

N°d'ordre :



جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'sila
كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie
قسم الإلكترونيك
Département d'Electronique



MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : AZI Oussama

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIES

FILIERE : ELECTRONIQUE

OPTION : MICRO-ELECTRONIQUE

Thème

**Etude d'une antenne microruban rectangulaire à bande
interdite photonique 1D**

Soutenue le : 08/06/2015 devant le jury composé de :

KEBAILI Farida	M.C.B - Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Président
BENMEDDOUR Fadila	M.C.B - Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Encadreur
OUDIRA Houcine	M.C.B - Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Examineur
KAHLOUCHE Ahmed	M.C.B - Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Examineur

Promotion : Juin 2015



Dédicace

À

Mes très chers parents.

*Mes frères: Mounir, Fateh, Bachir,
Abdelwahhab, Ahmed,*

Mes sœurs: Hadda, ourida

Tous mes proches, mes amis et mes collègues.

Je dédie ce travail

OUSSAMA



REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tout d'abord DIEU le tout puissant qui m'a donné, durant toutes ces années, la santé, le courage et la foi pour arriver à ce jour.

Je ne saurais, réellement, trouver les expressions éloquentes que mérite mon encadreur Dr. Fadila BENMEDDOUR , afin de la remercier pour sa sympathie, ses encouragements, son aide, son dévouement pour le travail et sa présence totale, malgré la distance, au cours de cette modeste étude.

Mes remerciements vont aussi à Mr. Tahar BOUGOUTAIA pour la documentation, et les conseils prodigués.

J'adresse mes remerciements aux membres de jury qui m'ont fait l'honneur d'évaluer, examiner, et enrichir mon modeste travail.

Je tiens à remercier particulièrement tout le personnel du département de l'électronique pour leur gentillesse et leur disponibilité.

Enfin, j'exprime mes remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Grand Merci ...

Table des matières

Dédicace	i
Remerciements.....	ii
Table des matières.....	iii
Liste des Figures	vi
Liste des Tableaux	ix
Résumé.....	x
Abstract	x
Résumé en arabe.....	x
Introduction générale	2
Bibliographie.....	4

CHAPITRE I

généralité sur les antennes microrubans

I.1. Introduction.....	6
I.2. Historique.....	6
I.3. Définition et généralité sur les antennes.....	6
I.4. les antennes microrubans.....	7
I.4.1. Description des antennes microrubans.....	7
I.4.2 Caractéristiques des antennes microrubans.....	8
I.4.3. Fonctionnement des antennes microrubans.....	9
I.4.4. Paramètres des antennes.....	11
I.5. Choix des paramètres d'une antenne microruban	12
I.6. Critères de choix du substrat.....	13
I.7. Technique d'alimentation.....	14
I.7.1 Alimentation par ligne microruban.....	14
I.7.2 Alimentation par sonde coaxiale.....	14
I.7.3 Alimentation couplée par ouverture.....	15
I.7.4 Alimentation par proximité.....	16
I.8. Avantages et inconvénients des antennes microrubans.....	17
I.9. Applications des antennes microrubans.....	17
I.10. Méthodes d'analyse.....	18
I. 10.1 Méthode analytiques.....	18

I.10. 2 méthodes numériques.....	18
I .11. conclusion.....	19
Bibliographie.....	20

CHAPITRE II

Les cristaux photoniques

II.1. Introduction.....	23
II.2. Historique.....	23
II.3.Définition.....	23
II.4. Cristaux photoniques à une dimension (réseau de Bragg).....	25
II.4.1.Ouverture d'une bande interdite 1D.....	25
II.4.2. Bande interdite complète.....	27
II.4.3.Largeur de la bande interdite photonique	27
II.5.Les cristaux photoniques bidimensionnels.....	28
II.5.1. Différentes familles de cristaux photoniques bidimensionnelles.....	29
II.6.Cristaux photoniques tridimensionnels.....	29
II.7.Caractéristiques géométriques et physiques d'un cristal photonique.....	31
II.7.1. Le contraste d'indice δ	31
II.7.2.Les périodes.....	31
II.7.3.Le facteur de remplissage f	31
II.8.Les différentes applications	32
II.9.Application des BIP dans le domaine des micro-ondes et des antennes.....	34
II.10.conclusion	35
Bibliographie	36

CHAPITRE III

Présentation du logiciel CST

III.1.introduction.....	39
III.2 Présentation du logiciel CST MICROWAVE STUDIO.....	39
III.2.1 la méthode d'intégration finie	40
III.2.2 Aperçu de la structure de l'interface utilisateur.....	40
III.3.Exemple d'un projet en CST	42
III.3.1. Démarrez le logiciel.....	42
III.3.2. Créer le plan de masse.....	43

III.3.3. Créer des substrats diélectriques.....	43
III.3.4 Créer le patch	44
III.3.5 Définir le port	45
III.3.6 Définir le domaine de fréquence.....	45
III.3.7 La simulation.....	46
III.3.8 Résultats.....	46
III.4 conclusion	47
Bibliographie	48

CHAPITRE IV

Résultats et discussions

IV.1. Introduction.....	50
IV.2. Présentation de la structure	50
IV.3. Influence des paramètres de l'antenne sur la fréquence de résonnance	51
IV.3.1 Effet de la longueur du patch.....	51
IV.3.2 Effet de largeur du patch.....	53
IV.3.3 Effet de la variation de la constante diélectrique ϵr_1	54
IV.3.4 Effet de la variation de la constante diélectrique ϵr_2	55
IV.4 Influence des paramètres de l'antenne sur la directivité.....	56
IV.4.1 comparaisons entre un substrat cristal photonique et un substrat normal....	56
IV.4.2 Effet de la longueur du patch.....	58
IV.4.3 Effet de largeur du patch.....	59
IV.4.4 Effet de la variation de la constante diélectrique ϵr_1	60
IV.4.5 Effet de la variation de la constante diélectrique ϵr_2	62
IV.5. conclusion.....	63
Conclusion générale.....	65

Liste des Figures

CHAPITRE I

Généralité sur les antennes microrubans

Figure I-1 Structure d'une antenne microruban.....	7
Figure I-2 Divers types d'éléments rayonnants.....	7
Figure I-3 Antenne microruban fonctionnant sur son mode fondamental.....	10
Figure I-4 Rayonnement d'une antenne patch rectangulaire.....	10
Figure I-5 Diagramme de rayonnement d'une antenne patch rectangulaire.....	11
Figure I-6 Alimentation par ligne microruban.....	14
Figure I-7 Alimentation par sonde coaxiale.....	15
Figure I-8 Alimentation couplée par ouverture.....	16
Figure I-9 Alimentation par proximité.....	16

CHAPITRE II

Les cristaux photoniques

Figure II-1 Représentation schématique de cristaux photoniques unidimensionnels (1D), Bidimensionnels (2D) et Tridimensionnels (3D).....	24
Figure II-2 Image au microscope électronique d'une opale naturelle constituée d'un réseau quasi-périodique de billes de silice.....	24
Figure II-3 Exemples de réalisations naturelles de structures périodiques.....	25
Figure II-4 Schéma d'un miroir de Bragg constitué d'un milieu diélectrique Périodique fini.....	25
Figure II-5 (a) Représentation schématique d'un miroir de Bragg constitué de 2 types de couches de permittivité ϵ_1 et ϵ_2 . La maille du cristal est $a = a_1 + a_2$. (b) Schémas des réflexions sur les mailles successives.....	26
Figure II-6 (a) Relation de dispersion d'un miroir de Bragg($a_1 = a_2$, $\epsilon_1 = \epsilon_2 = 11$) pour un vecteur d'onde perpendiculaire aux couches. (b) Allure du champ électrique $ E ^2$ pour $k_x = \pi/a$ à l'intérieur des couches.....	27
Figure II-7 Structures de bandes photoniques pour des réseaux de Bragg de pas a avec (a) des couches de permittivité $\epsilon = 13$ et 12 et (b) de permittivité $\epsilon = 13$ et 1	28
Figure II-8 Structures bidimensionnelles: (a) déconnectée (b) connectée.....	28

Figure II-9 Différents réseaux.....	29
Figure II-10 Structure 3D ,Structure « La Yablonovite ».....	30
Figure II-11 a) Structure « tas de bois » b) Les opales.....	30
Figure II-12 Les périodes d'un cristal photonique unidimensionnel.....	31
Figure II-13 guides d'onde à cristaux photoniques : a) droit, b) coudé.....	32
Figure II-14 cavités sur membrane suspendue : a) cavité triangulaire b) cavité hexagonal, entourées par un cristal photonique triangulaire.....	33
Figure II-15 la structure et le principe de fonctionnement d'un filtre Add- Drop.....	33
Figure II-16 Exemple de fibre à cristal photonique.....	34

CHAPITRE III

Présentation du logiciel CST

Figure III-1 Interface graphique de CST MICROWAVE STUDIO.....	39
Figure III-2 La fenêtre principale du logiciel CST.....	41
Figure III-3 La fenêtre d'accueil.....	42
Figure III-4 La fenêtre de créer un nouveau projet.....	42
Figure III-5 Créer un plan de masse.....	43
Figure III-6 Créer des substrats diélectriques.....	44
Figure III-7 Créer le patch.....	44
Figure III-8 Définir le port.....	45
Figure III-9 Définir le domaine de fréquence.....	45
Figure III-10 choisir la précision.....	46
Figure III-11 Coefficient de réflexion S_{11} pour une antenne patch rectangulaire.....	46
Figure III-12 directivité en 3D d'un antenne patch.....	47

CHAPITRE IV

Résultat et discussion

Figure IV-1 La Structure d'une antenne microruban.....	50
Figure IV-2 Coefficient de réflexion S_{11} pour une antenne patch rectangulaire.....	51
Figure IV-3 Coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la variation de la longueur du patch.....	52
Figure IV-4 Coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la variation de la largeur du patch.....	53

Figure IV-5 Coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la constante diélectrique ϵ_{r1}	54
Figure IV-6 Coefficient de réflexion S_{11} pour une variation de la constante diélectrique ϵ_{r2}	55
Figure IV-7 structure d'un antenne: a) à substrat cristal photonique b) à substrat normal...	57
Figure IV-8 la directivité en 3D: a) substrat normale b) substrat cristal photonique.....	57
Figure IV-9 la directivité en 3D pour une variation de la longueur du patch.....	58
Figure IV-10 la directivité en 3D pour une variation de la largeur du patch.....	60
Figure IV-11 la directivité en 3D pour une variation de la constante diélectrique ϵ_{r1}	61
Figure IV-12 la directivité en 3D pour une variation de la constante diélectrique ϵ_{r2}	62

Liste des tableaux

Tableau IV-1 Variation de la fréquence de résonance en fonction de la longueur du patch.....	52
Tableau IV-2 Variation de la fréquence de résonance en fonction de la largeur du patch	53
Tableau IV-3 Variation de la fréquence patch en fonction de la constante diélectrique ϵ_{r1}	54
Tableau IV-4 Variation de la fréquence patch en fonction de la constante diélectrique ϵ_{r2}	56
Tableau IV-5 la directivité pour différent substrat.....	57
Tableau IV-6 Variation de la directivité en fonction de la longueur du patch.....	59
Tableau IV-7 Variation de la directivité en fonction de la largeur du patch.....	60
Tableau IV-8 Variation de la directivité en fonction de la constante diélectrique ϵ_{r1}	61
Tableau IV-9 Variation de la directivité en fonction de la constante diélectrique ϵ_{r2}	63

Résumé

L'objectif principal de notre travail est l'étude d'une antenne microruban rectangulaire à bande interdite photonique 1D.

Nous étudions l'influence des paramètres géométriques de l'antenne sur la fréquence de résonance et sur la directivité. Les paramètres que nous avons étudiés : la longueur, la largeur du patch, et la permittivité du substrat.

En utilisant l'outil de simulation électromagnétique dans le domaine fréquentiel CST est basée sur la méthode d'intégration finie.

Mots clés: antenne microruban rectangulaire, cristaux photonique, miroir de Bragg.

ABSTRACT

The main objective of our work is to study a microstrip antenna forms rectangular 1D photonic band gap.

We study the influence of geometric parameters of the antenna on the resonance frequency and directivity. The parameters that we studied: the length, the width of the patch, and permittivity substrate,.

By using electromagnetic simulation tool in the frequency domain based on CST is based on the finite integration method.

Keywords: rectangular microstrip antenna, photonic crystals, Bragg mirror.

ملخص:

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو دراسة هوائي مدقق مستطيل الشكل ذو بلورات فوتونية أحادية البعد قمنا بدراسة تأثير المعايير الأساسية للهوائي على التردد الرنان والاتجاهية ، المعايير التي قمنا بدراسةها هي: طول و عرض العنصر المشع وسماحية الطبقة العازلة وذلك باستعمال برنامج CST الذي يعتمد على طريقة التكاملات المنتهية. **كلمات مفتاحية:** هوائي مدقق مستطيل الشكل، بلورات فوتونية، مرآة براغ.

INTRODUCTION

GENERALE

Introduction générale

Une antenne reliée à une ligne de transmission et rayonnant en espace libre peut être considérée comme un dispositif de couplage entre une onde guidée le long de la ligne et une onde rayonnée dans l'espace. Par conséquent, une antenne est un dispositif qui permet de recevoir et d'émettre les ondes radioélectriques[1].

Le concept d'antennes imprimées(ou antennes micro-rubans) fait son apparition dans les années 50, mais c'est au cours des années 70 qu'elles ont été développées .Une antenne microruban est composée d'un élément rayonnant de forme géométrique variable (circulaire, triangulaire, rectangulaire, etc...). Cet élément rayonnant est aussi appelé patch conducteur. Dans la pratique, les formes de l'élément rayonnant souvent utilisées sont le rectangle et le disque, et d'un substrat diélectrique sur lequel se dépose l'élément rayonnant et d'un plan de masse. Elles seront réservées à des applications militaires, aéronautiques et aérospatiales, par exemple. Aujourd'hui, avec l'explosion des télécommunications, les antennes imprimées sont implantées dans de nombreux dispositifs électroniques par exemple : les téléphones portables, les ailes des avions, etc... Ces antennes possèdent deux atouts majeurs à savoir leur faible coût de réalisation et leur capacité d'intégration[2].

Les matériaux à bandes photoniques interdites sont des structures artificielles qui présentent une modulation périodique de la constante diélectrique dans une ou plusieurs directions. Selon le nombre de directions, ces structures sont désignées par l'appellation de cristaux photoniques à une, deux ou trois dimensions. Ces matériaux ont été découverts par Eli Yablonovitch à la fin des années 80[3].

Ils présentent des bandes de fréquences pour les quelles la propagation des ondes électromagnétiques est interdite.

Des travaux tirant profit des propriétés des BIP ont alors vu le jour. Ainsi dans le domaine des antennes on a réussi à réduire le niveau des lobes secondaires en évitant de piéger le champ électromagnétique dans le plan de masse arrière de l'antenne[4].

En exploitant les propriétés de réflexions des cristaux photoniques dans le gap, nombreuses études ont été menées et montrent l'utilisation de matériau BIP comme substrat d'antenne ou comme réflecteur dans le but d'augmenter la directivité des antennes[5].

Le travail développé dans ce mémoire a pour objectif l'analyse et la conception d'une antenne microruban rectangulaire à bande interdite photonique 1D alimentée par câble coaxiale en utilisant le simulateur électromagnétique CST MICROWAVE STUDIO. Nous avons étudié

l'influence des paramètres géométriques de l'antenne sur la fréquence de résonance et la directivité, et comparé la directivité d'une structure à substrat normal et à substrat cristal photonique.

Ce manuscrit est scindé en quatre chapitres Il est présenté comme suit :

Le premier chapitre de ce mémoire est une présentation générale des antennes imprimées. Après avoir rappelé les propriétés et caractéristiques de ces antennes, nous décrivons l'ensemble des techniques d'alimentations utilisées pour ce type d'antennes, les avantages, les inconvénients et ainsi que les différentes méthodes d'analyse utilisées dans ce domaine.

Dans le deuxième chapitre nous avons présenté les concepts de base liés aux cristaux photoniques. Nous étudierons les différents types de cristaux photoniques, en insistant sur la notion de bande interdite photonique, avant d'entrer un peu plus dans les détails pour la structure qui va nous intéresser tout particulièrement : les cristaux unidimensionnels.

Dans le troisième chapitre nous montrons comment créer, simuler et analyser une antenne microruban en utilisant l'environnement de conception CST MICROWAVE STUDIO.

Dans le quatrième chapitre nous exposons les résultats numériques obtenus, concernant l'influence des paramètres de la structure à antenne microruban de forme rectangulaire à substrat cristaux photonique 1D sur la fréquence de résonance et la directivité.

Et enfin une conclusion sur notre travail présenté.

Bibliographie

- [1] M. HASSAD," Modélisation d'une antenne patch réalisée sur un substrat à tenseurs de permittivité et de perméabilité diagonaux" thèse de Magister, Institut d'électronique, Université de Batna, 2009.
- [2] K. BOUFELDJA " Modélisation et Synthèse de réseaux périodiques et non périodiques d'antennes microrubans par l'application d'un Algorithme Génétique-Flou" thèse de Doctorat, Institut d'électronique, Université Abou-Bekr Belkaid-Tlemcen, Février 2011.
- [3] S. Massaoudi "Etude théorique et expérimentale des matériaux à bandes interdites photoniques bidimensionnels en micro-onde : application à l'ultrarefraction" thèse de Doctorat, Institut d'électronique, université paris XI, Février 2005.
- [4] A. Ourir "Applications de Matériaux Bandes Interdites Photoniques et de métamatériaux en Télécommunications "thèse de Doctorat, Université de Paris XI d'Orsay, décembre2006.
- [5] K. BOULELLI "Simulation des effets géométrique des cristaux Photoniques bidimensionnels "thèse de Magister, Institut d'électronique, Université de Constantine, 2009.

CHAPITRE I

GENERALITE SUR LES ANTENNES MICRORUBANS

I.1. Introduction

Les antennes microrubans (imprimées, à élément rayonnant, plaquées, ou même patch ou microstrip en anglais) sont apparues dans les années cinquante et ont été développées au cours des années soixante-dix. Cependant plusieurs recherches ont été menées pour arriver à une antenne microruban optimale pouvant répondre aux exigences de l'industrie des télécommunications pour des applications aéronautiques, aérospatiales et militaires. Ce type d'antennes s'adapte facilement aux surfaces planes et non planes et présentent une grande robustesse et flexibilité lorsqu'il est monté sur des surfaces rigides. Les antennes imprimées sont également très performant en termes de résonance, d'impédance d'entrée et de diagramme de rayonnement. Les inconvénients majeurs des antennes microrubans résident dans leur faible pureté de polarisation et une bande passante étroite [1].

Dans ce chapitre nous présentons la description et le mécanisme de fonctionnement, les avantages, les inconvénients des antennes patches, ainsi que les différents types d'alimentation. En effet, nous détaillons le principe des méthodes d'analyse les plus utilisées dans le domaine des antennes microrubans.

I.2. Historique

Le concept des antennes microrubans a été proposé la première fois en 1953 par Deschamps, mais ce n'est qu'aux années soixante dix que les premières applications de ce type d'antennes ont vu le jour . les premières réalisations étaient essentiellement réservées à des applications militaires, un peu plus tard, dans les années 1990 des antennes pratiques ont été développées par Howel et Munson [2].

I.3. Définition et généralité sur les antennes

Une antenne est un transducteur entre la ligne de transmission connectée à un générateur et le milieu où l'onde rayonne. Ainsi on peut définir une antenne en émission ou en réception selon son mode de fonctionnement. Une antenne reliée à une ligne de transmission et rayonnant en espace libre peut être considérée comme un dispositif de couplage entre une onde guidée le long de la ligne et une onde rayonnée dans l'espace. Par conséquent, une antenne est un dispositif qui permet de recevoir et d'émettre les ondes radioélectriques. Elle transforme l'énergie guidée en énergie rayonnée et vice versa.

Ce dispositif est en général réciproque. Lorsqu'il est utilisé pour transmettre l'énergie électromagnétique d'une source radioélectrique vers le milieu de propagation, on l'appelle

antenne d'émission. Par contre, lorsqu'il est utilisé en sens inverse, on l'appelle antenne de réception. L'antenne a plusieurs rôles dont les principaux sont les suivants :[3]

- ✚ Permettre une adaptation correcte entre l'équipement radioélectrique et le milieu de propagation
- ✚ Assurer la transmission ou la réception de l'énergie dans des directions privilégiées transmettre le plus fidèlement possible une information.

