

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA**

**FACULTE DE Technologie**  
**DEPARTEMENT Electronique**  
**N° :**



**DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIES**  
**FILIERE : TELECOMMUNICATION**  
**OPTION : SYSTEME DE**  
**TELECOMMUNICATION (STLC)**

**Mémoire présenté pour l'obtention**  
**Du diplôme de Master Académique**

**Par: BOUABDALLAH MERIEM**  
**BENGHANEM YAMANDA**

**THÈME**

**Etude et Conception d'un antenne micro-ruban BIE-M**  
**pour la 5G**

**Soutenu devant le jury composé de :**

Dr. LALAOUI Lahouaoui	MCA	Université de M'sila	Président
Dr. BENMEDDOUR Fadila	MCA	Université de M'sila	Rapporteur
Dr. DJELLID Asma	MCB	Université de M'sila	Examineur

**Année universitaire : 2021 /2022**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

" رب اشرح لي صدري \* ويسر لي

أمري \* واحلل عقدة من لساني \*

يفقهوا قولي "

(صدق الله العظيم)

سورة طه، الآيات: 25- 28

## **REMERCIEMENTS**

*Je tiens à remercier tout d'abord **DIEU** le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience, qu'il nous a données durant toutes ces longues années.*

*Ainsi, Mes plus chaleureux remerciements vont à . **Dr. F.BENMEDDOUR.** pour le suivi continué tout le long de la réalisation de ce mémoire et qui n'a pas cessé de nous guider avec ses conseils et ses expériences scientifiques.*

*Mes remerciements vivement toutes les personnes qui nous ont aidé à élaborer et réaliser ce mémoire, ainsi que tous ceux qui nous ont aidé de près ou de loin à accomplir ce travail.*

*Nous remercions tout particulièrement nos parents pour leurs soutiens inconditionnels tout au long de nos longues années d'études.*

*Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui nous ont aidées et contribué à ce travail, même avec un mot gentil.*

*Grand Merci*

# Dédicace

*Nous dédions ce modeste travail :*

*À ceux qui sont les plus chères au monde, nos parents, à qui nous n'arriverons jamais à exprimer notre gratitude et notre reconnaissance. Pour leur amour et leur soutien tout au long de nos études.*

*À nos frères et sœurs*

*À nos Familles*

*À ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.*

*À Tous nos proches, nos amies et nos collègues.*

*Yamanda*

# إهداء

إلى الينبوع الذي لا يمل العطاء إلى من حاكت سعادتي بخيوط منسوجة من قلبها إلى  
والدتي العزيزة

إلى من سعى و شقى لأنعم بالراحة و الهناء الذي لم يبخل بشيء من اجل دفعي في طريق  
النجاح إلى والدي العزيز

إلى من حبهم يجري في عروقي أختاي شهرزاد و هبة

إلى خالتي و صديقتي الوفية ليندة

إلى صغيرتي يقين

إلى شريك حياتي زوجي العزيز

إلى من صاغوا لي من علمهم حروفا و من فكرهم منارة تنير لنا مسيرة العلم و النجاح إلى  
أساتذتي الكرام

أهدي هذا العمل المتواضع راجية من المولى عز و جل ان يجد القبول و النجاح.

مريم

## Table Des Matières

Remerciements	
Dédicace	
Table Des Figures .....	V
Table Des Tableaux .....	VIII
Liste Des abréviations .....	IX
Résumé .....	X

### Introduction Générale

Introduction Générale .....	2
-----------------------------	---

### Chapitre I : Généralité sur les matériaux BIE

I.1 Introduction .....	5
I.2 Préambule .....	5
I.3 Description des matériaux BIE .....	6
I.3.1. Description des matériaux BIE diélectriques .....	6
I.3.1.1 Réseaux unidimensionnels .....	8
I.3.1.2 Réseaux bidimensionnels .....	9
I.3.1.3 Réseaux tridimensionnels .....	10
I.3.2. Description des structures BIE métallique .....	11
I.3.2.1 Structures métalliques (à grille) .....	12
I.3.2.2 Grilles métalliques 1D et 2D .....	13
I.3.2.3 Les structures métalliques à base de FSS (imprimé) .....	14
I.3.4 Propriétés électromagnétiques des structures BIE à défaut .....	14
I.5. Domaine d'application dans les micro-ondes .....	15
I.6 Conclusion .....	16

## Chapitre II : Généralité sur la 5G et le antennes micro ruban

II.1. Introduction.....	20
II.2 Historique.....	20
II.3. La technologie 5G .....	22
II.4. Objectifs de la 5G .....	22
II.5 Les avantages des fréquences de la 5G .....	23
II.6 Définition d'une antenne .....	23
II.7 Différent types d'antennes .....	23
II.8 Paramètres et caractéristiques d'antenne .....	23
II.8.1 Diagramme de rayonnement .....	23
II.8.2 Directivité .....	24
II.8.3 Gain.....	24
II.8.4 .La représentation en quadripôle .....	24
II.8.5 L'impédance d'entrée .....	26
II.8.6. Rapport d'onde stationnaire (ROS) .....	26
II.8.7 Fréquence de résonance et bande passante .....	27
II.9 Antenne micro ruban (imprimée).....	27
II.10. Avantages et inconvénients de l'antenne patch .....	28
II.11 Techniques d'alimentation.....	29
II.11.1 : Alimentation par ligne par micro ruban.....	29
II.11.2 Alimentation par sonde coaxiale.....	30
II.11.3 Alimentation couplée par ouverture .....	30
II. 11. 4. Alimentation couplée par proximité.....	31
II.11.5. Alimentation par couplage par fente .....	31
II.12 Techniques d'adaptation .....	32

II.12.1 Adaptation par ligne quart d'onde .....	32
II.12.2 Adaptation par stub .....	32
II.12.3 Adaptation avec encoches .....	33
II.13. Méthodes d'analyse .....	33
II.13.1 Méthode analytiques .....	33
II.13.2 Méthodes numériques .....	34
II.13.2.1 Méthode des éléments finis.....	34
II.13.2.2 Méthode des différences finies .....	34
II.13.2.3 Méthode des moments .....	34
II.13.2.4 Méthodes d'optimisation .....	34
II.13.2.5 La Méthode D'intégration Finie (FIT).....	34
II.14 Conclusion .....	35

### **Chapitre III : Résultats et discussion**

III.1. Introduction .....	39
III.2. Présentation générale du simulateur CST MWS .....	39
III.3. Antenne patch rectangulaire .....	40
III.3.1. Description de l'antenne patch à substrat normal.....	40
III.3.2. Comparaison d'antenne patch avec et sans BIE .....	41
III.3.3 Effet de la variation de l'épaisseur du substrat d'une antenne BIE.....	42
III.3.4 Effet de la Variation du matériau du substrat BIE.....	44
III 3.5. Changement de la surface du patch .....	46
III.4. Effet de la couche FSS .....	48
III.4.1. Couche sélective surface en fréquence (FSS).....	48
III.4.2. Comment simuler une couche FSS ?.....	48
III.4.3. Effet de la variation dans la distance $F$ .....	50

III 4.4. Effet du défaut au niveau du FSS .....	52
III.4.4.1. Effet d'éliminer le motif central .....	52
III.4.2. Effet d'éliminer la ligne centrale .....	53
III 4.4.3. Effet d'éliminer les motif 3 et 8 .....	54
III 4.4.4. Effet d'éliminer motif 7 ,8 et 9.....	55
III 4.4.5. Effet d'éliminer les motif 3,8,13,14 et 15 .....	57
III 4.4.6. Effet d'éliminer la colonne centrale .....	58
III.5. Conclusion .....	59
Conclusion générale .....	62

# Liste des Figures

## Chapitre I

<b>Figure I.1:</b> Exemple de réseaux périodiques 1D, 2D, et 3D .....	7
<b>Figure I.2:</b> Structure 1D et son diagramme de dispersion.....	8
<b>Figure I.3 :</b> Exemples de différents réseaux 2D.....	9
<b>Figure I.4:</b> Bandes interdites en fonction du réseau et du type de polarisation.....	9
<b>Figure.I.5 :</b> Différentes Structures 3d Comme (1) La Structure Cubique, (2) Le Tas De Bois, (3) La Structure Multicouches, (4) Les Opales Ou Opales Inversées, (5) La Yablonovite .....	10
<b>Figure I.6. :</b> Exemples De Surfaces Sélectives En Fréquence (SSF).....	12
<b>Figure I.7 :</b> Coefficient De Transmission D'une Structure BIEM.....	12
<b>Figure I.8 :</b> Grilles métalliques bidimensionnelles formées de grilles ou de plaque.....	13
<b>Figure I.9 :</b> Motifs élémentaires pouvant constituer une FSS.....	14
<b>Figure I.10:</b> Caractérisation d'une structure BIE a défaut .....	15

## Chapitre II

<b>Figure II.1:</b> Vue schématique de l'histoire des communications cellulaires .....	21
<b>Figure II .2 :</b> (a)Exemple d'un diagramme de rayonnement en 3D, (b)diagramme danYoZ (gain en dB). .....	24
<b>Figure II.3 :</b> (a) Représentation en quadripôle, (b) graphe de transfert associé .....	25
<b>Figure II.4:</b> Antenne en mode émetteur .....	26
<b>Figure II.5:</b> Illustration de la bande passante à -10 dB d'une antenne .....	27
<b>Figure II.6:</b> Structure d'une antenne micro ruban.....	28
<b>Figure II .7 :</b> Différentes formes d'une antenne.....	28
<b>Figure II .8 :</b> Alimentation par ligne micro-ruban.....	30
<b>Figure II .9 :</b> Alimentation par sonde coaxiale.....	30
<b>Figure II.10:</b> Alimentation couplée par ouverture.....	31
<b>Figure II.11 :</b> Alimentation par couplage par proximité.....	31
<b>Figure II.12 :</b> ( a) Modélisation de l'antenne quart d'onde (b) : adaptation par ligne quart d'onde.....	32
<b>Figure II 13:</b> (a) Modélisation de l'antenne à Adaptation simple stub (b): Stub en circuit ouvert.....	33
<b>Figure II. 14 :</b> (a) L'équivalence en circuit (b): Patch adapté par encoches. ....	33

## Chapitre III

<b>Figure III.1:</b> La fenêtre principale du logiciel CST (2019).....	39
<b>Figure III .2 :</b> La structure d'antenne patch rectangulaire (a)substrat normal (b)avec BIE.....	41
<b>Figure III.3 :</b> Coefficient de réflexion $S_{11}$ pour antenne patch a substrat normal et avec BIE ...	41
<b>Figure III.4 :</b> Directivité antenne patch (a)sans BIE(b)avec BIE.....	42
<b>Figure III.5 :</b> Gain d'antenne patch rectangulaire(a) sans BIE (b)avec BIE.....	42
<b>Figure III.6:</b> Coefficient de réflexion $S_{11}$ pour différent épaisseur du <i>substrat</i> .....	42
<b>FigureIII.7 :</b> la directivité en 3D pour un épaisseur du substrat égal $h_1=1.5\text{mm}$ . ....	43
<b>FigureIII.8 :</b> la directivité en 3D pour un épaisseur du substrat égal $h_2=2\text{mm}$ .....	43
<b>Figure III .9 :</b> la directivité en 3D pour un épaisseur du substrat égal $h_3=2.5\text{mm}$ . ....	43
<b>FigureIII.10 :</b> le gain en 3D pour un épaisseur du substrat égal $h_1=1.5\text{mm}$ .....	43
<b>Figure III .11 :</b> le gain en 3D pour un épaisseur du substrat égal $h_2=2\text{mm}$ .....	44
<b>FigureIII.12 :</b> le gain en 3D pour un épaisseur du substrat égal $h_3=2.5\text{mm}$ .....	44
<b>Figure III 13 :</b> Coefficient de réflexion $S_{11}$ pour la Variation du matériau du substrat .....	44
<b>FigureIII.14 :</b> La directive en 3D pour (a)epsilon=2.(b) epsilon=2,5 .....	45
<b>Figure III.15 :</b> La directive en 3D pour(a) epsilon=2,8.(b) epsilon=4,5. ....	45
<b>Figure III.16 :</b> Le gain en 3D pour (a)epsilon=2 (b) epsilon=2.5. ....	45
<b>FigureIII.17 :</b> Le gain en 3D pour (a)epsilon=2.8(b)epsilon=4.5 .....	45
<b>FigureIII.18 :</b> (a)La première surface du patch(b)la deuxième surface .....	46
<b>FigureIII.19 :</b> Le troisième surface du patch patch.....	46
<b>FigureIII.20 :</b> Coefficients de réflexion $S_{11}$ pour différentes surfaces du patch.....	47
<b>Figure III.21 :</b> Directivités en 3D pour(a)la première surface du patch (b)la deuxième surface.....	47
<b>Figure III 22 :</b> Directivités en 3D pour la troisième surface du patch .....	47
<b>FigureIII.23 :</b> Gain en 3D pour (a)la première surface du patch (b)deuxième surface du patch.....	47
<b>FigureIII.24 :</b> Gain en 3D pour la troisième surface du patch. ....	48
<b>Figure III.25 :</b> Les motifs de la couche FSS. ....	49
<b>FigureIII.26 :</b> Antenne patch à FSS. ....	49
<b>FigureIII.27 :</b> Coefficients de réflexion $S_{11}$ pour un antenne BIE et avec BIE et FSS.....	49
<b>FigureIII.28 :</b> Directivité en 3D pour une antenne à FSS $F = 10\text{mm}$ .....	49
<b>FigureIII.29 :</b> Gains en 3D pour une antenne à FSS $F = 10\text{mm}$ .....	50

<b>FigureIII.30</b> : Coefficients de réflexion $S_{11}$ pour différentes valeurs de la distance $F$ .....	50
<b>FigureIII.31</b> : Directivités en 3D pour la distance (a) $F=10$ mm(b) $F=15$ mm.....	51
<b>Figure III.32</b> : Directivités en 3D pour la distance (a) $F = 20$ mm.(b) $F=25$ mm.....	51
<b>Figure III. 33</b> : Gain en 3D pour la distance(a) $F=10$ mm (b) $F=15$ mm.....	51
<b>Figure III.34</b> : Gain en 3D pour la distance (a) $F=20$ mm(b) $F=25$ mm .....	51
<b>FigureIII.35</b> : Structure d'antenne patch à FSS sans motif central .....	52
<b>Figure III.36</b> : Coefficients de réflexion $S_{11}$ pour antenne FSS normal est sans motif centrale ...	52
<b>FigureIII.37</b> : Directivité en 3D pour une FSS sans motif du centre .....	52
<b>FigureIII.38</b> : Gain en 3D pour une FSS sans motif centrale .....	53
<b>Figure III.39</b> : structure d'antenne patch à FSS sans ligne centrale .....	53
<b>Figure III.40</b> : Coefficients de réflexion $S_{11}$ pour antenne FSS normal est sans ligne centrale. ...	53
<b>FigureIII.41</b> : Directivité en 3D pour une FSS sans ligne centrale.....	53
<b>FigureIII.42</b> : Gain en 3D pour une FSS sans ligne centrale. ....	54
<b>Figure III.43</b> : structure d'antenne patch avec FSS sans motif 3et 8.....	54
<b>Figure III.44</b> Coefficients de réflexion $S_{11}$ pour antenne FSS normal est sans motif 3 et 8. ....	54
<b>Figure III.45</b> : Directivité en 3D pour une FSS sans motif 3et 8.....	55
<b>FigureIII.46</b> : Gain en 3D pour une FSS sans motif 3 et 8 .....	55
<b>Figure III.47</b> : structure d'antenne patch à FSS sans motif 7,8et9.....	55
<b>Figure III.48</b> : Coefficients de réflexion $S_{11}$ pour antenne FSS normal est sans motif 7,8,9. ....	56
<b>FigureIII.49</b> : Directivité en 3D pour une FSS sans motif 7,8 et 9.....	56
<b>FigureIII.50</b> : Gain en 3D pour une FSS sans motif 7,8 et 9 .....	56
<b>Figure III.51</b> : structure d'une antenne patch à FSS sans motif 3,8,13,14 et 15. ....	57
<b>FigureIII.52</b> : Coefficients de réflexion $S_{11}$ pour antenne FSS normal est sans motif 3,8,13,1et 15. ....	57
<b>FigureIII.53</b> : Directivité en 3D pour une FSS sans motif 3,8,13,14 et 15. ....	57
<b>FigureIII.54</b> : Gain en 3D pour une FSS sans motif 3,8,13,14 et 15. ....	57
<b>Figure III.55</b> : structure d'antenne patch à FSS sans colonne centrale.....	58
<b>FigureIII.56</b> : Coefficients de réflexion $S_{11}$ pour antenne FSS normal est sans colonne centrale. .....	58
<b>FigureIII.57</b> : Directivité en 3D pour une FSS sans colonne centrale. ....	58
<b>FigureIII.58</b> : Gain en 3D pour une FSS sans motif 3,8,13,14 et 15. ....	59

## Liste des Tableaux

### Chapitre II

<b>Tableau II.1:</b> Résumé des générations de communications mobiles .....	21
---	----

### Chapitre III

<b>Tableau.III.1.</b> Dimensions de l'antenne patch rectangulaire à substrat normal.....	41
<b>Tableau III.2</b> Caractéristiques d''antenne patch avec est sans BIE. ....	42
<b>Tableau III.3 :</b> Caractéristiques de l'antenne patch avec slot en fonction de l'épaisseur du substrat.....	44
<b>Tableau III.4.</b> Caractéristiques de l'antenne patch à BIE en fonction de la permittivité du superstrat.....	46
<b>Tableau III.5.</b> Caractéristiques de l'antenne patch avec BIE en fonction de surface du patch.....	48
<b>Tableau III.6.</b> Caractéristiques d'une antenne patch avec BIE et FSS et antenne patch avec FSS. ....	50
<b>Tableau 7 :</b> Caractéristiques de l'antenne à FSS en fonction de la distance entre le patch et la FSS. ....	52
<b>Tableau III.8 :</b> Caractéristiques de l'antenne patch à FSS et FSS sans motif centrale.....	53
<b>Tableau III.9 :</b> Caractéristiques de l'antenne patch à FSS et FSS sans ligne centrale.....	54
<b>Tableau III.10 :</b> Caractéristiques de l'antenne patch à FSS et FSS sans motif 3et 8.....	55
<b>Tableau III.11 :</b> Caractéristiques de l'antenne patch à FSS et FSS sans motif 7,8 et 9.....	56
<b>Tableau III.12 :</b> Caractéristiques de l'antenne patch à FSS et FSS sans motif 3,8,13,14et 15.....	58
<b>Tableau III.13 :</b> Caractéristiques de l'antenne patch à FSS et FSS sans colonne centrale.....	59

## *Liste des Abréviations*

### *CHAPITRE I*

- BIE** : Bande Interdite Électromagnétique
- FSS** : Fréquence Sélective Surface
- BIP** : Bande Interdite Photonique
- LHM** : Left-Handed Matériel (matériau main gauche)
- 1D, 2D, 3D** : Une, Deux, Trois Dimensions
- TE** : Champ Electrique Parallèle Aux Barreaux De La Structure
- TM** : Champ Electrique Perpendiculaire Aux Barreaux
- BIEM** : Bande Interdite Électromagnétique Métallique
- SSF** : Surfaces Sélectives En Fréquence

### *CHAPITRE II*

- Gbps** : gigabits par seconde
- TDMA** : l'accès multiple par répartition dans le temps
- CDMA** : l'accès multiple par division de codage
- MMS** : services de messagerie multimédia
- **DVB** : diffusion vidéo numérique
- LTE** : long term évolution
- QOS** : La qualité de service
- 1G ,2G ,3G ,4G,5G** : première, deuxième, troisième, quatrième, cinquième génération.
- GSM** : Global System for Mobile Communication
- WCDMA** :Wideband Code Division Multiple Access
- M2M** : Machine-to-Machine
- IMT-2020** : International Mobile Tèlècommunications-2020
- **$\theta$  et  $\varphi$**  : (Angle De Site : Plan Vertical) et (Angle D'azimut : Plan Horizontal)
- S11** : coefficient de réflexion
- ROS** : Rapport d'onde stationnaire
- BP** : Bande passante
- FIT** : Technique Intégration Finis

### *CHAPITRE III*

- CST** : Computer Science Technology

## Résumé

L'objectif principal de notre travail est l'étude d'une antenne micro-ruban à substrat BIE (bande interdite Electromagnétique) 2D sans et avec un sperstrat FSS dans la bande de 5G.

Ce mémoire est principalement consacré à l'étude et la conception de l'antenne patch BIE-M et FSS sans et avec défauts de la couche FSS.

Nous étudions l'influence des paramètres géométriques de l'antenne sur la fréquence de résonance, la bande passante, sur la directivité et le gain, en utilisant l'outil de simulation électromagnétique dans le domaine fréquentiel CST qui est basé sur la méthode d'intégration finie.

**Mots clés :** antenne microstrip, la cinquième génération, bande interdite électromagnétique , couche sélective en fréquence.

## Abstract

The main objective of our work is to study a micro-strip antenna with BIE substrate (Electromagnetic band gap) 2D with and without a FSS superstrat in the 5G band.

this memory is mainly devoted to the study and design of the BIE-M patch antenna with and without defects of the FSS layer.

We study the influence of the geometrical parameters of the antenna on the resonant frequency, bandwidth, on directivity and gain, by using electromagnetic simulation tool in the frequency domain based on CST is based on the finite integration method.

**Key words :** microstrip antenna, the 5<sup>th</sup> generation, electromagnetic band gap (BIE), frequency selective layer (FSS).

## المخلص

الهدف الرئيسي من عملنا هذا هو دراسة هوائي ذو بلورات كهرومغناطيسية (ثنائي الابعاد) بدون وبالطبقة الفائقة FSS في نطاق جيل الخامس.

هذه الاطروحة مخصصة بشكل أساسي لدراسة و تصميم هوائي BIE-M بدون و مع وجود عيوب في طبقة FSS. نقوم بدراسة تأثير المتغيرات الهندسية على خصائص الهوائي : تردد الرنين، عرض النطاق الترددي، والاتجاهية باستخدام أداة المحاكاة الكهرومغناطيسية في مجال التردد CST الذي يعتمد على نظرية التكاملات المنتهية.

