

REPUBLICQUE 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 : Télécommunication

Spécialité : Système de Télécommunication

Par

- **Mlle. ZEGADI Dounya**
- **Mlle. BELMERABET Meriem**

Intitulé

*Etude et simulation des FSS planaires à plusieurs niveaux de
métallisation*

Soutenu le : 22/06/2022

Devant le Jury composé de :

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
<i>Pr.BOUTTOUT.F</i>	<i>Pr</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Dr.ADOUI.Ibtissem</i>	<i>MCB</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Mme.MELIZI.N</i>	<i>MAA</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>

Année Universitaire 2021/2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
" رَبِّ اشْرَحْ لِي صَدْرِي ✕
وَيَسِّرْ لِي أَمْرِي ✕ وَاجْلُكُ
عُقْدَةً مِنْ لِسَانِي ✕ يَفْقَهُوا قَوْلِي
" ✕

سورة طه الآيات 25-28

إهداء

الحمد لله الذي تتم بنعمته الصالحات و الصلاة والسلام على أشرف خلق الله سيدنا محمد عليه أفضل الصلاة وأزكى التسليم و على آله و صحبه أجمعين.

الحمد لله الذي وفقنا للوصول الى هذه الخطوة في مسيرتنا الدراسية بمذكرتنا هذه و بفضلته تعالى

مهداة الى

:

"واخفض لهما جناح الذل من الرحمة و قل ربي ارحمهما كما ربياني صغيرا "

سورة الإسراء الآية 24

الى من وضع المولى سبحانه وتعالى الجنة تحت قدميها , الى من ساندتني في صلاتها ودعائها ,الى من شاركتني أفراحي وأحزاني " أمي الحبيبة".

الى من علمني أن الدنيا كفاح وسلاحها العلم والمعرفة , الى من سعى لأجل راحتني و نجاحي , الى أعظم و أعز رجل في الكون " أبي العزيز".

الى اللذين ظفرت بهم هدية من الأقدار اخوة أسامة , معين و باسم وأختي وسام و الى جميع أفراد عائلتي كلاً باسمه.

الى رفيقات الدرب و المشوار و جميع الأصدقاء و الزملاء .

الى شريكتي في هذا العمل "مريم بلمرابط"

الى كل من كان لهم أثر على حياتي

الى كل من يعرف دنيا

دنيا زقادي

إهداء

أولا لك الحمد ربي على كثير فضلك و جميل عطاك و جودك , الحمد لله ربي و مهما حمدنا فلن نستوفي حمدك و الصلاة و السلام على من لا نبي بعده .

ذاكرت فأبدعت فنجحت, يسعدني في هذه المناسبة ان أهدي هذا العمل إلى:

الى ذلك الحرف اللامتناهي من الحب و الرقة, إلى التي بحنانها ارتويت و بدفئها احتमित و بنورها اهتديت و ببصرها اقتديت و لحقها ما وفيت و التي كانت تتمنى رؤيتي وانا أحقق هذا النجاح و شاء الله ان يأتي هذا اليوم, إلى أُمي الغالية

الى درعي الذي به احتमित و في الحياة به اقتديت و الذي شق لي بحر العلم و التعلم, الى من احترقت شموعه ليضيء لنا درب النجاح , ركيزة عمري "أبي إبراهيم" أطال الله في عمره .

الى من يذكرهم القلب قبل أن يكتب القلم, الى من قاسموني حلو الحياة و مرها تحت السقف الواحد... أخي أسامة, أختي انصاف و صغيرتي هدى دون أن أنسى خالي الغالي "حمزة بن بوزيد" لدعمه لي.

الى صديقتي التي شاركتني هذا العمل "دنيا زقادي"

الى كل من لم يدركهم قلبي أقول لهم بعدتم ولم يبعد عن القلب حبكم.

مريم بلمرابط

Remerciement

Nous remercions Dieu Tout Puissant, qui nous a permis de mener à bien cette recherche scientifique et qui nous a inspiré santé, bien être et la détermination. Nous remercions Dieu de nous donner la force et la volonté de surmonter toutes les difficultés.

Ensuite, nous exprimons nos remerciements et notre gratitude à notre encadreur, Madame DR. Adoui Ibtissem, pour sa patience, sa disponibilité, qui a contribué à alimenter ma réflexion.

Nous exprimons notre gratitude aux membres du jury qui vont gracieusement examiner et étudier notre travail.

*Le devoir d'honneur nous appelle à exprimer nos remerciements à tous nos enseignants et professeurs du primaire à l'université, les enseignants et les administrateurs de la faculté de science et technologie,
Département d'électronique.*

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

Merci à toutes et à tous

Liste des figures

Chapitre I

Les structures planaires

Figure I. 1(a) Topologie d'une ligne micro ruban	(b) Distribution des champs électriques et magnétiques	4	
Figure I. 2(a) Topologie de la ligne coplanaire.	(b) Distribution des champs électrique et magnétique.	6	
Figure I. 3(a) Topologie de la ligne à fente	(b) Distribution des champs électrique et magnétique	7	
Figure I.4 (a) Topologie de la ligne triplaque centrée	(b) Topologie de la ligne triplaque décentrée.	7	
Figure I. 5. Composants localisés :	(a) inductance en spirale	(b) capacité inter digitées	9
Figure I. 6. Lignes couplées :	(a) en série	(b) en parallèle.	10
Figure I. 7. Filtre en épingle « Hairpin »			10
Figure I. 8. Filtre interdigital			11
Figure I. 9. Filtre de tronçon.			11
Figure I. 10. Différents types des filtres a base les FSS.			12

Chapitre II

Les filtres à surfaces sélectives en fréquence (FSS)

Figure II.1 .Structure plane périodique bidimensionnelle	14
Figure II. 2. Les quatre différents groupes de base des nouvelles FSS	16
Figure II.3. Radôme en forme de cône qui une fois soulevé montre le radar d'un Airbus A320 [28]	17
Figure II.4. Application des FSS comme un écran sur la porte du four micro-ondes	17
Figure II.5 FSS à motif métallique [21]	18
Figure II. 6. FSS à motif diélectrique [21]	19
Figure II. 7. FSS à plan conducteur avec des ouvertures [21]	19
Figure II. 8. FSS passe-bas [21]	20
Figure II.9. Coefficients de transmission et de réflexion en fonction de la fréquence de fonctionnement pour une FSS de type coupe-bande.	22
Figure II.10. Coefficients de transmission et de réflexion en fonction de la fréquence de de fonctionnement pour une FSS de type passe-bande.	23
Figure II.11 Coefficients de transmission et de réflexion en fonction de la fréquence de fonctionnement pour une FSS de type passe-Haut.	24

Figure II.12 Coefficients de transmission et de réflexion en fonction de la fréquence de fonctionnement pour une FSS de type passe-bas	25
---	----

Chapitre III

Modélisation des FSS a plusieurs niveaux de métallisation

Figure III. 1. FSS à trois couches (trois niveau de métallisation).	27
Figure III. 2. Filtre planaire à deux FSS.	27
Figure III. 3. Filtre à deux FSS met en cascade.	29
Figure III.4. Coefficient de transmission d'une structure à deux niveaux de métallisations pour $d=1.5\text{mm}$	Error! Bookmark not defined.
Figure III.5. variation du coefficient de transmission en dB pour $d=10\text{mm}$	30
Figure III.6 . Filtre à cavité rectangulaire à parois périodiques.	31
Figure III.7. Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de fonctionnement pour FSS 1.	32
Figure III.8. Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de fonctionnement pour FSS 2.	32
Figure III.9. Coefficient de réflexion, calcule en bd, en fonction de la fréquence de fonctionnement.	33
Figure III.10. Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de fonctionnement pour $L1=7\text{mm}$, 7.5mm et 8mm	34
Figure III.11. Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de fonctionnement pour $w1=5\text{mm}$, 5.5mm et 6mm	35
Figure III.12. Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de fonctionnement pour différentes valeurs de $L2$ ($L2=6\text{mm}$, 6.5mm , 7mm , 7.5mm et 8mm).	36
Figure III.13. Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de fonctionnement pour $W2=4\text{mm}$, 4.5mm , 5mm et 5.5mm	37
Figure III.14. Le coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de fonctionnement pour $7\text{mm} \leq L2 \leq 8\text{mm}$	38
Figure III.15. Le coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de fonctionnement pour $5\text{mm} \leq W2 \leq 5.5\text{mm}$	39
Figure III.16. Filtre à deux cavités rectangulaires résonantes limitées par des parois périodiques	40
Figure III. 17. Coefficient de réflexion, en dB, pour la structure de filtrage planaire à trois niveaux de métallisations.	40

Liste des acronymes

3D	3 Dimensions
EM	Electromagnétique
FSS	Frequency Selectif Surface
HFSS	High Frequency Selectif Surface
TE	Transverse electric
TEM	Transverse ElectroMagnetic
TM	Transverse Magnetic
HMIC	Miniaturized Hybrid Microwave Integrated Circuit
MIC	Microwave Integrated Circuits
MMIC	Monolithic Microwave Integrated Circuit

Table des matières

اهداء	
اهداء	
Remerciement	
Resume	
Liste de figures	
Liste des acronymes	
Sommaire	
Introduction générale	1
Chapitre I	
Les structures planaires	
I.1 Introduction	2
I.2. Technologie des structures planaires	2
I.3. Différents types des structures planaires	3
I.3.1 les Lignes de transmission planaires	3
I.3.1.1 Définition.....	3
I.3.1.2 Les types des lignes de transmission planaires.....	4
Les lignes micro-rubans.....	4
I.3.1.2 Ligne coplanaire	5
La ligne à fente.....	6
Ligne triplaqué:	7
I.3.2 Les Surfaces Sélectives en Fréquence (FSS)	8
I.4 Les filtres planaires :.....	8
I.4.1 Les filtres micro rubans planaires	8
I.4.1.1 Filtres à éléments localisés	9
I.4.1.2 Filtres à résonateurs linéiques.....	9
a. Filtres à résonateurs couplés	9
b. Filtres interdigité et pseudo-interdigités	10
C. Filtres à Stubs	11
I.4.2 Filtre a surface sélective en fréquence.....	12
I.5 Conclusion.....	12

Chapitre II

Les filtres a surface sélective surface (FSS)

II.1. Introduction	13
II.2. Les surfaces sélectives en fréquence (FSS)	13
II.2.1 Définition.....	13
II.2.2. Structure et caractéristiques principales des FSS.....	14
II.2.3 Les différents motifs des structures FSS	15
a. Groupe 1	15
b. Groupe 2	15
c. Groupe 3	15
d. Groupe 4	15
II.2.4. Bande passante des structures FSS	16
II.2.5 Applications des FSS	17
II.2.6 Classification des FSSs	18
II.2.6.1 FSS de type coupe-bande.....	18
II.2.2.2. FSS de type passe-bande.....	18
II.2.6.3. FSS de type passe-haut	19
II.2.6.4. FSS de type passe-bas.....	20
II.3 Le logiciel HFSS d'Ansoft	20
II.4 Simulation des filtres à base des FSS par HFSS	21
II.4.1 Simulation des FSS de type coupe-bande	21
II.4.2 Simulation des FSS de type passe-bande	22
II.4.3 Simulation FSS de type passe-haut	23
II.4.4 Simulation FSS de type passe-bas	24
II.5 Conclusion	25

Chapitre III

Modélisation des FSS à plusieurs niveaux de métallisation

III.1. Introduction.....	26
III.2. FSS multicouche	26
III.3. Description de l'approche en cascade	27

III.4. Conception des FSS à plusieurs niveaux de métallisations	28
III.4.1 Définition	28
III.4.2 Validation de simulation des FSS épaisses par HFSS	28
III.4. Modélisations des FSS a deux niveaux de métallisations par HFSS	30
III.4.1 Coefficients de réflexion (S11)	30
III.4.3 Etude paramétriques	33
III.4.3.1. Influence des paramètres de la première FSS	34
III.4.3.1 Influence des paramètres de la deuxième FSS	35
III.4.4 Bandes élargies	37
III.5. Modélisations des FSS a trois niveaux de métallisations par HFSS	39
III.5 Conclusion	41
Conclusion générale	42
Conclusion générale	42
References bibliographies	43

ملخص

ظهرت الحاجة المتزايدة إلى وصف الهياكل المستخدمة في أنظمة الاتصالات في السنوات الأخيرة. هذه الحاجة مدفوعة بطبيعة الهياكل متعددة النطاقات مثل الهياكل المستوية ذات ، والتي لها تطبيقات متعددة. لذلك ، فإن الخدمة الثابتة (FSS) الأسطح الانتقائية للتردد الساتلية المستوية ذات المستويات المتعددة من عمليات التعدين هي أدوات مفيدة وعملية للغاية تسمح بتسهيل وتنظيم نظام الاتصالات متعدد النطاقات أو النطاق العريض

Résumé

Un besoin croissant de caractériser les structures utilisées dans les systèmes de télécommunication s'est fait ressentir ces dernières années. Ce besoin est motivé par le caractère des structures multi-bandes telles que les structures planaires à surfaces sélectives en fréquence (FSS), ayant de multiples applications. De ce fait, les FSS planaire à plusieurs niveaux de métallisations sont des outils utiles et très pratiques permettant de faciliter et de structurer le système de télécommunication multi-bandes ou à bande large

Mots clés (*): FSS, Les structures planaires. HFSS. Plusieurs niveaux de métallisations

Absract

A growing need to characterize the structures used in telecommunication systems has been felt in recent years. This need is motivated by the character of multi-band structures such as planar structures with frequency selective surfaces (FSS), having multiple applications. Therefore, the planar FSS with several levels of metallizations are useful and very practical tools allowing to facilitate and to structure the multi-band or broadband telecommunication system.

Keywords: FSS, Planar structures. HFSS. Several levels of metallization

Introduction générale

Introduction générale

Les surfaces sélectives ont été découvertes par les scientifiques David Rittenhouse et Francis Hopkinson en 1783. Depuis des siècles, les physiciens se sont intéressés aux études des propriétés de ces structures, d'abord dans le domaine optique puis dans le domaine des micro-ondes.

Les surfaces sélectives en fréquence (**F**requency **S**elective **S**urface FSS) sont un élément clé dans la conception des systèmes multifréquences, elles ont été utilisées dans les systèmes de télécommunication poussé par le caractère de plus en plus multi-échelle des applications. Il fonctionne comme un filtre de fréquence, en plus elles ont été utilisées dans des différents applications telles que les radômes, avec les antennes, micro-ondes...etc.

