

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

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la technologie

Département d'Electronique

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER

FILIERE : TELECOMMUNICATION

Spécialité : Systèmes des Télécommunications

Par

➤ **MERROUCHE Lakhdar**

Intitulé

*Etude comparative des structures d'antennes à base de structures
périodiques pour les applications multifréquences*

Évalué le : 15/09/2021

Par la commission d'évaluation composée de :

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
<i>Pr. BOUTTOUT Farid</i>	<i>Professeur</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Dr. FLISSI Mustapha</i>	<i>MCA</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Mlle BOULARAS Assia</i>	<i>Doctorante</i>	<i>Co-encadreur</i>	<i>Univ-boumerdès</i>
<i>Pr. ROUABAH Khaled</i>	<i>Professeur</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>

Année Universitaire 2020/2021

Remerciements

Je tiens à remercier en premier lieu mon promoteur **Dr flissi** qui a accepté de m'encadrer et pour son soutien, conseils judicieux et sa grande bienveillance durant l'élaboration de cette mémoire et pour avoir bénéficié de ses compétences scientifiques et aussi pour sa disponibilité.

A tous ceux qui m'ont aidés et encouragés de prêt ou de loin dans la concrétisation de ce projet, retrouvent mes meilleurs remerciements en particulier **Mlle boularas** qui ma soutenue tout le long de la préparation de mon mémoire de fin d'études .ses conseils et son soutien m'ont été de grande aide pour avancer et arriver à réaliser mon travail.

Et aussi un grand merci à mes professeurs qui m'ont enseignés durant tout mon cursus universitaire, pour les fondements que j'ai acquis. Qui me permettrons à aller de l'avant pour un meilleur avenir professionnel qui soit

Résumé

Dans ce travail, nous avons conçu et optimisé une antenne patch double bandes pour les bandes de fréquences industrielles, scientifiques et médicales (ISM) 2,4 GHz et 5,8 GHz. Dans le but d'atteindre l'objectif essentiel qui consiste en l'augmentation du gain, nous avons conçu et optimisé un réflecteur, basé sur la surface sélective en fréquence (FSS), intégré sous l'antenne. Les résultats de la simulation montrent que le gain de la structure proposée, sur les deux bandes de fréquences, a été amélioré. La structure proposée présente deux bandes de fréquences, la première bande est située sur la plage allant de 2.10 GHz à 2.48 GHz. Quant à deuxième bande, elle s'étale de 5.48 GHz à 6.31 GHz. Tous nos travaux ont été effectués sous le simulateur HFSS.

Mots clés : Antenne, FSS, double bande, Gain, Réflecteur FSS.

Abstract

In this work, we designed and optimized a dual band patch antenna for the industrial, scientific and medical (ISM) 2.4 GHz and 5.8 GHz frequency bands. In order to achieve the essential objective of increasing the gain, we have designed and optimized a reflector, based on the frequency selective surface (FSS), integrated under the antenna. The results of simulation show that the gain of the proposed structure, on the two frequency bands, has been improved. The proposed structure has two frequency bands, the first band is located in the range from 2.10 GHz to 2.48 GHz. As for the second band, it ranges from 5.48 GHz to 6.31 GHz. All our work was carried out under the HFSS simulator.

Key words: Antenna, FSS, dual band, Gain, FSS reflector.

ملخص

في هذا العمل، قمنا بتصميم وتحسين هوائي تصحيح مزدوج النطاق للنطاقات الترددية الصناعية والعلمية والطبية (ISM) 2.4 جيجا هرتز و 5.8 جيجا هرتز. من أجل تحقيق الهدف الأساسي المتمثل في زيادة الكسب، قمنا بتصميم عاكس وتحسينه، بناءً على السطح الانتقائي للتردد (FSS)، المدمج تحت الهوائي. تظهر نتائج المحاكاة أنه تم تحسين كسب الهيكل المقترح على نطاق التردد. يحتوي الهيكل المقترح على نطاق تردد، يقع النطاق الأول في النطاق من 2.10 جيجا هرتز إلى 2.48 جيجا هرتز. أما النطاق الثاني فيتراوح من 5.48 جيجا هرتز إلى 6.31 جيجا هرتز. تم تنفيذ جميع أعمالنا تحت محاكاة HFSS.

الكلمات المفتاحية : هوائي ، FSS ، نطاق مزدوج ، كسب ، عاكس FSS.

SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
Chapitre I : généralité sur les antennes	
I.1. Introduction.....	3
I.2. Définition d'une antenne	3
I.3. les caractéristiques d'antennes.....	4
I.3.1. Caractéristiques électriques	4
I.3.1.1. Impédance d'entrée et coefficient de réflexion.....	4
I.3.1.2. Bande passante.....	5
I.3.2. Caractéristiques de rayonnement	5
I.3.2.1. Gain.....	5
I.3.2.2. Directivité	6
I.3.2.3. Diagramme de rayonnement	6
I.3.2.4. Polarisation.....	7
I.4. Types d'antennes.....	8
I.4.1. Antennes filaires	8
I.4.2. Antennes fentes.....	9
I.4.3. Antennes micro-rubans.....	9
I.4.4. Antennes réseaux.....	10
I.4.5. Antennes réflecteurs.....	11
I.5. Antennes multi-bandes	11
I.5.1. Techniques utilisées pour obtenir des antennes multi-bandes	12
I.5.2. Avantages et inconvénients des Antenne multi fréquences	13
I.6. Conclusion	13
Chapitre II : Les structures périodiques (FSS).....	

II.1. Introduction	14
II.2.Réflecteur de type Surfaces Sélectives en Fréquence (FSS)	14
II.2.1. Définition	14
II.2.2. Classification des FSS en fonction de leurs réponses en fréquence.....	14
II.2.2.1. FSS de type passe-haut	15
II.2.2.2. FSS de type pass-bas.....	15
II.2.2.3. FSS de type coupe bande	16
II.2.2.4. FSS de type passe-bande.....	16
II.2.3. Les différents motifs de FSS	17
II.2.3.1. Groupe 1.....	17
II.2.3.2 Groupe 2.....	17
II.2.3.3. Groupe 3.....	17
II.2.3.4. Groupe 4.....	18
II.3. Réflecteur de type conducteur électrique parfait	18
II.4. Réflecteur de type conducteur magnétique parfait.....	19
II.5. Conclusion	21
Chapitre III : Résultats et Discussions	
III.1. Introduction.....	22
III.2. Présentation du logiciel de simulation électromagnétique HFSS	22
III.3. Conception d'antenne double bande	23
III.4. Conception de la cellule FSS	25
III.5. Conception du réflecteur FSS.....	28
III.6. Conception de l'antenne avec réflecteur FSS.....	30
III.7. Diagrammes de rayonnement	32
III.8. Conclusion	35

Conclusion générale..... 36

Bibliographie..... 37

Liste des figures

Figure I.1: Antenne émettrice

Figure I.2 Représentation du diagramme de rayonnement d'une antenne

Figure I.3: Type des polarisations

Figure I.4 : Configuration de l'antenne filaire

Figure I.5: Les antennes à fentes.

Figure I.6: Antennes patch à élément rayonnant triangulaire et circulaire.

Figure I.7 : Exemples d'antennes réseaux.

Figure I.8 : Configurations typiques des réflecteurs

Figure II.1: Exemple de FSS imprimé.

Figure II.2: FSS de type passe-haut et sa réponse en fréquence

Figure II.3 : FSS de type passe-bas et sa réponse en fréquence

Figure II.4: FSS de type stop-bande et sa réponse en fréquence

Figure II.5 : FSS de type passe-bande et sa réponse de fréquence

Figure II.6 : Quelques structures du groupe 1

Figure II.7 : Quelques structures du groupe 2.

Figure II.8 : Quelques structures de groupe 3.

Figure II.9 : Quelques structures de groupe 4.

Figure II.10 : Théorie des images et réflexion sur un plan PEC.

Figure II.11 : Théorie des images et réflexion sur un plan PMC

Figure.III.1 : Interface du simulateur HFSS.

Figure.III.2 : structure d'antenne double bande.

Figure.III.3 : Géométrie d'antenne double bande sous HFSS.

Figure.III.4 :S11 de la structure simulée.

Figure.III.5 : géométrie des cellules unitaires du réflecteur FSS.

Figure.III.6 : Géométrie de la cellule unitaire FSS sous HFSS.

Figure.III.7 :S11et S21 de la structure simulée.

Figure.III.8 : Géométrie du réflecteur FSS sous HFSS.

Figure.III.9 :S11et S21 de la structure simulée.

Figure.III.10 : Géométrie de l'antenne patch à double bande avec réflecteur FSS sous HFSS.

Figure.III.11 :S11 de la structure simulée.

Figure.III.12 : Diagrammes de rayonnement de structures simulées : (a) antenne, (b) antenne

Figure.III.13 : Diagrammes de rayonnement de structures simulées : (a) antenne, (b) antenne avec FSS pour la fréquence 5.8 GHz.

Liste d'abréviations

SMA: Sub Miniature Type A.

S11 : Coefficient de réflexion.

R : Résistance.

Z_{in} : Impédance d'entrée de l'antenne.

Z_c : Impédance caractéristique de la ligne de transmission.

Γ : Coefficient de réflexion.

P_r : La puissance du bruit de l'antenne.

P : Puissance rayonnée dans une direction quelconque.

P_0 : Puissance rayonnée max.

TM : transverse magnétique.

TE : transverse électrique.

FSS : Surfaces Sélectives en Fréquence

PEC : Conducteur Electrique Parfait

PMC : conducteur magnétique parfait

HFSS: High Frequency Structure Simulator

SMA : Sub Miniature Type A

Introduction Générale

Introduction générale

Les antennes sont partout dans notre vie quotidienne. Les systèmes de communication sans fil, la radiodiffusion, la télévision par voie hertzienne ou par satellite et les systèmes radar sont les exemples les plus courants de divers types d'antennes, tels que les antennes cornets, filaires, paraboliques et les antennes planaires. Comme ces dernières (antennes planaires) présentent des avantages, elles présentent également des inconvénients majeurs, comme leur faible bande passante en impédance et leur faible gain qui sont causés par le rayonnement arrière. Afin de résoudre ce problème, certains concepteurs recommandent l'utilisation de réflecteurs électriques avec des antennes à fente. Cependant, les résultats sont toujours insuffisants.

De nos jours, de nouvelles structures, combinées avec réflecteurs où des superstrats à base de structures à surfaces sélectives en fréquence ont été proposées dans la littérature. Les résultats obtenus ont démontré que cette combinaison (réflecteur-structure antennaire) peut améliorer considérablement les caractéristiques de rayonnement de l'antenne. En effet, le réflecteur est caractérisé par son coefficient de réflexion qui a une phase décroissante dans la bande de fréquence de fonctionnement. De plus, les structures à base de ces réflecteurs qui sont faciles à fabriquer, présentent les caractéristiques d'un profil bas, un faible encombrement, un faible coût et elles peuvent avoir des gains maximaux sans avoir recours à des réseaux d'antennes. Dans cette perspective, nous proposons, dans le cadre de ce mémoire, une nouvelle structure de réflecteur FSS qui sera utilisée pour concevoir et mettre en œuvre une nouvelle antenne planaire à ouverture pour améliorer ses performances [1] [2].

Par conséquent, l'objectif principal de ce travail de recherche consiste à étudier et à concevoir cette nouvelle structure d'antenne planaire à base de surfaces sélectives en fréquences FSS dans le but d'améliorer les caractéristiques de rayonnement.

Notre contribution est structurée en trois chapitres :

Le premier chapitre comprend quelques généralités sur les antennes. En effet, On commence par donner une définition d'une antenne ainsi que ses caractéristiques telles que ; le diagramme de rayonnement, le gain et la directivité et la polarisation et la bande passante.

Dans le deuxième chapitre, nous allons présenter les différents types de réflecteurs qui peuvent être intégrés aux antennes planaires notamment les réflecteurs à base de surfaces sélectives en fréquence (FSS) qui constituent en effet le point clé de notre structure proposée.

A cet égard, nous donnons la définition des FSS, leurs différents types et les différentes formes de motifs métalliques qui peuvent être utilisées pour leurs compositions. De plus, nous montrons les réflecteurs électriques et magnétiques qui peuvent être utilisés pour améliorer les performances des antennes d'une part, et de protéger les appareils électroniques (situés à proximité de l'antenne) d'autre part.

Dans le troisième chapitre, on propose de concevoir une antenne patch bi-fréquence avec des paramètres de rayonnement satisfaisants en utilisant un réflecteur basé sur un écran FSS monocouche. Afin d'obtenir les paramètres de rayonnement requis, la bande d'arrêt FSS est conçue pour fonctionner dans la même bande de fréquence que l'antenne patch.

Enfin nous terminerons ce manuscrit par une conclusion générale récapitulative.

Chapitre I : généralité sur les antennes

I.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons, en premier lieu, la définition des antennes. Nous donnerons ensuite leurs caractéristiques et types.

Dans la suite nous allons nous intéresser principalement aux antennes multi-bandes, et ont été présenté une technique la plus utilisée pour obtenir une antenne multi-bande, les performances obtenues sont discutées et conclues par un tableau résumant les différents points faibles et forts de cette technique

Enfin, les avantages et les inconvénients des antennes multi-bandes.

I.2. Définition d'une antenne

Une antenne est en fait un morceau de métal, ou un diélectrique; avec un langage plus approprié à l'électronique nous dirons que c'est un dispositif métallique qui est utilisé pour rayonner ou recevoir des ondes électromagnétiques. En d'autres termes, il s'agit d'une structure de transition entre l'espace libre et un dispositif de guidage. Le dispositif de guidage peut être une ligne de transmission ou un guide d'ondes. Il est utilisé pour transmettre l'énergie d'une source à l'antenne ou de l'antenne à un récepteur.

En simplifiant nous disons qu'un conducteur électrique à travers lequel un courant circule, fournit de l'énergie sous forme de chaleur, de lumière (lampe). De même, il fournit un champ magnétique (principe transformateur) et électrique (principe condensateur). Le principe de l'antenne émettrice est de s'assurer que lorsqu'elle est traversée par un courant variable, sans chauffage ni éclairage, créera un champ magnétique variable autour et ce dernier à son tour créera un champ électrique et ainsi de suite (c'est la description des équations de Maxwell).

Ce champ se propage, c'est alors une onde électromagnétique.

Une onde électromagnétique est transformée en énergie électrique guidée grâce à un conducteur électrique, c'est le principe de l'antenne réceptrice qui est de s'assurer que le champ électromagnétique de l'air est transformé en énergie utilisable (signal électrique). [1]

I.3. les caractéristiques d'antennes

Les antennes se caractérisent généralement par quelques paramètres importants. Ils permettent de comparer les structures entre elles, mais aussi les simulations et les mesures sur prototypes.

