MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
Département de Génie Électrique



Mémoire de Fin d'Études de Master

Filière : Télécommunication

Spécialité : Système télécommunications

Thème

Analyse et étude des performances de l'antenne patch microruban à base de cristaux photoniques

Préparé et présenté par,

Mdm. BEHALIL Fatima Zohra

Melle. KADOUR BEN KADA Fatima Zohra

Proposé et dirigé par,

Dr. TEMMAR Mohamed Nasr Eddine

Dr. KECHIDI Ziane

Promotion 2021

Remerciements

Nous remercions Dieu Tout-Puissant qui nous a donné toutes
ces années la santé,
le courage et la foi en nous même pour pouvoir avancer et mener nos
études à leurs termes.

Remerciements à nos encadreurs :

Monsieur *Tammar Mohamed Nasr Eddine* et Monsieur *kechidi ziane*

qui n'ont ménagé aucun effort pour superviser ce projet,
et qui trouvent ici l'expression de nos sincères remerciements pour
nos conseils et suivi tout au long de la période de nos travaux,
pour l'examen de cet humble travail.

Par la même occasion,
nous tenons à remercier les membres du jury après avoir remercié
les encadrants et tous nos professeurs pour leurs efforts
réfléchis qui ont guidé nos démarches et enrichi notre travail
tout au long de cette période.

Enfin, nos sincères remerciements vont à tous ceux qui ont
contribué de près ou de loin à la réalisation
de notre projet.



Dédicace

Je viens de remercier mon Dieu le tout Puissant de m'avoir donné la force et le Courage pour terminer mes études.
À mes très chères parents qui sont toujours sacrifiés pour me voir réussir, que Dieu leur procure bonne santé et longue vie et garde dans son vaste paradis ;

A Mon cher mari, Pour tous les encouragements, le respect et l'amour que vous m'avez donnés, je dédie ce travail qui n'aurait pas été achevé sans votre soutien et votre éternel optimisme ;
Aux personnes dont j'ai bien aimé la présence dans ce jour ; mes proches de
Mes frères et ma sœurs, chacun à son nom ;
À toute la famille ;
À tous mes amis ;
Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce Projet soit possible, je vous dis merci.

BEHALIL Fatima zohra



Dédicace

Ici ma carrière se termine par la louange de Dieu d'abord‹puis à celui qui me porte fièrement son nom à feu mon père kadour ben kada brahim et je lui dis tu me manque papa
Je Didier ce travail à l'âme de mon père
Et à ma chère maman
À ma sœur imane son mari amin et son fils Mohammed
À mon cœur ma sœur Rihem
À mes chers frères fouad et abedellah
À kouki mon frère et mon ami
À mes chères amies Beskri, Aicha, Hadda et Hinde
Qui ont me aider pour dépasser les difficultés et les obstacles.
En conclusion, j'exprime mes sincères remerciements et ma gratitude à tous ceux qui ont allumé une bougie au cours de ma carrière éducative.

KADOUR BEN KADA Fatima zohra

Résumé

Les technologies d'antenne ont fait l'objet d'énormes progrès au cours des dernières décennies avec des innovations importantes et qui restent toujours comme sujet d'actualité. Dans la technologie d'antenne, un certain nombre de nouveaux développements sont apparus, et l'expansion de la structure cristalline photonique est une réalisation prometteuse. Les applications de conception d'antennes à structure cristalline photonique sont devenues un sujet innovant pour les scientifiques et les ingénieurs. Les applications d'antenne microruban sont dansdivers domaines tels que les applications de télémédecine, les communications mobiles et par satellite, les applications de système de positionnement global. Le but de ce projet est d'établir une revue de la littérature pertinente dans le domaine, de discuter de la théorie fondamentale du fonctionnement de l'antenne patch microruban et de la caractéristique du cristal photonique dans les antennes patch microruban et de développer un modèle de simulation utilisant le logiciel commercial Technologie de simulation informatique (CST). Les résultats obtenus de la simulation montrent que la structure cristalline photonique donne de meilleures performances pour les antennes microruban telles qu'un meilleur gain, une meilleure directivité et une meilleure bande passante.

Abstract

Antenna technologies have made tremendous progress over the past decades with monumental innovations that are still evolving today. In today's antenna technology, a number of new developments have appeared, and the expansion of the photonic crystal structure is a promising achievement. Photonic crystal structure antenna design applications have become an innovative topic for scientists and engineers. Microstrip antenna applications are in various fields such as telemedicine applications, mobile and satellite communications, global positioning system applications. The aim of this project is to establish a review of the relevant literature in the field, to discuss the fundamental theory of the operation of the microstrip patch antenna and the characteristic of the photonic crystal in microstrip patch antennas and to develop a simulation model using the commercial software Computer simulation Technology (CST). The obtained results of the simulation show that the photonic crystal structure gives a better performance for microstrip antennas such as better gain, directivity and bandwidth.

ملخص

حققت تكنولوجيات الهوائيات تقدمًا هائلاً على مدار العقود الماضية من خلال الابتكارات الضخمة التي لا تزال تتطور حتى اليوم. في تقنية الهوائيات الحالية، ظهر عدد من التطورات الجديدة، اذ يعد توسع استعمال البنية البلورية الضوئية إنجازًا واعدًا. حيث أصبحت تطبيقات تصميم الهوائيات باستخدام البنية البلورية الضوئية موضوعًا مبتكرًا للعلماء والمهندسين. ان تطبيقات الهوائي مكروستريب موجودة في مجالات مختلفة مثل تطبيقات الطب عن بعد، والاتصالات اللاسلكية والأقمار الصناعية، وتطبيقات نظام تحديد المواقع العالمي. الهدف من هذا المشروع هو إجراء مراجعة للأبحاث ذات الصلة في هذا المجال، لمناقشة النظرية الأساسية لتشغيل هوائي مكروستريب وخصائص البلورة الضوئية في هوائيات مكروستريب وتطويرنموذج محاكاة باستخدام البرمجيات التجارية تكنولوجيا محاكاة الكمبيوتر (CST). تظهر النتائج التي تم الحصول عليها من المحاكاة أن البنية البلورية الضوئية تعطي أداءً أفضل لهوائيات مكروستريب مثل الكسب الأفضل والاتجاه وعرض النطاق الترددي.

Table des matières

Remerciements

Dédicace

Résumé IV

Table des matières. VI

Listes des figures XI

Liste des tableaux XIV

Liste des abréviations XV

Liste des équations XVIII

Introduction générale. 1

Chapitre I : Généralités sur les antennes

I.1 Introduction 3

I.2 Définition d'une antenne. 3

I.3 Le rôle d'antenne 4

I.3.1 Antenne d'émission 4

I.3.2 Antenne de réception 5

I.3.3 Réciprocité. 5

I.4 Les types des antennes 5

I.4.1 L'antenne filaire 5

I.4.2 L'antenne à fentes 5

I.4 .3 L'antenne planaire. 5

I.4.4 L'antenne à cornet. 5

I.4.5 L'antenne parabolique 6

I.5 Domaines d'application. 6

I .6 Diagramme de rayonnement. 6

I.7 L'impédance d'entrée 8

I.8 La polarisation 8

I.9.Equations de Maxwell 9

I.9.1 Présentation des équations de Maxwell. 9

I.9.2 Les équations de Maxwell. 9

I.10 Les paramètre de l'antenne 10

I.10.1 Directivité 10

I.10.2 Gain. 11

I.10.3 Rendement 11

I.10.4 Lien entre gain et angle d'ouverture. 11

I.10.5 Bande passante et facteur de qualité. 12

I.10.6 L'adaptation (VSWR) 12

I .11 Caractéristiques des antennes 14

I .12 Onde électromagnétique – Propagation des ondes 14

I.12.1 Propriétés d'une onde électromagnétique plane 14

I.12.2 Onde de surface 15

I.12.2.1 Caractéristiques des ondes de surface 15

I.12.2.2 La propagation d'onde de surface 16

I.13 Conclusion 17

Chaptire II : Notions de base sur l'antenne microruban et les cristaux photonique

II.1 Introduction. 19

II.2 Les antennes microruban. 20

II.3 Avantages et inconvénients 22

II.4 Application des antennes microruban 24

II.5 Cristaux photoniques. 24

II.5.1 Les cristaux photoniques unidimensionnels CPs-1D : Miroirs de Bragg. 24

II.5.1.1 Propriétés géométriques et physiques d'un CPs-1D. 25

A.Contraste d'indice 25

B.La Période. 25

C.Facteur de remplissage 26

II.5.2 Cristaux photoniques à deux dimensions. 26

II.5.2.1 Propriétés géométriques et physiques d'un CPs-2D. 27

A. contraste d'indice 27

A.1 Fort contraste d'indice (approche membrane) 27

A.2 Faible contraste d'indice (approche substrat) 28

B. Facteur de remplissage f 28

II.5.3. Les cristaux photoniques tridimensionnels (CPs-3D) 29

II.5.4 Description du montage 30

II.6 Application des cristaux photoniques. 30

II.7 Conclusion 32

Chapitre III : Analyse et étude des performances de l'antenne patch microruban à base de cristaux photonique

III.1 Introduction. 34

III.2 Présentation de logiciel utilisé 34

III.3 L'antenne patch triangulaire microruban. 35

III.3.1 Résultats simulés 37

III.3.1.1 paramètre S et la bande passante. 37

III.3.1.2 Le rapport d'onde stationnaire (VSWR) 37

III.3.1.3 Gain 38

III.3.1.4 La directivité. 38

III.3.1.5 L'efficacité de rayonnement 39

III.3.1.6 Le champ E. 39

III.3.1.7 Courant de surface. 40

III.4 La structure cristaux photonique 41

III.4.1 Résultats simulés 41

III.5 L'antenne patch triangulaire microruban avec la structure cristaux photonique 42

III.5.1 Résultats simulés 43

III.5.1.1 Paramètre S et la bande passante 43

III.5.1.2 Le rapport d'onde stationnaire (VSWR) 43

III.5.1.3 Gain 44

III.5.1.4 La directivité 44

III.5.1.5 L'efficacité de rayonnement 46

III.5.1.6 Le champ E 46

III.5.1.7 Courant de surface. 47

III.6 Comparaison des résultats de simulation de différentes conceptions d'antennes 48

III.7 Coclusion. 50

Conclusion générale 52

Bibliographie. 54

Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur les antennes

Figure I.1 : Un système de communication radio par (OEM) 4

Figure I.2 : Polarisation du champ électromagnétique. 7

Figure I.3 : Polarisation des ondes EM. 8

Figure I.4 : Bande passante et coefficient de réflexion. 9

Figure I.5 : La courbe d'une bande passante et coefficient de réflexion 12

Chaptire II : Notions de base sur l'antenne microruban et les cristaux photonique

Figure II.1 : Le diagramme de principe de l'arrangement de l'onde unidimensionnelle (**1D**), bidimensionnelle (**2D**) et tridimensionnelle (**3D**) cristaux photoniques tridimensionnels 20

Figure II.2 : Structure de l'antenne patch microruban 21

Figure II.3 : Formes courantes des éléments de patch microruban 22

Figure II.4 : Image miroir de Bragg composée d'un empilement de couches épaisseur a1 et a2 avec des permittivités différentes **ε**1 et **ε**2 (**ε**1 > **ε**2) 24

Figure II.5 : Schéma de principe de l'interface d'onde réfléchie par chaque dioptrie 25

Figure II.6 : Périodes d'un cristal photonique unidimensionnel 26

Figure II.7 : Gauche : Cristal photonique à deux dimensions. Droite : Réseau réciproque et zone de Brillouin. 27

Figure II.8 : Exemples de cristaux photoniques planaires bidimensionnels à fort contraste d'indice vertical : (**a**) L'épaisseur du film en suspension dans l'air est de 270 nm, (**b**) Cristal photonique planaire à trou profond ≈ 0,5 μm, partiellement gravé dans la couche **A Lx Oy** 28
Figure II. 9 : La première structure **BIP 3D** : La Yablonovite. 29
Figure II.10 Exemples des structures artificiels **3D** : Structure cubique, tas de bois, structure spirale, diamant. 30

Chaptire III : Analyse et étude des performances de l'antenne patch microruban à base de cristaux photonique

Figure III.1 : La structure de l'antenne patch microruban 35

Figure III.2 : Paramètre S d'une antenne patch microruban. 37

Figure III.3 : VSWR à fréquence de résonnance de l'antenne patch microruban 37

Figure III.4 : Gain réalisé pour l'antenne patch microruban. 38

Figure III.5 : Représentation en 3D de directivité de l'antenne patch microruban 38

Figure III.6 : Diagramme polaire de l'angle d'élévation de l'antenne patch microruban. 39

Figure III.7 : l'efficacité de rayonnement de l'antenne patch microruban 39

Figure III.8 : Le champ **E** de l'antenne patch microruban. 40

Figure III.9 : Le courant de surface de l'antenne patch microruban. 40

Figure III.10 : Géométrie de la structure **PBG** de bande interdite photonique simulée 41

Figure III.11 : Paramètre S de la structure cristaux photonique 42

Figure III.12 : La structure de l'antenne patch microruban 42

Figure III.13 : Paramètre S de l'antenne patch microruban à cristaux photonique 43

Figure III.14 : VSWR à fréquence de résonnance de 2.4 GHz de l'antenne patch microruban à cristaux photonique. 43

Figure III.15 : Gain réalisé pour l'antenne patch microruban à cristaux photonique 44

Figure III.16 : Représentation en 3D de Directivité de l'antenne patch microruban à cristaux photonique à 2.6 GHz 44

Figure III.17 : Représentation en 3D de Directivité de l'antenne patch microruban à cristaux photonique à 2.72 GHz. 45

Figure III.18 : Diagramme polaire de l'angle d'élévation de l'antenne patch microruban à cristaux photonique à 2.6 GHz 45

Figure III.19 : Diagramme polaire de l'angle d'élévation de l'antenne patch microruban à cristaux photonique à 2.72 GHz 46

Figure III.20 : L'efficacité de rayonnement de l'antenne patch microruban à cristaux photonique 46

Figure III.21 : Le champ **E** de l'antenne patch microruban à cristaux photonique à 2.6 GHz. 47

Figure III.22 : Le champ **E** de l'antenne patch microruban à cristaux photonique à 2.72 GHz 47

Figure III.23 : Le courant de surface de l'antenne patch microruban à cristaux photonique à 2.6 GHz 48

Figure III.24 : Le courant de surface de l'antenne patch microruban à cristaux photonique à 2.72 GHz. 48

Liste des tableaux

Tableau III.1 Présentation des paramètres de la structure de l'antenne patch microruban**. 36**

Tableau III.2 La comparaison des différents paramètres pour les différentes antennes patch microruban **. 49**

Liste des abréviation

OEM : Onde electromagnetique.

GSM : Global system for mobile communication.

GPS: Global postioning system.

WIFI: Fidelité sans fil.

WIMAX : World wide interoperabilité for micro cooxe Access.

1D : Unidimensional.

2D : Bidimensionel.

3D : Tridimensional.

ε : Permittivité électrique (F/m), A noter :

ε0 : Permittivité diélectrique dans le vide.

εr : Permittivité électrique relative.

μ : Perméabilité magnétique (H/m) , A noter :

μ0 : Permittivité diélectrique dans le vide.

μr : Permittivité magnétique relative.

σ : Conductivité électrique du milieu (S/m).

PA : Puissance d'entrée.

PR : Puissance rayonnée.

RLC : Résistance condesateur, bobin.

MIC : Circuit intégrées microruban.

Γ : Le coefficient de réflexion.

Vr : L'amplitude d'onde réfléchie.

Vi: L'amplitude d'onde incidente.

CP : Cristal photonique.

MMIC: Circuit integé monolithifque hyperfrequence (monolithic microwave integrated circuit).

VHF: Very height frequency.

UHF : Ultra height frequency.

BIP : Une bande interdite photonique.

Ir : Constantes diélectriques.

MI : Circuits intégrés micro-ondes.

CP-1D : Les cristaux photoniques à une dimension, appelés aussi « Miroirs de Bragg ».

$\boldsymbol{\delta}$: Contraste d'indice.

$\boldsymbol{n_h}$: L'indice de réfraction du matériau de haut indice.

$\boldsymbol{n_1}$: L'indice de réfraction du matériau de bas indice.

a : La période du cristaux photoniques à une dimension.

a1 : L'épaisseur de la couche de permittivité.

a2 : L'épaisseur de la couche de permittivité.

$\boldsymbol{v_i}$: Volume occupé par le matériau de permittivité εi.

Λ : Volume de la cellule.

CP-2D : Un cristal photonique à deux dimensions.

Si : Silicium (gaufre support fait de silicium monocristallin).

Si O2 : Dioxyde de silicium (couche sacrificiel et isolante).

Δn : La différence d'indice entre les deux milieux.

f : Facteur de remplissage**.**

Q : Facteur de qualité.

CPs-3D : Les cristaux photoniques tridimensionnels.

BIP 3D : Une bande interdite photonique tridimensionnels.

CCD : Un capteur photographique (charge coupled device).

BIP 2D : Une bande interdite photonique à deux dimensions.

Hn et **Ln** : Types de cavités.

TE ou **TM** : La lumière polarisée.

DEMUX-couple : Démultiplexeur optique.

CP "**W3**" ou "**W5**" : Le guide d'onde à cristal photonique.

WDM (**CWDM**) : Le multiplexeur par répartition en Longueur d'onde.

S parameter : Scattering parameter.

VSWR : Voltage standing wave ratio.

ETPA : Equilaterale trianguler patch antenna.

CEM : Compatibilité /champ électromagnétique.

PBG : Photonique bande gap.

SI : Système interférence.

PIRE : Puissance isotrope rayonnée équivalente.

KNET : Kyrgyzstan seismic Network.

Liste des équations

(I.1) Equation de l’impédance d’entrée.

(I.2) Equation de Maxwell-Gauss.

(I.3) Equation de conservation du flux.

(I.4) Equation de Maxwell-Faraday (phénomène d’induction).

(I.5) Equation de Maxwell-Ampère.

(I.6) Equation de directivité.

(I.7) Equation de gain.

(I.8) Equation de rendement.

(I.9) Equation de lien entre le gain et angle d’ouverture.

(I.10) Equation de PIRE.

(I.11) Equation de facteur de qualité.

(I.12) Equation de l'impédance de l'antenne.