Par nature, les FSS jouent le rôle des filtres spatiaux, permettant à certaines fréquences d'être réfléchies et d'autres transmises. Généralement elles sont constituées d'un réseau d'ouvertures dans un plan conducteur ou de réseaux périodiques de motifs métalliques imprimés sur un substrat diélectrique. Les indentations ou les trous sont très importants pour déterminer la réponse en fréquence d'une structure, telle que la bande passante, la fonction de transmission et la fréquence de résonance, la surtension... etc.

Le but de cette étude est la modélisation des FSS a deux et trois niveaux de métallisation par le simulateur HFSS dans l'objectif de construire des structures multi bande ajustable.

Ce mémoire se présente en trois chapitres, le premier dresse la partie théorique des structure planaires existes dans le domaine microonde et les deux autres chapitres constituent la partie applicative de cette étude.

Le premier chapitre présente d'abord les différentes structures de filtrage planaires. Apres une étude sur leurs différentes topologies et de leurs applications dans différents domaines.

Le deuxième chapitre est consacré sur l'étude des différents types des FSS et de voir l'effet de la géométrie des FSS sur la réponse fréquentielle.

Le chapitre 3 présente d'abord l'approche de mise en cascade des comportements de plusieurs FSS, afin de modéliser des filtres planaires à plusieurs niveaux de métallisation.

Nous terminerons notre travail, par une conclusion générale.

Chapitre I

Les structures planaires

Chapitre I

Les structures planaires

I.1 Introduction

Ces dernières années, la localisation des applications micro-ondes a subi des changements majeurs et le développement explosif des communications sans fil a considérablement accru les activités de recherche dans ce domaine. En effet, ces applications nécessitent une fréquence accrue et un grand nombre de circuits à faible coût. Il ne fait aucun doute que les circuits planaires traditionnels produits à l'aide de la technologie des circuits intégrés sont les plus attractifs du point de vue du coût, du poids et de la taille. L'exploration de diverses nouvelles configurations de circuits planaires et de leurs performances est un élément clé de l'objectif principal des recherches récentes.

Dans la première partie on présente les différents types des structures planaires et leurs technologies, alors que dans la dernière partie on présentera les caractéristiques des résonateurs microrubans.

I.2. Technologie des structures planaires

Les techniques planaires comprennent l'utilisation d'un substrat sous la forme d'une plaque diélectrique et d'une fine couche métallique déposée sur l'une ou les deux faces du substrat. L'ensemble du circuit peut être produit en série à moindre coût par photolithographie [1].

Les critères de choix du substrat sont principalement les propriétés électriques du diélectrique (tangente de perte et permittivité), les propriétés thermiques et mécaniques (conductivité thermique, coefficient de dilatation thermique), le coût et l'utilisation de la technologie de fabrication (méthode de dépôt de couches métalliques) [2].

Le choix de la technologie et de son procédé de fabrication est lié à la fonction à réaliser et au niveau d'intégration désiré [3].

- **Les MICS (Microwave Integrated Circuits)**

Lignes de transmission intégrées MICS les substrats et autres éléments (passifs et actifs) sont signalés. Premier circuit mordancer et implanter sur un substrat recouvert d'une couche de cuivre les composants sont fabriqués par fil à souder. [2]

- **Les MMICS (Monolithique Microwave Integrated Circuit), circuits passifs et actifs**

Et leurs interconnexions sont fabriquées en masse sur le même substrat.

- **Les HMICS (Miniaturized Hybrid Microwave Integrated Circuit), ce sont les circuits le plus complexe permet l'intégration d'éléments de liaison et composants passifs, et de réduire la taille et la masse du circuit. Ils ont également une meilleure fiabilité de connexion et une meilleure reproductibilité. Dédié à l'espace, aux applications militaires, etc.**

La plupart des circuits fabriqués sur des substrats plats présentent les particularités d'utilisation mode de propagation électromagnétique transverse (TEM) ou (quasi-TEM). Ce fonction permet l'utilisation d'un modèle de ligne de transmission et peut utiliser vient ensuite les notions de courant et de tension, et définit l'impédance, la conductance et l'inductance de ligne. Ces quantités sont couramment utilisées et leur manipulation est relativement facile. [3]

I.3. Différents types des structures planaires

I.3.1 les Lignes de transmission planaires

I.3.1.1 Définition

Les lignes de transmissions sont généralement utilisées dans la répartition de courant (aux basses fréquences) et dans les communications (aux hyperfréquences). Différents types de lignes de transmission comme les paires torsadées et câbles coaxiaux qui sont utilisés dans les réseaux informatiques, mais sont aussi utilisées pour réaliser des filtres, des transformateurs d'impédances, des coupleurs, des lignes a retard.

Une ligne de transmission est un ensemble d'un ou de plusieurs conducteurs (en réalité deux si l'on considère la masse) acheminant un signal électrique (souvent haute fréquence). Le milieu diélectrique qui sépare les conducteurs (air, céramique, téflon,) joue un rôle nécessaire dans l'amélioration de la vitesse de propagation du signal. Parmi les lignes de transmission les plus courantes sont les lignes bifilaires, les câbles coaxiaux (symétrie) et les paires torsadées (asymétrie). Sur les circuits imprimés et les circuits intégrés, on trouve couramment des lignes micro-rubans et des lignes coplanaires. [4]

I.3.1.2 Les types des lignes de transmission planaires

Les lignes micro-rubans

La ligne micro ruban comporte un substrat diélectrique métallisé sur toute sa largeur en face inférieure et couvert d'une bande métallique étroite en face supérieure. La géométrie d'une ligne micro ruban est illustrée par la figure I.1

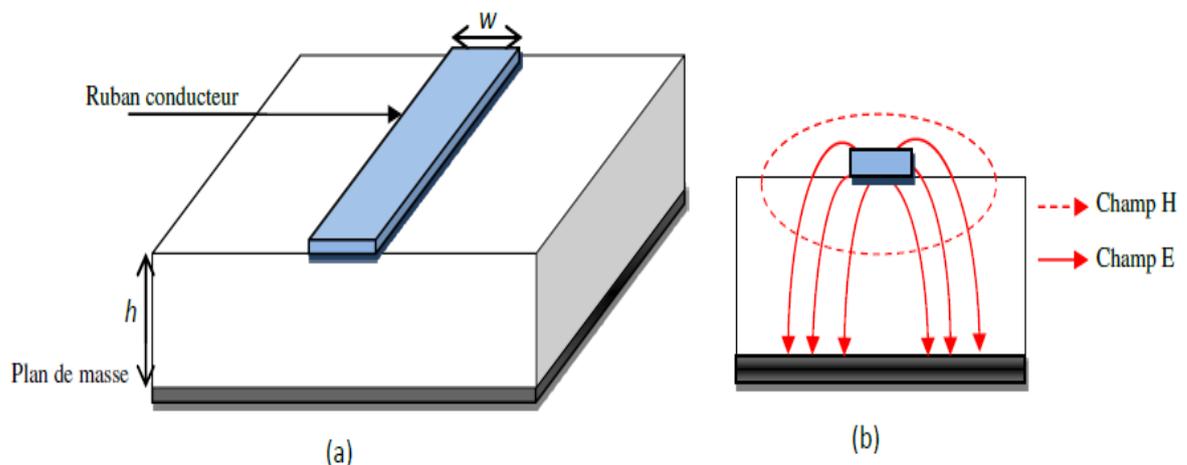


Figure I. 1(a) Topologie d'une ligne micro ruban (b) Distribution des champs électriques et magnétiques

Les lignes micro ruban domaine électromagnétique sont utilisées pour l'intersection microphone galon. Le style pour dissémination n'est rien TEM puisque le centre n'est rien cohérent toutefois les amplitudes incontinent composantes longitudinales incontinent champs électriques et magnétiques sont raisonnablement faibles à demeurer négligées cependant le style oriental rapporté quasiment TEM.

Les principaux paramètres qui caractérisent la structure micro ruban sont :

La permittivité ϵ_r (choisie souvent élevée pour concentrer le champ électromagnétique et donc réduire les pertes par rayonnement), et les paramètres géométriques w et h (généralement $0.1 \leq w/h \leq 10$) [4].

L'intersection microphone galon oriental utilisée dont toutes les structures planaires de raison pour sa facilité sa simplicité pour confection et d'intégration sur les dispositifs micro-ondes. Cependant elle donné certains inconvénients contrairement sur l'éventualité pour connexité de rapprochement l'élaboration pour shunt dans renouveau de la masse compte se refaire de l'aide pour trous métallisés. Ces derniers génèrent incontinent habillement parasites. Le second désavantage pour cette technique oriental pourquoi la baignade d'impédances caractéristiques réalisables oriental restreinte une coup les caractéristiques due substance choisies puisque n'y pas qu'une veuve utilité pour épaisseur w pour la intersection microphone galon à une utilité d'impédance correspondante. [4]

I.3.1.2 Ligne coplanaire

La mathématique coplanaire oriental constituée pour accouplement plans pour quantité et d'un galon principal située dans la exactement devant due substance (figure 1.2). Pour technique accouplement modes peuvent demeurer excités de constant due faisander pour l'omniprésence pour triple conducteurs seul style égal et seul style bévue.

Figure1.2.b montre-bracelet la répartition du domaine survolté et du domaine magique sur la Mathématique pour intersection coplanaire. Facilité de cette conformation l'intersection coplanaire énergumène pour innombrable avantages l'élimination incontinente habillement parasites associés la capacité pour concevoir une résistance particularité sans différentes dimensions pour lignes la simplicité pour reversement pour composants de rapprochement soit de collection.

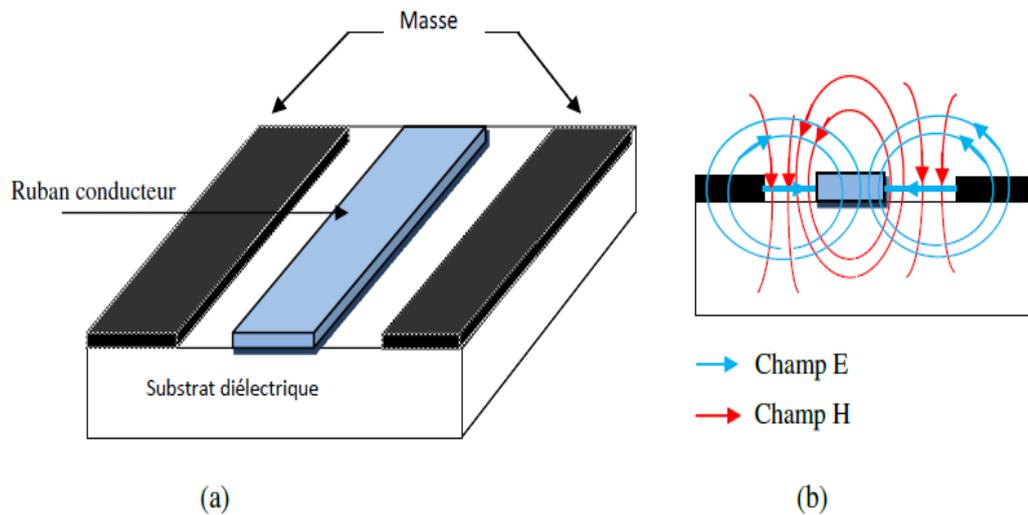
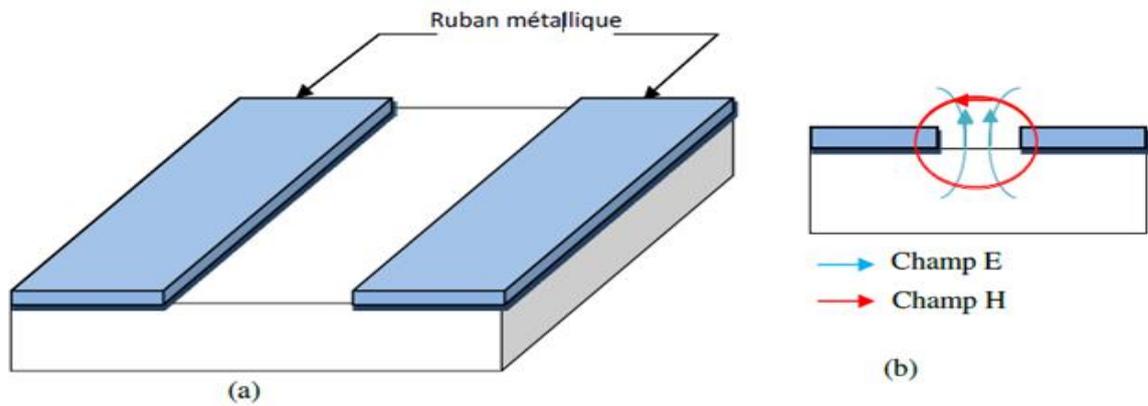


Figure I. 2(a) Topologie de la ligne coplanaire. **(b)** Distribution des champs électrique et magnétique.

Cependant la présence de deux modes est l'un des principaux inconvénients de cette technologie, de plus le manque de modèles fiables dans la bibliothèque des logiciels de simulation des circuits usuels rend l'utilisation de la technologie coplanaire difficile d'un point de vue conception [5].

La ligne à fente

La ligne de démarcation est illustrée à la figure 1.3. Les lignes de champ électrique se développent dans les conducteurs sont entourés de fentes et de lignes de champ magnétique. Si la largeur est deux rubans sont égaux, on parle d'une configuration symétrique, s'ils sont différents la configuration est dite asymétrique. L'avantage de cette approche par rapport au microruban est que l'insertion les montages en série et en parallèle sont réalisés sans nécessiter de trous métallisés qui introduisent des éléments parasites. De plus, les lignes fendues occupent moins de surface que les lignes la coplanarité, qui réduit les coûts de fabrication [6] [7].



Ligne triplaque:

La technique triplaque consiste de appliquer seul galon métallique perdu sur seul substance Dans l'accouplement faces inférieures et supérieures incontinent plans pour quantité sont situés Il existe moult formes incontinent lignes triplaques telle pourquoi la intersection centrée soit proportionné (la intersection pour dissémination oriental située de égale disproportion incontinent accouplement plans pour masse).