I.3.1. Caractéristiques électriques

I.3.1.1. Impédance d'entrée et coefficient de réflexion

L'impédance d'entrée est définie comme l'impédance présentée par une antenne à ses bornes; elle est égale au rapport de la tension V_e au courant I_e présenté à son entrée. Il est donné par :

$$Z_{in} = \frac{V_e}{I_e} = R + jX \quad (I.1)$$

Z_{in} : impédance d'entrée aux bornes a et b ;

R : résistance de l'antenne aux bornes a et b ;

X : réactance de l'antenne aux bornes a et b.

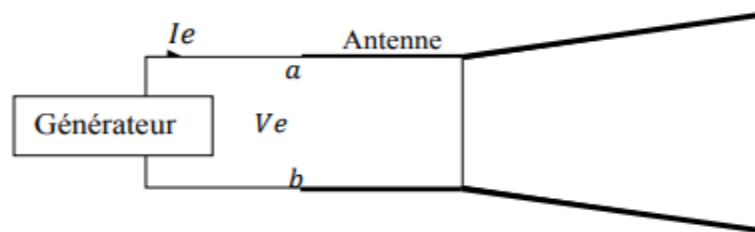


Figure.I.1 Antenne émettrice

Généralement, pour qu'une antenne ait de bonnes performances, il faut que l'émetteur, la ligne de transmission et l'antenne aient presque la même impédance.

Le coefficient de réflexion est un paramètre qui permet d'évaluer la relation entre la quantité réfléchie d'un signal et la quantité incidente.

Le coefficient Γ est lié à l'impédance d'entrée de l'antenne et à l'impédance caractéristique de la ligne d'alimentation par la relation suivante :

$$\Gamma = \frac{Z_{in} - Z_c}{Z_{in} + Z_c} \quad (I.2)$$

Z_c : Impédance caractéristique de la ligne d'alimentation, généralement égale à 50Ω ;

Nous pouvons représenter Γ sous la forme d'un paramètre S en dB comme suit :

$$S_{11} = 20 \log(\Gamma) \quad (I.3)$$

Il est important de noter que l'impédance d'une antenne peut être mesurée à l'aide d'un analyseur réseau. Dans ce cas, l'entrée de l'antenne est connectée au port de l'analyseur par un câble SMA, celui-ci transmet un signal harmonique et est capable de séparer l'onde incidente de l'onde réfléchie. Par conséquent, il permet de mesurer les paramètres S notamment le coefficient de réflexion et donc de déduire l'impédance à la bande de fréquence considérée. Cependant, l'utilisation de cet analyseur nécessite une étape d'étalonnage précise pour mesurer l'impédance dans le plan de référence de l'antenne. [2]

I.3.1.2. Bande passante

La bande passante d'une antenne est la bande de fréquences pour laquelle des caractéristiques particulières.

Il dépend de l'impédance de rayonnement, de la directivité, de la polarisation de l'onde et enfin des dimensions de l'antenne, on définit la largeur de bande comme suit :

$$Bw = \frac{f_+ - f_-}{f_c} \quad (I.4)$$

Avec f_+ et f_- la fréquence minimale et la fréquence maximale entre lesquelles le coefficient de réflexion est inférieur à -10 dB et f_c la fréquence centrale. [3]

I.3.2. Caractéristiques de rayonnement

I.3.2.1. Gain

Le gain $G(\theta, \varphi)$ d'une antenne dans une direction (θ, φ) est le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction donnée $P(\theta, \varphi)$ sur la puissance que la source isotrope émettrait par unité d'angle solide.

En général, le gain G correspond au gain dans la direction du rayonnement maximal (θ_0, φ_0)

$$G(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{P(\theta, \varphi)}{P_A} \quad (I.5)$$

$$G(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{P(\theta, \varphi)_0}{P_A} \quad (I.6)$$

$$G(dB) = 10 \log 4\pi \frac{P(\theta, \varphi)_0}{P_A} \quad (I.7)$$

Si l'antenne est omnidirectionnelle et sans perte, son gain est de 1 ou 0 dB. Le gain est habituellement exprimé en dB ou en dBi parce qu'une antenne isotrope est utilisée comme référence. Parfois on retrouve aussi le gain exprimé en dBd, lorsqu'une antenne dipôle est utilisée comme référence. [4]

I.3.2.2. Directivité

La directivité d'une antenne caractérise la façon dont cette antenne concentre son rayonnement dans certaines directions dans l'espace. La directivité d'une antenne dans une direction (θ, φ) est le rapport de la puissance $P(\theta, \varphi)$ à la puissance rayonnée par la source isotrope par unité d'angle solide. [4]

$$D(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{P(\theta, \varphi)}{P_r} \quad (I.8)$$

$$P_r = \iint_0^{4\pi} P(\theta, \varphi) d\Omega \quad (I.9)$$

$$d\Omega = \sin \theta d\theta d\varphi \quad (I.10)$$

Dans la direction de rayonnement maximal (θ_0, φ_0) la directivité est exprimée :

$$D(\theta_0, \varphi_0) = 4\pi \frac{P(\theta_0, \varphi_0)}{P_r} \quad (I.11)$$

I.3.2.3. Diagramme de rayonnement

Les antennes sont rarement omnidirectionnelles et émettent ou reçoivent dans des directions privilégiées. Le diagramme de rayonnement représente les variations de puissance rayonnée par l'antenne dans différentes directions dans l'espace. Il indique les directions dans l'espace (θ_0, φ_0) où la puissance rayonnée est maximale. Il est important de noter que le diagramme de rayonnement n'a de sens que si l'onde est sphérique.

La fonction de rayonnement caractéristique $r(\theta, \varphi)$ qui varie entre 0 et 1 selon la direction, est tracée dans le diagramme de rayonnement. Celui-ci peut être représenté sous différentes formes (Figure 2). En général, le diagramme de rayonnement d'une antenne est représenté dans les plans horizontal ($\theta = 90^\circ$) et vertical ($\varphi = \text{constant}$), ou dans les plans E et H

Fonction caractéristique de rayonnement $r(\theta, \varphi)$:

$$r(\theta, \varphi) = \frac{P(\theta, \varphi)}{P_0(\theta_0 \varphi_0)} \quad (\text{I.12})$$

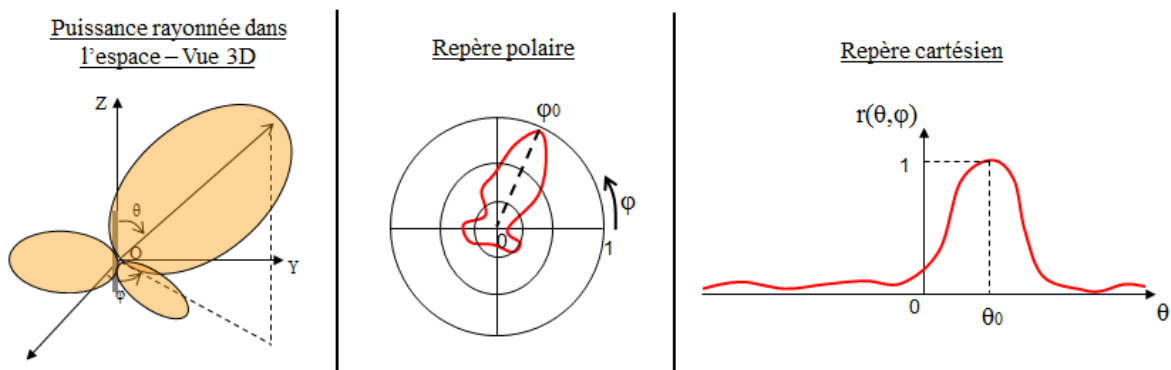


Figure I.2 Représentation du diagramme de rayonnement d'une antenne

Le profil de rayonnement d'une antenne est principalement lié à sa géométrie, mais peut également varier en fonction de la fréquence. Autres que les antennes omnidirectionnelles, les antennes ne rayonnent pas uniformément dans l'espace. Dans ce cas, la fonction de rayonnement caractéristique est égale à 1 quelle que soit la direction considérée. Habituellement, la puissance est concentrée dans un ou plusieurs "lobes". Le lobe principal correspond à la direction préférée de rayonnement. Les lobes secondaires sont généralement des lobes parasites. Dans ces directions, l'énergie rayonnée est perdue donc on cherche à les atténuer [5].

I.3.2.4. Polarisation

La polarisation d'une antenne est la polarisation d'une onde plane générée par cette antenne dans une direction bien déterminée dépend à la direction du champ électrique.

La polarisation d'une onde plane correspond à la variation du champ électrique $\vec{E}$ au cours du temps par rapport à un point d'observation fixe.

Il existe trois types de polarisation : rectiligne, circulaire, elliptique. [6]

- **Condition de choix de polarisation d'une antenne**

Polarisation rectiligne si la direction de champ électrique $\vec{E}$ reste constante dans le temps, si la direction change avec le temps c'est -à -dire le champ électrique E représente plusieurs positions successives et l'extrémité du vecteur représentatif décrit un cercle ou une ellipse alors le champ rayonné sera à polarisation circulaire ou elliptique (voir Figure I.3). [7]

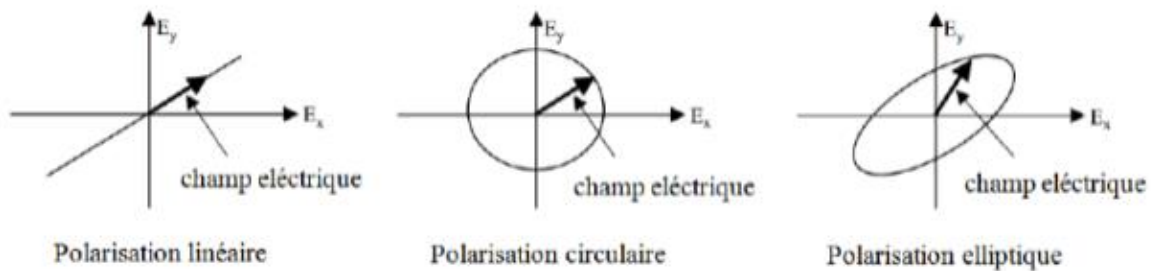


Figure.I.3 Type des polarisations

I.4. Types d'antennes

Les antennes peuvent être divisées en cinq grandes séries faciles à identifier, pour la plupart, à leur forme :

I.4.1. Antennes filaires

Qui sont le type d'antennes le plus célèbre et le plus populaire que l'on peut voir presque partout (voitures, bâtiments, bateaux, téléviseurs, radios, certains mobiles, etc. mobiles et ainsi de suite. Elles peuvent avoir différentes formes comme un fil droit (dipôle), boucle et hélice, comme le montre la Figure I.3. [1]

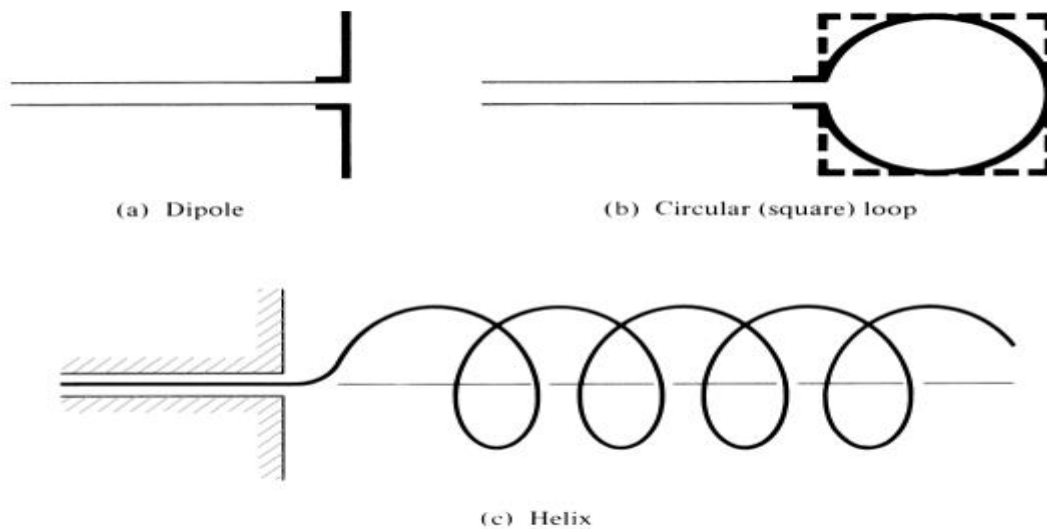


Figure.I.4 Configuration de l'antenne filaire

I.4.2. Antennes fentes

qui sont développées en raison de la nécessité d'avoir des formes et d'une utilisation pour des fréquences plus élevées que les antennes filaires, comme le montre la Figure I.5. Les guides d'ondes sont les fameuses antennes à ouverture. Ces antennes sont très utiles dans les applications aéronautiques et spatiales car elles peuvent être recouvertes d'un matériau diélectrique pour les protéger des conditions dangereuses dans les environnements à grande vitesse. vitesse élevée. [8]

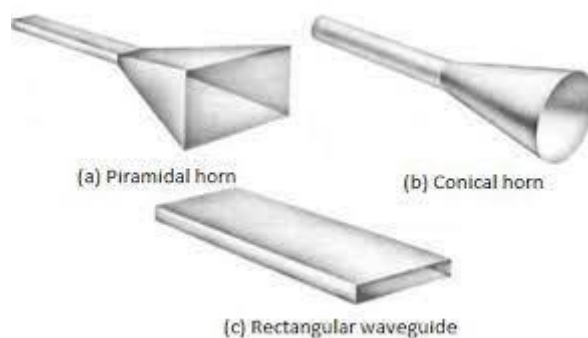


Figure.I.5 Les antennes à fentes

I.4.3. Antennes micro-rubans

ou antenne patchée. Une antenne microruban "MSA" se compose fondamentalement de deux feuilles métalliques "patches" qui sont séparées par un substrat, l'une d'entre elles est la masse et l'autre agit comme un radiateur comme le montre la Figure I.6. Cette antenne est largement

utilisée en raison de son faible coût, de sa facilité d'analyse et de fabrication et de sa petite taille. Elle peut être utilisée à la surface d'avions, de satellites, de mobiles, de missiles et d'engins spatiaux de haute performance [1] [7].

