

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة عمّار تليدي بالاغواط
UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT



كلية التكنولوجيا
FACULTE DE TECHNOLOGIE

قسم الالكترونيات

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE



Mémoire de Master

Domaine : Technologie

Filière : Télécommunication

Option : Système de télécommunication

Présenté Par :

DJERIBIA Hadjer

MACHROUHA Souria

THEME

Antenne patch double bande avec la structure à bande interdite électromagnétique (BIE) pour l'application 5G

Soutenu publiquement devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
BIRANE Mouhoub	MCB	Président
REGGAB Mourad	MCA	Examineur
SALEH Chaker	MCB	Rapporteur

Année Universitaire 2019/2020

Remerciements

*Au terme de ce travail nous tenons à remercier en premier lieu
" ALLAH "qui nous a donné la force pour mener à bien l'étude
De ce travail.*

Nos sincères remerciements, à notre encadreur Monsieur :

" M.CHAKER Saleh " pour sa direction attentive,

Et ses conseils qui ont grandement faciliter ce travail.

*Nous tenons aussi à remercier tous les enseignants de département génie
électronique.*

*Et mes sincères remerciements aux membres de jury d'avoir accepté de juger
notre travail.*

Et finalement nous sommes très reconnaissants de l'aide

Et des conseils de tout ce qui ont contribué directement

Et indirectement à la réalisation de ce mémoire.

MECHROUHA & DJARAIBIA 



DEDICACE

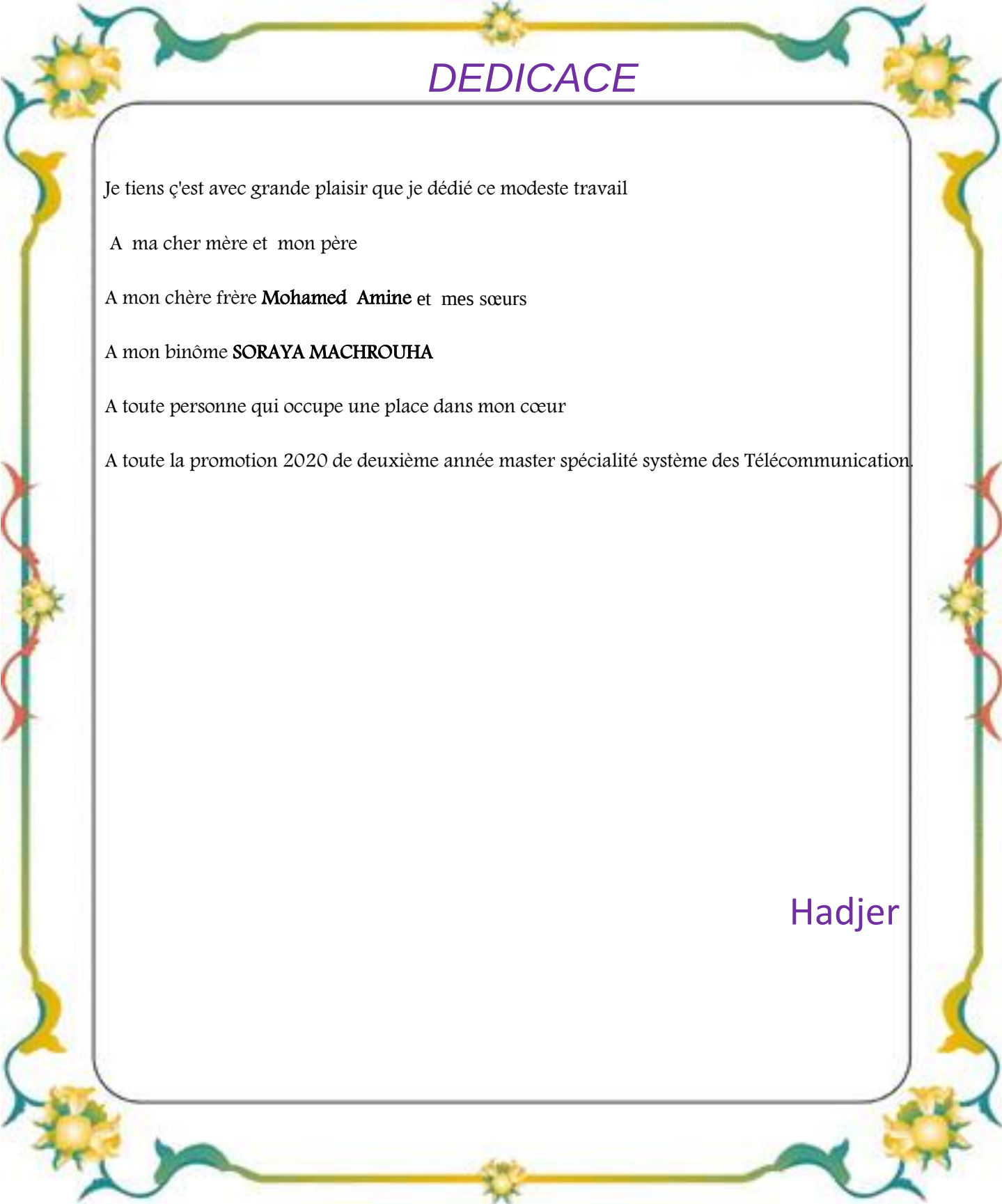


Je dédie ce modeste travail à ceux qui m'ont donné la vie, symbole de beauté, de fierté, de sagesse et de patience.

À ceux qui sont la source de mon inspiration et de mon courage, à qui je dois de l'amour et la reconnaissance.

- 🌀 *À mes parents.*
- 🌀 *À mes frères et mes sœurs.*
- 🌀 *À toute la famille MECHROUHA et ZEBDA.*
- 🌀 *À mon cher mari Z. Abdelkader.*
- 🌀 *À mon binôme de travail M^{lle} DJERABIAA Hadjar*
- 🌀 *À mes chers collègues Ikram, Romaissa, Amel.*
- 🌀 *À tout ce qui m'a aidé de loin ou de près durant les moments difficiles.*

Souraya



DEDICACE

Je tiens ç'est avec grande plaisir que je dédié ce modeste travail

A ma cher mère et mon père

A mon chère frère **Mohamed Amine** et mes sœurs

A mon binôme **SORAYA MACHROUHA**

A toute personne qui occupe une place dans mon cœur

A toute la promotion 2020 de deuxième année master spécialité système des Télécommunication.

Hadjer

ملخص

يقدم هذا العمل هوائياً مزدوج النطاق لتطبيقات الجيل الخامس باستخدام بنية فجوة النطاق الكهرومغناطيسي (EIB) في المستوى الأرضي والركيزة من أجل تحقيق زيادة في عرض النطاق الترددي ، ويعمل الهوائي المقترح في نطاق Ka [26.5-40 جيجا هرتز] إلى 30 جيجا هرتز ونطاق U [40-60 جيجا هرتز] إلى 56 جيجا هرتز. تستخدم هيكل BIE عدة أسطوانات محفورة في الركيزة ودوائر محفورة في مستوى الأرض بقطر a ونصف قطر r . تظهر النتائج المحاكاة عند 30 جيجا هرتز عرض نطاق ($S_{11} < -10$) ديسيبل يبلغ 0.62 جيجا هرتز من 29.6 جيجا هرتز إلى 30.30 جيجا هرتز ، وبالنسبة إلى 60 جيجا هرتز تظهر عرض نطاق ترددي قدره 1 جيجا هرتز من 55.8 جيجا هرتز إلى 56 جيجا هرتز ، 8 جيجا هرتز بحد أقصى 6.5 ديسيبل. الهوائي مرشح جيد لتطبيقات التكنولوجيا اللاسلكية 5G

الكلمات الرئيسية: هوائي التصحيح ثنائي النطاق، هيكل BIE، تطبيقات 5G

Résumé

Ce travail présente une antenne double bande pour les applications 5G utilisant une structure de bande interdite électromagnétique (BIE) dans le plan de masse et le substrat afin d'obtenir une augmentation de la bande passante, L'antenne proposée fonctionne en Ka-bande [26.5-40GHz] à 30 GHz et U- bande [40-60GHz] à 56 GHz. Les structures BIE appliquent plusieurs cylindres percés dans le substrat et des cercles gravés dans le plan de masse avec une période a et un rayon r . Les résultats simulés à 30 GHz montrent une bande passante ($S_{11} < -10$ dB) de 0,62 GHz de 29,6 GHz à 30,30 GHz et pour 60 GHz montrent une bande passante de 1 GHz de 55,8 GHz à 56,8 GHz avec un gain maximal de 6,5 dB. l'antenne est un bon candidat pour les applications de la technologie sans fil 5G

Mots clés: Antenne patch double bande, la structure BIE, Applications 5G

Abstract

This work presents a dual band antenna for 5G applications using a Electromagnetic Band Gap (EBG) structure in the ground plane and substrate in order to obtain an increase in bandwidth, The proposed antenna operates in the Ka-band [26.5-40GHz], at 30 GHz and U-band [40-60GHz] at 56 GHz. The EBG structures apply multiple cylinders drilled in the substrate and circles etched in the ground plane with a period a and radius r . The simulated results at 30 GHz show a bandwidth ($S_{11} < -10$ dB) of 0.62 GHz from 29.6GHz to 30.30 GHz and for 60 GHz show a bandwidth of 1 GHz from 55.8GHz to 56.8 GHz with the maximum gain of 6.5 dB The proposed antenna is a good candidate for applications in 5G wireless technology

Keywords: Dual band Patch antenna, EBG structure, 5G applications

SOMMAIRE

Remercîment	I
Dédicace	II
Résumé	IV
Sommaire.....	V
Liste des figures.....	VII
Liste des tableaux	X
Liste d'abréviation.....	XI
Introduction générale.....	1

Chapitre I Généralités Sur Les Antennes Imprimées

I.1 Introduction.....	2
I.2 Historique.....	2
I.3 Antenne	2
I.3.1 Principe	2
I.3.2 Types d'antennes imprimées	3
I.4 Définition antenne patch	3
I.4.1 Les différentes formes d'une antenne patch	4
I.4.2 Caractéristiques des antennes.....	4
I.4.2.1 Le coefficient de réflexion S11	4
I.4.2.2 Directivité.....	4
I.4.2.3 Rendement de l'antenne	4
I.4.2.4 Gain.....	5
I.4.2.5 L'angle d'ouverture.....	5
I.4.2.6 Diagramme de rayonnement	5
I.4.2.7 La bande passante (BP).....	5
I.4.2.8 Impédance d'entrée	6
I.5 Mécanismes de rayonnement de l'antenne patch rectangulaire	6
I.6 Polarisation de l'antenne.....	8
I.7 Techniques d'alimentation des antennes patch.....	9
I.7.1 Alimentation directe par ligne micro ruban	9
I.7.2 Alimentation coaxiale	10
I.7.3 Couplage par fente	10
I.7.4 Couplage par proximité.....	11
I.8 Modélisation d'une antenne plaquée rectangulaire	11
I.9 Avantages et inconvénients des antennes imprimées.....	12
I.10 Applications	13

I .11 Conclusion	13
------------------------	----

Chapitre II Matériaux A Bande Interdite Electromagnétique « BIE »

II.1 Introduction.....	15
II.2 Présentation des structures a bandes interdites électromagnétiques	15
II.3 Bref historique	15
II.4 Définitions	17
II.5 Propriétés de base des cristaux photoniques	17
II .5.1 Périodicité a une dimension	17
II.5.2 Périodicité a deux dimensions	18
II.5.3 Périodicité a trois dimensions	19
II.6 Description des matériaux BIE diélectriques.....	19
II.6.1 La structure périodique unidimensionnelle.....	20
II.6.2 La structure périodique bidimensionnelle.....	20
II.6.2 La structure périodique tridimensionnelle	23
II.7 Caractérisation de la bande interdite des structures BIE	25
II.7.1 Structures unidimensionnelles	25
II.7.2 Analyse électromagnétique des matériaux BIE	22
II. 8 Bilan de la caractérisation de matériaux périodiques.....	27
II.8.1 Les vitesses de l'onde	28
II.8.2 LA Bande interdite.....	28
II.9 Applications des cristaux photoniques	28
II .10 Conclusion	29

Chapitre III Antenne Patch Double Bande Avec La Structure A Bande Interdite Electromagnétique Bie Pour L'application 5G

III.1 Introduction	30
III .2 Analyse et conception de l'antenne	30
III 3 Modélisation de l'antenne	34
III.4 Antenne sans la structure BIE	35
III 4.1 Antenne avec la structure BIE dans le plan de masse	40
III 4.2 Résultat de simulation	40
III 4.3 Antenne avec la structure BIE dans le substrat.....	46
III.5 Comparaison des résultats	52
III.6 Conclusion.....	53
Conclusion générale	55

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I

Figure I.1 Structure de base d'une antenne patch	4
Figure I.2 Différentes formes d'antennes patch	4
Figure I.3 Bande passante et coefficient de réflexion	6
Figure I.4 Circuit équivalent d'une antenne	7
Figure I.5 l'effet du champ sur les bords du patch	7
Figure I.6 Densité de courant et distribution des charges sur antenne micro ruban .	8
Figure I.7 Distribution de la composante verticale du champ électrique en mode fondamental.	9
Figure I.8 Alimentation par une ligne micro ruban	10
Figure I.9 Alimentation coaxiale	11
Figure I.10 Alimentation par couplage par fente	11
Figure I.11 Alimentation par couplage de proximité	12
Figure I.12 Circuit équivalent d'une antenne patch rectangulaire alimenté par une Coaxiale	12

CHAPITRE II

Figure II.1 Principe du miroir de Bragg	15
Figure II.2 Unidimensionnel, empilement de couches de permittivités différentes.	16
Figure II.3 Exemple de Bips 2D, réseaux de tiges dans l'aire de trous d'air dans un matériau	17
Figure II .4 La première structure BIP 3D : la yablonovite . [28]	17
Figure II.5 : Exemples de structures périodique 1D, 2D et 3 D	18
Figure II.6 Structures périodique unidimensionnelle	19
Figure II.7 structures périodique 2D connectée.	19
Figure II.8 structures périodique 2D déconnectée.	20
Figure II.9 Réseau carré.	20
Figure II.10 Réseau triangulaire	20

Figure II.11 structure graphite.....	21
Figure II.12 Structure Nitrure de Bore.....	21
Figure II .13 Axes et Angles	22
Figure II.14 Les mailles de BRAVAIS	23
Figure II.15 La yablonivite : les trous de ce cristal ont été perçes dans un bloc de plexiglas et forment un réseau fcc [24].	23
Figure II.16 Mesures avec et sans lentilles.	24
Figure II.17 Caractérisation en fonction du nombre de plaques.	25
Figure II.18 Caractérisation en fonction de la permittivité des plaques.	26
Figure II.19 Rupture de la périodicité cas 1.	26
Figure II.20 Rupture de la périodicité cas 2.	27
Figure II.21 Rupture de la périodicité cas 3.	27
Figure II.22 Module du coefficient de transmission mesuré et simulé de la structure cubique	28
Figure II.23 Module du coefficient de transmission mesuré et simulé de la structure cubique avec un défaut.....	29
Figure II.24 Réponse du module de coefficient de la transmission cas de bois	30
Figure II.25 module du coefficient de transmission. Augmentation du nombre de périodes dans la direction de propagation.	30

CHAPITRE III

Figure III.1 Antenne avec ses dimensions	31
Figure III.2 La structure de l'antenne en HFSS.....	35
Figure III.3 La structure de l'antenne sans BIE, (a) la face bas de l'antenne et (b) la face haut de l'antenne.....	35
Figure III.4 L'adaptation de l'antenne	36
Figure III.5 VSWR de l'antenne sans BIE.....	36
Figure III.6 Diagramme de rayonnement de l'antenne dans la fréquence 30GHZ	37
Figure III.7 Diagramme de rayonnement en 3D	37
Figure III.8 Distributions de courant de surface de l'antenne seule	38

Figure III.9 Distribution de champ électromagnétique : (a) champ H, (b) champ E.	39
Figure III.10 La structure de l'antenne avec BIE dans le plan de masse ; (a) la face haut de l'antenne, (b) la face bas de l'antenne	40
Figure III.11 L'adaptation de l'antenne	40
Figure III.12 Résultat de VSWR (le rapport d'onde stationnaire	41
Figure III.13 Diagramme de rayonnement de l'antenne avec BIE sur le plan de masse dans les plans E et H, $\phi = 0^\circ$, $\phi = 90^\circ$. : (a) : dans la fréquence 30 GHz ,(b) : dans la fréquence 56 GHz	42
Figure III.14 Le gain en 3D de l'antenne avec la structure BIE dans le plan de masse a deux fréquences (a) 30 et (b) 56 GHz.....	42
Figure III.15 Distributions de courant de surface sur le patch rayonnant de l'antenne avec BIE sur le plan de masse a deux fréquences (a) :30GHz, (b) : 56 GHz	43
Figure III.16 Distributions de champ électromagnétique a la fréquence 30GHz : (a) : champ E, (b) : champ H de l'antenne avec BIE sur le plan de masse	44
Figure III.17 Distributions de champ électromagnétique a la fréquence 56 GHz (a) champ E, (b) champ H de l'antenne avec BIE sur le plan de masse	45
Figure III.18 la structure d'antenne avec BIE dans le substrat (a) la face bas de l'antenne (b) la face haut de l'antenne	46
Figure III.19 l'adaptation de l'antenne.....	46
Figure III.20 le VSWR de l'antenne	47
Figure III.21 diagramme de rayonnement de l'antenne (a) : la fréquence 30GHz ,(b) : la fréquence 56 GHz	47
Figure III.23 le gain de l'antenne avec BIE dans le substrat dans deux fréquence (a) :30GHz (b) : 56 GHz.	48
Figure III.24 Distributions de courant de surface sur le patch rayonnant de l'antenne avec BIE sur le substrat a deux fréquence (a) :30GHz ,(b) : 56 GHz	49
Figure III.25 Distributions de champ électromagnétique a la fréquence 56GHz : (a) : champ E, (b) : champ H de l'antenne avec BIE sur le substrat	50
Figure III.26 Diagramme de rayonnement dans les plans E et H dans deux fréquence, (a) $\phi = 0^\circ$, $F=30\text{GHz}$, (b) $\phi=90^\circ$, $F=60$	52
Figure III.27 S11 tracé de comparaison entre l'antenne proposée: sans BIE,.....	52

LISTE DES TABLEAUX

Tableau. II.1 Type de réseaux tridimensionnels	23
Tableau III.1 Les dimensions de l'antenne patch rectangulaire en mm	34
Tableau III.2 Les résultats de l'antenne sans la structure BIE.	39
Tableau III.3 Les résultats de l'antenne avec la structure BIE dans le plan de masse	45
Tableau III.4 Les résultats de l'antenne avec la structure BIE dans le substrat	50
Tableau III.5 L'adaptation (s_{11}), le VSWR, le Gain, le HPBW des antennes simulées pour 30 GHz	51
Tableau III.6 L'adaptation (s_{11}), le VSWR, le Gain, le HPBW des antennes simulées pour 56GHz	51

LISTE D'ABREVIATION

Q	Facteur de qualité
R	Résistance
S11	Adaptation d'antenne
Z	Impédance
Γ	Coefficient de réflexion
λ	Longueur d'onde
D	Directivité
ϵ_r	Permittivité relative
G	Gain
f_c	Fréquence centrale
C	capacité
L	L'inductance
BIP	bande interdite photonique
PBG	Photonic Band Gap
HF	hautes fréquences
λ_g	longueur d'onde guidée
BIE	Bande Interdite Electromagnétique
WS	Largeur de substrat
LS	Longueur de substrat
WP	Largeur de patch rayonnant
LP	Longueur de patch rayonnant
WF	Largeur de la ligne d'alimentation
LF	Longueur de la ligne d'alimentation
dB	Décibels
GHz	Gigahertz
HFSS	High Frequency Structure Simulator
RF	Radio Frequency
2D et 3D	Deux et trois dimensions
EBG	Electromagnétique Bande Gap

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Dans un système de radiocommunication, l'antenne est un composant à part entière qui nécessite une étude particulière. Tout en cherchant à optimiser les performances radioélectriques d'une antenne, on doit l'adapter aux applications les plus récentes (communications : spatiales, mobiles, sans fil ou encore antennes pour automobiles) et répondre aux exigences d'intégration dans l'architecture des terminaux. L'antenne doit améliorer les performances radio globales d'un terminal. Il est donc nécessaire de concevoir des antennes bien adaptées, avec un bon gain, une bonne pureté de polarisation, linéaire ou circulaire sur des bandes des fréquences souvent très larges pour les antennes planaires, omnidirectionnelles ou au contraire très directives, pilotables en fréquence ou en polarisation etc.... Mais on doit chercher aussi des antennes à faible coût et les plus petites possibles (on dispose de peu de place sur un terminal mobile) au plus près des quelles, on doit avoir la possibilité d'intégrer facilement des composants devant assurer d'autres fonctions électroniques, et à partir de là, les chercheurs ont commencé à orienter leurs travaux vers la conception d'antennes pouvant satisfaire les nécessités et contraintes précédemment cités, ces antennes sont communément appelées antennes « patch » ou « antennes imprimées ». L'antenne patch est conçue pour satisfaire ces besoins, c'est un conducteur métallique de forme particulière placé sur un substrat terminé par un plan de masse, son caractère en miniature offre la possibilité de l'intégrer facilement dans les systèmes d'émission réception.