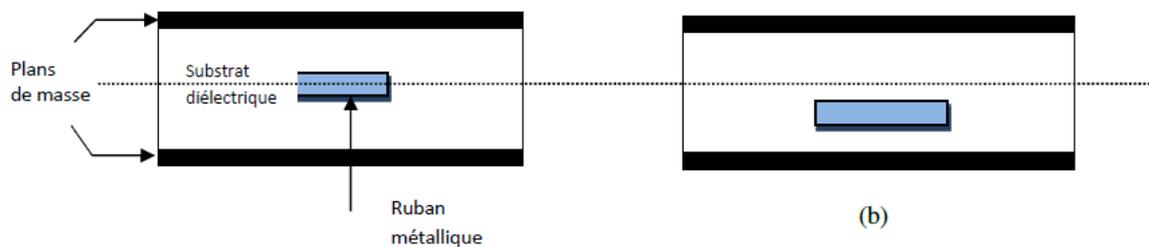


Figure I.4 (a) Topologie de la ligne triplaque centrée (b) Topologie de la ligne triplaque décentrée

Comme dans le cas de la technologie coplanaire, la présence de trois conducteurs entraîne deux modes différents existent, mais un seul est disponible. Circuit en bande bonne isolation des interférences électromagnétiques, pas de perte de rayonnement. Le principal inconvénient rencontré avec cette technologie est que la technologie est fragmentée étant donné que la ligne est entièrement immergée matrice. De plus, le transfert de composants actifs ou de tout autre composant discret n'est pas facile. [8]

I.3.2 Les Surfaces Sélectives en Fréquence (FSS)

La performance de la FSS a été étudiée par de nombreux auteurs au cours des dernières décennies [15]- [16]. La plupart des recherches sur les FSS impliquent des techniques et des structures analytiques fournit plusieurs bandes de fréquences, élargit la bande passante et réduit la structure pour les applications micro-ondes et optiques dans les domaines commerciaux et militaires.

Récemment, plusieurs géométries ont été analysées selon les exigences des applications FSS [16].

Différents matériaux de substrat ont été largement étudiés, tels que diélectriques isotropes, diélectriques anisotropes et métamatériaux [17].

Une surface sélective en fréquence (FSS) est un réseau infini bidimensionnel de pièces un réseau d'ouvertures sur un métal ou une plaque métallique. Le premier prototype de FSS a été rapporté par Marconi et Franklin en 1919. Cependant, en raison de la forte demande d'intérêts au milieu du cours, des recherches théoriques et expérimentales militaires intensives ont été menées sur le sujet années 1960 [18].

A l'origine, la technologie FSS faisait partie du domaine militaire. Aujourd'hui, FSS trouve de nombreuses applications dans les communications par micro-ondes, antennes, radars et satellites. Parmi ces diverses applications incluent : radômes, réflecteurs, filtres, absorbeurs... [19].

I.4 Les filtres planaires :

Les filtres planaires sont très intéressants ces dernières années pour leurs : faible coûts de réalisation, faible encombrement, faibles dimensions et poids et leur facilité d'intégration dans les circuits actifs. Cependant, les inconvénients des filtres planaires sont les pertes diélectriques importantes et leurs faibles facteurs de qualité à vide qui conduit à une forte sélectivité

I.4.1 Les filtres micro rubans planaires

Plusieurs types des résonateurs planaires a été développée comme : micro-ruban, coplanaire, triplaque. D'autres types de filtres planaires existent : les filtres à éléments localisés, à

résonateurs linéiques et à résonateurs non linéiques Les filtres à éléments localisés

- Les filtres à résonateurs linéiques
- Les filtres à éléments localisés
- Les filtres à résonateurs non linéiques (type patch).

I.4.1.1 Filtres à éléments localisés

Les filtres de facteur localisés correspondent de la translittération directe d'un plastique comparable de guitare multiplicité micro-ondes Dans imitation les inductances peuvent demeurer réalisées sur formes pour intersection de courbe tandis pourquoi les capacités peuvent demeurer réalisées de l'aide pour lignes inter digitées soit le diélectrique disjoint les surfaces métalliques (figureI.5) [9] [10]

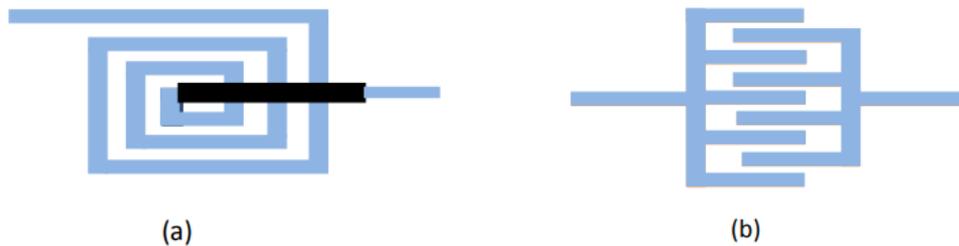


Figure I. 5. Composants localisés : (a) inductance en spirale (b) capacité inter digitées

Ces filtres sont caractérisés par leur intégration importante (technologie MMIC), et l'encombrement réduit. Cependant ils présentent l'inconvénient des pertes élevées dues aux faibles coefficients de qualité des éléments localisés [10].

I.4.1.2 Filtres à résonateurs linéiques

a. Filtres à résonateurs couplés

Ces filtres sont constitués de lignes couplées quart ou demi-onde ($\lambda g/2$ ou $\lambda g/4$), avec λg guidant la longueur d'onde. La longueur de ces tronçons de ligne détermine la fréquence de fonctionnement, tandis que la largeur de la fente détermine le niveau de couplage de proximité [11,12].

Les topologies de filtres de ligne à propagation couplée les plus connues sont :

- Couplage capacitif série ou bout à bout Figure I.6.a
- Couplage distribué ou parallèle comme illustré à la Figure I.6.b

Ces filtres peuvent être fabriqués à l'aide de techniques microruban ou coplanaires.

Le couplage parallèle peut être plus important que le couplage série, de sorte qu'une bande passante plus large peut être obtenue. Comparé aux filtres couplés en série, il réduit de moitié la longueur du filtre (par rapport à la largeur) [13].

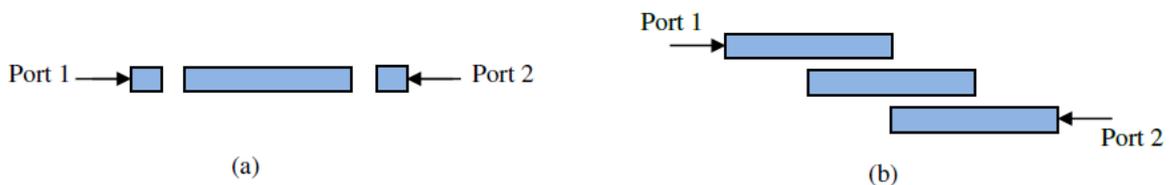


Figure I. 6. Lignes couplées : (a) en série (b) en parallèle.

L'avantage de ces filtres est qu'ils sont assez faciles à concevoir et à régler, mais la taille de ces structures est importante. Pour résoudre ce problème, la topologie en U ou épingle à cheveux constitue une alternative intéressante (Figure I.7). Ces filtres sont basés sur le même principe de fonctionnement que les filtres de ligne couplés [11,12].



Figure I. 7. Filtre en épingle « Hairpin »

b. Filtres interdigité et pseudo-interdigités

Le filtre interdigital est constitué de résonateurs parallèles de même longueur $l = \lambda_g/4$, fonctionnant en mode quasi-TEM, avec une extrémité de chaque ligne connectée au plan de masse et l'autre non connectée, comme le montre la Figure I.8

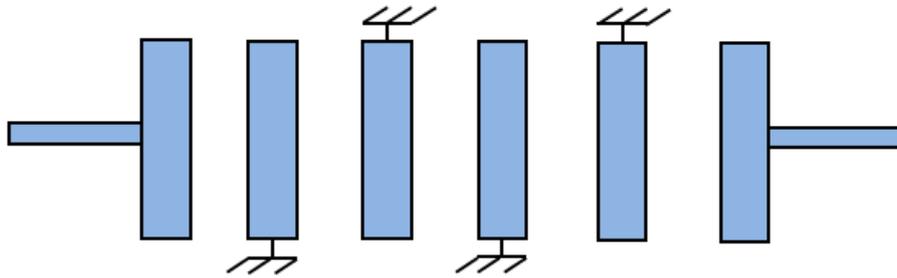


Figure I. 8. Filtre interdigital

Les avantages du filtre interdigital sont qu'il est de structure compacte, facile à fabriquer et que l'écart entre les résonateurs est important, ce qui rend la structure insensible aux tolérances de fabrication. Cependant, leur faible facteur de mérite peut entraîner des pertes importantes dans les applications de filtrage à bande étroite [14].

C. Filtres à Stubs

Les filtres stub utilisent des segments de ligne (stubs) de longueur $l = \lambda g/4$ ou $l = \lambda g/2$, dont la largeur dépend de l'impédance à synthétiser (figure I.9).

Cette topologie permet un facteur de qualité élevé et donc de faibles pertes. La mise en œuvre de la fonction de filtrage large bande est classique, facile à prendre en main et intéressante.



Figure I. 9. Filtre de tronçon

Cependant, en raison de limitations techniques (l'impédance caractéristique est trop faible), il ne peut pas être utilisé pour synthétiser des filtres avec des bandes passantes plus petites. [14].

I.4.2 Filtre a surface sélective en fréquence

Généralement, les FSS sont conçues pour donner les quatre types des filtres qui existent comme illustre dans la figure les FSS à motifs gravés et les FSS à grilles. A chacune d'elles correspond une réponse en fréquence spécifique et qui est illustrée sur la figure (I.10)

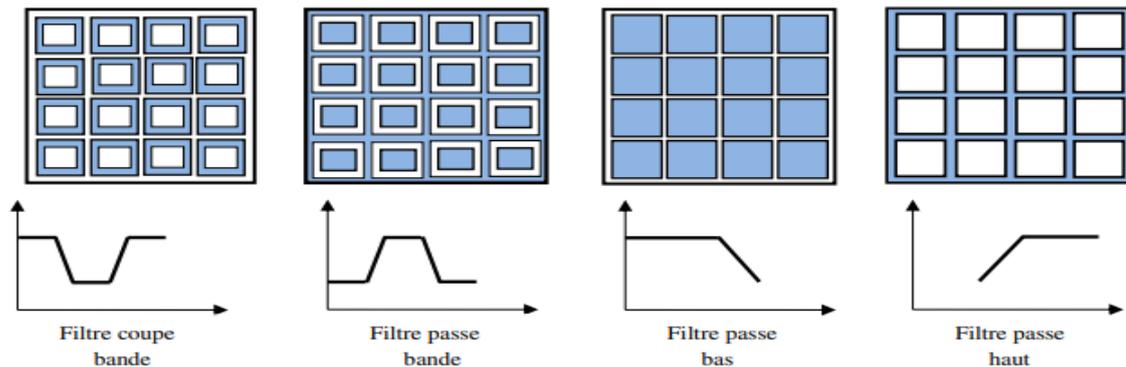


Figure I. 10. Différents types des filtres à base des FSS.

I.5 Conclusion

Le chapitre 1 présente des conseils théoriques pour les structures planaires. Dans la première partie les différents types des lignes de propagation utilisées dans les structures planaires : ligne micro ruban, ligne coplanaire, ligne à fente, leurs topologies ainsi que leurs avantages et inconvénients ont été décrits, ainsi que trois configurations de résonateur microruban: les surfaces sélectives en fréquence (FSS), les filtres et les antennes ont été brièvement décrites. Dans la dernière section, Les Surfaces Sélectives en Fréquence (FSS) et leur Structure et caractéristiques principales et ses applications.

Chapitre II

Les filtres à Surfaces Sélectives en fréquence (FSS)

Chapitre II

Les filtres à Surface Sélective en fréquence (FSS)

II.1. Introduction

Au cours des dernières décennies, diverses méthodes basées sur des logiciels de simulation ont été utilisées pour déterminer les propriétés de transmission et de réflexion des structures planaires (les paramètres S). Dans tous les domaines de l'ingénierie électromagnétique et hyperfréquence, la maîtrise du simulateur est plus importante pour les méthodes analytiques numériques. En particulier, les coûts et le temps peuvent être considérablement réduits. Pour cela, nous avons choisi l'outil de simulation électromagnétique HFSS pour simuler des structures FSS complexes en 3D.

Dans ce chapitre, nous avons présenté d'abord l'étude des différents types de FSS puis leurs applications dans les différents domaines. Ensuite, le simulateur HFSS est utilisé pour simuler différents types de FSS. Les résultats obtenus ont été comparés aux résultats trouvés dans la littérature.

II.2. Les surfaces sélectives en fréquence (FSS)

II.2.1 Définition

La technologie des Surface Sélective en Fréquence SSF, en anglais (Frequency Selective Surfaces, FSS) ; C'est une surface périodique constituée d'arrangements périodiques dans le plan d'éléments conducteurs négatifs et fait partie du domaine militaire. Le FSS est un élément essentiel de la conception des systèmes multifréquences. Dans le FSS, son unité est

périodiquement identique. En fonction de la géométrie du composant utilisé, de son type et de la taille de l'unité de base et du substrat, le FSS agit comme un filtre coupe-bande, un passe-haut, un passe-bas ou un passe-bande. [23]. Les performances du FSS dépendent également de la polarisation de l'onde électromagnétique incidente et de l'incidence angulaire. Les performances du FSS sont généralement évaluées en supposant des dimensions infinies et périodiques du FSS à l'aide d'un diagramme de Floquet [23][24], puis le temps de calcul est réduit approximativement à l'unité de temps de base. De plus, les performances obtenues sont liées au choix de la structure périodique et supposent que toutes les cellules fonctionnent de la même manière, quelle que soit leur position dans le réseau.

II.2.2. Structure et caractéristiques principales des FSS

Les FSS sont généralement des structures périodiques à deux dimensions qui fonctionnent comme des filtres spatiaux. La figure I.5 montre un exemple de structure plane périodique à deux dimensions où P_x et P_y sont les périodicités respectives des axes x et y et h est l'épaisseur du substrat [20].