I.4. les antennes microrubans

I.4.1. Description des antennes microrubans

Les antennes microbandes, construites par la technique des circuits imprimés, ont en général des bandes de fréquence étroites dans leur structure de base. L'antenne microbande est représentée dans la Figure I-1, est constituée d'un mince conducteur métallique (habituellement de $17,5$ à $35\mu m$ d'épaisseur en hyperfréquence et $9\mu m$ en millimétrique) de forme arbitraire, appelé élément rayonnant, déposé sur un substrat épais utilisé pour augmenter la puissance rayonnée par l'antenne et réduire les pertes par l'effet joule et amélioré la bande passante de l'antenne, la face inférieure est entièrement métallisée pour réaliser un plan de masse [4].

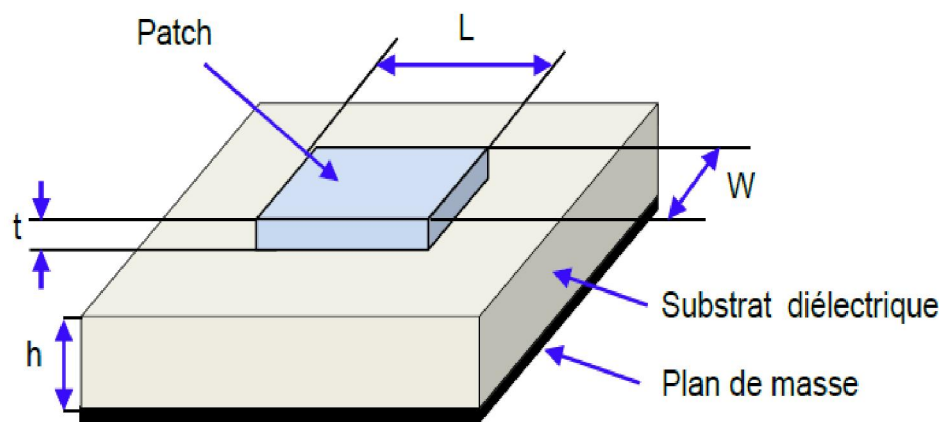


Figure I-1 Structure d'une antenne microruban.

En pratique, les formes des éléments rayonnants les plus utilisés sont montrés sur la Figure I- 2

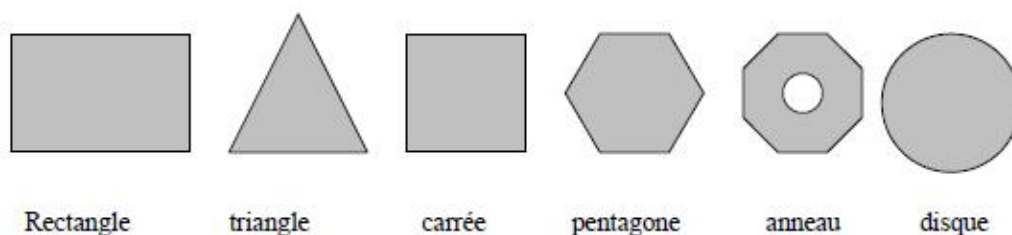


Figure I- 2 Divers types d'éléments rayonnants.

I.4.2 Caractéristiques des antennes microrubans

L'antenne microruban est conçue telle que le maximum de son diagramme de rayonnement est normal à l'élément rayonnant. Cet élément rayonnant peut être rectangulaire, carré, circulaire ou simplement un dipôle pour un patch rectangulaire, sa longueur L est généralement $\lambda_0/3 < L < \lambda_0/2$, où λ_0 est la longueur d'onde dans l'espace libre. Le patch est sélectionné de façon qu'il soit très mince ($t \ll \lambda_0$, où t est l'épaisseur du patch). La hauteur h du substrat diélectrique est habituellement $0,003 \lambda_0 \leq h \leq 0,05 \lambda_0$. La constante diélectrique du substrat ϵ_r est typiquement dans la gamme $2,2 \leq \epsilon_r \leq 12$.

Les ondes dans une ligne microbande se propagent à la fois dans le milieu diélectrique et dans l'air. Du point de vue modélisation, les deux milieux sont remplacés par un seul milieu effectif caractérisé par une constante diélectrique.

La répartition des lignes de champs qui s'étendent autour et dans la structure dépend essentiellement :

- ✚ De la largeur W des circuits de métallisation.
- ✚ Des caractéristiques du substrat : à savoir sa constante diélectrique et son épaisseur [5].

La réduction en taille d'une antenne se traduit généralement par une réduction importante de la bande passante ainsi qu'une diminution de son efficacité de rayonnement.

En effet, la réduction des dimensions de l'antenne entraîne une augmentation de l'intensité des champs électromagnétiques au voisinage de la structure. Les phénomènes de résonance susceptibles de se produire présentent alors un fort coefficient de qualité qui rend délicat l'adaptation de l'antenne ainsi que l'obtention de larges bandes passantes.

C'est pourquoi, les antennes imprimées ont la particularité de présenter des performances médiocres qui se dégradent en même temps que leurs dimensions se réduisent [6].

De plus, les antennes sont sensibles aux matériaux métalliques et diélectriques qui constituent leur proche environnement de rayonnement. Ces phénomènes sont classiquement connus sous le nom d'effet de proximité. Citons comme cas particulier à ces effets, la structure sur laquelle ces antennes sont disposées est susceptible de modifier fortement leur fonctionnement, d'autant que les dimensions de cette structure sont généralement petites (de l'ordre de la longueur d'onde). Cette sensibilité peut aussi poser des problèmes d'expérimentation ou les systèmes de maintien et d'alimentation des antennes (câble coaxial) peuvent provoquer des modifications sur l'impédance d'entrée et le rayonnement. Ces

phénomènes s'expliquent également par la présence de forts champs électromagnétiques au voisinage de l'antenne imprimée qui sont susceptibles de se coupler avec les proches structures environnantes [6].

Les substrats exploités dans la conception des antennes imprimées sont nombreux. Leurs permittivités relatives varient de 2.2 à 12 ($2.2 < \epsilon_r < 12$). Parfois, il est préférable d'utiliser des substrats diélectriques de grande épaisseur et de basse permittivité dans le but d'avoir une grande efficacité, une large bande passante, mais dans ce cas la perte par onde de surface augmente et l'antenne devient de plus en plus encombrante. Au contraire, l'utilisation de minces substrats de permittivités élevées est conseillée pour les circuits micro-ondes parce qu'elle minimise les ondes de surfaces, les radiations non désirées et le volume de l'antenne.

Toutefois, l'efficacité et la bande passante diminuent à cause de la grande perte dans le substrat[7].

Le substrat joue deux rôles :

✚ **Electriquement** : C'est une partie intégrante de lignes de transmission, des circuits, et des antennes.

✚ **Mécaniquement** : C'est le support de la structure.

I.4.3. Fonctionnement des antennes microrubans

Dans son fonctionnement usuel, une antenne microruban sur substrat diélectrique peut être considérée en première approximation comme une cavité résonante imparfaite, présentant des murs magnétiques verticaux à pertes et des murs électriques horizontaux. Pour des fréquences appelées 'de résonance', cette cavité emmagasine de l'énergie électromagnétique selon un ensemble de modes de type TM_{mn} .

Le rayonnement résultant de cette structure se traduit par des pertes qui s'opèrent au niveau des murs magnétiques. Une partie du signal émis est réfléchi par le plan de masse, puis par le conducteur supérieur et ainsi de suite. La forme et l'orientation des lignes de champs entre les bords de la plaque rayonnante et le plan de masse caractérisent les directions privilégiées du champ rayonné.

En général, le mode fondamentale est considéré comme étant le mode de fonctionnement de ce type d'antennes. Ce mode emporte le maximum d'énergie et se caractérise par une répartition du champ électrique en dessous de l'élément rayonnant dont une dimension au moins est égale à une demi-longueur d'onde (Figure I-3). Les courants surfaciques qui sont produits sur l'élément métallique sont dirigés selon l'axe de symétrie passant par le point d'excitation [8].

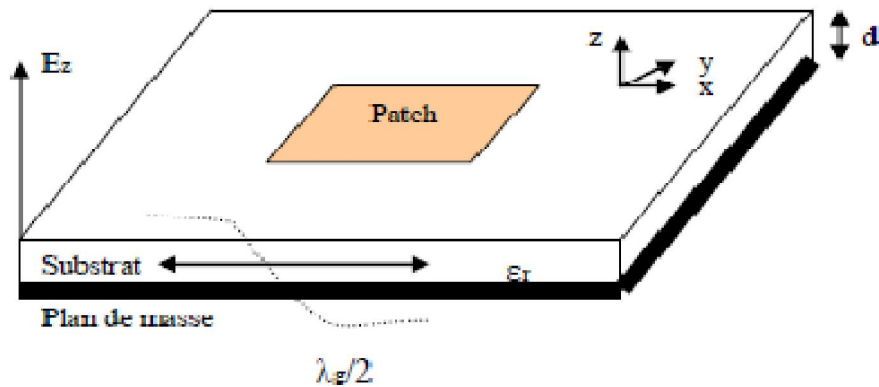


Figure I-3 Antenne microruban fonctionnant sur son mode fondamental.

Pour comprendre le fonctionnement d'une antenne microruban, il est nécessaire de connaître les champs électromagnétiques en champ proche. Lorsque la ligne d'alimentation est excitée par une source radiofréquence, une onde électromagnétique guidée entre la ligne et le plan de masse va se propager jusqu'à l'élément rayonnant (de largeur plus grande que la ligne, donc plus apte à rayonner). Une distribution de charge va s'établir sous l'élément rayonnant, et sur le plan de masse [6].

Pour simplifier le problème, la structure de la Figure I-4 peut être assimilée à une cavité bornée par des murs électriques (plan de masse et élément rayonnant), et un mur latéral magnétique, est accumulée selon un ensemble de fréquences modales (fréquences modales de résonance) auxquelles des configurations de répartition des champs sont permises, appelées modes. Ces cavités fonctionnent alors sur des modes TM_{mn} .

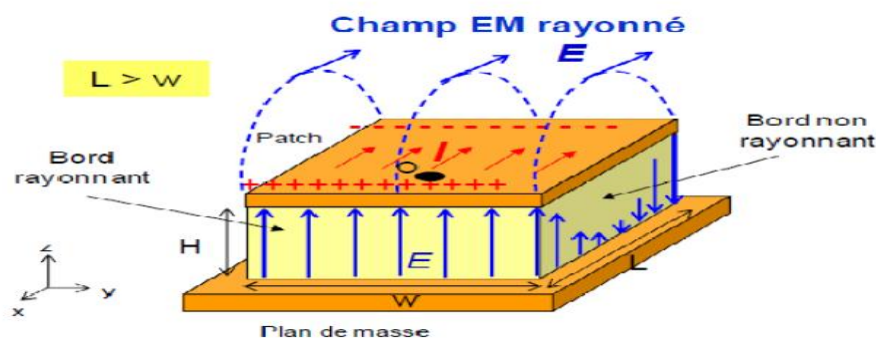


Figure I-4 Rayonnement d'une antenne patch rectangulaire.

Le champ présent entre les bords du patch et le plan de masse va déborder et contribuer à générer le champ électromagnétique rayonné : ceux générés par les bords séparés par L étant maximum et en opposition de phase vont avoir tendance à s'additionner de manière constructive

et optimale, et générer un rayonnement inscrit dans le plan YZ, ces 2 bords sont donc appelés bords rayonnants [5].

Une analyse plus détaillée des distributions de charge et du champ électrique dans ce mode permet de retrouver tous les paramètres caractéristiques d'un résonateur : (diagramme et résistance de rayonnement, fréquences de résonance...). Le rayonnement du patch peut être modélisé par celui de deux fentes parallèles distantes de la longueur L et de dimensions $W \times h$. La théorie de l'électromagnétisme nous fournit alors les expressions des champs rayonnés par le patch à une certaine distance d'observation [9].

I.4.4. Paramètres des antennes

a-Paramètres S

Une autre façon de quantifier la puissance réfléchie est l'utilisation des paramètres S. En effet, les paramètres S définissent les paramètres de réflexion et de transmission entre l'onde réfléchie et incidente aux bornes d'une composante. En fait, ils décrivent le comportement d'une composante dans le spectre micro-ondes.

b-Diagramme de rayonnement et la directivité

Le rayonnement d'une antenne patch rectangulaire est similaire à celui d'un dipôle orienté dans l'axe X. La polarisation du champ rayonnée est rectiligne. Le rayonnement est dépendant de θ et φ . Il est concentré dans un lobe principal orienté vers la verticale du patch ($\theta=0^\circ$). En raison du plan de masse, le rayonnement ne se fait que dans le demi-plan au-dessus du plan de masse [10].

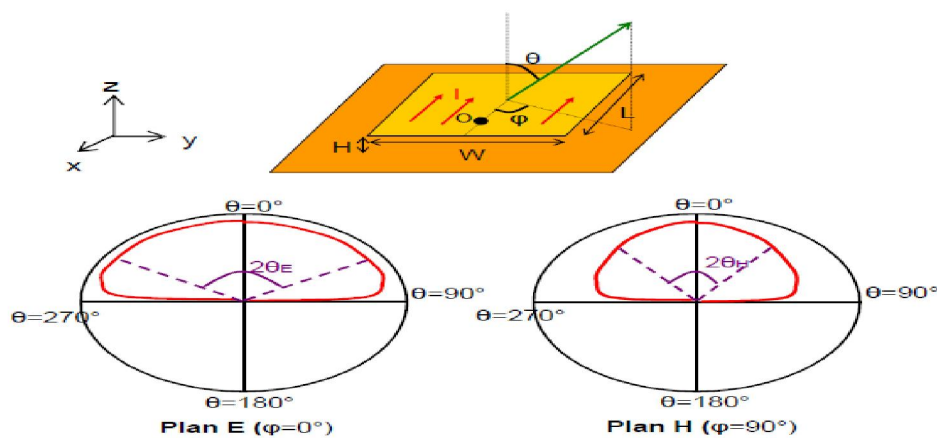


Figure I-5 Diagramme de rayonnement d'une antenne patch rectangulaire.

La directivité d'une antenne désigne la façon de concentrer son rayonnement dans certaines directions de l'espace. Afin de définir les propriétés directionnelles du diagramme de rayonnement de l'antenne, l'on fait appel à la notion de directivité D . Il s'agit en réalité du rapport entre l'intensité du rayonnement (U) dans une direction donnée de l'antenne et celle d'une source isotrope U_0 [11].

B- Fréquence de résonance

Il est déjà mis au clair que les champs des bords font que les dimensions du patch se voient électriquement supérieures à ses dimensions physiques. Où la longueur du patch est allongée d'une quantité ΔL . Une approximation de cette quantité de longueur est donnée par [12]:

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\varepsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{w}{h} + 0.246\right)}{(\varepsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{w}{h} + 0.8\right)} \quad (I.1)$$

La longueur effective L_{eff} sera donc:

$$L_{eff} = L + \Delta L \quad (I.2)$$

On détermine assez facilement les fréquences de résonances de l'antenne patch rectangulaire [9]

$$f_{mn} = \frac{c}{2\sqrt{\varepsilon_r}} \sqrt{\left(\frac{m}{\pi w_{eff}}\right)^2 + \left(\frac{n}{\pi l_{eff}}\right)^2} \quad (I.3)$$

$$\text{avec } w_{eff} = w + \Delta w \quad (I.4)$$

Δw et ΔL représentent respectivement les extensions de longueur et de largeur dues.

I.5 Choix des paramètres d'une antenne microruban

Le patch est fabriqué à base d'un matériau de conductivité suffisamment élevée (Cuivre : $\sigma = 59,6 \times 10^6 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$, Or : $\sigma = 45,2 \times 10^6 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$ etc.). L'élément rayonnant et les lignes d'alimentation sont habituellement photogravés sur le substrat diélectrique. Les paramètres physiques et géométriques liés au choix de l'antenne imprimée sont :

- La permittivité relative du diélectrique ;
- L'angle des pertes ($\tan \delta$) dans ce même substrat, avec prédominance des pertes par effet joule ;

- L'épaisseur du diélectrique (elle doit rester faible par rapport à la longueur d'onde) ;
- Les dimensions et la forme de l'élément rayonnant [12].

Largeur W du patch : La largeur du patch a un effet mineur sur les fréquences de résonance et sur le diagramme de rayonnement de du résonateur. Par contre, elle joue un rôle pour l'impédance d'entrée du résonateur et la bande passante à ses résonances [9].

$$W = \frac{c}{2f_{01}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (I.5)$$

Où le terme f_{01} représente la fréquence fondamentale du résonateur.

Longueur L du patch : La longueur du patch détermine les fréquences de résonance du résonateur. Il ne faut surtout pas oublier de retrancher la longueur ΔL correspond aux extensions des champs [9].

$$L = \frac{\lambda_{\text{diélectrique}}}{2} - 2\Delta L = \frac{c}{2f_{01}\sqrt{\epsilon_r}} - 2\Delta L \quad (I.6)$$

I.6. Critères de choix du substrat

La conception des antennes microrubans dans le domaine des ondes millimétriques est guidée par les critères suivants pour le choix du substrat:

- Possibilité d'excitation par onde de surface ;
- Effets de la constante et de la tangente de perte diélectrique sur la dispersion ;
- Importance des pertes par diélectrique et par conducteur ;
- Anisotropie dans le substrat ;
- Effets de l'environnement tels que la température, l'humidité ;
- Conditions mécaniques: Physiquement, le matériau doit résister aux contraintes mécaniques, conserver sa forme originelle. Son facteur d'expansion doit être voisin de celui de la métallisation, car il est confronté à de fortes températures lors dessoudures. Enfin, son état de surface doit être le plus parfait possible ;
- Coût de fabrication [13].

I.7 Technique d'alimentation

L'excitation est un point très important pour étudier les antennes imprimées. En effet, l'énergie est fournie à l'élément rayonnant d'une manière où on peut influencer directement sur son rayonnement et modifier ses performances. L'alimentation de l'antenne dépend de la manière dont l'antenne est intégrée dans le dispositif [4].

Les résonateurs microrubans peuvent être alimentés selon plusieurs méthodes, que l'on peut classer en deux catégories:

- **Avec contact:** où l'alimentation est liée directement à la plaque rayonnante en utilisant un élément de connexion tel qu'une ligne microruban.
- **Sans contact:** où le couplage du champ électromagnétique garantit le transfert de la puissance entre la ligne microruban et l'élément rayonnant.

Les quatre techniques d'alimentation les plus utilisées sont la ligne microruban, la sonde coaxiale, le couplage par ouverture et le couplage par proximité [6].

I.7.1 Alimentation par ligne microruban:

Faite par une ligne microbande de largeur plus petite par rapport au patch, cette ligne est gravée avec le patch en même temps(Figure I-6). Elle est très utilisée dans les réseaux d'antennes imprimées de différentes formes. Il existe cependant un inconvénient dans ce type d'alimentation vu qu'elle génère un rayonnement parasite [14].

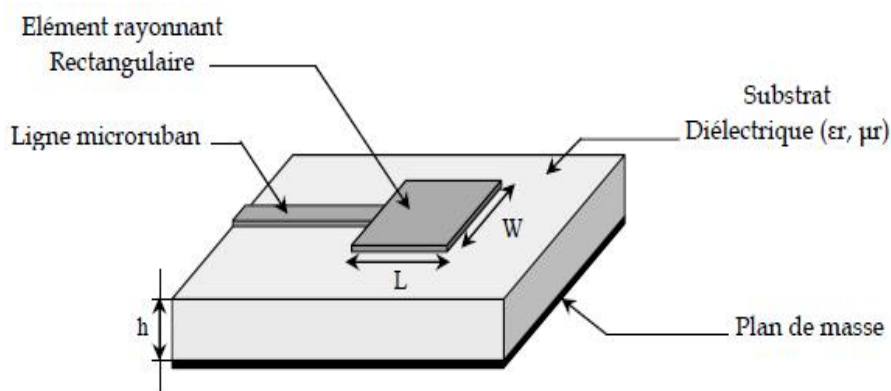


Figure I-6 Alimentation par ligne microruban.

I.7.2 Alimentation par sonde coaxiale

L'alimentation coaxiale ou l'alimentation de sonde est une technique très utilisée pour alimenter les antennes micro rubans (Figure I-7) Dans ce cas le conducteur intérieur du connecteur coaxial traverse le diélectrique et est soudé au patch, alors que le conducteur externe

est relié au plan de masse, Cette alimentation est facile à mettre en œuvre et à adapter. Son rayonnement parasite est faible, et son inconvénient principal est qu'elle fournit une bande passante étroite [5][8].