-Dans ce travail, nous proposerons de concevoir une antenne patch rectangulaire pour la cinquième génération travail dans la bande de fréquence 30GHz, et en raison de son faible gain et de sa bande passante étroite, nous ajouterons la structure BIE dans le plan de masse et le substrat de cette antenne afin d'améliorer ses performances (augmenter la bande passante, l'efficacité de rayonnement....etc.)

-Dans le premier chapitre nous présentons les antennes imprimées et leurs types et Caractéristiques et le mécanisme de fonctionnement des antennes patches.

-Dans la deuxième chapitre nous avons intéressé à la structure de la bande interdite (BIE), comme nous mentionnerons les caractéristiques générales de ces matériaux à partir d'une brève histoire et de quelques définitions

-Dans la troisième chapitre, nous concevrons une antenne 5G utilisant la structure BIE dans le plan de masse et le substrat, qui à son tour améliore les performances de l'antenne, puis nous avons extrait les résultats dans chaque cas (*le s_{11} , le gain, le VSWR ... etc*) et cette simulation sera au programme HFSS

CHAPITRE I

Généralités Sur Les Antennes Imprimées

Chapitre I Generalites Sur Les Antennes Imprimées

I.1 Introduction

Le développement des télécommunications spatiales, les contrôles et les commandes à distance, ont fait apparaître la nécessité croissante de réaliser des dispositifs micro-ondes peu coûteux et peu encombrants, faisant appel à une technologie simple et économique. Les systèmes micro-ondes à structure micro ruban ont été à l'origine du développement des antennes imprimées (antennes plaques ou antennes patch) qui sont le plus souvent utilisées en réseaux afin d'améliorer leurs performances et de permettre la réalisation de fonctions très particulières.

Dans ce chapitre nous présentons les antennes imprimées et leurs types et Caractéristiques et le mécanisme de fonctionnement des antennes patches.

I.2 Historique

L'idée d'un élément rayonnant à micro-ruban date de 1950. Il a été proposé par Deschamps. Quelques années plus tard en France Gutton et Baissinot ont breveté une antenne à base micro-ruban, à cause du manque des bons substrats la recherche a stagné pour une période de 15 ans. Mais le besoin d'une antenne mince pour l'industrie militaire et spatiale a réanimé le développement des antennes imprimées au début des années 1970. La structure planaire qui est constituée d'une plaque conductrice gravée sur un substrat diélectrique qui repose sur un plan de masse a été décrite par Byron, un peu plus tard Munson a réalisé la première antenne micro-ruban. En 1979 un colloque sur les antennes tenu au Mexique lance un intérêt international pour les antennes micro-ruban, plusieurs articles ont été proposés dans cette réunion. L'un des premiers livres qui définit les caractéristiques des antennes micro ruban a été écrit par Bahl et Bhartia.[1][2][3][4]

I.3 Antenne

Une antenne est un dispositif qui permet de transformer l'énergie électrique en énergie électromagnétique en émission et vice versa en réception afin d'assurer la transmission de l'information. On peut les qualifier comme des adaptateurs d'impédances entre l'espace et l'émetteur ou le récepteur.

I.3.1 Principe

Le rôle d'une antenne est de convertir l'énergie électrique d'un signal en énergie électromagnétique, ou inversement de convertir l'énergie électromagnétique en énergie électrique. Une antenne d'émission est un dispositif qui assure la transmission de l'énergie entre un émetteur et l'espace libre où cette énergie va se propager. Réciproquement, une antenne de réception est un dispositif qui assure la transmission de l'énergie d'une onde se propageant dans l'espace à un appareil récepteur [5]

I.3.2 Types d'antennes imprimees

Il existe plusieurs types d'antennes selon la géométrie, le gain, la forme du faisceau et la bande passante. On peut les classer comme suit, selon [6]

- ❖ Les formes ou les géométries
 - ✓ Filaires : dipôle, boucle, spirale, ...
 - ✓ À ouverture : cornet, fente, ...
 - ✓ Imprimées : patch, dipôle imprimé, spirale
- ❖ Le gain
 - ✓ Élevé : planaire,
 - ✓ Moyen : cornet,
 - ✓ Bas : dipôle, fente, patch.
- ❖ La forme de faisceau :
 - ✓ Omnidirectionnelle : dipôle,
 - ✓ Étroit : planaire,
 - ✓ Large : réseau
- ❖ La largeur de bande :
 - ✓ Large : spirale,
 - ✓ Étroite : patch, fente.

I.4 Definition antenne patch

Une antenne imprimée micro ruban, communément appelée antenne patch, est définie comme une surface conductrice sur la face supérieure d'un substrat diélectrique dont la face inférieure est recouverte d'un plan de masse [7]

La figure 1.1 montre une antenne patch dans sa configuration la plus générale. L'élément rayonnant ou le patch est généralement en cuivre, et peut avoir toutes formes possibles comme indiquée sur la figure 1.1 [8]

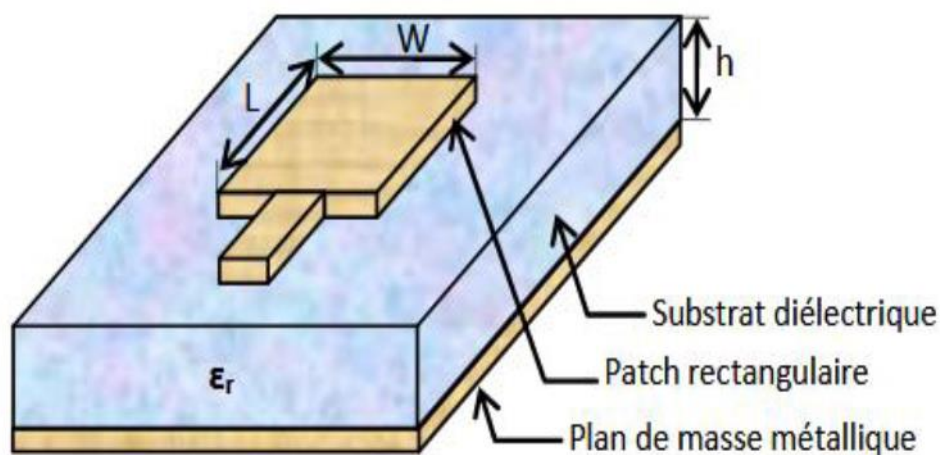


Figure I.1 Structure de base d'une antenne patch

I.4.1 Les différentes formes d'une antenne patch

L'antenne patch peut prendre plusieurs formes qui peuvent être rectangulaire, carré, circulaire ou simplement un dipôle. Ces formes sont les plus courantes car elles présentent une grande facilité d'analyse et de fabrication, mais également un diagramme de rayonnement très intéressant. La figure suivante montre ces différentes formes[9]

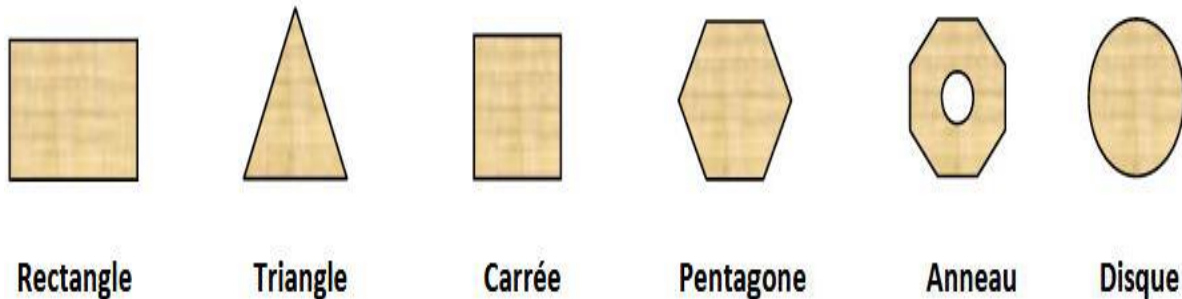


Figure I.2 Différentes formes d'antennes patch

I.4.2 Caracteristiques des antennes

I.4.2.1 Coefficient de réflexion S11

Le coefficient de réflexion S11 met en évidence l'absorption de l'énergie par l'antenne. C'est sur ce paramètre que l'on se base lors de l'optimisation.

La représentation du coefficient de réflexion 11 S (ou Γ) en fonction de la fréquence permet de déterminer la fréquence de résonance de l'antenne pour des dimensions données.

$$\Gamma = \frac{Z_e - Z_c}{Z_e + Z_c} = \frac{\text{onde réfléchie}}{\text{onde incidente}}$$

$$S_{11}(dB) = 10 \log \left| \frac{Z_e - Z_c}{Z_e + Z_c} \right|$$

Z_e : Impédance d'entrée de l'antenne.

Z_c : Impédance caractéristique de la ligne qui alimente l'antenne ($Z_c = 50 \Omega$)

I.4.2.3 Directivité

La directivité (θ, φ) d'une antenne dans une direction (θ, φ) est le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction donnée (θ, φ) et la puissance que rayonnerait une antenne isotrope. [10]

$$D(\theta, \varphi) = \frac{P(\theta, \varphi)}{P_r/4\pi} = 4\pi \frac{P(\theta, \varphi)}{P_r}$$

I.4.2.4 Rendement de l'antenne

Le rendement de l'antenne est le rapport entre la puissance rayonnée et la puissance fournie à l'antenne, soit :

$$\eta = \frac{P_r}{P_f}$$

Ce rapport caractérise la perte à l'intérieur de l'antenne.

I.4.2.5 Gain

Le gain est le résultat de deux effets la directivité et la perte.

Si G est le gain, alors :

$$G(\theta, \varphi) = \eta \times D(\theta, \varphi)$$

I.4.2.6 L'Angle d'ouverture

Si G_m est le gain maximal d'une antenne donnée dans un plan bien déterminé, alors son ouverture dans ce plan est l'angle qui se trouve entre deux directions de ce plan ayant la moitié du gain maximal (gain à -3 dB), soit $G_m/2$

I.4.2.7 Diagramme de rayonnement

Le diagramme de rayonnement d'une antenne présente les variations de la puissance rayonnée par unité d'angle solide dans les différentes directions de l'espace. En dehors du cas des antennes omnidirectionnelles dans certains plans, les antennes ne rayonnent pas leurs puissances de façon uniforme dans toutes les directions de l'espace.

Il y a généralement une direction de rayonnement maximale autour de laquelle se trouve concentrée une grande partie de la puissance rayonnée et des directions secondaires autour desquelles se répartit la fraction de la puissance restante. La fonction caractéristique de rayonnement (θ, ϕ) de l'antenne permet d'avoir une vision globale du rayonnement. Elle est définie comme étant le rapport de la puissance transmise dans une direction donnée (θ, ϕ) à la puissance P_{max} de la direction où le rayonnement est maximal [11].

$$p(\theta, \phi) = Pa/4\pi$$

I.4.2.8 La bande passante (BP)

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 [12][13]

$$BP(\%) = [-f_{max} / f_c]. 100$$

Avec f_c est la fréquence centrale ou de résonance.

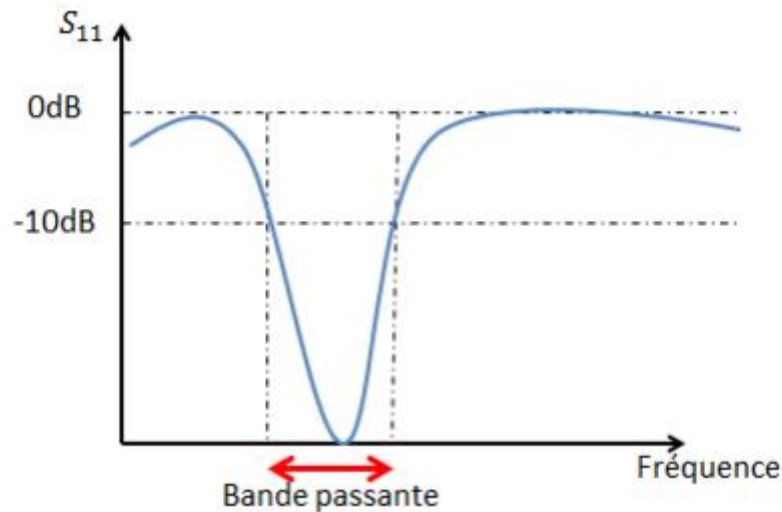


Figure I.3 :Bande passante et coefficient de réflexion

I.4.2.9 Impédance d'entrée

On appelle impédance d'entrée de l'antenne l'impédance vue à l'entrée de ce composant. Elle est représentée par : $Z_e(f) = R_e(f) + j X_e(f)$. (Figure I.4). La résistance d'entrée $R_e(f)$ représente un terme de dissipation. Il est lié, d'une part à la puissance rayonnée et d'autre part, à la puissance perdue par effet Joule. Cette dernière est en général petite par rapport à la puissance rayonnée pour assurer le fonctionnement optimal de l'antenne.

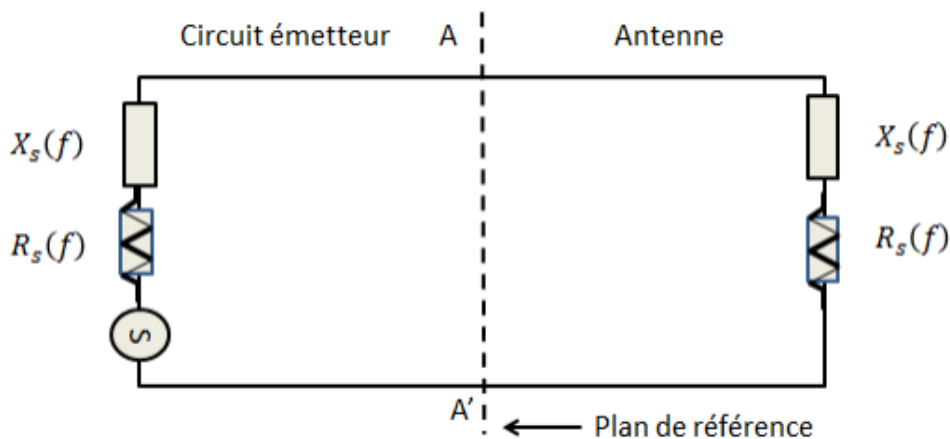


Figure I.4 :circuit équivalent d'une antenne

I.5 Mécanismes de rayonnement de l'antenne patch rectangulaire

Parmi beaucoup de modèles d'analyse pour les antennes micro ruban le plus courant est le modèle de la ligne de transmission (le plus facile de tout ce qui donne la bonne perspicacité des phénomènes physiques, mais est moins précis et il est plus difficile de modéliser l'accouplement), Le modèle de cavité , d'autre part il y a la modélisation électromagnétique qui inclue principalement la résolution des équations intégrales par la méthode de moment ou la méthode des éléments finis.

L'antenne peut être considérée comme une ligne de transmission de cavité résonnante avec deux extrémités ouvertes à une longueur de $\lambda/2$ où les champs aux bords du patch et la masse sont exposées à l'espace supérieur et créent le rayonnement [14]. Les dimensions finies de l'élément rayonnant (longueur et largeur) causent les lignes des champs aux bords du patch comme le représente la figure 1.5.

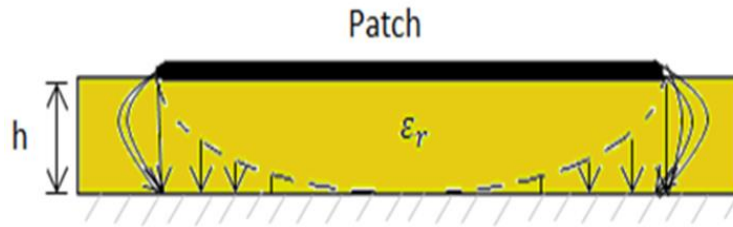


Figure I.5 l'effet du champ sur les bords du patch

La concentration des lignes de champ est en fonction des dimensions de patch et de l'épaisseur du substrat, pour le plan principal de champ électrique E les lignes de champ sont en fonction du rapport de la longueur de patch L et l'épaisseur h du substrat (L/h), aussi bien que le constant diélectrique relatif ϵ_r du substrat. Bien que pour des antennes micro ruban les lignes de champ sont réduites (en raison de $L/h \gg 1$), ses influences sur la fréquence de résonance de l'antenne doivent être prises en compte [15].

Pour décrire le rayonnement d'antenne patch au lieu d'utiliser la distribution du champ dans l'antenne on utilise la distribution du courant sur la surface du patch et le plan de masse. Considérons une antenne micro ruban qui est alimentée par une source microonde. En conséquence, une distribution de charge est établie sur les deux côtés de la surface de patch, aussi bien que sur la surface du plan de masse figure 1.6.

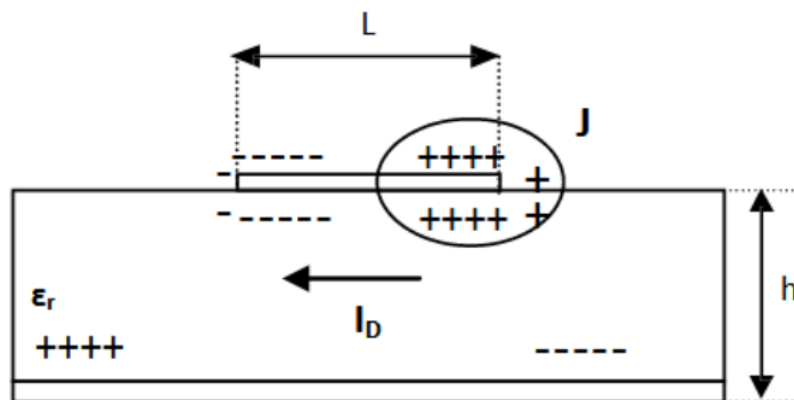


Figure I.6 densité de courant et distribution des charges sur antenne micro ruban

Le mécanisme de rayonnement d'une antenne patch rectangulaire s'effectue à partir de sa forme géométrique. Une fois, la ligne d'alimentation excitée par une source RF, une onde

électromagnétique se propage sur cette ligne, puis attaque l'élément rayonnant. Une distribution de charge va se mettre à l'interface substrat - plan de masse, sur et sous le composant rayonnant, ce qui va provoquer :

1. Une inversion de phase des composantes verticales du champ électrique sur la longueur de l'antenne.
2. Contrairement à précédemment, des rayonnements qui sont en phase dans le plan de l'antenne et dus aux composantes horizontales des lignes de champ qui entourent l'élément imprimé.
3. Une modélisation de l'antenne patch rectangulaire par une cavité à 4 murs magnétiques (bords de la cavité) et 2 murs électriques (formés par les métallisations).

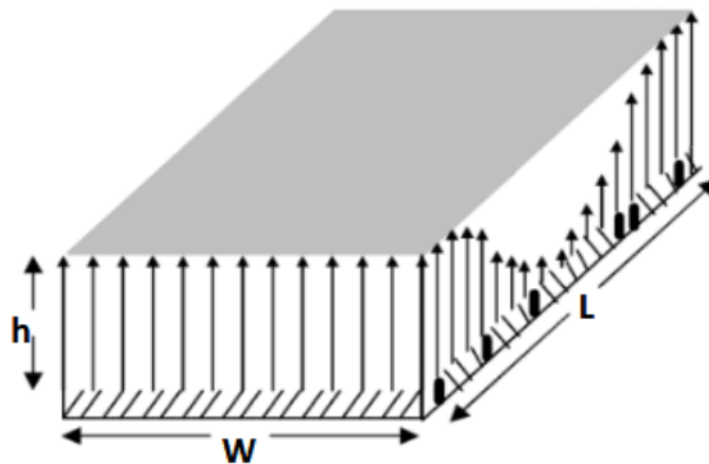


Figure I.7 Distribution de la composante verticale du champ électrique en mode fondamental.

Près des bords, le champ n'est pas entièrement inclus. Cela aboutit aux champs marginaux, qui sont à leur tour la source du rayonnement. La plaque rayonnante (patch) résonne quand sa longueur est proche de $(\lambda/2)$, menant le courant et le champ à des amplitudes relativement élevées.