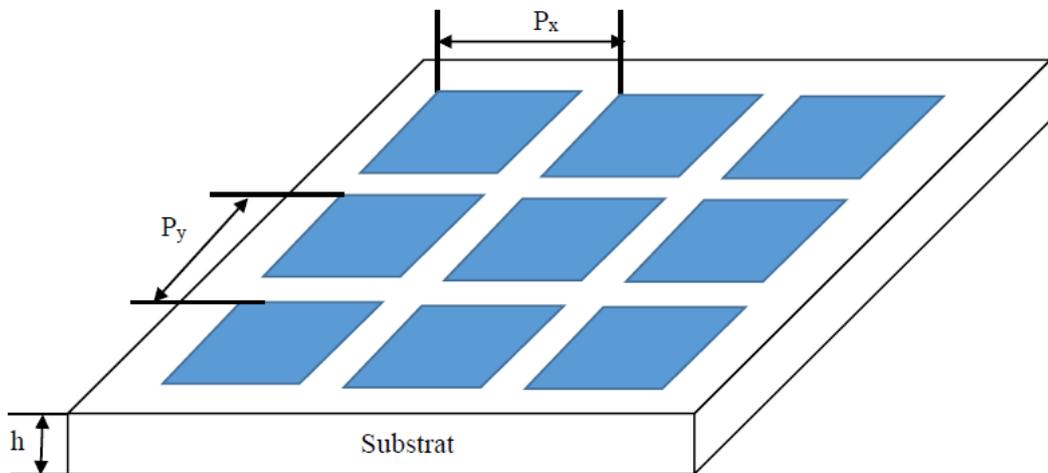


Figure II.1 .Structure plane périodique bidimensionnelle

La surface sélective en fréquence (FSS) est généralement formée par un plan métallique perforé périodiquement avec des ouvertures (treillis métallique), ou réseau à motifs périodiques métal imprimé sur substrat. Pour chaque type de FSS, les ondes électromagnétiques ont deux structures polarisées différemment, TE (transverse électrique) et TM (transverse électrique) magnétique), peut être étudiée.[22]

II.2.3 Les différents motifs des structures FSS

La figure 2.1 montre les quatre types de base de FSS. Un ensemble de raisons connexes L'avantage d'avoir une réponse structurée définie. Par exemple, en combinant deux ou trois anneaux métalliques permettent plusieurs résonances et une ou plusieurs bande passante, uniquement dans la résonance de l'encoche du motif en anneau [24].

a. Groupe 1

Le groupe est constitué d'éléments connectés au centre, à N pôles, par exemple : dipôles, tripôles, croix de Jérusalem, etc... Les éléments les plus populaires de ce groupe sont : Croix de Jérusalem et tripôle. Certains de ces éléments ont été combinés avec d'autres Type d'élément pour générer une nouvelle configuration FSS

b. Groupe 2

Ce groupe comprend tous les types d'anneaux ; tels que tore, carré et Hexagone . Ce groupe est probablement le plus populaire en raison de sa stabilité En fonction de la variation de l'angle d'incidence, de nombreux articles sont écrits en Anneaux carrés, (simples et concentriques). L'anneau tripolaire entre également dans ceCatégorie.

c. Groupe 3

Par des ouvertures de forme quelconque dans un plan conducteur ou différentes formes sont imprimées sur le substrat. Ces structures prennent généralement la forme Ouvertures ou patches. Ils peuvent apparaître dans la configuration multicouche ou monocouche. La configuration monocouche avec des ouvertures est utilisée comme filtre dichroïque.

d. Groupe 4

Ce groupe comprend toutes les combinaisons des éléments ci-dessus. La combinaison Ces dernières années, différents types de composants FSS ont été utilisés dans Atténue certains problèmes associés au FSS consistant en un seul type d'élément (modèle). Par exemple, un FSS formé d'un anneau carré rainuré est utilisé essayer de surmonter les problèmes de sensibilité à

l'angle dans le FSS formé uniquement par des anneaux carrés. Ces nouvelles structures ont également RCS pour abaisser le radôme.

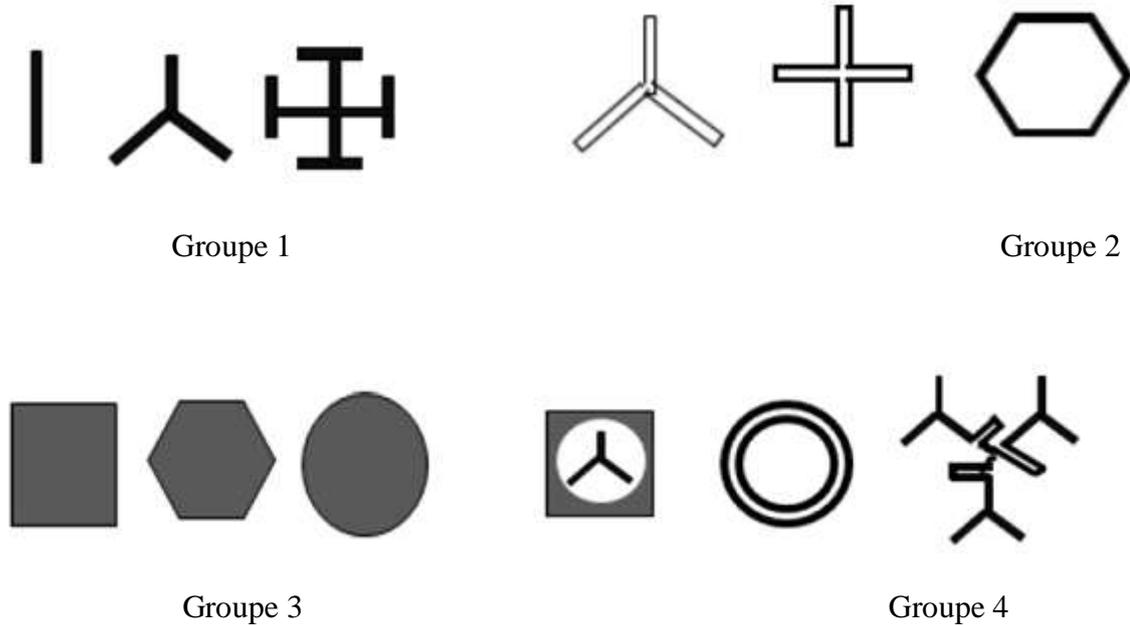


Figure II. 2. Les quatre différents groupes de base des nouvelles FSS

II.2.4. Bande passante des structures FSS

La bande passante des composants est un bon point de départ lors de la conception d'une large bande pour le FSS. Il est important de planifier les éléments plus étroitement ensemble pour augmenter la bande passante du FSS. Cet objectif peut également être atteint en définissant les éléments pour réduire la taille de cellule.

La bande passante coupe-bande ou passe-bande du FSS peut également être obtenue en combinant les deux FSS en cascade; En choisissant avec soin la distance entre les deux surfaces, cette technique est appelée technique Aplatir et élargir de la courbe de réflexion (ou de transmission) dans la bande de fréquence, la fréquence de travail. Aussi, dans ce cas, le coefficient de réflexion (ou de transmission) chute fortement en bordure de bande [23].

II.2.5 Applications des FSS

La surface sélective en fréquence (FSS) est une partie essentielle de la conception de systèmes multifréquences, de sorte que son utilisation dans les systèmes de communication est régie par la nature de plus en plus multibande des applications, il est donc possible de réduire le nombre d'antennes satellites [25]. le FSS sert également de réflecteur, Utilisé à l'origine dans le domaine militaire où protection anti-missile et bouclier électromagnétique étaient utilisés, polariseur ou absorbeur [26]. L'application la plus connue de FSS est Radom, comme le montre la figure. II.3.



Figure II.3. Radôme en forme de cône qui une fois soulevé montre le radar d'un Airbus A320 [28]

Le FSS est également utilisé commercialement sur la porte moustiquaire pour les fours à micro-ondes : La plaque métallique perforée reflète suffisamment l'énergie micro-onde de 2,45 GHz tout en laissant passer la lumière, ce qui permet de voir les aliments dans le four [25]. Le FSS présente la caractéristique d'un filtre passe-bande.



Figure II.4. Application des FSS comme un écran sur la porte du four micro-ondes

II.2.6 Classification des FSSs

La surface sélective en fréquence (FSS) est généralement usinée et le motif métallique est imprimé sur le substrat. Au moyen d'un plan métallique périodiquement perforé de fentes (réseau métallique), ou réseau périodique pour fournir les quatre réponses spectrales standard ; Ce sont : coupe-bande, passe-bande, passe haut et passe-bas. Ainsi, des filtres peuvent être créés avec n'importe quelle réponse spectrale souhaitée. Filtre d'adaptation sélectionné selon des critères de conception : niveau d'atténuation, fréquence de coupure, bande passante et sensibilité pour l'angle d'incidence des ondes électromagnétiques. Des exemples typiques des quatre types de filtres sont décrits ci-dessous [25, 27].

II.2.6.1 FSS de type coupe-bande

Le FSS est un motif métallique (capacitif) avec un comportement de filtre coupe-bande, si la surface est constituée de motifs métalliques périodiques (Figure II.5)

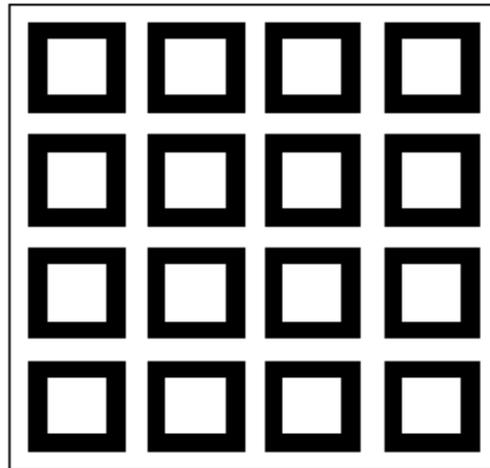


Figure II.5 FSS à motif métallique [21]

Ce type de structure réfléchit complètement autour des fréquences résonance des boucles couplées tout en étant presque transparente pour les autres la fréquence.

II.2.2.2. FSS de type passe-bande

Le FSS est inductif avec le comportement d'un filtre passe-bande (motif diélectrique), si la surface est constituée d'ouvertures périodiques dans le plan métallique (Figure II.6)

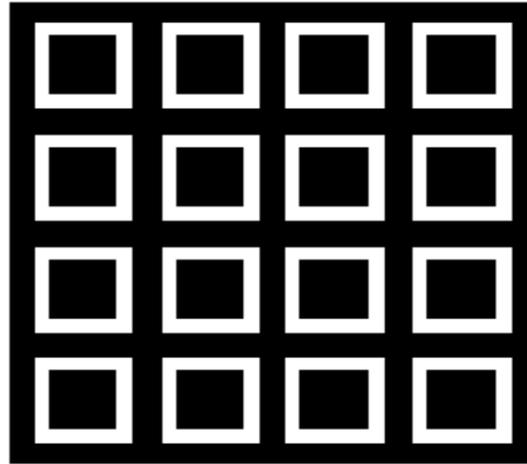


Figure II. 6. FSS à motif diélectrique [21]

Les deux cas peuvent être représentés par la périodicité du composant électronique capacitif, ou inductif, dont la valeur dépend de la géométrie du FSS. [28]

II.2.6.3. FSS de type passe-haut

Pour créer un FSS passe-haut, nous perforons des plans conducteurs à travers des ouvertures de n'importe quelle forme (Figure II.7).

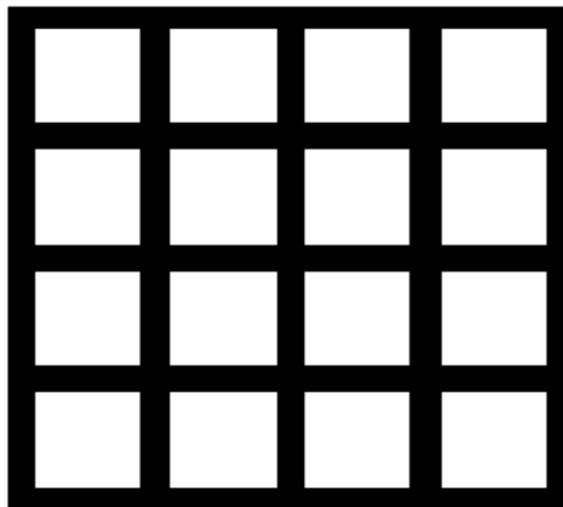


Figure II. 7. FSS à plan conducteur avec des ouvertures [21]

Ce sont des structures qui reflètent complètement les basses fréquences, presque comme le miroir parfait. Il a le même coefficient de réflexion dans les polarisations TE et TM. C'est une structure transparente pour les réflexions haute fréquence et basse fréquence

II.2.6.4. FSS de type passe-bas

Un filtre passe-bas peut être complémentaire à un Babinet d'un filtre passe-haut (Figure II.8). c.à.d. que la proportion du métal est plus importante que l'air. Elle est complètement réfléchissante pour les hautes fréquences.

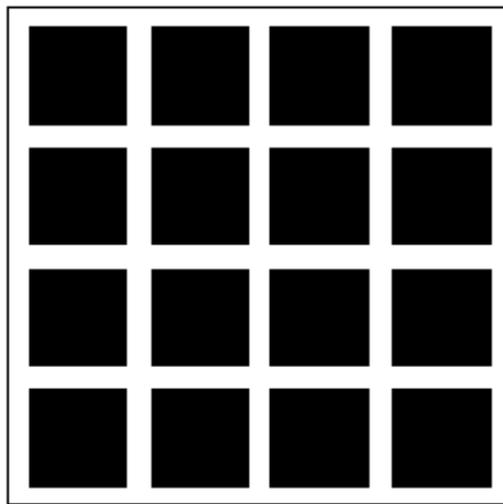


Figure II. 8. FSS passe-bas [21]

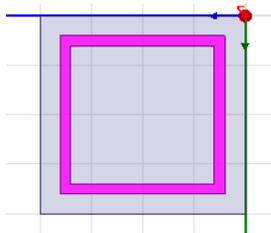
II.3 Le logiciel HFSS d'Ansoft

HFSS (High Frequency Structure Simulator) est un simulateur de champ électromagnétique (EM) pleine onde haute performance. Il est utilisé pour la modélisation arbitraire de dispositifs passifs volumétriques 3D à l'aide de l'interface utilisateur graphique familière de Microsoft Windows. Il intègre la simulation, la visualisation, la modélisation solide et l'automatisation dans un environnement facile à apprendre pour des solutions rapides et précises aux problèmes EM 3D.