(I.13) Equation de VSWR.

(I.14) Equation de coefficient de réflexion.

(II.1) Equation de Contraste d’indice pour les cristaux photoniques unidimensionnels CPs-1D.

(II.2) Equation de Facteur de remplissage pour les cristaux photoniques unidimensionnels CPs-1D.

(II.3) Equation de Facteur de remplissage cristaux photoniques 2D.

(III.1) Equation de la fréquence de résonance.

Introduction générale

Introduction générale

Les antennes sont devenues nos yeux et nos oreilles dans notre monde, nos liens avec l'espace dans lequel nous vivons ; elles constituent une partie essentielle et indispensable de notre civilisation. L'antenne est un élément essentiel ayant deux rôles distincts : Celui d'émission des rayons électromagnétiques et l'autre de leur réception ; cette dernière se situe aussi bien au niveau des standards. La théorie et la technologie des antennes imprimées ont connu une croissance rapide, et elles ont été l'une des technologies les plus innovatrices dans leur conception. Elles ont trouvé rapidement une large application dans les systèmes microondes modernes.

Dans le premier chapitre nous avons traité le concept d'une antenne et son rôle, antenne d'émission, antenne de réception et la réciprocité ; et ses types et domaines d'application et l'importance des équations de Maxwell pour la compréhension des phénomènes de propagation, les caractéristiques de base de toutes les antennes tel que le gain, rendement, impédance d'entrée et le diagramme de rayonnement...ect, c'est des notions fondamentales. Ensuit dans le deuxième chapitre on a traité le concept de cristaux photoniques et son historique on a présente les antennes unidimensionnels, bidimensionnels et tridimensionnels puis on a défini les antennes microruban et son structure, et on a présent la forme courante des éléments de patch microruban, ses avantages et ses inconvénients puis ses applications. Outre, les cristaux photoniques et leurs propriétés : contraste d'indice, la période…, puis le 1D et 2D et une description de montage avec la conclusion.

Finalement dans le chapitre trois on analyse et simuler une antenne patch triangulaire à l'aide du CST. La conception de l'antenne est calculée à partir de la longueur de l'antenne patch microruban triangulaire, et la procédure de conception lui a été soumise. Puis les principaux paramètres tels que le paramètre S, VSWR, le gain, la directivité et l'efficacité du rayonnement. Après dans la partie 2 nous avons traité la structure cristaux photonique est composé d'un cylindre et nous définissons ses paramètres et dans la partie 3 en concaténé la première partie avec le deuxième on fait même antenne mais on ajout des airs cylindre et on a traité ses paramètres.

Chapitre I :

Généralités sur les antennes

I.1 Introduction

L'histoire des antennes [1] remonte à James Clerk Maxwell qui a unifié les théories de l'électricité et du magnétisme, et a représenté avec éloquence leurs relations à travers un ensemble d'équations profondes mieux connues sous le nom d'équations de Maxwell. Son travail a été publié pour la première fois en 1873 [2].

La première antenne est apparue à fin de **XIXe** siècle, à une époque où les travaux sur l'électromagnétisme ont connu un développement considérable. Depuis que leur réalisation n'a cessé de se développer, elle est d'abord attribuée aux progrès scientifiques de l'électromagnétisme, puis sous la pression de nombreuses exigences techniques dans divers domaines d'application. L'essor actuel des communications nécessite des innovations majeures dans la conception des systèmes et des antennes associées, dont la forme varie aujourd'hui selon les usages :

Télécommunications mobiles, satellite, télévision, radio, identification d'objets de communication, etc.

Malgré cette énorme diversité, toutes les antennes ont une chose en commun, c'est-à-dire qu'elles convertissent les signaux pilotes en signaux de rayonnement dans un spectre électromagnétique relativement large, des ondes radio aux fréquences micro-ondes.

Une antenne est un dispositif utilisé pour rayonner un champ électromagnétique dans l'espace ou le détecter. Il existe plusieurs types d'antennes.

Les techniques de conception et de réalisation d'antenne se sont affinées au fur et à mesure que le domaine de l'électromagnétisme s'est développé.

I.2 Définition d'une antenne

Une antenne est un appareil qui peut émettre (émetteur) ou capter (récepteur) des ondes électromagnétiques. Une antenne est un conducteur électrique plus ou moins complexe, généralement placé dans un endroit ouvert

L'antenne en réalité est un métal Ou un diélectrique, avec un langage plus approprié à l'électronique c'est un dispositif métallique qui sert à rayonner des ondes électromagnétiques en autre terme. C'est une structure transitoire entre l'espace libre et un dispositif guid1nt le dispositif guidant peut être une ligne de transmission vers un récepteur.

Le principe de l'antenne émettrice est de faire en sorte que lorsqu'elle est traversée par un courant variable .Le conducteur électrique parcouru par un courant, fournit de l'énergie sous forme de chaleur.

Fourni un champ magnétique (principe de transformateur) champ électrique (principe de condensateur).

I.3 Le rôle d'antenne

Il s'agit d'un système de radiocommunication qui utilise des ondes électromagnétiques (**OEM)** [3].Un système de communication radio avec une onde électromagnétique**(OEM**).

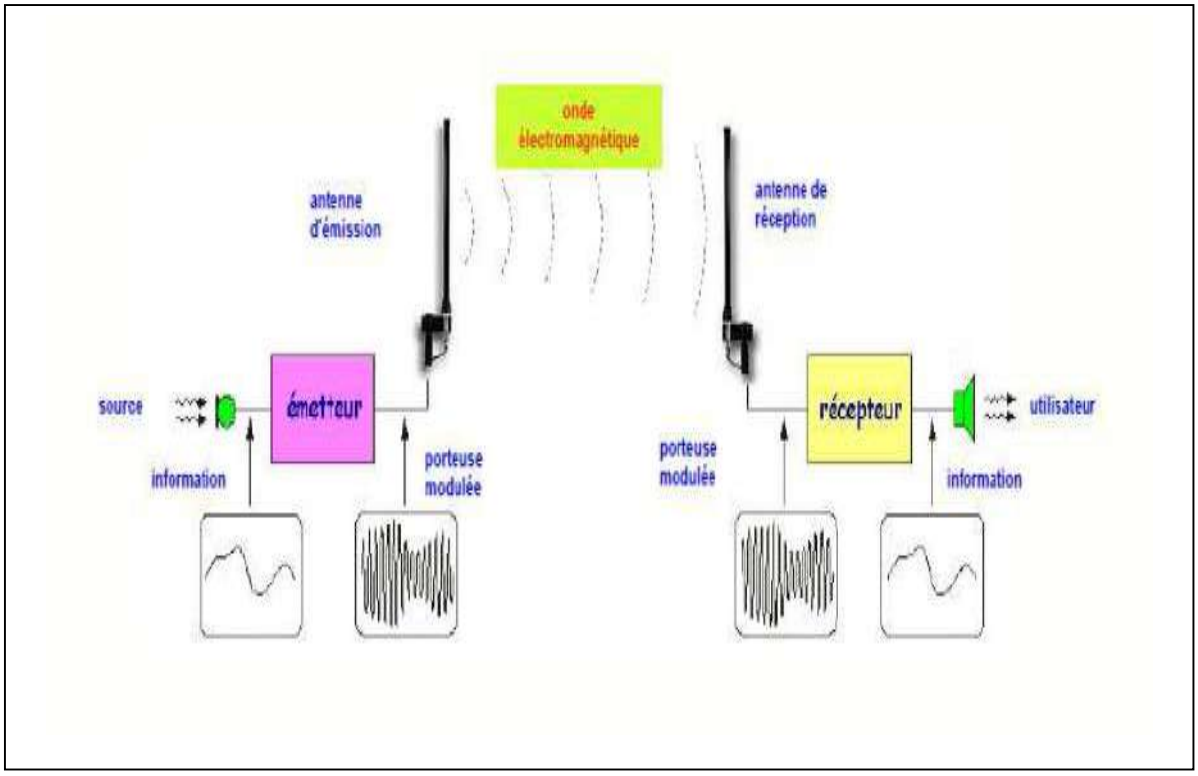


Figure I-1 : Un système de communication radio par (**OEM**) [4].

Il y a une onde électromagnétique, l'émetteur a envoyé un message sous forme de signal électronique vers l'antenne d'émission. Cet **OEM**, le type et la forme de l'antenne utilisée pour la propagation dans l'espace autour de l'antenne émettrice.

I.3.1 Antenne d'émission

Afin d'assurer la propagation dans l'air, un équipement est nécessaire pour générer des ondes rayonnées.

L'antenne émettrice convertit la puissance électromagnétique guidée S'il s'agit d'un générateur à puissance rayonnée, alors il s'agit d'un convertisseur.

I.3.2 Antenne de réception

Si l'antenne de réception reçoit une puissance rayonnée, l'antenne agit comme un capteur et la puissance rayonnée est convertie en un transformateur qui guide la puissance électromagnétique.

1.3.3 Réciprocité

C'est le résultat du théorème de réciprocité. Dans certains cas particuliers où l'antenne contient des matériaux non linéaires ou anisotropes [5].

I.4 Les types des antennes

Les antennes peuvent être divisées en cinq séries principales [6], qui dans la plupart des cas sont faciles à identifier par leur forme :

I.4.1 L'antenne filaire

Les antennes filaires comprennent les dipôles, les monopôles, les circuits résonants, Yagi, hélices et autres modèles. Cette grande famille comprend des antennes relativement simples.

I.4.2 L'antenne à fentes

Les antennes à fente sont le modèle préféré pour la conception d'antennes de système de sécurité, telles que les radars à micro-ondes pour la surveillance maritime et aéroportuaire.

I.4 .3 L'antenne planaire

L'antenne planaire est aussi appelée antenne patch. C'est le modèle le plus utilisé pour la conception des systèmes **GSM, GPS**, **Wi-Fi** et **Wi MAX.**

I.4.4 L'antenne à cornet

L'antenne cornet est une sorte d'antenne spéciale car elle a un aspect conique plus ou moins cylindrique. Il a généralement la forme d'un grand entonnoir ou d'une pyramide inclinée avec un fond ouvert.

I.4.5 L’antenne parabolique

Il s'agit d'un modèle familier à la plupart des utilisateurs de téléviseurs domestiques. L'antenne parabolique a la forme d'un bol avec une antenne basique au centre de sa surface concave.

I.5 Domaines d’application

Sont de plus en plus utilisées dans les applications sans fil en raison de leur faible structure. Il est donc très compatible avec, les antennes intégrées aux appareils sans fil portables tels que les téléphones portables, les téléavertisseurs, etc [7], [8].

Les antennes de télémétrie et de communication des fusées doivent être minces et compatibles.

Communications par satellite, Radar, Télécommunications spatial Sont de plus en plus utilisées dans les applications sans fil en raison de leur faible Structure. Il est donc très compatible avec, les antennes intégrées aux appareils sans fil portables Tels que les téléphones portables, les téléavertisseurs, etc.

Les spectres radiofréquence l'antenne n'utilise qu'une partie de ce spectre, communément appelé spectre de fréquence radio, qui s'étend de 1KHz à 300GHz. Ce spectre est très large, et utilisé dans de nombreuses applications.

Le spectre hyperfréquence ou hyperfréquence correspond à la bande de fréquence comprise entre 300 MHz et 300 GHz. Les propriétaires de vagues concernés sont compris entre 1m et 1mm. C'est ce que nous appelons les ondes métriques, décimales et centimétriques. Correspond à la technologie intermédiaire entre les micro-ondes et l'optique.

Les antennes de télémétrie et de communication des fusées doivent être minces et compatibles, Communications par satellite, Radar, Télécommunications spatial.

I.6 Diagramme de rayonnement

Il s'agit d'une représentation graphique de la fonction caractéristique de l'antenne. .c’est une représentation du rayonnement en **2-D** ou **3-D** de la puissance, de gain ou de champ électrique rayonné à grande distance [9], [10].

C'est un graphique montrant le changement de la puissance rayonnée par unité d'angle solide de l'antenne dans différentes directions spatiales.

Un type plus pratique est l'antenne directionnelle qui rayonne plus de puissance dans certaines directions et moins de puissance dans d'autres directions. Un cas particulier de l'antenne directionnelle est l'antenne omnidirectionnelle, dont le diagramme de rayonnement peut être constant dans un seul plan (plan **E**), et varie dans le plan orthogonal (horizontal) (plan **H**). Le diagramme de rayonnement de l'antenne directive est montré dans la figure II.2, ci-dessous :

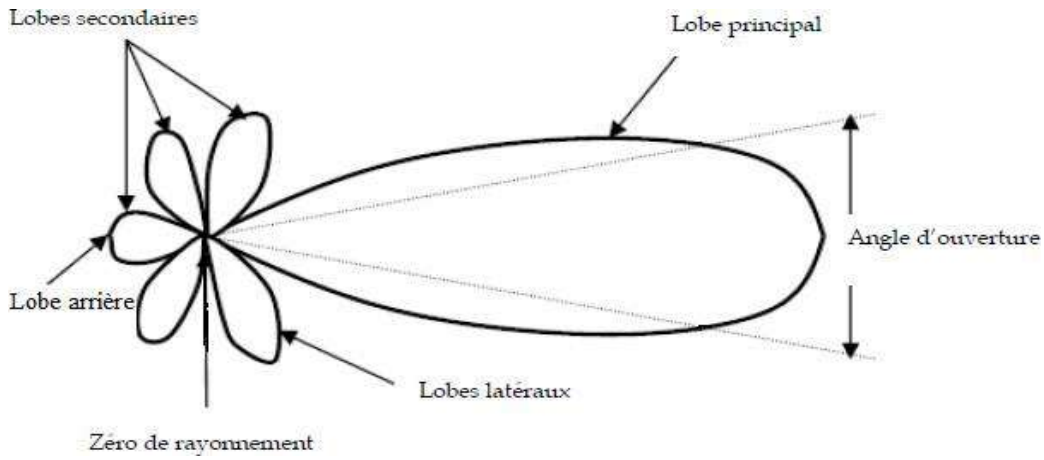


Figure I.2 diagramme de rayonnement [4].

- **Un lobe principal**

C'est le lobe de rayonnement qui contient l'énergie maximale et la direction de rayonnement maximale.

- **Un angle d'ouverture**

C'est un angle de direction plus favorable où la puissance rayonnée est la moitié de la puissance rayonnée. Lobes latéraux Ils représentent le rayonnement de l'antenne dans des directions indésirables.

- **Des lobes secondaires**

Ils représentent le rayonnement de l'antenne dans des directions indésirables. Elle est exprimée comme le rapport de la densité de puissance dans le lobe concerné à la densité de puissance dans le lobe principal. Il est exprimé en **dB.**

- **Un lobe arrière (rayonnement arrière)**

C'est le lobe latéral qui existe dans la direction 180° opposée au lobe principal. Le rapport avant-arrière est le rapport de la puissance rayonnée dans la direction maximale du rayonnement à la puissance rayonnée dans la direction opposée, en **dB**.

I.7 L'impédance d'entrée

En émission, l'antenne est associée à l'antenne d'entrée en tant que charge (impédance), qui existe en **I** in et **V**. Le rapport de $\mathbf{I}_{in}$ sur $\mathbf{V}_{in}$ donne l'antenne complexe Impédance **Za.**

$$V\ in\ /I\ in\ = Za = Ra + jXa \qquad (I.1)$$

L'impédance d'entrée de l'antenne caractérise la charge que l'antenne apporte au circuit d'excitation. Le cas le plus simple est celui des antennes pour les quelle on peut définir deux bornes d'entrée telles qu'en régime d'émission [11], il existe entre elles une tension **Ve** lorsque circule un courant **I** ; L'antenne peut être représentée par un dipôle, au sens de la théorie des circuits, dont l'impédance d'entrée serait Za= Ra + j Xa.

Ra et **Xa** représentent respectivement la résistance et la réactance de l'antenne aux bornes de l'entrée **a-b**.

I.8 La polarisation

La polarisation est définie comme la direction du champ électrique des ondes électromagnétiques. La polarisation des ondes est la base de la recherche sur les antennes.

La polarisation du champ électromagnétique rayonné par l'antenne est donnée par la direction du champ électrique **E**. Si **E** maintient une direction constante dans le temps, on dit que l'on a une polarisation linéaire, si la direction change dans le temps, si, en un point donné, on trace la position continue de **E**, représentant un cercle ou une ellipse à la fin du vecteur. Ensuite, nous disons quel champ de rayonnement est une polarisation circulaire ou une polarisation elliptique.

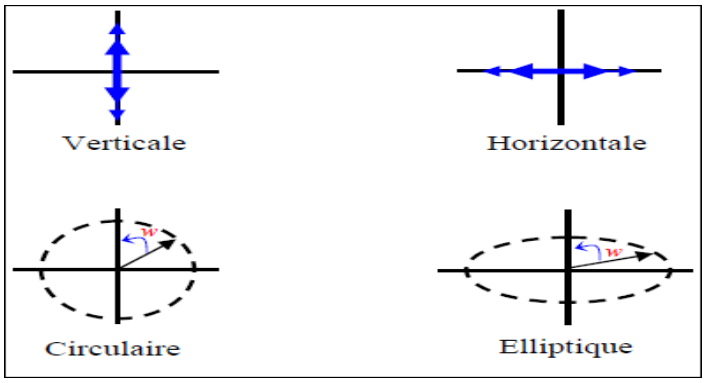
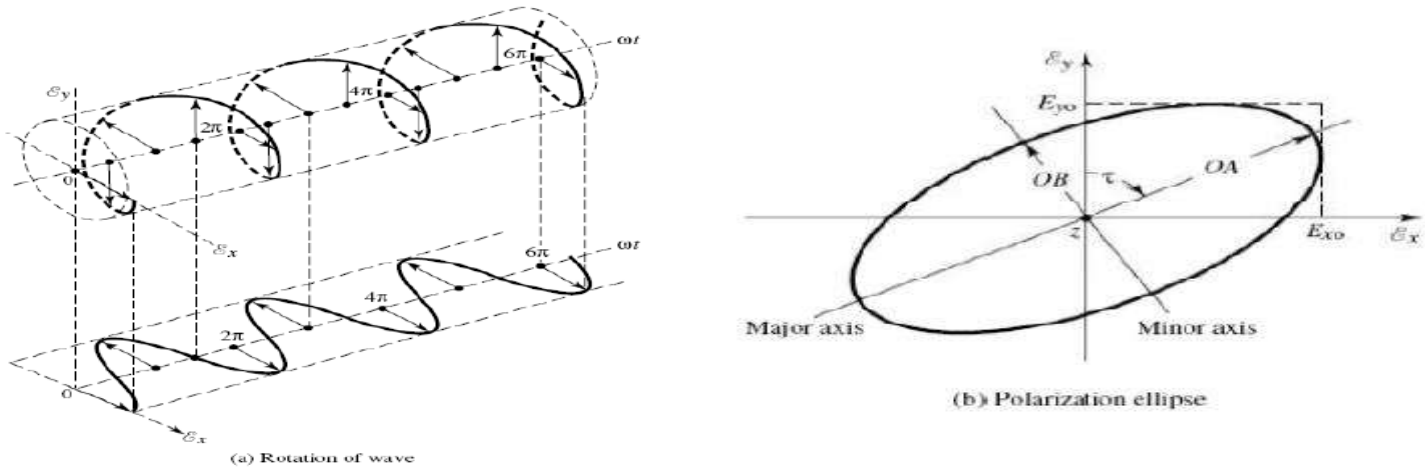


Figure I.3 : Polarisation du champ électromagnétique [4].