**الكلمات المفتاحية:** هوائي دقيق ، الجيل الخامس ، فجوة النطاق الترددي الكهرومغناطيسي ، طبقة انتقائية التردد.



**INRODUCTION**  
**GENERALE**

## Introduction générale

La technologie microbande en générale, et les antennes micro ruban en particulier connaissent un développement aux prés des industriels et des professionnels des télécommunications.

Le domaine des télécommunications a connu un progrès technologique au cours des dernières années grâce à la forte demande de la population et de l'industrie. Beaucoup de recherche scientifique continue concernant les antennes micro rubans qui sont les éléments les plus importants dans la transmission et la réception de signaux radiofréquences à la fois, et vu les exigences multiples dans le domaine des télécommunications, les antennes micro rubans remplacent les antennes classiques dans la plupart des applications dans plusieurs domaines d'applications et surtout pour les applications aéronautiques, aérospatial, militaire... etc.

Parmi les avantages de ces d'antennes, profil plat, faible poids, volume réduit, la conformabilité et la possibilité d'intégrer les circuits micro-ondes au niveau des antennes, simplicité de leurs structures, faible coût de fabrication donc la production en grandes quantités devient facile. Cependant, elles présentent les inconvénients suivants : bande passante étroite, faible puissance, impureté de la polarisation, faible gain.

Les chercheurs se sont intéressés à l'amélioration des performances des antennes micro rubans pour améliorer leurs caractéristiques : large bande, faible coût, malgré que ce sont des critères relativement difficiles et non compatibles mais les chercheurs ont réussi à découvrir un type des antennes micro rubans à Bande Interdite Electromagnétique (BIE) ou à Surfaces Sélectives en Fréquences (FSS) qui sont aujourd'hui très utilisées.

Les surfaces sélectives ont été découvertes en 1783 par les scientifiques David Rittenhouse et Francis Hopkinson, ce sont un élément clé dans la conception de systèmes multifréquences. Leur utilisation dans les systèmes de télécommunication est motivée par le caractère de plus en plus multi-bandes des applications et donc la possibilité de réduire le nombre d'antennes spatiales. Elles sont utilisées comme filtre en fréquence.

Les antennes à bande interdite électromagnétique (BIE) répondent aux exigences d'encombrement réduit car elles présentent une épaisseur relativement inférieure à la longueur d'onde contrairement à beaucoup d'autres antennes.

Le but de ce travail est de concevoir, une antenne micro ruban à FSS fonctionnant dans deux bandes de fréquences opérant dans la bande 5G et d'optimiser leurs performances, en utilisant le simulateur électromagnétique CST MICROWAVE STUDIO. Nous avons étudié l'effet des

variations des paramètres géométriques et physiques de l'antenne sur la fréquence de résonance, la bande passante, le gain et la directivité.

Ce manuscrit est scindé en trois chapitres, il est présenté comme suit :

Dans Le **premier chapitre** nous avons présenté les concepts de base liés aux matériaux BIE (Bande Interdite Electromagnétiques). Nous avons cité les différents types de matériaux BIE, en insistant sur la notion de bande interdite électromagnétiques.

Dans le **deuxième chapitre** de ce mémoire est une présentation générale de la 5G et des antennes micro rubans après avoir rappelé les propriétés et caractéristiques de ces antennes nous aborderons ainsi les techniques d'alimentation permettant le fonctionnement de ces antennes, les avantages, les inconvénients et quelque domaines d'applications et enfin nous présentons les méthodes d'analyse utilisées pour traiter ce genre d'antenne.

Quant au **troisième chapitre**, il est consacré à la présentation des résultats et différentes simulations. Nous avons utilisé le logiciel de simulation électromagnétique CST que nous allons le décrire brièvement.

Nous terminerons notre travail, la grâce de Dieu, par une conclusion générale.



**Chapitre I**  
**Les structures à bande interdite  
électromagnétique**

## **I.1 Introduction**

Dans le domaine des antennes, les structures composées d'un agencement périodique d'éléments, de type à bande interdite électromagnétique (BIE) ou les surfaces sélectives en fréquences (FSS), ont été sujets de plusieurs travaux de recherches

Les matériaux BIE sont des structures artificielles dont la constante diélectrique est modulée de façon périodique dans une, deux ou trois dimensions. Les BIE sont des systèmes très utilisés pour des applications dans le domaine des ondes électromagnétiques, dans le domaine des micro-ondes, l'optoélectronique et les télécommunications optiques. C'est donc, sur cette base de matériaux à structuration périodique que l'étude sera réalisée.

Dans ce chapitre, nous nous intéresserons à la présentation générale des matériaux BIE nous allons présenter les concepts de base et les principales notions concernant les structures périodiques, en insistant sur la notion de bande interdite électromagnétique métallique, nous terminerons par leurs applications dans domaines microondes et les antennes.

## **I.2 Préambule**

Historiquement, nous trouvons la trace d'utilisation des structures périodiques ou répétitives pour contrôler la propagation d'une onde aussi loin qu'au XIX<sup>ème</sup> siècle avec les travaux de Lord Rayleigh en 1887 [1]. Lorsque nous alternons une succession de couches diélectriques transparentes d'indices de réfraction différents, une lumière incidente à la surface de ces multicouches peut se trouver complètement réfléchi par des phénomènes d'interférences successives. La cause de ce phénomène : sur l'interface de chaque couche, la lumière est partiellement réfléchi, et si l'espacement entre chaque couche est périodique, les réflexions successives finissent par annuler la propagation de l'onde lumineuse au sein de ces couches. Le miroir de Bragg mis au point par William Lawrence Bragg est un parfait exemple de l'exploitation de ce phénomène en une dimension. Le concept du contrôle de l'onde par des structures périodiques comme nous venons de le décrire émerge donc du domaine photonique, et l'on parlait alors de matériaux à bande interdite photonique (BIP), le principe s'est en –suite rapidement étendu aux longueurs d'ondes supérieures, donnant lieu aux cristaux électromagnétiques (BIE). en effet, les équations de Maxwell obéissent à une loi d'échelle, et les mêmes propriétés peuvent par conséquent être observées quelle que soit la longueur d'onde [2].

Actuellement, ces matériaux BIE sont classés sous une famille de matériaux plus large, dénommés métamatériaux. Ces métamatériaux doivent leurs propriétés intéressantes plus à leur

structuration interne qu'à leur composition chimique. Mises à part les structures BIE, les autres types de métamatériaux sont classés selon la propriété exotique qui est mise en avant [3] :

- Les matériaux dits à main gauche (LHM) sont des métamatériaux qui possèdent un indice de réfraction négatif où la loi de Snell-Descartes est inversée [4, 5].
- Les surfaces à haute impédance sont des métamatériaux qui annulent les ondes de surface car l'impédance de surface de la structure est plus importante que l'impédance en espace libre [6].
- Les métamatériaux photoniques traitent des structures périodiques pour les ondes acoustiques, qui plus récemment encore, trouvent une application pour les ondes sismiques dans les travaux de Farhat et al. [7]. Il s'agit alors de créer une «cape d'invisibilité» pour protéger une bâtisse contre les ondes sismiques.

Pour ces différents métamatériaux, nous distinguons dans la plupart des cas le régime d'homogénéisation où la structuration est de dimension très inférieure à la longueur d'onde (régime «méta»), et où au contraire, elle est du même ordre de grandeur que la longueur d'onde. Les structures BIE se classifient plutôt dans le dernier cas.

Dans le domaine des microondes et des hyperfréquences, les propriétés exotiques d'une Structure à bande interdite électromagnétique (l'anisotropie, l'effet de réfraction négative, la bande interdite) reçoivent des attentions particulièrement importantes pour les applications dans les dispositifs de télécommunications (antennes, téléphones mobiles...) [8].

### **I.3 Description des matériaux BIE :**

#### **I.3.1. Description des matériaux BIE diélectriques :**

Les structures périodiques sont abondantes dans la nature, qui a fascinées les artistes et les scientifiques. Lorsqu'ils interagissent avec des ondes électromagnétiques, des phénomènes passionnants apparaissent et des caractéristiques étonnantes se produisent. En particulier, des caractéristiques telles que des bandes d'arrêt de fréquence, des bandes passantes et des intervalles de bande pourraient être identifiées. Les structures électromagnétiques sont définies comme des objets périodiques artificiels (ou parfois non périodiques) qui empêchent ou aident la propagation d'ondes électromagnétiques dans une bande de fréquence spécifiée pour tous les angles d'incidence et tous les états de polarisation. Les structures de bande interdite électromagnétique (BIE) sont des structures périodiques qui peuvent interdire la propagation d'ondes électromagnétiques dans une certaine bande de fréquence. Ils peuvent être noyés dans le substrat diélectrique ou gravés sur les couches métalliques. Les structures BIE sont toujours

utilisées pour aider à supprimer les ondes de surface pour obtenir une bonne bande passante ou une bande d'arrêt.

Pour les matériaux semi-conducteurs, l'objectif était de contrôler les propriétés électriques des matériaux [9]. Il existe une grande variété de matériaux à bande interdite électromagnétique. Ils sont construits à partir d'objets élémentaires, agencés périodiquement dans l'espace. dans la (figure I.1), nous avons des exemples de réseaux BIE de périodicité selon une, deux et trois dimensions [10].



**Figure I.1:** Exemple de réseaux périodiques 1D, 2D, et 3D.

Pour décrire un réseau périodique, il suffit de connaître un motif ou une cellule élémentaire du réseau, et les vecteurs de base de translation qui décrivent sa périodicité :

$a_1, a_2$ . Tout point P du réseau peut donc être repéré par rapport à un point M du motif élémentaire par une translation issue d'une combinaison linéaire de ces vecteurs de base:

$$r_P = r_M + R \quad \text{avec} \quad R = r_1 a_1 + r_2 a_2, r_i \in \mathbb{Z} \quad (\text{I.1})$$

Pour une structure BIE constituée de tiges diélectriques ou métalliques, cela implique une fonction diélectrique périodique dans l'espace réel :

$$\epsilon(\mathbf{r}) = \epsilon(\mathbf{r} + \mathbf{R}) \quad \text{avec} \quad \mathbf{r} \in \text{cellule de base} \quad (\text{I.2})$$

Concernant les éléments de base de notre étude, nous ne considérons que des tiges cylindriques de diamètre D et de longueur infinie. Alors, dans la cellule élémentaire :

$$\epsilon(\mathbf{r}) = \epsilon_1 \quad \text{si} \quad |\mathbf{r}| < D/2 \quad \text{et} \quad \text{avec} \quad \mathbf{r} \in \text{cellule de base} \quad (\text{I.3})$$

$$\epsilon(\mathbf{r}) = \epsilon_2 \quad \text{pour les autres cas} \quad \begin{array}{l} \epsilon_1 \text{ permittivité de base} \\ \epsilon_2 \text{ Permittivité du milieu hôte} \end{array}$$

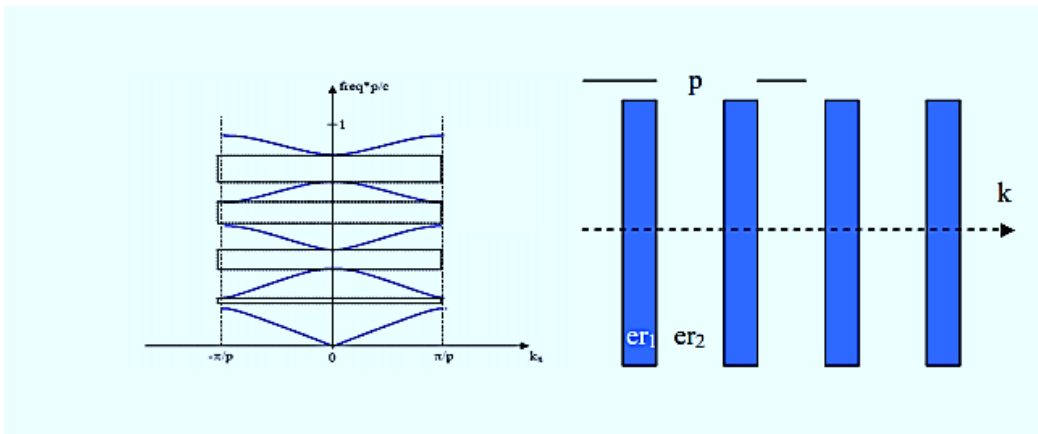
Le cas des structures BIE bidimensionnelles fait figurer plusieurs types de réseaux, dont les plus communs sont les réseaux carrés, triangulaires et hexagonaux. Les réseaux carrés étant un cas particulier du réseau rectangulaire.

### I.3.1.1 Réseaux unidimensionnels:

Les structures 1D sont les plus anciennes bien qu'elles soient depuis peu intégrées aux structures (BIP). En effet, elles ont été déjà longtemps étudiées et utilisées comme miroirs diélectriques ou filtres optiques.

Elles consistent à empiler plusieurs couches de matériaux avec des permittivités différentes (principe du miroir de Bragg).

Les bandes interdites sont d'autant plus grandes que le contraste d'indice est élevé pour des épaisseurs de structures égales au quart de la longueur d'onde guidée (Figure I.2).



**Figure I.2:** Structure 1D et son diagramme de dispersion

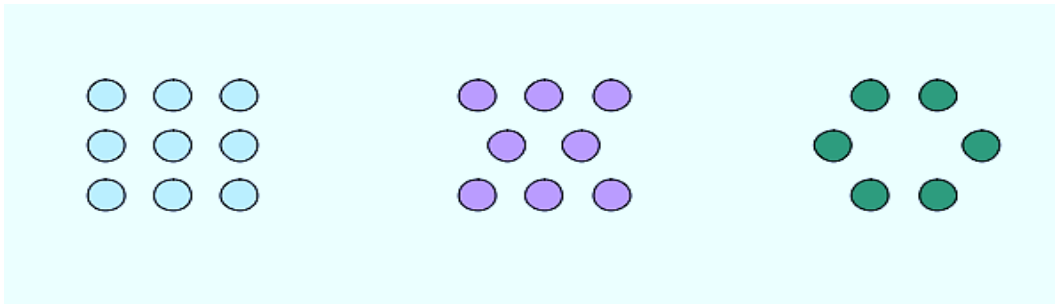
Lors des réalisations, la conception de ce type de réseaux est plus simple. Mais les bandes interdites ainsi créées sont sensibles à l'angle d'incidence de l'onde. Pour obtenir un contrôle de la bande interdite quel que soit l'angle d'incidence, il faut étendre la périodicité à 2 voire 3 dimensions.

### I.3.1.2 Réseaux bidimensionnels:

Les matériaux 2D sont des cristaux dont la constante diélectrique est structurée périodiquement dans les deux dimensions et reste homogène dans la troisième. Nous pouvons donc étudier les ondes électromagnétiques incidentes à la structure 2D en deux polarisations distinctes : TE (champ électrique parallèle aux barreaux de la structure) et TM (champ électrique perpendiculaire aux barreaux) [11].

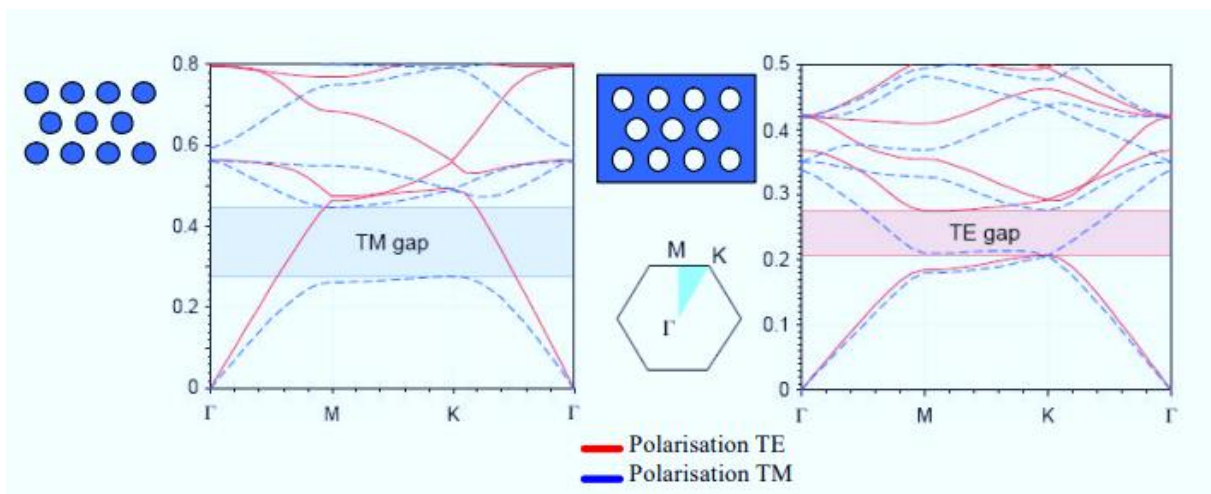
Le comportement fréquentiel n'est pas forcément identique selon la polarisation. En effet, l'apparition des bandes interdites dépend du contraste d'indice qui doit être plus élevé selon le type de réseau.

Nous présentons sur la (Figure I.3), plusieurs types de réseaux comme le réseau carré, et réseau triangulaire ou le réseau hexagonal



**Figure I.3 :** Exemples de différents réseaux 2D.

Ce sont les paramètres géométriques c'est-à-dire le pas du réseau, le diamètre des tiges (par conséquent le taux de remplissage de la structure), le motif élémentaire et le contraste d'indice qui fixent les largeurs et les positions des bandes interdites et des bandes permises.



**Figure I.4:** Bandes interdites en fonction du réseau et du type de polarisation.

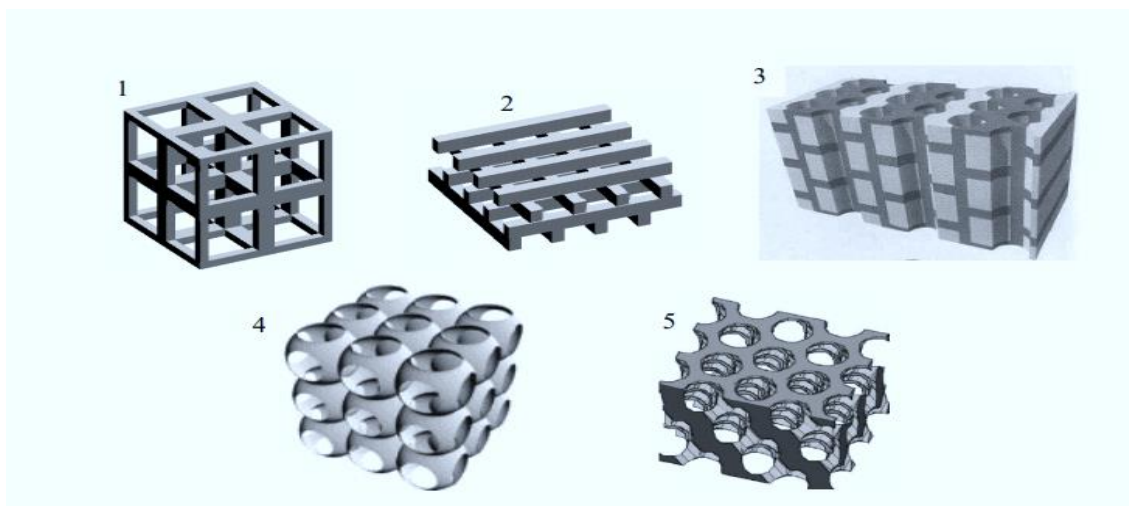
Les diagrammes de la **Figure I.4** représentent

- En abscisse, le parcours fait par le vecteur d'onde lorsqu'il décrit le contour formé par les points de haute symétrie G, X, M de la première zone de Brillouin.
- En ordonnée, la fréquence des modes calculés.

Dans les deux cas, nous constatons qu'il n'y a pas de recouvrement des bandes interdites dans les deux polarisations (en étudiant ici les diagrammes de bande d'une structure 2D en polarisation TE et TM). Mais, lorsque les bandes interdites correspondant à chacune des polarisations se recouvrent même de façon partielle, nous parlons alors de bandes interdites complètes. En réalité, il n'y a que dans le cas des structures en trois dimensions que nous pouvons obtenir théoriquement une vraie bande interdite complète, c'est-à-dire dans le cas où il n'y a aucune propagation possible quelles que soient la polarisation et la direction de l'onde incidente.

### I.3.1.3 Réseaux tridimensionnels

Les structures 3D sont les premières structures étudiées avec les structures 1D ou réseaux de Bragg. L'objectif était d'obtenir des structures 3D fonctionnant sur les mêmes principes que les miroirs de Bragg mais possédant une bande interdite photonique complète c'est-à-dire dans toutes les directions de l'espace. Il existe un grand nombre de structures possibles [12] (Figure I.5).



**Figure.I.5** :Différentes Structures 3d Comme (1) La Structure Cubique, (2) Le Tas De Bois, (3) La Structure Multicouches, (4) Les Opales Ou Opales Inversées, (5) La Yablonovite

En réalité, peu de structures 3D possèdent une bande interdite complète. "Ho.Chan" et "Soukoulis" ont été les premiers à montrer théoriquement la présence d'une bande interdite complète dans une structure à symétrie Cubique à Face Centrée (CFC) ou communément appelée structure diamant [13].

Les deux types de structures (BIP 3D) réalisées dans le domaine des micro-ondes pour des raisons évidentes de contraintes technologiques plus faibles que dans le domaine de l'optique sont la yablonovite (un diélectrique percé de trous d'air) et la structure tas de bois.

Cette dernière est un empilement de tiges diélectriques rectangulaires ou circulaires. Les deux niveaux consécutifs sont perpendiculaires et les deux plans consécutifs de tiges parallèles sont décalés d'une demi-période. Quelques structures de type tas de bois ont été réalisées dans le domaine des micro-ondes soit avec des tiges d'aluminium, soit avec du silicium grâce à l'empilement des grilles gravées les unes sur les autres avec un pivotement de  $90^\circ$  à chaque étage et en respectant l'alignement de l'ensemble

### **I.3.2. Description des structures BIE métallique**

Les premiers matériaux à bandes interdites ont été réalisés avec des matériaux purement diélectriques pour répondre aux applications dans le domaine de l'optique. En effet dans ce domaine, l'utilisation de structures métalliques était difficile car il y avait de fortes pertes des métaux à ces fréquences. Par contre aux fréquences micro-ondes et radiofréquences, les pertes deviennent négligeables dans certains cas. Les métaux sont donc de quasi parfaits réflecteurs avec de faibles absorptions. Pour des fréquences de l'ordre du gigahertz, l'épaisseur de peau  $d$  est très faible devant la longueur d'onde  $\lambda$  qui est bien en dessous des fréquences optiques.