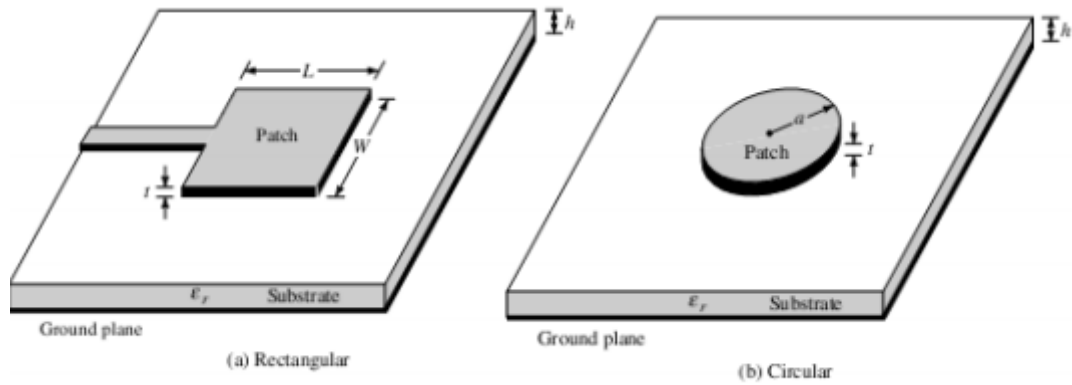


Figure.I.6 Antennes patch à élément rayonnant triangulaire et circulaire

I.4.4. Antennes réseaux

Sont un groupe d'éléments rayonnants disposés selon une certaine disposition électrique et géométrique (un réseau), comme illustré à la Figure I.7, afin de pour obtenir une certaine caractéristique de rayonnement qui ne peut être obtenue avec un seul élément rayonnant unique. Ce réseau peut également augmenter le rayonnement dans maximum dans une ou plusieurs directions particulières et diminuer dans d'autres comme souhaitée. [9]

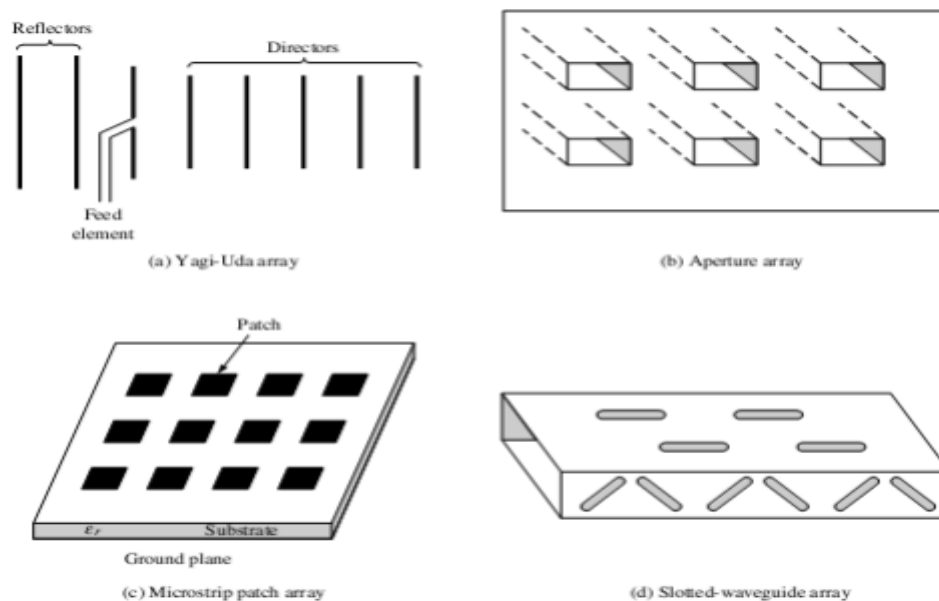


Figure.I.7 Exemples d'antennes réseaux.

I.4.5. Antennes réflecteurs

Sont principalement utilisés pour les communications par satellite en raison de les grandes distances. L'antenne parabolique (réflecteur) est la forme la plus populaire pour ce type d'antennes. Dans ce type d'antenne, plus le diamètre de l'antenne est grand, plus le gain est élevé pour l'émission et la réception. Gain peut être atteint pour l'émission et la réception. Leurs formes sont illustrées à la Figure I.8. [9]

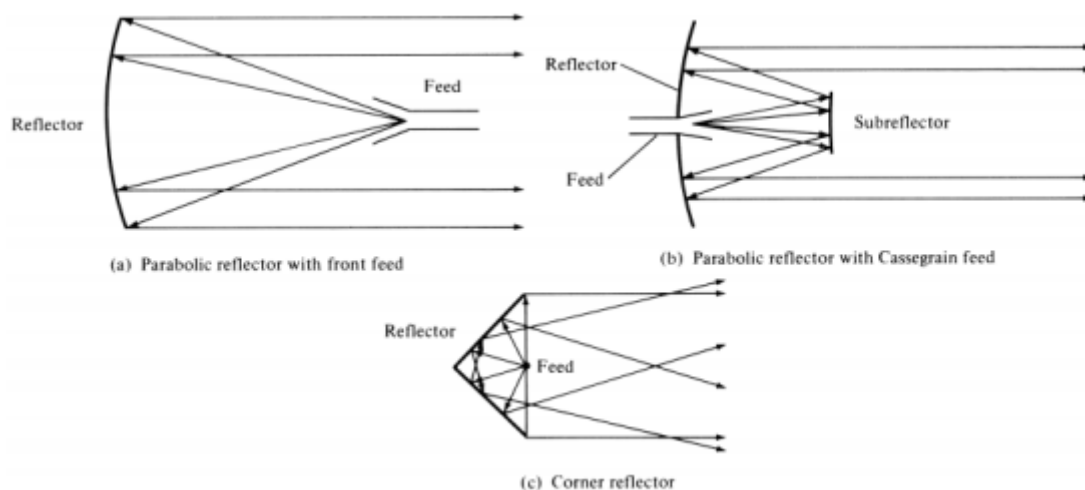


Figure.I.8 Configurations typiques des réflecteurs

I.5. Antennes multi-bandes

Par définition, une antenne multi-bande est une antenne qui fonctionne dans deux ou plusieurs bandes de fréquences et a des performances assez similaires dans ces bandes de fréquences. Le fonctionnement de l'antenne sur une bande de fréquences entraîne généralement une adaptation " raisonnable " de l'antenne pour toutes les fréquences de cette bande de fréquences. Cette adaptation " raisonnable " est définie par le coefficient de réflexion ou rapport d'ondes stationnaires (TOS) à l'entrée de l'antenne inférieur à une valeur fixé.

Un avantage pour les antennes multi-bandes est que des éléments rayonnants indépendants peuvent être utilisés pour chaque bande de fréquence. Ainsi, il est aisé de changer la zone couverture d'une des bandes de fréquences sans modifier la couverture des autres bandes de fréquences de l'antenne. Le changement de couverture de bande de fréquence est obtenu par le changement de l'élément rayonnant responsable de cette bande de fréquence. [10]

I.5.1. Techniques utilisées pour obtenir des antennes multi-bandes

Les techniques utilisées pour faire résonner les antennes à plusieurs fréquences sont diverses et basées sur de multiples concepts. Dans ce qui suit, nous décrirons l'une des techniques les plus utilisées pour obtenir des antennes multi-bandes et les avantages et inconvénients des performances radioélectrique qu'elles peuvent apporter.

Combinaison de plusieurs éléments rayonnants

La technique la plus classique pour obtenir une antenne multi-bande est la combinaison de deux ou plusieurs éléments rayonnants mono-bande (résonateurs). Ces composants mono-bande peuvent être de même type ou différents les uns des autres. Côté excitation, les composants qui composent ces antennes multi-bandes peuvent être alimentés de deux manières différentes :

1. alimentation directe via le port d'excitation : dans ce cas, ces composants sont appelés composants actifs ou directionnels
2. une alimentation qui alimente directement des éléments rayonnants adjacents par couplage électromagnétique : dans ce cas, ces éléments sont appelés éléments parasites ou éléments passifs.

Les points forts et faibles en général de cette technique sont regroupés dans le tableau I.

Points forts	Points faibles
-Facilité du premier dimensionnement des éléments constitutifs - Rayonnement relativement identique sur toute la large bande couverte - Bonne efficacité	-Structures généralement encombrantes -Couplage entre éléments pas toujours maîtrisé -Bon positionnement des différents éléments rayonnants délicat -Diagrammes de rayonnement généralement perturbés par les autres éléments rayonnants. -Nombre de ports d'excitation dans le cas d'excitations séparées.

Tableau I Points forts et faibles de la combinaison de plusieurs éléments rayonnants

I.5.2. Avantages et inconvénients des Antenne multi fréquences

Par rapport aux antennes classiques les antennes multifréquences offrent une multitude d'avantages et des inconvénients

Avantages

Forte sélectivité

Post traitement simplifié

Inconvénients

Faible maitrise des rapports de fréquences de fonctionnement

Plus sensible aux erreurs de fabrication

I.6. Conclusion

Dans la première partie de ce chapitre nous avons présenté, d'une manière générale, les caractéristiques principales des antennes et leurs types, la deuxième partie du chapitre a été consacrée aux antennes multi-bandes. Nous y avons ainsi détaillé une technique utilisée pour obtenir ce dernier ont été résumés les points forts et faibles de cette technique sous forme de tableaux. Et nous avons terminé par avantages et inconvénients des antennes multi fréquences.

Chapitre II : Les structures périodiques (FSS)

II.1. Introduction

Lors de la fabrication d'antennes, le rayonnement arrière peut être gênant. C'est pourquoi il est nécessaire d'éviter que le rayonnement arrière ne soit absorbé (l'inconvénient est que la moitié de l'énergie est perdue) ou d'utiliser des surfaces réfléchissantes. Dans de bonnes conditions d'utilisation, ces plans permettent de ne pas avoir de rayonnement arrière, et peuvent également doubler le gain d'antenne pour le rayonnement réfléchi.

Dans ce chapitre nous allons présenter les réflecteurs de type FSS, CEP et aussi CMP. Au début, nous définirons les Surfaces Sélectives en Fréquence, ainsi que les Classifications des FSSs en fonction de leurs réponses en fréquence (les types des FSSs). Ensuite les différents motifs. Par la suite, nous présenterons le réflecteur de type conducteur électrique parfait et leur principe de fonctionnement selon la théorie des images. À la fin, nous finirons par le réflecteur de type conducteur magnétique parfait.

II.2. Réflecteur de type Surfaces Sélectives en Fréquence (FSS)

II.2.1. Définition

La surface sélective en fréquence du FSS est généralement une structure plane ou quasi-planaire avec une ou deux périodicités longitudinales. Ces structures sont également obtenues en répétant des motifs métalliques, généralement imprimés sur le substrat diélectrique. Selon la forme du motif métallique, ce type de structure peut obtenir différentes caractéristiques de réflexion. [11]



Figure.II.1 Exemple de FSS imprimé

II.2.2. Classification des FSS en fonction de leurs réponses en fréquence

La surface sélective en fréquence (FSS) est généralement formée par un plan métallique perforé périodiquement avec des ouvertures (grille métallique) ou un réseau périodique de motifs métalliques imprimés sur le substrat [12].

Pour chaque type de FSS [12], on peut étudier les ondes électromagnétiques à sa structure. Deux polarisations différentes : TE (transverse électrique) et TM (transverse magnétique). Le FSS est classé selon sa réponse spectrale comme suit :

II.2.2.1. FSS de type passe-haut

Ces structures sont comme un miroir presque parfait, elles sont complètement réfléchissantes à basse fréquence.

Afin de réaliser ces structures métalliques à bipolarisation de l'onde, il suffit d'utiliser des grilles métalliques, comme le montre la Figure II.2. Le coefficient de réflexion de cette structure a la même réponse en polarisation TE et TM. Cette structure est transparente aux hautes fréquences, réfléchissante aux basses fréquences, et il en est de même pour les deux polarisations. [13]

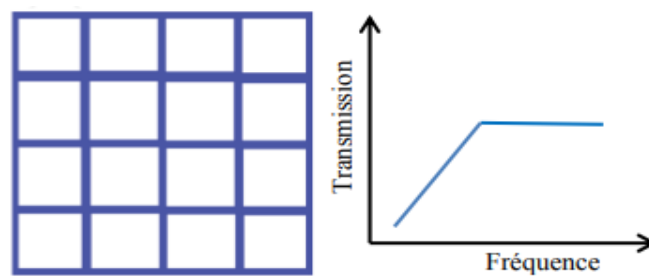


Figure II.2: FSS de type passe-haut et sa réponse en fréquence

II.2.2.2. FSS de type passe-bas

Cette structure est le dual de la structure passe haut, c'est-à-dire que la proportion de métal est plus grande que l'air. Il reflète pleinement les hautes fréquences. Il se comporte comme un miroir presque parfait. Cette structure est composée de patchs déconnectés, comme le montre la Figure II.3. Elle présente une réflectivité qui tend vers 1 pour les hautes fréquences. [14]

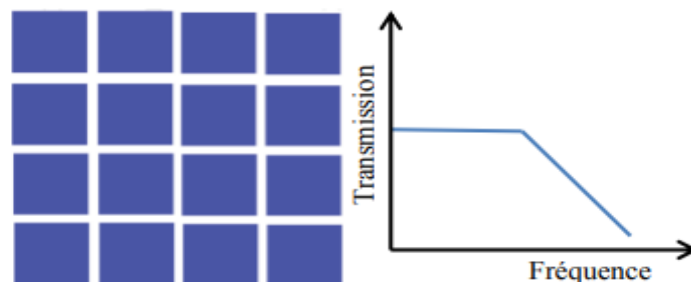


Figure II.3 FSS de type passe-bas et sa réponse en fréquence

II.2.2.3. FSS de type coupe bande

Ces structures fournissent un comportement de filtre coupe-bande. Ils sont composés d'anneaux métalliques disposés périodiquement (Figure II.4). Cette disposition permet d'obtenir une structure avec le même comportement de type coupe-bande pour les deux polarisations. Ce type de structure se réfléchit complètement autour de la fréquence de résonance du circuit de couplage, et est quasiment transparent aux autres fréquences. [12]

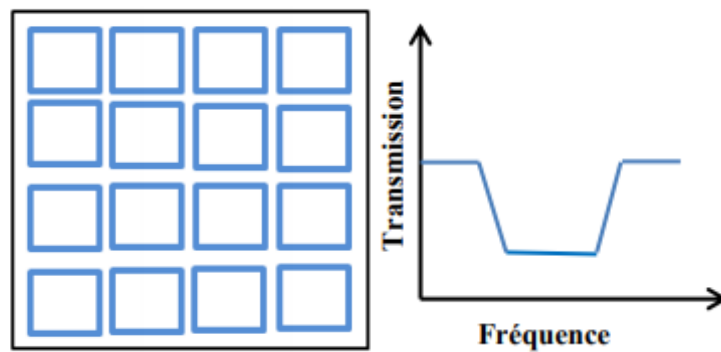


Figure.II.4 FSS de type stop-bande et sa réponse en fréquence

II.2.2.4. FSS de type passe-bande

Cette structure est la dualité de la structure précédente, donc son comportement est Type de filtre passe-bande, composé d'un agencement de fentes en anneaux, comme illustré sur la Figure II.5. Cette structure est presque transparente autour d'une fréquence Résonance, et il réfléchit aux autres fréquences et aux deux fréquences polarisation. Il peut donc être assimilé au plan métallique, à l'exception de la bande de fréquence et de ces deux polarisations. [16]