FigureI.4 : Polarisation des ondes électromagnétiques **EM** [4].

I.9 Equations de Maxwell

Toutes les équations électromagnétiques sont incluses dans les équations de Maxwell. L'expression des équations de Maxwell aide à fournir un cadre plus mathématique pour la discussion précédente. En réalité ces équations sont des postulats qui veulent dire qu'elles ne se démontrent pas.

I.9.1 Présentation des équations de Maxwell

La distribution des champs électriques et magnétiques dans l'espace générés par une charge donnée et une distribution de courant peut être déterminée en résolvant les équations de Maxwell. Ils aident également à déterminer comment les ondes électromagnétiques se propagent dans l'espace. Pour les milieux homogènes et isotropes (cas général de la propagation en espace libre ou du guidage), ceux-ci sont donnés par des équations. Ci-dessous :

I.9.2 Les équations de Maxwell

« Toutes les forces électromagnétiques sont contenues dans les équations de Maxwell » L'expression des équations de Maxwell permet de donner un cadre un peu plus mathématique à la discussion précédente.

La distribution des champs électriques et magnétiques dans l'espace généré par une charge donnée et une distribution de courant peut être déterminée en résolvant les équations de Maxwell. Ils aident également à déterminer comment les ondes électromagnétiques se propagent dans

l'espace. Pour milieux homogènes et isotropes (cas général de la propagation en espace libre ou guidée), celles-ci sont données par les équations (I.2) à (I.5).

$$\text{div}\,\vec{D} = \rho \tag{I.2}$$

$$\text{div}\,\vec{B} = 0 \tag{I.3}$$

$$\overrightarrow{\text{rot}}\vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \tag{I.4}$$

$$\overrightarrow{\text{rot}}\vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \tag{I.5}$$

Avec :

ρ : Densité volumique de charge.

ε : Permittivité électrique (F/m). A noter :

ε0 : Permittivité diélectrique dans le vide (= 8.85e12), et

εr : Permittivité électrique relative telle que ε = ε0× εr.

μ : Perméabilité magnétique (H/m). A noter :

μ0 : Permittivité diélectrique dans le vide (= 4π.10-7), et

μr : Permittivité magnétique relative telle que μ = μ0× μr.

σ : Conductivité électrique du milieu (S/m).

I.10 Les paramètres de l'antenne

Une grandeur à trois grandeurs peut caractériser la façon dont l'antenne convertit la puissance électrique incidente en puissance électromagnétique rayonnée dans une direction spécifique. Le gain et la directivité permettent de comparer les performances de l'antenne avec une antenne de référence (c'est-à-dire une antenne isotrope).

I.10.1 Directivité

La directivité D (θ, φ) d'une antenne dans une direction (θ, φ) est la puissance rayonnée dans une direction donnée P (θ, φ) et la puissance qu'une antenne isotrope va rayonner [4].

$$D(\theta,\varphi) = \frac{P(\theta,\varphi)}{\frac{P_R}{4\pi}} = 4\pi\frac{P(\theta,\varphi)}{P_R} \tag{I.6}$$

I.10.2 Gain

Le gain de l'antenne dans la direction (θ, φ) G (θ, φ) est le rapport entre la puissance rayonnée [12]**.** La puissance dans une direction donnée P (θ, φ) va rayonner une antenne isotrope sans perte. De manière générale, le gain G correspond au gain dans la direction maximale du rayonnement (θ0, φ0). Cette caractéristique caractérise la capacité de l'antenne à focaliser la puissance rayonnée dans une direction.

$$G(\theta,\varphi) = 4\pi \frac{P(\theta,\varphi)}{P_A} \Rightarrow G = 4\pi \frac{P(\theta_0,\varphi_0)}{P_A} \quad \text{(I.7)}$$

Si l'antenne est omnidirectionnelle et sans perte, son gain est de 1 ou 0 **dB**. Le gain est généralement exprimé en **dB** ou en **dBi** car une antenne isotrope est utilisée comme référence. Lorsqu'on utilise une antenne dipôle comme référence, on retrouve parfois le gain exprimé en **dBd.**

I.10.3 Rendement

Le rendement **η** de l'antenne reflète sa capacité à transmettre la puissance à l'entrée **PA** sous forme de puissance rayonnée **PR**. Elle est définie comme le rapport de la puissance totale rayonnée par l'antenne à la puissance qui lui est fournie. Le rendement est lié aux pertes dans le réseau de polarisation et l'élément rayonnant. On voit que l'efficacité relie le gain et la directivité.

$$P_R = \eta \cdot P_A \Rightarrow G = \eta \cdot D \quad \text{(I.8)}$$

I.10.4 Lien entre gain et angle d'ouverture

Intuitivement, on voit que le gain dépend de l'ouverture de l'antenne. Plus le gain de l'antenne est grand, plus l'angle d'ouverture du lobe principal est petit, comme le montre le résultat suivant.

$$G = \eta . 4\pi \frac{P(\theta_0,\varphi_0)}{P_R} \text{ et } P_R = \int_0^{4\pi} P(\theta,\varphi)\mathrm{d}\Omega = \int_0^{4\pi} r(\theta,\varphi)P(\theta_0,\varphi_0)d\Omega$$
$$G = \eta \cdot \frac{4\pi}{\int_0^{4\pi} r(\theta,\varphi)d\Omega} \quad \text{(I.9)}$$

Puissance rayonnée isotrope équivalente **(PIRE)** La puissance rayonnée isotrope équivalente (**PIRE** ou en anglais **EIRP**) d'antenne est un terme souvent utilisé en

télécommunications (principalement utilisé pour le bilan de liaison), qui définit la puissance qui doit être amenée dans la direction du rayonnement maximum.

$$\mathrm{PIRE} = \mathrm{G} \times \mathrm{PA} \tag{I.10}$$

I.10.5 Bande passante et facteur de qualité

La bande passante de l'antenne correspond à la bande de fréquence où la transmission d'énergie de l'alimentation à l'antenne (ou de l'antenne au récepteur) est la plus importante. La bande passante peut être définie en fonction du coefficient de réflexion, à condition que le diagramme de rayonnement ne change pas dans cette bande de fréquence. Il n'y a pas de norme spécifique pour la limitation du coefficient de réflexion. Le coefficient de réflexion de la bande passante est inférieur à la norme typique de -10 **dB** ou -15 **dB**.

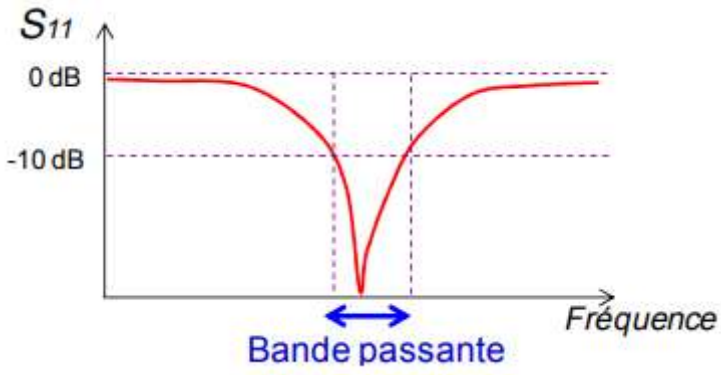


Figure I.5 : la courbe d'une bande passante et coefficient de réflexion [4].

D'un point de vue électrique, nous avons vu que l'antenne peut être vue comme un circuit résonant **RLC.** La bande passante **BW** (bande passante à une valeur de champ de 3 **dB**) est liée au facteur de qualité **Q** du circuit **RLC**. Le facteur de qualité de fréquence représente la quantité de résistance présente pendant la résonance.

$$Q = \frac{f_{\mathrm{Res}}}{BW}$$
$$\frac{1}{Q} = \frac{R_{\mathrm{ant}}}{2\pi f_{\mathrm{Res}} \cdot L_{\mathrm{ant}}} \tag{I.11}$$

Les antennes avec un facteur de qualité élevé rayonnent très efficacement à la fréquence de rayonnement dans une bande de fréquence très étroite, ce qui permet de limiter les interférences hors bande. Cependant, si la bande passante est trop étroite, tout signal envoyé ou reçu à proximité du terminal dans la bande de fréquence de fonctionnement sera atténué. Une antenne avec un faible

facteur de qualité est une antenne à large bande, mais elle collectera du bruit dans la bande de fréquence de travail, réduisant ainsi la qualité du signal reçu.

I.10.6 L'adaptation (VSWR)

Pour que l'antenne fonctionne efficacement, la puissance de transmission maximale doit se situer entre l'émetteur et l'antenne [5]. Ce genre de transmission n'arrive pas que s'il y'a adaptation entre l'impédance de l'antenne (**Zin**) et celle de l'émetteur (**Zs**). Selon le théorème de transfert de puissance maximale, cette dernière peut être transféré que si l'impédance de l'émetteur est un conjugué complexe de l'impédance de l'antenne et vice-versa. Ainsi, la condition pour la correspondance est la suivante :

$$\mathrm{Zin} = Z^{*}s$$

OU $$Z_{\mathrm{in}} = R_{\mathrm{in}} + \mathrm{jX_{in}}$$

$$Z_s = R_s + \mathrm{jX}_S \qquad \text{(I.12)}$$

Si cette condition n'est pas satisfaite, et une partie de la puissance est réfléchie, cela conduit à la création d'ondes stationnaires, qui peut être caractérisé par un paramètre appelé le rapport d'ondes stationnaires de tension (Voltage Standing Wave Ratio : **VSWR**). Le **VSWR** est donné par Makarov [5] par :

$$\mathrm{VSWR} = \frac{1-\boldsymbol{\Gamma}}{1+\boldsymbol{\Gamma}} \qquad \text{(I.13)}$$

$$\Gamma = \frac{\mathrm{Vr}}{\mathrm{Vi}} = \frac{\mathrm{Z_{in}} - \mathrm{Z_S}}{\mathrm{Z_{in}} + \mathrm{Z_S}} \qquad \text{(I.14)}$$

Ou ; Γ : est appelé le coefficient de réflexion.

V_r : est l'amplitude d'onde réfléchie.

V_i : est l'amplitude d'onde incidente.

I.11Caractéristiques des antennes

Quelle que soit la fréquence de fonctionnement de l'antenne, quelle que soit sa structure physique, le rayonnement de l'antenne a des caractéristiques communes. Le but de ce chapitre est de les présenter. Ces caractéristiques devraient permettre de répondre aux questions suivantes : Comment l'antenne rayonne-t-elle la puissance qui lui est fournie dans l'espace ? Dans quelle (s) direction (s) ? Avec quelle efficacité se fait le transfert d'énergie entre la puissance d'émission et la puissance rayonnée ? Et comment l'antenne rayonne-t-elle à partir de quelle bande de fréquence quelles caractéristiques l'antenne a-t-elle sur les ondes électromagnétiques émises ? Bien que les propriétés des antennes caractéristiques restent-elles les mêmes, qu'elles soient utilisées en émission ou en réception ?

I.12 Onde électromagnétique – Propagation des ondes

A partir des équations de Maxwell, La distribution spatiale des champs électriques et magnétiques générés par la source peut être déterminée. Le couplage formé par les champs électriques et magnétiques forme des ondes électromagnétiques. Ce terme vient du fait qu'en raison de la connexion entre ces deux domaines, ils acquièrent progressivement tout le milieu environnemental ou de propagation, comme une onde formée sur le lac, dans laquelle on jettera une pierre. Nous allons commencer par donner quelques éléments de démonstration succincts de ce comportement.

I.12.1 Propriétés d'une onde électromagnétique plane

Nous allons essayer de donner une image de l'onde électromagnétique générée par l'équation de propagation dans le mode sinusoïdal. On pense que l'onde se propage selon l'axe **z** à distance de la source, l'onde est une onde plane locale, A partir des équations de Maxwell, il est possible de montrer les propriétés suivantes :

- Les champs **E** et **H** sont perpendiculaires à la direction de propagation. Par conséquent, ils sont contenus dans le plan d'onde. C'est ce qu'on appelle l'onde transversale électromagnétique (onde **TEM**).
- Les champs **E**, **H** et la direction de propagation forment un trièdre direct.
- Par conséquent, les champs **E** et **H** sont perpendiculaires l'un à l'autre.
- Dans le cas du milieu de propagation et sans perte, les champs **E** et **H** sont en phase et reliés entre eux par l'équation.

I.12.2 Onde de surface

En physique, une onde de surface est une onde mécanique qui se propage le long de l'interface entre différents milieux. Un exemple courant est celui des ondes de gravité le long de la surface des liquides, telles que les vagues océaniques. Les ondes de gravité peuvent également se produire au sein des liquides, à l'interface entre deux fluides de densités différentes.

Les ondes de surface élastiques peuvent voyager le long de la surface des solides, comme les ondes de Rayleigh ou de Love. Les ondes électromagnétiques peuvent également se propager comme des « ondes de surface » en ce sens qu'elles peuvent être guidées avec un gradient d'indice de réfraction ou le long d'une interface entre deux milieux ayant des constants diélectriques différents. En transmission radio, une onde de sol est une onde guidée qui se propage près de la surface de la Terre [3].

I.12.2.1 Caractéristiques des ondes de surface

Les caractéristiques des ondes de surface générées par :

1. Les mesures de vitesse de groupe et d'amplitude spectrale varient fortement dans la région étudiée, mais présentent une systématique compréhensible liée aux caractéristiques tectoniques connues.

2. Les mesures de vitesse de groupe et d'amplitude spectrale à travers le réseau **KNET** sont généralement similaires à des périodes supérieures à 10 s, mais les différences sont frappantes à des périodes plus courtes. Les méthodes d'empilement dépendant de la cohérence de la forme d'onde sur le réseau ne devraient réussir qu'à des périodes supérieures à 10 s pour ce réseau à grande échelle.

3. Les mesures de vitesse de groupe pour les tremblements de terre et les explosions nucléaires qui partagent un chemin d'onde commun concordent bien, mais les amplitudes spectrales diffèrent sensiblement, en particulier pour les ondes de Rayleigh. En règle générale, les spectres sismiques sont enrichis sur des périodes plus longues (12 à 20 s) par rapport aux spectres d'explosion pour des événements de même magnitude.

4. Des modes supérieurs sont observés sur les diagrammes fréquence-temps pour les ondes de Rayleigh générées par les séismes, mais ne sont pas observés pour les explosions.

5. Le multi trajet est observé à la fois dans les diagrammes fréquence-temps et dans les analyses de polarisation, mais, encore une fois, il est qualitativement compréhensible en termes de

caractéristiques structurelles connues. En particulier, la canalisation des ondes d'Amour par le bassin du Tarim est documentée.

6. Des ondes Love de grande amplitude sont générées par des explosions nucléaires à Lop Nor, indiquant une libération tectonique importante.

I.12.2.2 La propagation d'onde de surface

Les ondes de surface se propagent le long de frontières parallèles à la surface de la Terre, le mouvement des ondes étant confiné en grande partie au voisinage de la surface libre. Les ondes de surface sont les arrivées les plus importantes sur la plupart des enregistrements sismiques de longue période de tremblements de terre peu profonds Pour les médias stratifiés homogènes, il y aura deux principaux types d'ondes de surface, les ondes de Rayleigh et les ondes d'Amour, nommées respectivement d'après Lord Rayleigh et A. E. H. Love qui ont été les premiers à traiter les types respectifs de mouvement associés à chaque onde.

Le traitement mathématique complet des ondes de surface, en particulier dans des conditions de « terre réelle », est extrêmement complexe et dépasse de loin la portée d'un article de cette longueur. Le lecteur trouvera des mathématiques plus que suffisantes dans l'un des textes standard sur la propagation des ondes sismique.

I.13 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons traité le concept d'un antenne et son rôle ,antenne d'émission, antenne de réception et la réciprocité ;et ses types et domaines d'application et l'importance des équations de **MAXWELL** pour la compréhension des phénomènes de propagation ,les caractéristiques de base de toutes les antennes tel que le gain ,rendement ,impédance d'entrée et le diagramme de rayonnement...etc. qui devient être acquises pour se lancé dans n'importe quelle étude des antennes, c'est des notions fondamentales.

Chapitre II :

Notions de base sur l'antenne microruban et les cristaux photonique

II.1 INTRODUCTION

Dans les applications d'avions, d'engins spatiaux, de satellites et de missiles hautes performances, la taille, le poids, le coût, les performances, la facilité d'installation et la voilure sont limités et des bas d'antenne de forme peuvent être nécessaires. Il existe de nombreuses autres applications gouvernementales et commerciales, telles que la radio mobile et les communications sans fil, qui ont des spécifications similaires. Afin de répondre à ces exigences, des antennes microruban peuvent être utilisées [14].

Ces antennes sont de profil bas, conformes aux surfaces planes et non planes, sont simples et peu coûteuses à fabriquer en utilisant la technologie moderne des circuits imprimés, sont mécaniquement robustes et montées sur des surfaces rigides, sont compatibles avec les conceptions **MMIC** et lors de la sélection de formes de patch spécifiques et motifs, ils sont très polyvalents en termes de fréquence de résonance et de polarisation, de motif et d'impédance. De plus, en ajoutant des charges entre le patch et la couche de sol, telles que des broches et des varactors, des composants adaptatifs avec différentes fréquences de résonance, impédances, biais et modes peuvent être conçus.