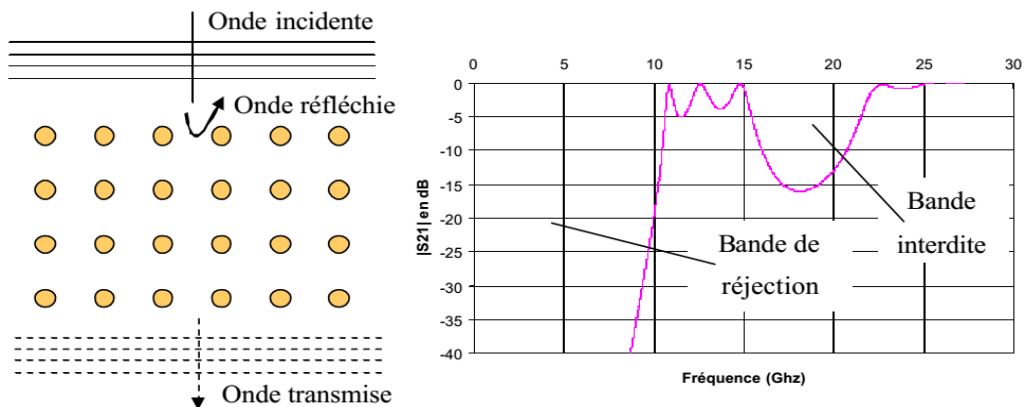
Il y a une cinquantaine d'années, les premières études portaient sur des éléments métalliques possédant différents axes de périodicité dans le but de réaliser des polariseurs et des réflecteurs. Elles ont aussi permis de concevoir des surfaces sélectives en fréquence ou SSF (Figure I.6 ) mais la plupart concernent des structures monocouches avec des motifs 1D ou 2D. Les structures BIE métalliques ou encore communément appelées BIEM sont une extension de ces réseaux périodiques métalliques à des réseaux multicouches à plusieurs dimensions [14]



**Figure I.6. :** Exemples De Surfaces Sélectives En Fréquence (SSF).

### I.3.2.1 Structures métalliques (à grille)

comme Les matériaux métalliques périodiques peuvent se présenter sous la forme de tiges ou de grilles possédant un ou plusieurs axes de périodicité. Toutes les grilles possèdent une bande interdite basse fréquence dans laquelle elle se comportent comme de parfaits miroirs. En effet, aux fréquences basses, l'impédance dérivée représentant la grille métallique est plus forte que l'impédance caractéristique de la ligne de transmission représentant le vide. Ce comportement présente une nouveauté par rapport aux réseaux périodiques BIE diélectriques. En effet, ils possèdent une bande permise basse fréquence jusqu'à leur première bande interdite fixée par leur périodicité et leur permittivité[15] (Figure I.7).



**Figure I.7 :** Coefficient De Transmission D'une Structure BIEM

Lorsque le pas du réseau métallique diminue, cela permet de creuser la réflexion basse fréquence. Si les tiges sont très espacées, le réseau de grilles équivaut à une surface métallique seulement pour les très grandes longueurs d'ondes. La bande de réjection dépend de la périodicité des éléments métalliques.

Dans le cas où nous modifions le diamètre ou la section des tiges constituant ces structures métalliques, nous accroissons la réjection à basse fréquence. Cela revient à diminuer la distance entre les tiges et par conséquent le pas du réseau. Grâce à cet effet à basse fréquence, ces grilles sont un bon moyen de réaliser des filtres passe-bas.

### I.3.2.2 Grilles métalliques 1D et 2D :

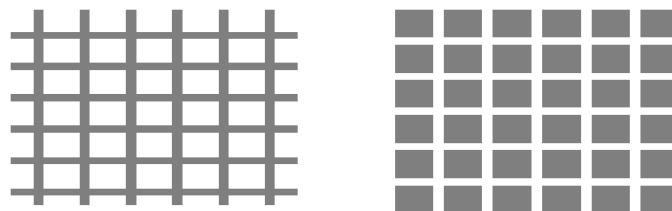
L'étude des grilles métalliques n'est pas récente et elle a depuis déjà bien longtemps mis en évidence les propriétés en basses fréquences de ces structures

Les grilles unidimensionnelles sont formées de fils métalliques parallèles d'une épaisseur ( $h$ ), d'une largeur ( $a$ ) (ou de diamètre dans le cas de tiges) et le pas du réseau ( $p$ ).

Dans le cas où le pas du réseau « $p$ » est inférieur à la longueur d'onde, le comportement de ces grilles suit la théorie des lignes qui consiste à utiliser un schéma électrique équivalent. Pour une grille 1D infinie, le circuit général d'une grille métallique mince est une ligne de transmission représentant le vide avec en parallèle dans le plan de référence une admittance normalisée par rapport à l'admittance caractéristique de la ligne représentant la grille. Si la grille est sans perte, l'admittance est purement susceptance. Pour réaliser des structures métalliques insensibles à la polarisation de l'onde (polarisation circulaire), nous pouvons envisager de passer d'une grille unidimensionnelle à une grille bidimensionnelle.

La (**Figure I.8**) montre deux réseaux périodiques bidimensionnels de symétrie carrée correspondant à l'extension à deux dimensions des structures précédemment illustrées. Si la structure (celle de droite) est constituée d'un réseau de carrés métalliques, nous pouvons alors parler d'un réseau de type déconnecté. En revanche si la structure (celle de gauche) possède des intersections entre les éléments métalliques, nous pouvons parler d'un réseau connecté.

La grille bidimensionnelle de la (**Figure I.8**) est en fait la superposition de deux grilles unidimensionnelles perpendiculaires. Nous pouvons facilement comprendre que quelle que soit l'onde incidente parallèle à l'une des deux grilles unidimensionnelles, l'onde réagira avec seulement un réseau de grilles. En effet, il y aura une interaction entre les deux grilles 1D si une des grilles est complémentaire à l'autre. Donc elle a une influence négligeable sur le comportement du réseau. Et selon sa polarisation, le fonctionnement de la grille bidimensionnelle est identique à celui de la grille unidimensionnelle.



**Figure I.8 :** Grilles métalliques bidimensionnelles formées de grilles ou de plaque

### I.3.2.3 Les structures métalliques à base de FSS (imprimé)

Les surfaces sélectives en fréquence ou FSS sont des structures imprimées d'un arrangement périodique de motifs (éléments) métalliques sur un substrat diélectrique suivant un ou deux axes de périodicité. Selon la forme du motif métallique, différentes propriétés de réflexion peuvent être obtenues avec ce type de structure.

Le gain de l'antenne est principalement déterminé par la taille de la PRS et sa réflexion, la hauteur  $h$  de la cavité, et du gain de l'antenne d'alimentation. Si les dimensions de la PRS et le gain de l'antenne d'alimentation sont fixés, la hauteur  $h$  détermine la fréquence de fonctionnement et le gain de l'antenne à cavité qui formée par la PRS et le plan de masse.

Le superstrat doit satisfaire un bon coefficient de réflexion en module et en phase:

- Le module doit être compris entre 0.7 et 0.9 en linéaire.
- La phase qui est déduite de l'expression suivante :

$$\varphi_p + \varphi_G - \frac{2\pi}{\lambda} 2h = 2k\pi, \quad k=0, \pm 1, \pm 2 \quad (\text{I.4})$$

Où  $\varphi_p$  et  $\varphi_G = (180^\circ)$  sont le coefficient de réflexion de la PRS et du plan de masse respectivement.[16]

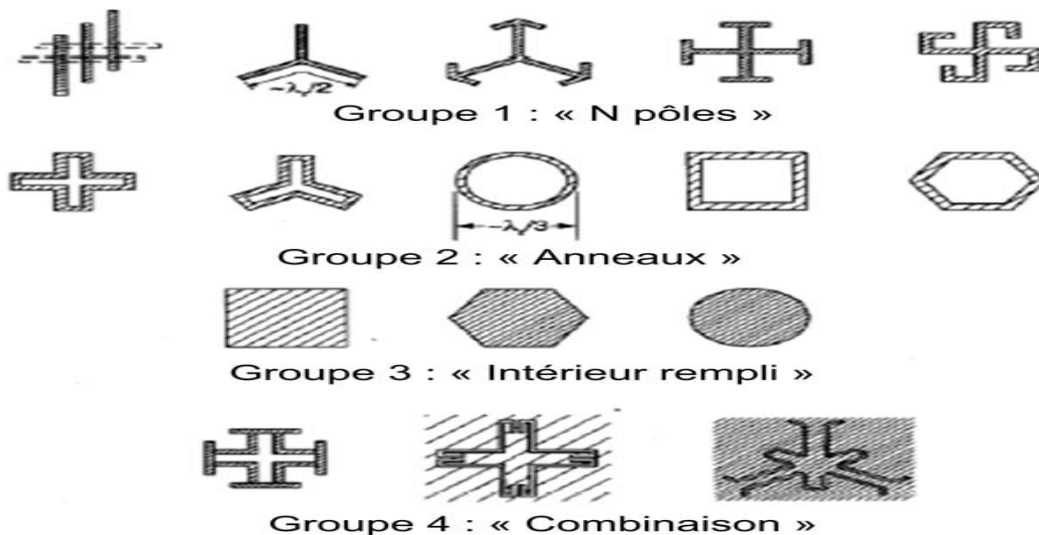


Figure I.9 : Motifs élémentaires pouvant constituer une FSS.

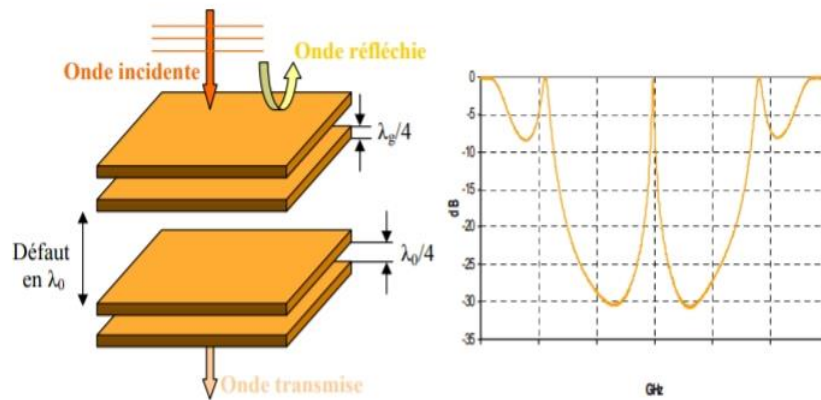
### I.4 Propriétés électromagnétiques des structures BIE à défauts

L'introduction d'un défaut dans la structure peut être réalisée de plusieurs manières à savoir par la modification de la permittivité des empilements ou encore par la suppression de plaques. L'observation du coefficient de transmission de la structure à défaut illuminé par une onde

plane montre l'apparition d'un pic de transmission à la fréquence centrale  $f_0$  (figure I. 10). Une bande permise vient donc d'être créée à l'intérieur de la bande interdite. Ces résultats s'appliquent également aux structures 2D et 3D.

La caractérisation fréquentielle de la structure à défaut souligne une propriété importante des matériaux BIE : le filtrage fréquentiel.

Les matériaux BIE appliqués dans le domaine des antennes permettent de réaliser également un filtrage spatial [17].



**Figure I.10 : Caractérisation d'une structure BIE a défaut**

### **I.5. Domaine d'application dans les micro-ondes**

Un grand nombre d'équipes de recherche se sont intéressées à l'étude des BIE aux fréquences micro-ondes en raison des multiples applications envisageables dans ce domaine de fréquence. Le secteur des télécommunications avec notamment les antennes, est très concerné. En effet, on peut utiliser des matériaux à bandes photoniques interdites pour la réalisation de :

- Substrats d'antennes : les premières expériences visant à exploiter les cristaux électromagnétiques diélectriques comme substrat d'antennes ont été menées par ER. Brown et al.

- Surfaces à hautes impédances: peuvent être utilisées pour améliorer la directivité des antennes

Les BIE peuvent aussi être utilisés dans la réalisation de circuits micro-ondes tels que :

- Filtres planaires; guides.

- Multiplexeurs,

- Amélioration du rendement des antennes par utilisation des substrats à base des cristaux électromagnétique ultra réfractifs. [17]

## **I.6. Conclusion**

Ce chapitre est consacré brièvement sur les matériaux périodiques BIE : leur histoire, propriétés, et la description des matériaux BIE diélectrique et métalliques. ainsi que le principe de fonctionnement en citant l'application dans le domaine micron-onde. Comme on a pu comprendre et mettre en évidence les propriétés attractives des matériaux BIE-M, et ces matériaux intéressent de nombreux chercheurs car ce sujet est très vague.

## Bibliographies

- [1] L. Rayleigh. On the maintenance of vibrations by forces of double frequency, and on the propagation of waves through a medium endowed with a periodic structure. *Philosophical Magazine*, 24 :145–159.
- [2] John D. Joannopoulos, Steven G. Johnson, Joshua N. Winn, and Robert D. Meade. *Molding the Flow of Light*. Princeton University Press, 2008.
- [3] Y. Rahmat-Samii and F. Yang. Applications of EBG in low profile antenna designs : What have we learned? In Saïd Zouhdi, Ari Sihvola, and Alexey P. Vinogradov, editors, *Metamaterials and plasmonics : Fundamentals, Modelling, Applications*. Springer, 2008.
- [4] V. G. Veselago and E. E. Narimanov. The left hand of brightness : past, present and future of negative index materials. *Nature Materials*, 5 :759–762.
- [5] Viktor G Veselago. The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of  $\epsilon$  and  $\mu$ . *Soviet Physics Uspekhi*, 10(4) :509, 1968.
- [6] Alain Priou. Matériaux composites en électromagnétisme. *Techniques de l'Ingénieur*, (E 1165).
- [7] Mohamed Farhat, Sebastien Guenneau, and Stefan Enoch. Ultrabroadband elastic cloaking in thin plates. *Phys. Rev. Lett.*, 103(2) :024301, July 2009.
- [8] P. de Maagt, R. Gonzalo, Y.C. Vardaxoglou, and J.-M. Baracco. Electromagnetic bandgap antennas and components for microwave and (sub)millimeter wave applications. *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, 51(10) :2667 – 2677, Oct. 2003.
- [9] R. Mettra, C. Chan et T. Cwik, " Techniques d'analyse surfaces sélectives de fréquence - une revue", *IEEE Proc.* 76 (23): 1593-1615 (décembre 1988)
- [10]. T. K. Wu, éd., " Frequency Selective Surface and Grid Array", Wiley, New York, 1995.
- [11] M.PLIHAL, A.A MARADUDIN "*Photonic band structure of two dimensional systems: the triangular lattice*" *Phys .Rev B / vol 44 1991 – pp 8565*

[12] G.S SMITH, M.P KESLER, J.G MALONEY *"Dipole antennas used with all dielectric photonic band gap reflector: gain, field, patterns and input impedance crystals"*  
M.O.T.L / Vol 21, N 3, May 5 1999 –pp191-196

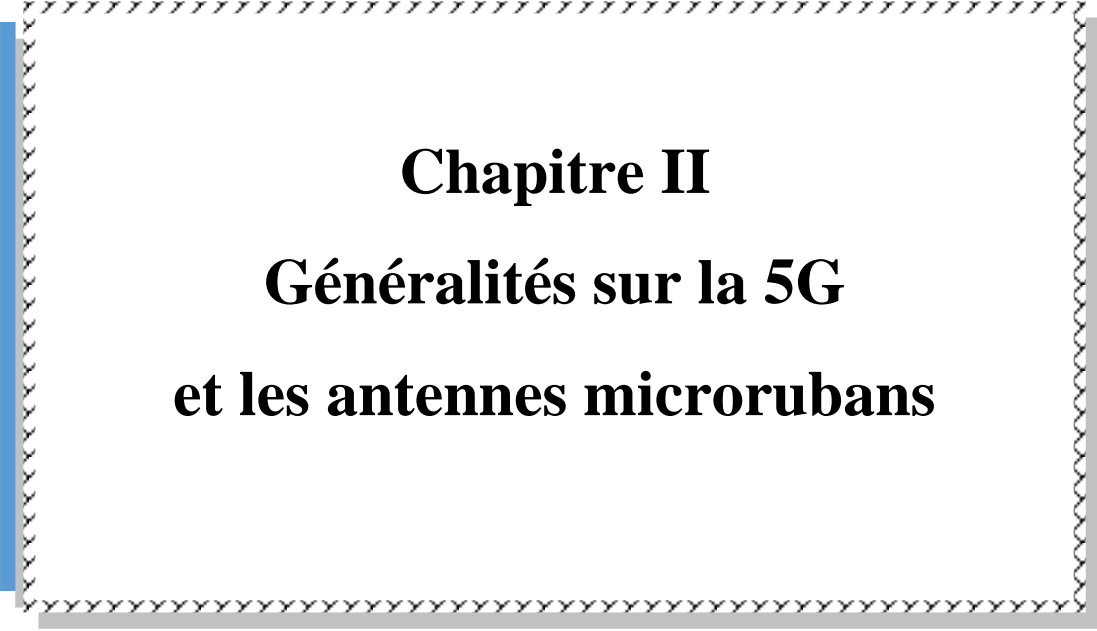
[13] M.M SIGALAS, R.BISWAS , Q.LI ,D.CROUCH, W. LEUNG, R . JACKOBWOODBURY, B.LOUGH, S.NIELSEN , S. McCALAMONT, G. TUTTLE, K.M. HO *"Dipole antennas on photonic band gap crystals- Experiment and simulation "* M.O.T.L / Vol 15, N 3, June 20 1997 – pp153-158

[14] M. M. SIGALAS, C. T. CHAN, K. M. HO and C. M. SOUKOULIS « Metallic photonic band-gap materials » Appl. Phys letters (1995).

[15] T. Jaffré, “Caractérisation des matériaux à bande interdite électromagnétique multipériodiques et leurs applications aux antennes.” Limoges, 2005.

[16] D. HAMZAOU, « Modélisation et caractérisation de métamatériaux en hyperfréquence. Application à la réalisation de composants passifs ». Thèse de doctorat 2017.

[17] A. BOUFRIOUA « Contribution à l'étude des antennes à patch résistifs et parfaitement conducteur tenant compte d'une source d'excitation et des nouvelles formes asymptotiques de courant » Thèse de Doctorat, Université de Constantine, 2006.



**Chapitre II**  
**Généralités sur la 5G**  
**et les antennes microrubans**

## II.1. Introduction

La 5G est le réseau mobile de la 5<sup>ème</sup> génération, il s'agit d'une nouvelle norme mondiale sans fil, destinée à satisfaire les besoins croissants de population en offrant des débits de pointe de plusieurs **Gbps**, une plus grande fiabilité et disponibilité, une latence ultra faible, et une capacité des réseaux très élevés.

Pour la 5G, comme pour toutes les autres générations de réseau mobile, les antennes sont un support indispensable. Ce sont elles, en effet, qui permettent de relayer et de transmettre le signal.

Afin que le nouveau réseau mobile 5G puisse fonctionner, les opérateurs doivent déployer des dizaines de milliers de nouvelles antennes.

Ce chapitre présente : dans la première partie un aperçu général sur la 5G. Nous allons commencer par donner un bref historique sur les générations de technologie de télécommunications, ensuite la technologie utilisée et l'objectif de la 5G. Enfin les avantages des fréquences de cette génération. Dans la deuxième partie nous allons collecter de nombreuses informations importantes pour visualiser les antennes micro ruban et en donner une description simple en mentionnant ses différents types et caractéristiques, et nous mettrons également en évidence les différentes techniques d'alimentation de ces antennes, leurs avantages et certaines applications.

## II.2 Historique

Le réseau du téléphone mobile a subi plusieurs développements dans le temps. On distingue 4 générations :

1<sup>ère</sup> génération : apparaissant dans les années 1980 basée sur un système mobile de service vocal analogique.

2<sup>ème</sup> génération : est le premier système mobile vocal numérique, qui a été développé en 1990 par l'accès multiple par répartition dans le temps (TDMA).

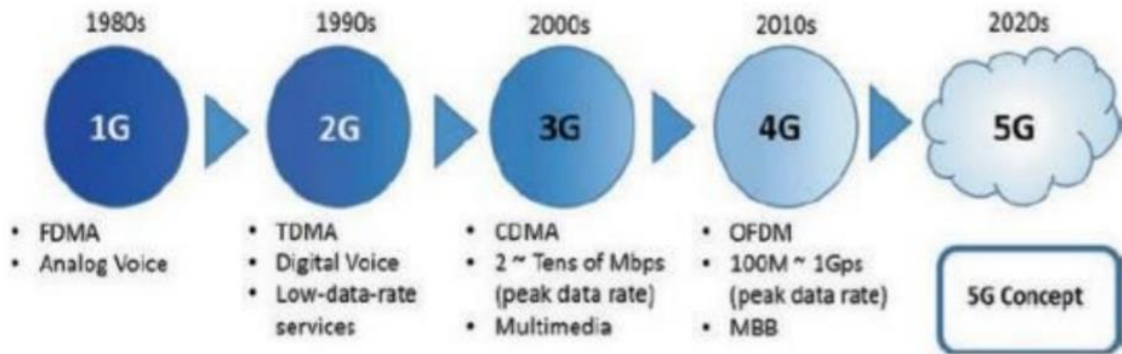
3<sup>ème</sup> génération : du milieu des années 1990 au 2000, l'évolution a touché l'accès multiple par division de codage (CDMA).

4<sup>ème</sup> génération : L'augmentation du taux de données est l'objectif principal de cette génération développé en 2010 fournissent des services de messagerie multimédia (MMS),

diffusion vidéo numérique (DVB) et plus de clarification pour regarder la télévision à long terme.

Evolution (LTE) est le principal système 4G, il fournit des services de haute qualité (QoS), et une meilleure sécurité des données que les générations précédentes.

En observant la ( figure II.1), nous voyons un écart de 10 ans entre les principales générations des technologies de communication sans fil.



**Figure II.1:** Vue schématique de l'histoire des communications cellulaires

Le tableau II.1 récapitule les caractéristiques spécifiques des différentes générations de systèmes de communication mobiles.