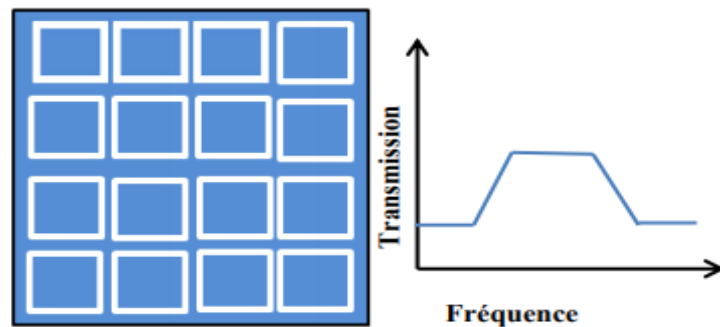


Figure.II.5 FSS de type passe-bande et sa réponse de fréquence

II.2.3. Les différents motifs de FSS

Malgré des années de recherche sur les FSS, de nouveaux modèles apparaissent toujours et continueront sans aucun doute à apparaître. Comme le montre Munk, les motifs utilisés dans FSS sont divisés en quatre groupes de base. [12]

II.2.3.1. Groupe 1

Formé des éléments connectés au centre ayant N pôles, tels que des dipôles, des tripodes et des croix de Jérusalem. Les éléments les plus populaires de ce groupe sont : la croix de Jérusalem, le tripode. Certains de ces éléments ont été combinés avec d'autres types d'éléments pour produire de nouvelles configurations FSS. [15]



Figure.II.6 Quelques structures du groupe 1

II.2.3.2 Groupe 2

Type d'anneau ; comme anneau circulaire, l'anneau carré et l'anneau hexagonal. Ce groupe est probablement le plus populaire. De nombreux articles sont écrits sur les anneaux carrés et les anneaux (simples et concentriques). Les anneaux tripolaires appartiennent également à cette catégorie. [13]

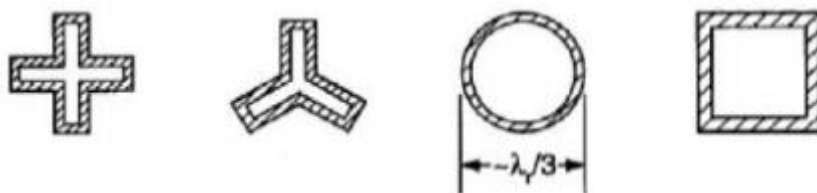


Figure.II.7 Quelques structures du groupe 2

II.2.3.3. Groupe 3

Il est formé par des ouvertures de forme quelconque sur le plan conducteur ou des patches de formes diverses imprimées sur le substrat. Ces structures prennent généralement la forme d'ouvertures ou de patches. Ils peuvent apparaître dans des configurations multicouches ou à

couche unique et les configurations à simple couche avec des ouvertures sont utilisées comme filtres dichroïques [14].



Figure.II.8 Quelques structures de groupe 3

II.2.3.4. Groupe 4

combinaison des éléments ci-dessus. Ces dernières années, la combinaison de différents types d'éléments de FSS a été utilisée pour atténuer certains des problèmes associés aux FSSs composés d'un seul type d'élément (motif). Par exemple, une FSS formée par des anneaux carrés avec des fentes a été utilisée pour tenter de surmonter les problèmes des sensibilités angulaires observées dans les FSSs formé uniquement par les anneaux carrés. Ces nouvelles structures permettent également de réduire le SER (Radar Equivalent Cross Section) du radôme.



Figure.II.9 Quelques structures de groupe 4

Ces quatre modèles de base peuvent être combinés pour générer de nombreuses nouvelles FSSs dont les caractéristiques sont uniques. [16]

II.3. Réflecteur de type conducteur électrique parfait

Un conducteur électrique parfait (PEC) est généralement utilisé sous l'antenne pour diriger son rayonnement dans une seule direction. L'exemple le plus célèbre est une antenne à fente qui produit un rayonnement bidirectionnel. Le fait de mettre un plan de masse à conducteur électrique parfait permet d'éliminer le rayonnement arrière et maintenir le rayonnement avant. Cela augmente également la directivité de la direction du rayonnement. En plus de cette

redirection du rayonnement, le plan de masse électrique est également considéré comme un isolant pour divers appareils électroniques adjacents. [17]

Principe de fonctionnement selon la théorie des images

La théorie des images stipule que s'il y a un courant au-dessus du plan de masse du PEC, il produira une image parallèle au courant d'origine mais en opposition de phase. Cette opposition fera s'annuler les deux courants de part et d'autre du plan de masse imaginaire qui remplace le plan de masse physique du PEC. Le principe est illustré à la Figure II.10. Cette annulation réduira l'adaptabilité de l'antenne et son rayonnement. Une façon d'éviter ce déphasage de π entre le courant d'origine et son image est d'espacer l'antenne et son réflecteur métallique à une hauteur de $\lambda/4$. On peut ainsi obtenir deux ondes en phase, à savoir l'onde rayonnée par l'antenne et l'onde réfléchie par le plan de masse du PEC. Comme on peut le voir sur la Figure II.10, l'onde se propageant derrière l'antenne à une distance de $\lambda/4$ produit un déphasage de $2 \times (\pi/2)$ sur les côtés aller et retour. Si nous ajoutons à cela le déphasage du plan PEC étant de π , on obtient un déphasage total de 2π . Finalement, l'onde réfléchie et l'onde rayonnée par l'antenne reviennent à la même phase, elles s'additionnent donc de manière constructive. Cependant, cette solution d'espacement peut présenter des inconvénients importants, notamment aux basses fréquences, car elle entraînera un agrandissement de la structure. [18]

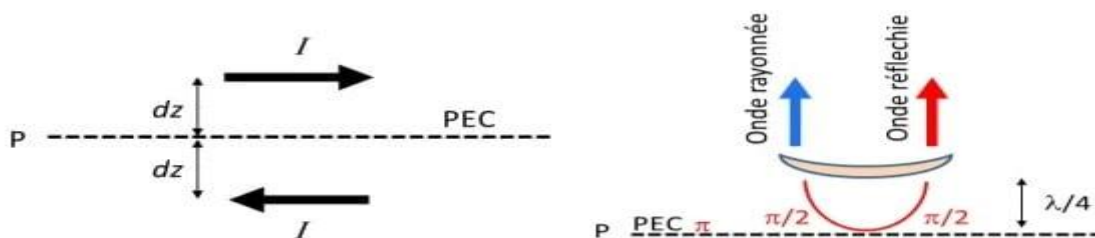


Figure.II.10 Théorie des images et réflexion sur un plan PEC

II.4. Réflecteur de type conducteur magnétique parfait

Le conducteur magnétique parfait, ou PMC "conducteur magnétique parfait", est une structure qui contient une surface où le champ magnétique tangentiel est toujours nul. Le champ magnétique incident qui rencontre la surface est annulé et le champ électrique incident est réfléchi en phase. Une structure qui présente les caractéristiques d'un conducteur magnétique parfait ne peut pas être faite sur la matière. Néanmoins, il est encore possible de réaliser des

structures avec des propriétés électromagnétiques similaires dans une bande de fréquence spécifique et une polarisation donnée. [19]

Lorsqu'ils sont utilisés comme plan de masse, les conducteurs PMC réagissent complètement différemment des conducteurs PEC. Le conducteur PEC produit une image de courant en phase avec le courant d'origine, tandis que le conducteur PMC produit une image de courant en phase avec le courant d'origine, comme le montre la Figure II.11. En conséquence, les deux courants se superposent au lieu de s'annuler comme un plan de masse PEC. Par conséquent, il n'est pas nécessaire de laisser un espace entre l'antenne et le plan de masse du PMC, voir Figure II.11. Cet aspect représente un avantage très important de l'utilisation de conducteurs PMC dans le développement d'antennes, notamment pour réduire la distance entre l'antenne et son plan de masse, ou dans un autre but, comme l'amélioration de l'adaptabilité de l'antenne comme nous le verrons plus tard dans les applications des PMC. [20]

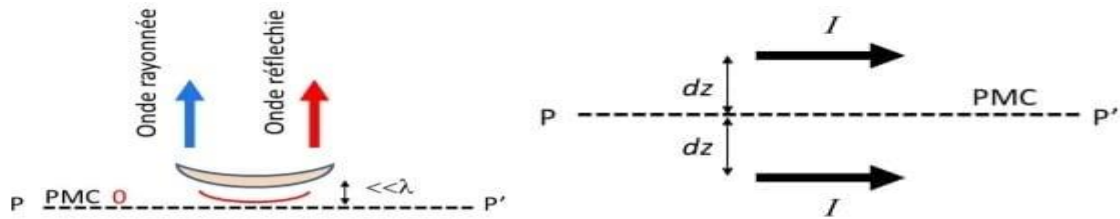


Figure.II.11 Théorie des images et réflexion sur un plan PMC

Dans les sections précédentes, nous avons expliqué la différence entre un conducteur PEC et un conducteur PMC à travers la théorie de l'image. On peut aussi l'expliquer en termes de réflectivité ou d'impédance de surface. En effet, le coefficient de réflexion de l'onde plane incidente sur le plan PEC est $\Gamma = -1$, ce qui signifie que la phase de l'onde réfléchie est π par rapport à l'onde incidente. Si la même onde plane est réfléchie sur le plan PMC, son coefficient de réflexion est $\Gamma = 1$. Dans ce cas, le déphasage entre l'onde réfléchie et l'onde incidente est de 0° . En termes d'impédance, les conducteurs PEC ressemblent à des courts-circuits, leur impédance est donc nulle, tandis que les conducteurs PMC ressemblent à un circuit ouvert avec une impédance infinie. Cette interprétation nous amène à déduire que remplacer le plan PEC par le plan PMC revient à changer son impédance nulle en une impédance très élevée. [18]

II.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les réflecteurs d'antennes planaires à base des structures périodiques qui peuvent être utilisés pour améliorer les performances des antennes. Au début, Comme nous l'avons vu précédemment, il existe plusieurs motifs intervenant dans la constitution des FSSs. Il y a également l'existence de plusieurs configurations ayant chacune une réponse fréquentielle bien précise.

Ensuite, un état de l'art, concernant les réflecteurs de type conducteurs électrique parfait et leur principe de fonctionnement selon la théorie des images, à fin une représentation de réflecteur de type conducteur magnétique parfait .

Chapitre III : Résultats et Discussions

III.1. Introduction

Ce chapitre propose la conception d'une antenne patch bi-bande avec des paramètres de rayonnement satisfaisants (bande passante, gain, directivité et rapport avant-arrière) grâce à l'utilisation d'un réflecteur basé sur un écran FSS monocouche. Afin d'obtenir les paramètres de rayonnement souhaités, la bande d'arrêt FSS a été conçue pour fonctionner dans la même bande de fréquence que l'antenne patch. Tous nos travaux ont été effectués avec le simulateur HFSS.

III.2. Présentation du logiciel de simulation électromagnétique HFSS

Le logiciel Ansoft HFSS est un logiciel de modélisation électromagnétique 3 Dimensions, basé sur la méthode des éléments finis (FEM) en régime harmonique. Ce logiciel offre une interface graphique conviviale qui permet par exemple, de générer très simplement des cartographies de champ dans le volume de calcul. De plus, il utilise une méthode fréquentielle qui permet d'obtenir rapidement des résultats en un point de fréquence. Néanmoins, dans le cas particulier de l'étude du comportement d'une cellule en fonction de la fréquence, la méthode fréquentielle utilisée nous oblige à réaliser une simulation par point de fréquence (sans toutefois recalculer le maillage qui est constant sur la bande de fréquence), ce qui conduit à des temps de calcul importants [1].

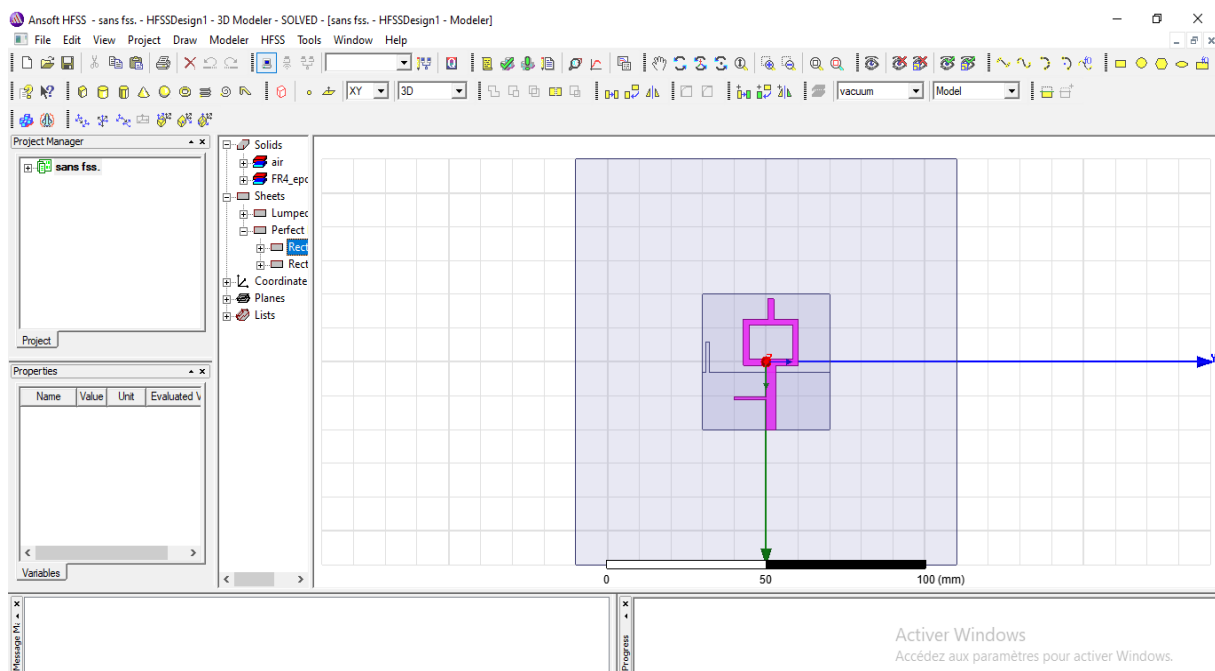


Figure.III.1 Interface du simulateur HFSS.