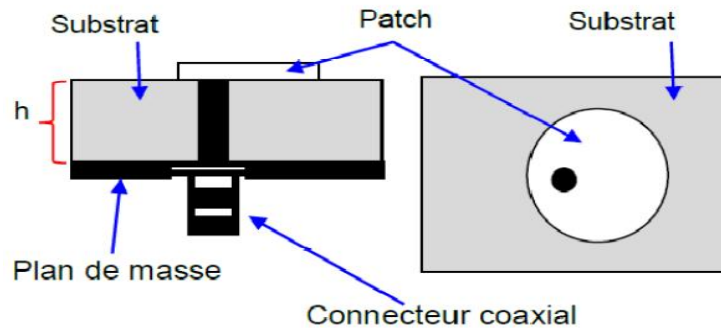


Figure I-7 Alimentation par sonde coaxiale.

I.7.3. Alimentation couplée par ouverture

Dans ce type d'alimentation, le patch de rayonnement et la ligne d'alimentation du micro ruban sont séparés en plan de masse comme indique sur la Figure I-8. La conjonction entre le patch et la ligne d'alimentation est faite par une ouverture ou une fente dans le plan de masse. Généralement, les matériaux à permittivité élevée sont employés pour le substrat inférieur par contre les matériaux à faible constante diélectrique sont utilisés pour le substrat supérieur dans le but d'optimiser le rayonnement du patch.

Ce type d'alimentation est difficile à concevoir à cause des couches multiples, qui augmentent l'épaisseur d'antenne. Cependant elle offre l'élargissement de bande passante [4].

Mais elle apporte divers avantages [14] :

- ❖ Isolation du circuit d'alimentation de l'antenne ;
- ❖ Diminution des rayonnements parasites au niveau de l'élément rayonnant ;
- ❖ Faible bande passante;

Mais également des inconvénients :

- ❖ Difficile à mettre en œuvre ;
- ❖ Apparition d'un rayonnement arrière du fait que la fente se comporte comme un élément rayonnant. Pour éliminer cet inconvénient, on peut disposer sous la ligne, une plaque de substrat avec une partie métallisée sur sa face inférieure pour créer un nouveau plan de masse [14].

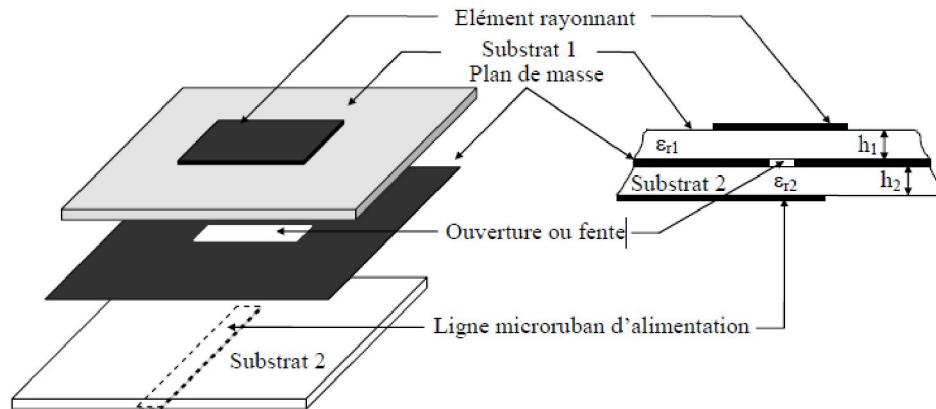


Figure I-8 Alimentation couplée par ouverture.

I.7.4 Alimentation par proximité

Une autre solution pour exciter le patch par couplage est de disposer celui-ci ainsi que la ligne d'alimentation telle que le montre la Figure I-9. Ces deux éléments sont situés au-dessus du plan de masse et la ligne d'alimentation est prise en sandwich entre deux diélectriques. La source rayonnante est excitée par couplage électromagnétique. Parmi les avantages de ce type d'alimentation, nous citons [14]:

- ❖ Elargissement de la bande passante ;
- ❖ Simplicité d'adaptation en fonction de la hauteur du substrat et de longueur du stub.

Néanmoins elle présente quelques inconvénients :

- ❖ Difficile à réaliser ;
- ❖ Possède une grande sensibilité au couplage ;
- ❖ Difficultés de plaquage des couches diélectriques.

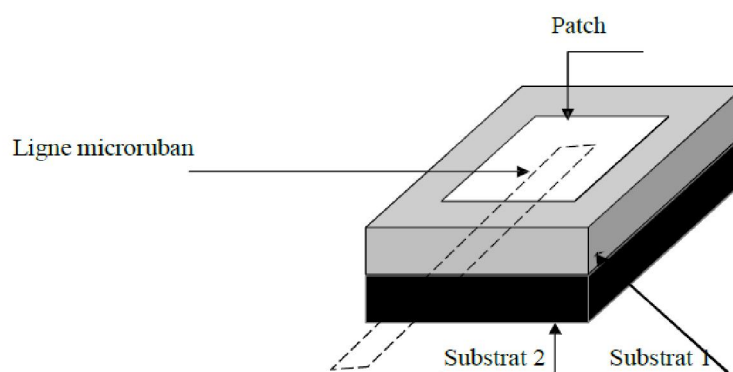


Figure I-9 Alimentation par proximité.

I.8. Avantages et inconvénients des antennes microrubans

Actuellement, les antennes microrubans sont largement utilisées, leurs applications couvrent un large domaine de fréquence 100 MHz à 1000 GHz, leur configuration et dimensions favorisent leurs intégrations sur de nombreux mobiles (avion, voiture, missile,...). Parmi les avantages de ces d'antennes, on peut citer [15]:

- Profil plat ;
- Faible poids ;
- Volume réduit ;
- La conformabilité et la possibilité d'intégrer les circuits micro-ondes au niveau des antennes ;
- Simplicité de leurs structures ;
- Faible coût de fabrication donc la production en grandes quantités devient facile. ;
- Plusieurs éléments radiants peuvent être placés sur la même plaque avec le réseau d'alimentation ou avec d'autres circuits imprimés (déphaseurs, commutateurs, etc.).

Cependant, elles présentent les inconvénients suivants:

- Faible bande passante (1 à 5 %), le facteur de qualité Q , va d'environ 50 jusqu'à 75 ;
- Faible puissance ;
- Impureté de la polarisation ;
- Faible gain ;
- Donc, la conception des antennes doit répondre à des compromis en termes de performances et de complexité de réalisation .

I.9 Applications des antennes microrubans

Les premières applications pour les antennes microruban ont été celles pour lesquelles la minceur était requise. Les antennes de télémétrie et de communication pour les missiles sont souvent faites en technologie microruban. Des petits réseaux d'antennes sont utilisés pour les radars d'altitude. À cause des conditions d'efficacité imposées pour ces antennes, des techniques spéciales d'alimentation sont employées pour minimiser les pertes. Les antennes imprimées sont aussi présentes dans les liens entre les satellites ou les bateaux,... etc. Les systèmes GPS (Global Positioning System) d'aujourd'hui utilisent aussi des antennes imprimées [16].

I.10 Méthodes d'analyse

Les antennes microrubans, généralement constituées d'un élément rayonnant à deux dimensions imprimé sur un substrat de faible permittivité, sont principalement analysées par les méthodes dédiées aux circuits planaires [8].

Plusieurs méthodes d'analyse ont été utilisées, allant des modèles analytiques simples jusqu'aux méthodes numériques.

I. 10.1 Méthode analytiques

Ces méthodes sont basées sur la distribution du courant magnétique autour du patch, les principales méthodes de cette catégorie sont

- ❖ le modèle de la ligne de transmission ;
- ❖ le modèle de la cavité ;

a) Le modèle de la ligne de transmission

Le premier modèle présenté pour donner des valeurs approximatives des caractéristiques du résonateur microruban est le modèle de la ligne de transmission TLM, introduit par Munson.

Ce modèle représente l'antenne imprimée par deux fentes rayonnantes de largeur W et de hauteur h séparées par une ligne de transmission de longueur de L . La ligne microruban est essentiellement une ligne non homogène à deux diélectriques, typiquement le substrat et l'air[16][17].

b) Modèle de la cavité

À la fin des années 1970 Lo et al. ont développé le modèle de la cavité qui est plus précis que le modèle de la ligne de transmission.

Dans ce modèle la structure du résonateur microruban peut être assimilée à une cavité limitée en haut par une plaque conductrice, en bas par un plan de masse et entourée par une surface latérale [17].

I.10.2 méthodes numériques

Les techniques numériques, basées sur la détermination de la distribution du courant sur la surface de l'élément conducteur et le plan de masse dans le domaine fréquentiel pour certaines et temporel pour d'autres, peuvent analyser les formes les plus arbitraires et les multicouches[8].

Dans les années 1980, la méthode des moments (MoM) était la plus utilisée dans l'analyse numérique. Elle est assez efficace mais fait appel à des formulations plus complexes et à un temps de calcul plus important.

Durant les années 1990, et avec l'amélioration des ordinateurs, d'autres méthodes numériques sont apparues tels que : Méthode des différences finies dans le domaine temporelle (FDTD), Méthode des éléments finies (FEM), Méthode spectrale (SDA), et Méthode des intégrales finies (FIT). Ces méthodes ne souffrent d'aucune approximation, et s'avèrent être très rigoureuses, puisque aucune supposition initiale n'est considérée. En outre, ces méthodes permettent d'étudier des résonateurs de formes très variées impliquant un temps de calcul plus conséquent [17]. Dans ce mémoire on utilise la méthode des intégrales finies (FIT). Cette méthode a été proposée en (1977) par Thomas Weiland s'applique à l'ensemble de l'électromagnétisme (à partir de l'électricité statique à haute fréquence) et des applications optiques constituent la base pour les outils de simulation commerciale.

I.11 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté brièvement les antennes microrubans, une description générale, leurs caractéristiques et fonctionnement. Puis on s'est intéressé au rayonnement d'une antenne rectangulaire, le Choix des paramètres et substrat, les avantages, les inconvénients et leurs applications, ainsi que les différentes méthodes d'analyse utilisées dans ce domaine. Dans le chapitre suivant on va donner une description et généralité sur les cristaux photoniques.

Bibliographie

- [1] L. DJOUABLIA " Contribution à l'étude des structures microbandes rayonnantes par la méthode des moments application a la forme triangulaire" thèse de Doctorat, Institut d'électronique, Université de Constantine juillet 2012.
- [2] Y. TIGHILT " Identification des antennes microrubans multicouches par la méthode spectrale les réseaux de neurones " thèse de Doctorat, Institut d'électronique, Université de Setif. juin 2011.
- [3] M. HASSAD," Modélisation d'une antenne patch réalisée sur un substrat à tenseurs de permittivité et de perméabilité diagonaux " thèse de Magister, Institut d'électronique, Université de Batna, 2009.
- [4] L. CHOUTI " Contribution à l'étude d'antennes imprimées rectangulaires double bande et multi bandes tenant compte de l'effet de couplage " thèse de Magister, Institut d'électronique, Université de Constantine, 2009.
- [5] H. MESSAI "Analyse et conception d'une antenne patch microstrip en utilisant le simulateur électromagnétique HFSS" , Institut d'électronique, Université de M'sila, juin 2014.
- [6] A. AICHE" Etude de l'alimentation par ouverture d'une antenne microstrip circulaire", mémoire de Master, Institut d'électronique, Université de M'sila, juin 2014.
- [7] D. AMEZIANE " Etude et Optimisation d'Antennes Fractales Plaquées" thèse de Magister, Institut de Télécommunications, Université Abou-Bekr Belkaid-Tlemcen, Mai 2009.
- [8] B. BECITA" Antenne microruban de forme rectangulaire à substrats cristaux photoniques" mémoire de Master, Institut d'électronique, Université de M'sila, juin 2014.
- [9] L. BENACHOUR " Modélisation des Structures Planaires de Formes Régulières Implantées sur Substrat d'une Anisotropie Tensorielle" thèse de Magister, Institut d'électronique, Université de Constantine, 2008.
- [10] A. BOYER " ANTENNES SUPPORT DE COURSENONCE DE TRAVAUX DIRIGES", Institut Informatique et Réseau, Université TOULOUSE, Octobre 2011.
- [11] A. KAMIL" Conception d'une antenne patch ultra-large bande (3.1 Ghz-10.6 Ghz)" thèse grade du Maitre ès sciences (M.Sc), Institut National de la recherche scientifique, Université du Québec, 2011.
- [12] S. TEBACHE " Méthode de caractérisation hyperfréquence des antennes imprimées" thèse de Magister, Institut de Génie électrique, Université Mohamed Khider – Biskra, juin 2013.

- [13] A. BOUFRIOUA " Contribution à l'étude des antennes a patch résistifs et parfaitement conducteur tenant compte d'une source d'excitation et des nouvelles formes asymptotiques de courant " thèse de Doctorat, Institut d'électronique, Université de Constantine, Novembre 2006.
- [14] K. BOUFELDJA " Modélisation et Synthèse de réseaux périodiques et non périodiques d'antennes microrubans par l'application d'un Algorithme Génétique-Flou" thèse de Doctorat, Institut d'électronique ,Université Abou-Bekr Belkaid-Tlemcen, Février 2011.
- [15] A. Dada " Antenne microruban de forme circulaire à substrats cristaux photoniques" mémoire de Master, Institut d'électronique, Université de M'sila, juin 2014.
- [16] D. AISSAOUI " Analyse à l'Aide de Modèles Equivalents d'Antennes Imprimées Alimentées par Lignes Adaptées" thèse de Magister, Institut d'électronique, Université Abou-Bekr Belkaid-Tlemcen, Mars 2007.
- [17] F. BENMEDDOUR "Etude et réalisation d'un résonateur microruban de forme circulaire (Application au cas particulier de l'alimentation par couplage) " thèse de Doctorat, Institut d'électronique, Université de Constantine, Mars 2012.

CHAPITRE II

les cristaux photoniques

II.1. Introduction

La première structure périodique à connaître est le matériau à bande interdite photonique (B.I.P) que l'on appelle plutôt en hyperfréquences «matériau à bande interdite électromagnétique». D'une manière générale, on les nomme familièrement «cristaux photoniques» car sa structure se rapproche de la structure cristalline et qu'ils agissent sur les photons. L'intérêt des chercheurs pour le thème des cristaux photoniques est important, surtout depuis la fin des années 90, car ces matériaux périodiques artificiels ont été promis à révolutionner le domaine des télécommunications [1].

L'objectif de ce chapitre est de présenter les concepts de base liés aux cristaux photoniques. Nous commençons alors par un historique des matériaux à bandes interdites photoniques, ainsi que leurs existence dans la nature, Nous étudierons les différents types de cristaux photoniques, en insistant sur la notion de bande interdite photonique, avant d'entrer un peu plus dans les détails pour la structure qui va nous intéresser tout particulièrement : les cristaux unidimensionnels, citer leurs caractéristiques physiques et géométriques, en effet ces dernières trouvent leurs application dans de nombreux domaines tels que l'optique, les circuits microondes et les antennes.

II.2. Historique

En 1887, Lord Rayleigh est le premier qui a montré qu'il est possible de produire un gap ou une bande interdite. En 1987, la parution des deux articles majeurs de Eli Yablonovitch et Sajeev John a rendu possible la production des structures à deux ou trois dimensions possédant des bandes interdites. Les structures unidimensionnelles étudiées en 1987 sont constituées par un empilement multicouche similaire à un « miroir de Bragg ». Comme Lord Rayleigh l'a montré en 1887. Ces structures présentent une bande interdite unidimensionnelle avec une grande réflectivité. Elles sont utilisées à nos jours dans des applications diverses en l'occurrence des surfaces réfléchissantes. Bykov fit aussi des hypothèses sur l'emploi des structures 2D ou 3D et en 1991 Yablonovitch a conçu le premier cristal photonique tridimensionnel possédant une bande interdite dans les micro-ondes [2].

II.3. Définition

Les cristaux photoniques sont des matériaux dont la constante diélectrique est modulée de façon périodique. La périodicité peut être unidimensionnelle (miroir de Bragg), bidimensionnelle

ou encore tridimensionnelle (Figure II-1). Une bande interdite photonique s'ouvre dans une ou plusieurs directions de l'espace selon les cas.

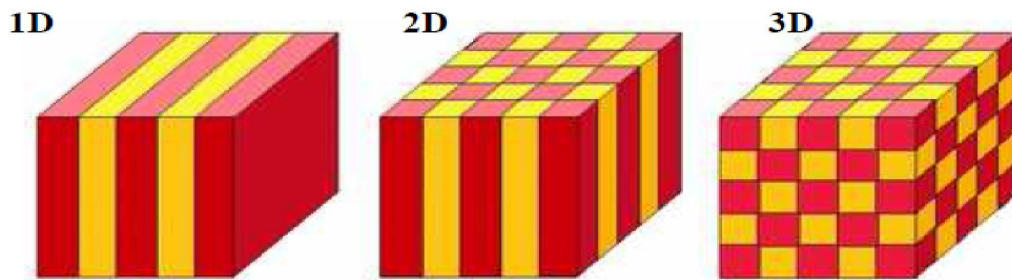


Figure II-1 Représentation schématique de cristaux photoniques unidimensionnels (1D) unidimensionnels, Bidimensionnels (2D) et Tridimensionnels (3D).

On peut noter qu'il existe des cristaux photoniques naturels. Sur la (Figure II-2), on montre une image au microscope électronique d'une opale naturelle constituée d'un réseau quasi-périodique de billes de silice [3].

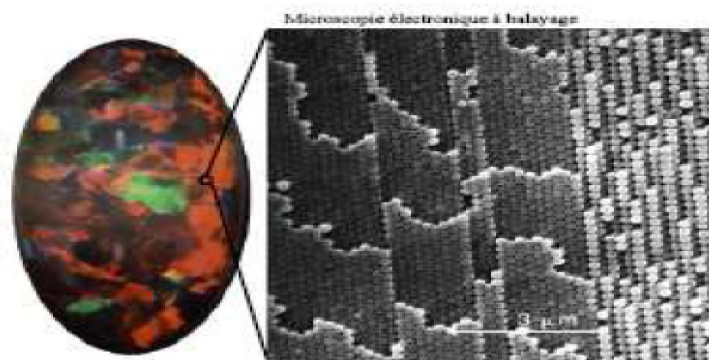


Figure II-2 Image au microscope électronique d'une opale naturelle constituée d'un réseau quasi-périodique de billes de silice.

Cet arrangement périodique des billes de silice est responsable des couleurs chatoyantes des opales naturelles, dans la mesure où le caractère périodique de la structure conduit à des effets de diffraction gouvernés par la loi de Bragg.

L'opale n'est pas le seul exemple de cristal photonique naturel. Des biologistes ont trouvé un ver dont la carapace est un cristal photonique plus performant que ceux fabriqués jusqu'à présent. Cet animal se nomme souris de mer (Figure II- 3) [3].

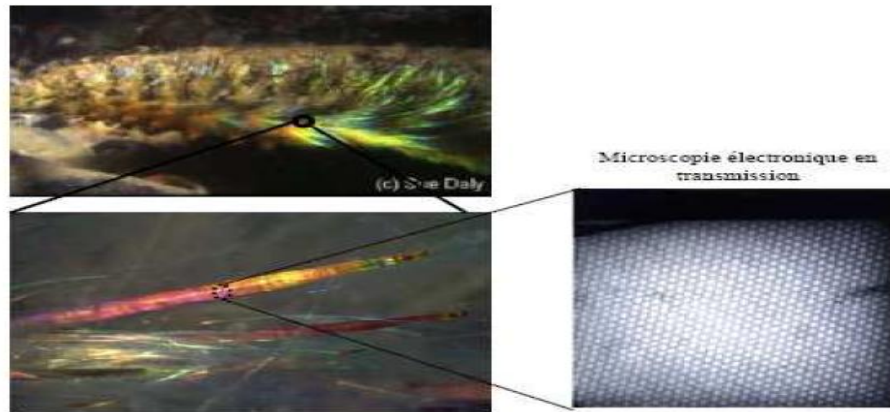


Figure II-3 Exemples de réalisations naturelles de structures périodiques. Ces structures apparaissent chez certaines espèces animales et minérales comme les souris de mers.