Ansoft HFSS utilise la méthode des éléments finis (FEM), des maillages adaptatifs et des graphismes exceptionnels pour vous offrir des performances inégalées et un aperçu de tous les problèmes EM 3D. Ansoft HFSS peut être utilisé pour calculer des paramètres tels que les paramètres S, les fréquences de résonance et les champs électromagnétiques.

II.4 Simulation des filtres à base des FSS par HFSS

II.4.1 Simulation des FSS de type coupe-bande



- La figure II.9 présente les résultats de simulation par HFSS pour la structure FSS de type coupe-bande, les résultats des coefficients de Transmission (S_{21}) et de Réflexion (S_{11}) en dB sont montrés dans la figure (II.9).
- La transmission est pratiquement complètement bloquée à 4.2 GHz.
- La bande passante (3.8GHz).

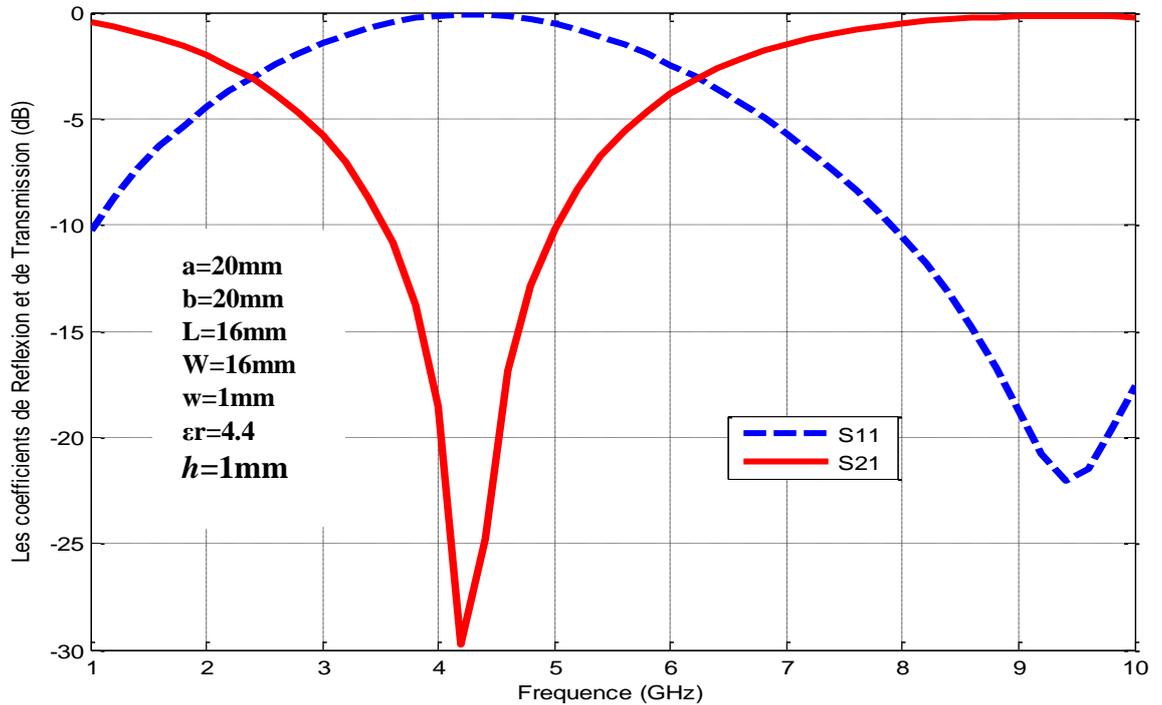
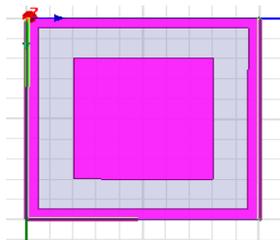


Figure II.9. Coefficients de transmission et de réflexion en fonction de la fréquence de fonctionnement pour une FSS de type coupe-bande

II.4.2 Simulation des FSS de type passe-bande



- Cette structure présente un comportement de type filtre passe-bande et elle est composée d'un arrangement de fentes en anneaux, comme illustré dans la figure (II.10). Cette structure peut être assimilée à un plan métallique sauf pour une bande de fréquence et ceci pour les deux polarisations.
- La réflexion est pratiquement complètement bloquée à 4.2 GHz.
- La bande passante (3.4GHz).

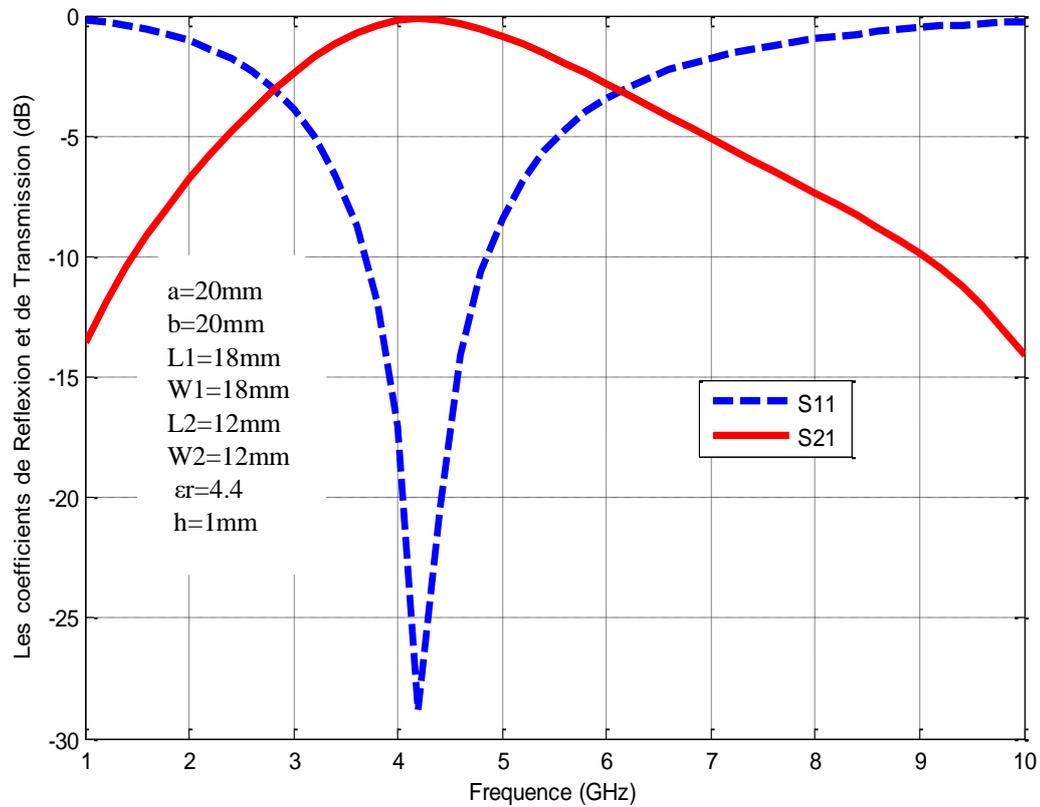
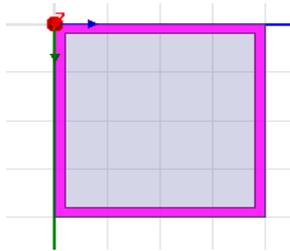


Figure II.10. Coefficients de transmission et de réflexion en fonction de la fréquence de de fonctionnement pour une FSS de type passe-bande.

II.4.3 Simulation FSS de type passe-haut



Ce sont des structures métalliques en forme de miroir presque parfaites qui reposent sur l'inversion des basses fréquences. Pour réaliser ces structures, il suffit d'utiliser un treillis métallique comme indiqué sur (la figure II.11).

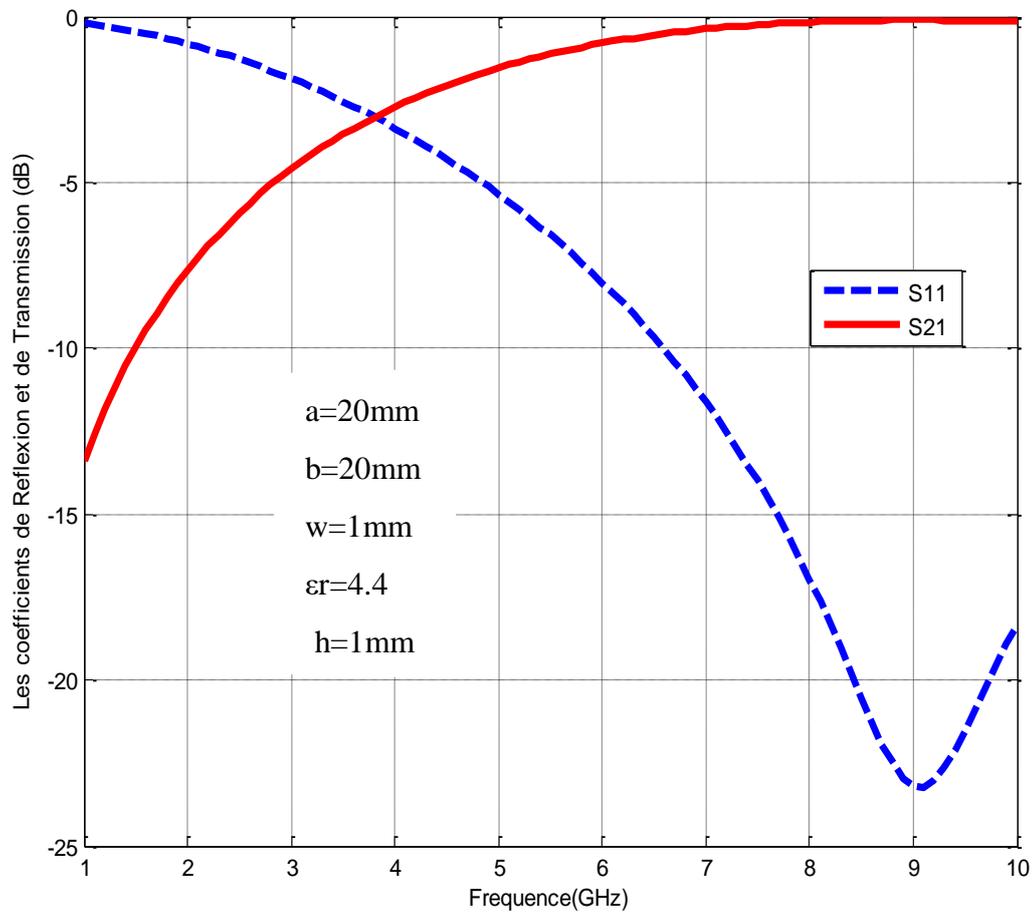
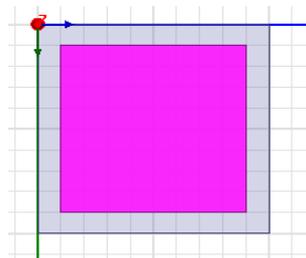


Figure II.11 Coefficients de transmission et de réflexion en fonction de la fréquence de fonctionnement pour une FSS de type passe-Haut.

II.4.4 Simulation FSS de type passe-bas



Les coefficients de Réflexion et de Transmission sont donnés par la figure (II.12).

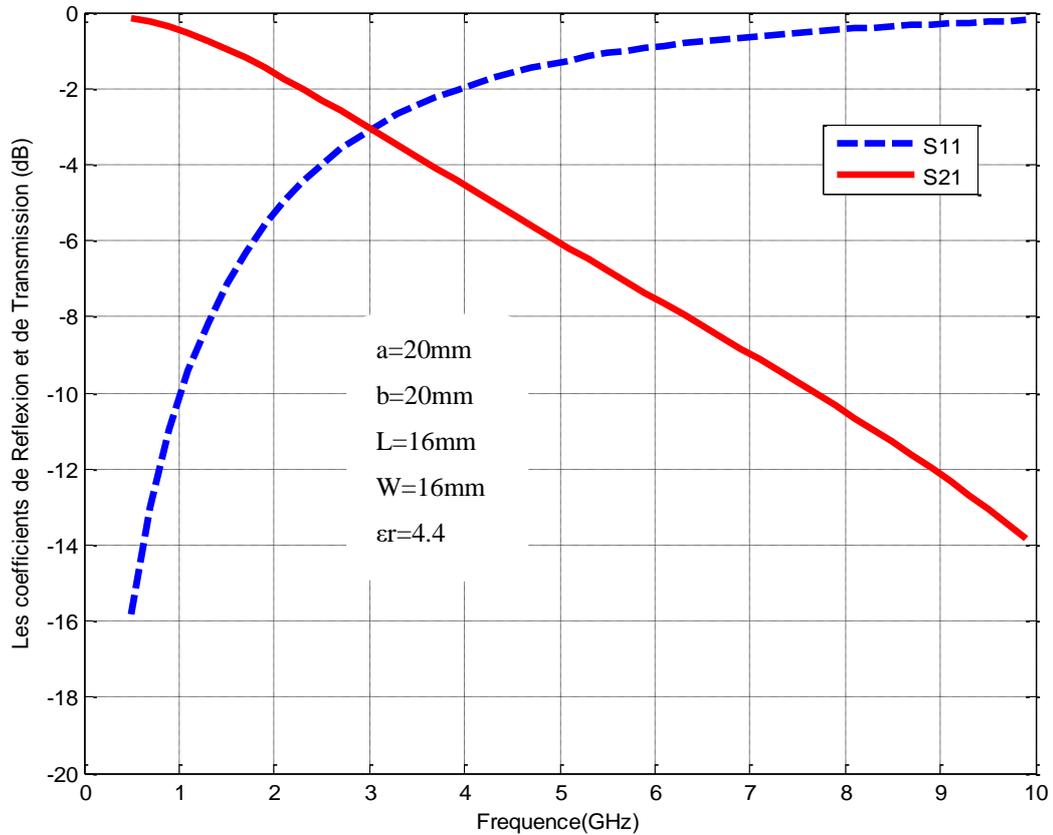


Figure II.12 Coefficients de transmission et de réflexion en fonction de la fréquence de fonctionnement pour une FSS de type passe- bas

II.5 Conclusion

Dans ce deuxième chapitre, nous avons introduit la classification des filtres à surfaces sélectives fréquence (FSS) et son application dans différents domaines. Une introduction sur le logiciel HFSS, et comme nous l'avons vu précédemment, il existe plusieurs motifs intervenant dans la constitution des FSS

Chapitre III

Modélisation des FSS a Plusieurs niveaux de Métallisation

Chapitre III

Modélisation des FSS a Plusieurs niveaux de Métallisation

III.1. Introduction

Lors de la conception des FSS à large bande passante ou coupante, la bande passante des structures est très importante. Dans certaines applications, les structures a double FSS en général ont une bande passante plus large que une structure à un seul FSS.