III.3. Conception d'antenne double bande

L'antenne double bande a été conçue pour fonctionner à deux fréquences de résonance dans deux segments largement utilisés de la bande ISM (Industrial, Scientific, and Medical) : le premier de 2,2 GHz à 2,48 GHz et le second de 5,45 GHz à 6.26 GHz. Les dimensions de l'antenne ont été modifiées afin d'obtenir de meilleures performances en fonction des exigences de la conception. Cependant, un écran basé sur le FSS a été incorporé, composant une nouvelle structure avec une amélioration des paramètres de rayonnement qui sera décrite et analysée dans ce travail. La structure d'antenne proposée est illustrée à la figure 2[21].

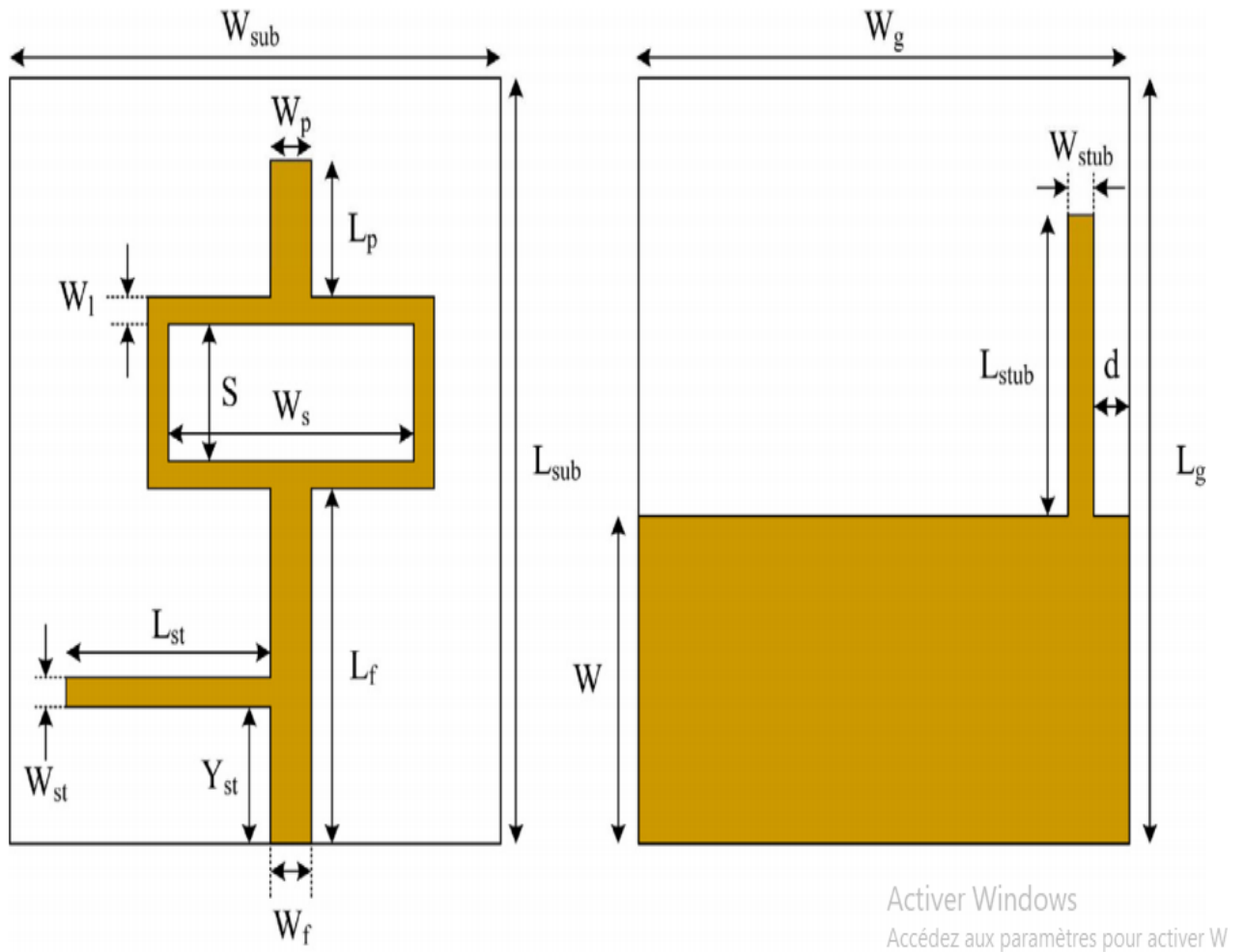


Figure.III.2 structure d'antenne double bande.

Paramètre	L_p	W_l	W_p	S	W_s	L_f	W_f	L_{st}	Y_{st}	W_{st}	W_g	L_g	d	W_{stub}	L_{stub}
Valeur (mm)	6	1.8	2	10	13.8	19	3	10	8.7	1	40	12	1	1	9

Tableau.III.1 Dimensions d'antenne patch à double bande.

Pour implémenter la structure de la figure 2 sous HFSS, nous utilisons un substrat commercial FR4_epoxy avec un constant diélectrique relatif égal à 4.4, une longueur de 40 mm et une épaisseur de 1,6 mm.

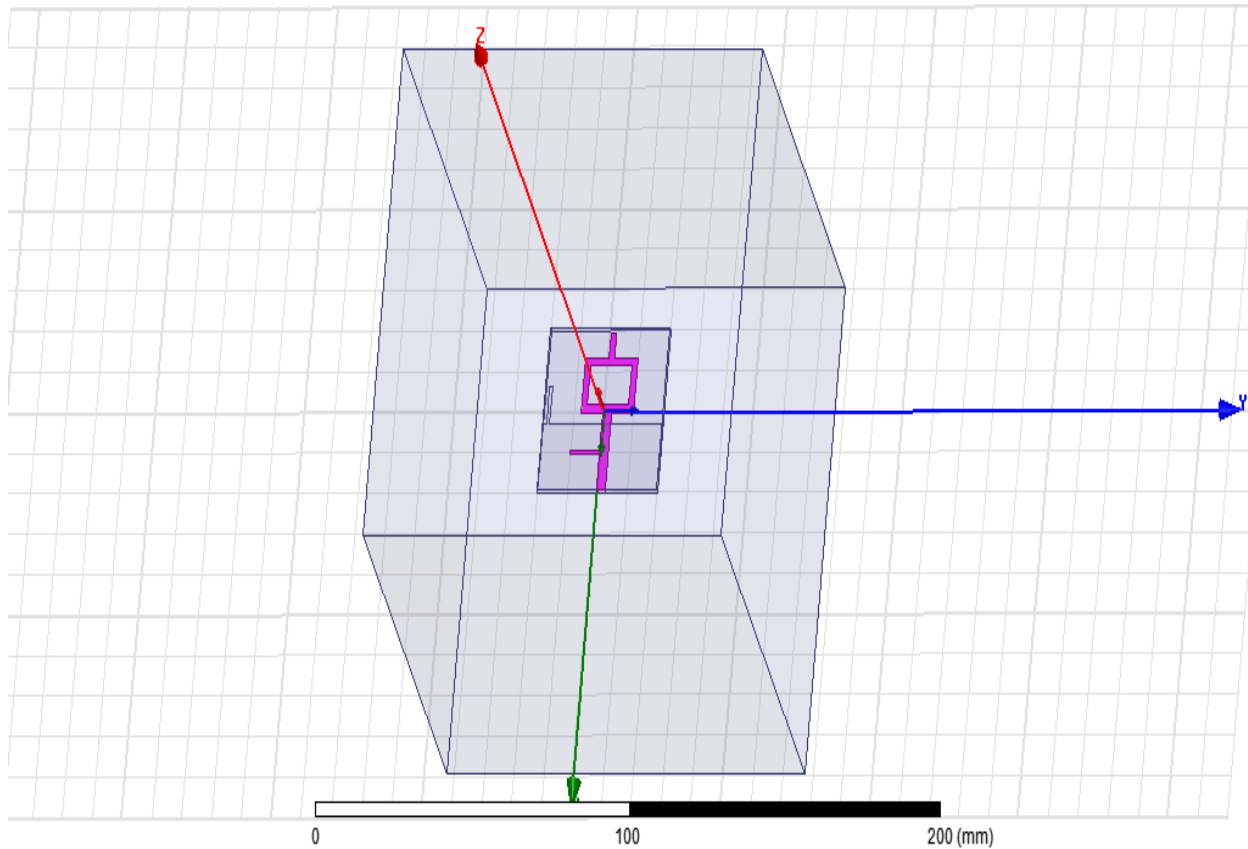
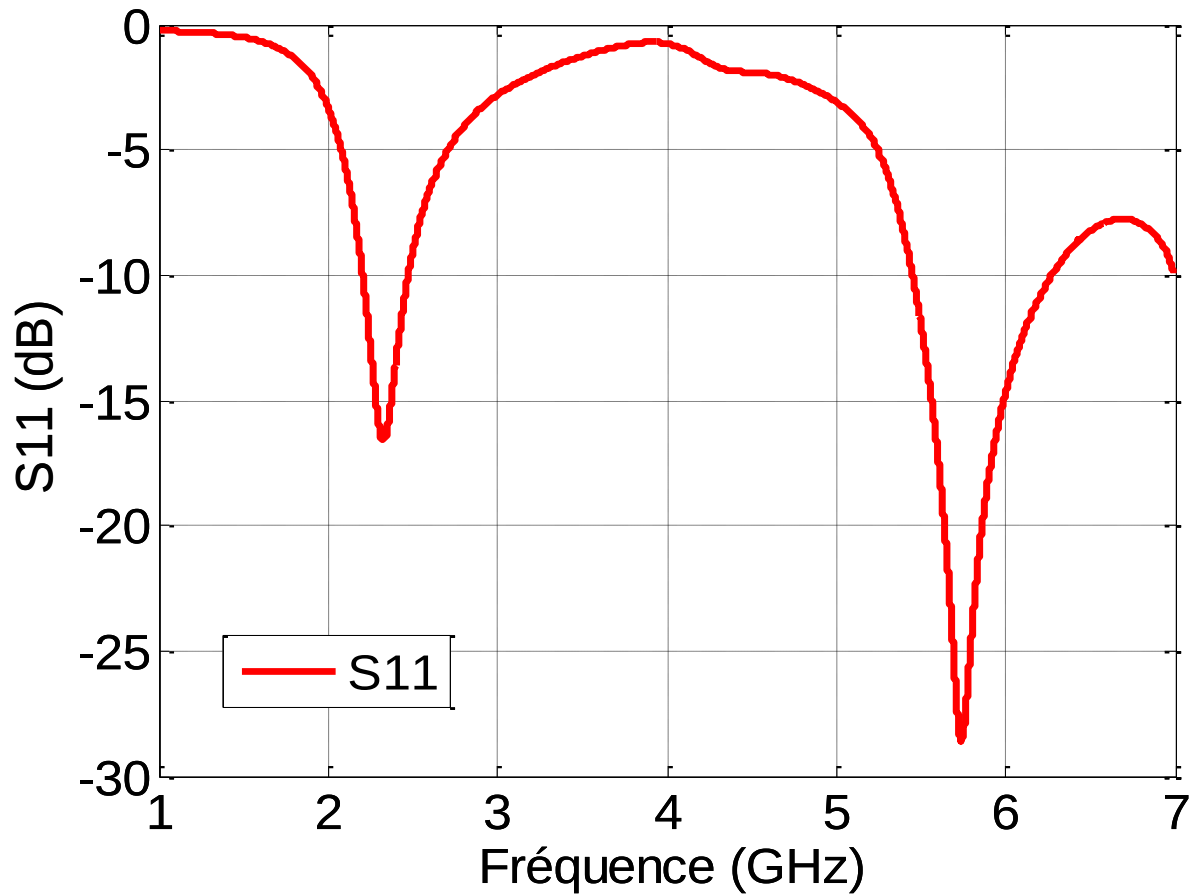


Figure.III.3 Géométrie d'antenne double bande sous HFSS

L'antenne est alimentée par une ligne microruban et sa géométrie est composée d'un patch à spirale rectangulaire et de deux stubs. Le premier stub est situé dans le plan de masse et le second perpendiculaire à la ligne électrique. Le second stub est connecté à la ligne de transmission et placé à côté du connecteur afin d'adapter l'impédance ou de compenser de petites désadaptations. Pour une meilleure adaptation, il dispose de deux réglages : la longueur du stub et la distance au connecteur.

Le résultat obtenu pour le coefficient de réflexion (S_{11}) de la structure de l'antenne double bande travaillant dans la bande $[1 - 7 \text{ GHz}]$ est représenté dans la Figure.III. 4.

Figure.III.4 S_{11} de la structure simulée.

La figure III.3 présente la géométrie d'antenne double bande implémentée sous HFSS. Le résultat de cette implémentation est illustré dans la figure III.4. Comme le montre cette figure, on remarque que cette antenne présente deux bandes de fréquences, la première bande est située entre **2.20 GHz** et **2.47 GHz** avec une fréquence d'opération $f_{r1} = 2.33 \text{ GHz}$ pour un coefficient de réflexion en dB égales à **-16.6017 dB**. La deuxième bande est située entre **5.45 GHz** et **6.26 GHz** avec une fréquence d'opération $f_{r2} = 5.74 \text{ GHz}$ pour un coefficient de réflexion en dB égales à **-28.5637 dB**.

III.4. Conception de la cellule FSS

L'écran FSS a été développé pour fonctionner dans les mêmes bandes de fréquences de l'antenne. A cet effet, il doit avoir une bande passante supérieure ou égale à celle de l'antenne. Ainsi, le FSS a été conçu pour fonctionner au-delà de la bande ISM, C'est-à-dire de 1.7 GHz à 3.06 GHz et de 4,73 GHz à 6,8 GHz. La conception du FSS est composée d'un

réseau capacitif sur une dalle diélectrique. La géométrie choisie consiste en la double boucle carrée, comme représenté sur la figure 5. Ce choix n'est pas seulement lié à la capacité du FSS à fonctionner avec deux fréquences de résonance, mais aussi à ses meilleures performances par rapport aux autres géométries. En effet, il peut fournir une meilleure stabilité angulaire et de polarisation, une plus grande bande passante et des dimensions plus petites requises pour les bandes de fréquences souhaitées.

Les dimensions de la structure ont été conçues pour permettre de travailler sur les mêmes fréquences et en même temps couvrir la bande passante de l'antenne. Les valeurs optimisées de la structure sont (unités en millimètre) : $D_1 = 15,7$, $W_1 = 1$, $D_2 = 12$, $W_2 = 1$, $g_1 = 0,5$, $g_2 = 0,85$ et $p = 16,2$.