Les ondes de surface se propagent à travers le substrat et se dispersent au niveau des discontinuités courbes et de surface, telles que la troncature diélectrique et du plan de masse, et réduisent le diagramme d'antenne et les caractéristiques de polarisation. En utilisant des cavités, les ondes de surface peuvent être éliminées tout en maintenant une large bande passante. L'empilement de composants microruban et d'autres méthodes peuvent également être utilisés pour augmenter la bande passante.

De plus, les antennes microruban présentent également des caractéristiques électromagnétiques supérieures à certaines fréquences en dehors de la bande de fonctionnement, sont physiquement assez grandes aux fréquences **VHF** et éventuellement **UHF**, et dans les grands réseaux, il existe un compromis entre la bande passante et le volume de balayage.

Le concept de "cristal photonique" a été proposé pour la première fois en 1987, grâce à E. Yablonovitch et S. John pour supprimer l'émission spontanée de lumière. Le premier cristal photonique a été fabriqué en 1991. Un cristal photonique est une structure dont l'indice de réfraction change périodiquement dans une, deux ou trois dimensions Figure (II.1).

Ce milieu périodique produit un effet similaire au potentiel périodique des électrons du cristal sur la lumière se propageant dans le cristal photonique. Tout comme les électrons ont des bandes de conductions et des bandes interdites, il existe également des bandes de photons de

conductions et des bandes de photons interdites. La bande photonique de conductions correspond au mode se propageant dans le cristal photonique. La bande interdite photonique "**BIP**" est aussi appelée le gap, qui correspond à l'intervalle d'énergie où la propagation de la lumière est interdite dans certaines directions du cristal photonique.

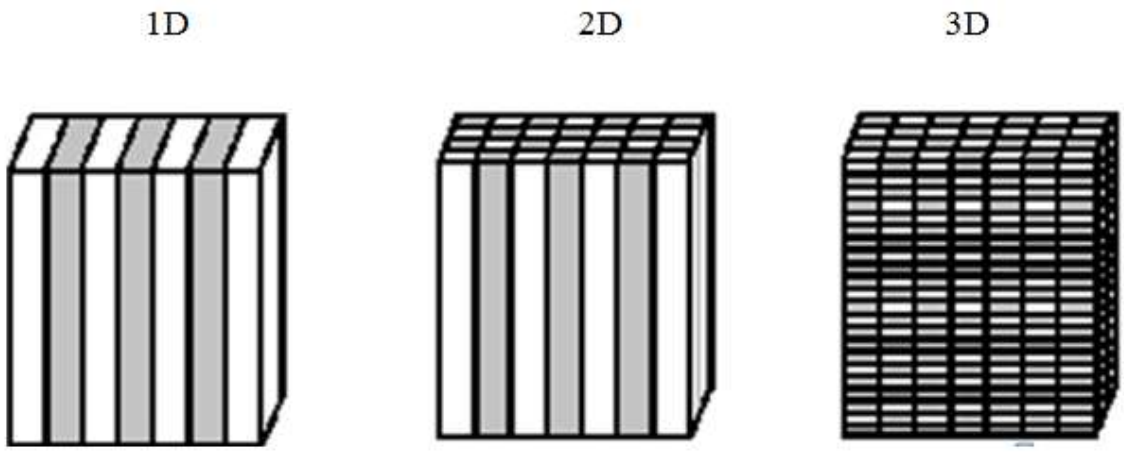


Figure II.1 : Le diagramme de principe de l'arrangement de l'onde unidimensionnelle (**1D**), bidimensionnelle (**2D**) et tridimensionnelle (**3D**) cristaux photoniques tridimensionnels [15].

II.2 Les antennes microruban

Les antennes microruban ont reçu une attention considérable depuis les années 1970, bien que l'idée des antennes microruban remonte aux brevets de 1953 et 1955 [14]. Comme le montre la Figure II.1, l'antenne microruban est constituée d'une bande métallique très fine (**t** λ**0**, où λ**0** est la longueur d'onde dans l'espace libre) (patch), placée dans une onde (**h** << λ**0**, généralement (0,003 ≤ **h** ≤0,05λ**0**) au-dessus du niveau du sol. La conception du patch micro ruban rend son plus grand motif perpendiculaire au patch (dissipateur thermique large). Ceci est réalisé en sélectionnant correctement le mode d'excitation (configuration de champ) sous le patch. Le rayonnement de fin de feu peut également être obtenu par une sélection judicieuse du mode. Pour les patchs rectangulaires, la longueur **L** de l'élément est généralement λ**0** / 3 < **L** < λ**0**/2. La bande et le plan de masse sont séparés par une feuille diélectrique (appelée substrat), comme le montre la figure II.2.

Il existe de nombreux substrats qui peuvent être utilisés pour la conception d'antennes micro ruban, et leurs constantes diélectriques sont généralement de l'ordre de 2,2≤ ε**r** ≤12. Ceux

qui sont les plus souhaitables pour de bonnes performances d'antenne sont des substrats épais dont le constant diélectrique est dans la partie inférieure de la plage car ils offrent une meilleure efficacité, une plus grande bande passante, des champs lâchement liés pour le rayonnement dans l'espace, mais au détriment d'une plus grande taille d'élément. Des substrats minces avec des constantes diélectriques plus élevées sont souhaitables pour les circuits micro-ondes car ils nécessitent des champs étroitement liés pour minimiser le rayonnement et le couplage indésirables, et conduisent à des tailles d'éléments plus petites ; cependant, en raison de leurs pertes plus importantes, ils sont moins efficaces et ont des bandes passantes relativement plus petites.

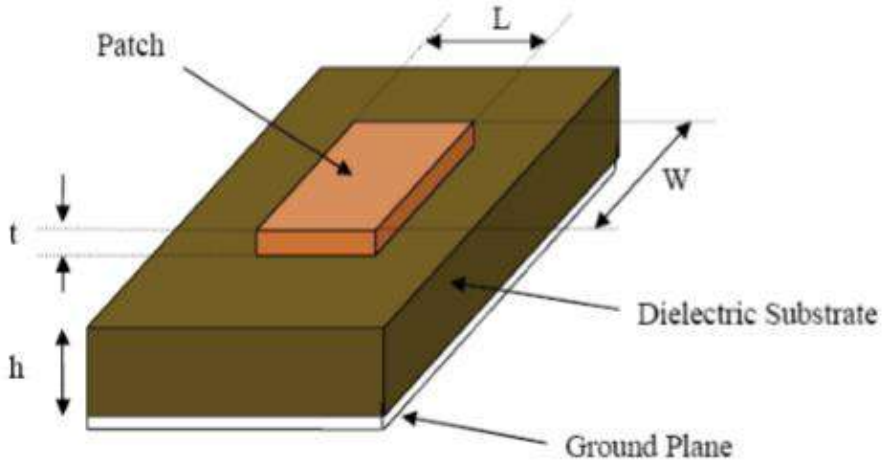


Figure II.2 Structure de l'antenne patch microruban [16].

Les antennes microruban étant souvent intégrées dans d'autres circuits hyperfréquences, un compromis doit être trouvé entre les bonnes performances de l'antenne et la conception du circuit. Généralement, l'antenne microruban est également appelée antenne patch. L'élément rayonnant et la ligne d'alimentation sont généralement gravés par lithographie sur le substrat diélectrique. Le patch rayonnant peut être carré, rectangulaire, en bande mince (dipôle), circulaire, elliptique, triangulaire ou toute autre configuration. En raison de la facilité d'analyse et de fabrication et de leurs caractéristiques de rayonnement attrayantes, en particulier un faible rayonnement à polarisation croisée, ceux-ci et d'autres sont illustrés à la Figure II.3. Les carrés, les rectangles, les dipôles (barres) et les cercles sont les plus courants.

Les dipôles microruban sont attrayants car ils ont intrinsèquement une bande passante élevée et occupent moins d'espace, ce qui les rend attrayants pour les réseaux [14]. Les polarisations linéaires et circulaires peuvent être obtenues avec des éléments simples ou des réseaux d'antennes micro ruban. Des réseaux d'éléments microruban, avec des alimentations simples ou multiples, peuvent également être utilisés pour introduire des capacités de balayage et obtenir de plus grandes directivités.

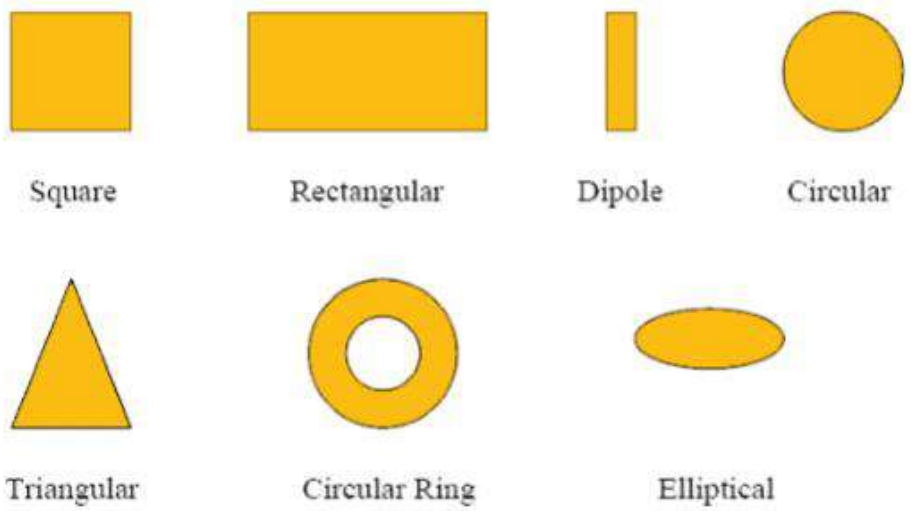


Figure II.3 Formes courantes des éléments de patch microruban [16].

Le rayonnement de l'antenne patch microruban est principalement dû au champ de franges entre le bord du patch et le plan de masse. Afin d'obtenir de bonnes performances d'antenne, il est préférable d'utiliser un substrat diélectrique épais avec une faible constante diélectrique, car cela peut fournir une meilleure efficacité, une plus grande bande passante et un meilleur rayonnement. Cependant, cette configuration entraîne une plus grande taille d'antenne. Afin de concevoir une antenne patch à bande miniature compacte, un substrat avec un constant diélectrique plus élevée doit être utilisé, ce qui est moins efficace et a une bande passante étroite. Par conséquent, un compromis doit être fait entre la taille de l'antenne et les performances de l'antenne.

II.3 Avantages et inconvénients

Les antennes patch microruban sont de plus en plus utilisées dans les applications sans fil en raison de leur faible structure. Par conséquent, il est très compatible avec les antennes intégrées

dans les appareils sans fil portables (tels que les téléphones portables, les téléavertisseurs, etc.). Les antennes de télémétrie et de communication des fusées doivent être minces et compatibles, généralement sous la forme d'antennes patch à cordon de raccordement Micros. Un autre domaine où il a été utilisé avec succès est celui des communications par satellite. Voici quelques-uns des principaux avantages, notamment Kumar et Ray [17].ont discuté :

- Léger et moins volumineux.
- Faible coût de fabrication, donc peut être fabriqué en grandes quantités.
- Prend en charge la polarisation linéaire et circulaire.
- Configuration plane à profil bas qui peut être facilement assortie à la surface hôte.
- Peut être facilement intégré aux circuits intégrés micro-ondes (**MIC**).
- Capable d'opérations à double et triple fréquence.
- Mécaniquement robuste lorsqu'il est installé sur des surfaces rugueuses.

Les antennes patch microruban présentent plus d'inconvénients par rapport aux antennes conventionnelles. Voici quelques-uns de ses principaux inconvénients :

- Bande passante étroite
- Faible efficacité
- Faible gain
- Capacité de traitement de faible puissance.
- Excitation des ondes de surface
- Rayonnement intrus de l'alimentation et des connexions
- Radiateur coupe-feu inférieur sauf pour les antennes coniques

L'antenne patch microruban a un facteur de qualité d'antenne **(Q)** très élevé. Il représente la perte associée à l'antenne, où un grand **Q** conduit à une bande passante étroite et à une faible efficacité. Le **Q** peut être réduit en augmentant l'épaisseur du substrat isolant. Mais à mesure que l'épaisseur augmente, de plus en plus de l'énergie totale fournie par la source est utilisée pour les ondes de surface.

II.4 Application des antennes microruban

Les antennes de télémétrie et de communication des missiles nécessitent des antennes microruban.

- Les altimètres radar utilisent de petits réseaux de radiateurs microruban.
- Systèmes d'imagerie par satellite.
- Le système mondial de communications mobiles (**GSM**) et le système de positionnement global (**GPS**) sont deux des principales utilisations de la bande microruban.

II.5 Cristaux photoniques

II.5.1 Les cristaux photoniques unidimensionnels CPs-1D : Miroirs de Bragg

Cristal photonique unidimensionnel **CP-1D**, également appelé "miroir de Bragg" comme le montre la figure II.4, il s'agit d'une série de couches d'indices de réfraction différents, empilées périodiquement. Le comportement du réflecteur de Bragg s'explique par de multiples processus d'interférence. Comme le montre la figure II.5, les ondes se propageant dans la couche continue seront réfléchies à chaque interface. Si l'onde devient plus faible de modérée, cette réflexion s'accompagne d'un changement de phase **π**.

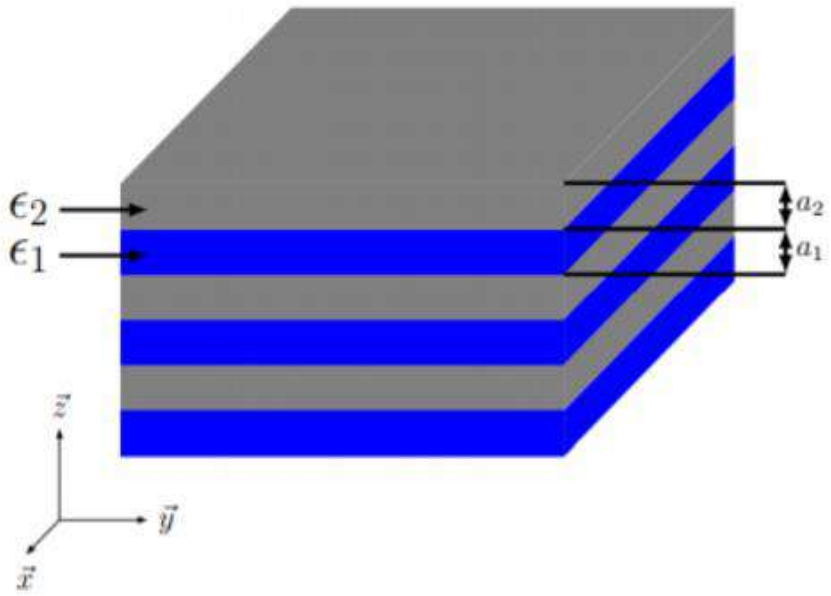


Figure II.4 : Image miroir de Bragg composée d'un empilement de couches épaisseur a1 et a2 avec des permittivités différentes **ε**1 et **ε**2 (**ε**1 > **ε**2) [15].

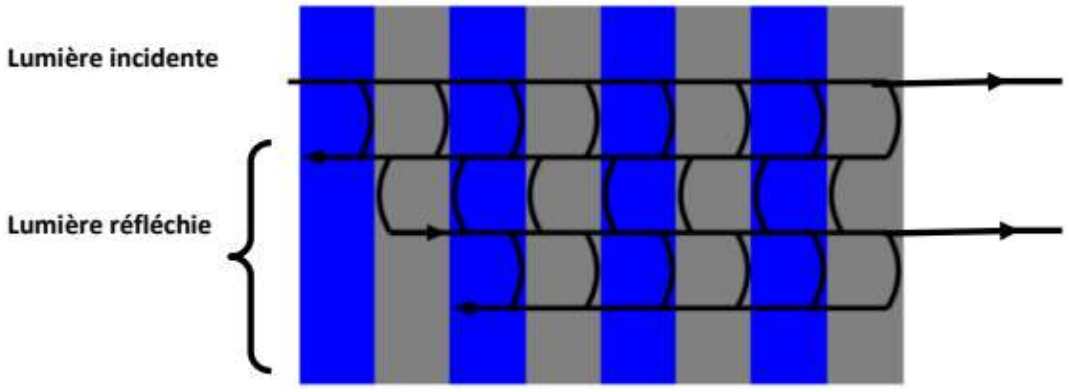


Figure II.5 : Schéma de principe de l'interface d'onde réfléchie par chaque dioptrie [15].

II.5.1.1 propriétés géométriques et physiques d'un CPs-1D

Les cristaux photoniques unidimensionnels **(CP-1D)** se caractérisent par les différents matériaux qui le composent [19], le système qui organise ces matériaux et le volume relatif qu'ils occupent dans l'unité de base du cristal. Les quantités représentatives de ces différentes propriétés sont :

A. Contraste d'indice

Rapport entre les indices des deux matériaux, qui peut être comparé à la hauteur de la barrière de potentiel de la physique solide.

$$\delta = \frac{n_h}{n_1} \qquad \text{(II.1)}$$

Avec :

n_h : L'indice de réfraction du matériau de haut indice.

n_1: L'indice de réfraction du matériau de bas indice.

B. La Période

Ces paramètres géométriques, choisis selon le domaine de fréquence étudié, influent sur les caractéristiques de la bande interdite photonique. La période **a** = (**a1**+ **a2**) avec **a1** l'épaisseur de la couche de permittivité **ε1** et **a2** l'épaisseur de la couche de permittivité **ε2** figure II.6.

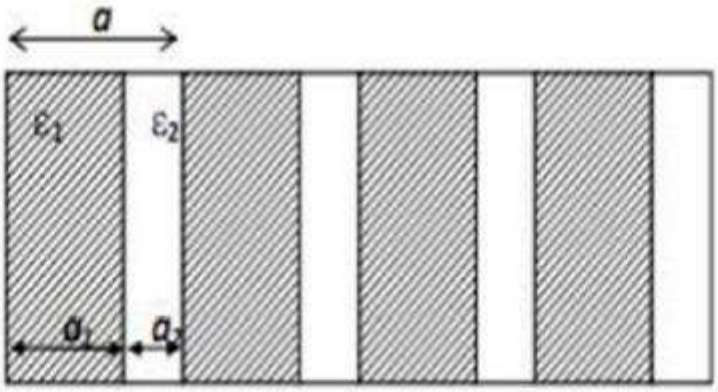


Figure II.6 Périodes d'un cristal photonique unidimensionnel. [15].