En plaçant deux FSS (Dual Screen FSS) en cascade et en choisissant soigneusement la distance entre les deux FSS, la bande passante de la structure globale à bande passante ou à bande coupante peut également être augmentée.

La bande passante d'une FSS coupe-bande ou passe-bande peut aussi être élargie en mettant deux FSS ou 3FSS en cascade. Cette technique permet d'aplatir et d'élargir la courbe du coefficient de réflexion (ou de transmission) dans la bande de fréquences de fonctionnement.

Dans ce chapitre, en premier lieu est consacré sur les structures multicouches. Puis l'analyse des FSS a deux niveaux de métallisations a été étudié par HFSS pour valider les résultats qui sont déjà trouvé dans la littérature. Après, on fait la modélisation des FSS à deux et a trois niveaux de métallisations en utilisant le simulateur HFSS.

III.2. FSS multicouche

Un FSS multi-couches ou multi-écrans (Figure III.1) est utilisé pour mettre en œuvre certains comportement spécifique. Ils consistent en des piles de deux ou plusieurs interfaces inclure des motifs métalliques et/ou diélectriques. Dans le cas d'un FSS monocouche, Il est difficile d'améliorer le comportement de la bande passante de certaines applications, nécessite une transmission ou une réflexion à large bande et des transitions rapides entre un FSS multicouche à deux bandes ou trois bandes de fréquence apporte une solution à ces problèmes.

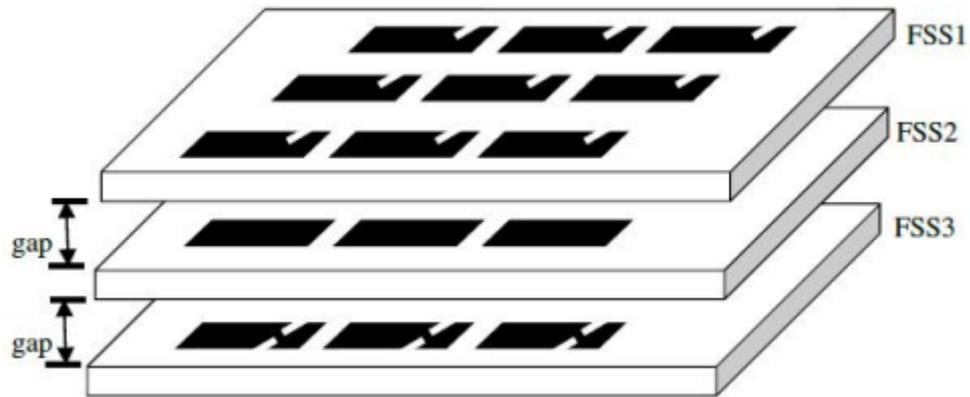


Figure III. 1. FSS à trois couches (trois niveau de métallisation).

III.3. Description de l'approche en cascade

Une technique consiste à mettre en cascade plusieurs FSS séparés par des couches diélectriques pour étendre l'ordre et la bande de fréquence du filtre spatial. Il est également possible de recouvrir chaque face du FSS d'une couche diélectrique. Cette technique étend la bande passante obtenue. Les FSS à deux ou plusieurs niveaux de métallisation sont superposés et sont reliés par une longueur de ligne de guidage (ligne de transmission) qui représente la séparation entre les deux niveaux de métallisation. Comme le montre la figure (III.2).

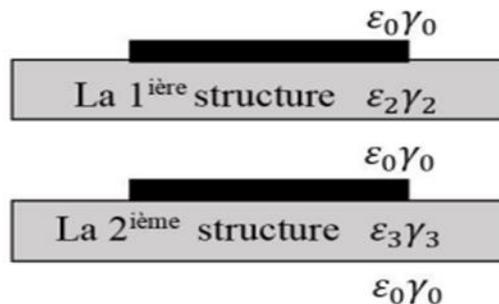


Figure III. 2. Filtre planaire à deux FSS.

III.4. Conception des FSS à plusieurs niveaux de métallisations

III.4.1 Définition

La conception des FSS à plusieurs niveaux de métallisation peut être envisagée avec une modélisation électromagnétique d'association des FSS cascades et séparées par des milieux diélectriques. L'étude des FSS à plusieurs niveaux de métallisation est divisée en deux étapes, la première étape présente la modélisation des FSS à deux niveaux de métallisation, tandis que la deuxième étape considère la modélisation des FSS à trois niveaux de métallisations.

III.4.2 Validation de simulation des FSS épaisses par HFSS

Avant de commencer l'étude des FSS à plusieurs niveaux de métallisation, et dans le but de valider la maîtrise du logiciel HFSS, une structure FSS simple à deux niveaux de métallisation est étudiée.

Dans cette partie, l'étude de deux structures à deux niveaux de métallisations à patch métallique par HFSS est présentée.

La figure (III.3) montre la configuration géométrique de la structure à deux niveaux de métallisation à modéliser.

La structure se compose de deux FSS en cascade, séparées par une couche d'air d'épaisseur d . Les FSS₁ et FSS₂ sont sous forme de patch métallique. Les dimensions des deux patches rectangulaires des FSS₁ et FSS₂ sont respectivement $(L_1 \times W_1)$ et $(L_2 \times W_2)$ avec $L_1=10\text{mm}$, $w_1=7\text{mm}$ sont respectivement la longueur et la largeur du patch rectangulaire pour la FSS₁ et $L_2=8\text{mm}$ et $w_2=8\text{mm}$ sont respectivement celles du patch rectangulaire pour la FSS₂. Les patches métalliques sont gravés sur un substrat diélectrique de permittivité diélectrique $\epsilon_r=3.9$ et d'épaisseur $h=1.6\text{mm}$.

La figures (III.4 et III.5) montre les variations des coefficients de transmission en fonction de la fréquence de fonctionnement pour la structure à deux niveaux de métallisation pour $d=1.5\text{mm}$ et $d=10\text{mm}$ respectivement.

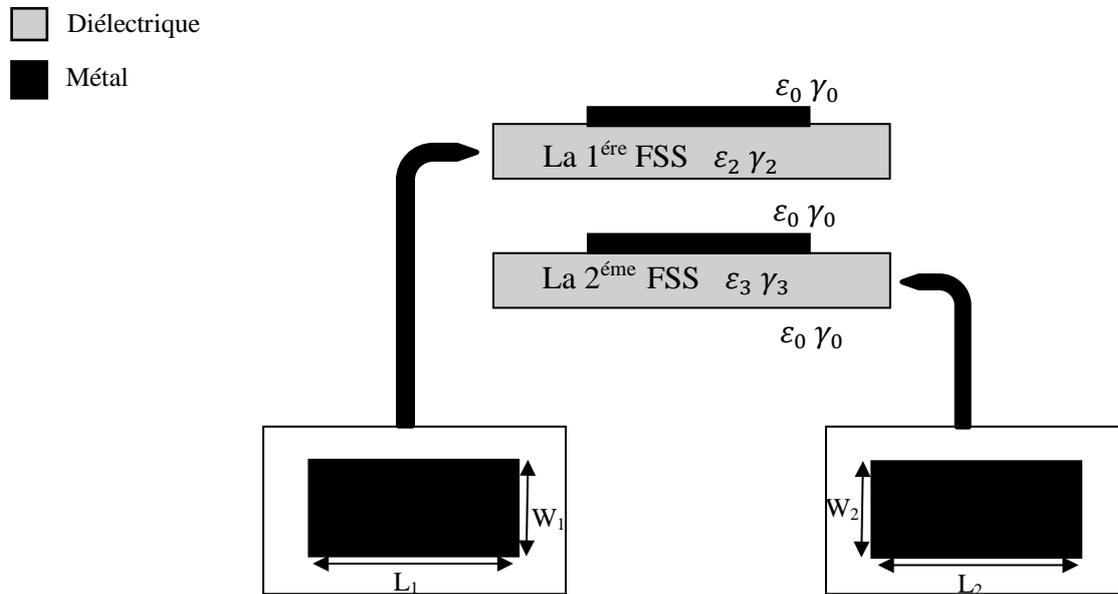


Figure III.3. Filtre à deux FSS met en cascade.

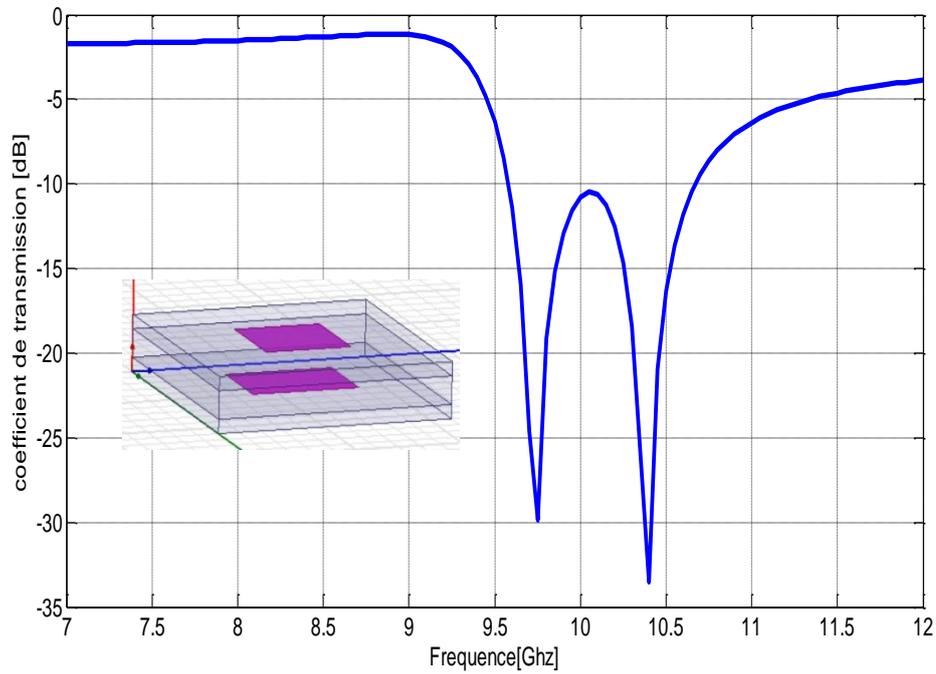


Figure III.4. Coefficient de transmission d'une structure à deux niveaux de métallisations pour $d=1.5\text{mm}$

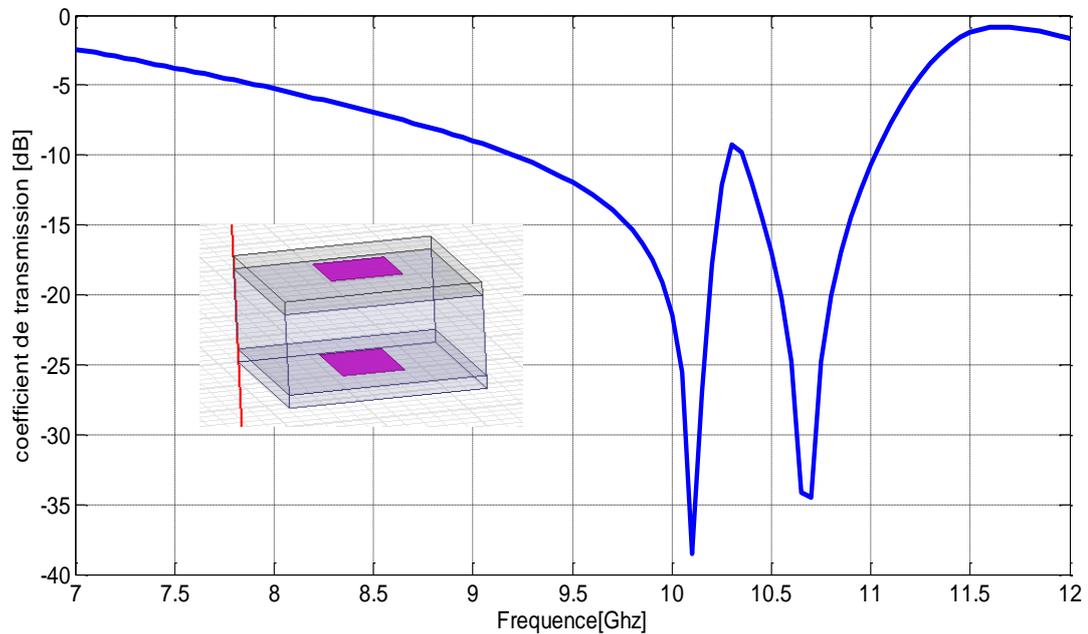


Figure III.5. variation du coefficient de transmission en dB pour $d=10\text{mm}$

Les deux structures présentent deux fréquences de résonances à 9.75 GHz et 10.4 GHz pour le premier cas lorsque $d=1.5\text{mm}$ et à 10.1 GHz et 10.7 GHz pour le deuxième cas lorsque $d=10\text{mm}$.

Les deux fréquences de résonances sont décalées après l'augmentation de la distance d , ainsi pour $d=1.5\text{mm}$ nous obtenons une bande élargie à -10 dB par contre pour $d=10\text{mm}$ nous obtenons double bandes.

On peut noter aussi, les résultats trouvés par le logiciel HFSS sont validés en comparant ses résultats par des résultats de simulations et de mesures existant dans la référence [28].

Après avoir validé l'utilisation de logiciel HFSS, l'analyse des nouvelles structures a été proposée. Ces structures ont l'avantage d'avoir des réponses fréquentielles multibande et avec des bandes élargies. Cette caractéristique représente un grand avantage.

III.4. Modélisations des FSS à deux niveaux de métallisations par HFSS

III.4.1 Coefficients de réflexion (S11)

La figure (III.6) montre la configuration géométrique de la structure à modéliser. La structure se compose de deux FSS séparées par une couche diélectrique de permittivité diélectrique

$\epsilon_r=1$ et d'épaisseur $d=0.8\text{mm}$. Les FSS₁ et FSS₂ sont sous forme d'anneaux diélectriques. Les dimensions des anneaux diélectriques des FSS₁ et FSS₂ sont respectivement ($L_1 \times L_1=7\text{mm}$) et ($L_2 \times L_2=6\text{mm}$) avec une largeur de fente $w=1\text{mm}$.