II.4. Cristaux photoniques à une dimension (réseau de Bragg)

Un cristal photonique unidimensionnel (1D) est composé de l'alternance périodique dans une seule direction de l'espace de deux milieux diélectriques de constantes diélectriques respectives ϵ_1 et ϵ_2 . Le miroir de Bragg constitué d'un empilement successif de couches de deux indices de réfractifs différents forme un cristal photonique à une dimension. Un schéma de cette structure est représenté sur la Figure II-4. Les bandes interdites de cette structure, appelée également miroir de Bragg, sont sensibles à l'angle d'incidence de l'onde. Ainsi pour obtenir un contrôle des bandes interdites quel que soit l'angle d'incidence, il faut étendre la périodicité de la structure à 2 ou 3 dimensions. Les structures 1D sont les plus anciennes, elles ont déjà été longuement étudiées et utilisées comme miroirs diélectriques ou filtres optiques [4].

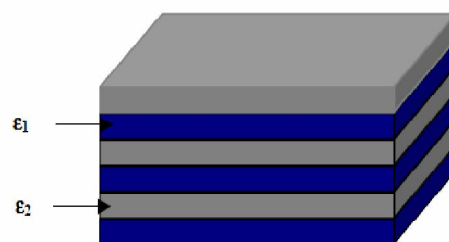


Figure II-4 Schéma d'un miroir de Bragg constitué d'un milieu diélectrique périodique fini.

II.4.1. Ouverture d'une bande interdite 1D

Prenons une onde plane électromagnétique de vecteur d'onde k selon la direction de l'empilement. L'onde va se réfléchir à chaque interface de cellule périodique élémentaire pour

donner une onde de vecteur d'onde k (Figure II-5.b). Le déphasage $\Delta\phi$ entre deux ondes réfléchies séparées par une cellule élémentaire de la structure périodique est $2ak$. Pour $k = \pi / a$ les ondes réfléchies interfèrent constructivement. Les ondes propagatrices et réfléchies de même énergie w_0 ainsi couplées par le milieu donnent naissance à deux ondes stationnaires de fréquences distinctes ω_1 et ω_2 [5].

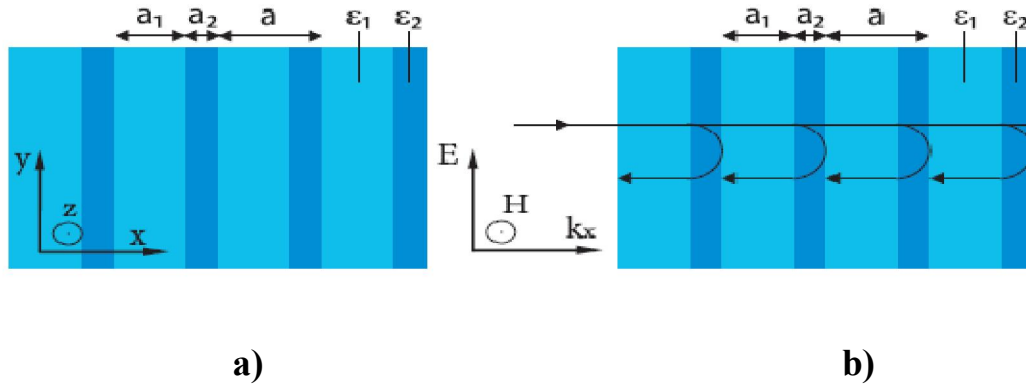


Figure II-5 (a) Représentation schématic d'un miroir de Bragg constitué de 2 types de couches de permittivité ϵ_1 et ϵ_2 . La maille du cristal est $a = a_1 + a_2$. (b) Schémas des réflexions sur les mailles successives.

La dégénérescence des fréquences ouvre une bande interdite photonique $\Delta\omega$ entre ω_1 et ω_2 (Figure II-6). Cette bande est d'autant plus étroite que le contraste d'indice de réfraction entre les couches est faible, mais existe dès que $\epsilon_1 \neq \epsilon_2$. Lorsque les épaisseurs optiques des différentes couches sont égales ($n_1 a_1 = n_2 a_2$), la largeur $\Delta\omega$ de cette bande interdite ne dépend que du contraste d'indice, elle peut être approchée par :

$$\Delta\omega = \frac{4}{\pi} \omega_0 \sin^{-1} \frac{(n_1 - n_2)}{(n_1 + n_2)} \quad (\text{II.1})$$

Où n_1 et n_2 sont les indices de réfraction des deux matériaux diélectriques avec:

$$n = \sqrt{\epsilon} \quad (\text{II.2})$$

De part et d'autre de la bande interdite, les modes optiques propres de la structure sont stationnaires: la puissance du mode de fréquence ω_1 se concentre dans le matériau de fort indice, tandis que celle du mode de fréquence ω_2 se concentre dans le matériau de faible indice. Pour cette raison, les bandes de transmission correspondantes sont désignées respectivement par bande diélectrique et bande d'air [5].

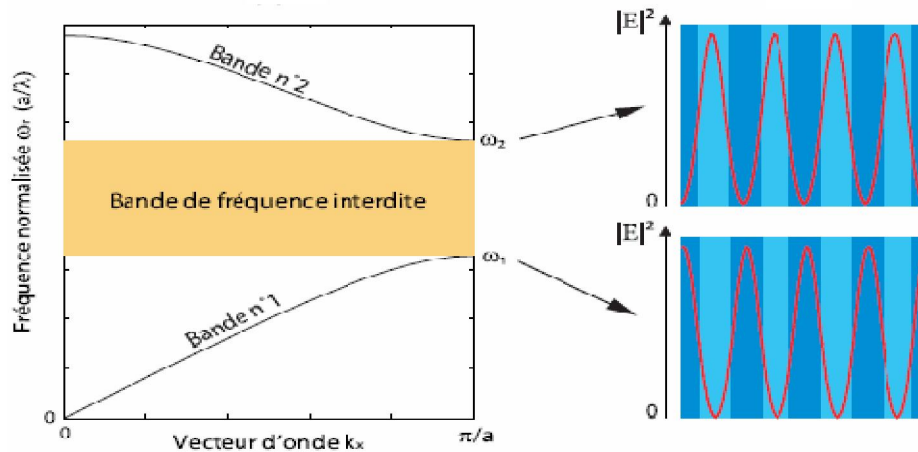


Figure II-6 (a) Relation de dispersion d'un miroir de Bragg ($a_1 = a_2, \epsilon_1 = \epsilon_2 = 11$) pour un vecteur d'onde perpendiculaire aux couches. (b) Allure du champ électrique $|E|^2$ pour $k_x = \pi/a$ à l'intérieur des couches.

II.4.2. Bande interdite complète

Une bande interdite photonique d'un cristal est dite complète (ou totale) lorsque, pour le domaine de fréquences considéré, le cristal ne supporte aucun mode électromagnétique de propagation; c'est-à-dire qu'une onde dont la fréquence est dans la bande interdite totale ne peut pas se propager dans le cristal quelle que soit sa polarisation et sa direction de propagation.

Seule une structure dont l'indice est périodique dans les trois directions de l'espace est susceptible de posséder des bandes interdites complètes. Mais souvent, le caractère total d'une bande interdite s'entend par rapport au nombre de directions de périodicité que le cristal possède. Ainsi, pour un cristal à deux dimensions une bande est dite complète si, dans le domaine de fréquences considéré, le cristal ne supporte aucun mode pour une propagation dans le plan perpendiculaire aux tiges. Un cristal à une dimension possède une bande interdite pour une propagation dans la direction de périodicité si quelle que soit la fréquence considérée, il est impossible de trouver un mode supporté par la structure[5].

II.4.3. Largeur de la bande interdite photonique

La largeur de la bande interdite photonique (gap) dépend du contraste d'indice des deux milieux: lorsque ce contraste est faible, la largeur du gap est faible(Figure II-7.a) et lorsqu'il est élevé, elle augmente considérablement (Figure II-7. b) [4].

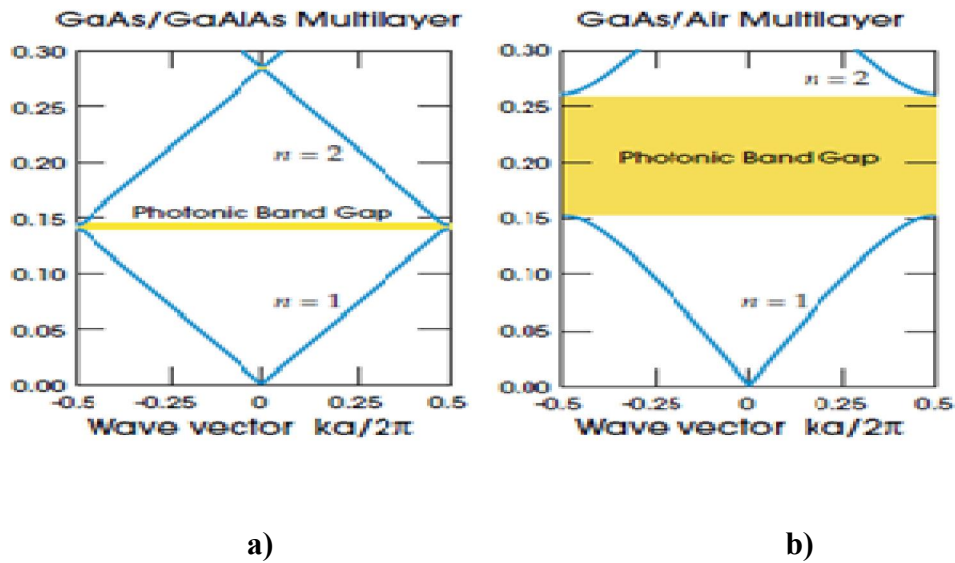


Figure II-7 Structures de bandes photoniques pour des réseaux de Bragg de pas a avec (a) des couches de permittivité $\varepsilon = 13$ et 12 et (b) de permittivité $\varepsilon = 13$ et 1 .

II.5. Les cristaux photoniques bidimensionnels

Les cristaux photoniques bidimensionnels sont des structures périodiques suivant deux directions de l'espace et infinies suivant la troisième. Il existe deux types de structures périodiques bidimensionnelles:[6]

a- Les structures dites «connectées» : Dans ces structures l'indice de réfraction du motif élémentaire n_1 est inférieur à l'indice n_2 de la matrice diélectrique. Cette structure est constituée de trous d'air percés dans la matrice diélectrique comme il est montré sur la Figure II-8.b.

b- Les structures dites «déconnectées» : Dans ce cas, les motifs élémentaires sont d'indice n_1 supérieur à l'indice n_2 de l'espace inter-motifs comme il est représenté sur la Figure II-8.a. Elles sont constituées de tiges diélectriques ou métalliques alignées périodiquement dans l'air [6].

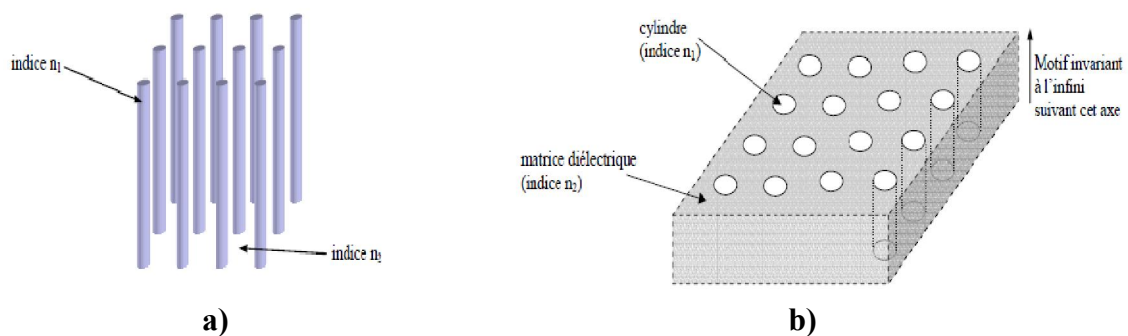


Figure II-8 Structures bidimensionnelles: (a) déconnectée (b) connectée.

II.5.1. Différentes familles de cristaux photoniques bidimensionnelles

Il est possible d'introduire des défauts dans ce type de cristal photonique. Le guide d'onde classique se compose d'une couche diélectrique entourée de deux autres couches diélectriques d'indices de réfraction plus faibles. Les guides d'ondes classiques sont couramment utilisés en optique intégrée et sont facilement fabriqués par des techniques habituelles d'épitaxie. Les trous des cristaux photoniques sont gravés dans le guide d'onde classique. Ce type de cristal photonique s'appelle : cristal photonique bidimensionnel planaire. Il est fabriqué à l'aide de technologies standard de la microélectronique qui laissent une grande liberté quant aux modifications locales des propriétés du réseau. Ces avantages font de ces structures des candidats prometteurs pour la réalisation de composants pour l'optique intégrée[6].

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

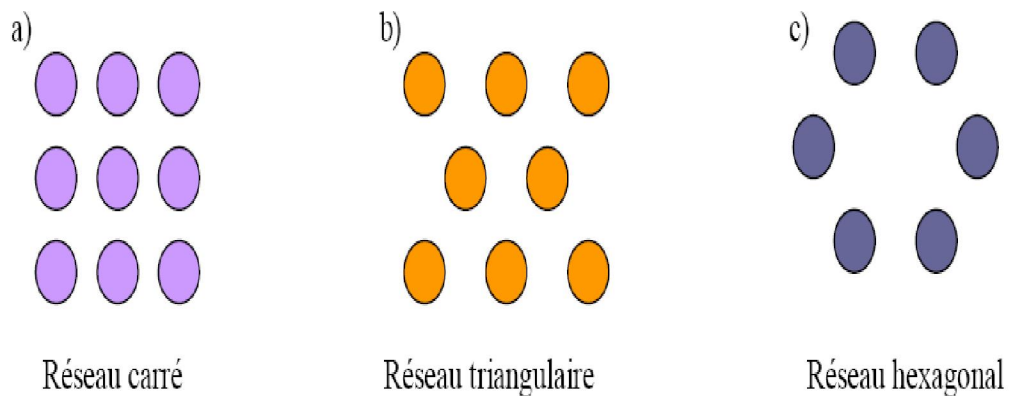


Figure II-9 Différents réseaux.

II.6. Cristaux photoniques tridimensionnels

Les cristaux photoniques 3D constituent la seule structure qui permet d'obtenir une bande d'énergie interdite dans toutes les directions de l'espace. Le premier cristal photonique tridimensionnel a été fabriqué par K.M. Ho et al. . Il était formé de sphères de silicium arrangées sur une structure diamant. Mais l'histoire retient généralement la célèbre Yablonovite , structure 3D pour les micro-ondes fabriquée en 1993 par E. Yablonovitch en perçant des trous dans du plexiglass selon trois angles azimutaux séparés de 120° (Figure II-10) [7].

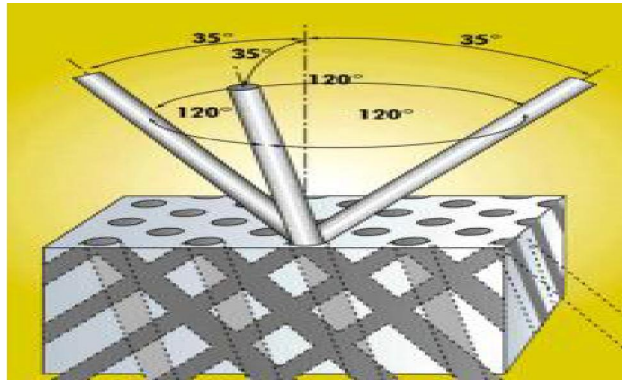
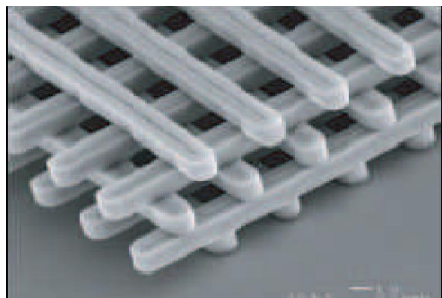


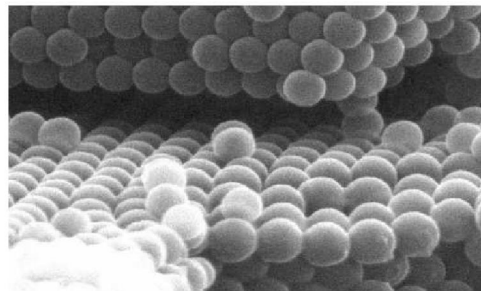
Figure II-10 Structure 3D, Structure « La Yablonovite ».

De nombreuses méthodes de fabrication des cristaux photoniques tridimensionnels ont été proposées. Les deux suivantes ont attiré le plus d'efforts de recherche:

- ❖ **Structures « Tas de bois »** : Ces structures 3D sont obtenues en déposant par couches successives des rubans de silicium polycristallin dans des tranchées de silice. Après avoir bâti la structure, la silice est retirée pour obtenir un cristal photonique 3D Si/air dont le contraste d'indice est suffisant pour ouvrir une bande d'énergie interdite omnidirectionnelle (Figure II-11.a).
- ❖ **Opales** : Des opales sont obtenues chimiquement par auto-organisation. La première opale a été obtenue par sédimentation de sphères de silice (SiO_2) en solution: par sédimentation ces sphères s'arrangent selon un réseau cubique à faces centrées. Le nombre important de défauts dans les premières opales a été fortement réduit grâce à des techniques de croissance auto-organisées proposées par Y.A. Vlasov (Figure II-11.b). La plupart de ces cristaux colloïdaux ne présentent pas de bandes d'énergie interdites, à cause du faible contraste d'indice. Cependant, ces structures servent d'empreinte pour la réalisation d'opales inverses à partir de l'infiltration d'un matériau de haut indice. Les sphères initiales sont ensuite dissoutes pour aboutir à la structure finale de sphères d'air dans une matrice de haut indice [7].



a)



b)

Figure II-11 a) Structure « tas de bois » **b)** Les opales.

II.7. Caractéristiques géométriques et physiques d'un cristal photonique

Un cristal photonique est caractérisé par : les différents matériaux qui le composent, le système cristallin selon lequel ces matériaux sont organisés et les volumes relatifs qu'ils occupent dans la cellule élémentaire du cristal. Les quantités représentatives de ces différentes caractéristiques sont [8]:

II.7.1. Le contraste d'indice δ

Rapport entre les indices des deux matériaux, qui peut être comparé à la hauteur de la barrière de potentiel de la physique du solide[8].

$$\delta = n_h / n_l \quad (\text{II.3})$$

avec:

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

n_l : L'indice de réfraction du matériau de faible indice.

II.7.2. Les périodes

Ces paramètres géométriques choisis selon le domaine de fréquence étudié, influent sur les caractéristiques de la bande interdite photonique. par exemple pour un cristal photonique unidimensionnel, la période $a = (a_1 + a_2)$ avec a_1 l'épaisseur de la couche de permittivité ϵ_1 et a_2 l'épaisseur de la couche de permittivité ϵ_2 .

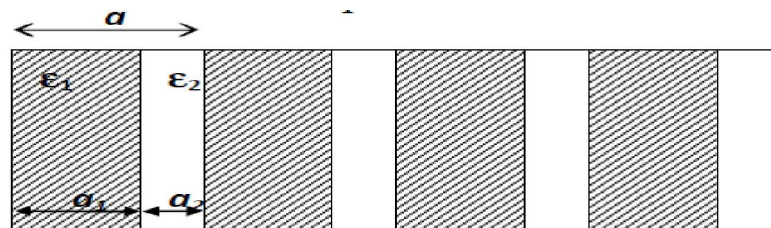


Figure II-12 Les périodes d'un cristal photonique unidimensionnel.

II.7.3. Le facteur de remplissage f

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

L'influence de ces différents paramètres sur le comportement d'une structure photonique peut être comprise par analogie avec un potentiel périodique induit de l'arrangement des atomes dans un semi-conducteur[8].

II.8. Les différentes applications

a) Guides d'ondes

L'idée de réaliser les guides d'onde est apparue en 1994 et les premières réalisations sont arrivées en 1999[4].

Le processus de guidage dans les guides à cristal photonique est différent de celui des guides classiques à réfraction (guidage par indice) puisqu'ils reposent majoritairement sur l'existence d'une bande interdite omnidirectionnelle dans le plan (guidage par bande)[9].

Les guides coudés (courbés) permettent théoriquement de réaliser des virages avec des rayons de courbure de l'ordre de longueur d'onde sans pertes, mais expérimentalement des problèmes de réflexion et de pertes subsistent à cause du couplage dans le virage vers les modes de fuite dans le cône de lumière[9].