I.6 Polarisation de l'antenne

La polarisation d'une antenne est déterminée par celle de l'onde radiée dans une direction donnée, elle est identique à la direction du champ électrique, c'est à dire à celle des brins rayonnants de l'antenne. Le plan E (électrique) est parallèle au vecteur E de l'onde émise. On parle de polarisation verticale si le plan E est perpendiculaire au sol, s'il est parallèle au sol, on parle de polarisation horizontale. Aussi le vecteur du champ électrique instantané trace dans le temps une figure. On réfère à ce phénomène simplement la polarisation du champ électrique. La figure est généralement une ellipse qui présente des cas particuliers. Si le

chemin du vecteur de champ électrique suit une ligne, l'antenne est dite linéairement polarisée. Si le vecteur champ électrique tourne selon un cercle, elle est dite à polarisation circulaire [16]

I.7 Techniques d'alimentation des antennes patch

L'alimentation des antennes patch est l'une des parties les plus importantes dans le processus de la conception. Pour cela, plusieurs techniques ont été considérées dans ce but.

En effet, elles peuvent être classées en deux grandes catégories [17]

❖ Par contact :

- ✓ Ligne micro ruban,
- ✓ Câble coaxial.

❖ Par proximité :

- ✓ Couplage électromagnétique.
- ✓ Couplage à ouverture (fente).

Les techniques les plus utilisées dans la bande millimétrique sont la ligne microruban ou le couplage par ouverture (fente).

Dans ce qui suit nous présentons un bref aperçu de ces techniques d'alimentation, qui restent de loin les plus utilisées.

I.7.1 Alimentation directe par ligne micro ruban

La plus simple méthode pour alimenter une antenne patch est de connecter directement une ligne micro ruban (généralement de 50Ω) au bord de l'antenne. Dont le point de jonction est sur l'axe de symétrie de l'élément ou décalé par rapport à cet axe de symétrie si cela permet une meilleure adaptation d'impédance.

Cette méthode est appelée « *alimentation directe* », son principal avantage est sa simplicité, du point de vue réalisation et analyse. L'adaptation d'impédance peut être obtenue soit par le décalage, du point de jonction, par rapport à l'axe de symétrie, soit par le choix des dimensions appropriées de l'encoche à effectuer sur le bord de l'antenne pour un positionnement centré. Malheureusement, l'antenne et sa ligne micro-ruban d'alimentation ne peuvent pas être optimisées simultanément comme antenne et comme ligne de transmission. Les spécifications du substrat requises par chacune des deux fonctions, sont contradictoires. Un compromis est donc nécessaire, entraînant un rayonnement parasite de la ligne. Cela implique des niveaux élevés des lobes secondaires et du champ croisé. De plus, la présence de discontinuités dans cette configuration favorise l'excitation des ondes de surface [18]

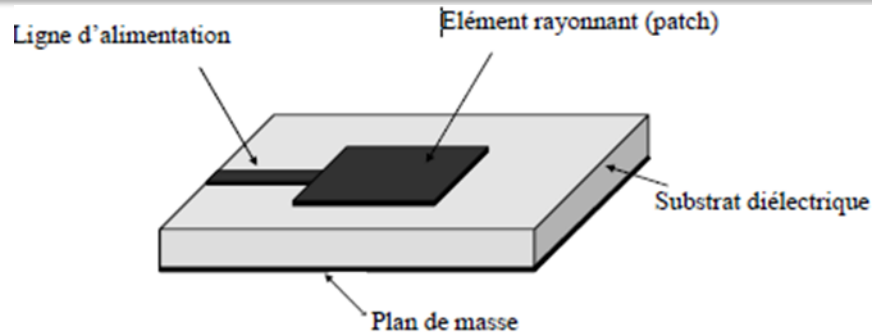


Figure I.8 Alimentation par une ligne micro ruban

I.7.2 Alimentation coaxiale

L'alimentation coaxiale ou l'alimentation de sonde est une technique très utilisée pour alimenter les antennes micro rubans Figure 1.9 Dans ce cas le conducteur intérieur du connecteur coaxial traverse le diélectrique et est soudé au patch, alors que le conducteur externe est relié au plan de masse.

L'avantage principal de ce type d'alimentation est qu'elle peut être appliquée à n'importe quel endroit choisi à l'intérieur du patch, avec une facilité de fabrication Cependant, cette méthode présente des inconvénients au niveau du diagramme de rayonnement. En effet, la connexion génère un pic de courant localisé au niveau de l'élément rayonnant qui peut induire une dissymétrie dans le diagramme de rayonnement. De plus, des pertes apparaissent avec le perçage du plan de masse, du diélectrique ainsi que de l'élément plaqué [18]

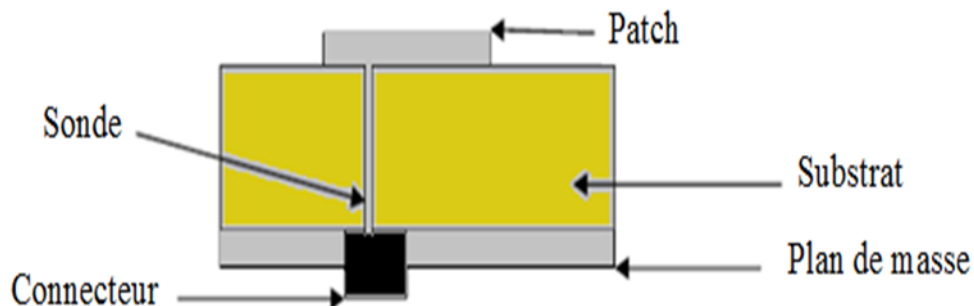


Figure I.9 Alimentation coaxiale

I.7.3 Couplage par fente

Une technique qui évite le contact direct entre l'antenne et la ligne d'alimentation, est le couplage par fente. Ici l'alimentation est assurée par une fente réalisée dans le plan de masse. Cette dernière assure le couplage électromagnétique entre l'antenne et une ligne de transmission ouverte imprimée sur un autre substrat situé en dessous du plan de masse. Cette technique permet d'optimiser la structure d'excitation et l'élément rayonnant indépendamment l'un de l'autre puisqu'ils sont séparés par le plan de masse qui joue le rôle d'un écran protecteur. Le principal inconvénient de cette technique reste la difficulté d'adaptation, et le recours aux techniques de fabrication multicouches qui augmentent les coûts de fabrication [10].

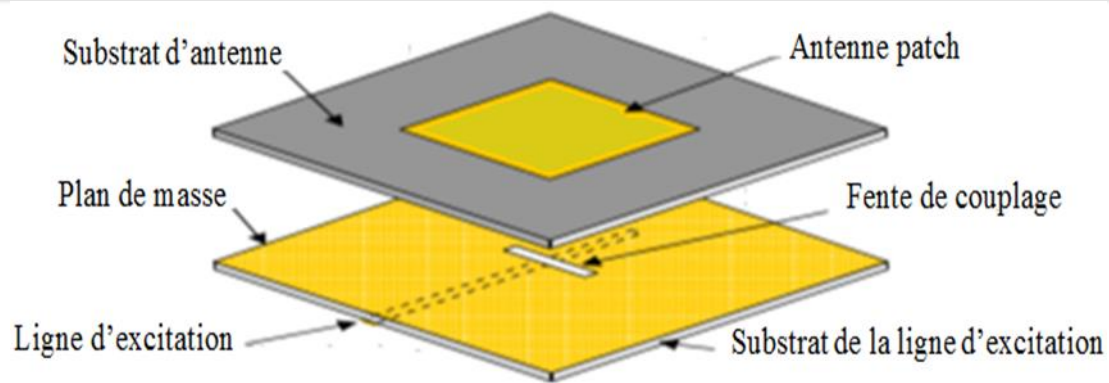


Figure I.10 Alimentation par couplage par fente

I.7.4 Couplage par proximité

Pour cette technique d'alimentation, l'antenne et la ligne d'excitation sont placées à des niveaux différents comme on peut le voir sur la figure 1.11. La ligne d'alimentation est placée en sandwich entre son propre substrat (substrat inférieur) et le substrat de l'antenne (substrat supérieur). L'utilisation d'un diélectrique mince de permittivité élevée pour le substrat inférieur (supportant la ligne d'alimentation) réduit le rayonnement de cette dernière. Le choix d'un diélectrique épais et de faible permittivité pour le substrat supérieur permet d'optimiser le rayonnement de l'antenne [18]

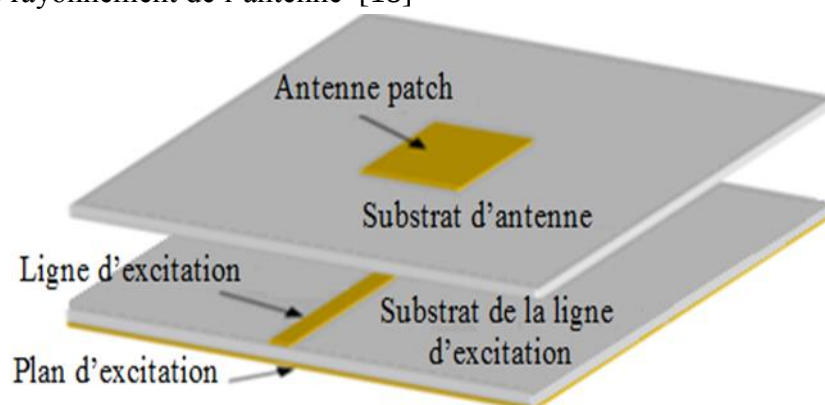


Figure I.11 Alimentation par couplage de proximité

I.8 Modélisation d'une antenne plaquée rectangulaire

Dans cette modélisation, une antenne plaquée rectangulaire est considérée comme une section résonante faisant partie d'une ligne de transmission. Le patch rectangulaire sera assimilé à un circuit choisi *RLC* parallèle Figure I.12 [14]

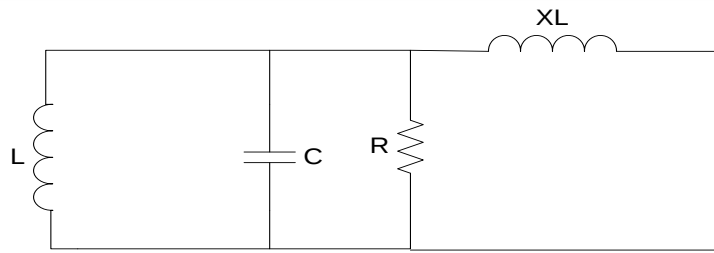


Figure I.12 Circuit équivalent d'une antenne patch rectangulaire alimenté par une sonde Coaxiale

- La distribution uniforme du courant sur la section du conducteur et l'équivalent de la Résistance R présentée dans le circuit. Pour un courant continu fixe la résistance est Fonction de la largeur du ruban.
- la capacité est placée entre deux électrodes séparées par un isolant (le plan de masse, le patch et le substrat).
- L'inductance XL s'appelle inductance d'alimentation, il s'agit de l'énergie Emmagasinée dans le champ magnétique concernant les modes supérieurs.

I.9 Avantages et inconvénients des antennes imprimées

Donc la conception des antennes doit répondre à des compromis en termes de performance. Les antennes imprimées possèdent comme on a déjà souligné une facilité d'intégration et elles sont largement utilisées, leur applications couvrent un large domaine de fréquences (100 MHz à 100 GHz), elles ont beaucoup d'avantages parmi eux :

- ✓ Faible poids, masse, épaisseur, et volume.
- ✓ Possibilité d'être intégrées dans des appareils électroniques transportable.
- ✓ Faible coût et facilité de fabrication.
- ✓ Capables d'émettre à deux ou trois fréquences.
- ✓ Simples, robustes, et moins encombrantes et adaptables aux surfaces planes et non planes [19][20]

Néanmoins ces antennes présentent des limitations à savoir :

- ✓ Faible rendement, puissance d'émission ($<100W$) et un faible gain (6 dB).
- ✓ Facteur de qualité Q trop élevé (50 jusqu'à 75) et bande passante étroite (de 1 à 5 %).
- ✓ Pertes de rayonnement par onde de surfaces dans le substrat diélectrique.
- ✓ Faible pureté de polarisation et de complexité de réalisation.[21]
- ✓ Les antennes patch ont un facteur de qualité (Q) très élevé. Q représente les pertes liées à l'antenne et un grand facteur de qualité mène à une largeur de bande étroite et un faible rendement. Le facteur de qualité peut être réduit en augmentant l'épaisseur du substrat diélectrique. [22]

I.10 Applications

Vu l'explosion technologique dans la télécommunication et les recherches scientifiques continues concernant les antennes imprimées, et vu les exigences multiples dans le domaine de communication l'utilisation des antennes micro-ondes classiques devient incapable de répondre à ces exigences. Pour cette raison les antennes imprimées remplacent les antennes classiques dans la plupart des applications parmi ces applications on cite :

- La commande et contrôle.
- La télémétrie par missile.
- Les équipements portatifs.
- Les éléments d'alimentation dans les antennes complexes.
- Les antennes d'émission utilisées en médecine.
- Les récepteurs satellite de navigation.

L'antenne patch est de plus en plus utilisée en télécommunication, tout particulièrement dans le secteur de la téléphonie mobile.

I.11 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les antennes imprimées, et nous avons montré leurs principes et types ainsi que nous avons défini leurs caractéristiques et techniques d'alimentations. Ces antennes ont été remplacées les anciennes antennes en raison de leurs bonnes performances. De plus, ces derniers ont des avantages et des inconvénients et sont utilisés dans plusieurs domaines, notamment les communications.

CHAPITRE II

Matériaux A Bande Interdite Electromagnétique « BIE »

Chapitre II Matériaux A Bande Interdite Electromagnétique « BIE»

II.1 Introduction

En hyperfréquences, les structures reconfigurables se révèlent fort attractives pour le design de dispositifs multifonctions (e.g. antenne reconfigurable, filtre accordable etc.). Le thème principal de cette thèse est l'étude de la reconfigurabilité d'une structure à Bande Interdite Électromagnétique (BIE) au moyen de plasmas de décharge.

Les matériaux à bande interdite électromagnétique (BIE), auxquels nous allons nous intéresser dans ce travail, se présentent sous la forme d'un arrangement périodique de tiges métalliques. Leur propriété la plus classique consiste en l'apparition d'une bande de fréquence dans laquelle la structure est opaque électromagnétiquement. De plus, d'autres propriétés peu communes chez les matériaux plus classiques (anisotropie, indice de réfraction négatif) offrent la possibilité de contrôler la propagation des ondes électromagnétiques au sein d'une structure BIE de façon plus sophistiquée.

II.2 Présentation des structures a bandes interdites électromagnétiques

Les cristaux photoniques ou matériaux à bande interdite électromagnétique (BIE) ont suscité un intérêt important dans la communauté scientifique. Cet intérêt pour ces matériaux est dû au fait qu'ils ont des propriétés optiques uniques. Les cristaux photoniques sont des matériaux hétérogènes artificiels ou naturels dont l'indice de réfraction varie périodiquement dans les différentes directions de l'espace et constituent à l'heure actuelle une nouvelle classe de matériaux. Ils détiennent de ce fait, la particularité de pouvoir prohiber la propagation des ondes dans une gamme de longueurs d'ondes de l'ordre de la période de la structure. On dit qu'un cristal photonique a une bande interdite photonique complète à une plage de fréquences s'il réfléchit la lumière pour chaque polarisation incidente et chaque angle d'incidence. L'absence de modes optiques disponibles dans la bande interdite photonique a rapidement été utilisée pour réaliser des miroirs parfaits capables de réfléchir l'intégralité de l'énergie d'une onde lumineuse quel que soit son angle d'incidence.

II.3 Bref historique

Ce nouveau type de structure a été développé par E. Yablonovitch [23-24] à la fin des années quatre-vingts. En réalité, le tout premier matériau BIP ou cristal photonique a été réalisé sans le savoir par le physicien anglais William Laurence Bragg en 1915. Ce dernier a réussi par

l'empilement périodique de couches transparentes à indices de réfraction différents à réfléchir 99,5% de l'énergie incidente, ce qui est impossible avec un miroir classique. Ce phénomène s'explique par de multiples réflexions à l'intérieur même de chaque interface. Elles sont constructives pour une épaisseur particulière des différentes couches. Ces matériaux dont la constante diélectrique est structurée de manière périodique possèdent des fréquences pour lesquelles il n'existe aucun mode de propagation possible à l'intérieur du matériau, autrement appelé bande de fréquence interdite. Ces structures périodiques à une dimension sont déjà connues sous le nom de miroirs de Bragg. Depuis, E. Yablonovitch [25] a eu l'idée d'étendre leur fonctionnement à plusieurs dimensions. Pour simplifier les réalisations, un prototype a été défini avec des bandes interdites mesurables en micro-ondes. Depuis cette innovation, les études qui ont pour objet ces matériaux se sont considérablement accrues. Les domaines de fréquences où ces matériaux sont étudiés correspondent aux fréquences optiques (de 1THz jusqu'à 1000THz) et aux fréquences microondes ou hyperfréquences. La gamme de fréquences facilite la conception et la réalisation de ces matériaux. L'analogie entre l'équation de Schrödinger et l'équation de propagation issue des équations de Maxwell dans les milieux diélectriques permet de rapprocher les propriétés des cristaux solides de celles des cristaux photoniques. A l'image des semi-conducteurs, dont la régularité du paysage atomique entraîne l'existence d'une bande d'énergie interdite, nous pouvons donc obtenir des bandes de fréquences interdites pour des matériaux diélectriques périodiques. Pour ces bandes de fréquences, aucune onde électromagnétique ne peut se propager dans le matériau et ceci quel que soit l'angle d'incidence considéré selon la structure étudiée. Ces plages de fréquences ont pris le nom générique de Bande Interdite Photonique. Le principe du miroir de Bragg est présenté sur la a Figure II .1

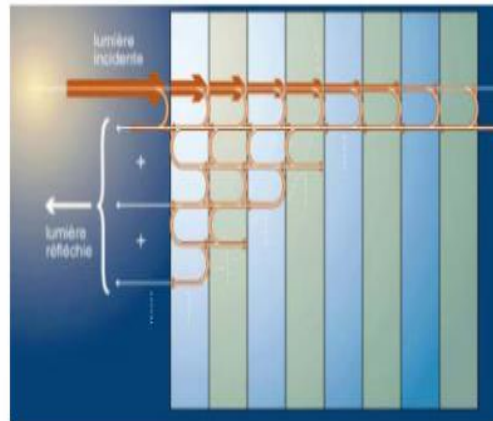


Figure II .1 Principe du miroir de Bragg.

Pour le domaine des hautes fréquences (HF) ou micro-ondes, nous utiliserons plutôt le terme de matériaux à Bande Interdite Electromagnétique ou BIE qui correspond aux bandes de fréquences étudiées. En effet, leurs propriétés fréquentielles sont transposables pour d'autres longueurs d'ondes car elles sont surtout induites par la ou les périodicités du matériau.

II.4 Définitions

Définition des cristaux Photoniques : La première structure périodique à connaître est le matériau à bande interdite photonique (B.I.P.) que l'on appelle plutôt en hyperfréquences « matériau à bande interdite électromagnétique ». D'une manière générale, on les nomme familièrement «cristaux photoniques » car sa structure se rapproche de la structure cristalline et qu'ils agissent sur les photons. L'intérêt des chercheurs pour le thème des cristaux photoniques est important, surtout depuis la fin des années 90, car ces matériaux périodiques artificiels ont été promis à révolutionner le domaine des télécommunications. En effet, depuis des années, la recherche scientifique pense pouvoir contrôler la propagation de la lumière grâce à ces matériaux afin de remplacer la communication classique à courant électrique. Ceci entraînerait un gain énorme en termes de rapidité de la communication.

II.5 Propriétés de base des cristaux photoniques

II .5.1 Périodicité a une dimension

Les matériaux à bandes interdites photoniques unidimensionnels (1D) possèdent une permittivité électrique périodique dans une direction et uniforme dans les deux autres directions. La figure II.2 montre qu'ils consistent en un empilement de deux couches alternées

de matériaux homogènes ayant des constantes diélectriques ϵ différentes. Ces structures existent depuis longtemps et sont utilisées en optique pour obtenir des miroirs sans pertes (miroirs de Bragg) ou des filtres.



Figure II .2 Unidimensionnel, empilement de couches de permittivités différentes.

II.5.2 Périodicité a deux dimensions

Un cristal photonique bidimensionnel est une structure qui présente une modulation périodique de la permittivité diélectrique suivant deux directions de l'espace, et homogène dans la troisième. Les propriétés optiques des structures bidimensionnelles (ainsi que les structures unidimensionnelles en incidence non normale) sont fortement dépendantes de la polarisation de l'onde électromagnétique. Il existe plusieurs façons de réaliser ces structures bidimensionnelles. Par exemple, on peut placer des tiges diélectriques dans l'air ou encore dans un autre diélectrique. Afin d'ouvrir des bandes interdites larges, il faut un contraste d'indice (différence entre les indices du milieu et des tiges) suffisamment grand [26]. Un BIP bidimensionnel peut aussi être constitué d'un ensemble de trous percés dans un diélectrique. Les réponses optiques de ces structures dépendent de la polarisation et peuvent ne pas posséder une bande interdite complète. On parle d'une bande interdite complète lorsque la structure interdit la propagation pour toutes les directions dans le plan de la périodicité, quelle que soit la polarisation.

