thèse de Doctorat, Institut national des sciences appliquées Lyon, juillet 2002.