La Figure II-13 donne la structure d'un guide photonique droit et d'un autre coudé

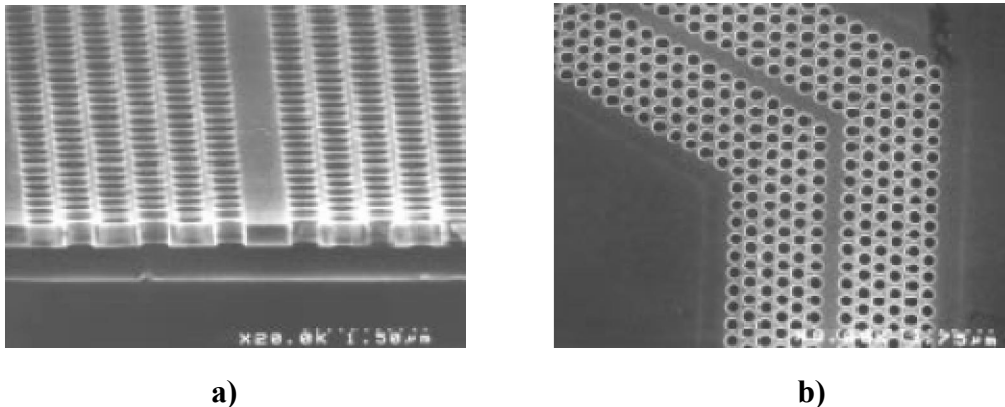
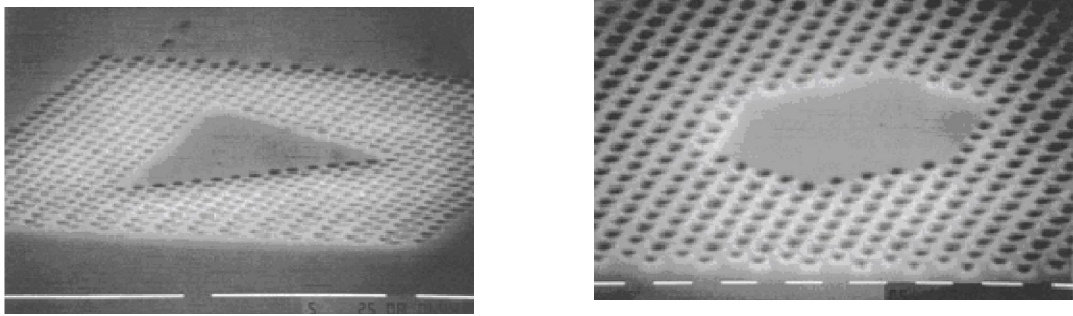


Figure II-13 guides d'onde à cristaux photoniques : a) droit, b) coudé.

b) Cavités

Les premières cavités avec des cristaux photoniques bidimensionnels sont réalisées en 1996, ces cavités sont élaborées en incluant des mono défauts sur le réseau cristallin photonique. Les cavités sur membrane suspendue (entourée d'air semblent donner les meilleurs résultats) avec des dimensions très petites, sont illustrées dans la Figure II-14, une cavité triangulaire et une autre hexagonale plongées dans un cristal photonique triangulaire[9].



a)

b)

Figure II-14 cavités sur membrane suspendue : a) cavité triangulaire b) cavité hexagonale, entourées par un cristal photonique triangulaire.

c) Filtres et multiplexeurs

Une fonction importante qu'on peut réaliser avec des cristaux photoniques : le multiplexage en longueurs d'ondes (WDM, Wavelength Division Multiplexing). L'objectif est d'insérer ou d'extraire des longueurs d'onde bien précises. Plusieurs réalisations ont montré la possibilité du couplage d'une cavité avec un guide. Par exemple, la réalisation permet l'extraction ou l'insertion dans un guide d'une longueur d'onde bien précise[10].

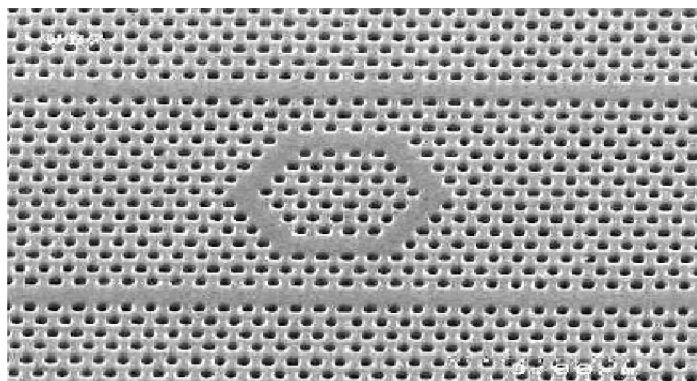


Figure II-15 La structure et le principe de fonctionnement d'un filtre Add- Drop.

d) Les fibres optiques

Les fibres dites à « cristal photonique » sont apparues en 1996 aux universités de Bath et de Southampton. Elles sont constituées d'un cœur de silice pure entouré d'un arrangement régulier de canaux d'air de dimensions microscopiques, disposés parallèlement à l'axe (Figure II-16)[11].



Figure II-16 Exemple de fibre à cristal photonique.

e) Réflecteurs et antennes

En exploitant les propriétés de réflexions des cristaux photonique dans le gap, nombreuses études ont été menées et montrent l'utilisation de matériau BIP comme substrat d'antenne ou comme réflecteur dans le but d'augmenter la directivité des antennes[9].

II.9. Application des BIP dans le domaine des micro-ondes et des antennes

Très vite après l'introduction du concept par Yablonovitch, les chercheurs ont montré un important intérêt pour ces matériaux et pour leurs applications dans le domaine des antennes et des composants micro-ondes.

Des travaux tirant profit des propriétés des BIP ont alors vu le jour. Ainsi dans le domaine des antennes on a réussi à réduire le niveau des lobes secondaires en évitant de piéger le champ électromagnétique dans le plan de masse arrière de l'antenne [12][13].

Un grand nombre d'équipes de recherche se sont intéressées à l'étude des BIP aux fréquences micro-ondes en raison des multiples applications envisageables dans ce domaine de fréquence. Le secteur des télécommunications avec notamment les antennes, est très impliqué. En effet, on peut utiliser des matériaux à bandes photoniques interdites pour la réalisation de : [14]

- ❖ Substrats d'antennes : les premières expériences visant à exploiter les cristaux photoniques diélectriques comme substrat d'antennes ont été menées par E.R. Brown et al.
- ❖ Surfaces à hautes impédances, qui peuvent être utilisées pour améliorer la directivité des antennes [14].

II.10. Conclusion

Les cristaux photoniques sont des matériaux dont la constante diélectrique varie de façon périodique, à l'échelle de la longueur d'onde, dans une ou plusieurs directions. Cette périodicité est à l'origine de plusieurs propriétés intéressantes comme par exemple l'ouverture d'une bande photonique interdite interdisant la propagation des ondes électromagnétique. L'utilisation de cet effet de bande interdite ouvre la voie à la réalisation de nombreuses fonctions optiques telles que le guidage ou le filtrage de la lumière et aussi dans le domaine des micro-ondes et des antennes. Dans le chapitre suivant on va donner comment créer, simuler et analyser une antenne microruban en utilisant le logiciel CST MICROWAVE.

Bibliographie

- [1] G. LUNET " Radome actif utilisant des matériaux et structures a propriétés électromagnétiques contrôlées" thèse de Doctorat, Institut sciences physiques, Université bordeaux, octobre 2009.
- [2] M. LABID " Conception et application des métamatériaux pour des circuits RF " " thèse de Doctorat, Institut d' information et de Communications, Ecole Supérieure des communications de Tunis,2012.
- [3] B. FEIDA" Etude des guides d'ondes a cristaux Photoniques bidimensionnels" thèse de Magister, Institut d'électronique, Université de Constantine,2008.
- [4] A. BENMERKHI" optimisation du confinement de la lumière dans des cavités a cristaux photoniques" thèse de Doctorat, Institut d'électronique, Université de Constantine, Mai 2012.
- [5] R. BENDJELLOUL " Etude du couplage dans les guides d'onde à cristaux photoniques" thèse de Magister, Institut d'électronique, Université de Constantine, Novembre 2009.
- [6] Y. DEHIRI " Etude et modélisation de la bande interdite photonique dans les cristaux Photoniques bidimensionnels cas d'une structure connectée "" mémoire de Master, Institut d'électronique, Université de M'sila,2014.
- [7] B. LOMBARDET "étude et réalisation de cristaux photoniques pour l'optique intégrée" thèse de Doctorat, Institut de photonique et d'électronique quantiques, École Polytechnique, France,2005.
- [8] L. Boukerzaza " Influence des paramètres physiques sur la bande interdite Photonique d'un cristal photonique bidimensionnel à réseau hexagonal" thèse de Magister, Institut d'électronique, Université de Constantine, 2008.
- [9] K. BOULELLI "Simulation des effets géométrique des cristaux Photoniques bidimensionnels" thèse de Magister, Institut d'électronique, Université de Constantine, 2009.
- [10] A. Dada " Antenne microruban de forme circulaire à substrats cristaux photoniques" mémoire de Master, Institut d'électronique, Université de M'sila, juin 2014.
- [11] Y.MERLE "Etude de la dispersion électromagnétique dans les matériaux périodiques diélectriques bidimensionnels" thèse de Doctorat, Institut électronique, l'université de limoges, novembre 2003.
- [12] A. Ourir "Applications de Matériaux Bandes Interdites Photoniques et de métamatériaux en Télécommunications "thèse de Doctorat, Institut physique , Université de Paris XI d'Orsay, décembre 2006.

[13] B. BECITA " Antenne microruban de forme rectangulaire à substrats cristaux photoniques" mémoire de Master, Institut d'électronique, Université de M'sila, juin 2014.

[14] S. Massaoudi " Etude théorique et expérimentale des matériaux à bandes interdites photoniques bidimensionnels en micro-onde : application à l'ultrarefraction" thèse de Doctorat, Institut d'électronique, université paris XI, Février 2005.

CHAPITRE III

Présentation du logiciel CST

III.1. Introduction

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

Dans ce chapitre nous montrons comment créer, simuler et analyser une antenne micro-ruban en utilisant l'environnement de conception CST MICROWAVE STUDIO.

III.2. Présentation du logiciel CST MICROWAVE STUDIO

CST MICROWAVE STUDIO est un outil spécialisé pour la simulation et la conception électromagnétique en trois dimensions (3D) des composants hautes fréquences[2]. Il simplifie le processus de saisie de la structure et la définition des équipements en fournissant une interface graphique de modélisation puissante et solide (Figure III-1). Après la modélisation du composant, une procédure de maillage automatique peut être appliquée avant que la procédure de simulation ne soit lancée.

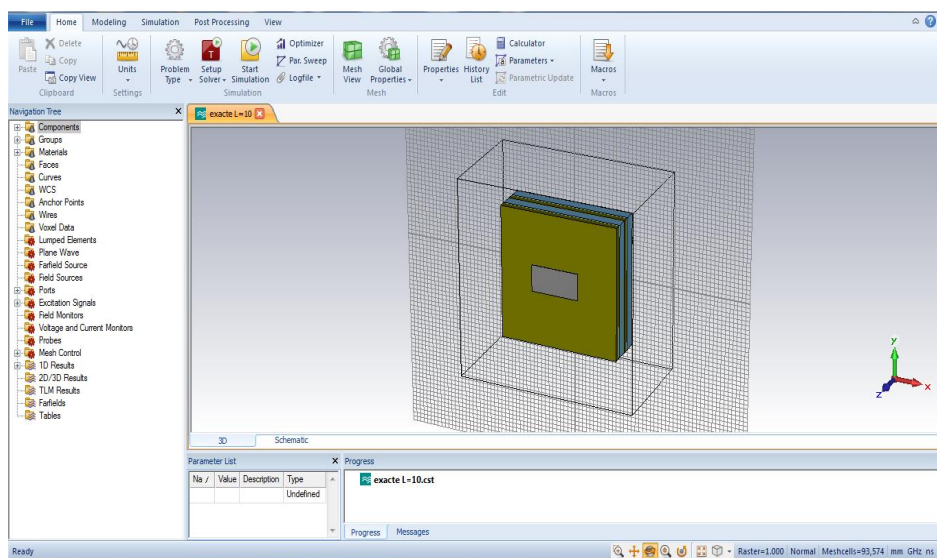


Figure III-1 Interface graphique de CST MICROWAVE STUDIO.

CST MICROWAVE STUDIO est un module qui fait partie du logiciel CST STUDIO SUITE et propose un certain nombre de solveurs pour différents types d'application. Le logiciel contient

quatre techniques différentes de simulation (solveur transitoire, solveur fréquentiel, solveur d'équation intégrale, et solveur de mode propre) pour mieux répondre aux applications particulières. L'outil le plus flexible est le solveur transitoire, qui peut obtenir le comportement fréquentiel pour une large bande de fréquence par une seule et unique simulation (contrairement à l'approche fréquentielle de nombreux autres simulateurs). Il est basé sur la technique FIT (en anglais : Finite Integration Technique) qui a été introduite en électrodynamique plus de trois décennies auparavant. Ce solveur est efficace pour la plupart des types d'applications à haute fréquence tels que des connecteurs, des lignes de transmission, filtres, antennes etc...[2].

III.2.1. la méthode d'intégration finie

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

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

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

En raison de sa capacité à résoudre des problèmes électromagnétiques à la fois dans le temps et dans le domaine fréquentiel, pour une variété de propriétés des matériaux, et à son exceptionnel numérique efficacité et précision, la FIT a été utilisé dans le monde entier dans la simulation d'une large gamme d'appareils, de DC à THz. Par ailleurs, la méthode d'intégration finie contribue, dans la dernière décennie, à des changements fondamentaux de point de vue pour d'autres méthodes numérique, telles que la méthode des éléments finis[3].

III.2.2. Aperçu de la structure de l'interface utilisateur

L'image suivante montre une capture d'écran du CST Microwave Studio comme un exemple.

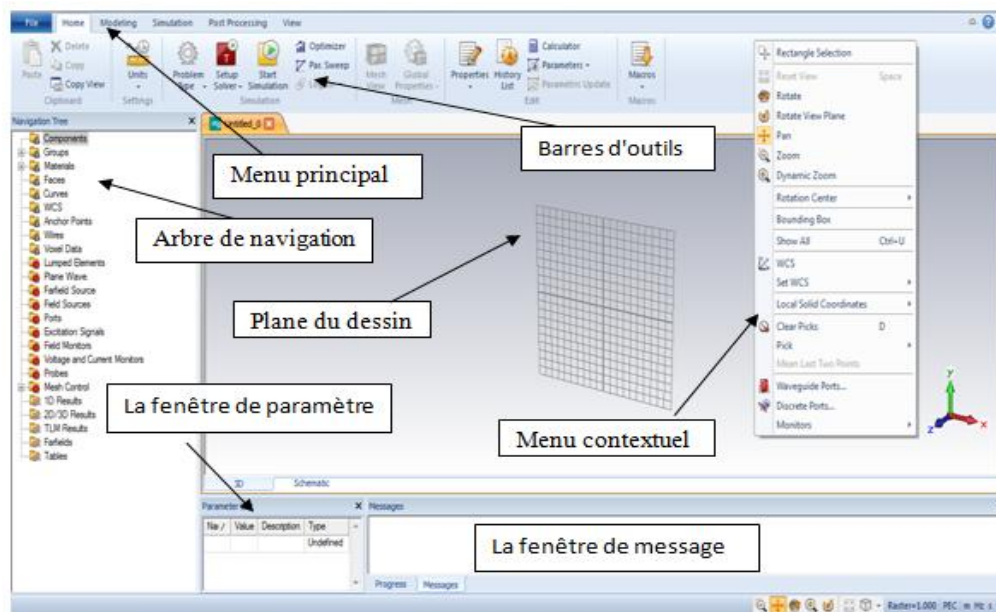


Figure III-2 La fenêtre principale du logiciel CST.

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

Les menus contextuels sont un moyen souple d'accéder à des commandes de menu les plus fréquemment utilisées pour le contexte actuel. Le contenu de ce menu qui peut être ouvert en appuyant sur le bouton droit de la souris.

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

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

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

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

III.3. Exemple d'un projet en CST

III.3.1. Démarrer le logiciel

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

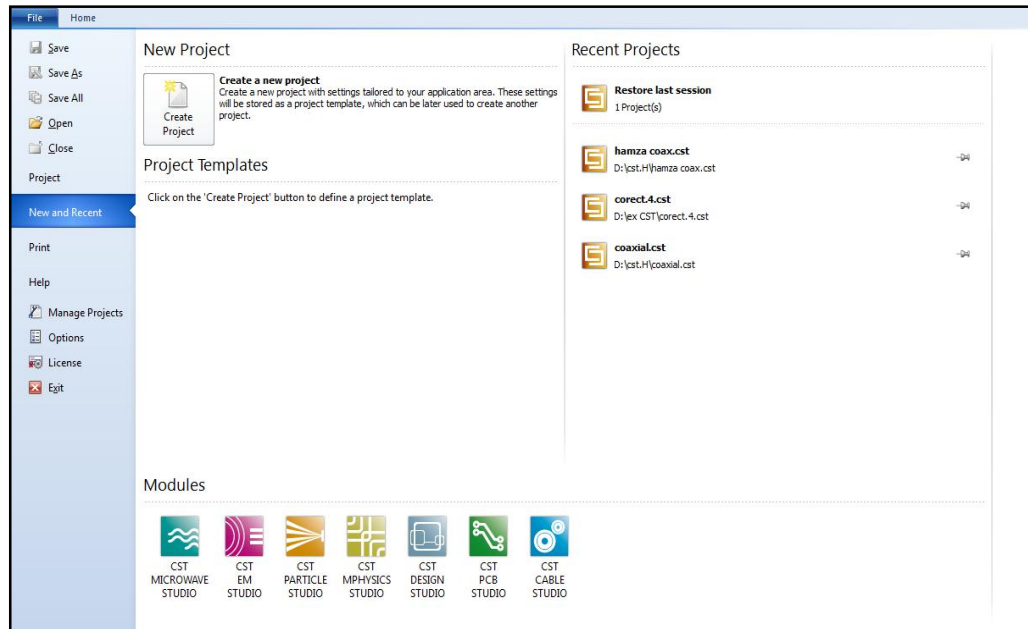


Figure III-3 La fenêtre d'accueil.

Dans cette boîte de dialogue, sélectionnez CST MICROWAVE STUDIO et cliquez sur OK. Une fois le module correspondant est initialisé, vous verrez une fenêtre similaire à la suivante:

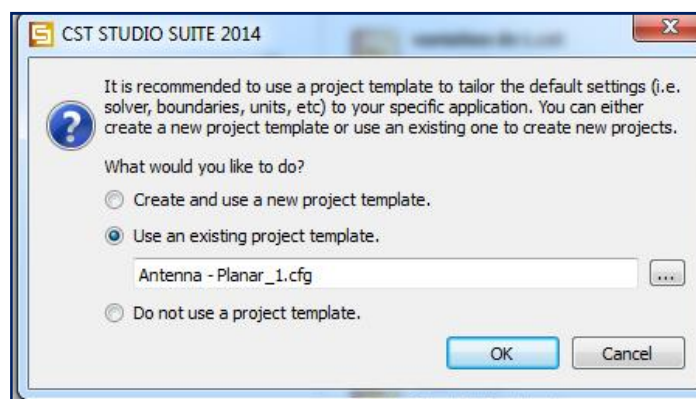


Figure III-4 La fenêtre de créer un nouveau projet.

Sélectionner < Use an project template (Antenna-planar)> et cliquez sur le bouton OK.

III.3.2. Créer le plan de masse

- 1-Activez l'outil de briques en cliquant sur l'icône correspondante  dans la barre d'outils de l'objet.
- 2-On peut définir un point de départ par un double-clique sur un emplacement sur le plan du dessin.
- 3-Maintenant, on peut sélectionner la base de la face de coin de la brique sur le plan du dessin par double-cliquant dessus.
- 4-Ensuite, définir la hauteur de la brique en faisant glisser la souris. Double-cliquez pour fixer la hauteur de la brique.
- 5-Enfin, une boîte de dialogue s'ouvre on va entrer les valeurs numériques de tous les coordonnées et après on va choisir le matériau dans ce cas (PEC : perfect electric conductor) et cliquez sur OK.