Génération	1G	2G	3G	4G	5G
1 <sup>ère</sup> Année de déploiement	1981	1992	2001	2010	2020
Débit de données	2kb/s	64kb/s	2Mb/s	100Mb/s	10Gb/s
Fréquences	900MHz	900MHz et 1.8GHz	800/900 MHz 1.7 à 1.9GHz 2100MHz	800MHz 900MHz 1800MHz 2100MHz 2600MHz	28GHz 37GHz 39GHz 64-71GHz
Description fonctionnelle Générale	Téléphones cellulaire analogiques	Téléphones Cellulaires Numériques (GSM/CDMA)	Première bande passante mobile utilisant des Protocole IP (WCDMA 2000)	Le haut Débit Mobile sur un standard unifié (LTE)	Internet Tactile- Améliore Le réseau De communication M2M

**Tableau II.1: Résumé des générations de communications mobiles [1]**

### **II.3. La technologie 5G**

Les technologies IMT-2020 de la cinquième génération (5G) est en cours, et elles possèdent un potentiel de transformation immense pour rendre nos vies meilleures.

De meilleurs soins de santé, des villes plus intelligentes, une industrie bien plus efficace tout cela devient possible à l'heure où l'internet prend de l'ampleur et s'accompagne d'une large gamme de solutions innovantes, qui font tourner notre économie moderne. Toutefois, sans les réseaux 5G, aucun de ces éléments ne peut exprimer tout son potentiel. Bientôt, en effet, les systèmes 5G intelligents deviendront indispensables pour satisfaire la forte demande de données des milliards de personnes qui utilisent des quantités de vidéos chaque jour plus importantes [2].

La 5G permettra des débits de données nettement plus rapides, une connectivité fiable ainsi qu'une faible latence pour les télécommunications mobiles internationales (IMT) autant de points nécessaires à notre nouvel écosystème de communications mondial, constitué de dispositifs connectés envoyant de grandes quantités de données via la large bande à ultra-haut débit [3].

La bande des 3,5 GHz a été attribuée en exclusivité à la 5G. Les opérateurs pourront également faire de la 5G dans la bande des 700 MHz et celle des 2,1 GHz, déjà attribuées à la 4G, mais à condition d'avoir du spectre disponible. À termes, la bande des 26 GHz sera également attribuée à la 5G.

### **II.4. Objectifs de la 5G**

La 5G devrait avoir un impact important sur la société (personnes et objets). Le besoin de plus de données sur le réseau sans fil, la demande d'un service de meilleure qualité sont parmi les facteurs qui ont conduit à l'émergence du réseau 5G. L'un des plus grands avantages de la 5G est sa capacité à créer un réseau mondial [4].

La révolution de la 5G vise comme objectif :

- Assurer un accès internet haut débit depuis un smart phone ou tablette.
- Atteindre les meilleurs débits (1 Gb par seconde).
- Avoir de plus gros forfaits data : le volume de données devra être 1000 fois plus élevé.
- Obtenir un délai de transmission inférieur à 10 ms.
- Avoir un temps de « latence » plus court qui donne l'impression que le réseau est très réactif.
- Avoir Moins d'antennes : le nombre de terminaux pouvant être connectés par antenne devra être 100 fois supérieur, mais le nombre d'antennes dépend surtout des fréquences utilisées.

## II.5 Les avantages des fréquences de la 5G

Les quatre bandes de fréquences utilisées par la 5G ont toutes des propriétés différentes. La bande des 700MHz est celle qui va assurer la meilleure couverture mobile. La bande des 26GHz est celle qui offrira les meilleurs débits. Et la bande des 3,5GHz et celle des 2,1GHz sont celles qui offrent le meilleur compromis entre débit et portée du signal.

## II.6 Définition d'une antenne

Une antenne est un transducteur qui convertit l'onde radiofréquence qui se propage dans l'espace libre en courant électrique et vice-versa. Une antenne de réception convertit un rayonnement électromagnétique en courant électrique. La même antenne peut servir en émission qu'en réception : réciprocité des antennes [5].

## II.7 Différent types d'antennes

Généralement, il existe une grande variété de techniques pour la réalisation des antennes, chacune d'elles possède ses propres caractéristiques et sert à une application bien déterminée.

Il existe plusieurs types d'antennes selon la géométrie, le gain, la forme du faisceau et la bande passante. On peut citer quelques-unes [6] :

Antennes dipolaire, Antenne à boucle magnétique, Antenne cornet, Antenne à réflecteur parabolique, antenne microruban (imprimée).

## II.8 Paramètres et caractéristiques d'antenne

### II.8.1 Diagramme de rayonnement

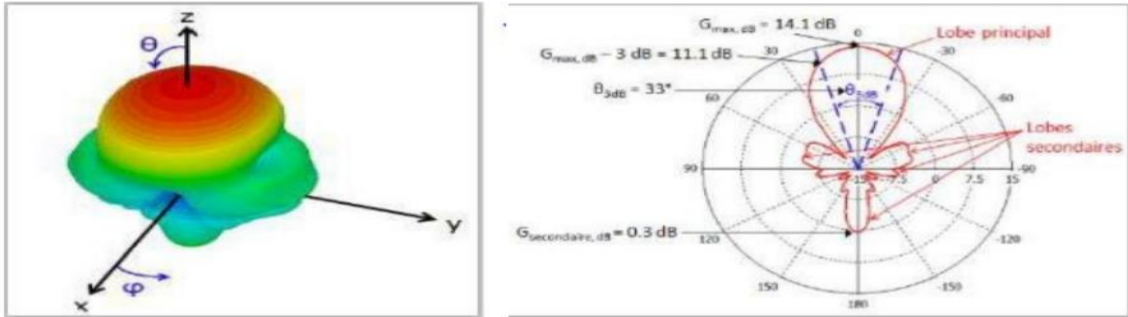
Le diagramme de rayonnement de l'antenne peut être défini comme une représentation graphique des propriétés rayonnées (puissance/champ) en fonction de l'espace angulaire [7].

Il est donné par la relation suivante :

$$\mathbf{r}(\theta, \varphi) = \frac{P(\theta, \varphi)}{P_0(\theta_0, \varphi_0)} \quad (\text{II.1})$$

➤  $P(\theta, \varphi)$  : Puissance rayonnée dans une direction quelconque.

➤  $P_0(\theta_0, \varphi_0)$  : Puissance rayonnée max.



**Figure II 2:** (a)Exemple d'un diagramme de rayonnement en 3D, (b)diagramme dans le plan YOZ (gain en dB).

### II.8.2 Directivité

La directivité d'une antenne caractérise la manière dont cette antenne concentre son rayonnement dans certaines directions de l'espace. La directivité est définie comme : le rapport de l'intensité de rayonnement dans une direction de l'antenne par rapport à l'intensité de puissance que rayonnerait la source isotrope. Elle est donnée par la relation suivante [8] :

$$D(\theta, \varphi) = \frac{P(\theta, \varphi)}{P(\theta, \varphi)_{iso}} = \frac{P(\theta, \varphi)}{\left(\frac{P_r}{4\pi}\right)} \quad (\text{II.2})$$

Avec :

- $P(\theta, \varphi)$  : La Puissance rayonnée par unité d'angle solide  $(\theta, \varphi)$ .
- $P_r$  : est la puissance totale rayonnée.

### II.8.3 Gain

Le gain est une quantité descriptive de la performance d'une antenne. Le gain d'une antenne isotrope est pris comme une référence unité (0 dB). Le gain d'une antenne dans une direction donnée est le rapport de l'intensité de rayonnement et de celle d'une antenne isotrope [9].

$$G(\theta, \varphi) = \frac{P(\theta, \varphi)}{(P_a / 4\pi)} \quad (\text{II.3})$$

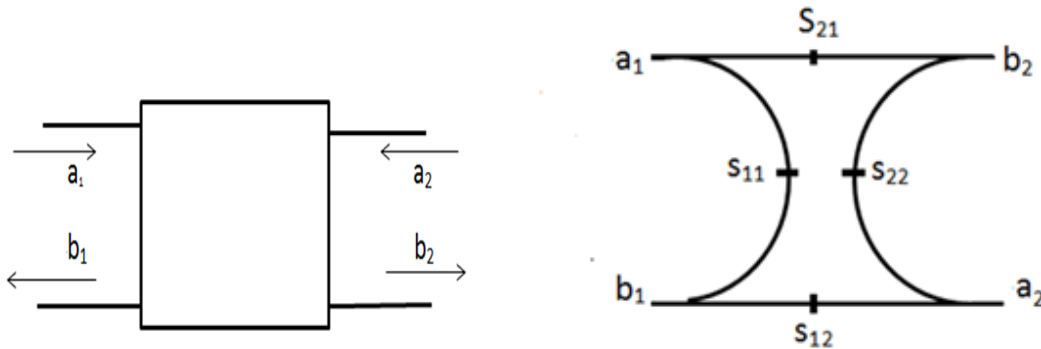
Avec :

- $P(\theta, \varphi)$  : Puissance rayonnée dans une direction.
- $P_a$  : Puissance rayonnée par l'antenne.

### II.8.4 .La représentation en quadripôle

Le schéma ci-dessous montre la représentation d'une antenne en quadripôle et définit par

les paramètres S, en présence des ondes de puissance ( $a_1, a_2, b_1$  et  $b_2$ ).



**Figure (II.3) :**(a) Représentation en quadripôle (b) graphe de transfert associé

On a:  $b_1 = S_{11} a_1 + S_{12} a_2$

$b_2 = S_{21} a_1 + S_{22} a_2$

$S_{11}, S_{12}, S_{21}$  et  $S_{22}$  sont des coefficients.

D'une manière générale, lorsqu'une onde incidente change de milieu de propagation ou rencontre une nouvelle interface, une partie de cette onde incidente est réfléchiée et l'autre partie est transmise dans le nouveau milieu. Le coefficient de réflexion d'une antenne se définit comme étant le rapport des amplitudes des ondes incidentes sur les ondes réfléchiées [10].

Pour une antenne d'impédance  $Z$ , reliée à la source par une ligne d'impédance caractéristique  $Z_0$  (souvent égale à  $50\Omega$ ), le coefficient de réflexion peut être défini par :

**Le coefficient de réflexion S11**

$S_{11}$  est le coefficient correspondant à la réflexion en entrée des quadripôles lorsque  $a_2 = 0$

$$S_{11} = \frac{(Z(f) - Z_0)}{(Z(f) + Z_0)} \tag{II.4}$$

Avec :

- $Z$ : est l'impédance d'entrée de l'antenne.
- $Z_0$ : est l'impédance caractéristique (Généralement égale à  $50\Omega$ )

Le module du coefficient de réflexion est souvent exprimé en décibel (dB) et est noté  $|S_{11}|$  et se définit comme suit :

$$|S_{11}|_{dB} = 20 \log |S_{11}| \tag{II.5}$$

Le coefficient de réflexion permet de connaître la qualité d'adaptation d'une antenne.

En effet, plus son module tend vers l'infini, plus l'antenne est adaptée. Souvent, la fréquence de résonance d'une antenne est celle où le coefficient de réflexion est minimal.

### II.8.5 L'impédance d'entrée

L'impédance d'entrée est égale au rapport de la tension  $V_e$  sur le courant  $I_e$  présenté à l'entrée (figure II.2) [11] :

$$Z = \frac{V_e}{I_e} = R + jX \quad (\text{II.6})$$

Avec :

- $Z$  = impédance d'entrée aux bornes a et b.
- $R$  = résistance de l'antenne aux bornes a et b.
- $X$  = réactance de l'antenne aux bornes a et b.

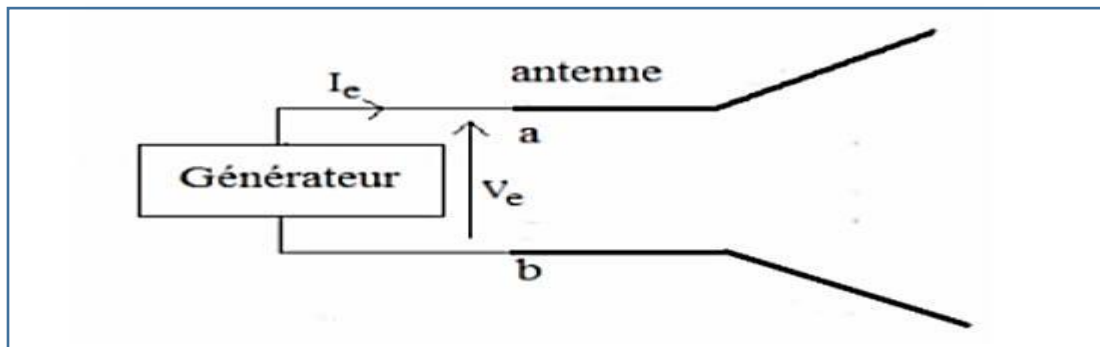


Figure II. 4: Antenne en mode émetteur.

### II.8.6. Rapport d'onde stationnaire (ROS)

Les lignes de transmission permettent aux ondes électromagnétiques de se propager dans les deux directions. Quand la source, la ligne de transmission et la charge ont toutes la même impédance, l'onde électromagnétique se propage de la source à la charge sans aucune perte du signal. Par contre, si la source n'a pas la même impédance par rapport aux autres éléments de la chaîne de transmission, une partie de l'onde sera réfléchiée et lorsqu'elle atteint la charge et sera renvoyée vers la source. Dans ce cas, les ondes incidentes et réfléchiées se superposent et engendrent une onde stationnaire [12].

Si on peut caractériser par (+V) l'onde propageant vers l'avant et par (-V) l'onde en retour, alors le taux ou le rapport d'onde stationnaire sera défini par :

$$Ros = \frac{(+V)+(-V)}{(+V)-(-V)} \quad (\text{II.7})$$

Il est lié au coefficient de réflexion  $\Gamma$  par la relation :

$$Ros = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (\text{II.8})$$

### II.8.7 Fréquence de résonance et bande passante

La bande passante d'une antenne peut être définie comme étant la gamme des fréquences utile, en laquelle l'antenne possède des capacités optimales pour émettre ou recevoir l'énergie électromagnétique correspondante dans l'espace environnement. La valeur des limites sur les critères de fonctionnement de l'antenne définit un domaine de fréquences situées entre une valeur minimale  $f_{min}$  et une valeur maximale  $f_{max}$ .

La bande passante est donnée par II.9, ainsi la bande relative peut être exprimée comme donnée par l'équation II.10 [13] :

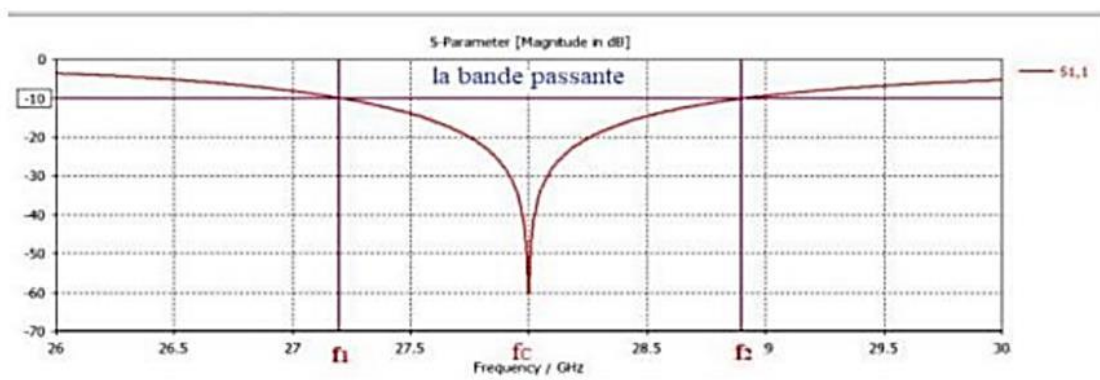
$$BP = f_{max} - f_{min} \quad (\text{II.9})$$

$$BP(\%) = \left[ \frac{f_{min}-f_{max}}{f_c} \right] * 100 \quad (\text{II.10})$$

Avec :

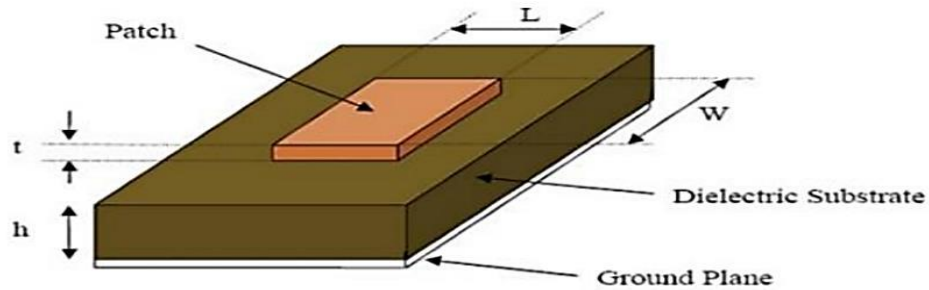
➤  $f_c$  : est la fréquence centrale ou de résonance.

Une méthode pour mesurer la bande passante d'une antenne est représentée sur la Figure II.3.



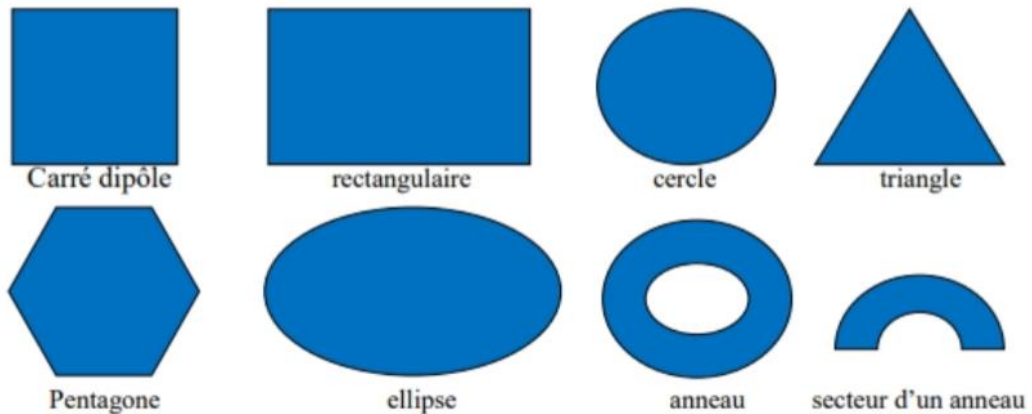
**Figure II .5:** Illustration de la bande passante à -10 dB d'une antenne **II.9 Antenne microruban (imprimée)**

L'antenne microruban, appelée aussi antenne imprimée est constituée d'un diélectrique, possédant un plan de masse métallique sur une face. Sur l'autre face de ce diélectrique, un patch métallique permet de supporter des courants de surface qui créent le rayonnement électromagnétique (figure II.6) [14].



**Figure II.6:** Structure d'une antenne microruban

L'antenne patch prend différentes formes et s'intègre dans plusieurs applications selon sa fréquence de résonance.



**Figure II .7:** Différentes formes d'une antenne patch.

## II.10. Avantages et inconvénients de l'antenne patch

Il existe de nombreux avantages et limites pour les antennes imprimées lorsqu'on les compare à d'autres types d'antennes :

### Avantage :

- Poids léger, petite taille et a une forme mince.
- Facile et peu coûteux à fabriquer.

- Ses méthodes d'alimentation sont faciles.
- Il peut être utilisé en forme de réseau facilement lors de la combinaison avec le déphaseur, nous avons des antennes intelligentes.
- Il supporte la polarisation linéaire et circulaire.
- Un patch peut supporter des fréquences résonantes doubles et triples.

**Inconvénients :**

- Bande passante limité
- Faible efficacité et gain.
- Rayonnement étranger provenant des alimentations et des jonctions.
- Faible capacité de gestion de puissance.
- Excitation des ondes de surface.

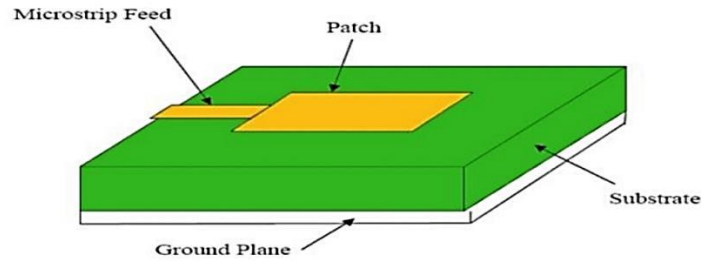
## **II.11 Techniques d'alimentation**

Les antennes microrubans peuvent être alimentées par plusieurs méthodes. Ces méthodes peuvent être classées en deux types : contact et non contact. Dans la méthode de mise en contact, la puissance RF est envoyée directement au patch rayonnant à l'aide d'un élément de connexion tel qu'une ligne microruban. Dans le type sans contact, un couplage de champ électromagnétique est effectué pour transférer la puissance entre la ligne microruban et le patch rayonnant. Les quatre techniques d'alimentation les plus utilisées sont la ligne microruban, la sonde coaxiale (alimentation avec contact), le couplage d'ouverture et le couplage de proximité (alimentation sans contact).

### **II.11.1 : Alimentation par ligne par microruban**

Dans ce cas, une ligne microruban est directement connectée à l'élément rayonnant comme le montre la Figure II.8 , le point de jonction peut être sur l'axe de symétrie du patch ou complètement décalé pour permettre une meilleure adaptation d'impédance .Ce type d'alimentation est facile à mettre en œuvre et à modéliser, mais peut engendrer un rayonnement parasite qui peut devenir considérable et une bande passante typiquement entre 2 et 5 % [15].

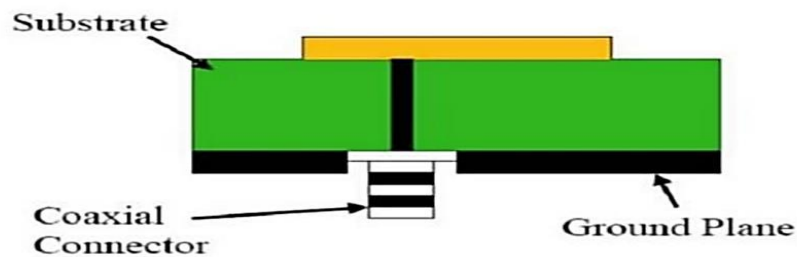
Ce genre d'alimentation a l'avantage que l'alimentation peut être gravée sur le même substrat pour fournir une structure planaire. C'est la technique la moins coûteuse et la plus simple à réaliser.