C. Facteur de remplissage

Peut être comparé à la largeur du potentiel périodique. S'il est pris pour le matériau de haut indice par exemple, il est définit comme le rapport entre le volume occupé par ce matériau dans la cellule élémentaire du cristal et le volume de cellule de cette dernière.

$$ƒ = \frac{v_i}{\Lambda} \quad \text{(II.2)}$$

Avec

v_i: Volume occupé par le matériau de permittivité εi

Λ : Volume de la cellule.

II.5.2 Cristaux photoniques à deux dimensions

Pour les cristaux photoniques bidimensionnels (**CP-2D**), il existe une symétrie de translation dans les deux directions x et y Supposons une grille carrée avec une somme vectorielle de grille. Le vecteur du réseau de réciprocité est L'existence d'autres symétries de rotation permet de réduire la zone de Brillouin à un triangle défini entre les angles **Γ, M** et **X**, comme le montre la figure II.7.

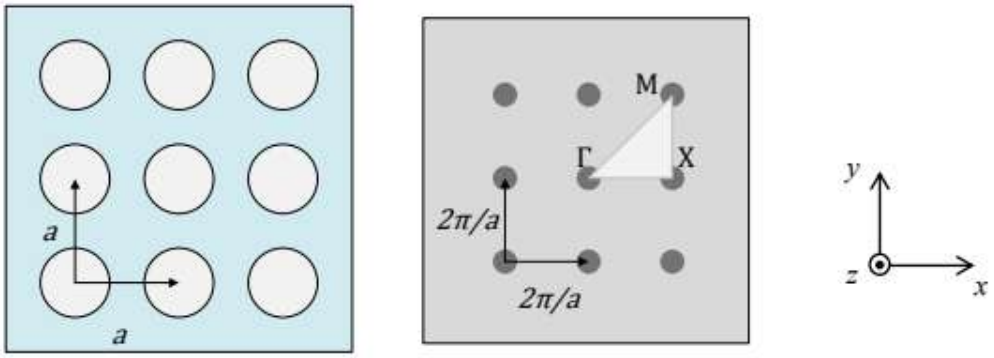


Figure II.7 Gauche : Cristal photonique à deux dimensions. Droite : Réseau réciproque et zone de Brillouin [19].

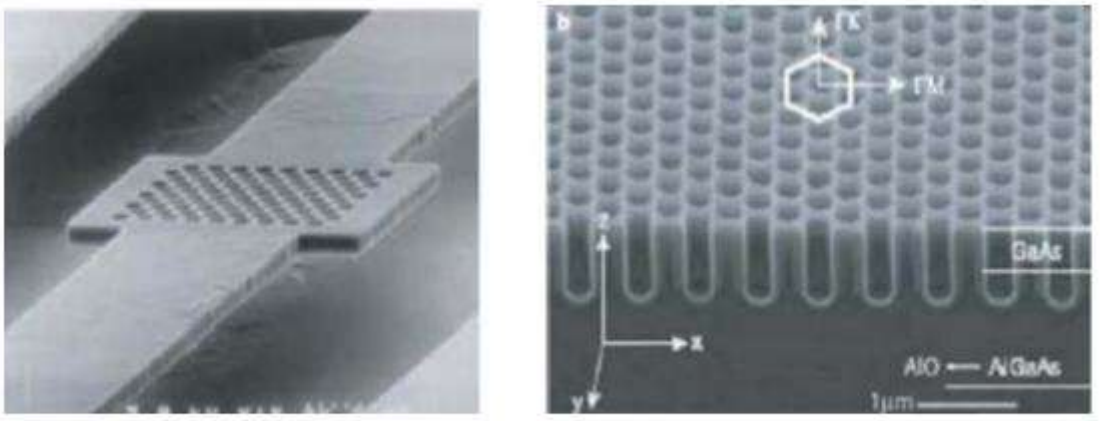
Ce type de cristal photonique est généralement utilisé avec un faisceau se propageant dans le plan **xy**. Lorsque le faisceau est perpendiculaire au cristal photonique (parallèle à z), nous définissons l'angle à 0°. Lorsque le faisceau est parallèle au plan (parallèle à x), l'angle est défini comme 90°. Par conséquent, les composantes parallèles au plan du vecteur d'onde vont de Γ à X. Par conséquent, la mesure d'angle permet de suivre la structure de bande des cristaux photoniques. Plus précisément, le type de cristal photonique que nous utilisons est suspendu [20]. Il est périodique dans les deux sens et très fin dans l'autre sens. Il existe des bandes interdites photoniques dans le plan et la couche mince permet de confiner les modes en ***z*** par réflexion totale interne.

II.5.2.1 Propriétés géométriques et physiques d'un CPs-2D

A. contraste d'indice

A.1.Fort contraste d'indice (approche membrane)

Les confinements à fort contraste d'indice sont généralement obtenus à l'aide d'une membrane semi-conductrice suspendue dans l'air, une couche de **Si** déposée sur **Si O2** ou encore une couche **Ga As** de déposée sur **A Lx Oy** (Figure II.8) [21].



(a) (b)

Figure II.8 : Exemples de cristaux photoniques planaires bidimensionnels à fort contraste d'indice vertical : (**a**) L'épaisseur du film en suspension dans l'air est de 270 nm, (**b**) Cristal photonique planaire à trou profond ≈ 0,5 μm, partiellement gravé dans la couche **A Lx Oy** [22 , 23].

Un fort contraste d'indice permet un bon confinement vertical de la lumière et limite les pertes de propagation. De plus, la profondeur nécessaire des trous est plus petite que dans le cas des faibles contrastes d'indice (quelques centaines de nanomètres au lieu de plusieurs micromètres), donc la gravure est plus facile. En revanche, ces structures sont plus fragiles (membranes suspendues dans l'air) et souffrent d'une mauvaise évacuation thermique qui peut poser des problèmes pour certaines applications comme les lasers.

A.2.Faible contraste d'indice (approche substrat)

Si la différence d'indice entre les deux milieux est faible (Δn≈ 0,1 - 0,2), on parle d'approche substrat. Dans ce cas, le confinement vertical est faible et les pertes de propagation peuvent être importantes dans certaines situations. L'épaisseur de la couche guidante doit être relativement importante (supérieure au micromètre) pour conserver un guidage monomode.

B. Facteur de remplissage f

Pour le réseau bidimensionnel, le facteur de remplissage en air f désigne le rapport entre l'aire du motif (ici un disque) et l'aire de la cellule élémentaire du réseau considéré [24], [25].

$$f = \frac{A_{motif}}{A_{maille\ élémentaire}} \qquad \text{(II.3)}$$

Avec

A_{motif} : L'aire du motif.

$A_{mail\ élémentaire}$: L'aire de la cellule élémentaire du réseau considéré.

II.5.3. Les cristaux photoniques tridimensionnels (CPs-3D)

Les cristaux photoniques tridimensionnels (**CPs-3D**) suscitent encore beaucoup d'intérêt. Ce sont des structures tridimensionnelles périodiques qui suivent trois directions dans l'espace. Il existe un grand nombre de structures possibles. Le premier cristal photonique tridimensionnel a été fabriqué par S. Y. Lin et al. Il se compose de billes de silicium disposées dans une structure en losange. En 1993, E. Yablonovitch a réalisé un cristal photonique **3D** en perçant chaque trou dans un morceau de plexiglas à trois angles d'azimut distants de 120° (Figure II.9) [26]. Ce cristal photonique est nommé « Yablonovite » d'après son inventeur. Grâce à ce cristal photonique, le concept de la bande interdite photonique est prouvé par des expériences pour la première fois. De nombreuses méthodes de fabrication de cristaux photoniques tridimensionnels ont été proposées FigureII.10 [26].

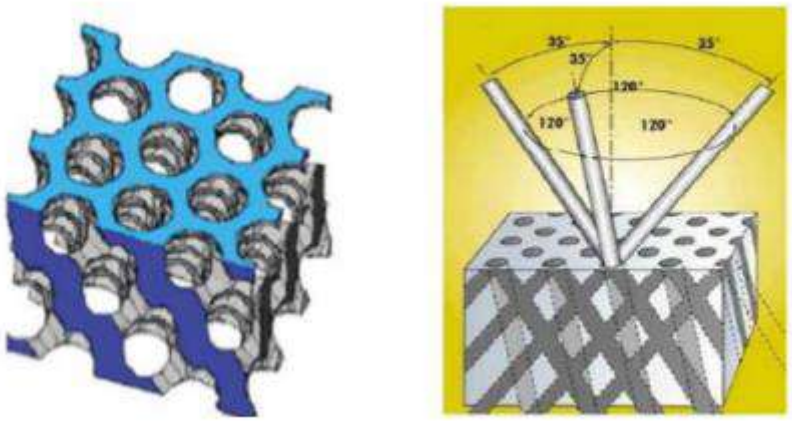


Figure II. 9 La première structure **BIP 3D** : La Yablonovite [27].

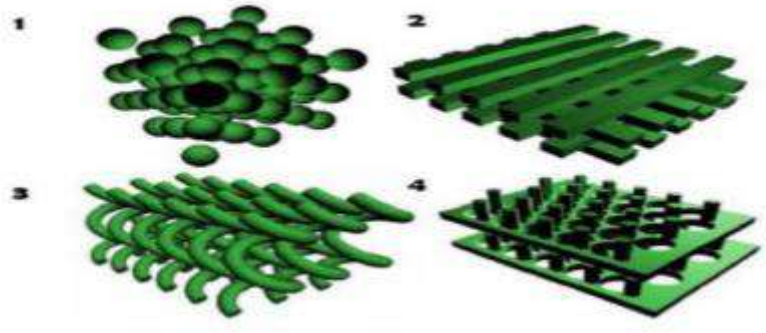


Figure II.10 Exemples des structures artificiels **3D** : Structure cubique, tas de bois, structure spirale, diamant [21].

II.5.4 Description du montage

Le but est d'envoyer l'onde incidente sur le cristal photonique et de collecter les faisceaux réfléchis et transmis, puis de mesurer leurs longueurs d'onde spectrales. La taille du faisceau incident ne doit pas dépasser le bord du cristal photonique. Pour les cristaux photoniques en Rogers RT5880, la longueur d'onde d'intérêt est la longueur d'onde visible dans la plage de 0.107 à 0.125 mm. Plusieurs méthodes peuvent être envisagées pour obtenir un tel spectre.

La source lumineuse peut être un laser accordable ou une source lumineuse à large bande. Avec un laser accordable, il suffit d'utiliser le détecteur spot photo. La source large bande peut être utilisée comme source accordable en combinaison avec un monochromateur. La solution retenue est une source large bande utilisée avec un spectromètre et une caméra **CCD**.

Les avantages de cette méthode sont une haute résolution et une flexibilité dans la gamme de longueurs d'onde et la résolution.

II.6 Application des Cristaux photoniques

Les applications potentielles des matériaux à **BIP 2D** sont nombreuses : contrôle de l'émission spontanée dans les dispositifs, guides d'ondes rectilignes, faces miroir, guidage, démultiplexages, divisions, filtres, microcavités à grand facteur de qualité, effet de superprisme, diffraction, démultiplexages, divisions [28]...etc. On les trouve aussi généralement dans les antennes patch triangulaire micro ruban et spécialement dans les antennes patch microruban à cristaux photonique, Nous allons donc exposer brièvement quelques exemples d'utilisation de cristaux photoniques bidimensionnels.

- Cavité résonante.
- Guides d'ondes [29].
- Phénomène de superprisme.
- Filtre add / drop.
- DEMUX-coupler.

II.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons défini les concepts de base sur les antennes microruban et plus particulièrement les antennes micro ruban à cristaux photoniques. En premier lieu, nous avons défini l'antenne microruban puis leur avantage et incontinent après leur applications, en suite défini les cristaux photoniques unidimensionnels (**CPs-1D**) et sa propriétés géométriques et physique puis cristaux photoniques à deux dimensions (**CPs-2D)** puis tridimensionnels (**CPs-3D**). Nous avons terminé ce chapitre par de nombreuses applications potentielles telles que la cavité résonante, guide d'onde, phénomène de superprisme, filtre **add/drop**, et **DEMUX** qui peuvent en découler de ces matériaux.

Le chapitre suivant sera présente la simulation des antennes introduites à base de cristaux photoniques.

Chapitre III :

Analyse et étude des performances de l'antenne patch microruban à base de cristaux photonique

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, une antenne patch triangulaire microruban est analysée et simulée ses propriétés à l'aide de CST Studio Suite. Le design de l'antenne est de calculé la longueur de l'antenne patch triangulaire microruban. Le substrat fournit une résistance mécanique à la conception globale de l'antenne et les ondes de surface se propagent également à travers elle. Si nous changeons le matériau du substrat et l'épaisseur du substrat d'une antenne microruban, cela change les performances du système en changeant la constante diélectrique (εr).

Il existe une grande variété de matériaux de substrat pour la conception d'antennes patch microruban avec des propriétés mécaniques, thermiques et électriques attrayantes pour une utilisation dans des configurations d'antennes planes et conformes [30].

III.2 Présentation de logiciel utilisé

Le logiciel de simulation électromagnétique CST STUDIO SUITE® est l'aboutissement de nombreuses années de recherche et de développement dans les solutions de calcul les plus précises et les plus efficaces pour les conceptions électromagnétiques. Il comprend les outils de CST pour la conception et l'optimisation de dispositifs fonctionnant dans une large gamme de fréquences statique à optique. Les analyses peuvent inclure des effets thermiques et mécaniques, ainsi qu'une simulation de circuit.

CST STUDIO SUITE bénéficie d'un environnement de conception intégré qui donne accès à toute la gamme des solutions de résolution. L'assemblage et la modélisation du système facilitent la multi-physique et la Co-simulation ainsi que la gestion de systèmes électromagnétiques entiers CST STUDIO SUITE peut offrir des avantages considérables sur le marché, tels que des cycles de développement plus courts, le prototypage virtuel avant les essais physiques et l'optimisation au lieu de l'expérimentation. CST STUDIO SUITE comprend les modules suivants :

- CST MICROWAVE STUDIO® (**CST MWS**)
- CST EM STUDIO® (**CST EMS**)
- CST P ARTICLE STUDIO® (**CST PS**)
- CST PCB STUDIO® (**CST PCBS**)
- CST DESIGN STUDIO TM (**CST DS**)

Dans notre mémoire, on appuiera sur le CST MICROWAVE STUDIO® (**CST MWS**) et il est l'outil de pointe pour la simulation **3D** rapide et précise des appareils à haute fréquence et leader

du marché dans la simulation de domaine temporel. Il permet l'analyse rapide et précise des antennes, des filtres, des coupleurs, des structures planaires et multicouches et des effets **SI** et **CEM**, etc. [31].

III.3 L'antenne patch triangulaire microruban

Simulation de l'antenne patch triangulaire microruban en utilisant le logiciel **CST** studio, Pour concevoir une antenne patch micro ruban avec la ligne d'alimentation micro ruban, travaillez sur 2,4 GHz pour déférent application par exemple wifi ou bien Bluetooth… La fréquence varie de 2.2 à 2.6.

Nous créons le plan de masse après cela nous créons le substrat puis le patch puis nous créons la ligne d'alimentation puis l'antenne, le design de l'antenne est montré dans la relation suivante (**III**.1) [32, 38] : Nous travaillons sur un élément des antennes patch triangulaire équilatérale **(ETPA)** de longueur latérale a, la fréquence de résonance peut être calculé à l'aide de la formule suivante :

$$f_{1,0} = \frac{2c}{3a\sqrt{\varepsilon r}} \qquad \text{(III.1)}$$

Et tout cela est montré dans Figure III.1.

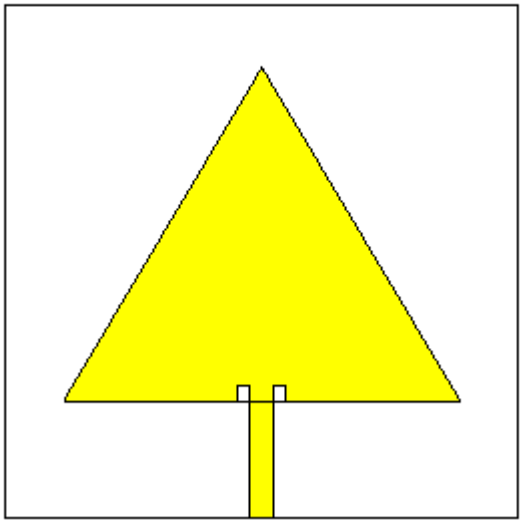


Figure III.1 La structure de l'antenne patch microruban.

❖ **Présentation de tableau**

Ce tableau **(Tableau III.1)** présent les paramètres de la structure de l'antenne patch microruban (feeder, substrat, triangle, cylindre et slot). On définit le paramètre puis leur valeur en millimètre avec une petite description pour chaque paramètre.

Tableau III.1 présentation des paramètres de la structure de l'antenne patch microruban.