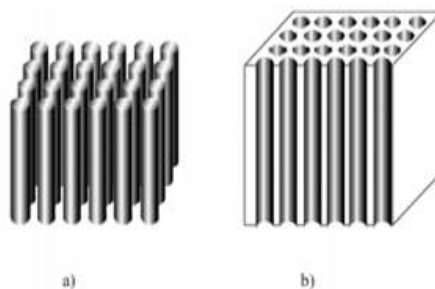


Figure II.3 Exemple de Bips 2D, réseaux de tiges dans l'aire de trous d'air dans un matériau.

II.5.3 Périodicité a trois dimensions

Les cristaux photoniques tridimensionnels sont des structures dont la permittivité diélectrique est structurée périodiquement dans les trois directions. Elles ont été les deuxièmes à être réalisées par Yablonovitch après les réseaux de Bragg. Son objectif était d'obtenir une bande interdite complète pour toutes les directions de l'espace afin d'inhiber l'émission spontanée de la lumière [27].

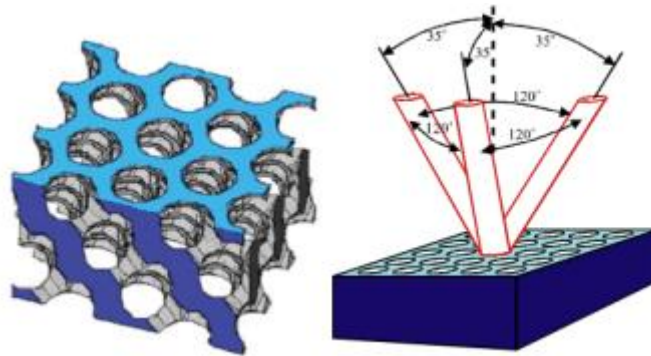


Figure II .4 La première structure BIP 3D : la yablonovite . [28]

II.6 Description des matériaux BIE diélectriques

Les matériaux BIE sont des structures périodiques à une, deux ou trois directions de périodicité constituées d'éléments diélectriques ou métalliques (**Figure II.5**). Ils ont la propriété de contrôler la propagation des ondes électromagnétiques. Ces structures peuvent jouer le rôle de filtre fréquentiel et de filtre spatial..

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 II.5, nous avons des exemples de réseaux BIE de périodicité selon une, deux et trois dimensions..

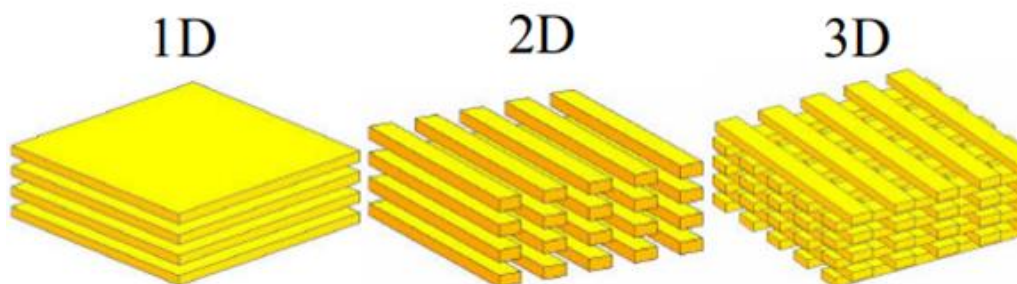


Figure II.5 Exemples de structures périodiques 1D, 2D et 3D.

Puisque l'incidence des ondes est un facteur limitant les performances de ces structures, les chercheurs travaillent dans les domaines utilisant ces matériaux. Ils ont tenté de développer des structures BIE isotropes qui gardent leurs propriétés quel que soit l'angle d'incidence des ondes.

II.6.1 La structure périodique unidimensionnelle

Cette structure est le dispositif périodique le plus simple. Il est connu sous le nom de « Miroir de Bragg ». Il consiste en une alternance de couches planes de diélectrique ayant les constantes diélectriques ϵ_1 et ϵ_2 d'épaisseur $\lambda_g / 4$, ou λ_g représente la longueur d'onde guidée dans le matériau (**figure II.6**)



Figure II.6 Structures périodique unidimensionnelle

II.6.2 La structure périodique bidimensionnelle

Les structures périodiques bidimensionnelles [29].[30] sont périodiques suivant deux directions de l'espace et infinies suivant la troisième. Il existe deux types de ces structures :

- Les structures dites « connectées » (**figure II .7**) : les motifs élémentaires sont d'indice n_1 inférieur à l'indice n_2 de la matrice diélectrique.

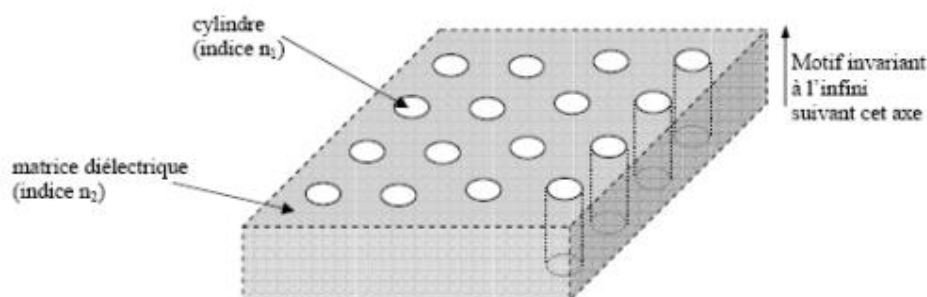


Figure II.7 structures périodique 2D connectée.

• Structures dites « déconnectées » (**figure II.8**) : les motifs élémentaires sont d'indice n_1 supérieur à l'indice n_2 de l'espace inter motifs. Elles sont constituées de tiges diélectriques ou métalliques alignées périodiquement dans l'air ou de la mousse [31].

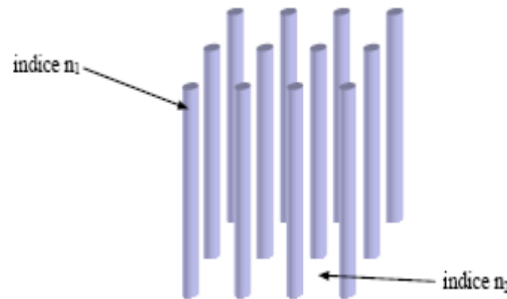


Figure II .8 structures périodique 2D déconnectée.

Les réseaux périodiques à deux dimensions se regroupent principalement suivant trois familles :

❖ **Le réseau carré**

Les nœuds du réseau sont situés sur un carré de côté “a” (**figure II. 9**)

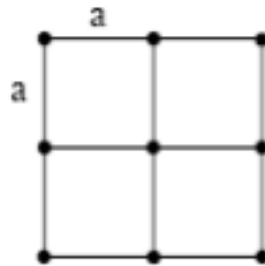


Figure II.9 Réseau carré.

❖ Le réseau triangulaire

Chaque nœud du réseau est espacé de son proche voisin d'une même distance "a" (**figure II .10**)

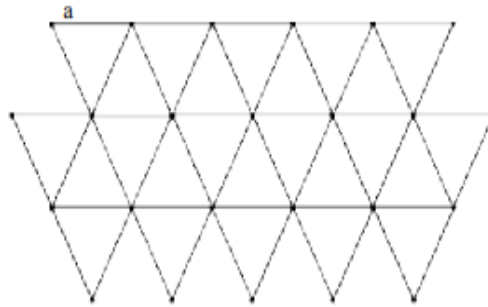


Figure II .10 Réseau triangulaire.

❖ Le réseau hexagonal

La structure graphite: Dans cette structure tous les nœuds sont identiques et espacés de "a", elle est similaire à la structure cristalline du graphite (**figure II.11**). [32]

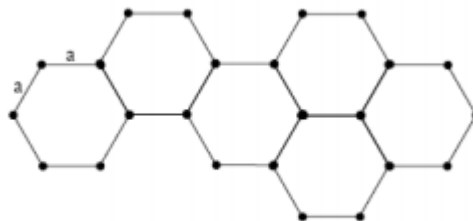


Figure II .11 structure graphite.

La structure nitrure de Bore : Si un nœud diffère de son suivant par sa nature ou sa dimension, on obtient ainsi la structure cristalline du Nitrure de Bore (**figure II .12**).

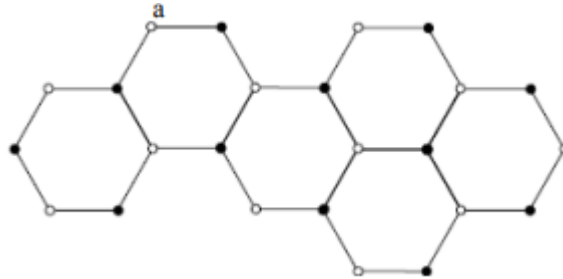


Figure II .12 Structure Nitrure de Bore.

II.6.3 La structure periodique tridimensionnelle

Dans la première moitié du XIXème siècle, Auguste Bravais a établi un classement des différentes familles de cristaux. Il a montré que les cristaux peuvent se répartir en 7 types de mailles (7 systèmes cristallins) et 14 types de réseaux

Tableau. II.1 type de réseaux tridimensionnels

Géométrie de cristal	Distance	Angles	Nature des réseaux
Cubique	$A=b=c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	P, F, I
Tétragonal (quadratique)	$A=b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	P, I
Orthorhombique	$A \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	P, F, I, C
Hexagonal	$A=b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	P
Trigonal (Rhomboédrique)	$A=b=c$	$\alpha = \beta = \gamma$ différents de 90°	P
Monoclinique	$A \neq b \neq c$	$\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	P, C
Triclinique	$A \neq b \neq c$	α, β, γ différents	P

Sachant que la convention adoptée pour décrire les réseaux cristallins consiste à choisir les distances a, b et c selon les axes x, y et z. Les angles a, b et g étant définis dans le plan perpendiculaire à l'axe par rapport à l'axe auquel on les fait correspondre : a donc x pour a, b donc y pour b, c donc z pour g

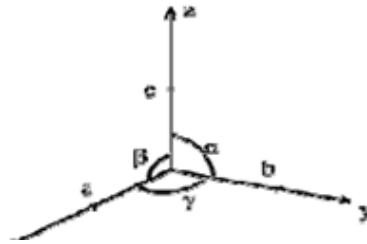


Figure II .13 Axes et Angles

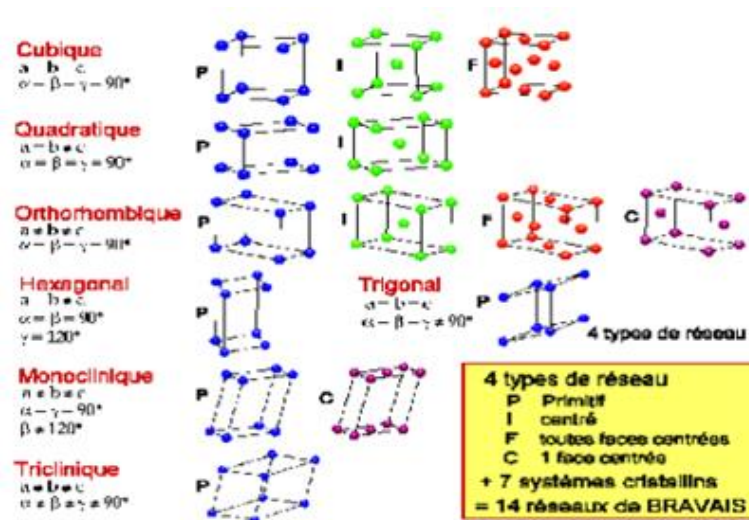


Figure II .14 les mailles de BRAVAIS

Les réseaux cubiques (simple, centré et faces centrées) sont les plus utilisés mais les autres réseaux n'ont pas fait, pour l'instant, l'objet de beaucoup d'études [33]. Les cristaux photoniques tridimensionnels ont attiré de nombreux efforts de recherche. Le premier cristal photonique tridimensionnel a été fabriqué sous forme de sphères de silicium arrangées sur une structure diamant [34]. En 1993 E. Yablonovitch fabriquait un cristal photonique en perçant des trous dans un bloc de plexiglas selon trois angles azimutaux. Ce cristal photonique s'appelle d'après son inventeur "la Yablonovite" (figure II.15) [34]. Avec ce cristal photonique, le concept de la bande interdite photonique a été démontré expérimentalement pour la première fois.

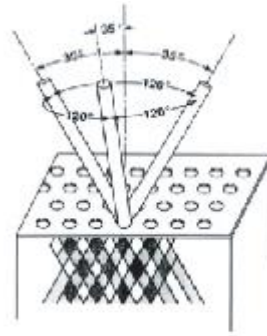


Figure II .15 la yablonivite : les trous de ce cristal ont été perçés dans un bloc de plexiglas et forment un réseau fcc .

II.7 Caractérisation de la bande interdite des structures BIE

Après avoir caractérisé nos structures céramiques et réalisé celles-ci par différents moyens comme le coulage en bande ou le prototypage rapide, il est désormais temps de faire apparaître des bandes interdites en confectionnant différentes structures BIE. A l'intérieur de celles-ci, nous caractériserons des pics de transmission dus à la rupture de la périodicité dans la direction de propagation [35],[36],[37],[38]

II.7.1 Caractérisation des structures BIE avec défaut(S)

Le plus intéressant dans les résultats expérimentaux de la caractérisation, c'est l'apparition d'un ou plusieurs pics de transmission dans la bande interdite. Si nous espaçons maintenant de 10,5mm deux groupes de 2 plaques (FRIATEC) de 1,5mm d'épaisseur espacées de 4,5 mm, nous observons une fine bande passante à 15GHz sur le coefficient de transmission, sur la Figure II.16 Le coefficient de qualité du pic de transmission est égal à 120.

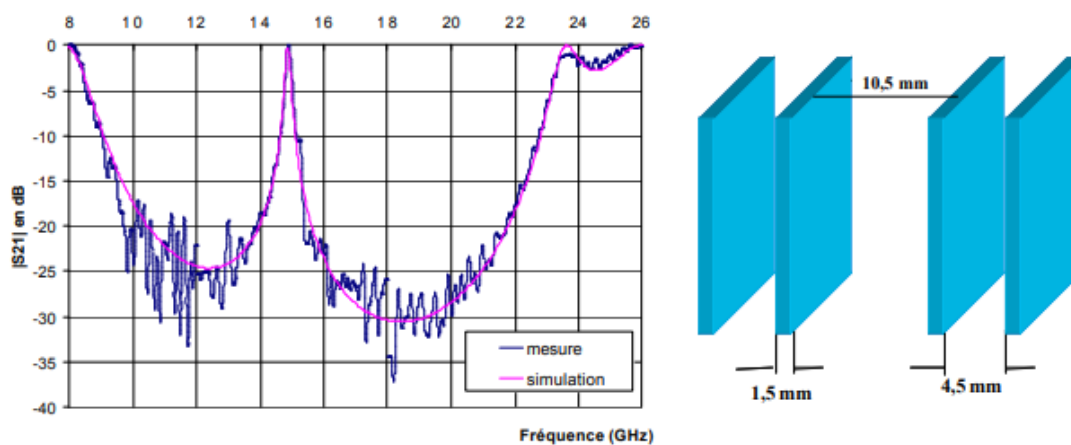


Figure II.16 rupture de la périodicité cas 1.

Nous augmentons un peu plus la rupture de la périodicité du matériau 1D en les espaçant de 16,5mm sur la Figure II.17. Le pic de transmission se déplace respectivement de 15GHz ($L=10,5\text{mm}$) à 11GHz ($L=16,5\text{mm}$) et un deuxième pic de transmission apparaît à 17,8GHz.

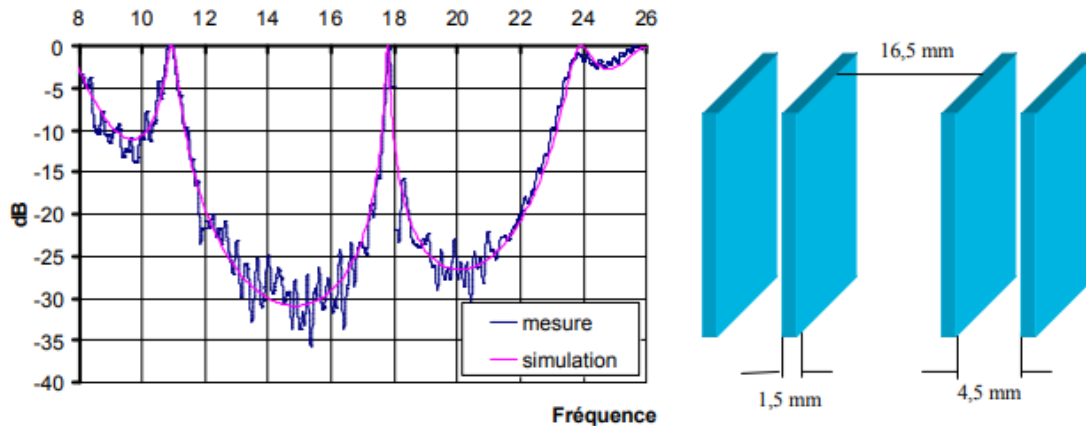


Figure II.17 rupture de la périodicité cas 2.

Il est possible de rompre la périodicité à deux endroits différents et de faire apparaître deux pics de transmission. Sur la Figure II.18, deux plaques ont été retirées provoquant deux bandes permises (à 20,4GHz et à 21,6GHz). Dans ce cas nous avons utilisé des plaques de 1mm d'épaisseur espacées de 3mm. Les défauts de périodicité correspondent à un écartement entre les plaques de 7mm.

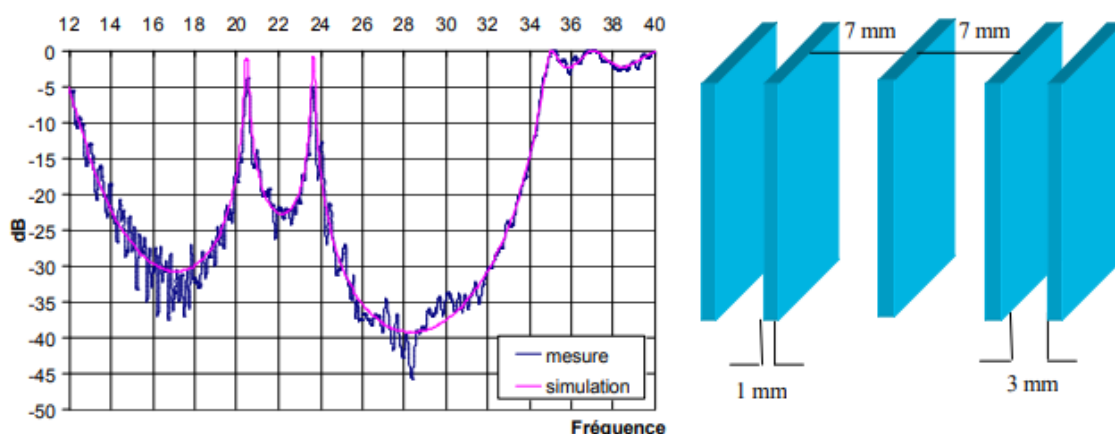


Figure II.18 rupture de la périodicité cas 3.

Ces différents exemples permettent de valider notre banc de mesures sur des éléments périodiques 1D et sur la caractérisation des pics de transmission provoqués par une rupture

soudaine de la périodicité. Nous présentons ici quelques exemples possibles, d'autres configurations ont été testées avec la même précision et la même qualité lors de la comparaison entre la simulation et la mesure.

II.7.2 Analyse électromagnétique des matériaux BIE

Afin de prédire le comportement des structures à bande interdite électromagnétique, dans un premier temps, nous pouvons les considérer comme des structures périodiques infinies. La propagation dans un milieu BIE pourra alors être décrite, et prédite avec quelques outils classiques d'analyse d'ondes : le diagramme de dispersion, la courbe iso fréquence et le diagramme de bande. Nous verrons dans cette section, à travers un cas particulier, les informations que l'on peut tirer de ces outils. Nous verrons également de façon succincte la façon dont ces outils d'analyses peuvent être calculés et obtenus numériquement, plus particulièrement avec le logiciel de résolution par éléments finis : ANSOFT-HFSS.