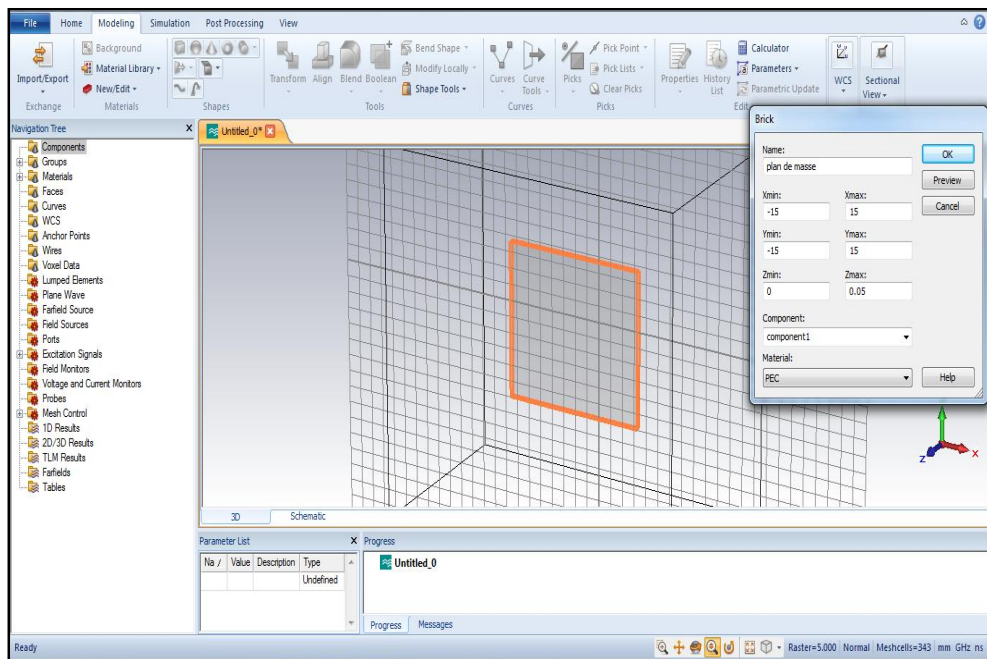


Figure III-5 Créer un plan de masse.

III. 3.3. Créer des substrats diélectriques

Le substrat est constitué de quatre couches diélectriques.

Pour créer les couches 1 et 3 il faut:

- 1- Choisir dans la barre d'outils l'icône correspondante  et les mêmes étapes que celles du plan de masse.

- 2- En utilisant la boîte de dialogue, on va introduire les valeurs numériques et choisir le matériau dans ce cas (vacuum :air) cliquez sur OK
- 3- Pour créer les couches 2 et 4 mêmes étapes de la création les couches 1 et 3 , mais le matériau dans ce cas (Epoxy resin).

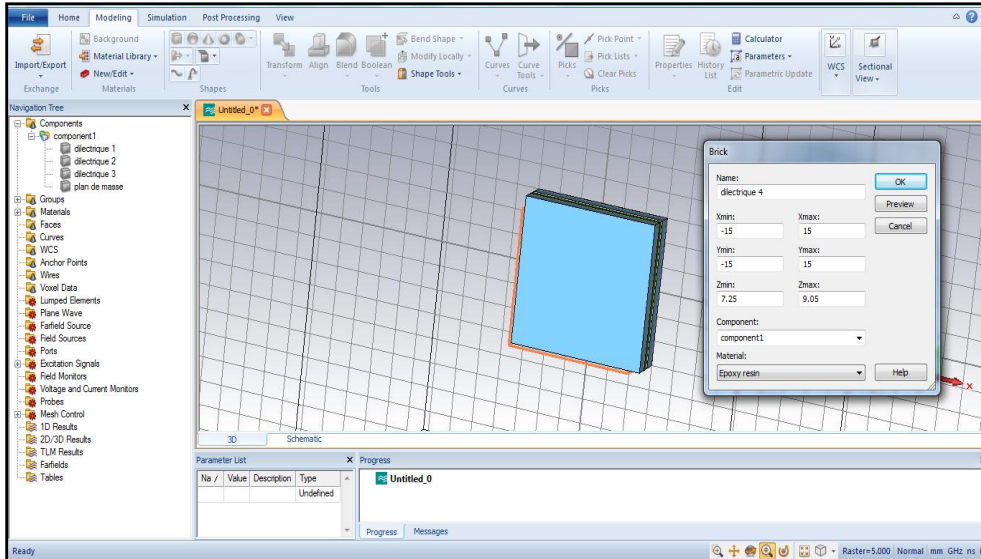


Figure III-6 Créer des substrats diélectriques.

III.3.4. Créer le patch

Pour créer le patch il faut :

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

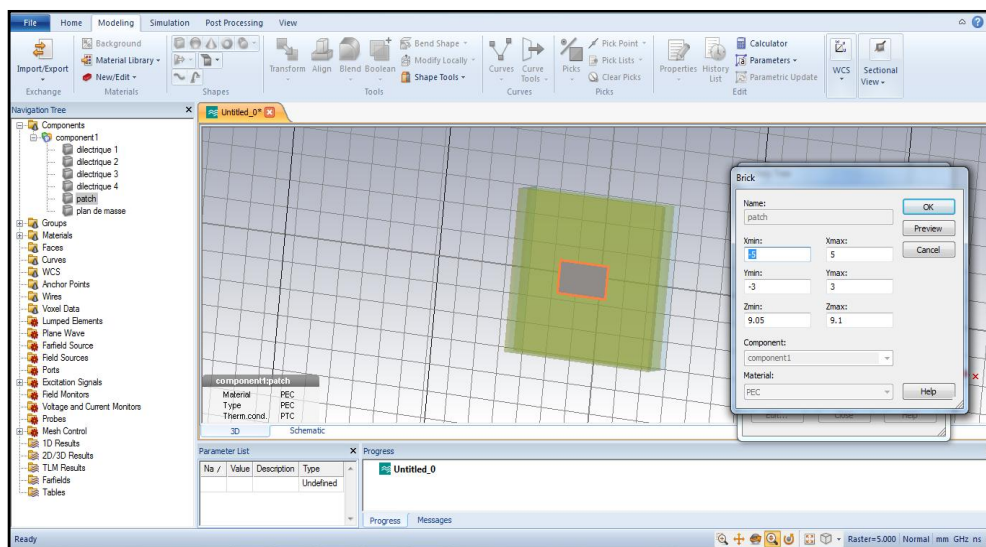


Figure III-7 Créer le patch.

III.3.5. Définir le port

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

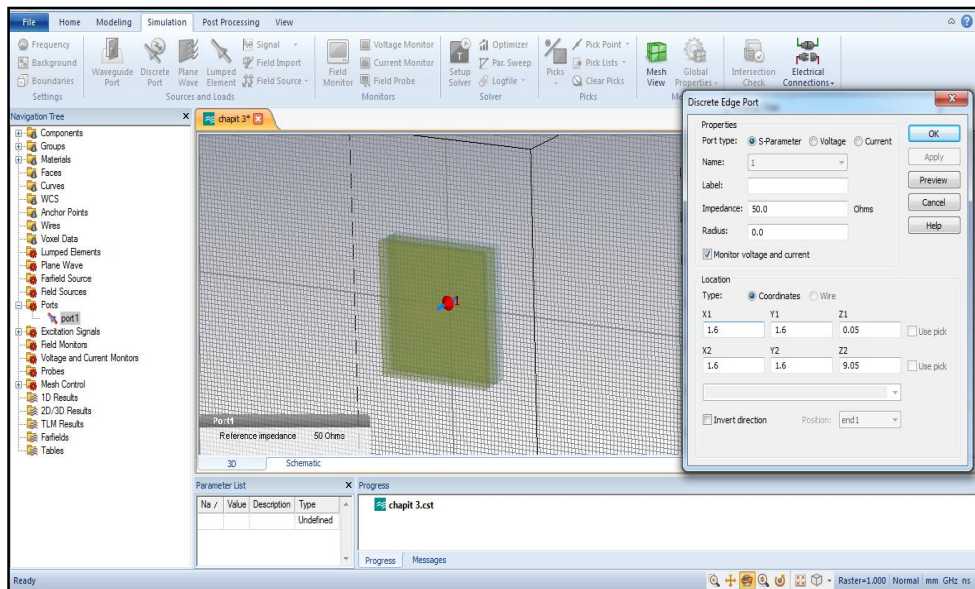


Figure III-8 Définir le port.

III.3.6. Définir le domaine de fréquence

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

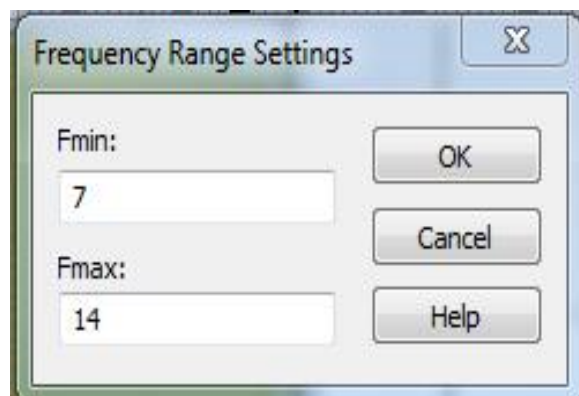


Figure III-9 Définir le domaine de fréquence.

III.3.7. La simulation

Pour lancer la simulation il faut :

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

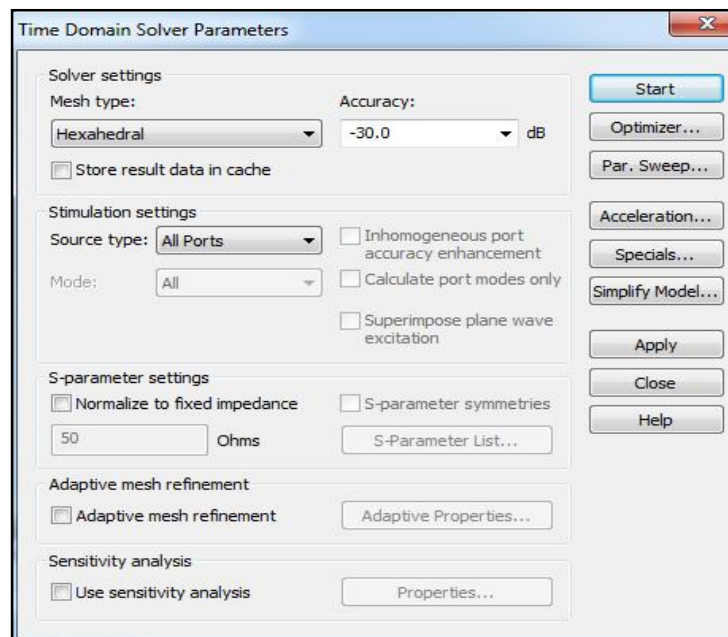


Figure III-10 choisir la précision.

III.3.8. Résultats

Les résultats montrent en cliquant  1D Results dans l'arbre navigation.

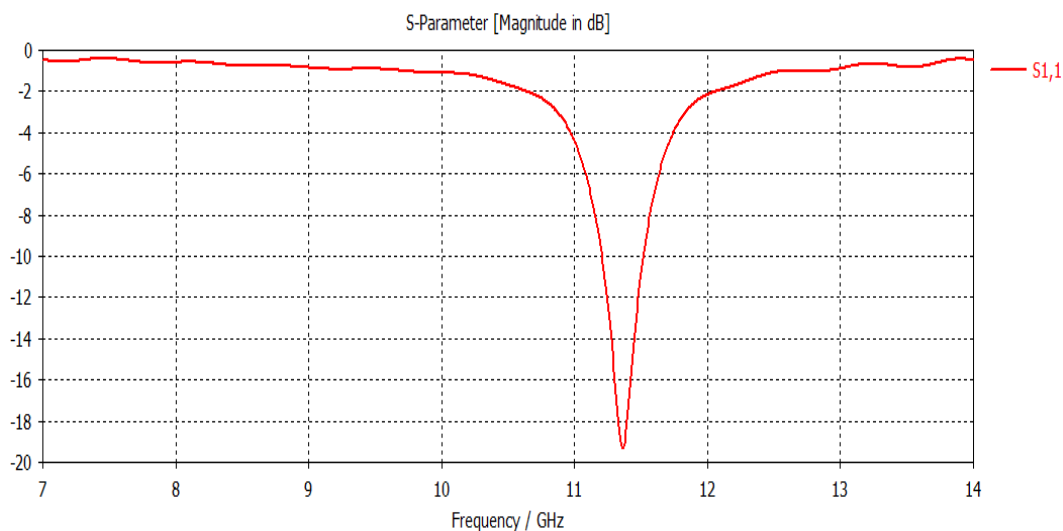


Figure III-11 Coefficient de réflexion S_{11} pour une antenne patch rectangulaire.

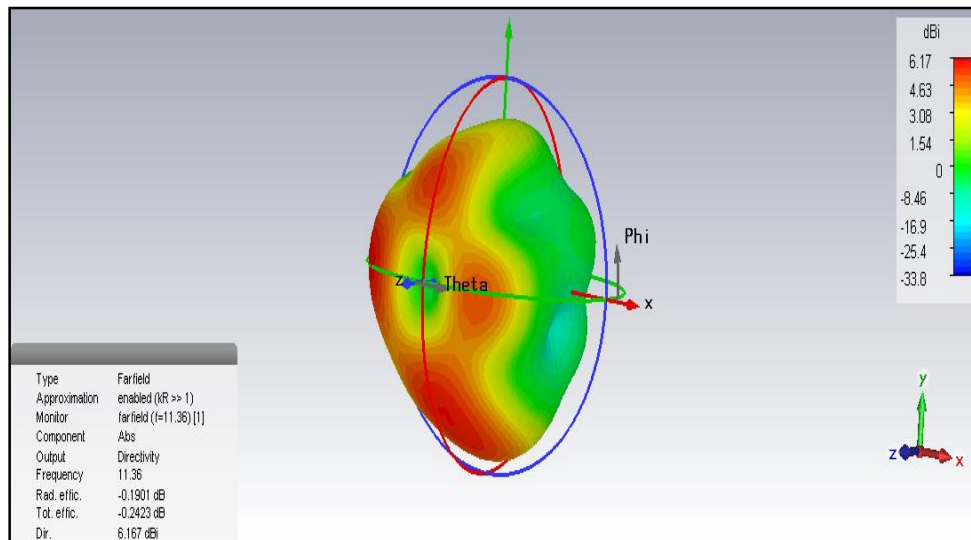


Figure III-12 directivité en 3D d'une antenne patch.

III.4. conclusion

Ce chapitre a été consacré à une présentation globale de l'outil de simulation CST. Le logiciel CST intègre la simulation, la visualisation et aussi il est facile à utiliser dans l'environnement 3D avec une bonne précision. Dans le chapitre suivant on va étudier une antenne microruban rectangulaire à bande interdite photonique 1D.

Bibliographie

[1] N. BELGACEM " conception des antennes PIFA MONO-BANDE ET MULTI-BANDES GSM, DCS, PCS, UMTS et WIFI " mémoire de Master, Institut d'électronique, Université de Tlemcen, Juin 2013.

[2] CST MICROWAVE STUDIO Web page
<http://www.cst.com/Content/Products/MWS/Overview.aspx>.

[3] G. Poitau "Contribution au développement d'un isolateur coplanaire à résonance par la méthode des différences finies dans le domaine temporel", thèse de Doctorat, Institut national des sciences appliquées Lyon, juillet 2002.

CHAPITRE IV

Resultats et discussions

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre nous exposons les résultats numériques obtenus, concernant l'influence des paramètres de la structure à antenne microruban de forme rectangulaire sur la fréquence de résonance et la directivité. On a utilisé le logiciel de simulation CST Microwave Studio pour notre simulation.

IV.2. Présentation de la structure

La structure de base que nous avons adoptée pour notre antenne est une structure composée d'un plan de masse, d'un substrat à cristaux photonique de type 1D qui est constitué quatre couches: deux couches diélectriques d'une permittivité de $\epsilon_{r1}=1$ (vacuum) , d'épaisseur $h_1=2.7\text{mm}$ et deux couches diélectriques d'une permittivité de $\epsilon_{r2}=4$ (Epoxy resin) , de l'épaisseur $h_2=1.8\text{mm}$, la longueur et la largeur du patch $L=10\text{mm}$, $w=6\text{mm}$ et les dimensions du substrat $a=b=30\text{mm}$. Cette antenne est alimentée par sonde coaxiale.

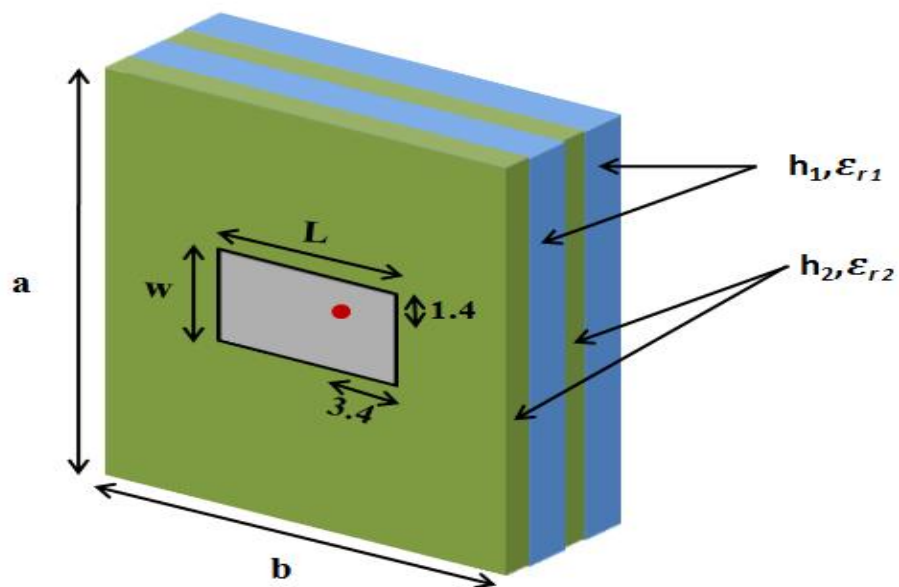


Figure IV-1 La Structure d'une antenne microruban.

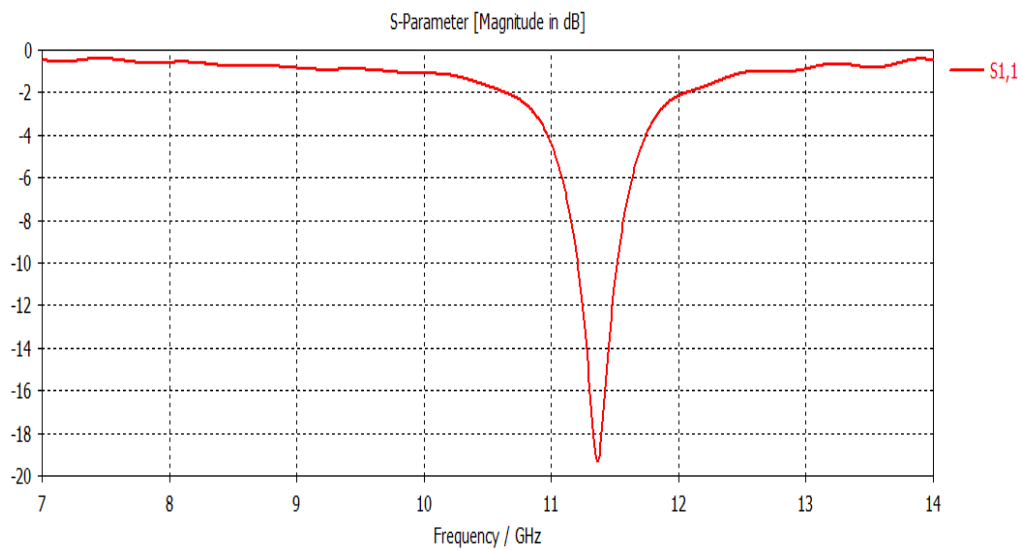


Figure IV-2 Coefficient de réflexion S_{11} pour une antenne patch rectangulaire.

A partir du Figure IV-2 qui représenté le Coefficient de réflexion S_{11} pour une antenne patch rectangulaire, on remarque que la fréquence de résonance est 11.36GHz.

IV.3. Influence des paramètres de l'antenne sur la fréquence de résonance

Nous allons étudier l'effet de la variation des paramètres géométrique tels que la longueur et largeur de patch et des paramètres physique tels que les permittivités des différentes couches du substrat sur la fréquence de résonance.