Parameters	Value (mm)	Description
w0	4.8	La largeur du feeder
ws	100	La largeur substrate
ls	100	La longeur du substrate
lf	22.84	La longeur du feeder
a	77.340	La longeur du triangle
h	7	La taille du substrate
λ	0.125	longueur d'onde
Y1	3	La longeur du slot
ε_r	2.2	Permittivité relative
C	3e8	Vitesse de lumière

III.3.1 Résultats simulés

III.3.1.1 Paramètre S et la bande passante

La perte de retour simulée de l'antenne est illustrée à la figure III.2 en 2.43 GHz une perte de retour de -35 dB est obtenue

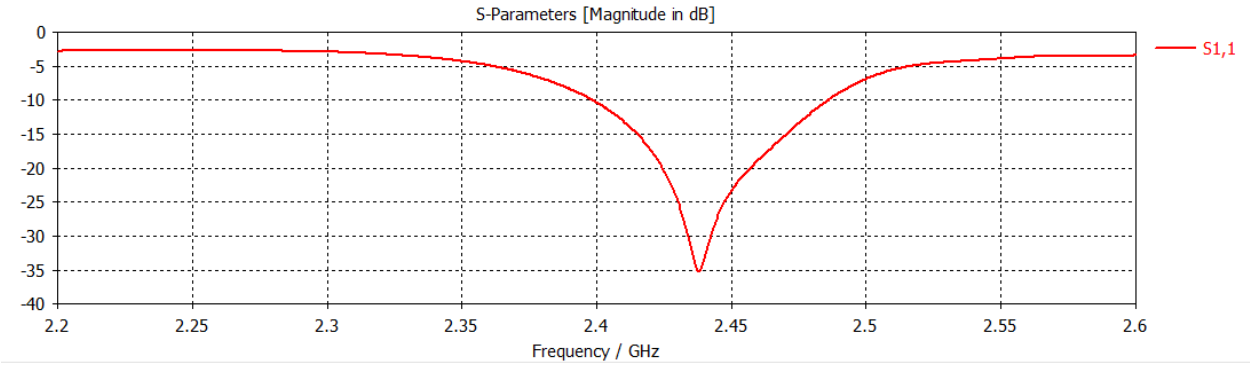


Figure III.2 Paramètre S d'une antenne patch microruban.

La bande passante : est définie comme la plage de fréquences dans laquelle certains paramètres de l'antenne sont à l'intérieur de la plage de fonctionnement. Et d'après la figure III.2, il est égal à 86.65 MHz de 2.3999 GHz à 2.4864 GHz.

III.3.1.2 Le rapport d'onde stationnaire (VSWR)

La figure III.3 montre le rapport d'onde stationnaire permanent de cette antenne à 2,43 GHz C'est 1. Pour une bonne conception d'antenne, la VSWR est inférieure à 2 nécessaire. Si le VSWR est supérieur à 2, ce qui signifie que le coefficient de réflexion est supérieur de -10 dB.

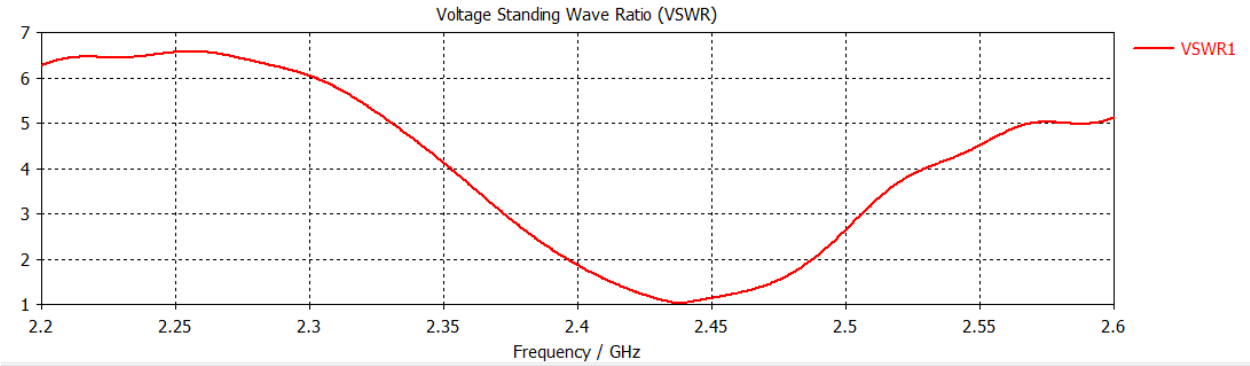


Figure III.3 VSWR à fréquence de résonnance de l'antenne patch microruban.

III.3.1.3 Gain

La courbe de gain est affichée dans la figure III.4 Ci-dessous. Un gain de crête de 6.5 dB est atteint.

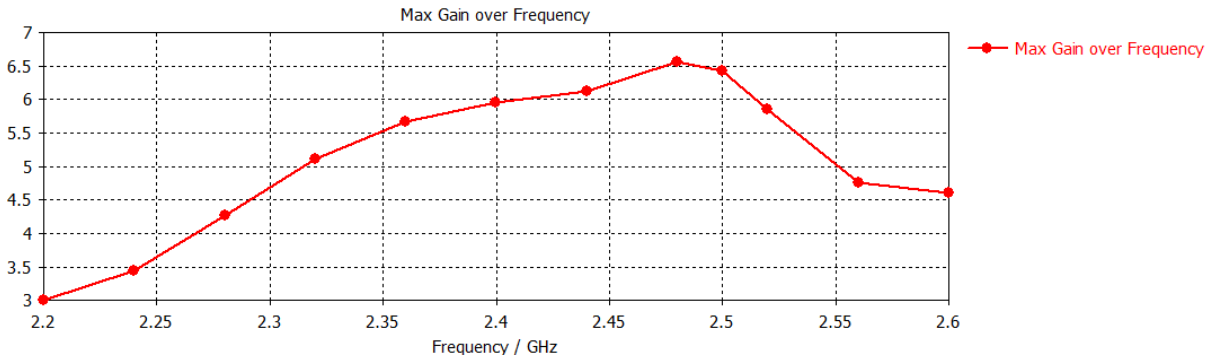


Figure III.4 Gain réalisé pour l'antenne patch microruban.

III.3.1.4 La directivité

La directivité : Il est souhaitable de maximiser le motif de rayonnement de la réponse de l'antenne dans une direction fixe afin de transmettre ou de recevoir la puissance. De même, la directivité dépend uniquement de la forme du diagramme de rayonnement. La directivité obtenue de l'antenne conçue est de 6,24 dB à 2.4 GHz, comme illustré à la figure III.5.

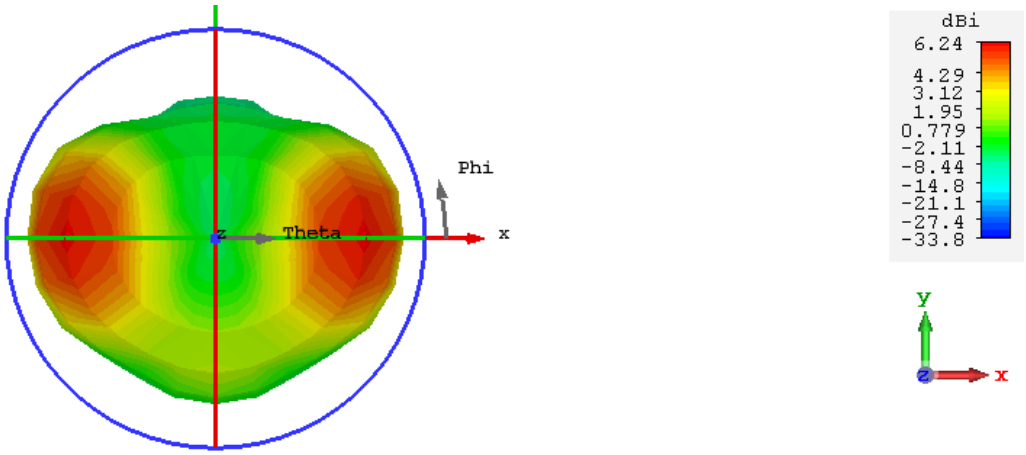


Figure III.5 Représentation en 3D de directivité de l'antenne patch microruban.

Les simulations montrent l'antenne patch triangulaire micro ruban, et un gain de Gr= 6.22 dB est obtenu le rapport avant arrière est aussi très bon d'après la Figure III.6.

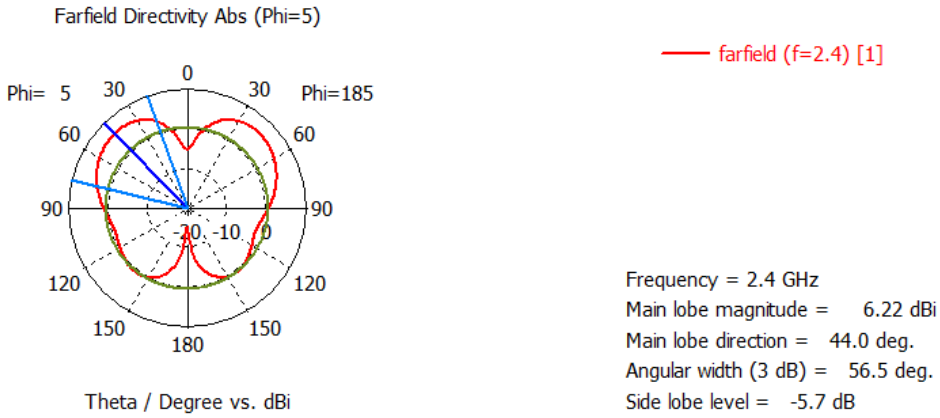


Figure III.6 Diagramme polaire de l'angle d'élévation de l'antenne patch microruban.

III.3.1.5 L'efficacité de rayonnement

La courbe de l'efficacité de rayonnement est affichée dans la figure III.7 Ci-dessous, elle représente la puissance dispersée. Tel qu'il est donné par la valeur 94 % à 2.48 GHz.

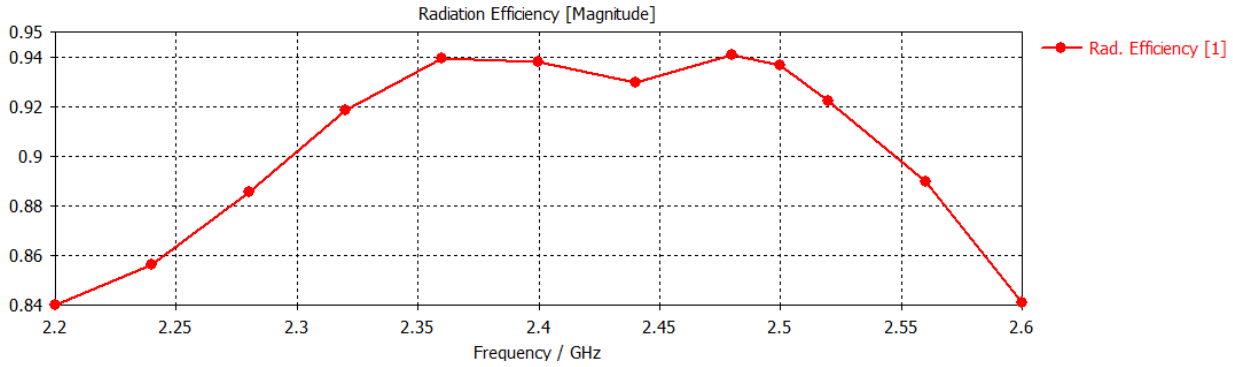


Figure III.7 L'efficacité de rayonnement de l'antenne patch microruban.

III.3.1.6 Le champ E

Le champ **E** de l'antenne patch microruban est affiché dans la figure III.8 Ci-dessous. L'intensité de champ **E** est beaucoup dans l'entourage de l'antenne par rapport les autres points, comme nous pouvons le voir, le rayonnement apparait dans l'espace de simulations, et il est plus important. Ce résultat correspond à la directivité.

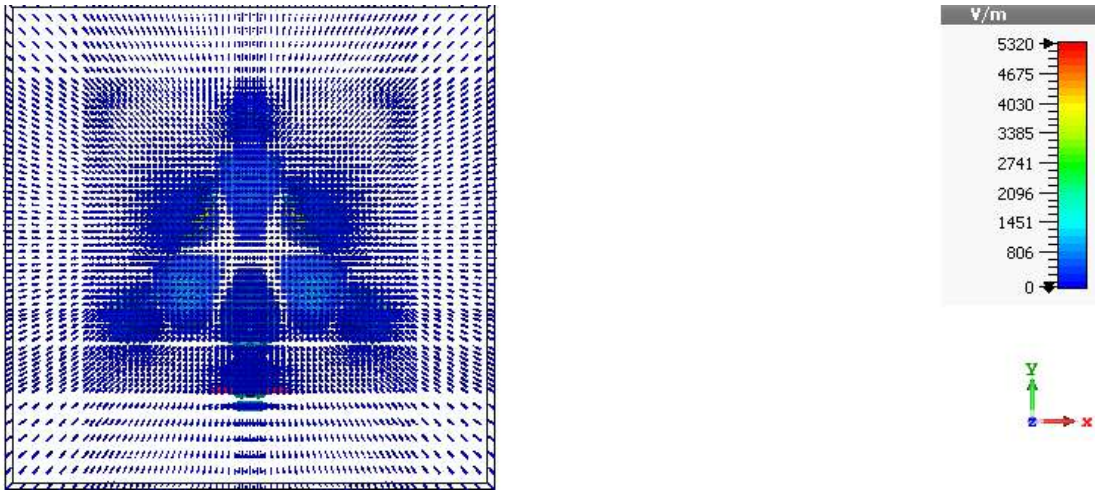


Figure III.8 Le champ **E** de l'antenne patch microruban.

III.3.1.7 Courant de surface

Le courant de surface de l'antenne patch microruban est affiché dans la figure III.9 Ci-dessous. Voir qu'il y a des ondes de surface, il y a aussi aux bords du substrat une réflexion et une transmission.

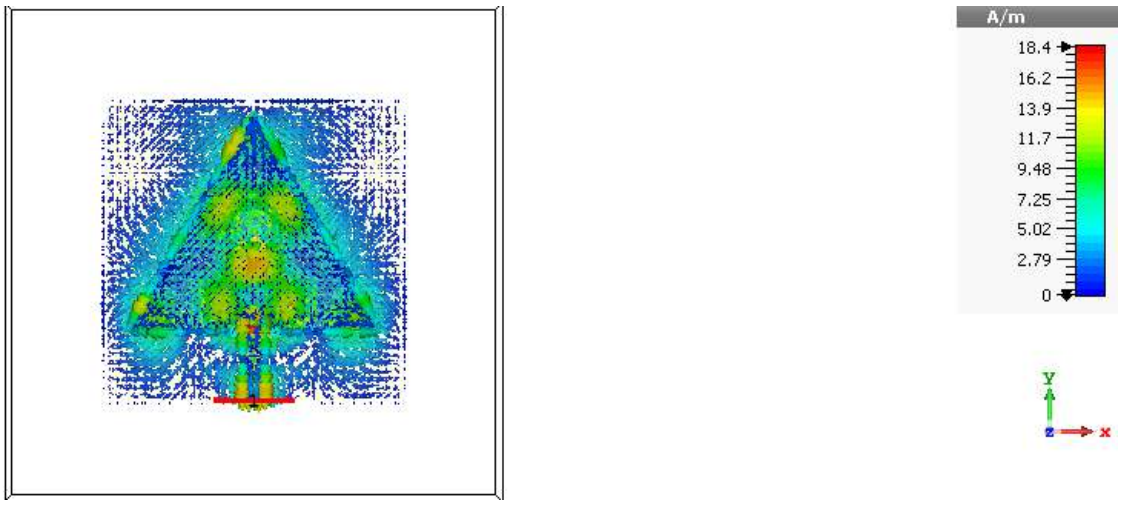


Figure III.9 Le courant de surface de l'antenne patch microruban.

III.4 La structure cristaux photonique

Dans cette partie, la structure cristaux photonique se compose de cylindres enrobés de matériau diélectrique Rogers RT5880, l'épaisseur de diélectriques est de 7 mm. De plus, le rayon des pores sont de 6 mm. Plusieurs copies de cette cellule sont connectées pour former une structure **PBG**, comme le montre la figure III.10. Afin d'analyser ses caractéristiques, utilisez Studio pour simuler dans l'environnement **CST** Micro. En raison de la nature et de la périodicité de la structure, la charge de travail de conception peut être réduite en définissant des conditions aux limites électriques en haut et en bas de la structure, Conditions aux limites magnétiques à l'avant et à l'arrière et conditions aux limites d'espace ouvert à droite et à gauche.



Figure III.10 Géométrie de la structure **PBG** de bande interdite photonique simulée.

III.4.1 Résultats simulés

On remarque dans cette figure III.11 que le signal de transmission S12 S21 qui sont identiques qui est indiqué la symétrie et il y a une bande (2.25, 3.25) qui empêcher le passage de l'onde par le coefficient de réflexion S 11 et S 22 qui sont aussi identiques et symétrique, ce dernier a atteint sa valeur maximale dans toute l'intervalle de la bande.

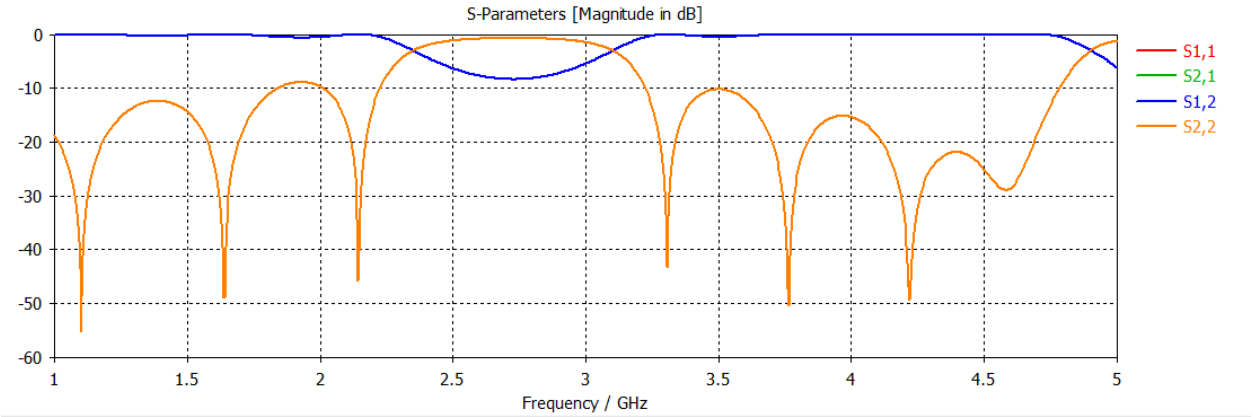


Figure III.11 Paramètre S de la structure cristaux photonique.

III.5 L'antenne patch triangulaire microruban avec la structure cristaux photonique

Nous avons fait même étapes que la première partie de la conception (l'antenne patch microruban).mais on ajoute des cylindres d'air comme le montre la figure III.12. Avec les même paramètres et on ajoute le rayon du cylindre r =7.53, et un espace entre deux cylindre Ah =18.7.