**Figure II .8:** Alimentation par ligne micro-ruban

### II.11.2 Alimentation par sonde coaxiale

L'alimentation par sonde coaxiale est montrée sur la (Figure II.9), dans ce cas, le conducteur central (intérieur) est soudé directement à l'élément rayonnant (patch) après avoir traversé le diélectrique et le plan de masse, le conducteur extérieur est relié directement à ce dernier. L'avantage de cette méthode est qu'elle peut être appliquée à n'importe quel endroit du patch avec une facilité de fabrication et moins de rayonnement parasite. [16]

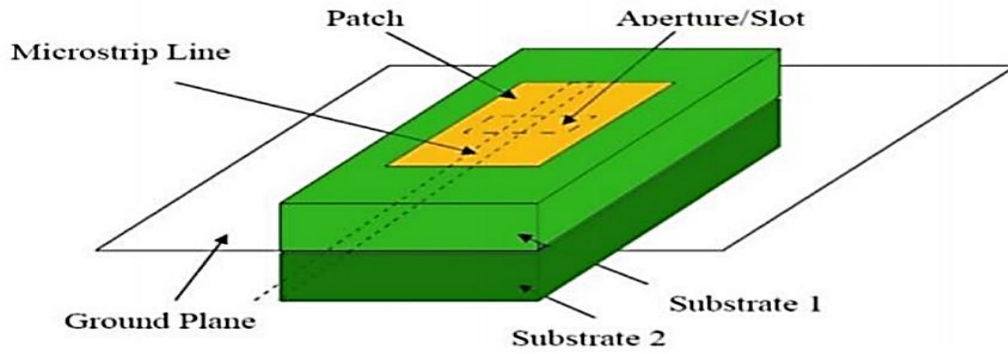


**Figure II .9 :** Alimentation par sonde coaxiale

### II.11.3 Alimentation couplée par ouverture

Dans cette technique d'alimentation, le patch de rayonnement et la ligne d'alimentation sont séparés par le plan de masse comme indiqué sur la Figure II.10. La jonction entre le patch et la ligne d'alimentation est faite par une ouverture ou une fente dans le plan de masse [17].

Ce type d'alimentation offre la meilleure bande passante, il est facile à modéliser et présente un rayonnement parasite faible. La distance entre la ligne d'alimentation et le patch peut être utilisée pour adapter l'impédance de l'antenne. Le principal inconvénient de ce type d'alimentation est qu'il est difficile à mettre en œuvre.



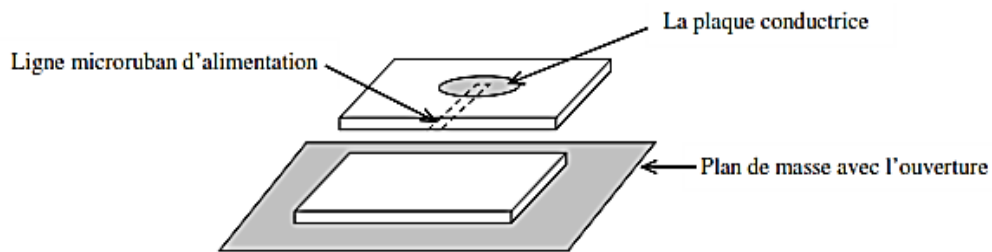
**Figure II.10:** Alimentation couplée par ouverture

#### II. 11. 4. Alimentation couplée par proximité

Ce type d'alimentation est représenté sur la Figure II.11, deux substrats diélectriques sont employés tels que la ligne d'alimentation est entre les deux substrats et le patch de rayonnement est sur le substrat supérieur.

L'avantage principal de cette technique d'alimentation est l'élimination du faux rayonnement d'alimentation et l'obtention d'une bande passante plus large et ce par l'augmentation globale de l'épaisseur de l'antenne.

Parmi les inconvénients de cette méthode d'alimentation nous citons la difficulté de fabrication à cause des deux couches diélectriques nécessitant un alignement approprié, ainsi que la difficulté d'intégration de dispositifs actifs [18].



**Figure II.11 :** Alimentation par couplage par proximité

#### II.11.5. Alimentation par couplage par fente

L'alimentation par ligne microruban ou par ligne coaxiale présentent une asymétrie qui génère des modes d'ordres supérieurs produisant un rayonnement de polarisation croisée, pour y remédier à cet état de fait l'alimentation par fente a été introduite.

Un couplage électromagnétique est introduit à travers une petite fente réalisée dans le plan de masse qui sépare deux substrats l'un portant l'élément rayonnant et l'autre la ligne microruban comme le montre la figure (I-8-c). Cette configuration permet une optimisation indépendante entre la ligne d'alimentation et le patch, facile à modéliser et présente un rayonnement parasite modéré. Cependant, elle est la plus difficile à mettre en œuvre et présente une bande passante étroite [19]

## II.12 Techniques d'adaptation

Dans la construction de circuits hyperfréquences, on recherche souvent l'adaptation, c'est à dire à se ramener à une impédance différente (qui est souvent l'impédance caractéristique) de celle obtenue en fin de circuit [19]. Plusieurs techniques d'adaptation existent, les plus utilisées sont :

### II.12.1 Adaptation par ligne quart d'onde

Pour améliorer l'adaptation de l'antenne on utilise un transformateur quart d'onde, il suffit que le transformateur soit placé entre la ligne microruban et l'extrémité du patch comme le montre la Figure II.12.

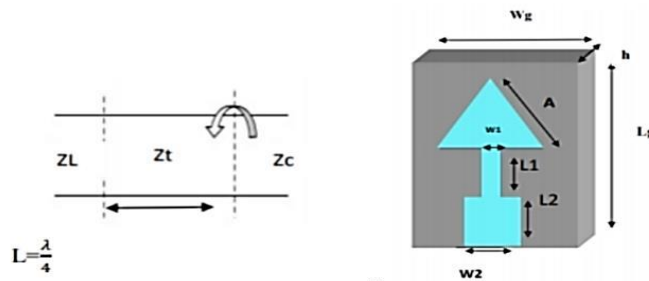
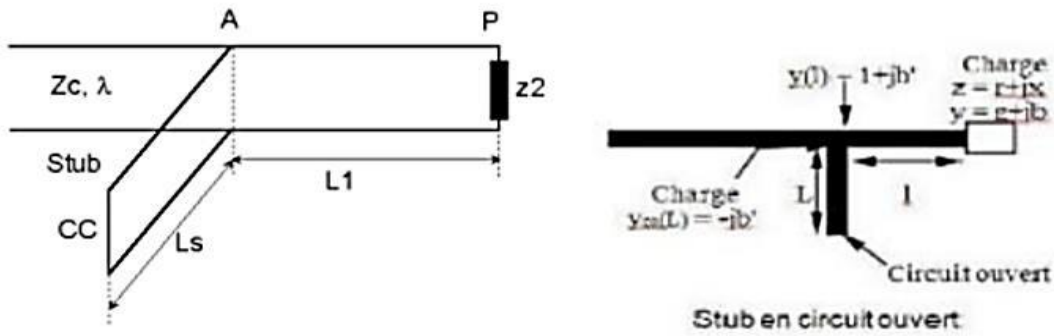


Figure II.12 :( a) Modélisation de l'antenne quart d'onde (b) : adaptation par ligne quart d'onde.

### II.12.2 Adaptation par stub

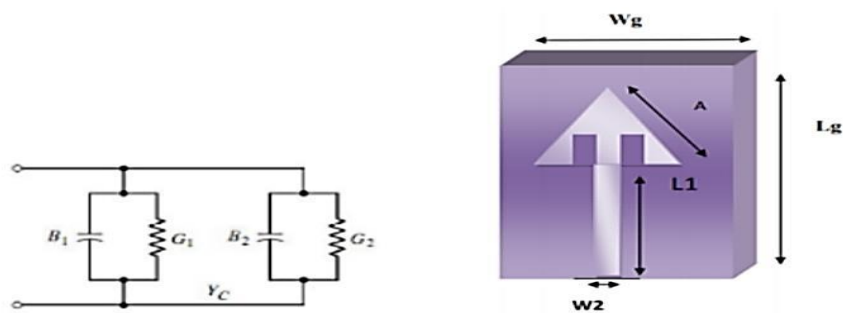
Pour réaliser l'adaptation d'une charge quelconque, on utilise un stub en circuit ouvert (open stub) ou en court-circuit (short stub). Un stub est un tronçon de ligne de longueur  $L_s$  que l'on branche en dérivation sur la ligne principale à une distance  $d$  de la charge.



**Figure II 13:**(a) Modélisation de l'antenne à Adaptation simple stub. (b): Stub en circuit ouvert

### II.12.3 Adaptation avec encoches

Pour améliorer l'adaptation de l'antenne on utilise des encoches dans la géométrie du patch [18].



**Figure II. 14:** (a) L'équivalence en circuit.

( b ): Patch adapté par encoches.

### II.13. Méthodes d'analyse

Les antennes microrubans sont principalement analysées par les méthodes dédiées aux circuits planaires.

Ces méthodes peuvent être classées en deux grandes catégories les méthodes analytiques simples, tels que le modèle de la ligne de transmission et le modèle de la cavité et les méthodes numériques rigoureuses telles que la méthode des moments, la méthode des d'intégration finis et la méthode des différences finies...

#### II.13.1 Méthode analytiques

Ces méthodes sont basées sur la distribution du courant magnétique autour du patch, les principales méthodes de cette catégorie sont le modèle de la ligne de transmission et le modèle de la cavité .[20]

## II.13.2 Méthodes numériques

Les techniques numériques, basées sur la détermination de la distribution du courant sur la surface de l'élément conducteur et le plan de masse dans le domaine fréquentiel pour certaines et temporel pour d'autres, peuvent analyser les formes les plus arbitraires et les multicouches.

### II.13.2.1 Méthode des éléments finis

La méthode aux éléments finis, très employée dans le domaine fréquentiel, consiste à discrétiser les équations de Maxwell en amont au niveau de la formulation aux dérivées partielles des équations de propagation.

### II.13.2.2 Méthode des différences finies

La méthode des différences finies dans le domaine temporel F.D.T.D (*Finite Difference Time Domain*) est une approche numérique permettant la résolution des équations différentielles dans le domaine temporel dans une structure uniformément maillée.

### II.13.2.3 Méthode des moments

La méthode des moments utilisée essentiellement dans le domaine fréquentiel permet de résoudre efficacement le système d'équations intégrales en le transformant en un système matriciel résolu par ordinateur [20].

### II.13.2.4 Méthodes d'optimisation

L'optimisation est le processus qui consiste à minimiser ou à maximiser une fonction objective ou de coût. Dans le cas d'une antenne micro-ruban, l'optimisation consiste à approximer d'une manière précise un de ces paramètres tels que la fréquence de résonance, l'impédance d'entrée ou le paramètre  $S_{11}$ .

### II.13.2.5 La Méthode D'intégration Finie (FIT)

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.

La méthode d'intégration finie, c'est probablement la méthode numérique pour l'électromagnétique simulation sur le terrain avec le développement le plus dynamique.

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. Par ailleurs, la méthode d'intégration finie contribue, dans la dernière décennie, à des changements fondamentaux de point de vue pour d'autres méthodes numérique, telles que la méthode des éléments finis .

## **II.14 Conclusion**

Les antennes patch jouent un grand rôle dans l'apport de notre confort car elle est compatible avec les derniers outils de communication. Malgré cela, elle fait face à de nombreuses pannes telles que faible gain et restrictions de bande passante, et ce que nous cherchons, c'est l'amélioration pour obtenir de meilleures performances.

## Bibliographies

- [1] M. H. Abu Saada « Design Of Efficient Millimeter Wave Planar Antennas For 5g Communication Systems » Mémoire de Master, Université Islamique de Gaza 2017.
- [2] O. OUASSIM et D. SALAH DINE « Etude des performances de modulation UFMC pour le réseau 5G » mémoire Master en Télécommunication, Université 8Mai 1945 – Guelma, Juin 2019.
- [3] <https://blog.ariase.com/mobile/dossiers/5g-frequences>.
- [4] FEI Hu « Opportunities in 5g Networks a Research and development Perspective » Livre, 5 avril 2016.
- [5] H. Chorfi « Conception D'un Nouveau Système D'antenne Réseau Conforme En Onde Millimétrique » Mémoire de Master, Université Québec Abitibi-Témiscamingue 2012.
- [6] les antennes , théorie , conception et applications. Maurice BELLANGER Professeur au CNAM.Paris, le 26 juin 2009.
- [7] H. Chorfi « Conception D'un Nouveau Système D'antenne Réseau Conforme En Onde Millimétrique » Mémoire de Master, Université Québec Abitibi-Témiscamingue 2012.
- [8] Keit.R.Caver and James.W.Mink , «Microstrip antenna Technology», IEEE.1981.
- [9] F.A. Belainine, M.A. Salmi « Etude De La Miniaturisation Des Antennes Par Replie ment Application Pour La Conception D'une Antenne 2.4GHz » Mémoire de Master, Université Houari Boumediene d'Alger 2013.
- [10] S. Tebache .« Méthode De Caractérisation Hyperfréquence Des Antennes Imprimées » Magister, Faculté des Sciences Et De La Technologie, Université Mohamed Khider, Biskra 2013.
- [11] D. Ameziane « Etude Et Optimisation D'antennes Fractales Plaquées » Mémoire de Magister, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen 2008.
- [12] F.A. Belainine, M.A. Salmi « Etude De La Miniaturisation Des Antennes Par Replie ment Application Pour La Conception D'une Antenne 2.4ghz » Mémoire de Master, Université Houari Boumediene d'Alger 2013.
- [13] M, Gujral, J.L.W, Li,T, Yuan, and CW.Qiu, « Bandwidth improvement of microstrip antenna array using dummy EBG pattern on feed line» national university of Singapore, progress in electromagnetic research, Vol.127, pp.79-92, 2012.

- [14] CHORFI Hamid « Conception d'un nouveau système d'antenne réseau conforme aux ondes millimétrique » mémoire pour l'obtention Université de Quebec ,Mai 2012.
- [15] J. Dauvignac, N. fortino, S. Tourette, G. Kassiavas, P. Ciais. « Miniaturisation Des Antennes UWB Planaires » Université De Nice-Sophia Antipolis. 25 OCT 2006.
- [16] C. A. Balanis, "Antenna theory analysis and design," 2 edition John Wiley and Sons, 1997.
- [17] Choutti Leila ‘’ Contribution à l'étude d'antennes imprimées rectangulaires double bande et multi bandes tenant compte de l'effet de couplage ‘’mémoire pour l'obtention de grade Magister, université de Constantine, 2009.
- [18] F. Najib , “ Contribution à l'optimisation de la synthèse du lobe de rayonnement pour une antenne intelligente. Application à la conception de réseaux à déphasage’’, Université de Limoges. Thèse de doctorat 24 Mai 2005.
- [19] Yamina Tighilt, " Identification des antennes microrubans multicouches par la méthode spectrale les réseaux de neurones ", thèse de Doctorat, Institut d'électronique, Université de Setif. juin 2011.
- [20] M.M SIGALAS, R.BISWAS , Q.LI ,D.CROUCH, W. LEUNG, R . JACKOBWOODBURY, B.LOUGH, S.NIELSEN , S. McCALAMONT, G. TUTTLE, K.M. HO "Dipole antennas on photonic band gap crystals- Experiment and simulation " M.O.T.L / Vol 15, N 3, June 20 1997 – pp153-158.



*Chapitre III*  
**Résultats & discussions**

### III.1. Introduction

Nous avons consacré ce chapitre à la présentation des différentes simulations et résultats qui sont concentré sur le but d'améliorer les performances des antennes Patch.

Nous allons donner une description du programme CST MWS que nous avons utilisé, montrant la gamme de fréquence que nous avons choisi qui est la 5G. Nous allons comparer une antenne patch sans et avec BIE en termes de caractéristiques (coefficient de réflexion  $S_{11}$ , fréquence de résonance, bande passante, gain et directivité). Comme nous avons inséré une couche FSS et étudié l'influence de ses différents paramètres.

### III.2. Présentation générale du simulateur CST MWS

CST MICROWAVE STUDIO est un logiciel complet pour l'analyse et la conception électromagnétique dans la gamme haute fréquence. Il simplifie l'insertion des structures en fournissant un solide en 3D pour modéliser à la fin chaque élément.

Il est un simulateur électromagnétique basé sur la technique des intégrations finis (FIT). Cette méthode numérique fournit un arrangement spatial de discrétisation, applicable à des divers problèmes électromagnétiques, s'étendant du calcul des champs statiques aux applications haute fréquence dans le domaine temporel ou fréquentiel. À la différence de la plupart des méthodes numériques, la méthode FIT discrétisée spatialement les équations de Maxwell sous leur forme intégrale. Afin de résoudre ces équations numériquement, un domaine fini, de calcul est défini. L'espace est donc divisé en cellules élémentaires. Le maillage généré est donc volumique et chaque cellule du maillage est cubique. L'outil de résolution temporelle remplace les dérivées partielles par des différentielles. Cet outil de résolution dans le domaine temporel est très avantageux en termes de temps de calcul [1].

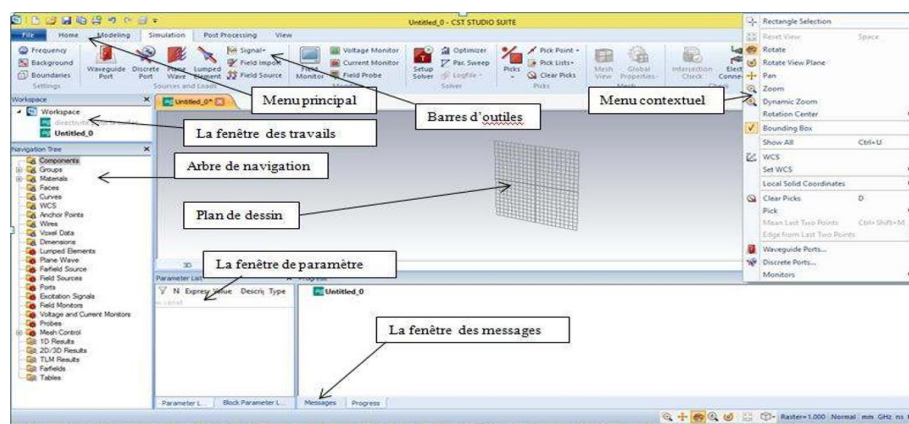


Figure III.1: La fenêtre principale du logiciel CST (2019).

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.3. Antenne patch rectangulaire**

#### **III.3.1. Description de l'antenne patch à substrat normal**

Nous avons choisi une antenne patch rectangulaire qui est constituée de plusieurs couches, dont la première est le plan de masse, qui faisait de long  $100mm$  et de large  $140mm$ , et son épaisseur  $T = 0,017mm$ .

Au-dessus c'est la couche de substrat (diélectrique) avec une épaisseur  $h = 1.635mm$  avec la même largeur et longueur que le plan de masse, puis nous avons créé un patch de largeur  $w = 30mm$  et longueur de  $L = 40mm$ .

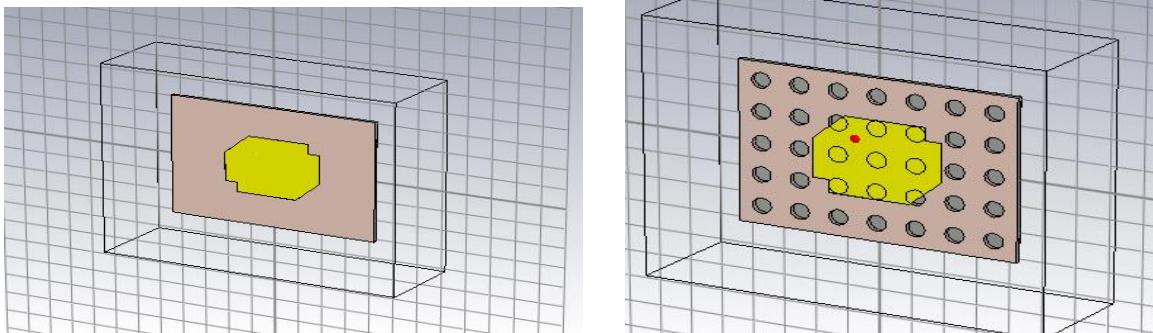
Ainsi, nous avons une antenne patch simple, et nous avons éliminé quelque morceau. L'antenne qu'on a simulée fonctionne dans la bande  $3.5 GHz$  ( $5G$ ), dont les dimensions sont résumées dans le **Tableau III.1**.

Dimensions paramétriques	Valeur (en mm)
$h$ : épaisseur du substrat	1.635
$W$ : largeur du substrat	62
$L$ : longueur du substrat	86
$T$ : épaisseur du plan de masse	0.017
$S$ : surface du patch	$2480mm^2$

**Tableau.III.1.** Dimensions de l'antenne patch rectangulaire à substrat normal

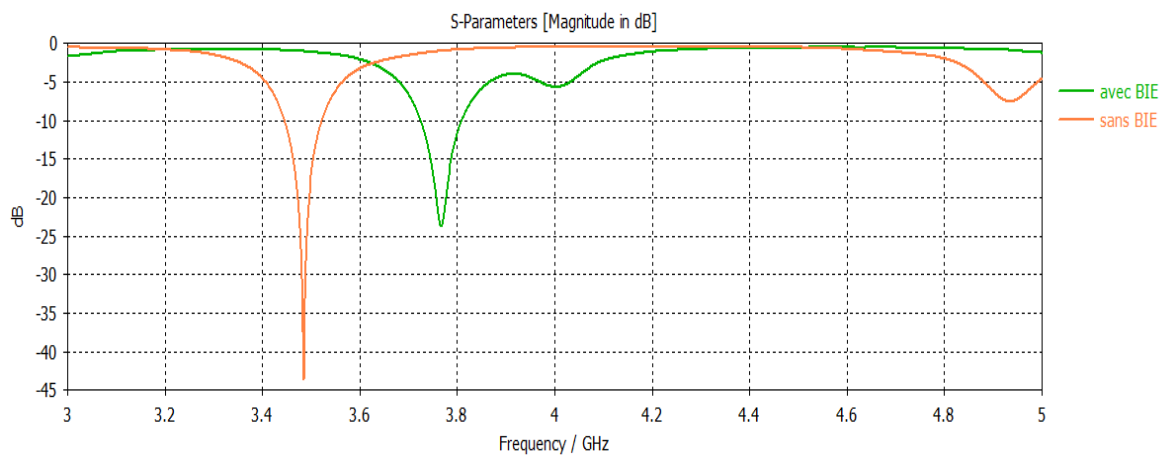
Après avoir effectué plusieurs simulations et après avoir changé plusieurs fois les paramètres. Nous avons atteint des résultats acceptables fixant les valeurs des paramètres, à savoir la longueur de l'antenne  $L = 40mm$ , largeur  $w = 30mm$ , et cela pour avoir une fréquence dans la bande  $3.5 GHz$  et avec une très bonne adaptation de l'antenne. Le type du diélectrique qui forme le substrat,  $\epsilon_r = 4.3$  « **FR-4(LOSSY)** » et enfin, la position du point d'alimentation  $X_0 = -6.836$  et  $Y_0 = 6.836$ . Cela nous a permis d'obtenir des résultats satisfaisants d'une antenne patch en utilisant les dimensions mentionnées ci-dessus. Nous avons éliminé des morceaux.