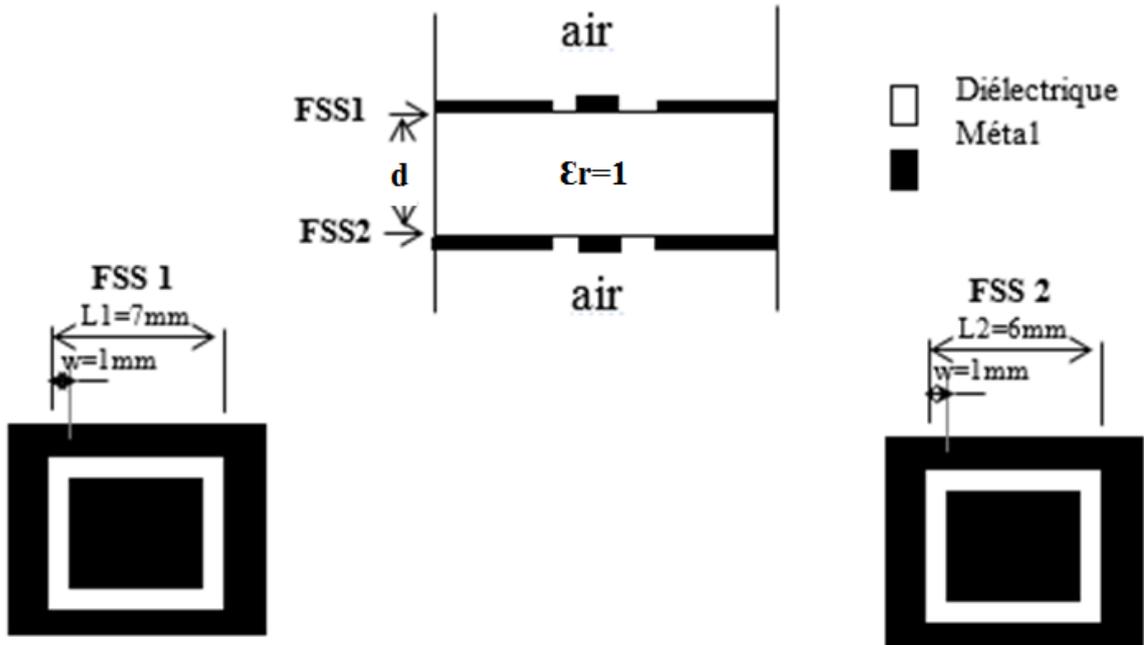


Figure III.6 .Filtre à cavité rectangulaire à parois périodiques.

On considère une unité de base composée de deux structures périodiques FSS1 et FSS2 de la plus grande taille ($19.7\text{ mm} \times 19.7\text{ mm}$).

Les figures (III.7et III.8) montrent les changements des coefficients de réflexion des deux FSS pour une polarisation selon l'axe y.

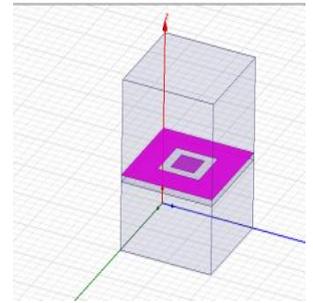
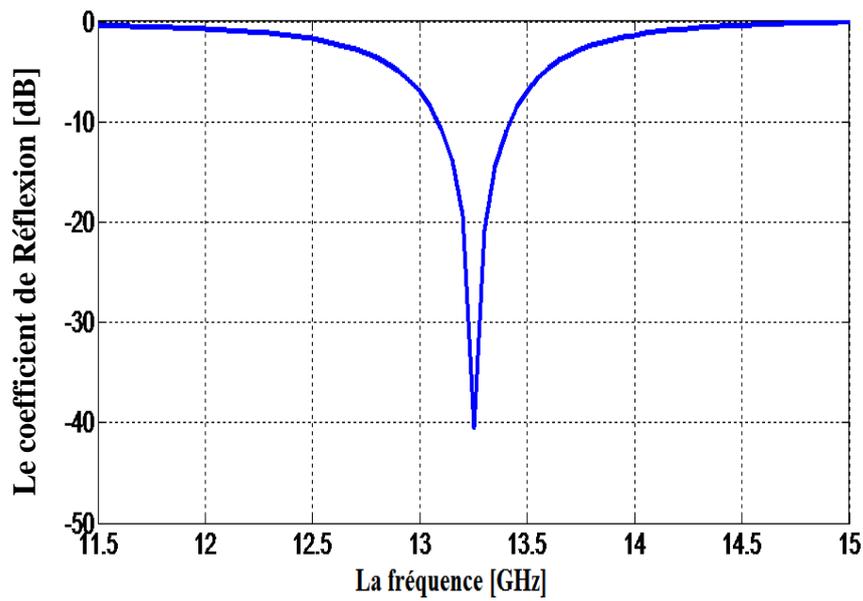


Figure III.7. Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de fonctionnement pour FSS 1.

On peut voir parfaitement que la première FSS présente une fréquence de résonance à 13.25 GHz avec une surtension de -41 dB.

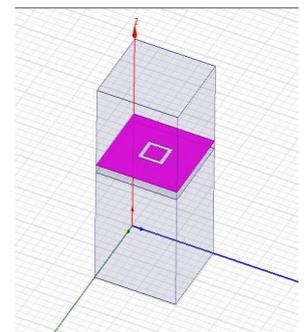
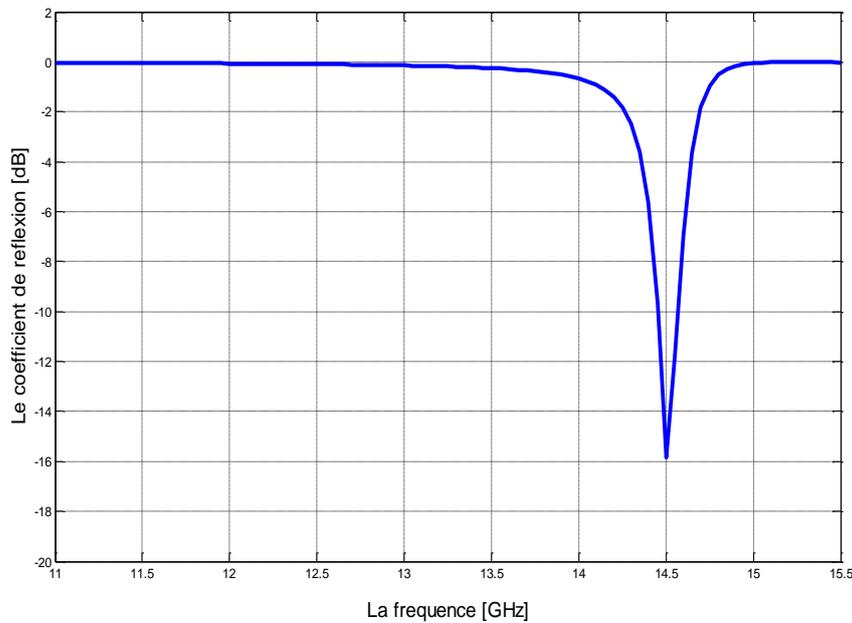


Figure III.8. Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de fonctionnement pour FSS 2.

Par contre la figure III.8 présente que la deuxième FSS présente une fréquence de résonance à 14.5 GHz avec une surtension de -16 dB.

Afin de rendre les FSS en cascade pour créer la structure de filtrage à deux niveaux de métallisation, elles sont séparées par un diélectrique supposé de l'air, d'épaisseur $d=0.8\text{mm}$. Les résultats trouvés sont montrés dans la figure III.9.

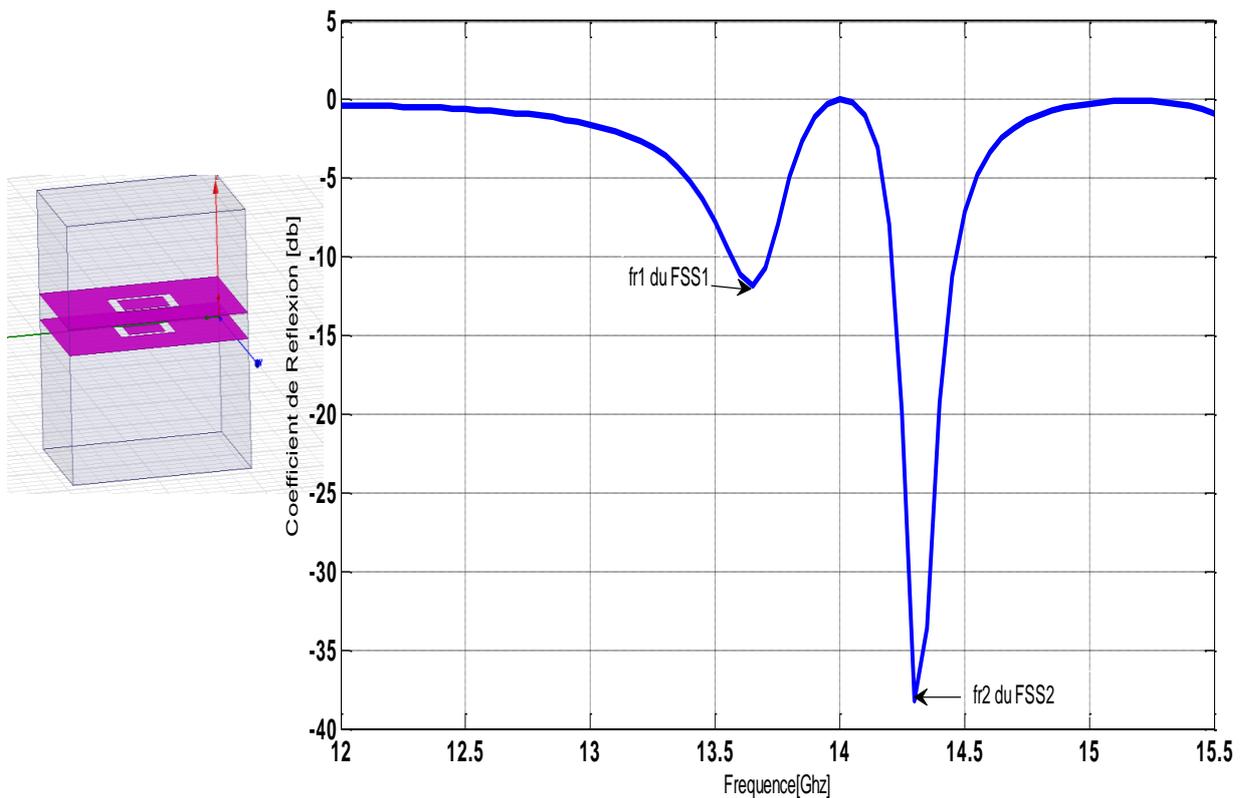


Figure III.9. Coefficient de réflexion, calculé en db, en fonction de la fréquence de fonctionnement.

Comme le montre la Figure III.9 deux fréquences de résonance sont observées à 13.6 GHz et 14.3 GHz.

III.4.3 Etude paramétriques

Dans cette partie, on étudie l'influence des paramètres physiques et géométriques de la structure sur les deux fréquences de résonance et la bande passante.

III.4.3.1. Influence des paramètres de la première FSS

Dans un premier temps, on cherche la fréquence de résonance de la FSS₁ dans la structure composée des deux FSS₁ et FSS₂. Pour cela, on fait varier les dimensions de la FSS₁ alors que tous les autres paramètres sont maintenus fixés. Les résultats obtenus sont donnés par les figures (III.10) et (III.11).

- La figure (III.10) montre la variation du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de fonctionnement, pour L1=7mm, 7.5mm, 8mm et 9mm.

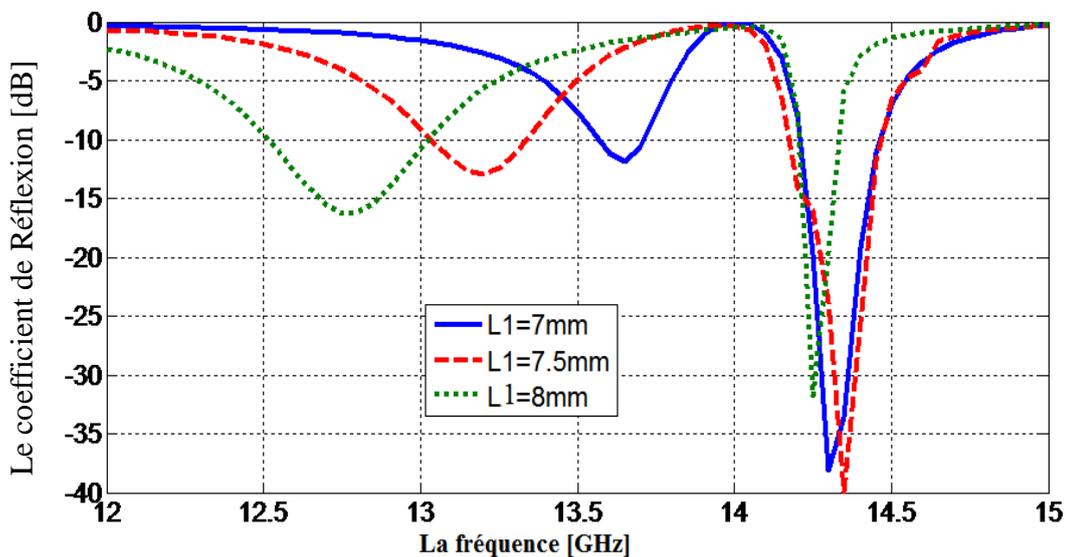


Figure III.10. Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de fonctionnement pour L1=7mm, 7.5mm et 8mm

On constate qu'une variation de L1 entre 7mm à 8 mm entraîne une diminution de la première fréquence de résonance de la structure, tandis que la deuxième résonance reste constante.

- La figure (III.11) montre la variation du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de fonctionnement, pour W1=5mm, 5.5mm, 6mm et 6.5mm.