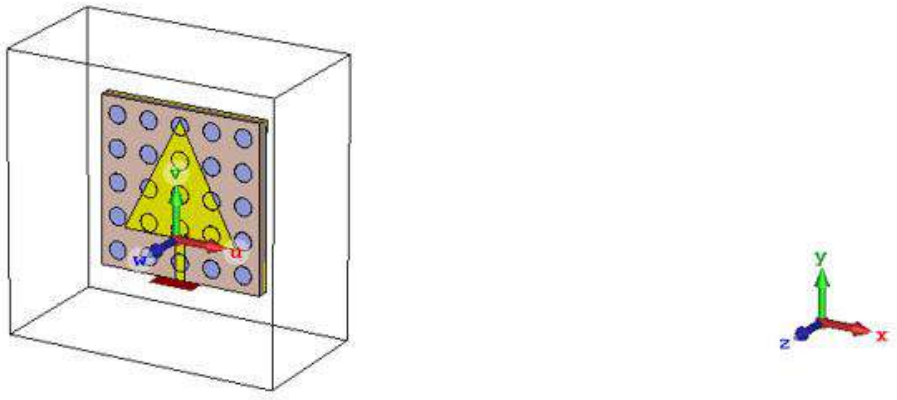


Figure III.12 La structure de l'antenne patch microruban à base de cristaux photonique.

III.5.1 Résultats simulés

III.5.1.1 Paramètre S et la bande passante

Il y a deux résonances dans la perte de retour simulée de l'antenne ont illustrée à la figure III.13 la première en 2.59 GHz avec une perte de retour de -23.5dB est obtenue et la deuxième en 2.76 GHz avec une perte de retour de -12.37 dB.

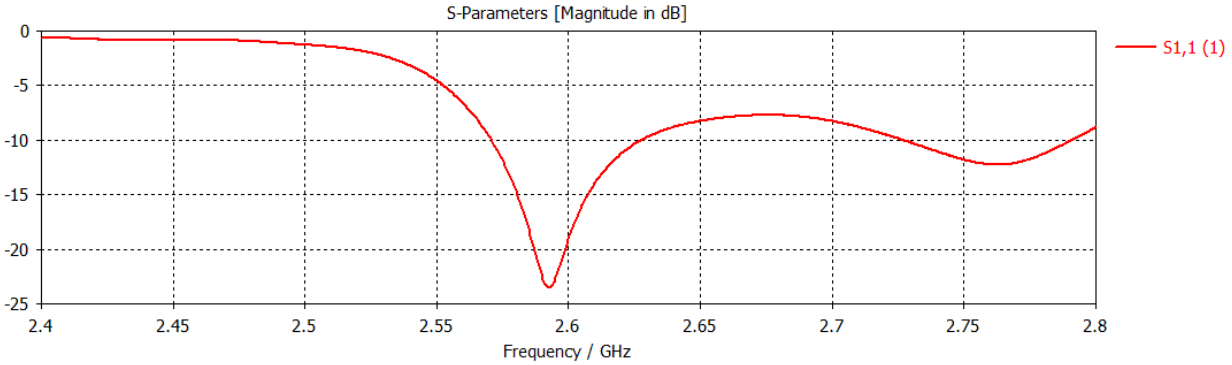


Figure III.13 Paramètre S de l'antenne patch microruban à cristaux photonique.

La bande passante d'un système est l'intervalle de fréquences dans lequel l'affaiblissement du signal est inférieur à une valeur spécifiée. Et d'après la figure III.13, il y a deux bandes le premier est égal à 58.8 MHz de 2.5700 GHz à 2.6288 GHz et la deuxième est égale à 66 MHz de 2.726 GHz à 2.792 GHz.

III.5.1.2 Le rapport d'onde stationnaire (VSWR)

La figure III.14 montre le rapport d'onde stationnaire permanent de cette antenne à 2,59 GHz et aussi à 2.76 GHz C'est 1. Pour une bonne conception d'antenne, la **VSWR** est inférieure à 2 nécessaire.

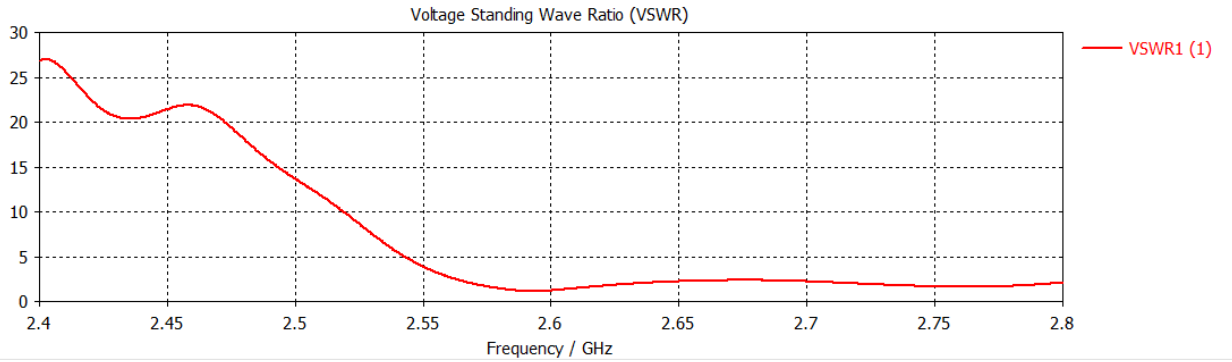


Figure III.14 VSWR à fréquence de résonnance de l'antenne patch microruban à cristaux photonique.

III.5.1.3. Gain

La courbe de gain est affichée dans la figure III.15 Ci -dessous. Un gain de crête de 7dB est atteint à 2.6 GHz pour la première bande, et un autre de 6.57 dB à 2.72 GHz pour la deuxième bande.

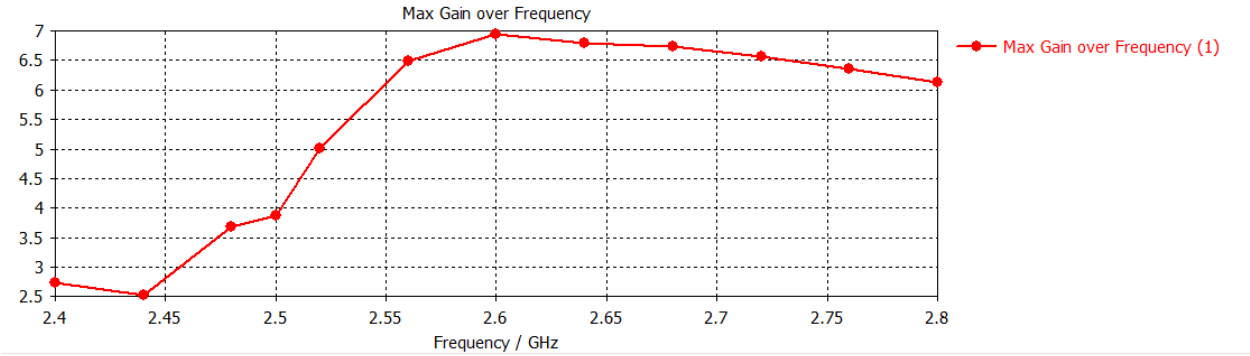


Figure III.15 Gain réalisé pour l'antenne patch microruban à cristaux photonique.

III.5.1.4. La directivité

La directivité : Il est souhaitable de maximiser le diagramme de rayonnement de réponse de l'antenne dans une direction fixe afin d'émettre ou de recevoir de la puissance. De même, la directivité ne dépend que de la forme du diagramme de rayonnement. La directivité obtenue de l'antenne conçue est de 7.12 dB à 2.6 GHz, comme illustré à la figure III.16.Et aussi une autre directivité obtenue est de 6.95 dB à 2.72 GHz, comme illustré à la figure III.17.

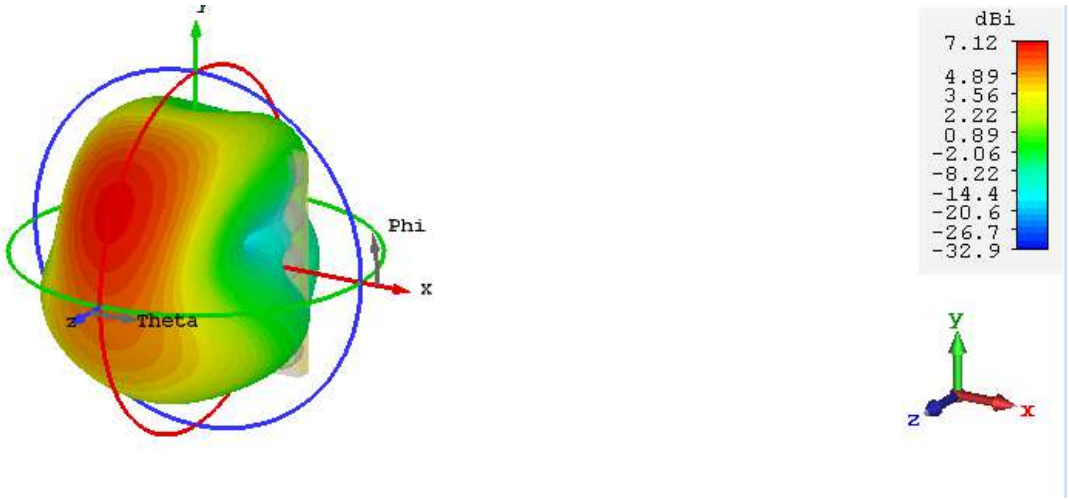


Figure III.16 Représentation en 3D de directivité de l'antenne patch microruban à cristaux photonique à 2.6 GHz.

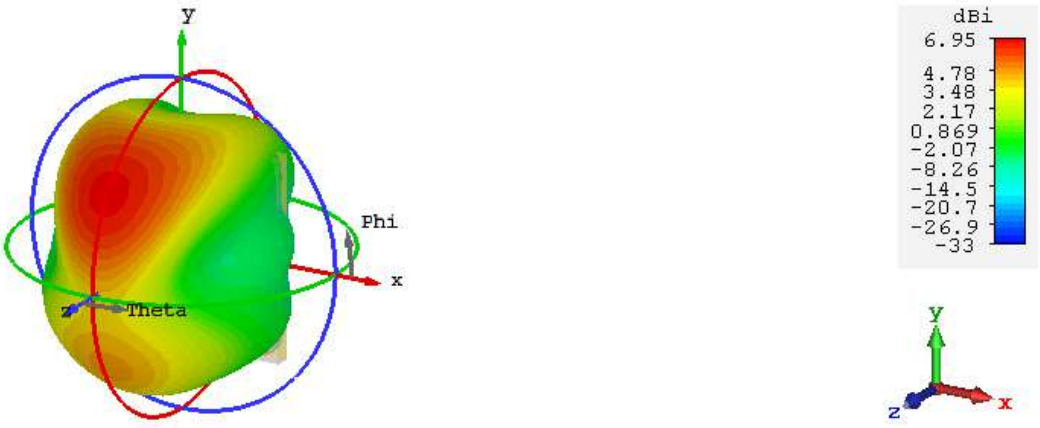


Figure III.17 Représentation en 3D de Directivité de l'antenne patch microruban à cristaux photonique à 2.72 GHz.

Les simulations montrent l'antenne à base de cristaux photoniques, la paque de Smith présente un gain de Gr= 7.12 dB comme illustré à la Figure III.18, et un autre de Gr= 6.35 dB, le rapport avant arrière est aussi très bon d'après la Figure III.19.

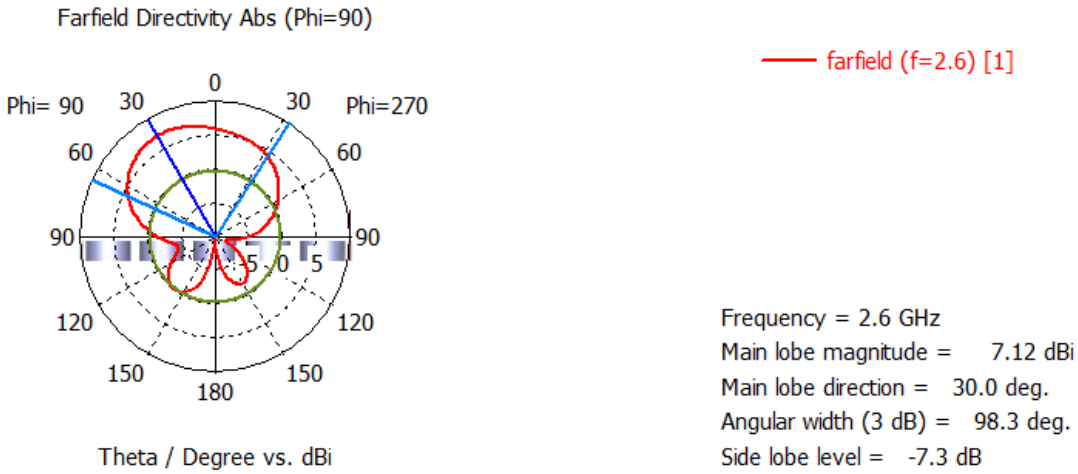


Figure III.18 Diagramme polaire de l'angle d'élévation de l'antenne patch microruban à cristaux photonique à 2.6 GHz.

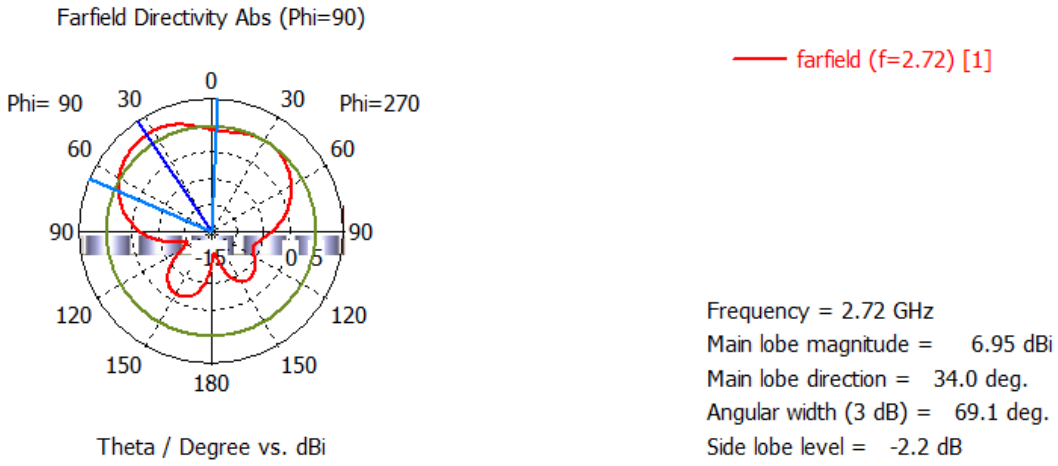


Figure III.19 Diagramme polaire de l'angle d'élévation de l'antenne patch microruban à cristaux photonique à 2.72 GHz.00000

III.5.1.5. L'efficacité de rayonnement

La courbe de l'efficacité de rayonnement est affichée dans la figure III.20 Ci-dessous, elle représente la puissance dispersée. Tel qu'il est donné par la valeur 95 % à 2.6 GHz pour la première bande.et pour la deuxième bande est égale à 93 % à 2.72 GHz.

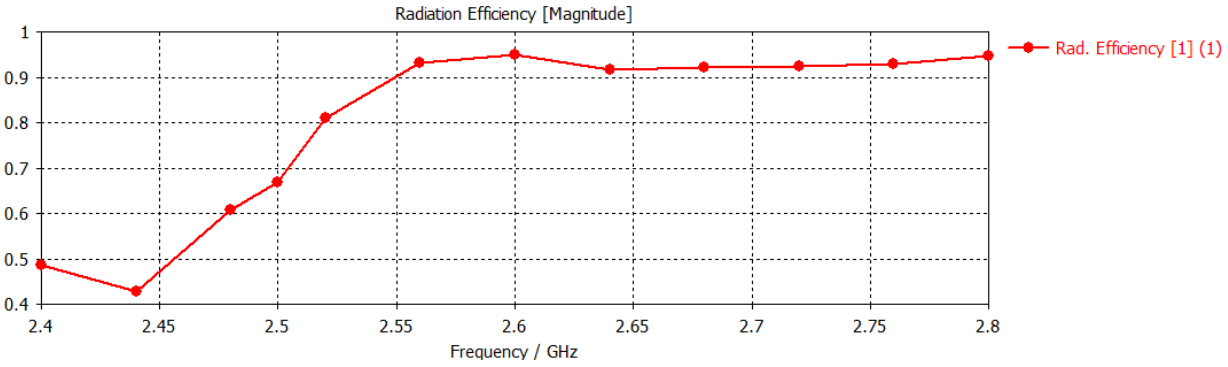


Figure III.20 L'efficacité de rayonnement de l'antenne patch microruban à cristaux photonique.

III.5.1.6. Le champ E

Le champ **E** de l'antenne patch microruban à cristaux photonique est affiché dans la figure III.21, et aussi la figure III.22 Ci-dessous, pour les deux bandes. L'intensité de champ **E** est beaucoup et concentré sur la zone du patch triangulaire, comme nous pouvons le voir, le rayonnement apparait dans l'espace de simulations, et il est aussi plus important. Ce résultat correspond à la directivité.

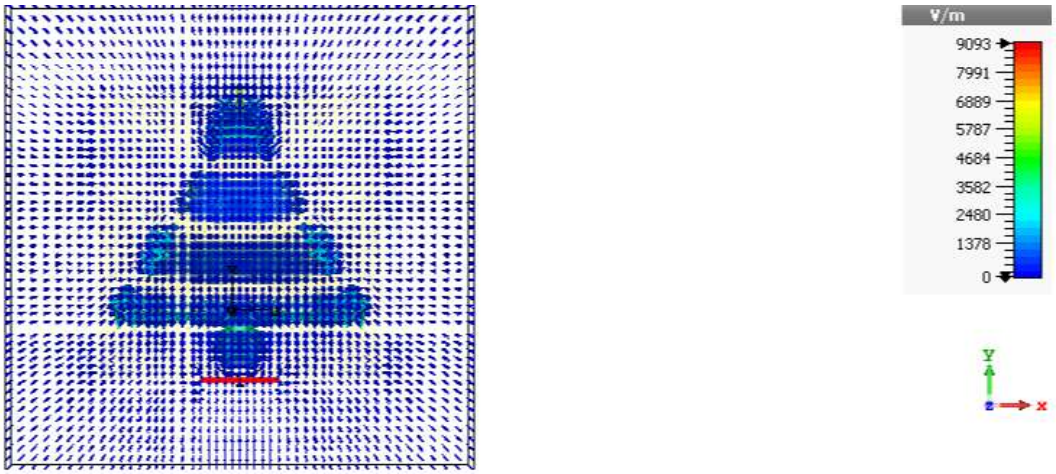


Figure III.21 Le champ **E** de l'antenne patch microruban à cristaux photonique à 2.6 GHz.