### III.3.2. Comparaison d'antenne patch avec et sans BIE



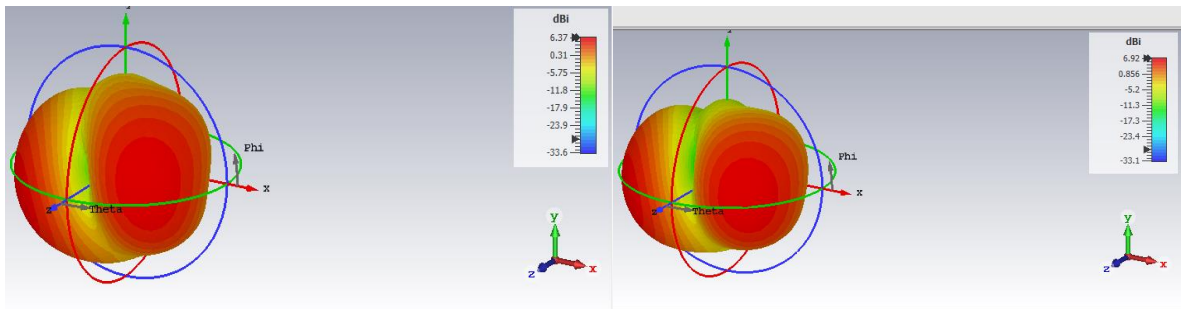
**Figure III .2 :** (a)Structure substrat normal (b)Structure avec BIE.

#### A) Fréquence de résonance



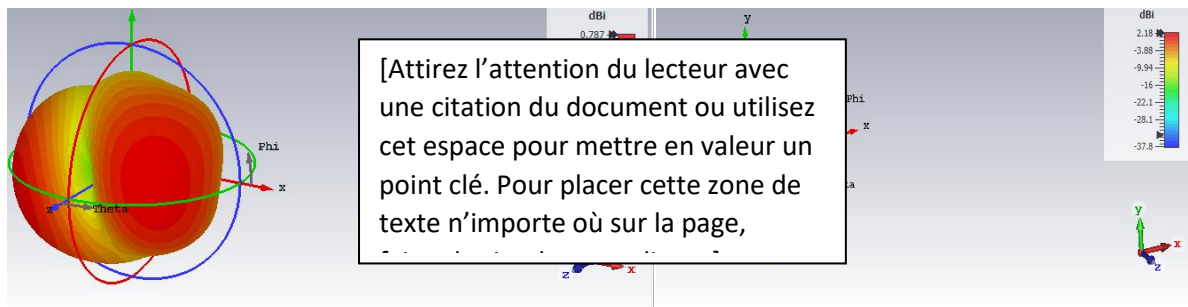
**Figure III.3 :** Coefficient de réflexion  $S_{11}$  pour antenne patch à substrat normal et avec BIE

## B) Directivité



**Figure III.4 :** (a) directivité en 3D sans BIE (b) directivité en 3 D avec BIE

## C) Gain



**Figure III.5 :** (a) Gain en 3D sans BIE (b) Gain en 3D avec BIE

Antenne patch	Fréquence de résonance(GHz)	BP(GHz)	Gain	Directivité
Sans BIE	3.5	0.0745	0.787	6.37
Avec BIE	3.7	0.0808	2.18	6.92

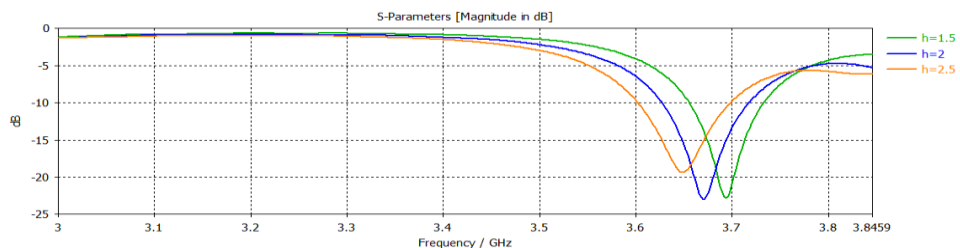
**Tableau III.2** Caractéristiques d'antenne patch avec est sans BIE.

A partir des résultats des 02 antenne indiquée dans le **tableau III.2**, on remarque que

- La fréquence de résonance et la bande passante pour un antenne avec BIE ont augmenté par rapport à celles sans BIE.
- Le gain et la directivité pour une antenne avec BIE sont améliorés par

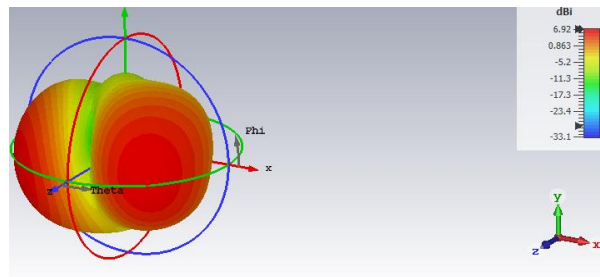
### III.3.3 Effet de la variation de l'épaisseur du substrat d'une antenne BIE

#### A) Coefficients de réflexion $S_{11}$ :

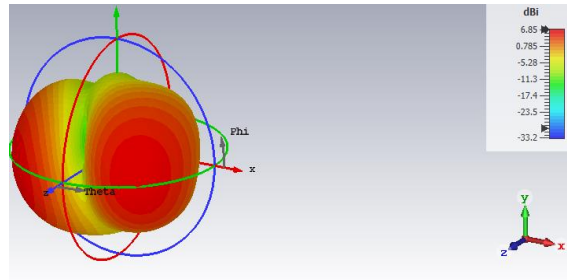


**Figure III.6:** Coefficient de réflexion  $S_{11}$  pour diffèrent épaisseur du *substrat*

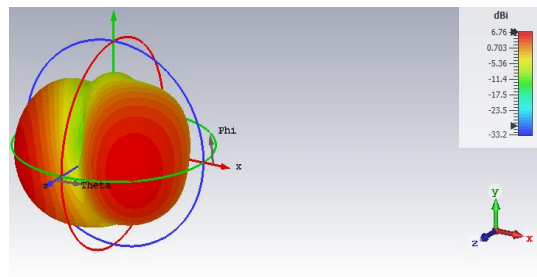
## B) Directivité



**FigureIII.7** :la directivité en 3D pour un épaisseur du substrat égal  $h_1=1.5\text{mm}$ .

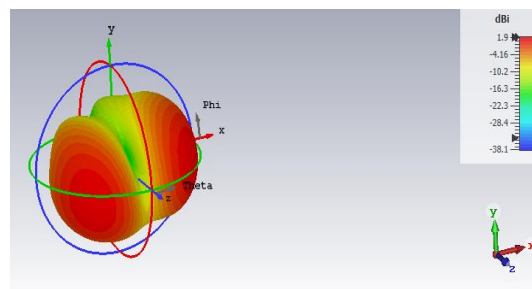


**FigureIII.8** :la directivité en 3D pour un épaisseur du substrat égal  $h_2=2\text{mm}$

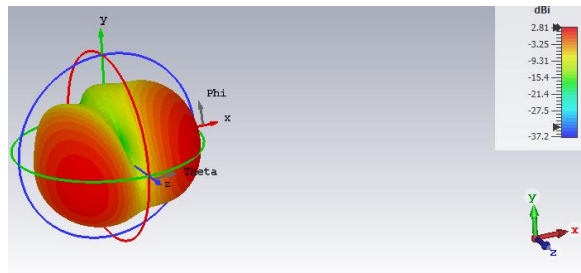


**Figure III .9** :la directivité en 3D pour un épaisseur du substrat égal  $h_3=2.5\text{mm}$ .

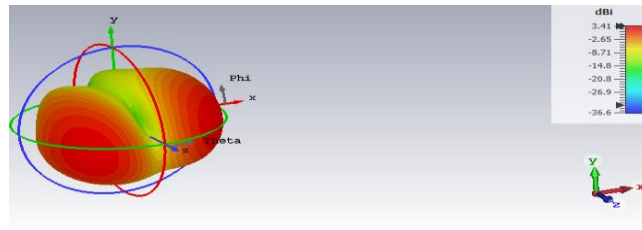
## C) Gain



**FigureIII.10** : Le gain en 3D pour un épaisseur du substrat égal  $h_1=1.5\text{mm}$ .



**Figure III .11:** Le gain en 3D pour un épaisseur du substrat égal  $h_2=2\text{mm}$ .



**Figure III.12 :** Le gain en 3D pour un épaisseur du substrat égal  $h_3=2.5\text{mm}$ .

	Fr (GHz)	BP(GHz)	S11(dB)	Directivité	Gain
$h_1=1.5\text{mm}$	3.694	0.0853	-22.3	6.92	1.9
$h_2=2\text{mm}$	3.67	0.0965	-22.92	6.85	2.81
$h_3=2.5\text{mm}$	3.648	0.0992	-19.34	6.76	3.41

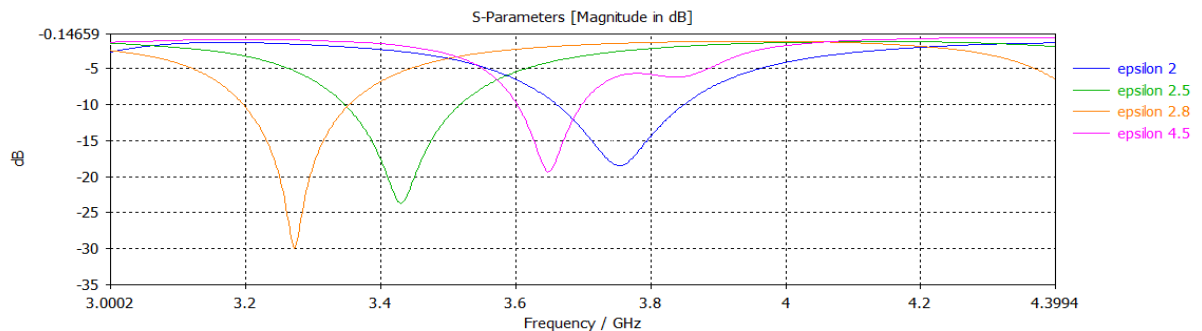
**Tableau III.3 :** Caractéristiques de l'antenne patch avec slot en fonction de l'épaisseur du substrat.

A partir du **tableau III.3**. On remarque :

- Coefficients de réflexion  $S_{11}$  change avec la variation de l'épaisseur du substrat ;
- La fréquence de résonance et la directivité diminuent avec l'augmentation de l'épaisseur de substrat.
- La bande passante s'élargie avec l'augmentation de l'épaisseur de substrat ;
- Le gain augmente avec l'augmentation de l'épaisseur du substrat.

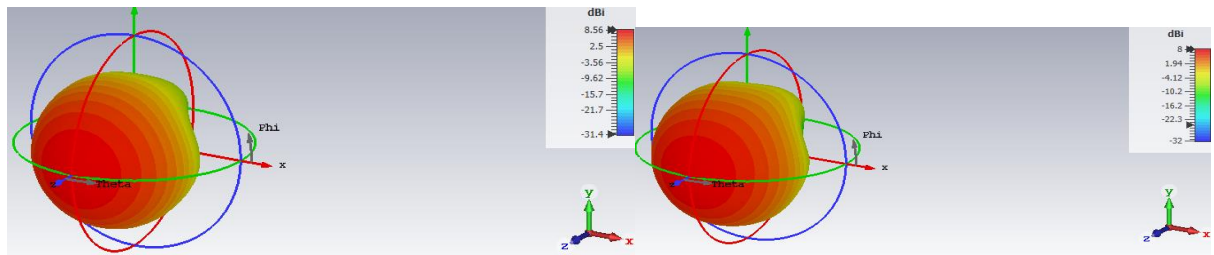
### III.3.4 Effet de la Variation du matériau du substrat BIE

#### A) Coefficient de réflexion $S_{11}$

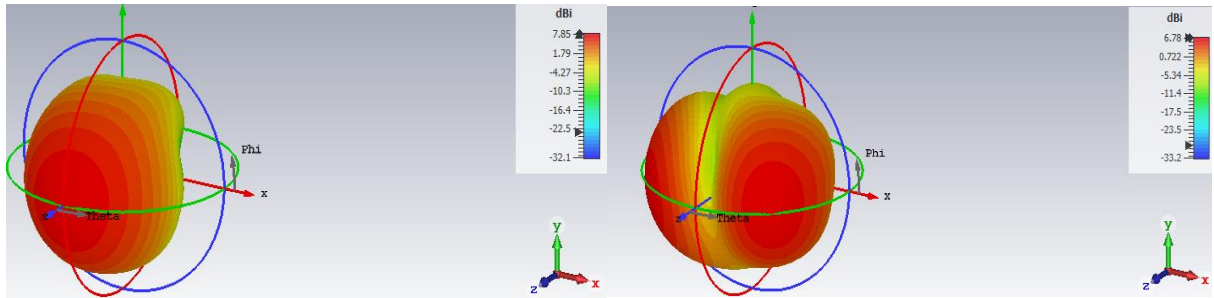


**Figure III 13 :** Coefficient de réflexion  $S_{11}$  pour la variation du matériau du substrat

**B) Directivité**

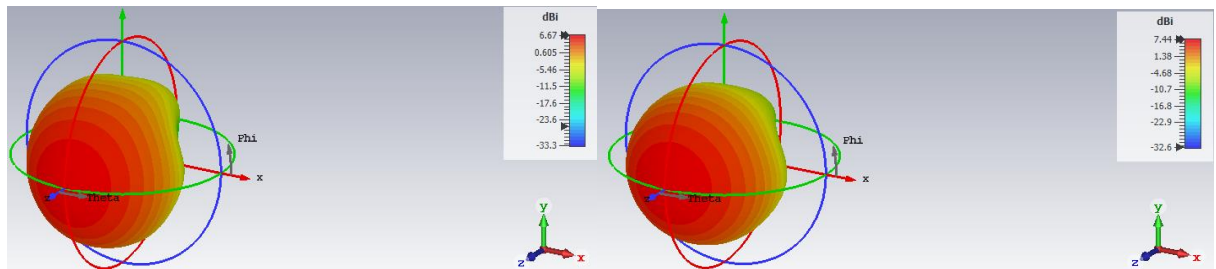


**Figure III.14 : La directive en 3D pour (a)  $\epsilon_r=2$ .(b)  $\epsilon_r=2,5$**



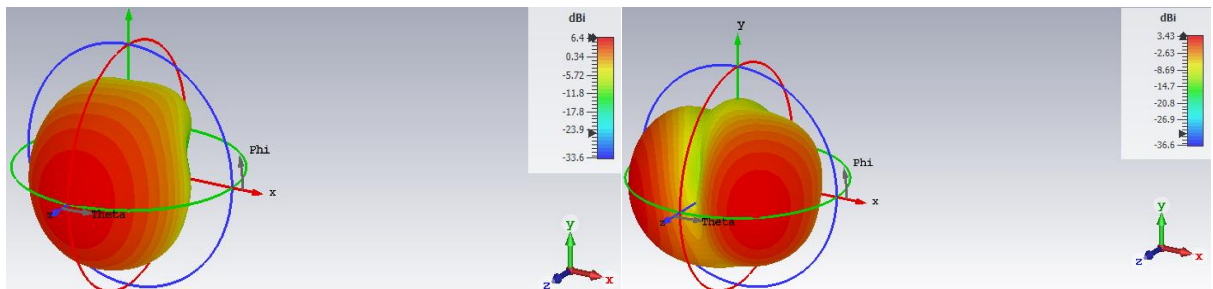
**Figure III.15 : La directive en 3D pour(a)  $\epsilon_r=2,8$ .(b)  $\epsilon_r=4,5$ .**

**C) Gain**



**Figure III.16 : (a)Gain en 3D pour  $\epsilon_r=2$**

**(b) Gain en 3D pour  $\epsilon_r=2.5$ .**



**Figure III.17(a) Le gain en 3D pour  $\epsilon_r=2.8$**

**(b) le gain en 3D  $\epsilon_r=4.5$**

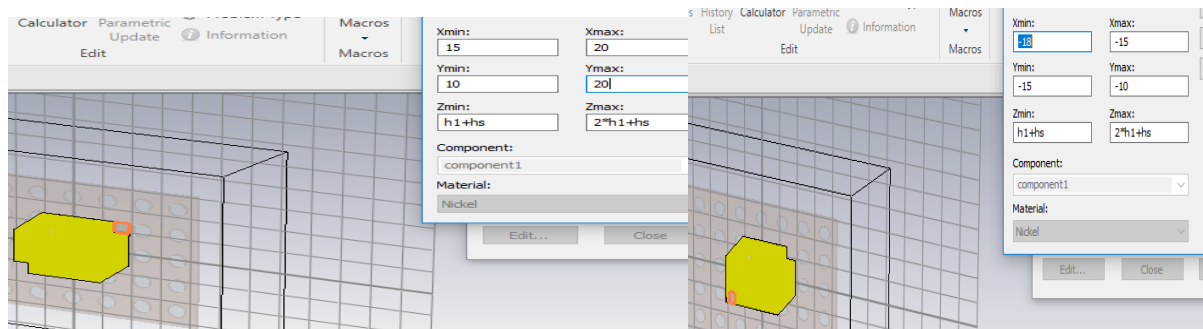
	Fr(GHz)	PB(GHz)	S11 (dB)	Directivité	Gain
$\epsilon_r = 2$	3.754	0.1946	-18.49	8.56	7.44
$\epsilon_r = 2.5$	3.43	0.1719	-23.73	8	6.76
$\epsilon_r = 2.8$	3.278	0.1524	-30	7.85	6.4
$\epsilon_r = 4.5$	3.688	0.085	-19.2	6.78	3.43

**Tableau III.4.** Caractéristiques de l'antenne patch à BIE en fonction de la permittivité du substrat

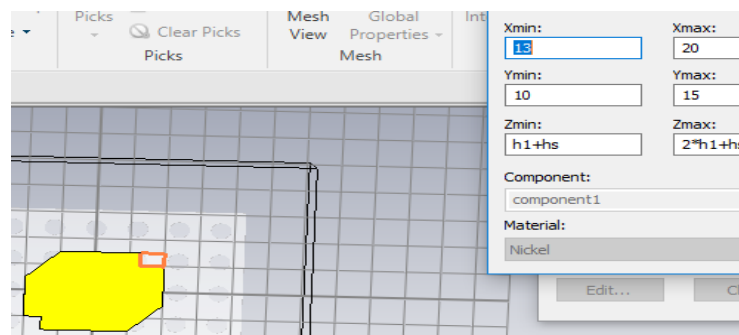
Après avoir changé le matériau du superstrat et à partir les résultats de **tableau III.4** on remarque :

- Quand on augmente la permittivité, la plupart des caractéristiques ont diminué, à l'exception de la fréquence de résonance et le coefficient de réflexion qui a un changement non uniforme avec la valeur de la permittivité.

### III 3.5. Changement de la surface du patch



**Figure III.18 :** (a) La première surface du patch (b) la deuxième surface du patch



**Figure III.19 :** Le troisième surface du patch.

### A) Coefficients de réflexion $S_{11}$

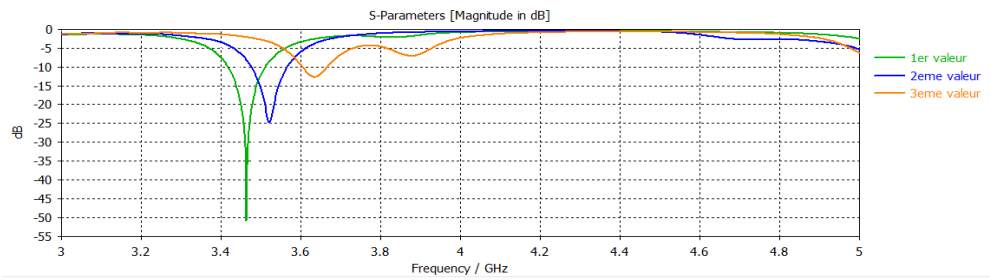


Figure III.20 : Coefficients de réflexion  $S_{11}$  pour différentes surfaces du patch.