IV.3.1 Effet de la longueur du patch

On étudie la variation de la fréquence de résonance en fonction la longueur du patch d'une antenne microruban rectangulaire à bande interdite photonique 1D, la largeur du patch $w=6\text{mm}$, la permittivité du substrat qui est constitué de quatre couches :deux couches diélectriques de permittivité $\epsilon_{r1}=1$,et d'épaisseur $h_1=2.7\text{mm}$ et les deux autres couches diélectriques de $\epsilon_{r2}= 4$,d'épaisseur $h_2=1.8\text{mm}$ (Figure IV-1),la longueur et la largeur du substrat $a=b=30\text{mm}$.

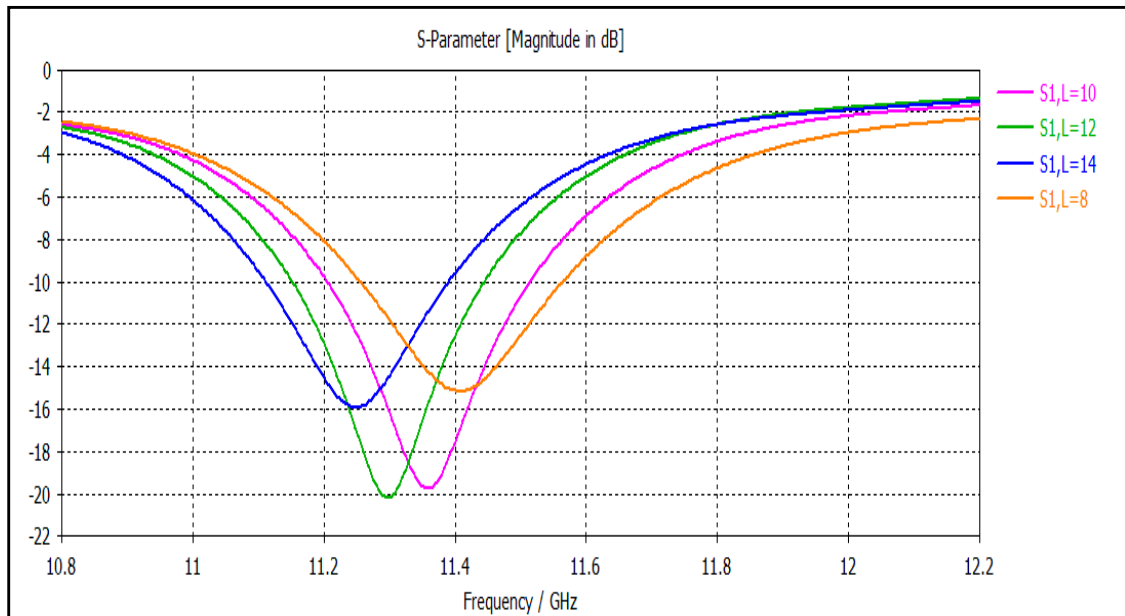


Figure IV-3 Coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la variation de la longueur du patch.

A partir des courbes du coefficient de réflexion S_{11} (Figure IV-3), on déduit la fréquence de résonance de la structure étudiée en fonction de la longueur du patch (Tableau IV-1).

Longueur L (mm)	Fréquence de résonance (GHz)
8	11.409
10	11.360
12	11.302
14	11.253

Tableau IV-1 Variation de la fréquence de résonance en fonction de la longueur du patch.

A partir du Tableau IV-1 et les courbes (Figure IV-3) pour différentes valeurs de L , on remarque que la fréquence de résonance augmente avec la diminution de L .

IV.3.2 Effet de largeur du patch

On étudie la variation de la fréquence de résonance en fonction la largeur du patch d'une antenne microruban rectangulaire à bande interdite photonique 1D, la longueur du patch $L=10\text{mm}$, le substrat qui est constitué de quatre couches : deux couches diélectriques de permittivité $\epsilon_{r1}=1$,et d'épaisseur $h_1=2.7\text{mm}$ et les deux autres couches diélectriques ont une permittivité $\epsilon_{r2}= 4$,et leurs épaisseurs $h_2=1.8\text{mm}$ (Figure IV-1), la longueur et la largeur du substrat $a=b=30\text{mm}$.

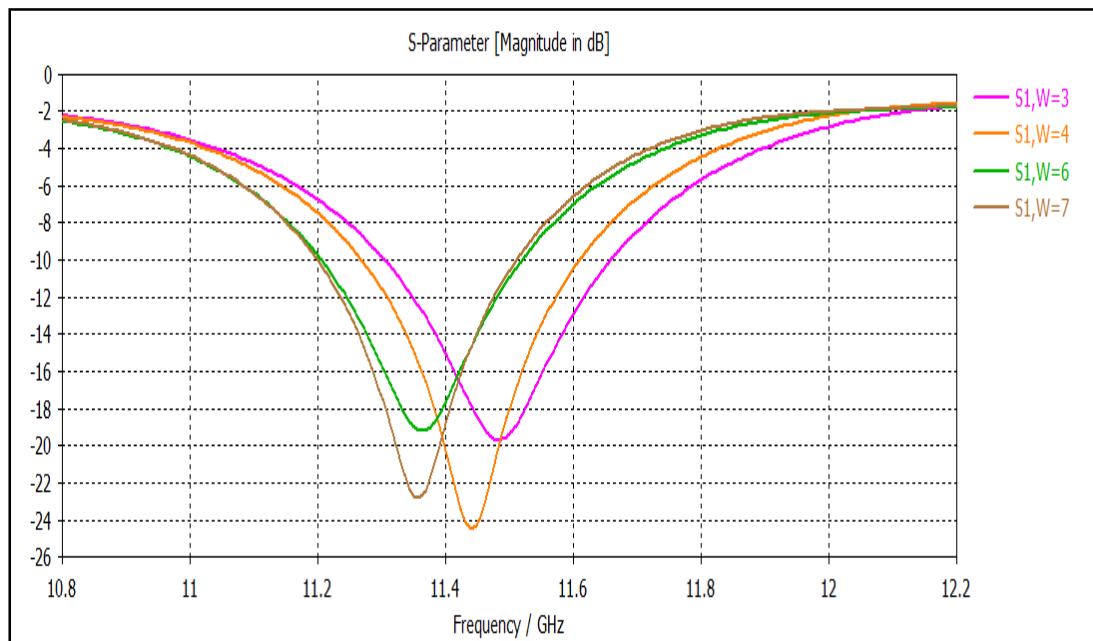


Figure IV-4 Coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la variation de la largeur du patch.

A partir des courbes (Figure IV-4) qui représente le coefficient de réflexion S_{11} , on déduit la fréquence de résonance de la structure étudiée en fonction de la largeur du patch (Tableau IV-2)

<i>Largeur W (mm)</i>	<i>Fréquence de résonance (GHz)</i>
3	11.484
4	11.440
6	11.360
7	11.355

Tableau IV-2 Variation de la fréquence de résonance en fonction de la largeur du patch.

A partir du Tableau IV-2 et les courbes (la Figure IV-4) pour différentes valeurs de la largeur w du patch, on remarque que la fréquence de résonance augmente avec la diminution de w , mais cette variation de fréquence de résonance est moins important par rapport à longueur L .

IV.3.3 Effet de la variation de la constante diélectrique ϵ_r

On étudie la variation de la fréquence de résonance en fonction de la constante diélectrique ϵ_r d'une antenne microruban pour une longueur du patch $L=10\text{mm}$, et sa la largeur $w=6\text{mm}$, les deux couches diélectriques ont une permittivité $\epsilon_r=4$, et leurs épaisseurs $h_2=1.8\text{mm}$, la longueur et la largeur du substrat $a=b=30\text{ mm}$ (Figure IV-1).

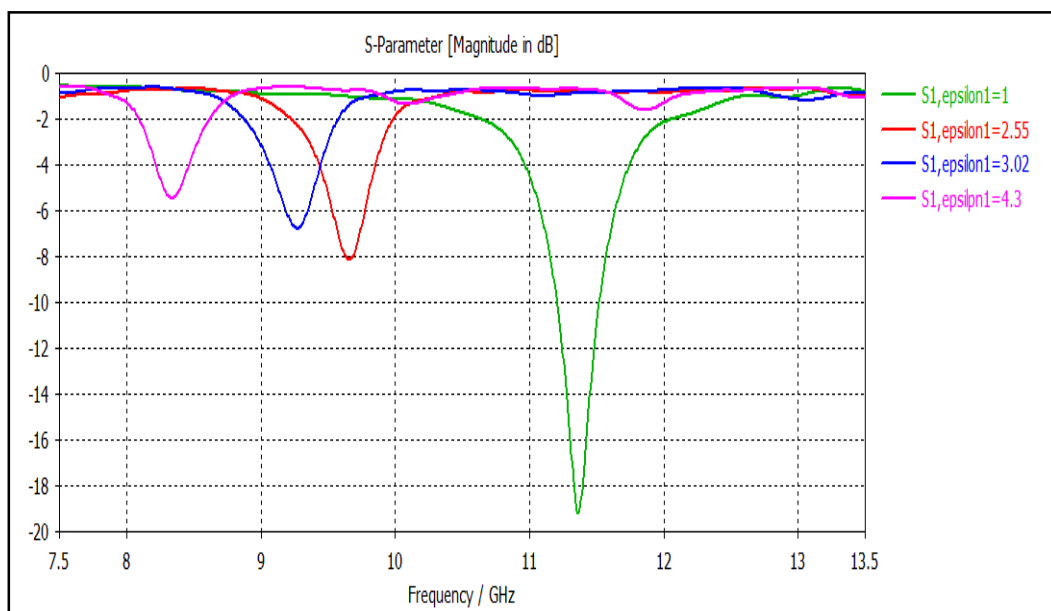


Figure IV-5 Coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la constante diélectrique ϵ_r .

A partir des courbes du coefficient de réflexion S_{11} (Figure IV-5) on déduit la fréquence de résonance de la structure étudiée en fonction de la constante diélectrique ϵ_r (Tableau IV-3).

La constante diélectrique ϵ_r	Fréquence de résonance (GHz)
1	11.360
2.55	9.665
3.02	9.277
4.3	8.336

Tableau IV-3 Variation de la fréquence de résonance en fonction de la constante diélectrique ϵ_r .

A partir du Tableau IV-3 et les courbes (la Figure IV-5) pour différentes valeur de la permittivité ϵ_{r1} on remarque que la fréquence de résonance augmente avec la diminution de la constante diélectrique ϵ_{r1} .

IV.3.4 Effet de la variation de la constante diélectrique ϵ_{r2}

On étudie la variation de la fréquence de résonance en fonction de la constante diélectrique ϵ_{r2} d'une antenne pour une longueur du patch $L=10\text{mm}$, la largeur $w=6\text{mm}$, les deux couches diélectriques ont une permittivité $\epsilon_{r1}=1$, et leurs épaisseurs $h_1=2.7\text{mm}$, la longueur et la largeur du substrat $a=b=30\text{mm}$ (Figure IV-1).

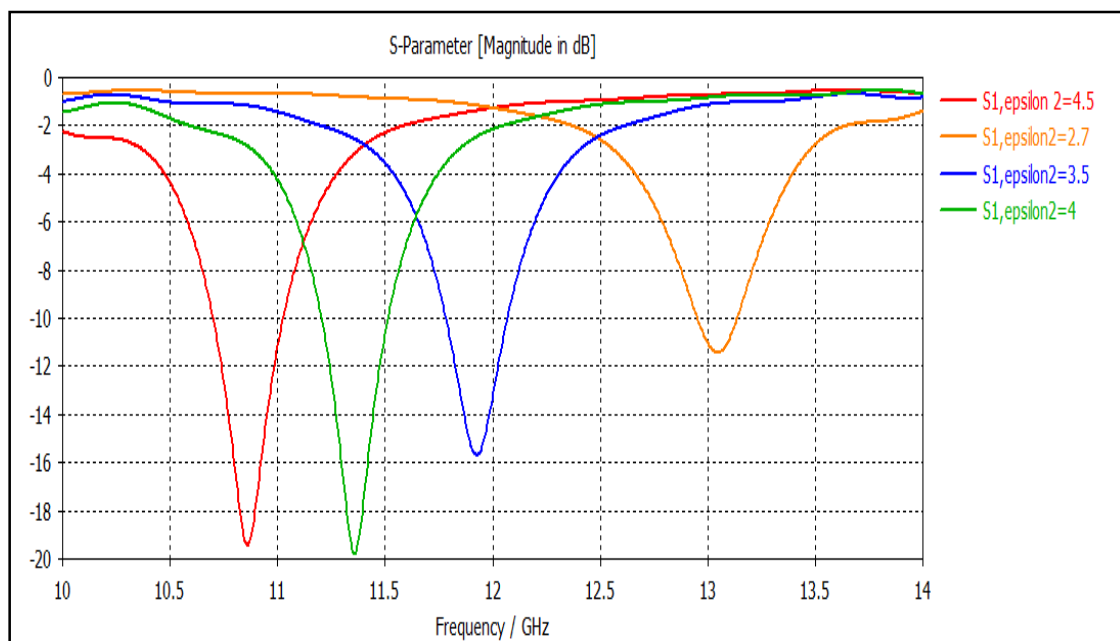


Figure IV-6 Coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la constante diélectrique ϵ_{r2} .

A partir des courbes du coefficient de réflexion S_{11} (Figures IV-6) on déduit la fréquence de résonance de la structure étudiée en fonction de la constante diélectrique ϵ_{r2} (Tableau IV-4).

<i>La constante diélectrique</i> ϵ_{r2}	<i>Fréquence de résonance</i> (GHz)
2.7	13.048
3.5	11.927
4	11.360
4.5	10.860

Tableau IV-4 Variation de la fréquence de résonance en fonction de la constante diélectrique ϵ_{r2} .

A partir du Tableau IV-4 et les courbes (la Figure IV-6) pour différentes valeur de ϵ_{r2} on remarque que la fréquence de résonance augmente avec la diminution la constante diélectrique ϵ_{r2} .

IV.4 Influence des paramètres de l'antenne sur la directivité

Dans cette partie on étudie la variation de la directivité à la fréquence de résonance en fonction des paramètres de l'antenne ,premièrement on comparé une structure à substrat normal avec une structure à substrat cristal photonique, et en suite l'influence des paramètres géométriques (longueur et largeur de patch) et la permittivité des différent couches sur la directivité.

IV.4.1 comparaisons entre un substrat cristal photonique et un substrat normal

On étudie la variation de la directivité de deux antenne microrubans de forme rectangulaire: une antenne microruban à substrat cristal photonique, de la longueur et la largeur du patch $L=10\text{mm}$, $w=6\text{mm}$, la permittivité du substrat qui est constitué de quatre couches :deux couches diélectriques de permittivité $\epsilon_{r1}=1$,et leurs épaisseur $h_1=2.7\text{mm}$ et les deux autres couches diélectriques de $\epsilon_{r2}= 4$,d'épaisseur $h_2=1.8\text{mm}$ (Figure IV-1). et une antenne à substrat normal dans ce cas on utilise la diélectrique vacuum d'épaisseur $h=9\text{mm}$, et la longueur et la largeur du patch $L=10\text{mm}$, $w=6\text{mm}$ (Figure IV-7-b).

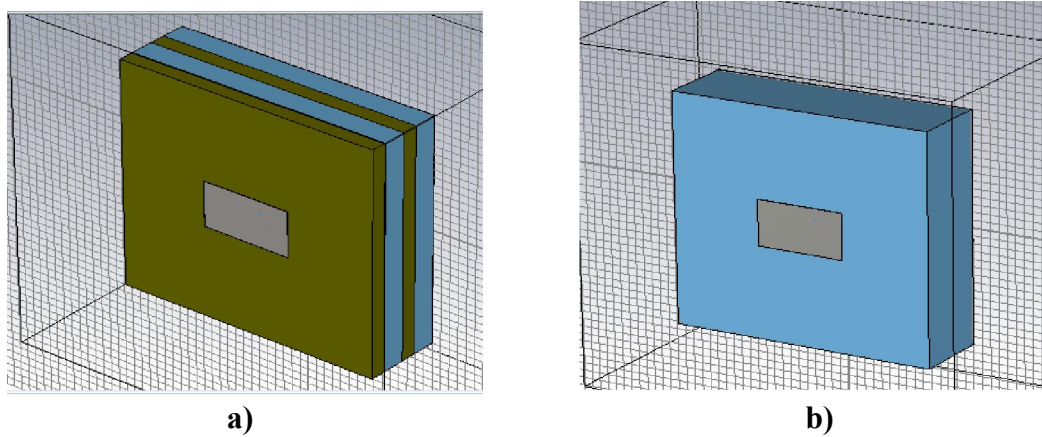


Figure IV-7 Structure d'une antenne: **a)** à substrat cristal photonique **b)** à substrat normal.

La Figure IV-8 permet une visualisation en 3D de la directivité à la fréquence de résonance pour les deux antennes.

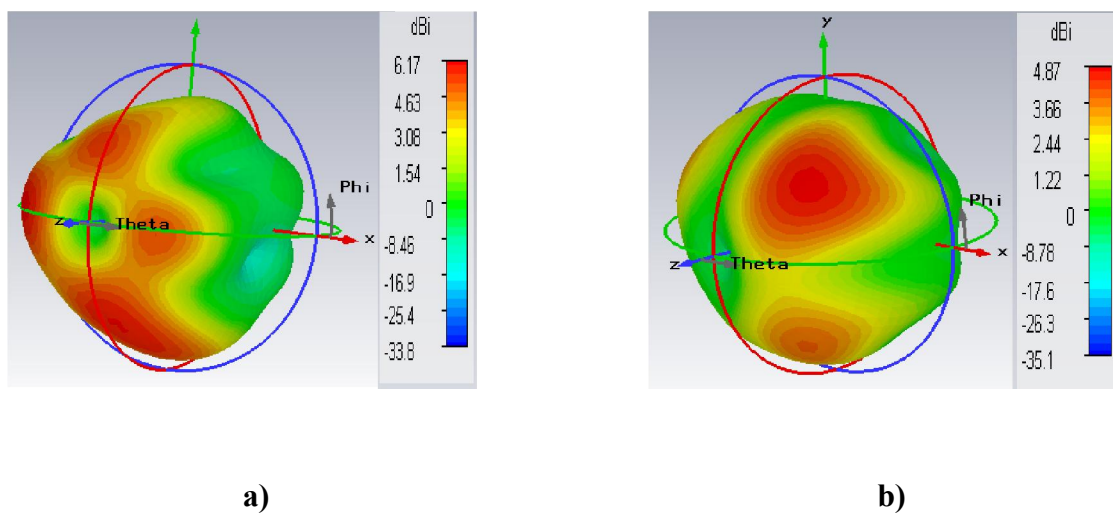


Figure IV-8 la directivité en3D: **a)** substrat cristal photonique **b)** substrat normal.

A partir de Figure IV-8 on déduit la directivité (Tableau IV-5).

substrat	Directivité (dBi)
normal	4.87
Cristal photonique	6.17

Tableau IV-5 la directivité pour différente substrat.

A partir du Tableau IV-5 et la Figure IV-8 pour différent substrat on remarque que la directivité est plus importante pour le substrat cristaux photonique par rapport au substrat normal.

IV.4.2 Effet de la longueur du patch

On étudie la variation de la directivité en fonction de la longueur du patch d'une antenne à substrat cristal photonique, la largeur du patch $w=6\text{mm}$, la permittivité du substrat qui est constitué de quatre couches :deux couches diélectriques de permittivité $\epsilon_{r1}=1$,et d'épaisseur $h_1=2.7\text{mm}$, et les deux autres couches diélectriques de $\epsilon_{r2}=4$,d'épaisseur $h_2=1.8\text{mm}$,la longueur et la largeur du substrat $a=b=30\text{mm}$ (Figure IV-1).

La Figure IV-9 permette une visualisation en 3D de la directivité à la fréquence de résonance suivant le Tableau IV-1 pour une variation de la longueur du patch.