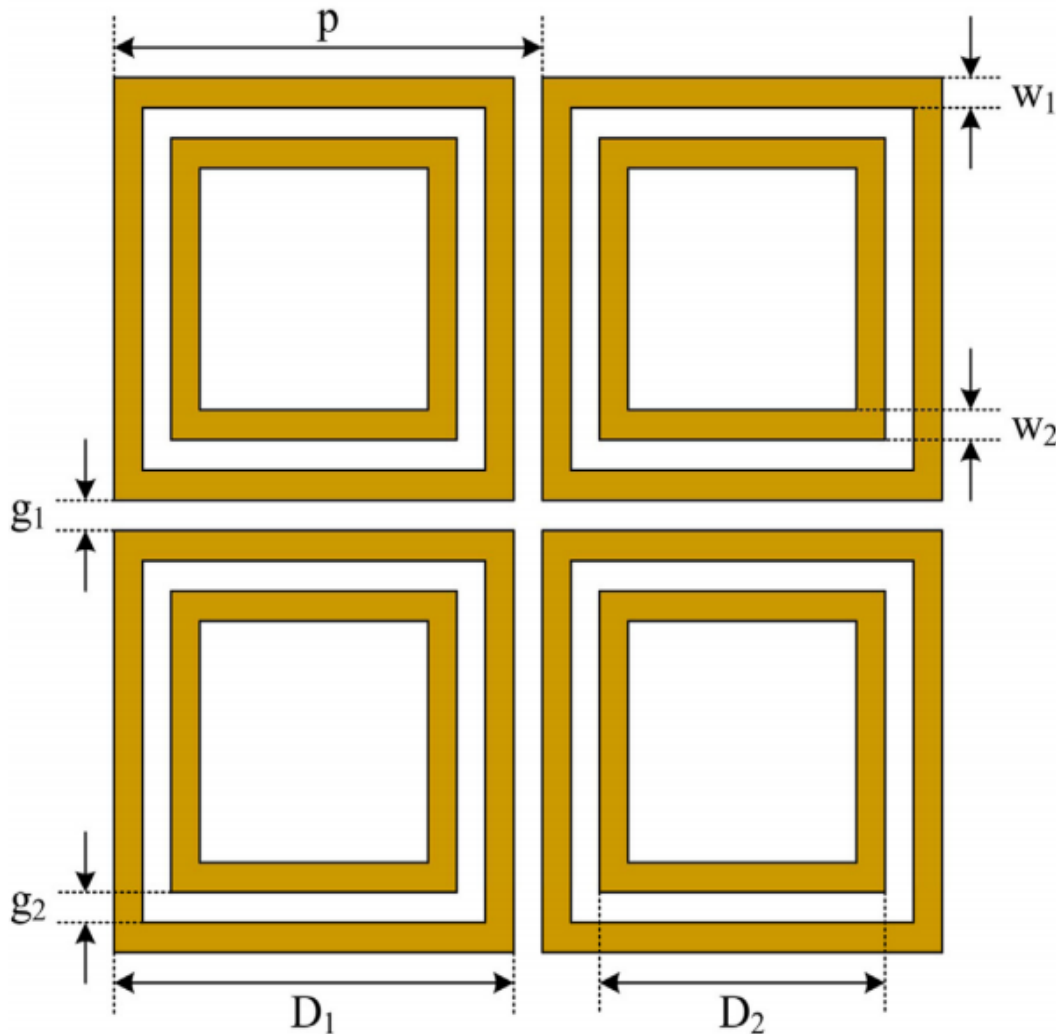


Figure.III.5 géométrie des cellules unitaires du réflecteur FSS

La méthode Floquet port Fondamentalement, les modes de Floquet sont des ondes planes dont la direction de propagation est définie par la fréquence, le phasage et la géométrie de la structure périodique. Tout comme les modes Wave, les modes Floquet ont également des constantes de propagation et subissent une coupure à basse fréquence [22].

Pour implémenter la structure de la figure 5 sous HFSS, nous utilisons un substrat commercial FR4_epoxy avec un constant diélectrique relatif égal à 4.4 et une épaisseur de 1,6 mm.

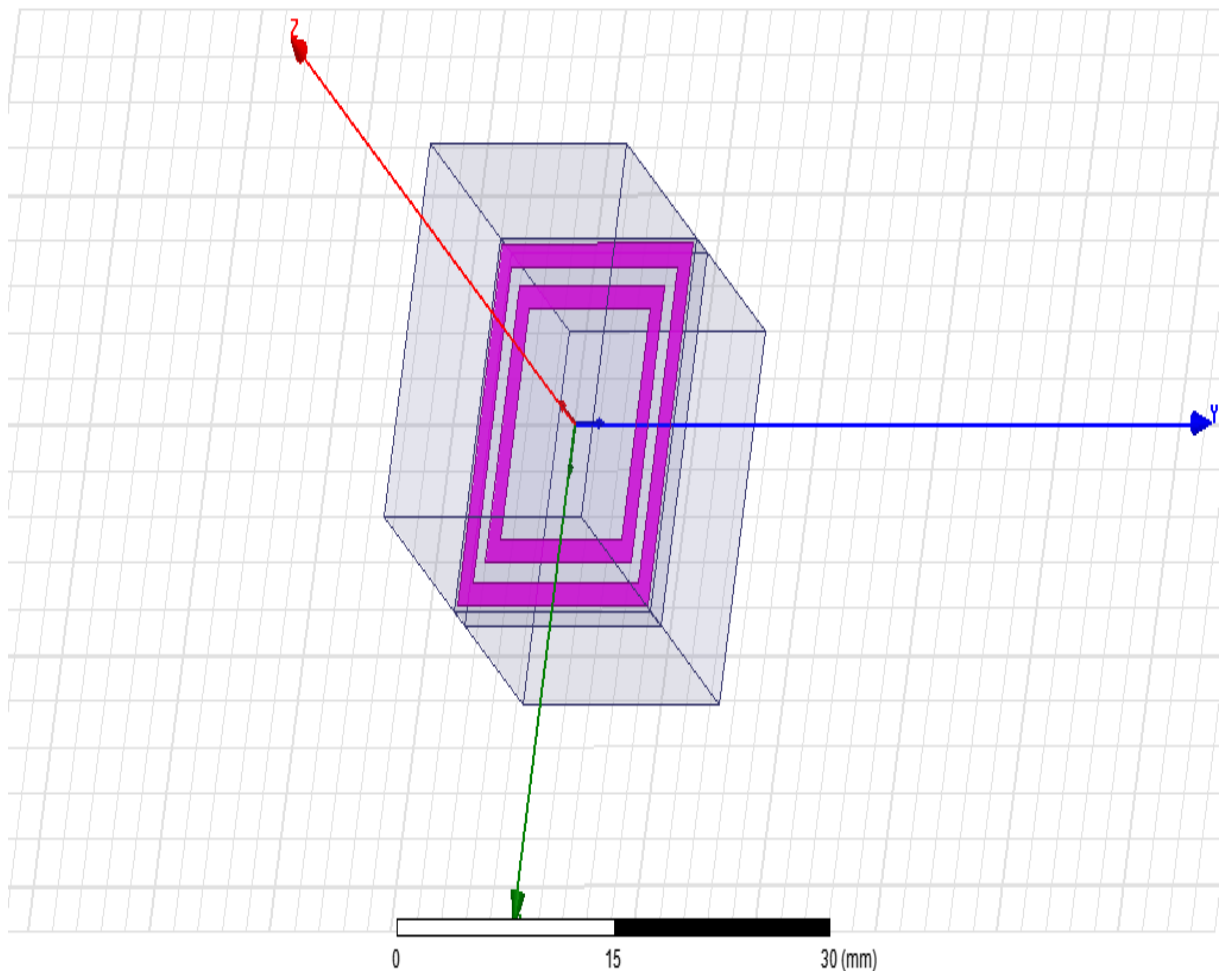
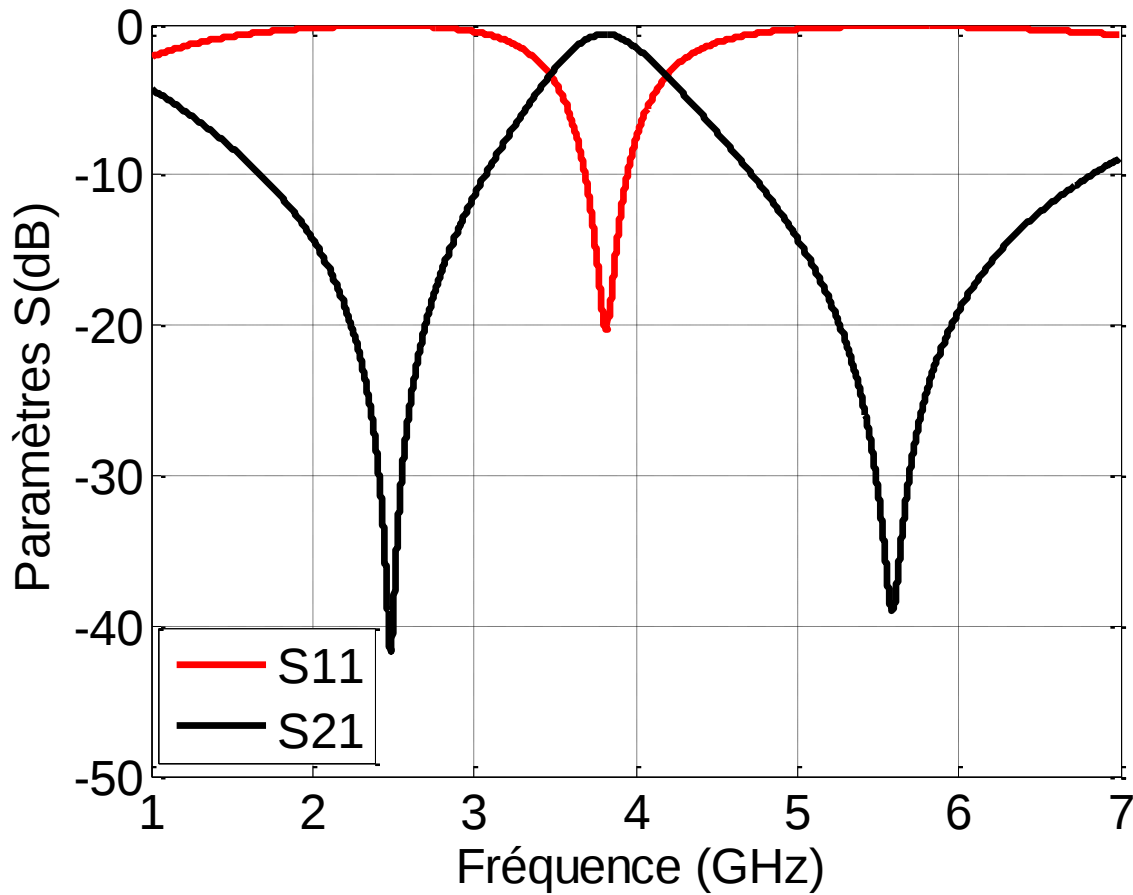


Figure.III.6 Géométrie de la cellule unitaire FSS sous HFSS

Le résultat obtenu pour les coefficients de réflexion et de transmission (S_{11} et S_{21}) de la cellule unitaire FSS simulée dans la bande $[1 - 7 \text{ GHz}]$ est représenté dans la Figure 7.

Figure.III.7 S_{11} et S_{21} de la structure simulée

La figure.III.6 présente la géométrie de la cellule unitaire FSS implémentée sous HFSS. Le résultat de cette implémentation est illustré dans la figure 7. Comme le montre cette figure, on remarque que cette cellule présente deux fréquences d'opération $f_{r1} = 2.48 \text{ GHz}$ et $f_{r2} = 5.59 \text{ GHz}$ pour des coefficients de réflexion en dB égaux $|S_{11}| = -41.5899 \text{ dB}$ et -38.9207 dB respectivement.

III.5. Conception du réflecteur FSS

Compte tenu des dimensions des cellules unitaires conçues et d'un réseau de 5×5 dans les directions x et y, le panneau FSS comporte alors 25 éléments, avec une dimension FSS totale de $81 \text{ mm} \times 81 \text{ mm}$. Le substrat adopté pour le FSS est également le FR4_epoxy, avec les mêmes propriétés que celles utilisées dans le projet d'antenne.

Étant donné que le filtre est conçu pour fonctionner comme un filtre à bande d'arrêt, il a été placé derrière l'antenne, de sorte qu'il peut être utilisé comme élément réflecteur. La distance

entre le FSS et l'antenne a été définie comme un quart de la longueur d'onde de la fréquence de résonance de l'antenne. Une fois que l'antenne est bi-bande, la valeur de distance a été optimisée pour fournir de meilleures caractéristiques de rayonnement dans les deux bandes de fréquences. La meilleure performance a été obtenue avec un espacement de 35.3 mm entre le FSS et l'antenne, ce résultat est obtenu à partir de la fréquence la plus basse. La structure du réflecteur FSS proposée est illustrée à la figure 8.

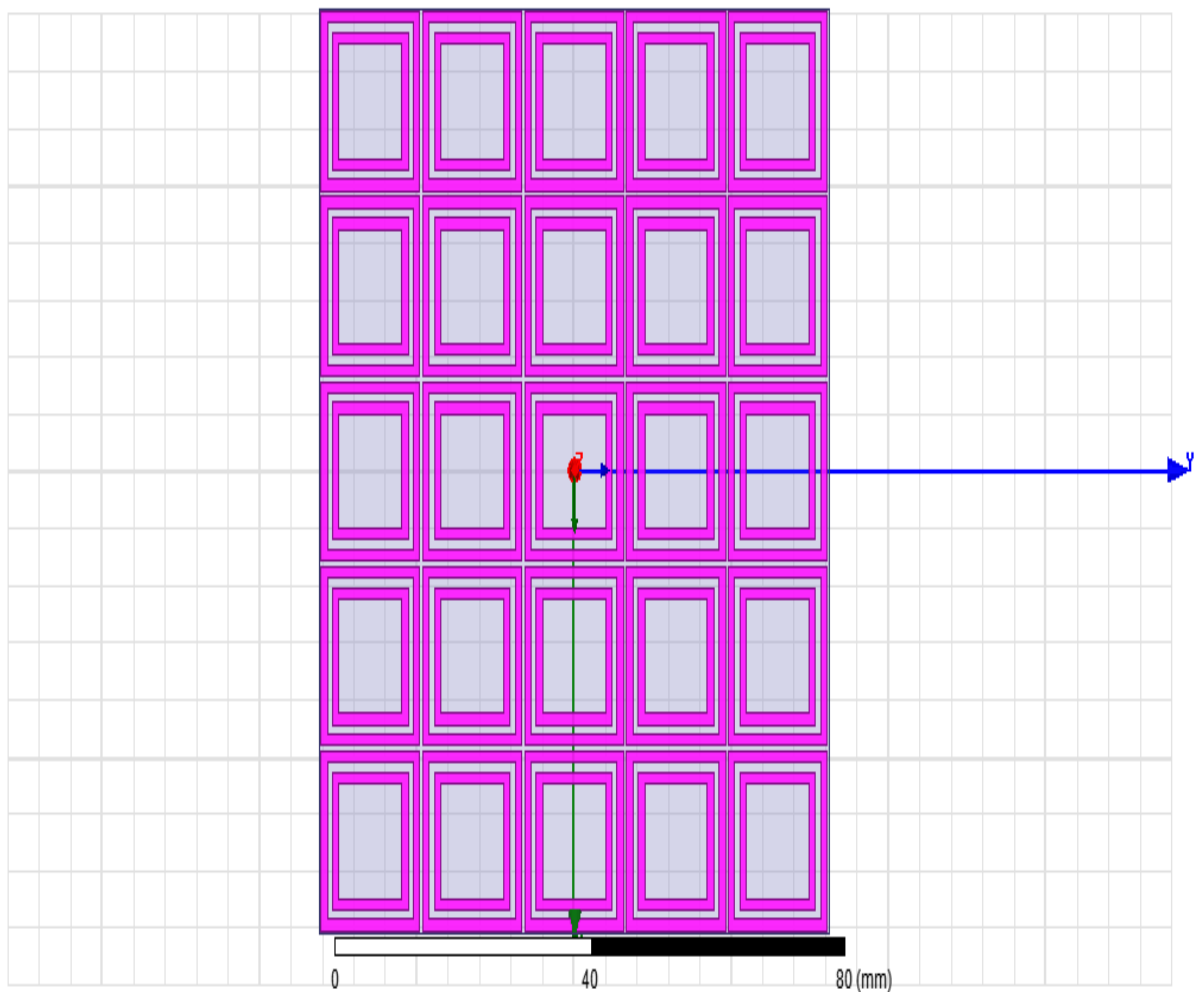


Figure.III.8 Géométrie du réflecteur FSS sous HFSS

Le résultat obtenu, pour les coefficients de réflexion et de transmission (S_{11} et S_{21}) de la structure du réflecteur FSS simulée dans la bande [1-7 GHz], est représenté dans la Figure.III.9.