II. 8 LE DIAGRAMME DE DISPERSION

La figure II.19 représente le diagramme de dispersion unidimensionnels de la structure BIE

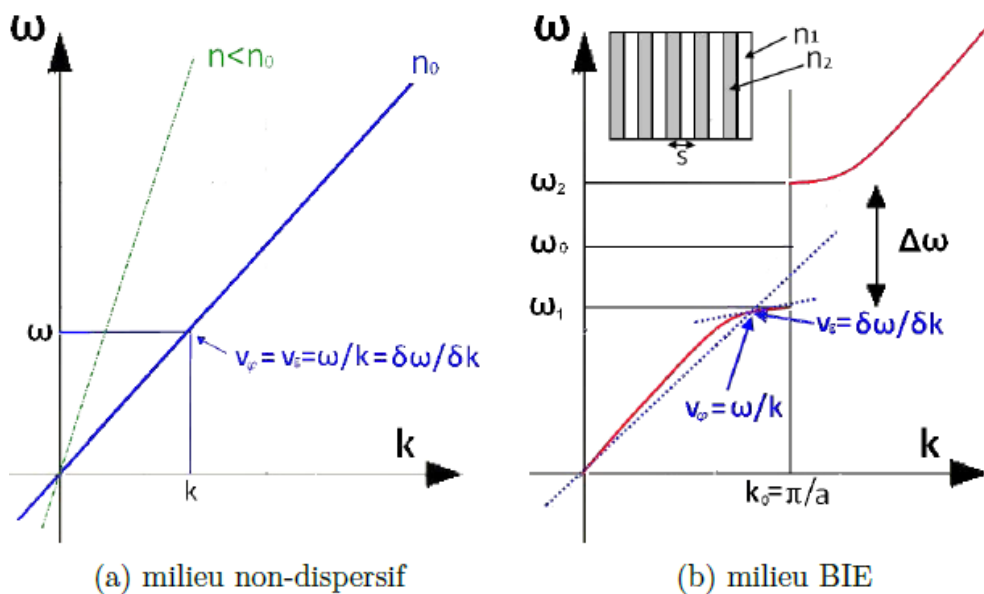


Figure II.19 Diagrammes de dispersion unidimensionnels : (a) milieu non-dispersif ; (b) milieu BIE dispersif

II.8.1 Les vitesses de l'onde

Lorsqu'il s'agit d'un milieu homogène et non-dispersif à une dimension, cela correspond à une équation de droite dont la pente est liée à l'indice du milieu n (la figure II.19 (a)) :

$$\omega = \frac{c}{n} |k| \quad (I.15)$$

Cette pente est associée aux vitesses de phase, v_φ , et de groupe, v_g , de l'onde dans le milieu définies par :

$$v_\varphi = \frac{\omega}{k} \text{ et } v_g = \frac{\partial \omega}{\partial k} \quad (I.16)$$

Chacune des vitesses est reliée par la relation classique avec l'indice du milieu n et la vitesse de la lumière dans le vide c :

$$|v_\varphi * v_g| = \left(\frac{c}{n}\right)^2 \quad (I.17)$$

Lorsque le milieu est non-dispersif, la vitesse de l'onde est indépendante de la fréquence et les deux vitesses sont identiques.

II.8.2 La bande interdite

Lorsqu'il s'agit d'un milieu BIE à une dimension, une discontinuité peut apparaître dans le diagramme de dispersion. Cette discontinuité correspond à une bande interdite comme le montre la figure II.19 (b) (où la largeur de bande est de $\Delta\omega$ centrée sur une pulsation ω_0). Le passage à la bande interdite se traduit par une variation progressive de la pente de la courbe en fonction du vecteur d'onde. Contrairement à un milieu non-dispersif, les vitesses de l'onde ne sont plus constantes en fonction de la fréquence.

II.9 Applications des cristaux photoniques

Les applications des cristaux photoniques sont multiples et touchent de nombreux domaines. La plupart de ces applications sont en domaine optique, informatique, microonde et télécommunications. Nous allons décrire quelques exemples d'applications principales des cristaux photoniques tels que :

- Cavités [39],
- guides d'ondes [40],
- filtres [41],
- capteurs [42],
- multiplexeurs/démultiplexeur [43],
- Les multiplexeurs/démultiplexeurs. Le but est d'insérer ou d'extraire des longueurs d'onde bien précises.
- Les fibres à CP sont des guides permettant le guidage d'ondes lumineuses.

II .10 Conclusion

Ce chapitre rappelle brièvement l'état de l'art sur les matériaux périodiques BIE aussi bien leur histoire que leurs propriétés. Ces dernières intéressent de nombreux chercheurs qui continuent de démontrer l'intérêt d'utiliser ces matériaux soit pour remplacer des systèmes déjà existants mais plus contraignants, soit pour apporter une innovation toute particulière dans un domaine précis. L'étude de ces matériaux reste un sujet très riche, tout comme le choix de leurs applications. Pour comprendre leur fonctionnement, elles requièrent de nombreuses notions.

-Les cristaux photoniques sont des structures dont l'indice diélectrique varie périodiquement selon une ou plusieurs directions de l'espace.

- Les matériaux BIE sont des structures périodiques à une, deux ou trois directions Ils ont la propriété de contrôler la propagation des ondes électromagnétiques, ou nous avons identifié leur caractérisation avec défaut

- Les applications des cristaux photoniques en touchent de nombreux domaines tandis que La plupart de ces applications sont en domaine optique, informatique, microonde et télécommunications

CHAPITRE III

Antenne Patch Double Bande Avec La Structure A
Bande Interdite Electromagnétique Bie Pour
L'application 5G

Chapitre III Antenne Patch Double Bande Avec La Structure A Bande Interdite Electromagnétique BIE Pour L'Application 5G

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous avons simulé une antenne patch imprimées pour l'application 5G cette simulation sera basée essentiellement sur la structure à bande interdite électromagnétique (BIE) et l'effet du substrat Photonic et le plan de masse pour cette application. Nous nous déterminons les caractéristiques et paramètres les plus importants des structures étudiées (le gain totale de l'antenne, l'adaptation et la bande passante).

Donc pour simuler un objet (une antenne imprimée, circuit, composant, carte imprimée...), nous devons certainement passer par deux étapes nécessaires, elles sont comme suivies :

- ✓ La modélisation : par des programmes ou des formule
- ✓ La simulation : par des logiciels convenables.

Dans ce chapitre, nous présenterons notre travail appliqué, qui est divisé en trois étapes de base :

- Dans un premier temps, nous concevrons une antenne 5G sans la structure BIE, fonctionnant à 30GHZ
- La deuxième étape conçoit une antenne 5G avec une structure BIE dans le plan de masse
- La troisième étape conçoit une antenne 5G avec une structure BIE dans le substrat

Ensuite, nous extrayons les résultats et comparons les performances de l'antenne dans les trois cas.

III .2 Analyse et conception de l'antenne

La simulation et la conception de l'antenne proposée ont été modélisées par le logiciel HFSS (Simulateur de La Structure Haute Fréquence). Les structures BIE utilisées étaient : plusieurs cylindres percés dans le substrat et avec la période $a=1.65 \text{ mm}$ [44], cercles gravés dans le plan de la masse sont dispos (3*4) mm avec un rayon de $r= 0,2 \text{ mm}$ et l'expression approximative du la structure est donnée par l'équation suivante.

$$f_c = \frac{c}{2 * a \sqrt{\epsilon_{reff}}}$$

Étaient f_c : la fréquence de résonance

c : la vitesse de la lumière dans le vide

a : la période

ϵ_{reff} : Le constant diélectrique effectif.

L'antenne la plus simple à étudier est le patch rectangulaire (figure 1) le substrat utilisé était RO3006, de dimensions (7*7) mm constante diélectrique $\epsilon_{reff}= 2,2$, épaisseur de substrat $h = 0,13$ mm et tangente de perte $d = 0,009$.

La première étape est le choix du substrat et du conducteur :

- ✓ pour le substrat : sa permittivité relative (ϵ_r), sa tangente de perte $\tan(\delta)$ et sa épaisseur (h)
- ✓ Pour le conducteur : sa conductivité (σ) et son épaisseur(t) .

-La conception consiste alors à déterminer :

- ✓ la longueur et la largeur du patch (L_p et w_p)
- ✓ La longueur et la largeur du substrat(L_s et w_s)
- ✓ Le type de l'alimentation (coaxiale, micro strip, fente).

L'antenne travaillent à la fréquence 30 GHz, les dimensions de l'antenne sont présentées sur la (Figure III.1)

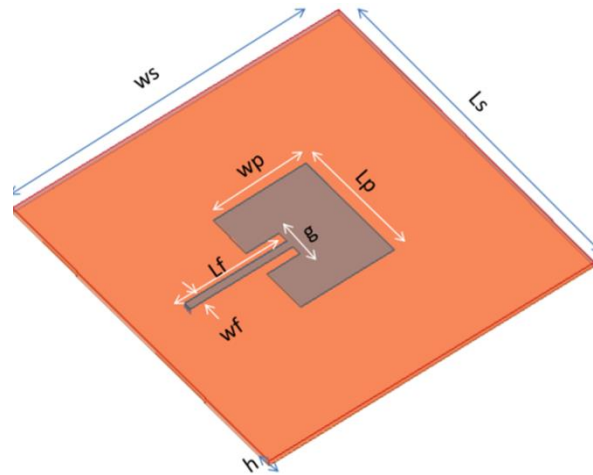


Figure III.1 : antenne avec ses dimensions

Calcul des dimensions

✓ La largeur de patch

$$w_p = \frac{c}{2f} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = 2 \text{ mm}$$

Où :

c = vitesse de la lumière $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$

f = fréquence de résonance $f = 28 \text{ GHz}$

ϵ_r = constante diélectrique du substrat $\epsilon_r = 2.2$

✓ La longueur de patch

$$L_p = L_{eff} - 2\Delta L = 2.4 \text{ mm}$$

❖ où L_{eff} = longueur effective et elle est donnée par :

$$L_{eff} = \frac{c}{2f\sqrt{\epsilon_{reff}}} = 4.01 \text{ mm}$$

- ❖ L'extension normalisée de la longueur est donnée par :

$$\Delta L = 0.412 h \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{w_f}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{w_f}{h} + 0.8 \right)} = 1.01 mm$$

- ❖ où, ϵ_{reff} = constante diélectrique effective et son équation est donnée ci-dessous :

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{w_f} \right]^{-\frac{1}{2}} = 1.78 mm$$

- ❖ Où «h» est l'épaisseur de substrat donné par :

$$h = \frac{0.0606 \lambda}{\sqrt{\epsilon_{reff}}} = 0.13 mm$$

- ❖ la longueur de la ligne d'alimentation est calculée à l'aide de l'équation ci-dessous :

$$L_f = \frac{\lambda_g}{4} = 2.2 mm$$

- ❖ Où (λ_g) est la longueur d'onde guidée et elle est donnée par :

$$\lambda_g = \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_{reff}}} = 8.03 mm$$

- ❖ La longueur (L_s) et la largeur (W_s) du substrat et plan de mass sont calculées à l'aide des formules ci-dessous [45]

$$L_s = L_p + 6h = 7 mm$$

$$W_s = w_p + 6h = 7 mm$$

Les dimensions de l'antenne sont résumées dans le tableau III.1

LP	Longueur de patch	2.4mm
WP	Largeur de patch	2mm
LS	Longueur de substrat	7mm
WS	Largeur de substrat	7mm
LF	longueur de ligne d'alimentation	2.2mm
WF	Largeur de ligne d'alimentation	0.168mm
g	Le Gape	0.658mm
h	épaisseur du substrat	0.13mm

Tableau III.1 : les dimensions de l'antenne patch rectangulaire en mm

III 3 Modélisation de l'antenne

Dans ce travail, la majorité des simulations sont réalisées à base du logiciel HFSS (High Frequency Structure Simulator). Il s'agit d'un logiciel de simulation électromagnétique qui étudie des structures complexes en trois dimensions en simulant ces structures et en obtenant des visualisations claires des résultats en 2D et en 3D. Ici nous présentons que la conception de l'antenne patch pour la5G plus difficiles à mettre en œuvre .On peut dessiner des objets 3D en utilisant les commandes du HFSS, pour établir un modèle il faut aller à « Draw », puis on choisit un modèle parmi les modèles proposés (rectangle, cercle, cube...etc).

Les conditions aux limite de la structure de l'antenne sont représentent comme suite :

- **Perfect E** : appelé aussi conducteur parfait ce type de limite force le vecteur champ électrique à être perpendiculaire à la surface du conducteur.
- **Perfect H** : conducteur magnétique parfait, il est tangentiel à la surface du conducteur.
- **Finite conductivity**: on attribue une conductivité finie au matériau conducteur ainsi que sa tangente de pertes (imparfait)
- **Radiation** : limites de rayonnement, aussi appelée frontières absorbantes. Elle nous permet de modéliser une surface électriquement ouverte, les ondes peuvent alors sortir de la structure et s'arrêtés vers la limite de rayonnement où elles sont absorbées. Elle évite ainsi les

réflexions qui pourraient perturber le fonctionnement du système. Et pour que l'antenne rayonne, il faut exciter la structure.

La figure III.2 représente la structure de l'antenne sous HFSS

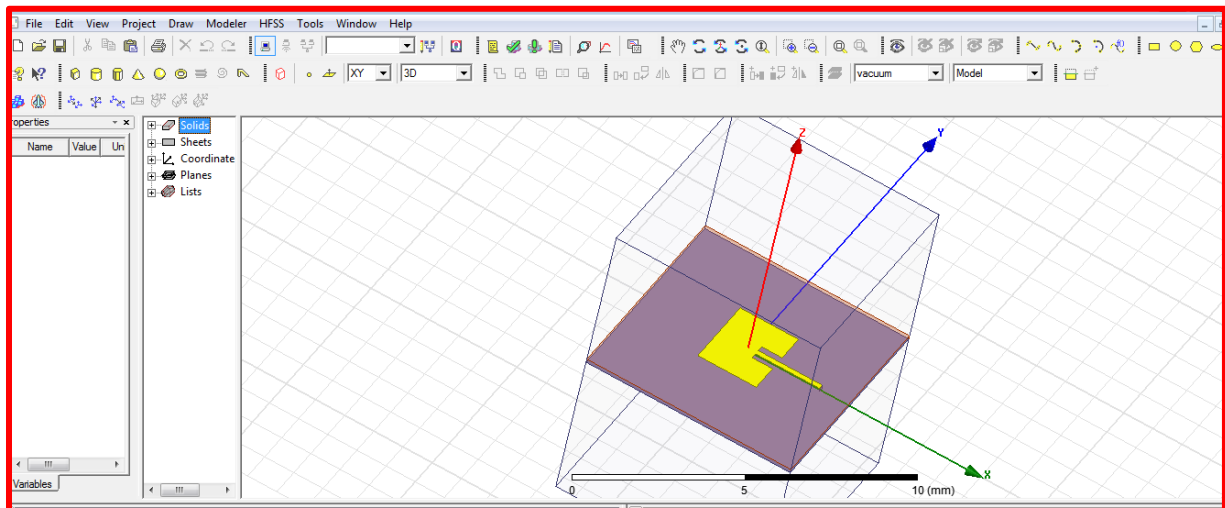
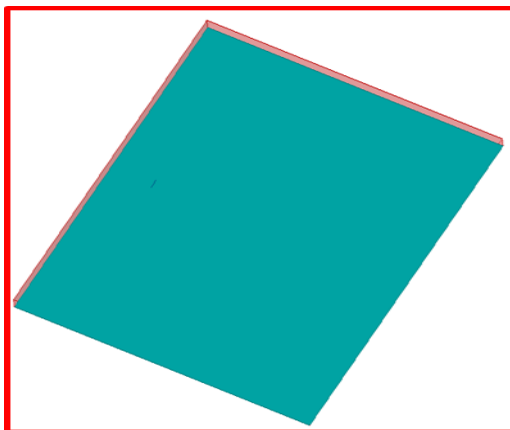


Figure III.2 La structure de l'antenne en HFSS

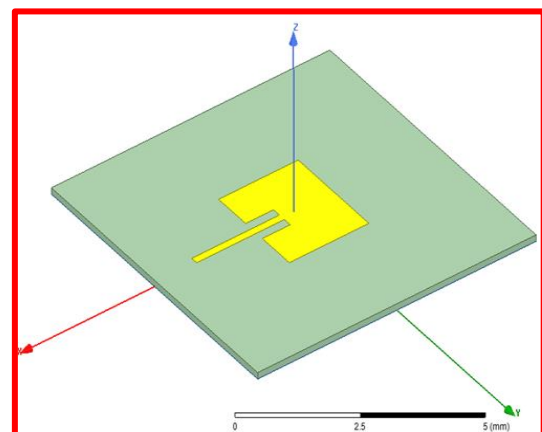
III.4 Antenne sans la structure BIE

Dans cette partie nous avons simulé une antenne 5G sans la structure BIE

Ensuite, nous avons extrait les résultats.



(a)



(b)

Figure III.3 la structure de l'antenne sans BIE, **(a)** la face bas de l'antenne et **(b)** la face haut de l'antenne

Les résultats de simulation de l'antenne sans la structure BIE sont

L'adaptation de l'antenne

La (Figure III.4) présente l'adaptation de l'antenne S_{11} en fonction de la fréquence dans la bande 30 et 56 GHz. Nous remarquons que l'adaptation de l'antenne dans la fréquence 30GHz est -17.50dB et $S_{11} = -8.68$ dB autour de la fréquence 56 GHz. et on remarque qu'une mauvais adaptation

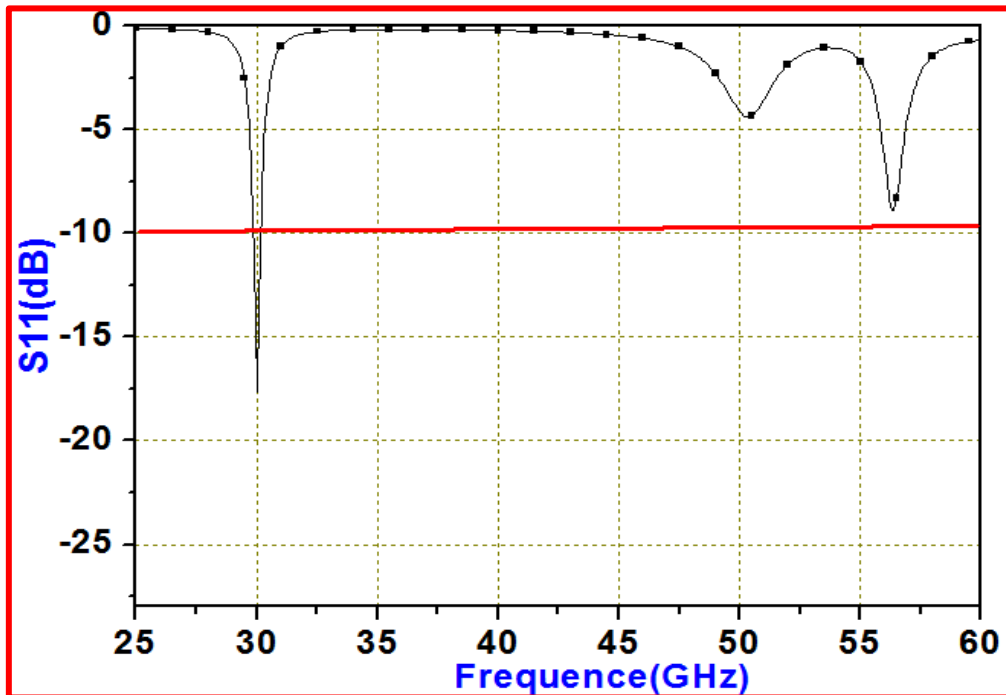


Figure III.4 l'adaptation de l'antenne

Le rapport d'onde stationnaire(VSWR)

Le taux d'onde stationnaire, nous donne l'appréciation de l'adaptation. C'est un Indicateur du bon fonctionnement du système d'alimentation d'une antenne. Et on remarque que sa valeur est 2.46 dB dans la fréquence 30GHz et 6.52 dB a la fréquence 56 GHz

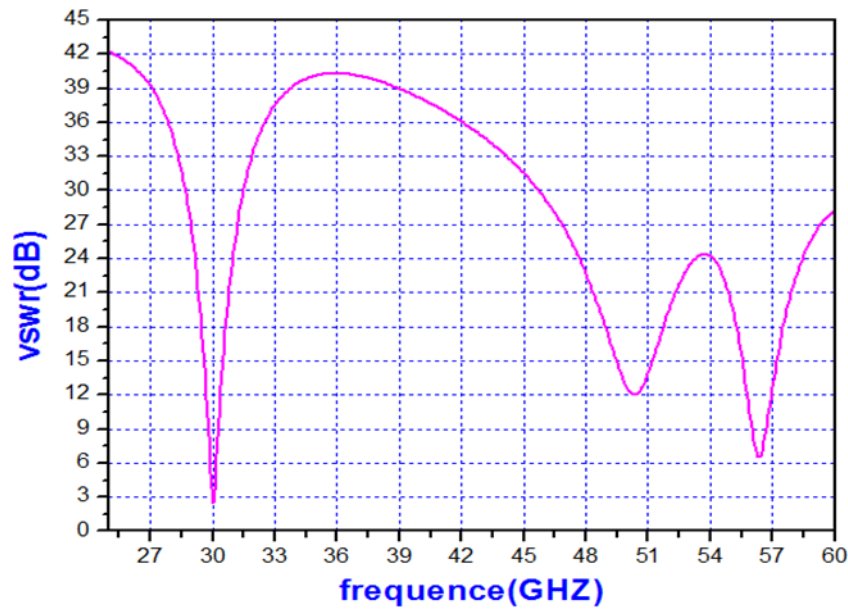


Figure III.5 VSWR de l'antenne sans BIE

✚ Diagramme de rayonnement en 2D

Dans la (Figure III.6) le diagramme de rayonnement de notre antenne est représenté dans les deux plans horizontaux plan E ($\Phi = 0^\circ$) et verticaux plan H ($\Phi = 90^\circ$) dans la fréquence 30GHz.