### B) Directivité

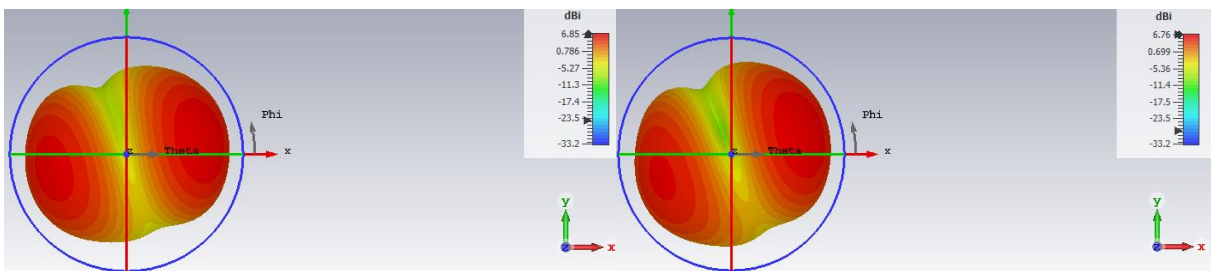
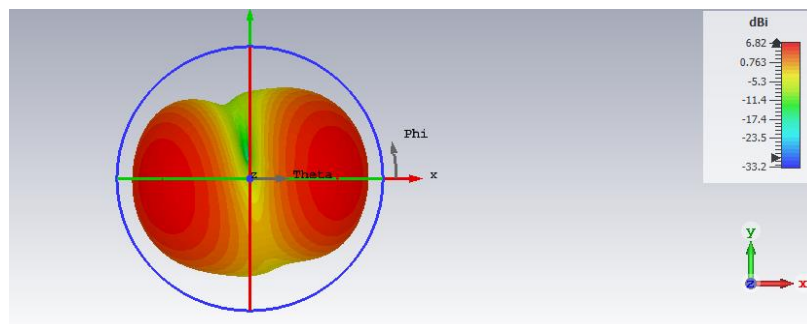


Figure III.21 : (a) Directivité première surface (b) Directivité de deuxième surface



### C) Gain

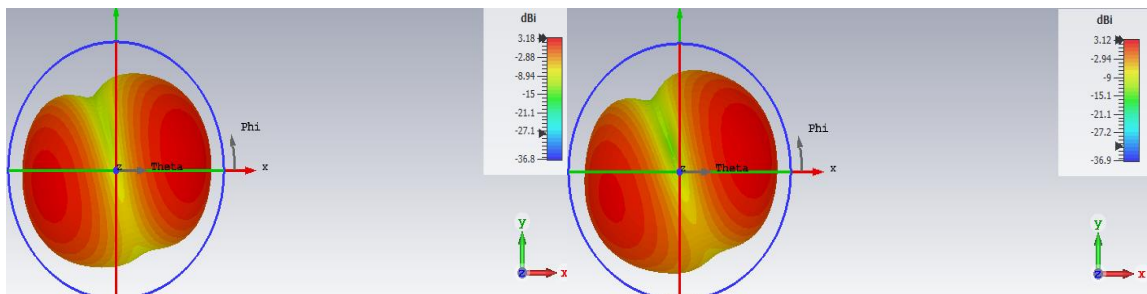
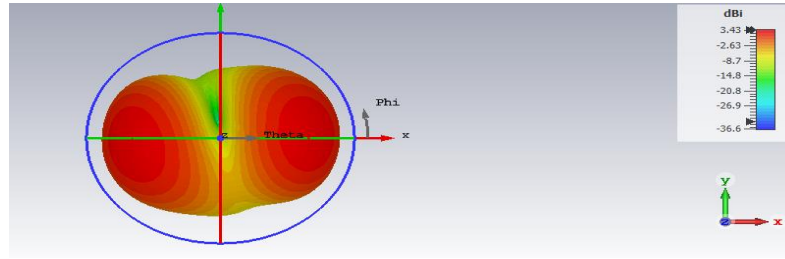


Figure III.23 : (a) Gain première surface (b) deuxième surface du patch



**Figure III.24 :** Gain en 3D pour la troisième surface du patch.

	Fr (GHz)	BP(GHz)	S11(dB)	Directivité	Gain
Première surface	3.484	0.0911	-50.88	6.58	3.18
Deuxième surface	3.534	0.0889	-24.75	6.76	3.12
Troisième surface	3.612	0.0764	-12.7	6.82	3.43

**Tableau III.5.** Caractéristiques de l'antenne patch avec BIE en fonction de surface du patch.

A partir du tableau **tableau III.5**, on peut dire :

- Pour différentes dimensions du patch on remarque un léger changement au niveau de la plupart de paramètre (fréquence de résonance, directivité, gain).
- Avec le changement des dimensions on peut obtenir une amélioration au niveau de l'adaptation de l'antenne (S11).

### III.4. Effet de la couche FSS

#### III.4.1. Couche sélective surface en fréquence (FSS)

La couche FSS est une couche au-dessus du patch d'antenne que nous avons décrite précédemment avec une distance de  $F = 10 \text{ mm}$  au-dessus du patch, constituée d'un groupe de motifs que nous présenterons ultérieurement.

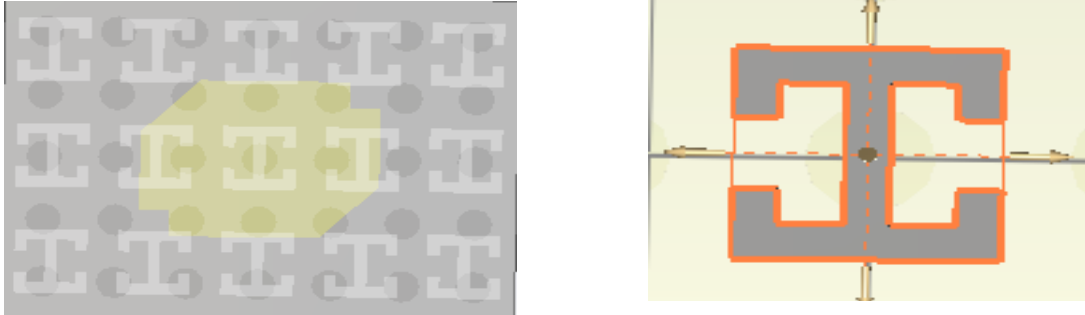
Au-dessus d'eux vient une couche appelée superstrat qui est de la même longueur et largeur que le substrat et d'épaisseur différente

#### III.4.2. Comment simuler une couche FSS ?

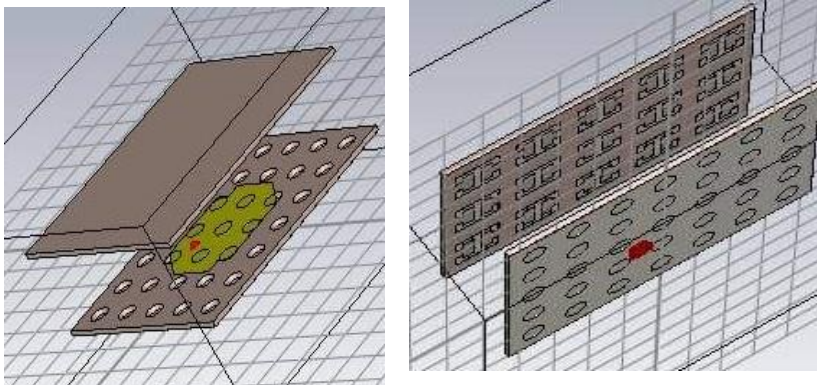
Au-dessus du patch d'antenne qui a été créé et à une distance de  $F = 10 \text{ mm}$ , nous avons commencé par la première étape qui consiste à créer un motif avec ses dimensions exactes et des formes superposées.

Ensuite, nous avons collecté ces formes puis avons commencé à répéter ce motif suivant  $X$  3 fois et  $Y$  nous l'avons répété 5 fois avec l'instruction TRANSFER.

Puis nous avons ajouté la dernière couche superstrat avec les mêmes dimensions que le substrat et le plan de masse, en tenant compte d'un changement de  $Z$  pour compléter notre structure à FSS.

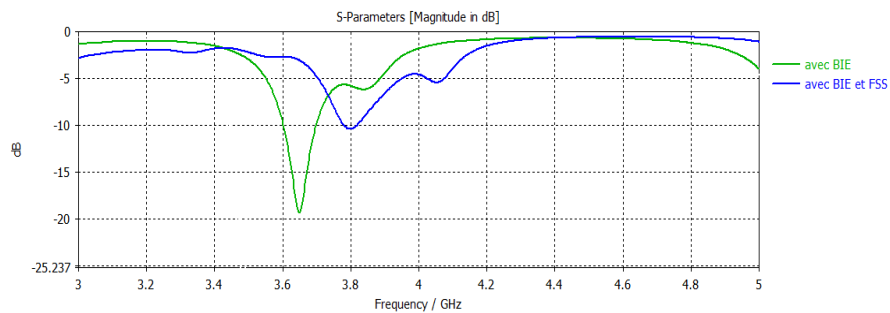


**Figure III.25 :** Les motifs de la couche FSS.



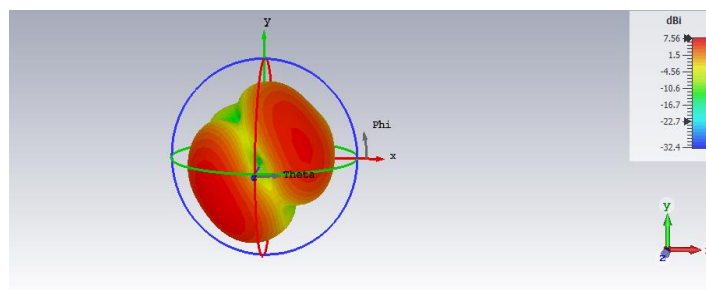
**Figure III.26 :** Antenne patch à FSS.

**A) fréquence de résonance**



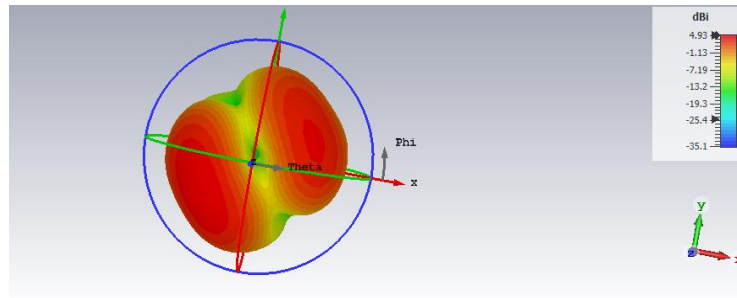
**Figure III.27 :** Coefficients de réflexion  $S_{11}$  pour un antenne BIE et avec BIE et FSS

**B) Directivité**



**Figure III.28 :** Directivité en 3D pour une antenne à FSS  $F = 10mm$ .

### C) Gain



**Figure III.29 :** Gains en 3D pour une antenne à FSS  $F = 10\text{mm}$ .

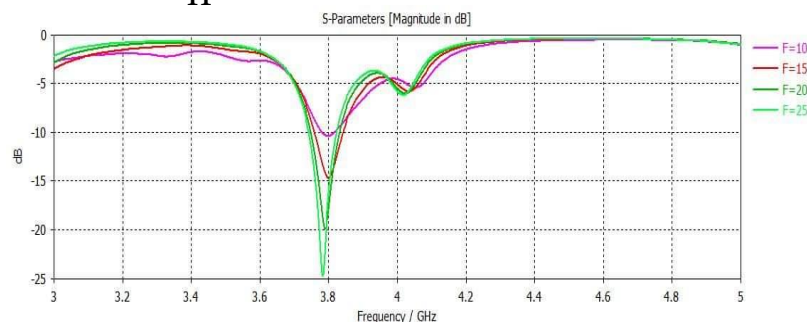
Antenne patch	Fréquence de résonance (GHz)	BP(GHz)	Gain	Directivité
Avec BIE	3.688	0.0808	2.18	6.92
Avec BIE et FSS	3.798	0.04	4.93	7.56

**Tableau III.6.** Caractéristiques d’une antenne patch avec BIE et antenne patch avec BIE et FSS. Après avoir ajouté une couche FSS, nous avons obtenu une antenne patch à FSS, et nous l’avons comparé avec l’antenne patch avec BIE.

- La bande passante diminue pour une antenne patch avec BIE par rapport à celle avec BIE et FSS.
- La fréquence de résonance pour l’antenne avec BIE et FSS a diminué par rapport à une antenne avec BIE seulement.
- La directivité et le gain augmentent pour une antenne patch BIE et FSS par rapport à celle avec BIE.
- L’antenne sans FSS est mieux adaptée que dans le cas de l’antenne avec FSS.

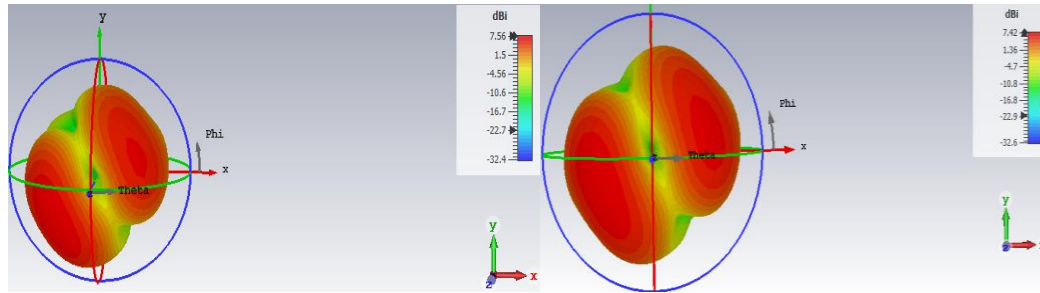
### III.4.3. Effet de la variation dans la distance $F$

#### A) Coefficient de réflexion $S_{11}$

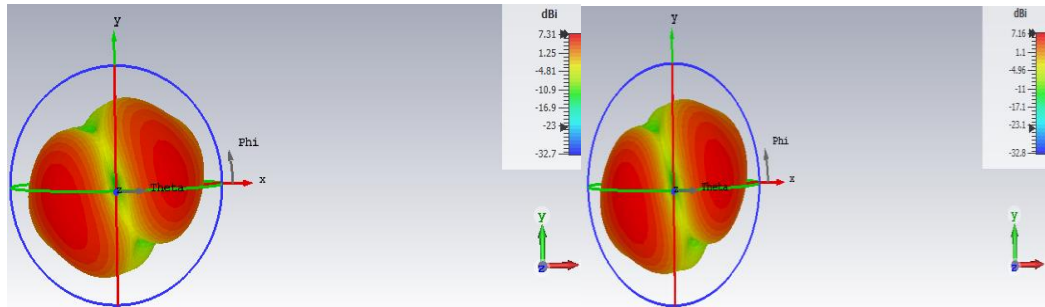


**Figure III.30 :** Coefficients de réflexion  $S_{11}$  pour différentes valeurs de la distance  $F$ .

## B) Directivité

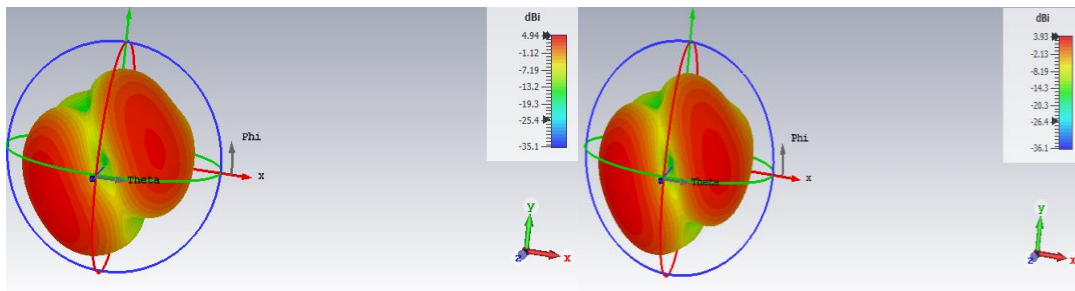


**Figure III.31:** Directivités en 3D pour la distance (a)  $F=10\text{mm}$ (b)  $F=15\text{mm}$ .

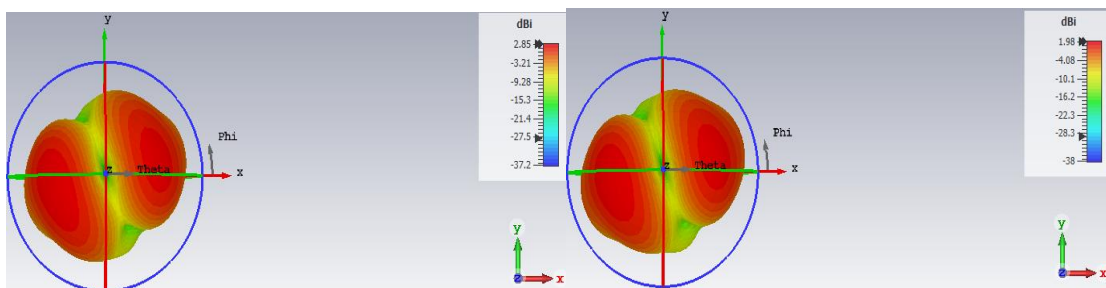


**Figure III.32 :** Directivités en 3D pour la distance (a)  $F = 20\text{mm}$ .(b)  $F=25\text{mm}$

## C) Gain



**Figure III. 33 :** Gain en 3D pour la distance (a)  $F=10\text{mm}$  (b)  $F=15\text{mm}$ .



**Figure III.34 :** Gain en 3D pour la distance (a) $F=20\text{mm}$ (b) $F=25\text{mm}$ .

	(fr (GHz	(BP(GHz	(S11(dB	Directivè	Gain
$F=10mm$	3.798	0.0434	-10.3	7.56	4.94
$F=15mm$	3.8	0.0818	-14.65	7.42	3.93
$F=20mm$	3.79	0.0861	-19.9	7.31	2.85
$mm25=F$	3.782	0.0876	-24.78	7.16	1.98

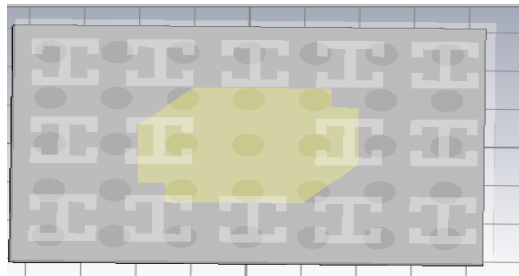
**Tableau 7 :** Caractéristiques de l’antenne à FSS en fonction de la distance entre le patch et la FSS.

Après le changement de la distance  $F$  on extrait :

- Qu’en augmentant la distance  $F$  on obtient une augmentation de la bande passante et amélioration de l’adaptation ( $S_{11}$ ), une petite diminution du gain et de la directivité ;
- Quant à la diminution de distance  $F$ , l’antenne n’est plus adaptée.

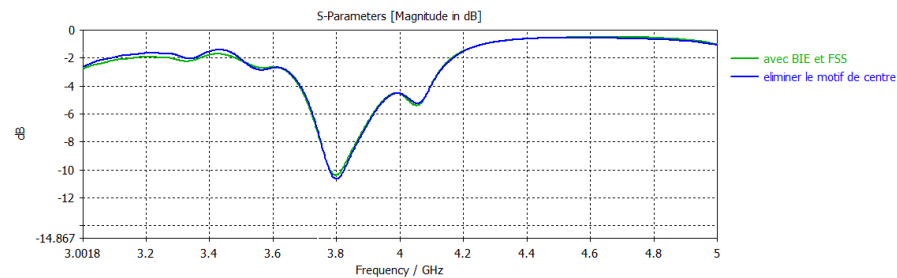
### III 4.4. Effet du défaut au niveau du FSS

#### III.4.4.1. Effet d’éliminer le motif central



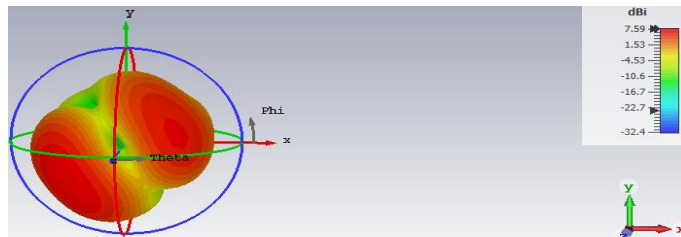
**Figure III.35 :** Structure d’antenne patch à FSS sans motif central

#### A) Fréquence de résonance



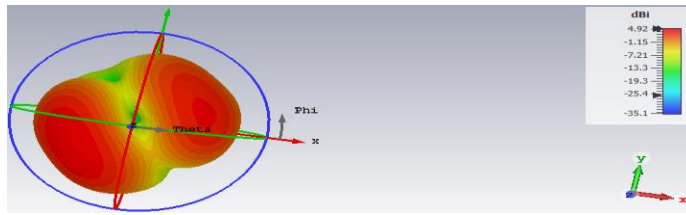
**Figure III.36 :** Coefficients de réflexion  $S_{11}$  pour antenne FSS normal est sans motif centrale.

#### B) Directivité



**Figure III.37 :** Directivité en 3D pour une FSS sans motif du centre.

### C) Gain



**Figure III.38 :** Gain en 3D pour une FSS sans motif du centre.

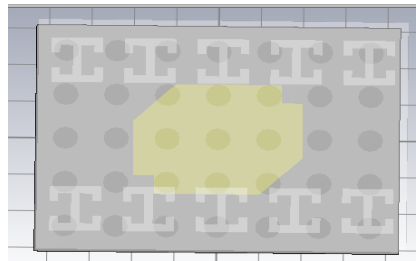
Antenne patch	Fréquence de Résonance(GHz)	BP(GHz)	Gain	Directivité	S11(dB)
FSS	3.798	0.04	4.93	7.56	-10.39
FSS sans motif du centre	3.8	0.0553	4.92	7.59	-10.50

**Tableau III.8 :** Caractéristiques de l'antenne patch à FSS et FSS sans motif centrale.

- Après avoir créé un défaut a FSS qui est éliminer le motif du centre, nous avons constaté que :

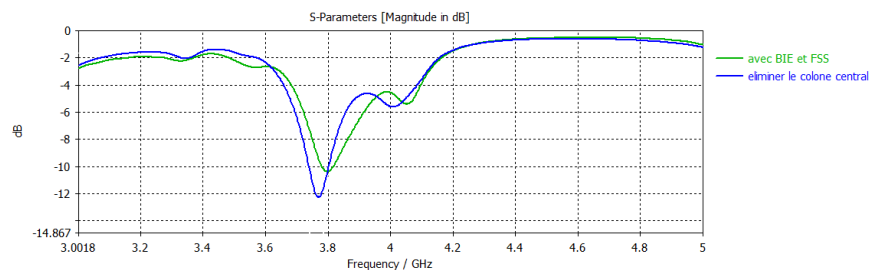
- Toutes les valeurs sont proches avec un élargissement de la bande passante.