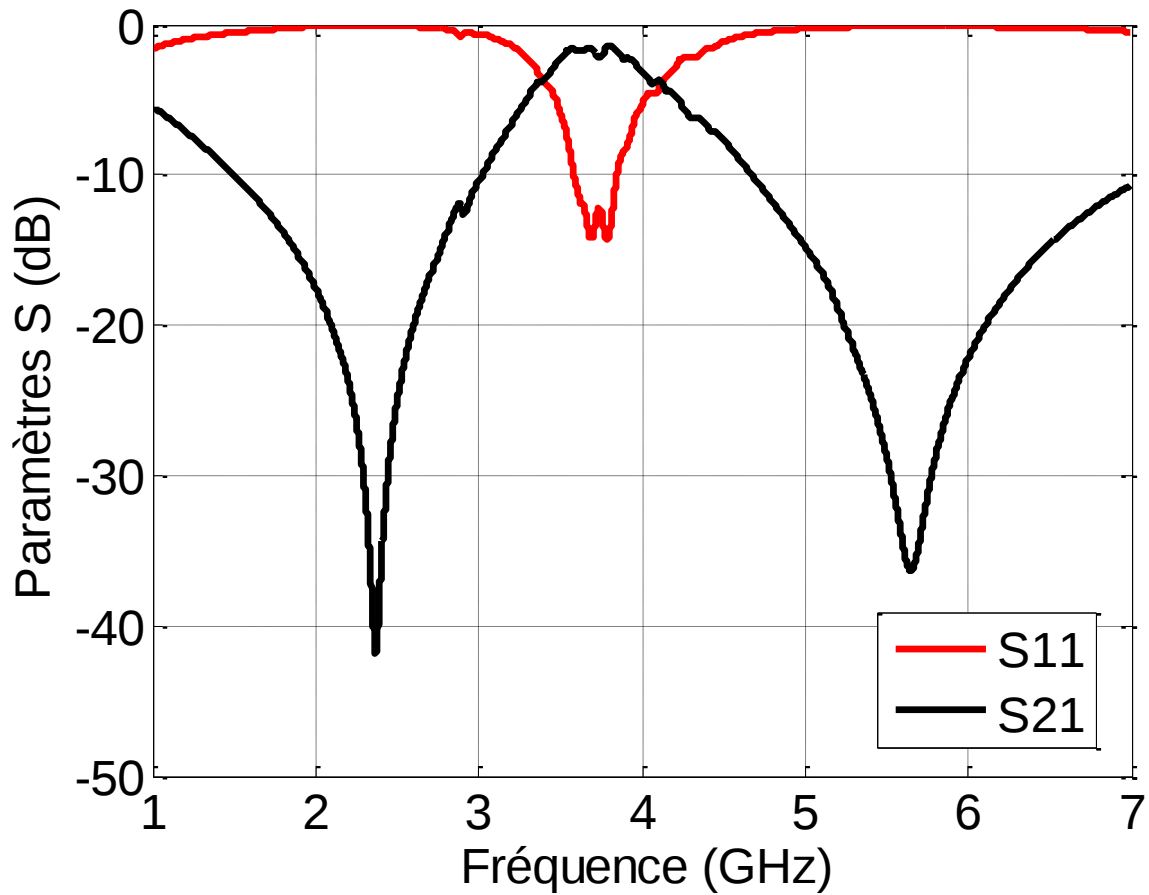


Figure III.9 S11et S21 de la structure simulée

Comme le montre cette figure, on remarque que ce réflecteur FSS présente deux fréquences d'opération $f_{r1} = 2.36 \text{ GHz}$ et $f_{r2} = 5.65 \text{ GHz}$ pour des coefficients de réflexion égaux respectivement à -41.8128 dB et -36.3467 dB .

III.6. Conception de l'antenne avec réflecteur FSS

Beaucoup de travail ont été fait pour appliquer le FSS à différents types d'antennes, dans le but de contrôler leurs caractéristiques et d'améliorer leurs performances en termes de bande passante, de gain, de directivité et de réduction des lobes secondaires, tout en conservant une structure d'antenne légère et ayant un profil bas.

D'une manière générale, ce type de structure repose sur le rayonnement et la réflexion simultanés de l'antenne et du réflecteur. En effet, lorsqu'un réflecteur FSS (monocouche ou multicouche) est installé sous l'antenne, la puissance maximale peut être obtenue dans la

direction de propagation principale. Dans ce cas, l'onde du réflecteur FSS est en phase avec l'onde rayonnée par l'antenne. Cela peut provoquer des interférences constructives.

La figure.III.10 présente la géométrie de l'antenne patch à double bande avec réflecteur FSS implémentée sous HFSS. L'espace entre l'antenne et le réflecteur FSS est de 35.3 mm.

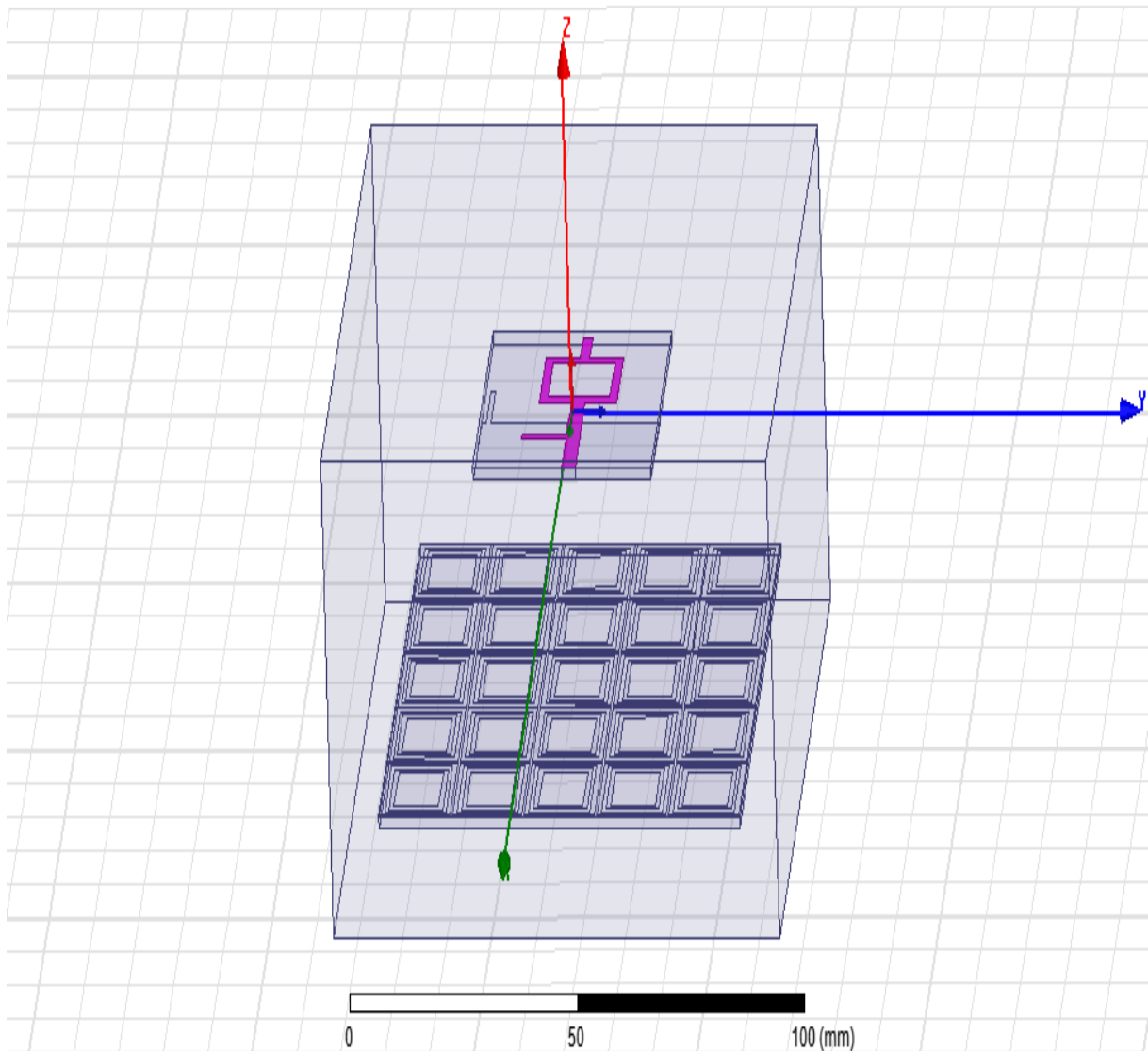
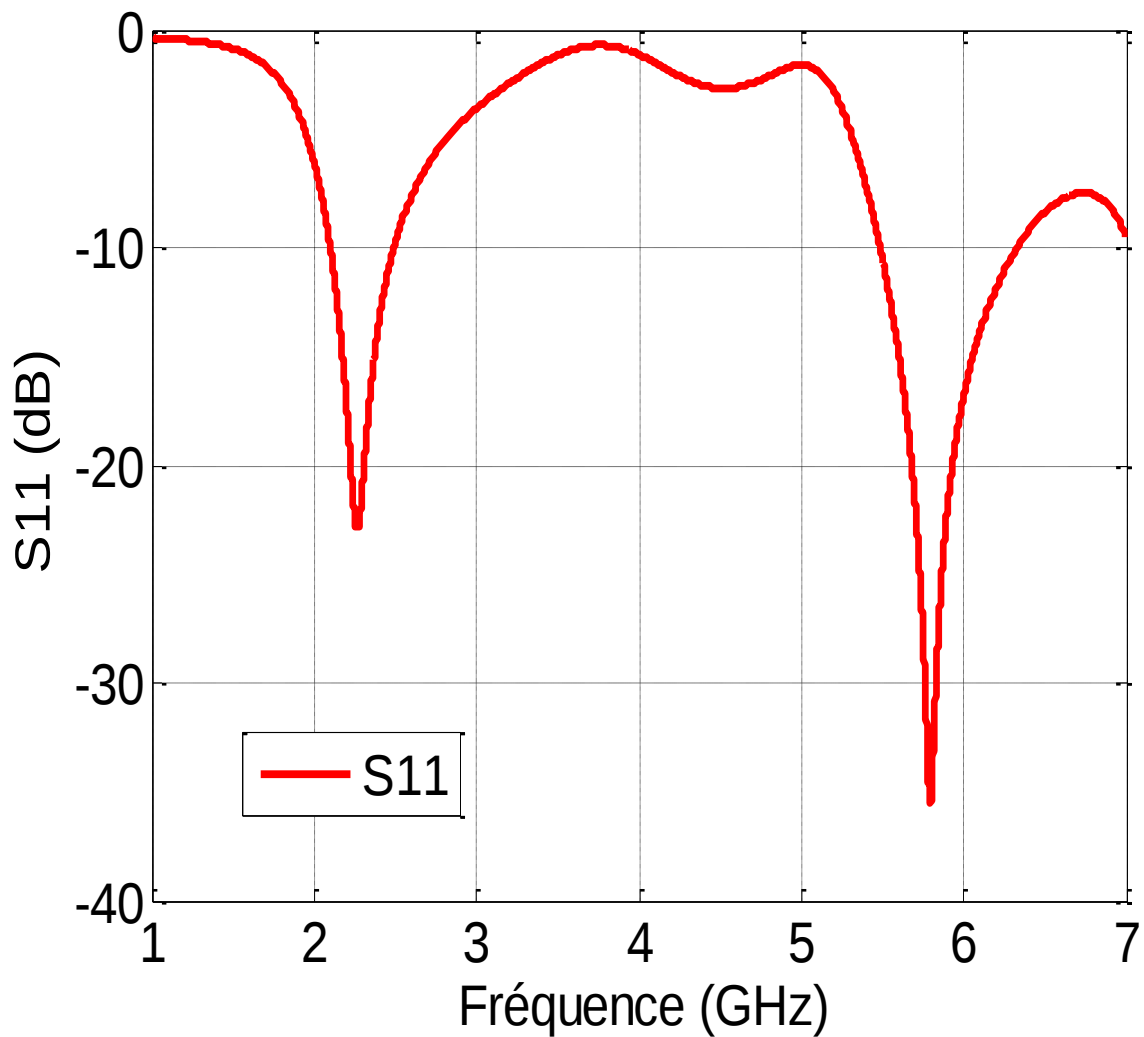


Figure.III.10 Géométrie de l'antenne patch à double bande avec réflecteur FSS sous HFSS.

Le résultat obtenu pour le coefficient de réflexion (S_{11}) de la structure d'antenne double bande avec réflecteur FSS simulée dans la bande $[1 - 7 \text{ GHz}]$, est représenté dans la Figure.III.11.

Figure.III.11 S_{11} de la structure simulée.

Comme le montre cette figure, on remarque que cette antenne présente deux bandes de fréquences, la première bande est située entre **2.10 GHz** et **2.48 GHz** avec une fréquence d'opération $f_{r1} = 2.26 \text{ GHz}$ pour un coefficient de réflexion égal à **-22.8467 dB**. La deuxième bande est située entre **5.48 GHz** et **6.31 GHz** avec une fréquence d'opération $f_{r2} = 5.79 \text{ GHz}$ pour un coefficient de réflexion égale à **-35.5077 dB**.