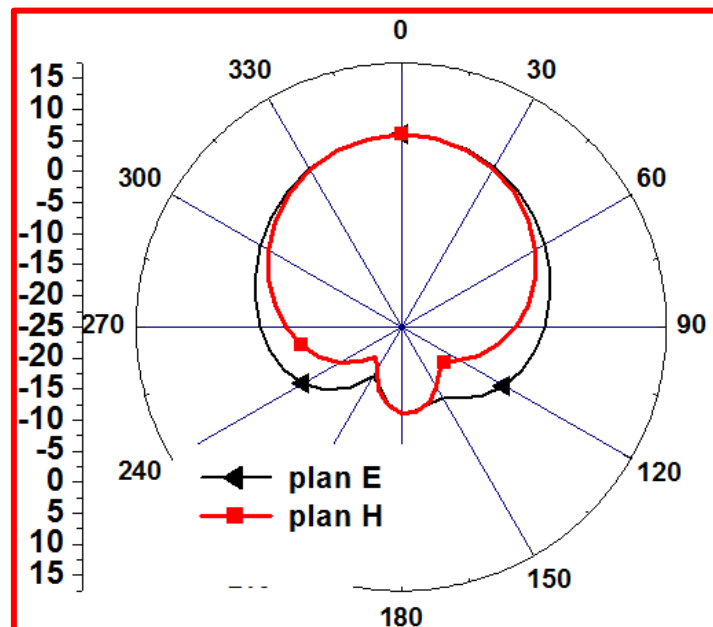


Figure III.6 Diagramme de rayonnement de l'antenne dans la fréquence 30GHz

Le gain

La Figure III.7 représente le gain en 3D dans la fréquence 30GHz.

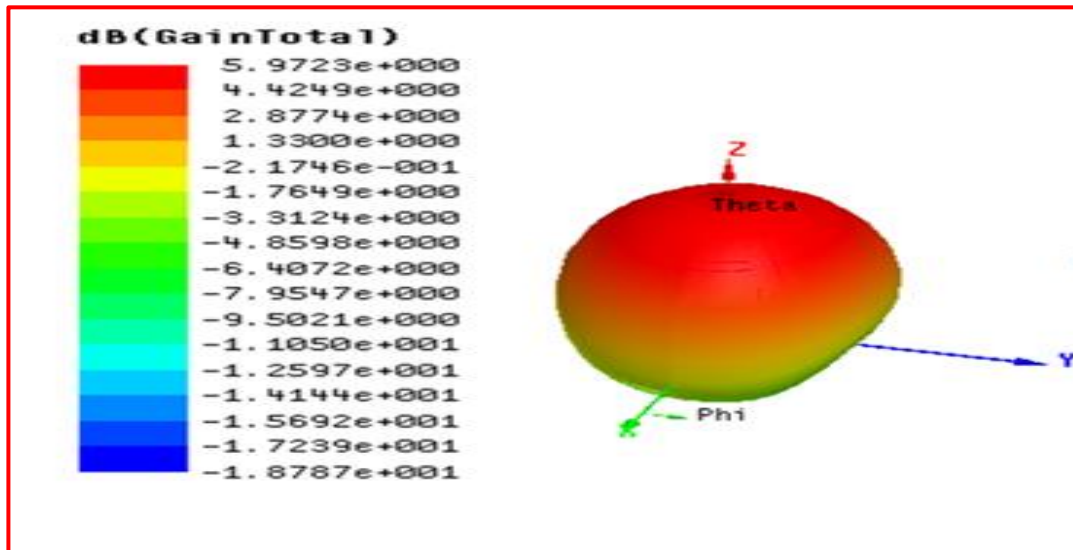


Figure III.7 Diagramme de rayonnement en 3D

Distributions de courant de surface sur le patch rayonnant

Dans la (Figure III.8), nous voyons la distribution de courant sur le patch rayonnant. La structure est attachée avec une clé de dégradation des couleurs pour définir la concentration de courant maximale fournie à l'antenne qui est présentée en rouge (1.38×10^3 A/m).

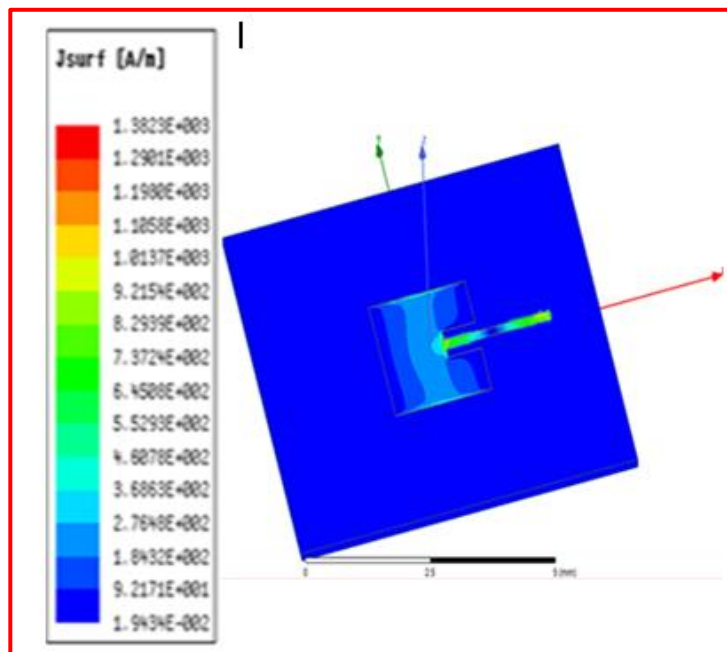


Figure III.8 Distributions de courant de surface de l'antenne seule

Distributions de champ électromagnétique

La distribution du champ électromagnétique E et H sur la ligne d'alimentation et le patch est représentée dans la (Figure III.09).Où nous remarquons que la valeur du champ (H) est($5 \cdot 10^2$ A/m) et la valeur de champ (E) est($5.40 \cdot 10^5$ v/m).

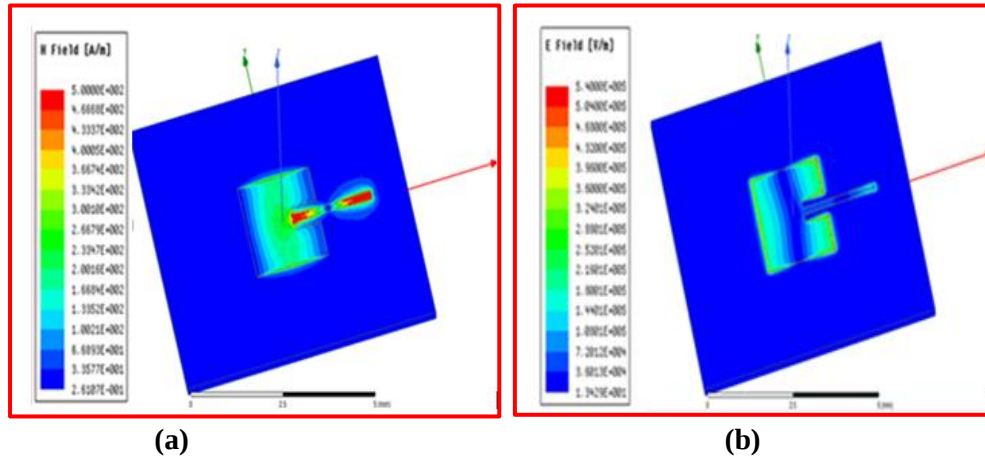


Figure III.9 Distribution de champ electromagnétique : (a) champ H, (b) champ E.

Dans cette partie, nous résumerons tous les résultats obtenus précédemment sur antenne sans structure BIE dans le tableau suivant :

Tableau III.2 les résultats de l'antenne sans la structure BIE.

	La Fréquence (GHZ)	L'adaptation (S_{11}) (dB)	Le VSWR (dB)	Le Gain (dB)	HPBW (dB)	
					Phi=0	Phi=90
Antenne sans la structure BIE	30	-17.01	2.82	5.97	Phi=0	93.31°
					Phi=90	80.02°

III 4.1 Antenne avec la structure BIE dans le plan de masse

Dans cette partie, nous avons ajouté la structure de BIE à l'antenne qui a été installée au niveau du plan de masse puis extrait les résultats.

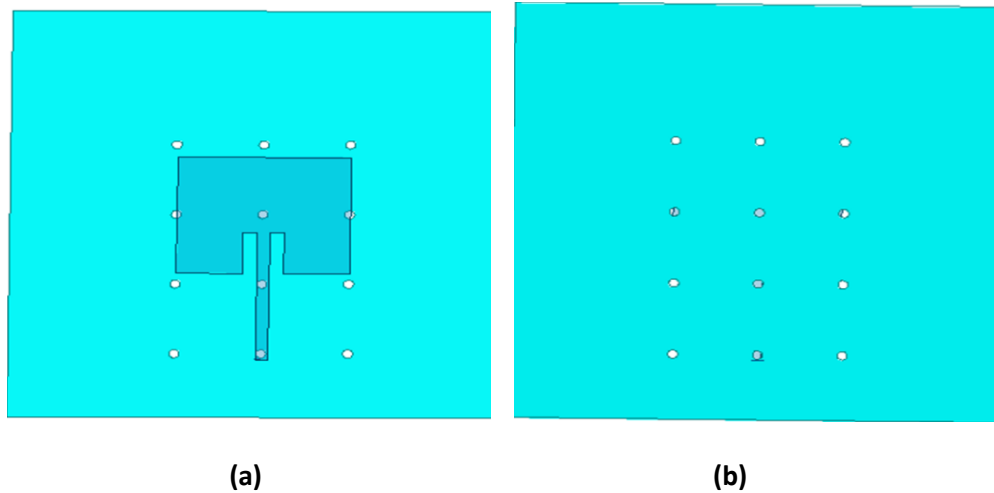


Figure III.10 la structure de l'antenne avec BIE dans le plan de masse ; (a) la face haut de l'antenne, (b) la face bas de l'antenne

III 4.2 Résultat de simulation

L'adaptation de l'antenne

La (Figure III.11) présente la variation d'adaptation S_{11} en fonction de la fréquence de l'antenne avec la structure BIE sur le plan de masse dans deux bande de fréquence 30 GHz et 56 GHz. Où à la fréquence est 30 GHZ l'adaptation de l'antenne est -25.44 dB et dans la fréquence 56 GHz L'adaptation est -17.71 dB

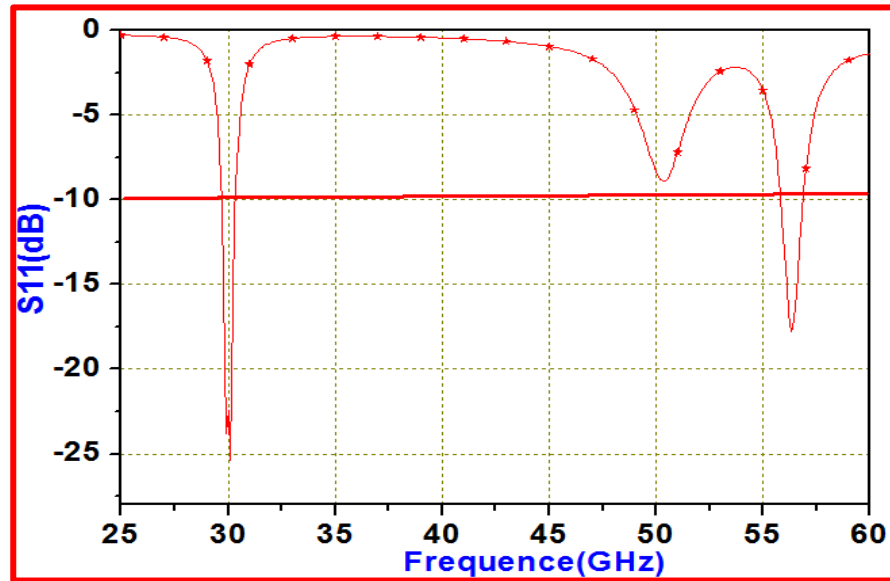


Figure III.11 l'adaptation de l'antenne

✚ Le rapport d'onde stationnaire(VSWR) :

Cette figure représente la variation du rapport onde stationnaire en fonction de la fréquence

Dans la bande 30 et 56 GHz, On remarque qu'il a deux valeurs : 2.53dB a la fréquence 30GHZ et 6.43 dB a la fréquence 56 GHZ

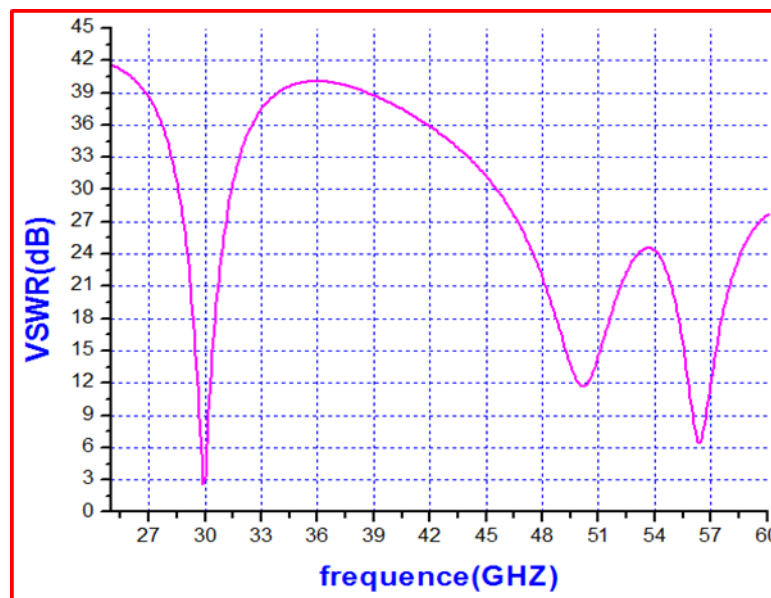


Figure III.12 résultat de VSWR (le rapport d'onde stationnaire)

✚ Diagramme de rayonnement en2D

Dans la (**Figure III.13**) le diagramme de rayonnement de notre antenne avec la structure BIE dans le plan de masse est représenté dans les plans horizontaux plan E ($\Phi = 0^\circ$) et verticaux plan H ($\Phi = 90^\circ$) dans deux fréquences 30 et 56 GHz.

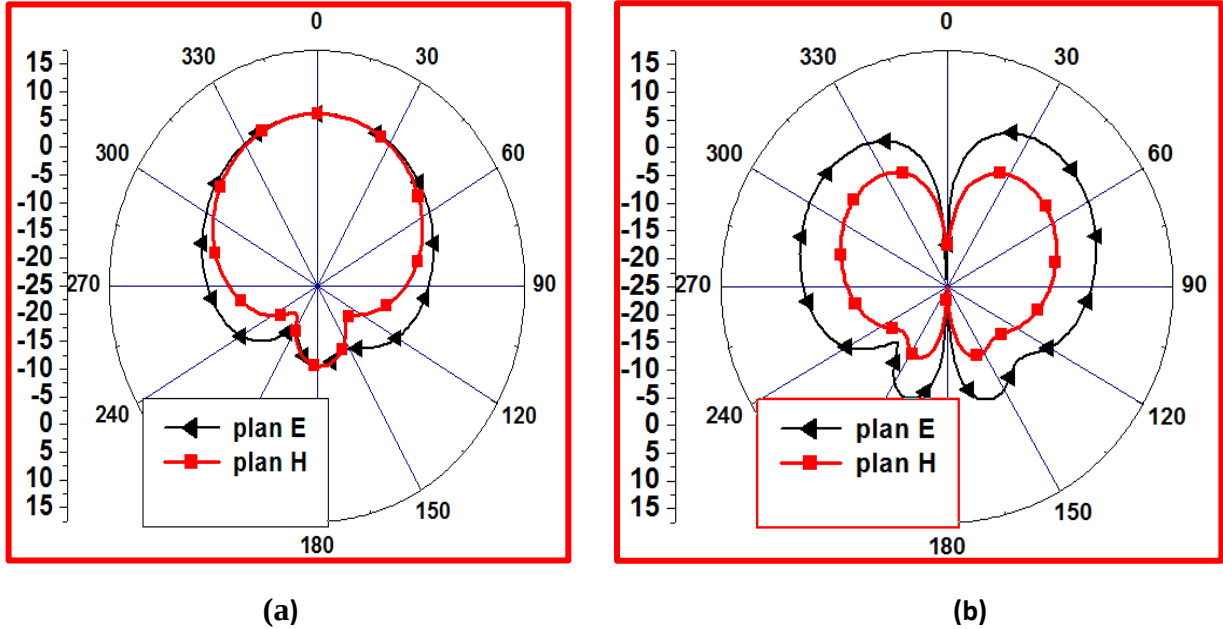


Figure III.13 Diagramme de rayonnement de l'antenne avec BIE sur le plan de masse dans les plans E et H, $\phi = 0^\circ$, $\phi = 90^\circ$. : (a) : dans la fréquence 30 GHz , (b) : dans la fréquence 56 GHz

Le Gain

La figure **III.14** représente le gain en 3D de l'antenne avec la structure BIE dans le plan de masse dans deux bandes de fréquence 30 et 56 GHz

Dans la fréquence 30GHz le gain maximal est 6.57 dB et dans la fréquence 56 GHz le gain maximal est 6.47 dB

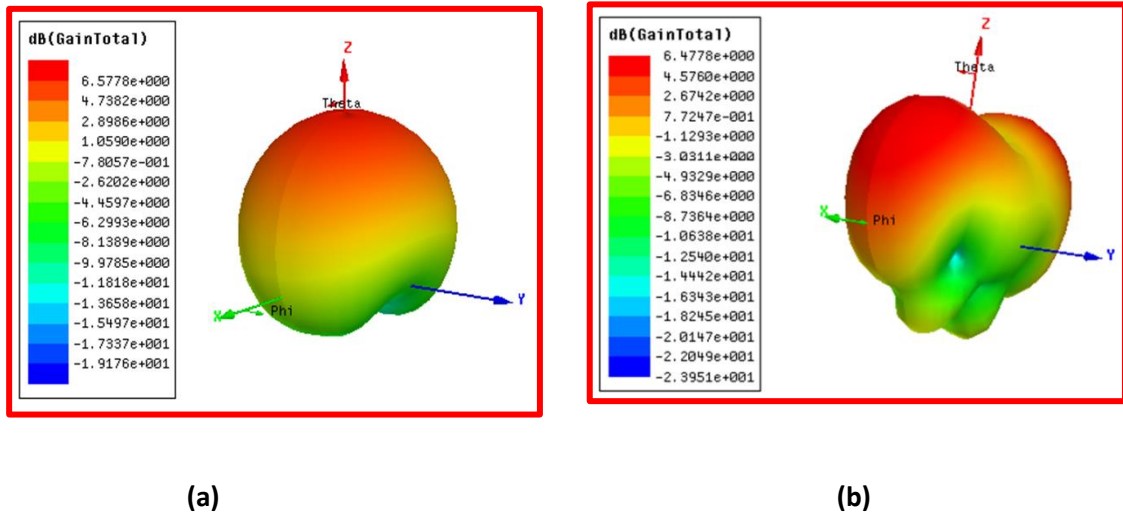


Figure III.14 le gain en 3D de l'antenne avec la structure BIE dans le plan de masse a deux fréquences (a) 30 et (b) 56 GHz

Distributions de courant de surface sur le patch rayonnant

Cette figure représente la distribution de courant de surface sur le patch rayonnant de l'antenne avec la structure BIE sur le plan de masse dans deux fréquence (a) : 30GHZ, (b) :56 GHZ et sa valeur maximale dans les deux fréquences est 2.16×10^3 A/m.