### III.4.2. Effet d'éliminer la ligne centrale



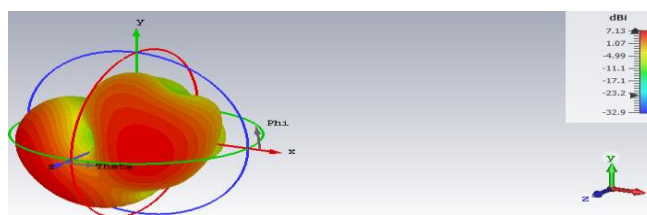
**Figure III.39 :** structure d'antenne patch à FSS sans ligne centrale

#### A) Fréquence de la résonance



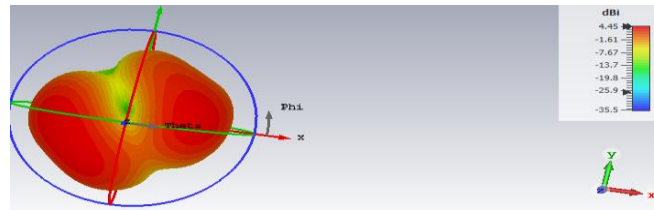
**Figure III.40 :** Coefficients de réflexion  $S_{11}$  pour antenne FSS normal est sans ligne centrale.

#### B) Directivité



**Figure III.41 :** Directivité en 3D pour une FSS sans ligne centrale.

### C) Gain



**Figure III.42 :** Gain en 3D pour une FSS sans ligne centrale.

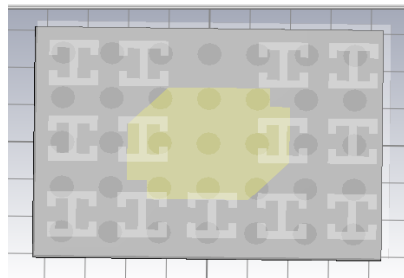
Antenne patch	Fréquence de Résonance(GHz)	BP(GHz)	Gain	Directivité	S11(dB)
FSS	3.798	0.04	4.93	7.56	-10.39
FSS sans ligne du centre	3.794	0.0563	4.45	7.13	-10.88

**Tableau III.9 :** Caractéristiques de l’antenne patch à FSS et FSS sans ligne centrale.

Après avoir créé un défaut à la couche FSS qui est éliminer la ligne du centre, nous avons constaté que :

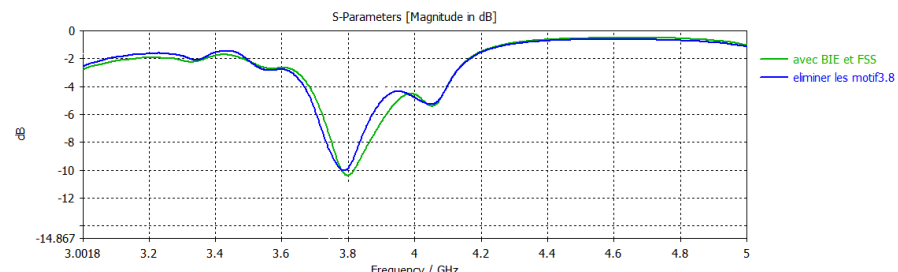
- Une diminution au niveau de fréquence de résonance, la directivité et le gain, et une augmentation de la bande passante et du coefficient de réflexion.

#### III 4.4.3. Effet d’éliminer les motif 3 et 8



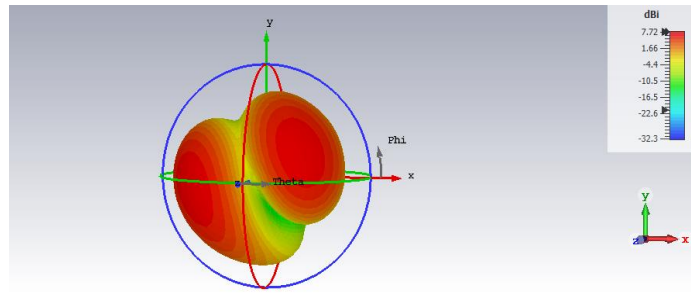
**Figure III.43 :** structure d’antenne patch avec FSS sans motif 3 et 8

#### A) Fréquence de résonance



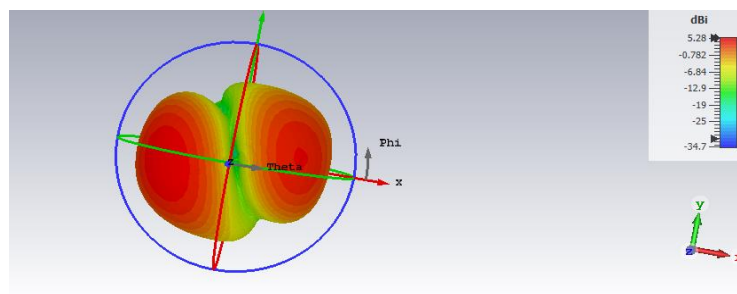
**Figure III.44** Coefficients de réflexion  $S_{11}$  pour antenne FSS normal est sans motif 3 et 8.

## B) Directivité



**Figure III.45 :** Directivité en 3D pour une FSS sans motif 3et 8.

## C) Gain



**FigureIII.46 :** Gain en 3D pour une FSS sans motif 3 et 8.

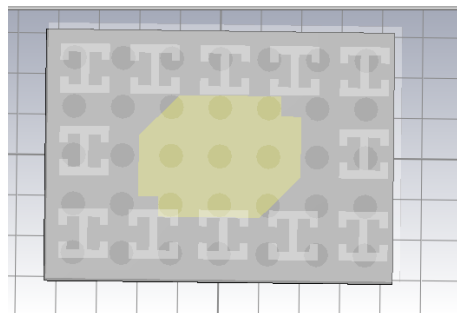
Antenne patch	Fréquence de résonance (GHz)	BP(GHz)	Gain	Directivité	S11(dB)
FSS	3.798	0.04	4.93	7.56	-10.39
FSS sans motif 3et 8	3.788	0.0317	5.28	7.72	-10.38

**Tableau III.10 :** Caractéristiques de l'antenne patch à FSS et FSS sans motif 3et 8.

Après avoir créé un défaut a FSS qui est éliminer le motif 3 et 8, nous avons constaté que :

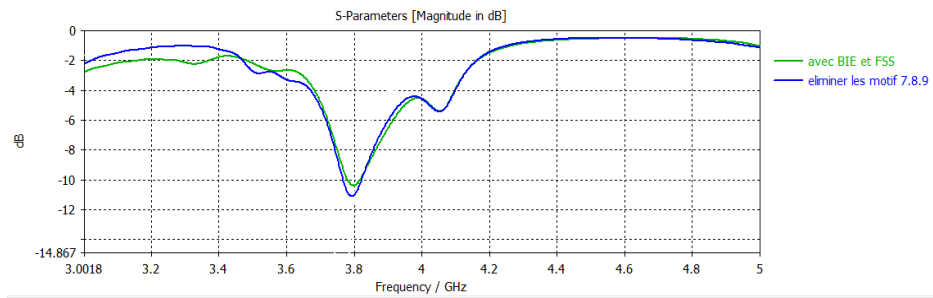
- Toutes les valeurs sont proches avec une légère baisse au niveau de fréquence de résonance et bande passante et une petite amélioration pour le gain, la directivité et l'adaptation du l'antenne.

### III 4.4.4. Effet d'éliminer motif 7 ,8 et 9.



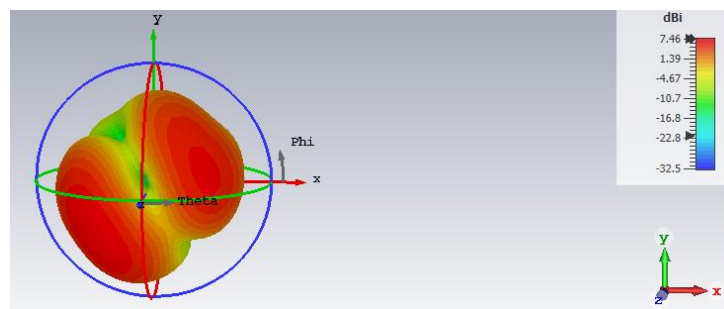
**Figure III.47 :** Structure d'antenne patch à FSS sans motif 7,8 et 9.

### A) Fréquence de résonance



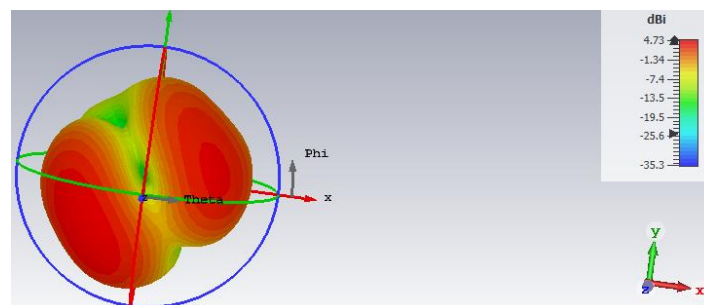
**Figure III.48 :** Coefficients de réflexion  $S_{11}$  pour antenne FSS normal est sans motif 7,8,9.

### B) Directivité



**Figure III.49 :** Directivité en 3D pour une FSS sans motif 7,8 et 9.

### C) Gain



**Figure III.50 :** Gain en 3D pour une FSS sans motif 7,8 et 9.

Antenne patch	Fréquence de Résonance(GHz)	BP(GHz)	Gain	Directivité	S11(dB)
FSS	3.798	0.04	4.93	7.56	-10.39
FSS sans ligne du centre	3.792	0.0541	4.73	7.46	-11.12

**Tableau III.11 :** Caractéristiques de l'antenne patch à FSS et FSS sans motif 7,8 et 9.

Après avoir créé un défaut à FSS qui est éliminer le motif 7,8 et 9, nous avons constaté que :

- Toutes les valeurs sont proches avec une légère diminution au niveau de fréquence de résonance, gain et directivité et une petite augmentation pour le coefficient de réflexion et de la bande passante.

### III 4.4.5. Effet d'éliminer les motif 3,8,13,14 et 15.

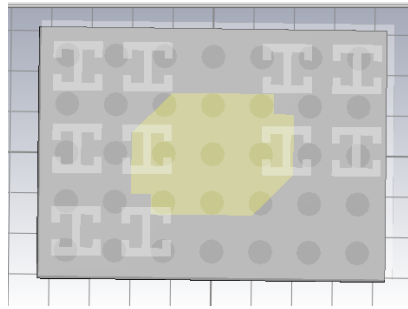


Figure III.51 : Structure d'une antenne patch à FSS sans motif 3,8,13,14 et 15.

#### A) Fréquence de résonance

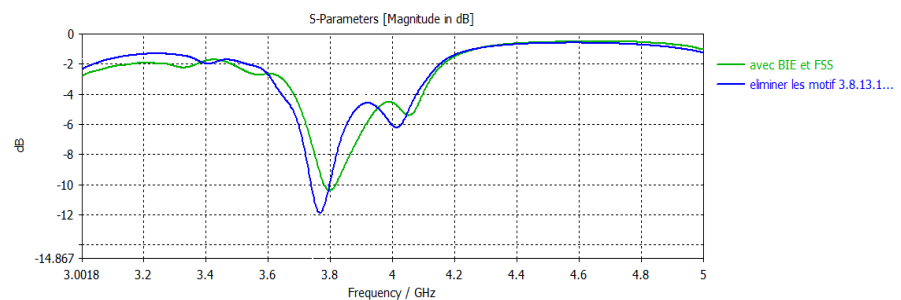


Figure III.52 : Coefficients de réflexion  $S_{11}$  pour antenne FSS normal est sans motif 3,8,13,14 et 15.

#### B) Directivité

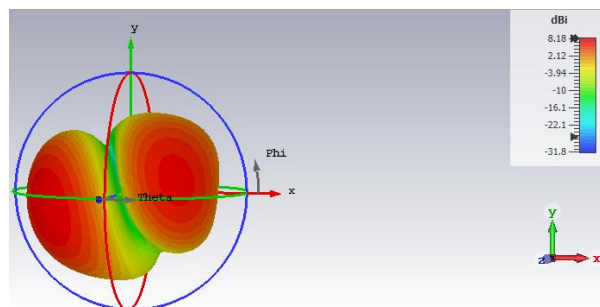


Figure III.53 : Directivité en 3D pour une FSS sans motif 3,8,13,14 et 15.

#### C) Gain

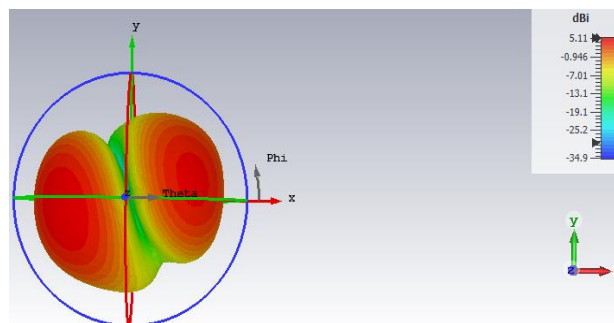


Figure III.54. Gain en 3D pour une FSS sans motif 3,8,13,14 et 15.

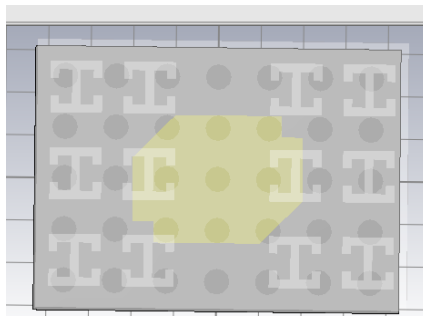
Antenne patch	Fréquence de Résonance(GHz)	BP(GHz)	Gain	Directivité	S11(dB)
FSS	3.798	0.04	4.93	7.56	-10.39
sans motif 3,8,13,14et 15	3.768	0.0541	5.11	8.18	-11.88

**Tableau III.12 :** Caractéristiques de l’antenne patch à FSS et FSS sans motif 3,8,13,14et 15.

- Après avoir créé un défaut a FSS qui est éliminer le motif 3 ,8,13,14 et 15 nous avons constaté que :

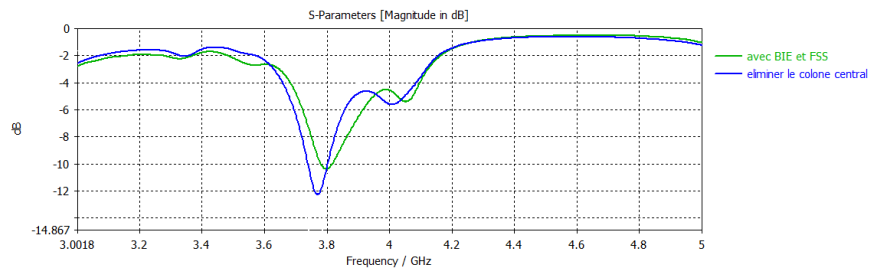
- Toutes les Caractéristiques de l’antenne sont améliorées (augmentation de gain, directivité, coefficient de réflexion et bande passante).

### III 4.4.6. Effet d’éliminer la colonne centrale



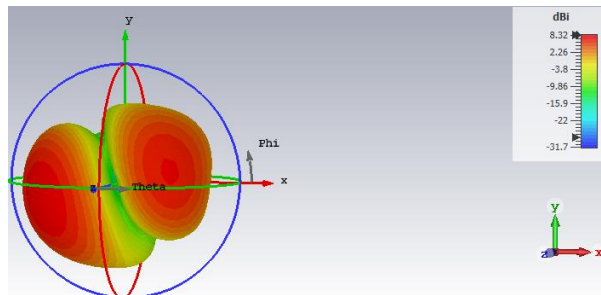
**Figure III.55 :** structure d’antenne patch à FSS sans colonne centrale.

#### A) Fréquence de résonance



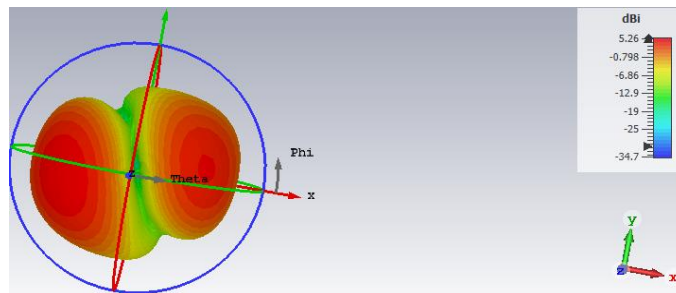
**FigureIII.56 :** Coefficients de réflexion  $S_{11}$  pour antenne FSS normal est sans colonne centrale.

#### B) Directivité



**FigureIII.57 :** Directivité en 3D pour une FSS sans colonne centrale.

## A) Gain



**Figure III.58 .** Gain en 3D pour une FSS sans motif 3,8,13,14 et 15.

Antenne patch	Fréquence de Résonance(GHz)	BP(GHz)	Gain	Directivité	S11(dB)
FSS	3.798	0.04	4.93	7.56	-10.39
FSS sans ligne du centre	3.77	0.0626	5.26	8.18	-12.272

**Tableau III.13 :** Caractéristiques de l’antenne patch à FSS et FSS sans colonne centrale.

- Après avoir créé un défaut a FSS qui est éliminer le motif 3 ,8,13,14 et 15 nous avons constaté que :

- Toutes les caractéristiques de l’antenne sont améliorées (augmentation de gain, directivité, coefficient de réflexion et bande passante).

## III.5. Conclusion

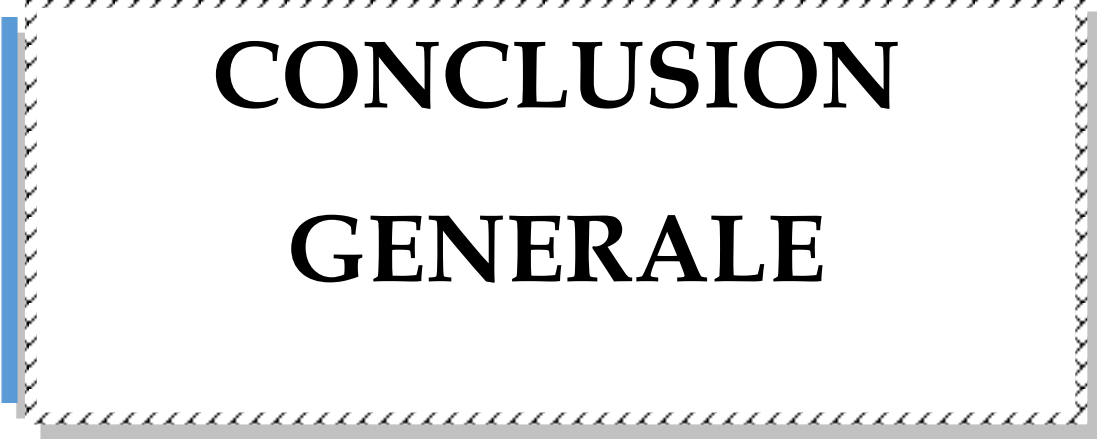
Dans ce troisième chapitre nous avons présenté les différentes simulations que nous avons effectuées sur l'antenne patch avec BIE et à FSS et FSS avec défaut, nous avons pu obtenir une directivité élevée (8.56dB) et gain (7.44) pour une antenne BIE concentrées aux fréquences :2,7 GHz et 3,2 GHz qui appartiennent à la bande 5G.

On sait que la position du point d'alimentation influe sur l’adaptation d'une antenne haute performance. Ainsi que l’épaisseur du substrat. Aussi les dimensions de patch contrôlent l’adaptation de notre structure BIE.

Après avoir ajouté la dernière couche FSS, nous avons trouvé que la distance entre cette dernière et l'antenne patch contrôle la qualité des performances. Après avoir Créé défèrent défaut à la dernière couche FSS, nous avons pu obtenir une améliorations maximale des performance (directivité : 8.18dB/BP :0.0621GHz) en éliminant la colonne centrale.

## **BIBLIOGRAPHIE**

- [1] Computer Simulation Technology (CST), Microwave Studio, Version 2011



**CONCLUSION**  
**GENERALE**

## Conclusion générale

Dans le cadre de notre projet et à travers le thème que nous avons choisi sous le titre « Etude et conception d'une antenne micro ruban à BIE-M pour la 5G », nous avons pu développer nos capacités, ainsi nous avons su nous adapter au projet, se soumettre à des restrictions et faire face à des difficultés afin d'atteindre un travail modeste et acceptable

Nous avons étudié l'influence des différents paramètres physiques et géométriques de l'antenne tel que (les dimensions du patch, l'épaisseur du substrat, permittivité  $\epsilon_r$  du substrat et du défaut à la couche FSS) sur les caractéristiques de l'antenne micro ruban : l'adaptation de l'antenne ( $S_{11}$ ), la fréquence de résonance, la bande passante, le gain et la directivité

Nous avons cité les principales caractéristiques de l'antenne micro ruban, ainsi que les avantages, les inconvénients et les domaines d'application de cette antenne. Après, nous avons défini les surfaces en fréquence sélectives (FSS) et ses différents types et leurs applications.

Afin d'étudier cette antenne micro ruban nous avons utilisé l'outil de simulation électromagnétique : le logiciel CST MICROWAVE STUDIO qui est basé sur la méthode d'intégration finie.

Nous avons procédé à plusieurs simulations à l'aide du programme CST pour obtenir une conception d'antenne rectangulaire BIE-M qui fonctionne à une fréquence dans l'intervalle de fréquence requis (5G) et cela après de nombreux changements du point d'alimentation et des paramètres de la structure.

Ensuite, nous avons ajouté une couche à FSS, qui est le but principal de notre travail, cette couche FSS, placée au-dessus du patch à une distance de  $F = 10 \text{ mm}$ , composé de  $(3 \times 5)$  motifs, imprimées sur une couche superstrat.

Le dernier chapitre a été consacré à l'étude paramétriques d'une antenne microruban BIE-M avec et sans couche FSS, les résultats obtenus sont:

- Les dimensions du patch contrôlent la gamme de fréquence que nous recherchons [2.1 à 3.8 GHz] ;
- Nous concluons que les caractéristiques (bande passante, gain et directivité) de l'antenne à substrat à BIE-M sont meilleurs que l'antenne à substrat normal.
- Diminution de la directivité et du gain avec l'augmentation de la permittivité  $\epsilon_r$  du substrat ;
- L'épaisseur du substrat a un effet sur les caractéristiques de l'antenne, plus la valeur  $h$  est élevée plus le gain est meilleur.

- Nous avons constaté que les caractéristiques de l'antenne patch à FSS sont meilleures que celles de l'antenne patch sans FSS ;
- La distance  $F$  a une grande influence sur l'adaptation, la distance entre le patch et la couche FSS ( $f = 10mm$ ) donne une bonne directivité et gain.
- La création d'un défaut au niveau de la couche FSS a un effet sur les caractéristiques de l'antenne on a pu atteindre les meilleures caractéristique en éliminant la colonne centrale.