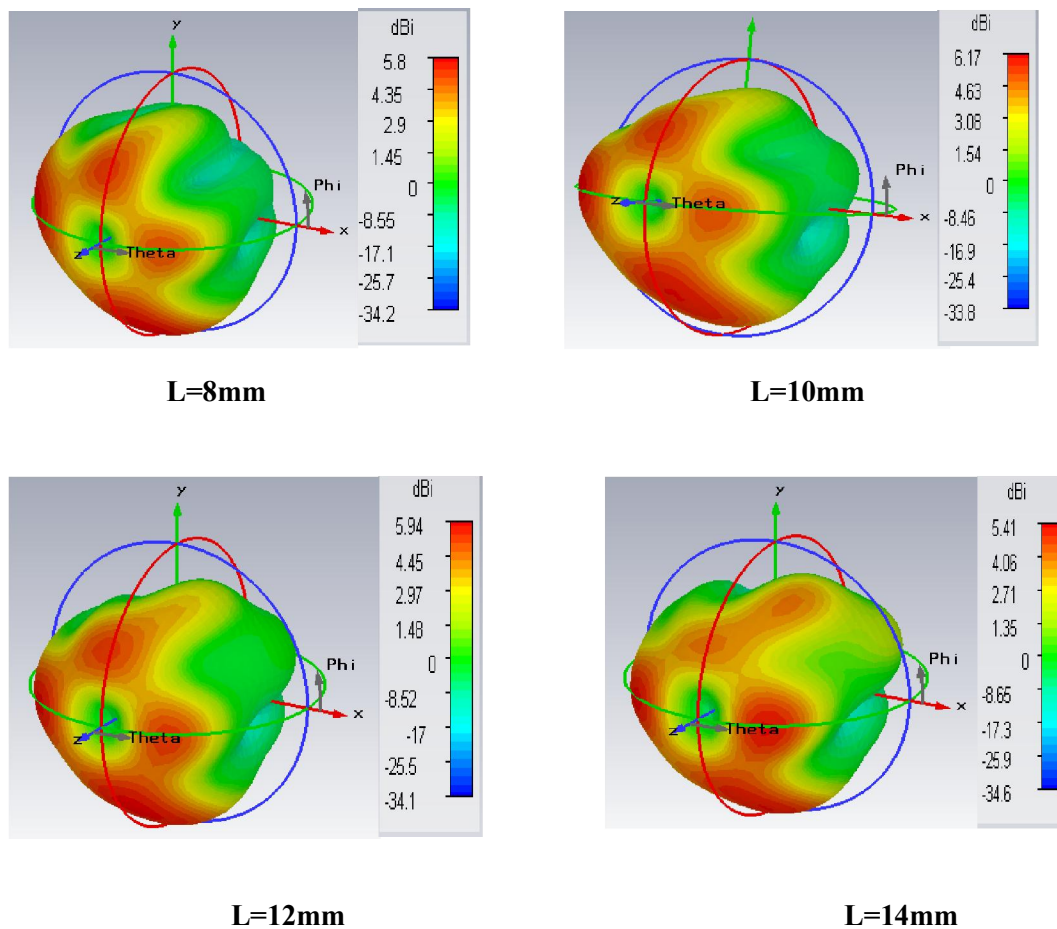


Figure IV-9 la directivité en 3D pour une variation de la longueur du patch.

A partir de Figure IV-9 on déduit la directivité on fonction de longueur de patch (Tableau IV-6).

Longueur L (mm)	Directivité (dBi)
8	5.8
10	6.17
12	5.94
14	5.41

Tableau IV-6 Variation de la directivité en fonction de la longueur du patch.

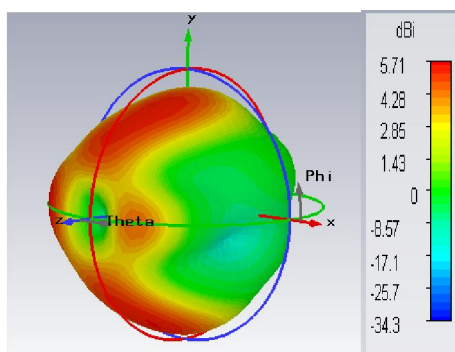
A partir du Tableau IV-6 et la Figure IV-9 pour une variation de la longueur du patch on note que :

- ❖ la directivité dépende de la longueur du patch.
- ❖ la variation de la directivité n'est pas uniforme.

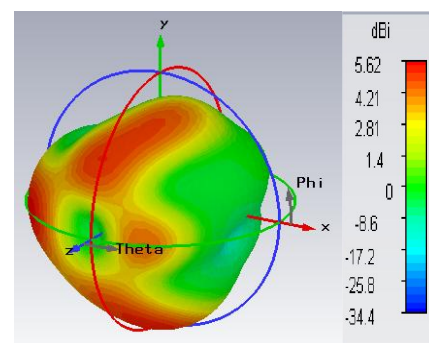
IV.4.3 Effet de largeur du patch

On étudie la variation de la directivité en fonction de la largeur du patch d'une antenne à substrat cristal photonique la longueur du patch $L=10\text{mm}$, le substrat qui est constitué de quatre couches : deux couches diélectrique de permittivité $\epsilon_{r1}=1$, et d'épaisseur $h_1=2.7\text{mm}$ et les deux autre couches diélectrique ont une permittivité $\epsilon_{r2}=4$, et leur épaisseur $h_2=1.8\text{mm}$, la longueur et la largeur du substrat $a=b=30\text{mm}$ (Figure IV-1).

La Figure IV-10 permette une visualisation en 3D de la directivité à la fréquence de résonance suivant le Tableau IV-2 pour une variation de la largeur du patch.



W=3mm



W=4mm

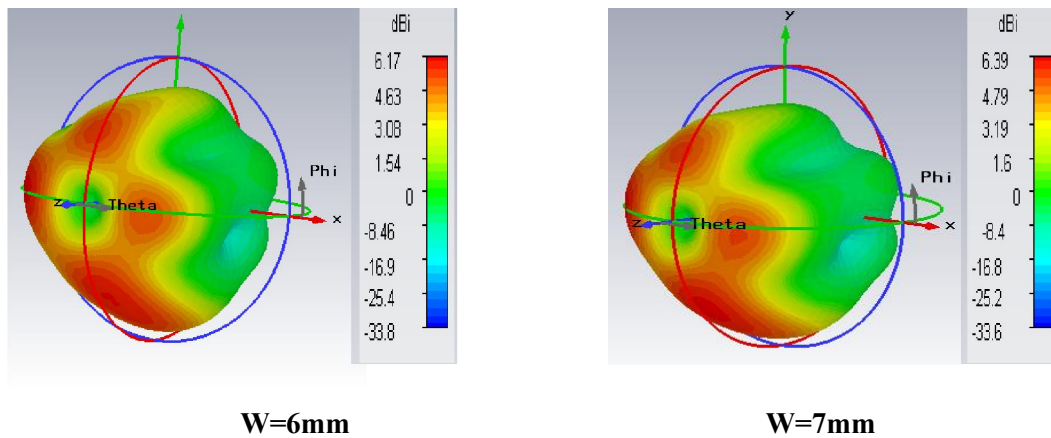


Figure IV-10 la directivité en 3D pour une variation de la largeur du patch.

A partir de Figure IV-10 on déduit la directivité (Tableau IV-7).

<i>Largeur W (mm)</i>	<i>directivité (dBi)</i>
3	5.71
4	5.62
6	6.17
7	6.39

Tableau IV-7 Variation de la directivité en fonction de la largeur du patch.

A partir du Tableau IV-7 et la Figure IV-10 pour variation de la largeur du patch on remarque que la variation de la directivité dépend de la largeur du patch mais elle n'est pas uniforme.

IV.4.4 Effet de la variation de la constante diélectrique ϵ_{r1} .

On étudie la variation de la directivité en fonction de la constante diélectrique ϵ_{r1} d'une antenne microruban à substrat cristal photonique pour une longueur du patch $L=10\text{mm}$, et sa la largeur $w=6\text{mm}$, les deux couches diélectriques ont une permittivité $\epsilon_{r2}=4$, et leurs épaisseur $h_2=1.8\text{mm}$, la longueur et la largeur du substrat $a=b=30\text{ mm}$ (Figure IV-1).

La Figure IV-11 permet une visualisation en 3D de la directivité à la fréquence de résonance suivant le Tableau IV-3 pour une variation de la constante diélectrique ϵ_{r1} .

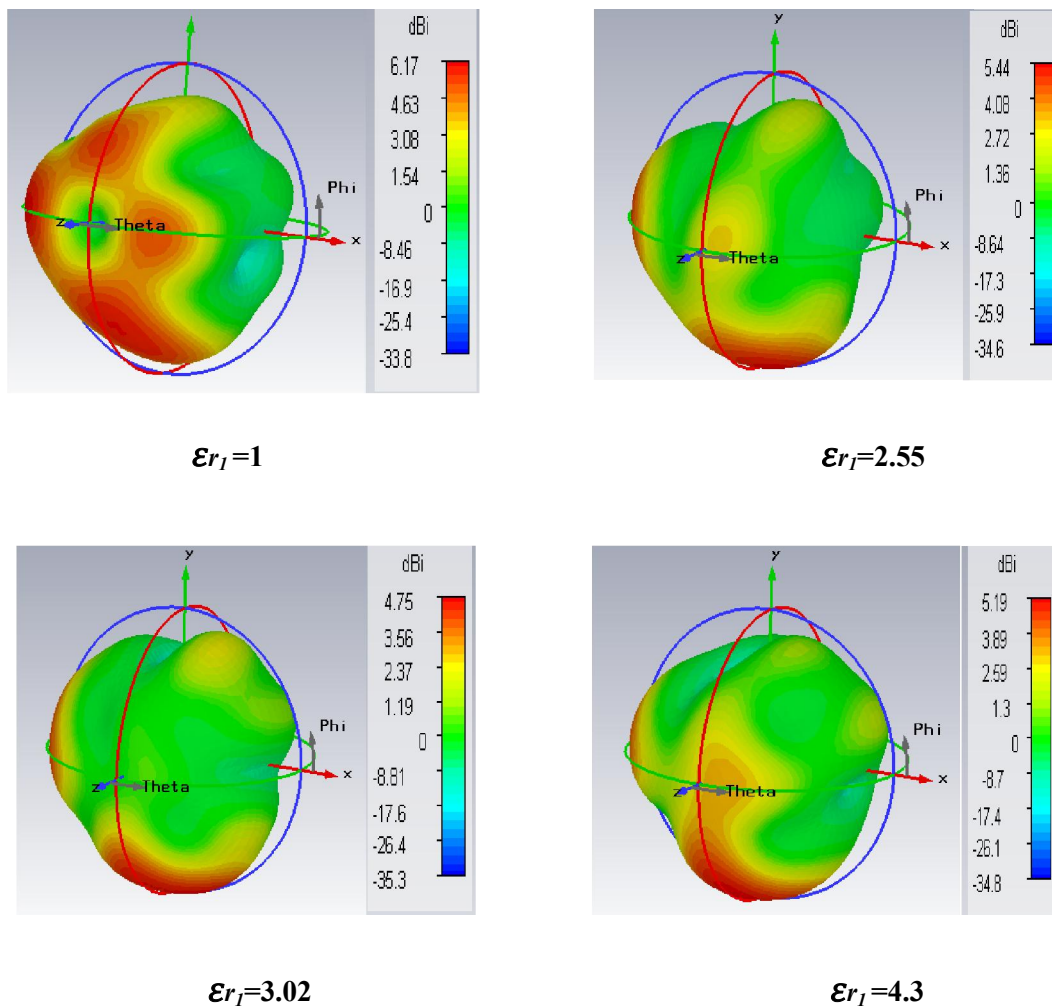


Figure IV-11 la directivité en 3D pour une variation de la constante diélectrique ϵ_{r1} .

A partir de Figure IV-11 on déduit la directivité (Tableau IV-8).

<i>La constante diélectrique</i> ϵ_{r1}	<i>Directivité</i> (dBi)
1	6.17
2.55	5.44
3.02	4.75
4.3	5.19

Tableau IV-8 Variation de la directivité en fonction de la constante diélectrique ϵ_{r1} .

A partir du Tableau IV-8 et la Figure IV-11 pour différente valeur de la constante diélectrique ϵ_{r1} de substrat on note que : la directivité dépende de la constante diélectrique ϵ_{r1} mais la variation de la directivité n'est pas uniforme.

IV.4.5 Effet de la variation de la constante diélectrique ϵ_{r2}

On étudie la variation de la directivité en fonction de la constante diélectrique ϵ_{r2} d'une antenne à substrat cristal photonique pour une longueur du patch $L=10\text{mm}$, la largeur $w=6\text{mm}$, deux couches diélectriques ont une permittivité $\epsilon_{r1}=1$, et d'épaisseur $h_1=2.7\text{mm}$, la longueur et la largeur du substrat $a=b=30\text{mm}$ (Figure IV-1).

La Figure IV-12 permette une visualisation en 3D de la directivité à la fréquence de résonance suivant le Tableau IV-4 pour une variation de la constante diélectrique ϵ_{r2} .

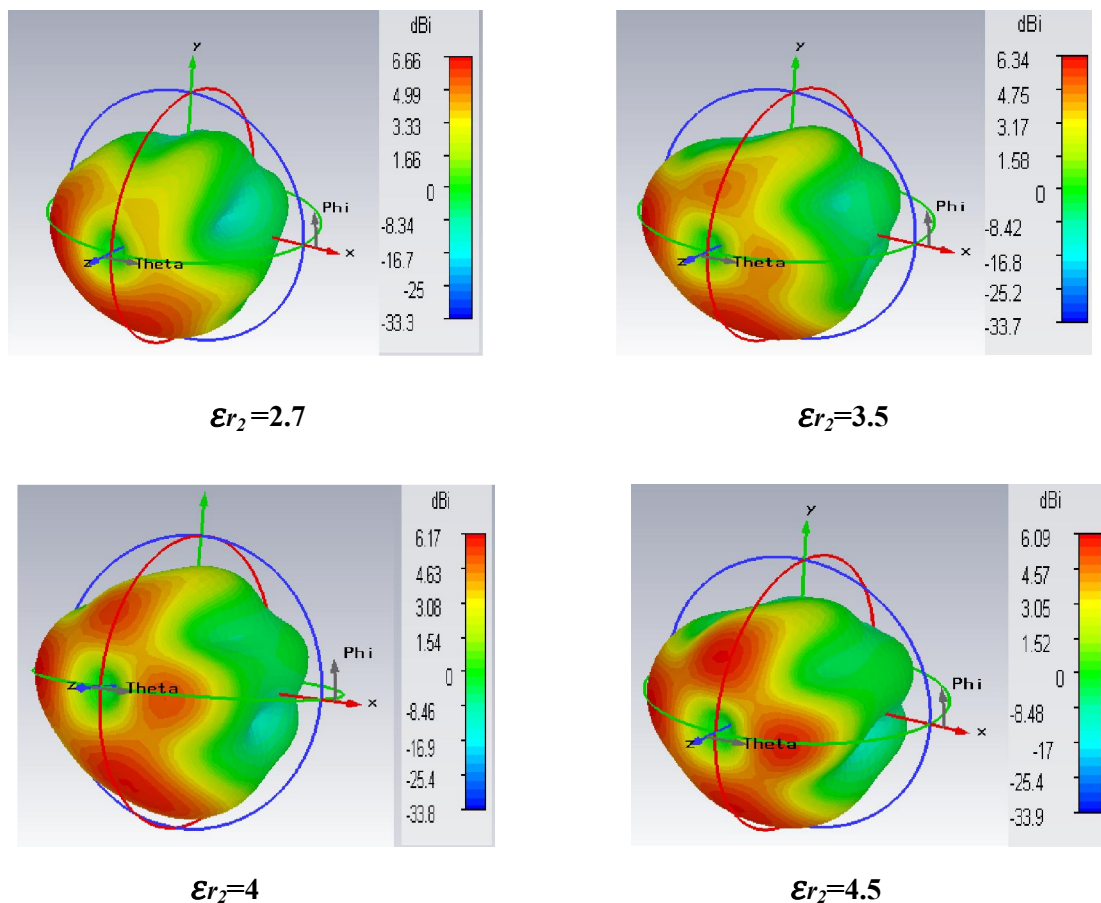


Figure IV-12 la directivité en 3D pour une variation de la constante diélectrique ϵ_{r2} .

A partir de Figure IV-12 on déduit la directivité (Tableau IV-9).

<i>La constante diélectrique ϵr_2</i>	<i>Directivité (dBi)</i>
2.7	6.66
3.5	6.34
4	6.17
4.5	6.09

Tableau IV-9 Variation de la directivité en fonction de la constante diélectrique ϵr_2 .

A partir du Tableau IV-9 et la Figure IV-12 pour différente valeur de la constante diélectrique ϵr_2 de substrat on remarque que: la directivité augmente avec la diminution de la constante diélectrique ϵr_2 .

IV.5. conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié une antenne microruban de forme rectangulaire imprimée sur un substrat cristal photonique 1D, et nous avons étudié l'influence des paramètres géométriques et les permittivités de substrat de l'antenne sur la fréquence de résonance et sur la directivité.

Les paramètres que nous avons étudiés : la longueur, la largeur du patch, et la permittivité des différents couches du substrat.

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

A partir des résultats nous avons conclu que:

- ✓ La fréquence de résonance augmente avec la diminution de longueur et la largeur du patch et cette diminution est plus importante dans le cas de la variation de la longueur ;
- ✓ La fréquence de résonance augmente avec décroissement de la constante diélectrique ϵr_1 ;
- ✓ La fréquence de résonance augmente avec la décroissance de la constante diélectrique ϵr_2 ;
- ✓ La directivité est plus intéressante pour un substrat cristal photonique par rapport à un substrat normale ;
- ✓ La directivité dépend de la longueur, largeur du patch, et la constante diélectrique ϵr_1 et ϵr_2 .
- ✓ La directivité augmente avec la décroissance de la constante diélectrique ϵr_2 .

CONCLUSION

GENERALE

Conclusion générale

L'objectif essentiel de notre travail était d'étudier une antenne microruban de forme rectangulaire à substrats cristaux photonique à une dimension(1D), selon la fréquence de résonance et la directivité, en utilisant l'outil de simulation électromagnétique dans le domaine fréquentiel CST basé sur la méthode d'intégration finie.

Nous avons commencé par la présentation, la description, le mécanisme de fonctionnement, les avantages, et les inconvénients des antennes patches, ainsi que les différents types d'alimentation, et leurs applications, en plus le principe des méthodes d'analyses les plus utilisées dans le domaine des antennes.

Les cristaux photoniques sont très prometteurs pour la réalisation des antennes et des composants optiques planaires compacts et originaux. Ils représentent une plateforme extrêmement intéressante pour la future optique intégrée submicronique car ils possèdent les qualités adéquates en terme de confinement et de dispersion.

L'étude d'une antenne microruban de forme rectangulaire simulé sur un substrat cristaux photonique, où nous avons vérifié quelques résultats, les résultats obtenus sont:

- Les caractéristiques de l'antenne microruban sont liées directement à ses paramètres dimensionnels.
- La diminution de la longueur du patch augmente la fréquence de résonance.
- La fréquence de résonance augmente avec la diminution de largeur du patch.
- On constate que la fréquence de résonance augmente avec le décroissement la constante diélectrique ϵ_{r1} et la constante diélectrique ϵ_{r2} .
- Un substrat à cristaux photonique a une influence sur la directivité.
- On remarque que la directivité augmente avec substrat cristaux photonique par rapport substrat normale.
- La directivité change en variant les dimensions du patch et les permittivités des différentes couches du substrat.
- La directivité augmente avec la décroissance de la constante diélectrique ϵ_{r2} .

Comme perspectives nous proposons l'étude des antennes microrubans à cristaux photoniques 2D et 3D, ainsi l'effet des paramètres de l'antenne sur ses caractéristiques.

Résumé

L'objectif principal de notre travail est l'étude d'une antenne microruban rectangulaire à bande interdite photonique 1D.

Nous étudions l'influence des paramètres géométriques de l'antenne sur la fréquence de résonance et sur la directivité. Les paramètres que nous avons étudiés : la longueur, la largeur du patch, et la permittivité du substrat.

En utilisant l'outil de simulation électromagnétique dans le domaine fréquentiel CST est basée sur la méthode d'intégration finie.

Mots clés: antenne microruban rectangulaire, cristaux photonique, miroir de Bragg.

ABSTRACT

The main objective of our work is to study a microstrip antenna forms rectangular 1D photonic band gap.

We study the influence of geometric parameters of the antenna on the resonance frequency and directivity. The parameters that we studied: the length, the width of the patch, and permittivity substrate,.

By using electromagnetic simulation tool in the frequency domain based on CST is based on the finite integration method.

Keywords: rectangular microstrip antenna, photonic crystals, Bragg mirror.

ملخص:

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو دراسة هوائي مدقق مستطيل الشكل ذو بلورات فوتونية أحادية البعد قمنا بدراسة تأثير المعايير الأساسية للهوائي على التردد الرنان والاتجاهية ، المعايير التي قمنا بدراسةها هي: طول و عرض العنصر المشع وسماحية الطبقة العازلة وذلك باستعمال برنامج CST الذي يعتمد على طريقة التكاملات المنتهية. **كلمات مفتاحية:** هوائي مدقق مستطيل الشكل، بلورات فوتونية، مرآة براغ.