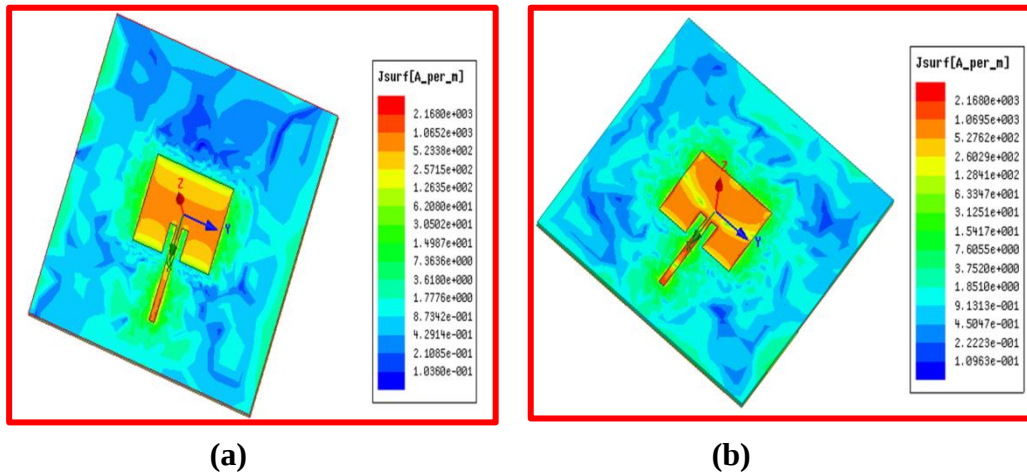


Figure III.15 Distributions de courant de surface sur le patch rayonnant de l'antenne avec BIE sur le plan de masse a deux fréquences (a) :30GHZ, (b) : 56 GHZ

✚ Distributions de champ électromagnétique

la (Figure III.16) représente La distribution du champ électromagnétique sur la ligne d'alimentation et le patch sur la fréquence 30GHz .

Où nous remarquons que la valeur du champ (H) est($5 \cdot 10^2$ A/m) et la valeur de champ (E) est($5.40 \cdot 10^5$ v/m)

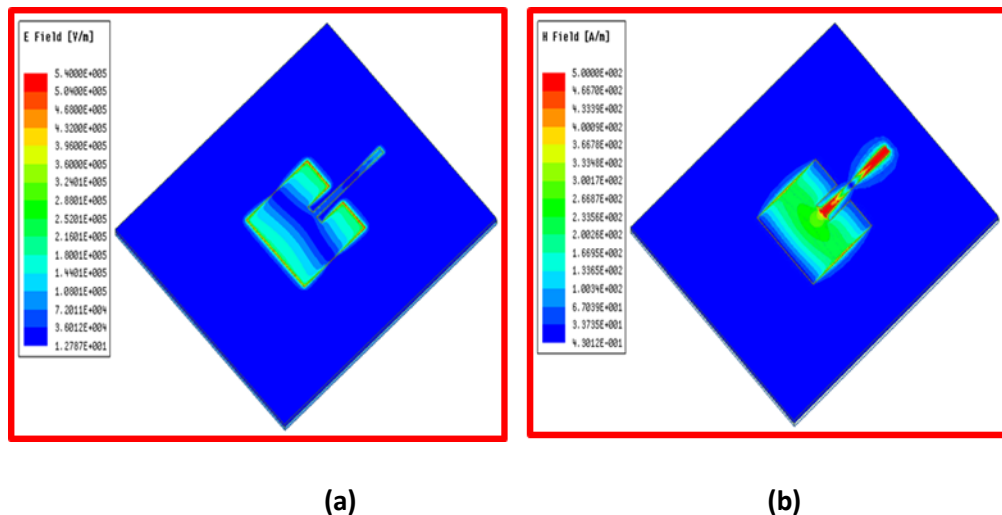


Figure III.16 Distributions de champ électromagnétique a la fréquence 30GHz : (a) : champ E, (b) : champ H de l'antenne avec BIE sur le plan de masse

CHAPITRE III Antenne patch double bande avec la structure à bande interdite électromagnétique BIE pour l'application 5G

- La Figure III.17 représente la distribution du champ électromagnétique sur la ligne d'alimentation et le patch sur la fréquence 56 GHz tandis que la valeur de champ E est $3.13 \times 10^5 \text{ V/m}$ et la valeur de champ H est $4.73 \times 10^3 \text{ A/m}$.

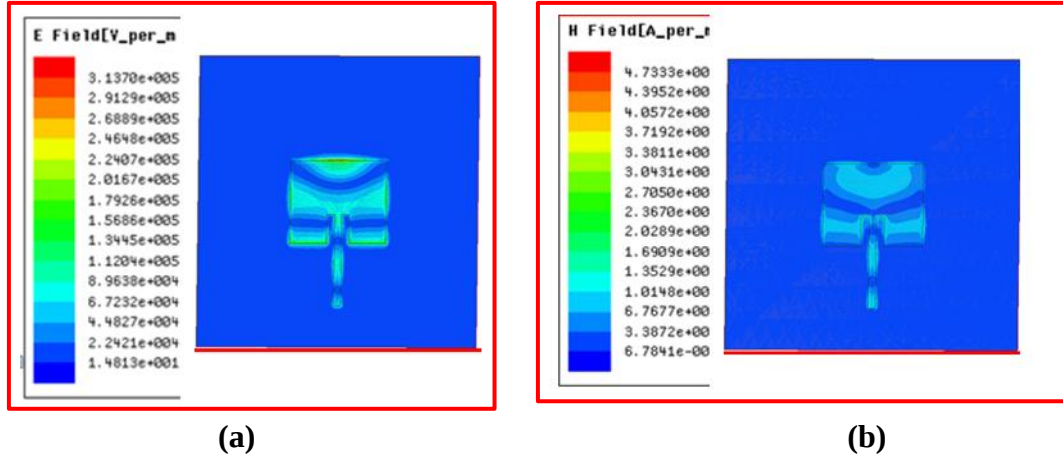


Figure III.17 Distributions de champ électromagnétique a la fréquence 56 GHz (a) champ E, (b) champ H de l'antenne avec BIE sur le plan de masse

Nous résumerons tous les résultats obtenus précédemment sur antenne avec la structure BIE dans le plan de masse sur le tableau suivant :

Tableau III.3 : les résultats de l'antenne avec la structure BIE dans le plan de masse

	La Fréquence (GHz)	L'adaptation(s_{11}) (dB)	Le VSWR (dB)	Le Gain (dB)	HPBW (dB)	
Antenne avec la structure BIE sur le plan de masse	F1=29.9	-25.44	2.53	6.57	Phi=0	Phi=90
					90.62°	80.85°
	F2=56.4	-17.71	6.43	6.47	Phi=0	Phi90
					98.82° 109.09°	97.99° 89.58°

III 4.3 Antenne avec la structure BIE dans le substrat

Dans cette partie, nous avons ajouté la structure de BIE à l'antenne qui a été installée au niveau du substrat puis extrait les résultats

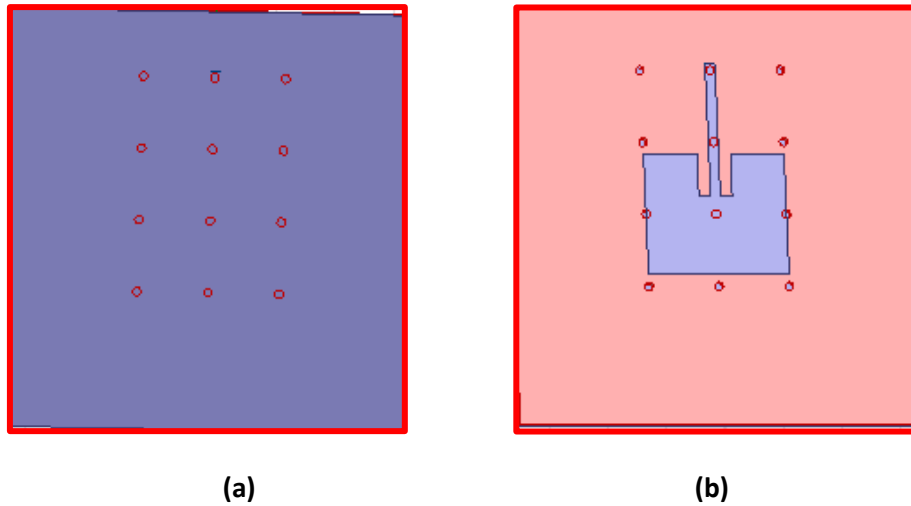


Figure III.18 la structure d'antenne avec BIE dans le substrat (a) la face bas de l'antenne (b) la face haut de l'antenne

✚ L'adaptation de l'antenne

la Figure III.19 représente l'adaptation de l'antenne avec la structure BIE dans le substrat dans la bande de fréquence 30 et 56 GHz, on remarque dans la fréquence 30GHz l'adaptation est -25.37 dB et dans la fréquence 56 GHz l'adaptation est -12.71 dB.

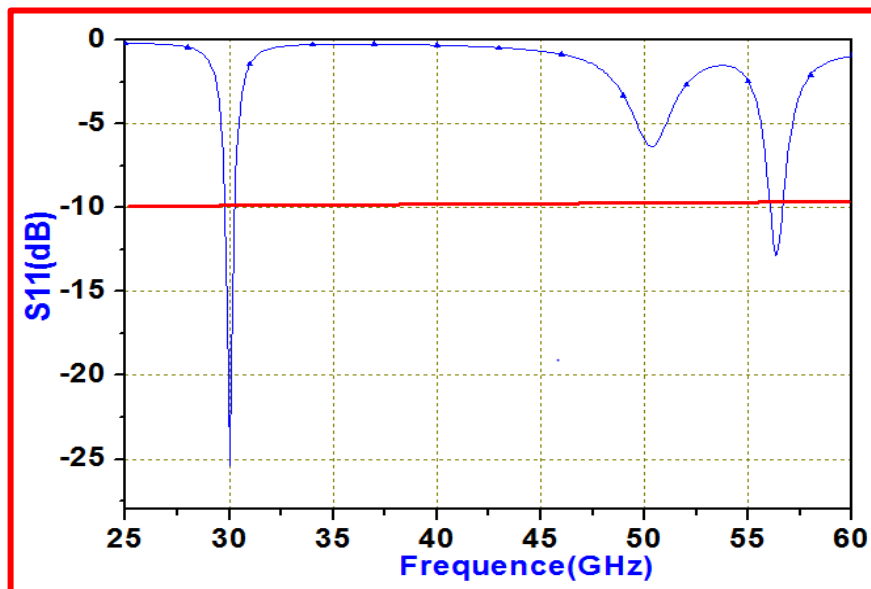


Figure III.19 l'adaptation de l'antenne

✚ Le rapport d'onde stationnaire(VSWR)

la Figure III.20 représente le rapport d'onde stationnaire de l'antenne avec la structure BIE dans le substrat et sa valeur dans la fréquence 30GHz est 1.93 dB et dans la fréquence 56 GHz le VSWR est 7.89 dB.

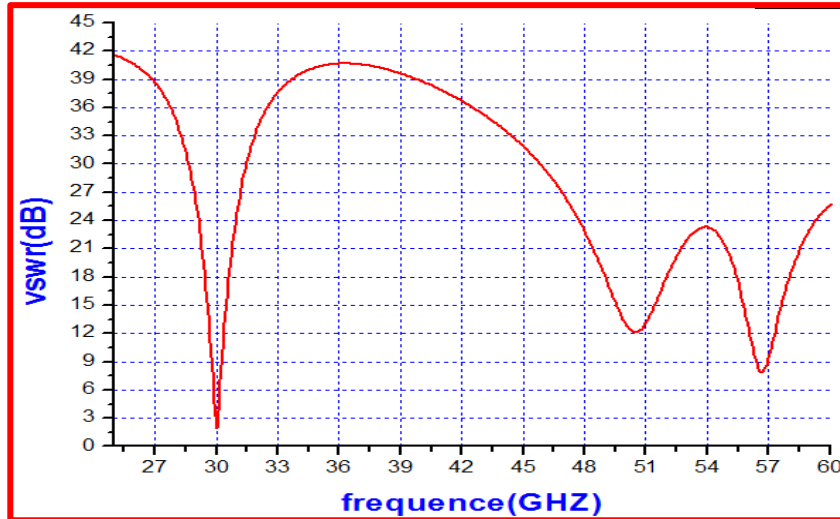
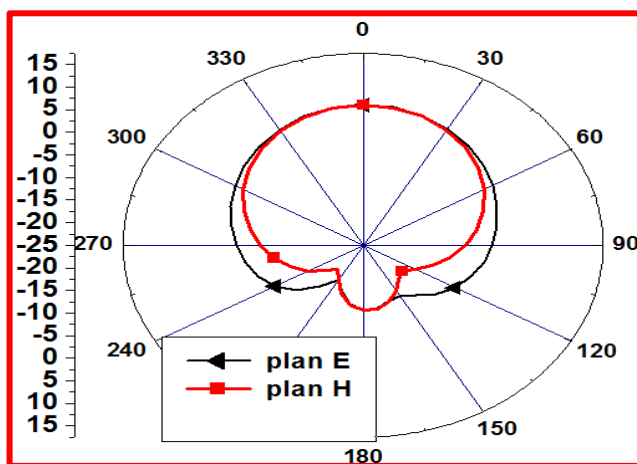


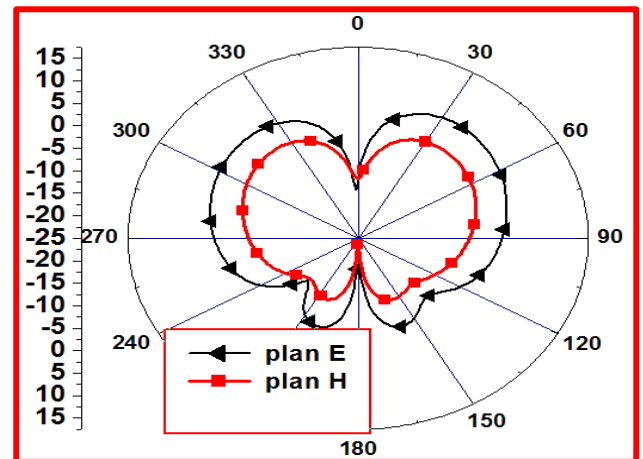
Figure III.20 le VSWR de l'antenne

Diagramme de rayonnement en 2D

Figure III.21 représente le diagramme de rayonnement de l'antenne avec la structure BIE Sur le substrat dans les plans horizontaux plan E ($\Phi = 0^\circ$) et verticaux plan H ($\Phi = 90^\circ$) dans deux bande de fréquence 30 et 56 GHz.



(a)



(b)

Figure III.21 diagramme de rayonnement de l'antenne (a) : la fréquence 30GHz ,(b) : la fréquence 56 GHz

Le gain en 3D

la Figure III.23 représente le gain en 3D de l'antenne avec la structure BIE sur le substrat dans deux bande de fréquence 30 et 56 GHz , la valeur maximale de gain a la fréquence 30GHZ est 6.08dB et dans la fréquence 56 GHz sa valeur est 6.25 dB

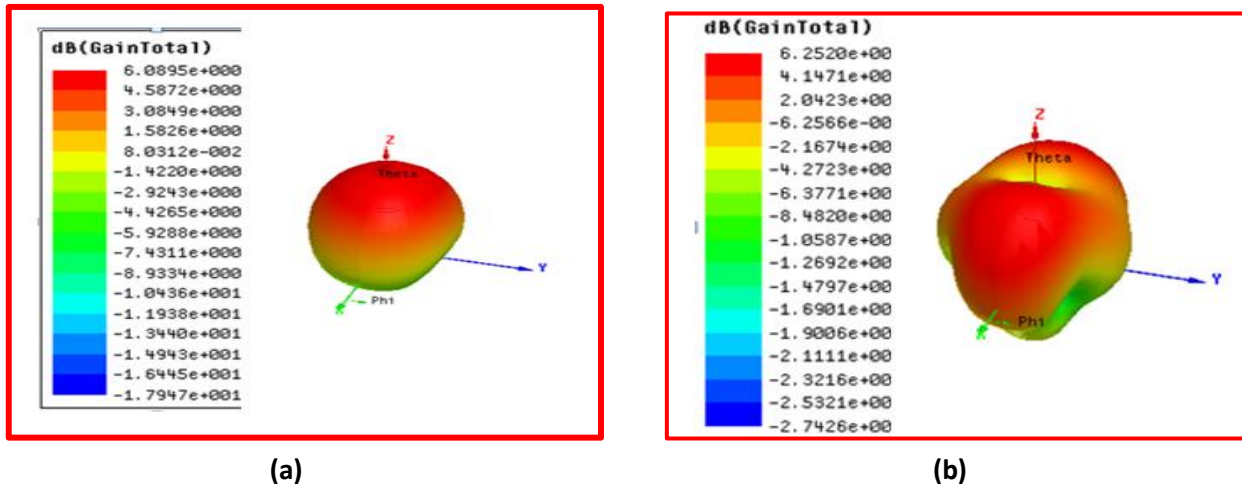


Figure III.23 le gain de l'antenne avec BIE dans le substrat dans deux fréquence (a) :30GHZ (b) : 56 GHZ.

Distributions de courant de surface sur le patch rayonnant :

La **Figure III.23** représente la distribution de courant de surface sur le patch rayonnant de l'antenne avec la structure BIE sur le substrat dans deux fréquence [30-60GHz] tandis que la valeur maximale de courant dans la fréquence 30GHZ est 1.54×10^3 A/m et sa valeur dans la fréquence 60GHZ est 1.08×10^4 A/m

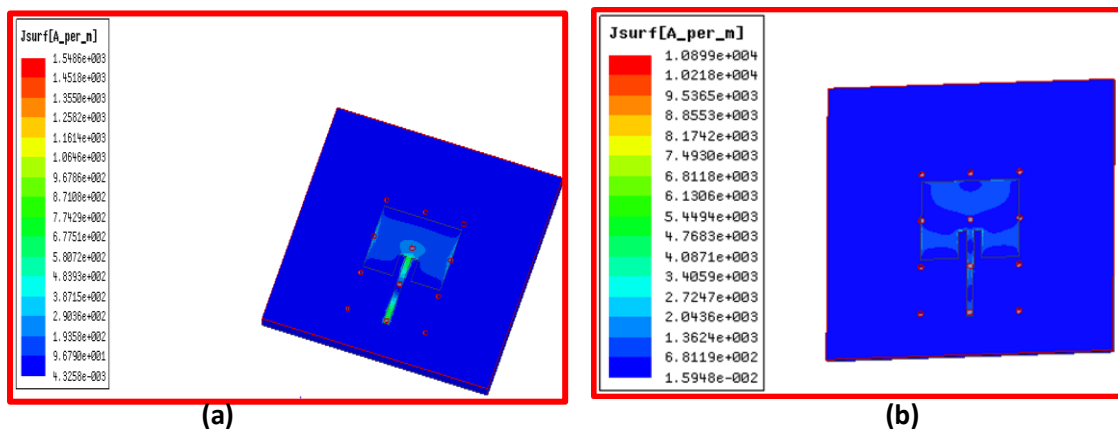
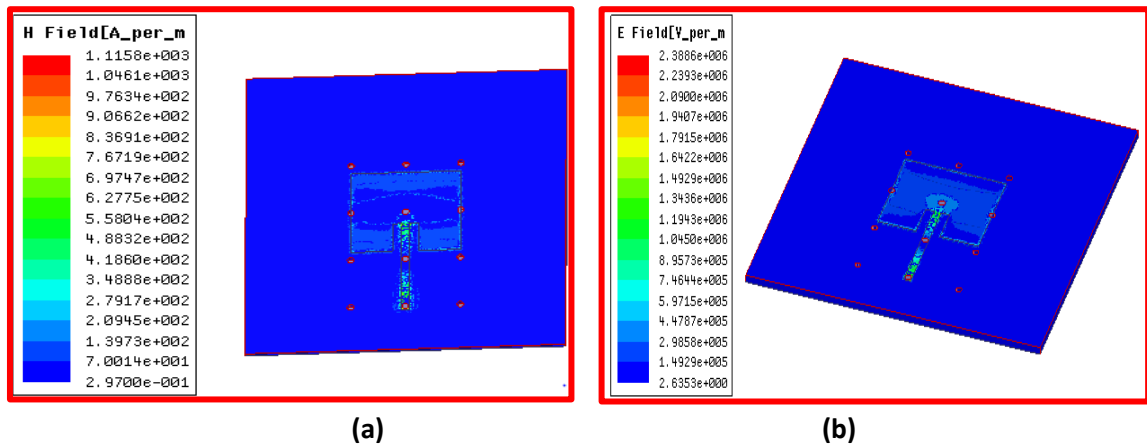


Figure III.23 Distributions de courant de surface sur le patch rayonnant de l'antenne avec BIE sur le substrat a deux fréquence (a) :30GHZ,(b) : 56 GHZ

✚ Distributions de champ électromagnétique

la **Figure III.24** représente La distribution du champ électromagnétique sur la ligne d'alimentation et le patch sur la fréquence[30GHZ].