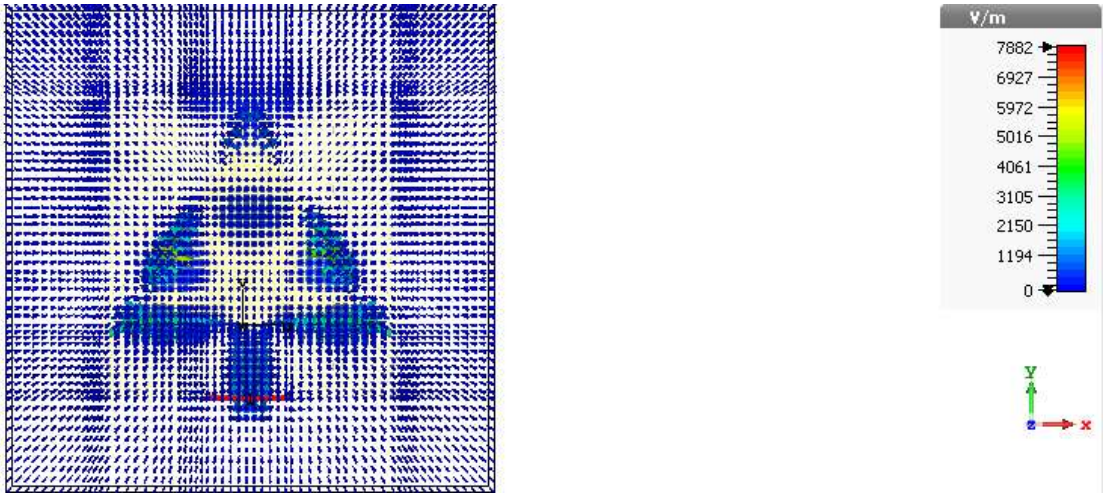


Figure III.22 Le champ **E** de l'antenne patch microruban à cristaux photonique à 2.72 GHz.

III.5.1.7 Courant surface

Le courant de surface de l'antenne patch microruban à cristaux photonique est affiché dans la figure III.23 et aussi la figure III.24 Ci-dessous. Voir qu'il y a des ondes des surfaces, mais elles sont moindres par rapport le courant de surface de l'antenne patch microruban. Il y a aussi au substrat une réflexion et une transmission et elles sont aussi moindres par rapport le courant de surface de l'antenne patch microruban.

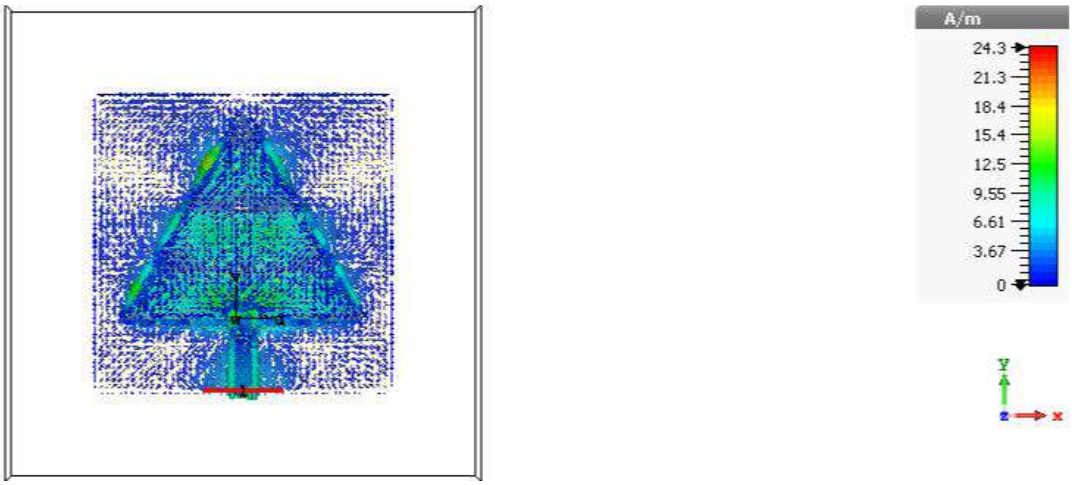


Figure III.23 Le courant de surface de l'antenne patch microruban à cristaux photonique à 2.6 GHz.

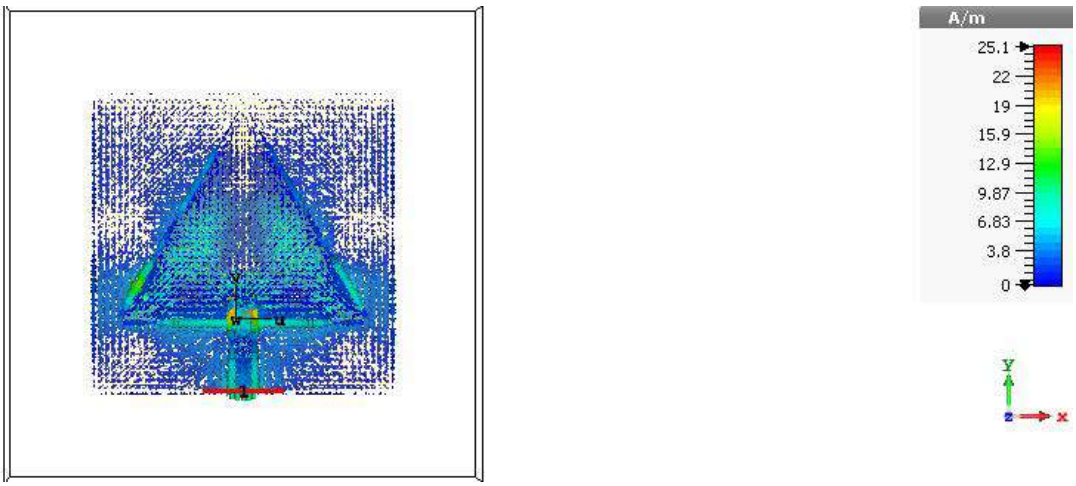


Figure III.24 Le courant de surface de l'antenne patch microruban à cristaux photonique à 2.72 GHz.

III.6 Comparaison des résultats de simulation de différentes conceptions d'antennes

La comparaison des différents paramètres pour les différentes antennes est donnée ci-dessous.

Tous les paramètres ne sont pas donnés mais les paramètres importants tels que paramètre S, VSWR, gain, la directivité et l'efficacité de rayonnement sont donnés sur le tableau suivant :

Tableau III.2 La comparaison des différents paramètres pour les différentes antennes patch microruban.

les paramètres	paramètre S	La Bande passante	VSWR	Gain	la directivité	l'efficacité de rayonnement
Antenne 01	-35 dB à 2.43 GHz	86.65 MHz	1	6,5 dB	6,22 dB	94 %
Antenne 02	-23.5 dB à 2.59 GHz	58.8 MHz	1	7 dB	7.12 dB	95 %
	-12.37 dB à 2.76 GHz	66 MHz	1	6.57 dB	6.95 dB	93 %

❖ **Présentation de Tableau**

Premièrement on parle sur le paramètre S11 et la bande passante, La perte de retour simulée pour la première antenne optimisée est -35 dB à 2.43 GHz et la bande passante est égale à 86.95 MHz , par contre pour la deuxième antenne on a un décalage de perte de retour de -23.5 dB à 2.59 GHz avec une bande passant égal à 58.8 MHz, et également entrainé une autre perte de retour de -12.37 dB à 2.76 GHz de bande passante égale à 66 MHz .ce qui est le meilleur.

Ensuite on parle sur VSWR, Pour les deux antennes la VSWR est inférieure à 2 C'est environ 1, Puis le Gain, Le gain de crête est de 6,5 dB pour la première antenne et pour la deuxième antenne, on a deux gain : la première bande est de 7 dB et la deuxième est de 6.57 dB, qui est le meilleur. Après cela, la directivité elle est pour la première antenne conçue de 6,24 dB à 2.4 GHz, et pour la deuxième antenne est de 7.12 dB à 2.6 GHz, d'autre bande est de 6.95 dB à 2.72 GHz, ce qui aussi le meilleur.

Dernièrement on parle sur l'efficacité de rayonnement, L'efficacité de rayonnement de la première antenne est 94 % à 2.4 GHz, et de la deuxième antenne est 95 % à 2.6 GHz, d'autre bande est 93 % à 2.72 GHz ce qui est le meilleur.

Après avoir étudié les antennes patch microruban à base de cristaux photoniques, nous avons trouvé une amélioration des résultats obtenus. En effet, les résultats sont cohérents avec les autres recherches dans la littérature [39,40]. Cela est dû aux propriétés de la structure cristaux photoniques dans la suppression des ondes de surface.

III.7 CONCLUSION

Ce chapitre présente la procédure de conception d'une antenne patch triangulaire microruban. Les principaux paramètres tels que l'affaiblissement de réflexion (S11), VSWR, le gain, la directivité et l'efficacité de rayonnement ont été étudiés et sont en accord avec les résultats mesurés. Cette antenne peut être utilisée pour une application Bluetooth ou bien wifi…etc.

Puis en étude la structure cristaux photonique et mesure le paramètre S et remarqué sa caractéristique dans une bande de fréquence, dernièrement en concaténé la première partie avec le deuxième on fait même antenne mais on ajout des airs cylindre Pour utiliser sa particularité et cela nous a donné un meilleur résultat se réduire les ondes de surface et donc de meilleur gain et une meilleure directivité comme obtenu en plus il y deux bandes passantes.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans le présent travail, nous avons présenté les caractéristiques des antennes et leurs domaines d'application. Parmi ces antennes, notre étude a été focalisé sur les antennes microruban et plus particulièrement les antennes microruban à cristaux photoniques. Les cristaux photoniques sont des diélectriques ou des matériaux métalliques artificiellement structurés, dont la constante diélectrique change périodiquement dans plusieurs directions de l'espace dans la plage de longueurs d'onde et a un contraste d'indice de réfraction suffisamment élevé.

Dans le but d'étudier les performances d'une antenne patch micro ruban à base de cristaux photonique, nous avons utilisé le logiciel de simulation électromagnétique CST STUDIO SUITE®.

Les résultats de la simulation obtenus montrent que la structure cristalline photonique donne de meilleures performances pour les antennes microruban telles qu'un meilleur gain, une meilleure directivité et une meilleure bande passante.

Bibliographie

Bibliographie

[1] J.D. Kraus, “Antennas since Hertz and Marconi,”,IEEE Trans, Antennas Propagat., February 1985,Vol. AP-33, No. 2, pp. 131–137.

[2] J. C. Maxwell, “A Treatise on Electricity and Magnetism,’’, Oxford University Press, London, UK, 1873/1904.

[3] S. Senouci, A.L. Beylot, G. Pujolle, “ Call admission Control in cellular Networks: A Rein- forcement Learning Solution ,”, to appear in AC Miley .International journal of Net- work Management, 2003.

[4] L. Qualli, “Mémoire sur la simulation des antennes sous HFSS,”, Tizi Ouzou, 2012.

[5] G. A. Deschamps, “Microstrip Microwave Antennas,”, Presented at the Third USAF Symposium on Antennas, 1953.

[6] A. Boyer. “Cours Antenne,’’, Alexandre boyer@insa toulouze , Toulouze, 2013.

[7] J. VAN BLADEL, “Some remarks on green’s dyadic for infinite space,”, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 9, issue 6, pp. 563-566, November 1961.

[8] O. Picon et coll, M. Bellanger, “ les antennes. theorie, conception et applications,’’, 09 septembre 2009.

[9] K. DARKO, J. GERALD ,“ Plotting Vector Fields with a Personal Computer,’’, IEEE transactions on microwave theory and techniques, Vol. MTT-35, N. 11, November 1987,pp.1069-1072.

[10] S.N. Makarov, “Antenna and EM Modeling with MATLAB,’’, John Wiley & Sons, Inc, 2002. Ulaby, F.T., “Fundamentals of Applied Electromagnetics,”, Prentice Hall, 1999.

[11] O. Picon et coll, “Les antennes Théorie conception et application, ’’, Dunod, Paris, 2009, ISBN 978-2-10-054245-1.

[12] P. Simons, Y.M. Ghamri.Doudane, S. Senouci, F. Bachiri, A. Munaretto, J. Karsila, G. Le grand, and T.Demeure, “ Ambience Project- Find a Meeting,’’,

European. Symposium on Ambient Intelligence (EUSAI 2003), Eindhoven, Netherlands, Lecture Notes in Computer Science,Spring.Verlag, Novembre 2003.

[13] M. Mansouri, ‘‘ Conception et simulation d'une antenne patch ultra large bande,’’, 2018.

[14] J. Wiley & Sons, Inc, ‘‘ANTENNA THEORY ANALYSIS AND DESIGN,’’, canada, 2005.

[15]H, malache , A. mahi , ‘‘nouvelles structures des démultiplexeurs en cristaux photoniques 2D pour les systèmes très hauts débits,’’ , M.s .Thesis , Tlemcen.univ., juin 2018.

[16] S. Hassan, ‘‘ADVANCE TECHNIC OF RECTANGULAR MICROSTRIP PATCH ANTENNA WITH EBGS,’’, Eastern University , January, 2012

[17] G. Kumar and Ray, K.P, ‘‘Broadband Microstrip antennas,’’, Artech House,Norwood, M A, 2003.

[18] A. Dahmani, ‘‘Optimisation des filtres selectifs à base des cristaux photoniques unidimensionnelles par une approche hybride,’’, M.s .Thesis, Tlemcen.univ., juin 2017.

[19] A. Gascon,’’ fabrication et caractérisation de cristaux photoniques pour exaltation de fluorescence,’’, M.s .Thesis, montréal. univ., 2010.

[20] N.Kawia et al, “Confined Band Gap in an Air-Bridge Type of Two-Dimensional AlGaAs Photonic Crystal,”, Physical Review Letters, 86(11):p.2289, 2001.

[21] H. BADAOUI, A. ABRI, “Etude et Conception des Micro - composants à Base des Cristaux Photonique Bidimensionnels,”, PH.D.dissertation, Tlemcen.univ., Décembre 2012.

[22] E. Chow, S.Y.Lin, S.G.Johnson ,P.R.Villeneuve , J.D.Joannopoulos ,J.R.Wendt ,G.A.Vawter ,W.Zubrzycki,H.Hou , and A.Alleman ,“Nature,” , 2000, 407(6807), 983.-986.

[23] N. Kawia et al, “Confined Band Gap in an Air-Bridge Type of Two-Dimensional AlGaAs Photonic Crystal,”, Physical Review Letters , 2001, 86(11):p.2289.

[24] B. Lombardet, Étude et réalisation des cristaux photoniques pour l’optique intégrées,’’, PH.D.dissertation , nº3254, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 2005.

[25] D. Felbacq, E. Centeno, “Theory of diffraction for 2D photonic crystals with boundary,’’, Optics communications, 2001,vol.199, p. 39-45.

[26] M.Grillet, “ cristaux photoniques et intégration photonique,’’, PH.D.dissertation, Lyon .univ ., 2003.

[27] C.J.M. Smith t al, “Coupled guide and cavity in à two-dimensional photonic crystal,”, Applied physics letters , 2001.

[28] H. Badaoui, M. Feham, M. Abri, “Double bends and y-shaped splitter design for integrated optics,’’, Progress In Electromagnetics Research Letters, Vol. 28, pp.129-138, 2012.

[29] F. Benaissa, “ Etude Et Simulation De La Propagation Des Ondes Electromagnétiques Dans Les Guides A Cristaux Photoniques-Application Aux Fibres Optiques,’’, M.s.thesis, Tlemcen.univ ., 2012/2013.

[30] K. Gurpreet, S. Goyal, “To Study the Effect of Substrate Material for MicrostripPatch Antenna,’’, volume 36, Number 9, International Journal of Engineering Trends and Technology, June 2016.

[31] A. Habani, “ÉTUDE, CONCEPTION ET REALISATION DES ANTENNES À POLARISATION LINEAIRE 1 CIRCULAIRE POUR LES COMMUNICATIONS CORPORELLES DANS LES MINES SOUTERRAINES,’’, Juin 2018.

[32] R. Garg, P. Bhartia, I.J. Bahl, P. Ittipiboon, “Microstrip Antenna Design Handbook,’’, Artech House, Boston, London, 2001.

[33] D.Guha, J. Y. Siddiqui, "Resonant frequency of equilateral triangular microstrip patch antenna with and without air gaps,'', IEEE Trans, Antennas Propagation, 2004, 52, 2174-2177.

[34] I. J. Bahl, P. Bhartia, "Microstrip Antennas ,'', Artech House, Dedham, MA, 1980.

[35] M. Olaimat, "Design and analysis of triangular microstrip patch antennas for wireless communication systems,'', M.s .Thesis, Jordan.Univ., Science and Technology.dept., 2010.

[36] M.M .Olaimat, N.I. Dib, "A Study of 15-75o-90o Angles Triangular Patch Antenna,'', Progress in Electromagnetics Research (PIER), 2011, 21, 1-9.

[37] M. M. Olaimat, N. I. Dib, "Improved Formulae for the Resonant Frequencies of Triangular Microstrip Patch Antennas,'', International Journal of Electronics, 2011, 98, 407-424.

[38] S. R. Saunders, A. Aragon-Zavala, J. Wiley & Sons, "Antenna and Propagation for Wireless Communication Systems,'', England, 2007.

[39] R. Kumar Kushwaha, P. Karrupanan, L. Malviya, "Design and analysis of novel microstrip patch antenna on photonic crystal in THz,'', journal homepage, vol. 545 , pp.107–112, May 2018.

[40] M.N. Temmar, A. Hocini, D. Khedrouche, M. Zamani , "Analysis and design of a terahertz microstrip antenna based on a synthesized photonic bandgap substrate using BPSO,'', Journal of Computational Electronics, vol.18, pp.231–240 ,10, March 2019.