III.7. Diagrammes de rayonnement

Les diagrammes de rayonnement pour les structures simulées, antenne seule et antenne avec réflecteur FSS pour différentes fréquences des deux bandes de fonctionnement (2.4 GHz et 5.8 GHz) est illustrée dans les figures .III.12 et figure.III.13.

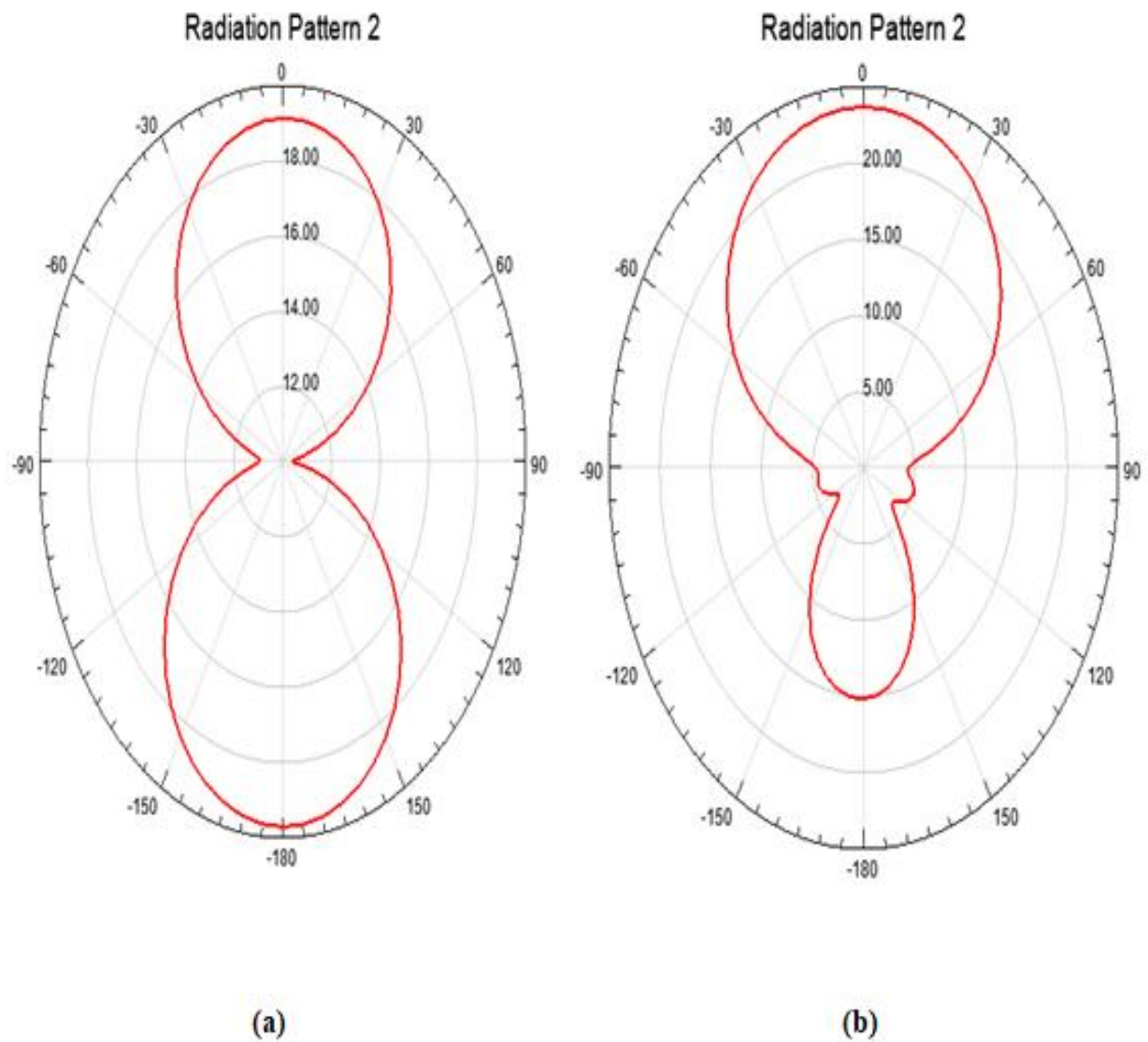


Figure.III.12 Diagrammes de rayonnement de structures simulées : (a) antenne, (b) antenne avec FSS pour la fréquence 2.4 GHz.

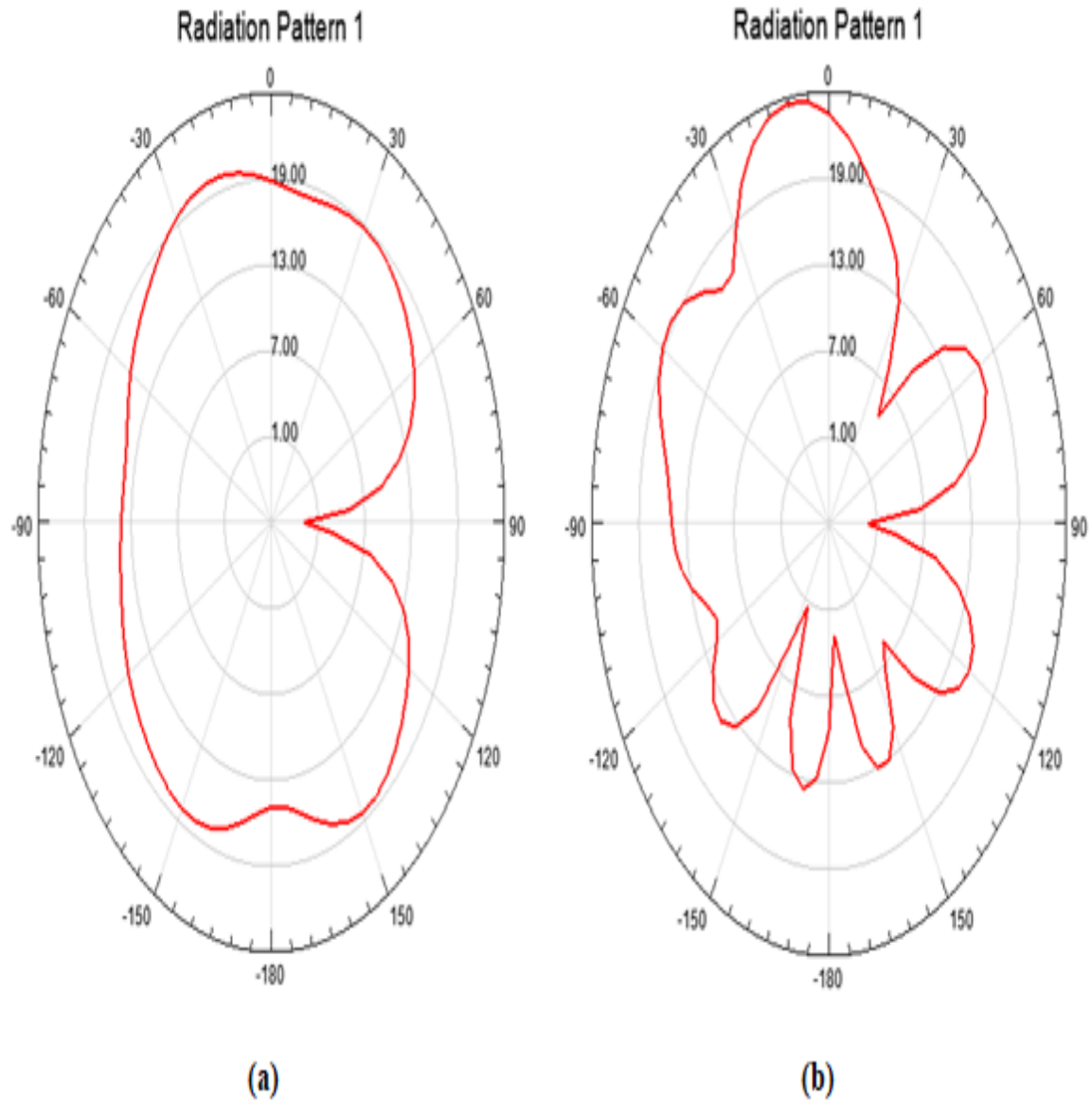


Figure.III.13 Diagrammes de rayonnement de structures simulées : (a) antenne, (b) antenne avec FSS pour la fréquence 5.8 GHz.

D'après les deux figures précédentes, caractérisant les résultats des diagrammes de rayonnement, on remarque que l'efficacité de rayonnement de l'antenne a augmenté et les niveaux des lobes secondaires de l'antenne, intégrée avec le réflecteur FSS, sont inférieurs par rapport ceux de l'antenne seule. On note aussi que la réduction des lobes secondaires était plus importante dans la première fréquence de résonance (2.4 GHz) par rapport la deuxième fréquence de résonance (5.8 GHz).

III.8. Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté la conception d'une antenne double bandes avec des caractéristiques de rayonnement améliorées pour les bandes ISM (2,4 et 5,8 GHz). A cet effet, on a proposé d'utiliser une structure à base des FSS, comme plan réflecteur. En conséquence, il y a eu une réduction des niveaux des lobes secondaires et une augmentation du gain du lobe principal. Ceci a eu comme conséquence l'amélioration des caractéristiques de rayonnement. Les résultats de simulation ont montré que la structure proposée présente une amélioration de gain pour les deux bandes de fréquences.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les antennes patch sont au cœur des développements actuels. Elles présentent certains avantages, notamment un poids léger, une conception simple, une intégration facile et une bande passante plus élevée. D'autre part, leurs principaux inconvénients sont un faible gain et des diagrammes de rayonnement bidirectionnels. Pour remédier à ce problème, nous avons proposé, dans le cadre de ce travail, l'intégration d'un réflecteur magnétique FSS au-dessous de cette antenne ce qui nous a donné une nouvelle structure d'antenne basée sur FSS fonctionnant sur une large bande passante avec un gain élevé, un profil bas et un volume réduit. Cette structure a été réalisé via le simulateur HFSS (High Frequency Structure Simulation). Ce dernier est utilisé pour concevoir une nouvelle unité FSS compacte avec un substrat époxy FR4 monocouche, qui est utilisé comme filtre coupe-bande. De bonnes caractéristiques de rayonnement ont été obtenues grâce à la combinaison d'une antenne avec un réflecteur FSS.

Les résultats obtenus montrent que, par rapport à ces structures, la structure proposée présente de meilleures performances en termes de taille, de profil, de gain et d'amélioration de la bande passante. Cela le rend très utile pour les applications qui nécessitent des antennes à haut gain, miniaturisation et profil bas à large bande passante.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] Oualli, L : "Simulations des antennes sous HFSS" mémoire de master présentée à l'université de mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou ,2013
- [2] Belmasaoud, Dj: "étude de nouvelles antennes planaires en tenant compte des surfaces selectives en frequence ", Thèse de Doctorat présentée à l'université de Mohamed Boudiaf - M'sila
- [3] Sophie, V : "Recherche des caractéristiques optimales d'antennes multi-capteurs pour les systèmes MIMO", Thèse de Doctorat présentée à l'université de Provence - Aix-Marseille I, 2007. Français
- [4] ATTI B, MEKAOUCHE M : "L'effet des caractéristiques de l'antenne patch sur sa directivité", mémoire de master présentée à l'université de A. Mira de Bejaia, 2014
- [5] JOSKA, Joseph Mwanja Kamatiki. *Influence de la PIRE sur la transmission par satellite Géostationnaire*. Éditions universitaires européennes, 2016.
- [6] N. Prayongpun, "Modélisation et étude de la capacité du canal pour un système multiantennes avancé exploitant la diversité de polarisation.", thèse de doctorat, Université Joseph-FourierGrenoble I, 2009
- [7] T. Sofiane, "Caractérisation d'antennes avec le banc de mesure «Lucas nülle-Unitrain» en bande X.", mémoire de master, Université Mouloud Mammeri, 2016.
- [8] Maleki. Y " design and optimization of eleven feed over 300-200MHz "master's thesis ,chalmers university of technology, Sweden 2020
- [9] C. A. Balanis "Antenna Theory: Analysis Design", 3rd ed. John Wiley & Sons, Inc. 2005
- [10] HEBIB. S " : Nouvelle topologie d'antennes multi-bandes pour applications spatiales ", thèse de doctorat, Université de toulouse III - Paul Sabatier, 2008.
- [11] M.HAJJ, "Conception, réalisation et caractérisation de nouveaux types d'antennes sectorielles à base de matériaux BIE métalliques pour télécommunications terrestres ", thèse de doctorat, université de limoges ,2009

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [12] OUAZIB Nadia, " Métamatériaux, applications aux filtres ", mémoire de master, Université Abderrahmane MIRA- Béjaïa, 2013
- [13] Chang, Kai, and Lung-Hwa Hsieh. *Microwave ring circuits and related structures*. Vol. 156. John Wiley & Sons, 2004.
- [14] Ullah, Irfan. "Measuring and filtering microwave radiations using frequency selective surface through energy saving glass." (2012).
- [15] Vardaxoglou J. C.: *Frequency Selective Surfaces: Analysis and Design*, Research Studies Press LTD, 1997.
- [16] Euloge Budet TCHIKAYA, "Modélisation électromagnétique des Surfaces Sélectives en Fréquence finies uniformes et non-uniformes par la Technique par Changements d'Echelle (SCT)», thèse de doctorat, Université Toulouse III, 2010
- [17] Fabrice Linot. *Apport des Surfaces à Haute Impédance à la conception d'antennes réseaux compactes et d'antennes réseaux à très large bande passante*. Electromagnétisme. Télécom ParisTech, 2011. Français. ffpastel-00617270f
- [18] M. lamine Abdelghani, "étude et conception d'antennes directives large band à base de meta-surfaces ", thèse de doctorat, Université du Québec, 2017
- [19] Grelier, M., et al. "Réflecteur d'antenne large bande pour une antenne filaire plane à polarisation circulaire et procédé de réalisation du réflecteur d'antenne." *Brevet NINPI: FR 1003: 900*.
- [20] M. Pigeon, " Etude et réalisation d'antennes ultra-compactes à base de métamatériaux Application à la réalisation d'une antenne GNSS miniature. ", thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse (INP Toulouse), 2011
- [21] Fernandes, Elidiane Mirella Farias, et al. "2.4–5.8 GHz dual-band patch antenna with FSS reflector for radiation parameters enhancement." *AEU-International Journal of Electronics and Communications* 108 (2019): 235-241.
- [22] RUSSER, Johannes A., XIONG, Ying, ABDELLAH, Alaa, et al. Organic millimeterwave fishnet metamaterial structures. In : *2014 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS2014)*. IEEE, 2014. p. 1-3.