Où nous remarquons que la valeur du champ (H) est ($1.11 \cdot 10^3$ A/m) et la valeur de champ (E) est($2.38 \cdot 10^6$ v/m)



.Figure III.24 : Distributions de champ électromagnétique a la fréquence 30GHZ : (a) : champ H, (b) : champ E de l'antenne avec BIE sur le substrat.

-la Figure III.25 représente La distribution du champ électromagnétique sur la ligne d'alimentation et le patch sur la fréquence[60GHZ].

Où nous remarquons que la valeur du champ (E) est($3.07 \cdot 10^5$ v/m) et la valeur de champ (H) est($9.44 \cdot 10^3$ A/m)

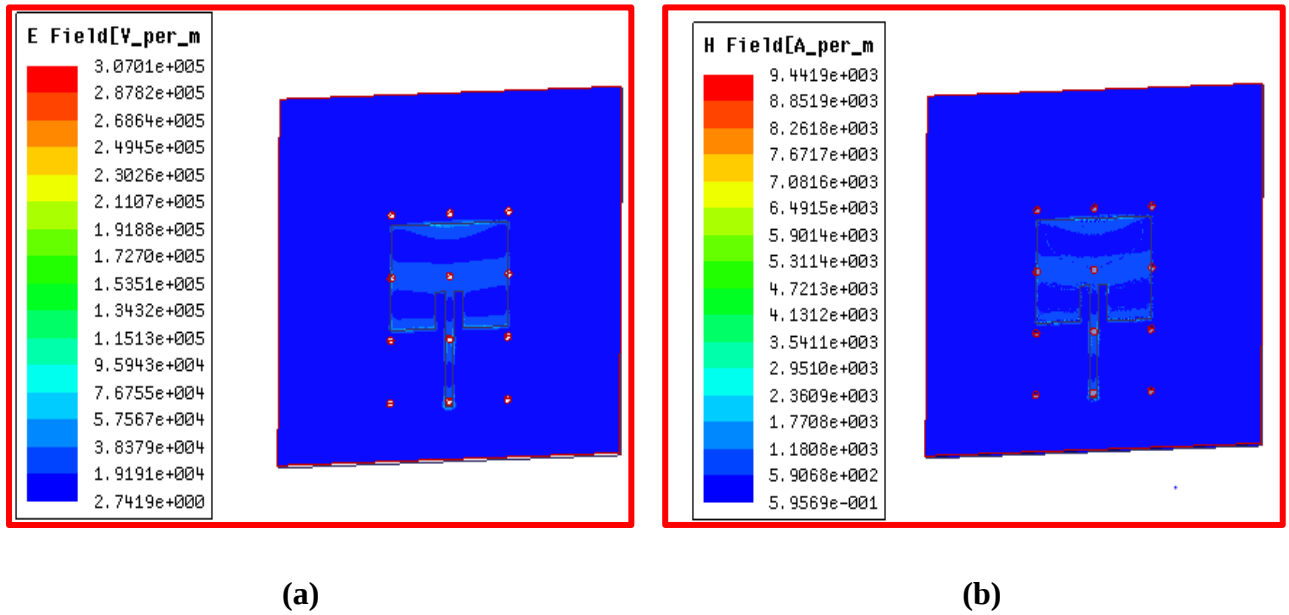


Figure III.25 Distributions de champ électromagnétique a la fréquence 56GHZ : **(a)** : champ E, **(b)** : champ H de l'antenne avec BIE sur le substrat

Tableau III.4 les résultats de l'antenne avec la structure BIE dans le substrat

	La Fréquence (GHZ)	L'adaptation (s11) (dB)	Le VSWR (dB)	Le Gain (dB)	HPBW (dB)	
Antenne avec la structure BIE sur le substrat	F1=30	-25.37	1.93	6.08	Phi=0	Phi=90
					95.08°	80.85°
	F2=56	-12.71	7.89	6.25	Phi=0	Phi90
					94.9°	93.4°

Nous résumons tous les résultats obtenus précédemment sur antenne avec la structure BIE dans le substrat sur le tableau suivant

III.5 Comparaison des résultats

Tableau III 5. L'adaptation (s_{11}), le VSWR, le Gain, le HPBW des antennes simulées pour 30 GHz

	La Fréquence (GHZ)	L'adaptation (s_{11}) (dB)	Le VSWR (dB)	Le Gain (dB)	HPBW (dB)	
Antenne sans BIE	30	-17.50	2.46	5.91	Phi=0	Phi=90
					93.31°	80.02°
Antenne avec BIE dans le plan de masse	30	-25.44	2.53	6.57	Phi=0	Phi=90
					90.62°	80.85°
Antenne avec BIE dans le substrat	30	-25.37	1.93	6.36	Phi=0	Phi=90
					95.08°	80.85°

Tableau III 6. L'adaptation (s_{11}), le VSWR, le Gain, le HPBW des antennes simulées pour 56GHz.

Antenne	La Fréquence (GHZ)	L'adaptation (s_{11}) (dB)	Le VSWR (dB)	Le Gain (dB)	HPBW (dB)	
Antenne avec BIE dans le plan de masse	56	-17.71	6.43	6.47	Phi=0	Phi=90
					98.82°	97.99°
Antenne avec BIE dans le substrat	56	-12.71	7.89	6.36	Phi=0	Phi=90
					94.9°	93.4°

A travers les résultats présentés dans le **tableau III.5** et **tableau III.6**, on remarque que l'antenne avec la structure BIE au plan de masse à la fréquence de 30GHz a le meilleur gain 6.57 dB et bon adaptation s_{11} -25.44dB alors qu'à la fréquence 60GHz possède aussi le meilleur gain 6.47dB et bon adaptation de -17.71dB.

Les diagrammes dans les plan E et H

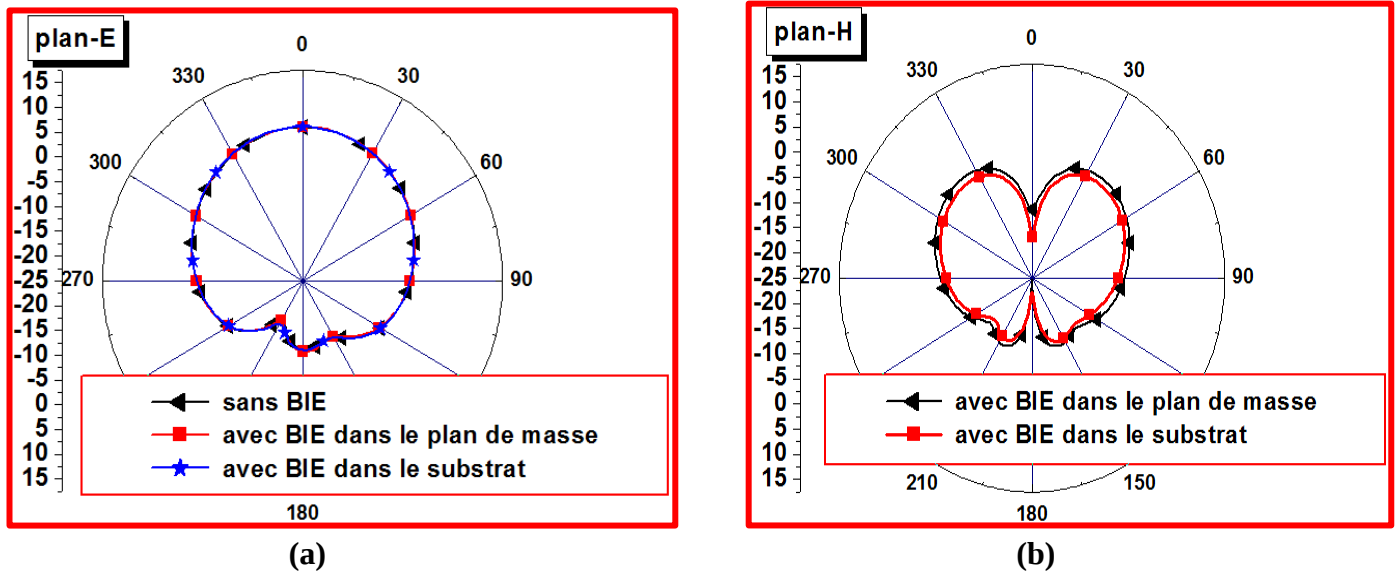


Figure III.26 Diagramme de rayonnement dans les plans E et H dans deux fréquence, (a) $\phi=0^\circ, F=30\text{GHz}$, (b) $\phi=90^\circ, F=60$

la Figure III.27 représente le S_{11} de comparaison de l'antenne proposé dans les trois cas sans BIE, avec BIE sur le plan de masse, avec BIE sur le substrat.

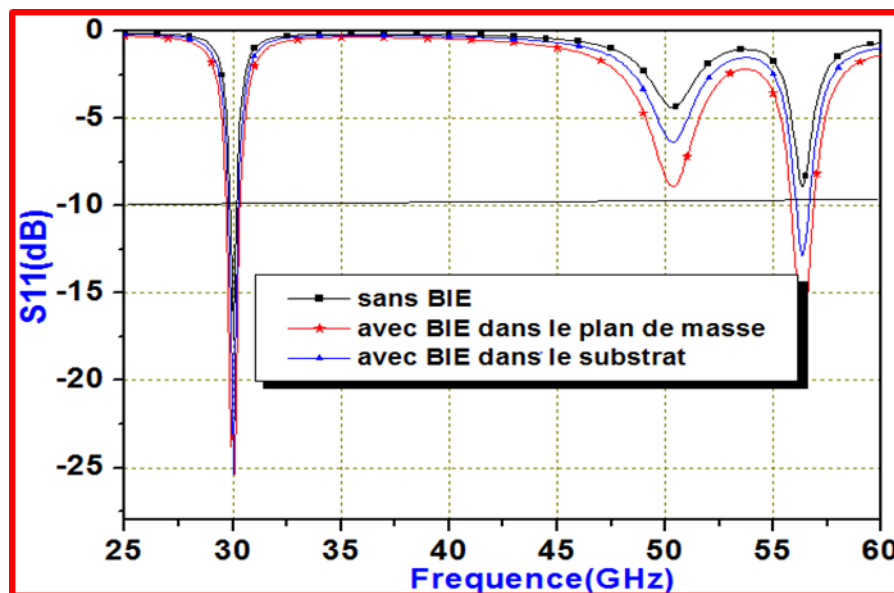


Figure III.27 S_{11} tracé de comparaison entre l'antenne proposée: sans BIE, avec BIE dans le plan de masse, avec BIE dans le substrat

III.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons commencé par la présentation de l'antenne patch rectangulaire qui nous avons proposé pour la 5G qui travailler dans deux bande de fréquence 30 et 56 GHz puis nous avons calculé son dimensions

à où notre objectif dans ce chapitre était de concevoir une antenne 5G dans trois cas sans BIE et avec BIE dans le substrat, puis avec un BIE au plan de masse, alors nous avons extrait les résultats dans chaque cas (le s_{11} , le v_{swr} , le gain, le HPBW), Et grâce à notre comparaison des résultats, nous avons constaté que l'antenne avec la structure BIE au plan de masse avait de bons résultats en termes de gain (6.57, 6.47dB) et d'adaptation (-25.44, -17.71dB), et cela aux fréquences 30 et 56 GHz, ce qui a conduit à une amélioration des performances de l'antenne et c'est ce que nous voulons réaliser

Enfin, on peut dire que l'antenne est un bon candidat pour les applications de la technologie sans fil 5G.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Bien que les antennes patch soient d'une grande importance en raison de leur aptitude et de leur compatibilité avec les derniers équipements de communication, ce type d'antennes rencontre encore des problèmes, en particulier leur faible gain et leur portée limitée. Nous allons donc essayer d'améliorer l'antenne afin d'obtenir de meilleures performances, nous avons donc suggéré dans notre mémoire une conception d'antenne 5G utilisant la structure BIE que nous allons installer sur le substrat et le plan de masse de l'antenne, ce qui améliore à son tour les performances de l'antenne, notre mémoire est donc divisé en trois chapitres principaux :

- Dans le premier chapitre, nous avons présenté des généralisations aux antennes imprimées et leurs applications
- Le deuxième chapitre est consacré à l'étude des matériaux avec la bande interdite électromagnétique et leur importance dans le domaine de la communication
- Enfin, dans le dernier chapitre, nous avons conçu une antenne patch rectangulaire fonctionnant à deux fréquence 30 et 60GHZ, puis nous avons ajouté une structure BIE au niveau du substrat et du plan de masse de l'antenne Et grâce à notre comparaison des résultats, nous avons constaté que l'antenne avec la structure BIE au plan de masse avait de bons résultats en termes de gain(6.57,6.47dB) et d'adaptation(-25.44, -17.71dB), et à partir de là on peut dire que la structure BIE a un bon effet sur l'antenne et cela en améliorant son performances (bon adaptation, augmentation de la bande, bon gain) C'est ce que nous voulons réaliser,

Référence bibliographie

- [1] I. J. Bahl and P. Bhartia, "Microstrip Antenna", Dedham, Artech House, 1980.
- [2] G.A Dechamps, "Microstrip Microwave Antenna", third USAF symp. On antennas 1953.
- [3] H.Gutton, G. Baissinot, "flat Aerial For Ultra High Frequencies", French patten, N° 703-113,1955.
- [4] Van Bladel, J : "Some remarks on green's dyadic for infinite space", antennas and propagation, IEEE transactions. Vol.9,issue 6, November 1961, pp.563-566.
- [5] Paul F. Combes, "Micro-ondes tome II circuits passifs, propagation, antennes," Dunod, Paris, 2-10-002753-0, 1997
- [6] G. Kumar and K. P. Ray, Broadband microstrip antennas, Artech House Boston, London 2003.
- [7] C. A. Balanis, "Antenna theory: Analysis and design", Third edition, John Wiley & Sons, NY, 2005.
- [8] J. P. Daneil, G. Dubost ,C.Terret ,J. Citerne, M. Drissi “Research on planar antennas and arrays “ Structures Rayonnantes " .IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol.35,No.I,pp.14-38,1993.
- [9] I.J.Bahl, P. Bhartia, “Microstrip antennas” Artech. House, U.S.A , 1980.
- [10] De Recherche- Rabih A Slim Conception Antenne WIFI -Microruban - HFSS_Methodologie -Université Antonine Faculté des Ingénieurs en Télécommunications, Informatique
- [11] :http://www.highfrequencyelectronics.com/Archives/Mar09/HFE0309_Tutorial.pdf
- [12] 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.
- [13] Md, Maruf Ahmed, Kishore Bhowmik, Md. Shahidulla, Md.Shihabul Islam, Md, Abdu Rahman "Rectangular microstrip patch antenna at 2Ghz on different Dielectric constant for pervasive wireless communication", International journal of electrical and computer engineering (IJECE) Vol.2, N°3, pp.417-424, June 2012
- [14] Mme. Yamina tighil doctorat en sciences - identification des antennes microrubans

multicouches par la méthode spectrale et les réseaux de neurones-université ferhat abbas - setifufas(ALGERIE)

[15] Balanis C.A(1982) Handbook of Microstrip Antennas. John Wiley and Sons New York

[16] D. M. Pozar, "Microstrip antennas", IEEE Transactions on Antennas and Propagations, vol.40, n° 1, pp. 79-91, January 1992.

[17] V. Planisamy and R. Garg, "Analysis of arbitrarily shaped microstrip patch antennas using segmentation technique and cavity model," IEEE Transactions on Antennas and Propagations, vol. 34, n° 10, October 1986

[18] P. B. Katehi, D. R. Jackson et N.G. Alexopoulos, „Microstrip dipoles“ Handbook of microstrip

[19] I. J. Bahl and P. Bhartia, "Microstrip Antenna", Dedham, Artech House, 1980.

[20] D.M. POZAR "Microstrip Antennas ", IEEE, Vol.80 N° 1, pp .79-91, January 1992

[21] G. Kumar and KP.Ray, "Broad band microstrip antennas" Aartech house baston. London 2003.

[22] Y. Qian and al, "A microstrip patch antenna using novel photonic band gap structures", Microwave J, Vol. 42, pp. 66-67, Jan 1999.

[23] E. YABLONOVITCH "Photonic Band-Gap crystals" Phys.: Condens. Matter 5, No 16, April 1993, pp. 2443-2460

[24] E. YABLONOVITCH "Photonic Band-Gap structure" J. Opt. Society Vol 10, p.283-293, Feb 1993

[25] E. YABLONOVITCH "Photonic crystals semi-conductors of light" Scientific American

[26] Joannopoulos, R. D. Meade, J. N. Win, Photonic Crystal: Molding the Flow of Light, Princeton Univ. Press (1995)...

[27] E. Yablonovitch. Physical Review Letters 58(20), 2059-2062 (1987)

[28] A. POLMAN, P. WITZIUS "Materials science aspects of photonic crystals" Guest editors MRS bulletin August 2001...

[29] H. ROUSSEL, V.VIGNERAS, W. TABBARA , J.P PARNEIX « Etude théorique et expérimentale de structures à Bande Photonique Interdite bidimensionnelle » JNM 99, Arcachon, 5-7 Mai 1999.

- [30] G.TAYEB ,D. MAYSTRE « Rigorous theoretical study of finite size tow dimensional photonic crystal doped by microcavities” J. Opt.Soc. Am. A 14 , p. 3323- 3332, 1997.
- [31] V.VIGNERAS, H. ROUSSEL, J.P PARNEIX , W. TABBARA « Modélisation et mesure de la réponse électromagnétique de structures BIP bidimensionnelles » JNM 2001, Poitiers, 16-18 mai 2001.
- [32] D.CASSAGNE, C. JOUANIN , D. BERTHO « Hexagonal photonic and gap structures » Physical Review B, Vol. 53, March 1996, pp.7134-7141.
- [33] F.DEMONTOUX, V.VIGNERAS « Multidiffusion des ondes électromagnétiques dans les structures BIP. Etude paramétrique de réseaux tridimensionnels »JNM 2003, Lille,21-23 Mai 2003.
- [34] K.M. Ho, Chan C.T and C.M Soukoulis. Physical Review Letters 65(25) , 3152 (1990).
- [35] A. NOUVIER «Etude et réalisation de structures BIP 1D à base de matériaux céramiques. Mise en place d’un banc de caractérisation» Rapport de stage de 2ème année de l’ENSIL.
- [36] V. VIGNERAS, H. ROUSSEL, J.P. PARNEIX, W. TABBARA «Modélisation et mesure de la réponse électromagnétique de structures BIP 2D» JNM 2001.
- [37] M. S. DENIS “Contribution à l’étude des matériaux à bandes interdites photoniques. Applications dans les domaines des antennes imprimées” Thèse de doctorat- n°40-1998- Université de Limoges- 1998
- [38] L. OYHENART, T. OLINGA, V. VIGNERAS, F. DEMONTOUX, J.P. PARNEIX “Les cristaux photoniques 3D à base de polymères conducteurs” JCMM 2004
- [39] A. Hocini, R. Moukhtari, D. Khedrouche, A. Kahlouche, M. Zamani, Magneto-phonic crystal microcavities based on magnetic nanoparticles embedded in silica matrix, Opt. Commun. 384 (2017) 111–117.
- [40] B. Chen, L. Huang, Y. Li, C. Liu, G. Liu, A compact optical wavelength splitter in onedimensional photonic crystal waveguides, J. Mod. Opt. 59 (13) (2012) 1186–1193.
- [41] M. Banihashemi, V. Ahmadi, Nonlinear response of high efficient in-plane channel drop filter in Si heterostructure photonic crystal slab, J. Mod. Opt. 58 (7) (2011) 587–592.
- [42] A. Harhouz, A. Hocini, Design of high-sensitive biosensor based on cavity-waveguides coupling in 2D photonic crystal, J. Electromagn. Waves Appl. 29 (5) (2015) 659–667.
- [43] M. Koshiba, S. Member, and A. Abstract, “Wavelength Division Multiplexing and Demultiplexing With Photonic Crystal Waveguide,” vol. 19, no. 12, pp. 1970–1975, 2001.

- [44]. Elsheakh, D.M.N., Elsadek, H.A., Abdallah, E.A.: Antenna Designs with Electromagnetic Band Gap Structures, 2nd edn., Chap. 16. Tech Publication
- [45] Dimension de l'antenne : C. A. Balanis, "Antenna theory, analysis and design," John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA, 2005.