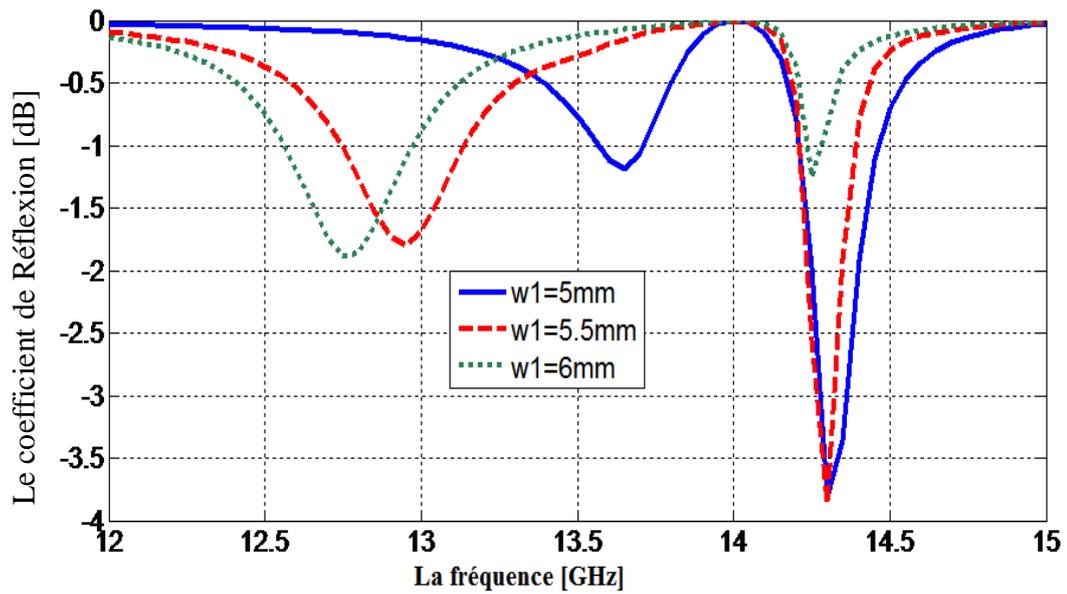


Figure III.11. Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de fonctionnement pour $w_1=5\text{mm}$, 5.5mm et 6mm .

D'après la figure III.11. Une diminution de la première fréquence de résonance lorsque w_1 augmente.

III.4.3.1 Influence des paramètres de la deuxième FSS

Maintenant, les dimensions de la FSS₁ étant considérées comme dans état initial, on fait varier les dimensions de la FSS₂. Les résultats obtenus sont donnés par la figure (III.12) et la figure (III.13).

La figure (III.12) montre qu'avec l'augmentation des dimensions de la seconde surface sélective FSS₂, pour L_2 entre 6mm et 8mm par un pas 0.5mm

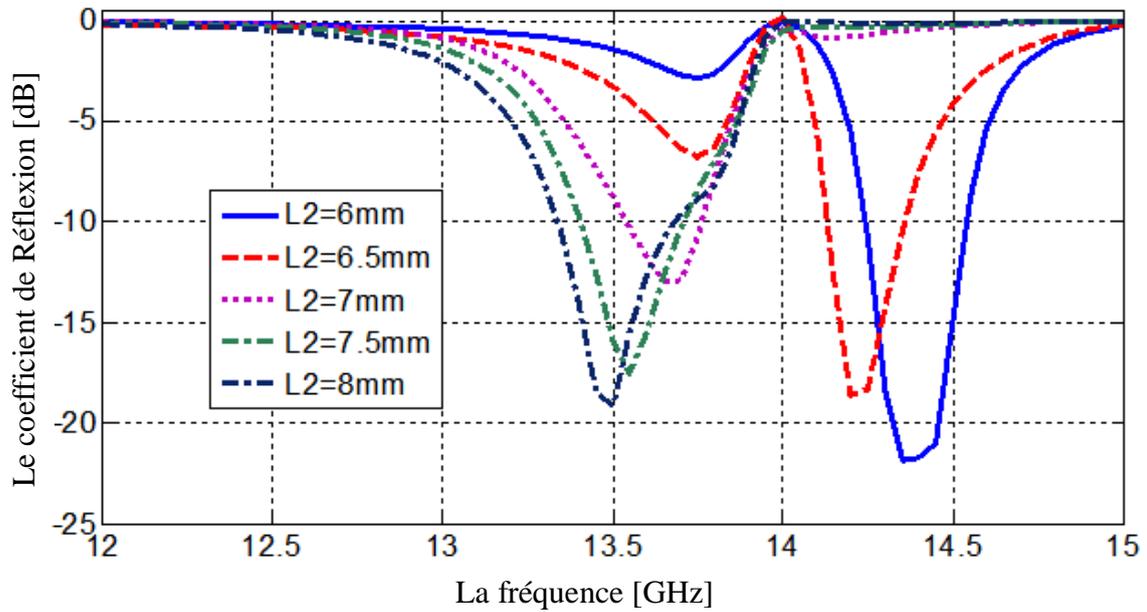


Figure III.12. Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de fonctionnement pour différentes valeurs de L2 (L2=6mm, 6.5mm, 7mm, 7.5mm et 8mm).

D'après la figure (III.12) on constate que :

- Pour L2=6mm et 6.5mm la deuxième fréquence de résonance diminue par contre la première résonance reste inchangé.
- Pour L2=7mm, 7.5mm et 8mm la deuxième fréquence de résonance fusionné avec la première résonance.

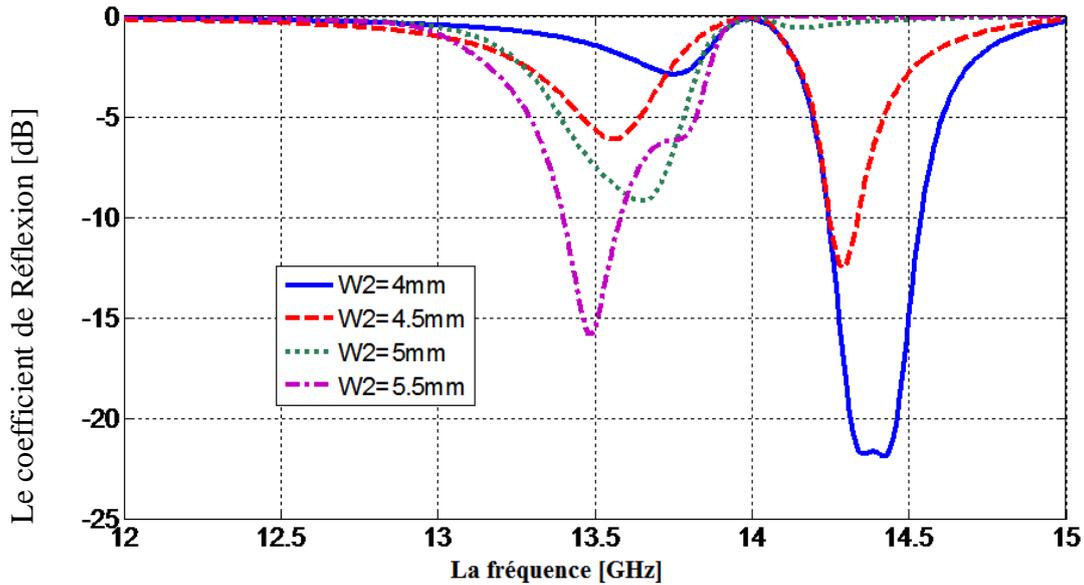


Figure III.13. Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de fonctionnement pour $W_2=4\text{mm}$, 4.5mm , 5mm et 5.5mm .

Qui concerne la figure III.14, lorsque w_2 augmente de 4mm à 5.5mm , on constate une diminution de la deuxième résonance jusqu'à le fusionnement entre les deux résonances.

Afin de pouvoir étudier les effets des longueurs L_1 , L_2 , w_1 et w_2 , les figures (III.10-III.13) permettent de constater que les deux fréquences de résonance de la structure proposée a deux FSS sont contrôlés indépendamment l'une de l'autre lorsque l'onde incidente est polarisée selon la direction y . Cette caractéristique montre une bonne flexibilité de la structure proposée.

III.4.4 Bandes élargies

La réponse fréquentielle (coefficient de réflexion) de la structure de base proposée dévoile deux fréquences de résonance selon la polarisation x pouvant être réglées et contrôlées indépendamment l'une de l'autre. Cette spécification a été utilisée pour ajuster les différentes résonances de telles façon à les rapprocher suffisamment les unes des autres. Cela a pour but non seulement d'élargir la bande de transmission mais aussi de permettre son ajustement. Cette étude est réalisée en deux étapes. Un fusionnement des deux fréquences de résonance f_{r1} avec f_{r2} a été effectué afin de voir cette bande élargie selon les dimensions de limites:

- $7\text{mm} \leq L_2 \leq 8\text{mm}$.
- $5\text{mm} \leq W_2 \leq 5.5\text{mm}$.

La figure (III.14) présente la première bande élargie obtenue lorsque ($7\text{mm} \leq L2 \leq 8\text{mm}$)

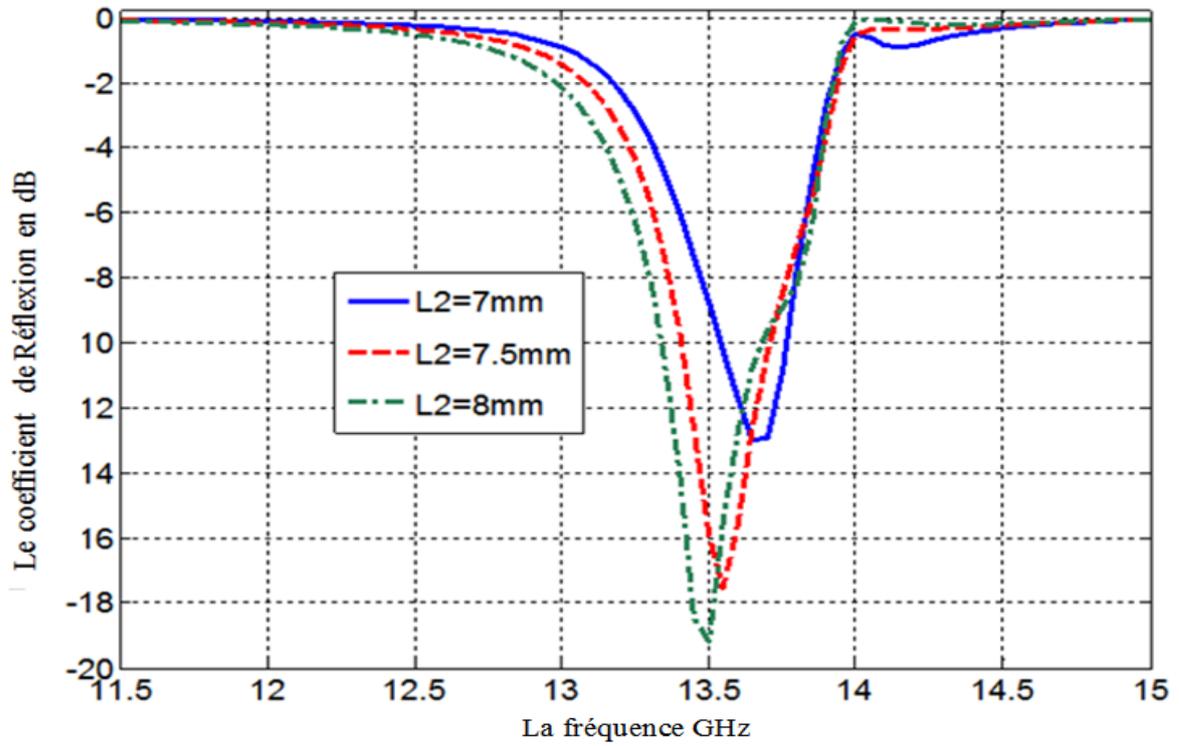


Figure III.14. Le coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de fonctionnement pour $7\text{mm} \leq L2 \leq 8\text{mm}$.

La figure (III.15) montre la deuxième bande élargie obtenue lorsque ($5\text{mm} \leq W2 \leq 5.5\text{mm}$).

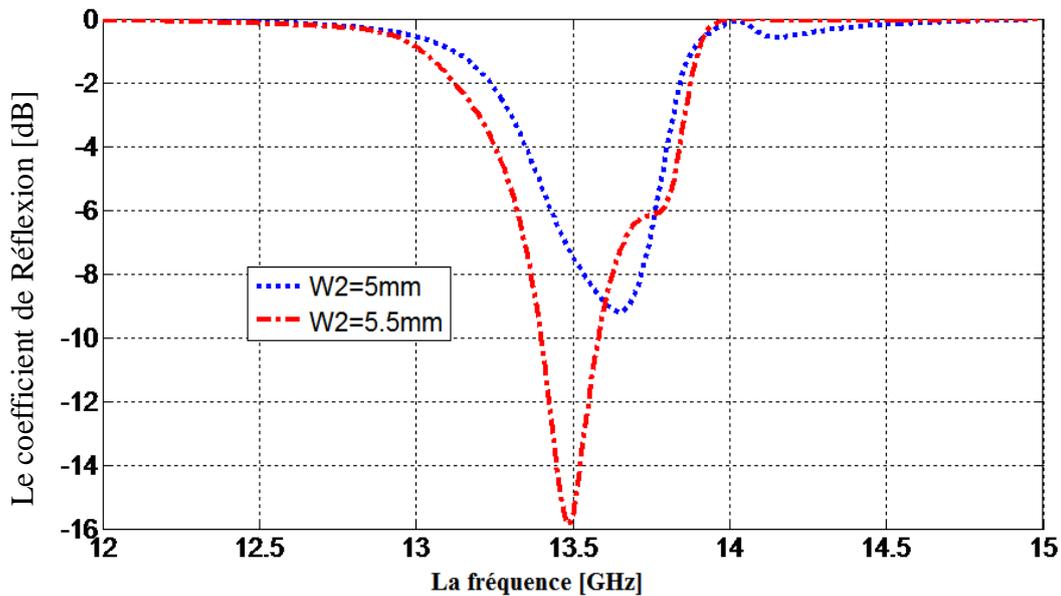


Figure.III.15. Le coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de fonctionnement pour $5\text{mm} \leq W2 \leq 5.5\text{mm}$.

III.5. Modélisations des FSS a trois niveaux de métallisations par HFSS

Pour créer une structure de filtrage à deux cavités résonantes, on utilise trois FSS différentes. La figure (III.16) montre la cellule unitaire d'un filtre à deux cavités résonantes. Les FSS utilisées sont constituées par des anneaux à ouvertures diélectriques. Les FSS sont séparées par des couches diélectriques de permittivité $\epsilon_{r2}=1$ et de hauteur $d=1\text{mm}$.

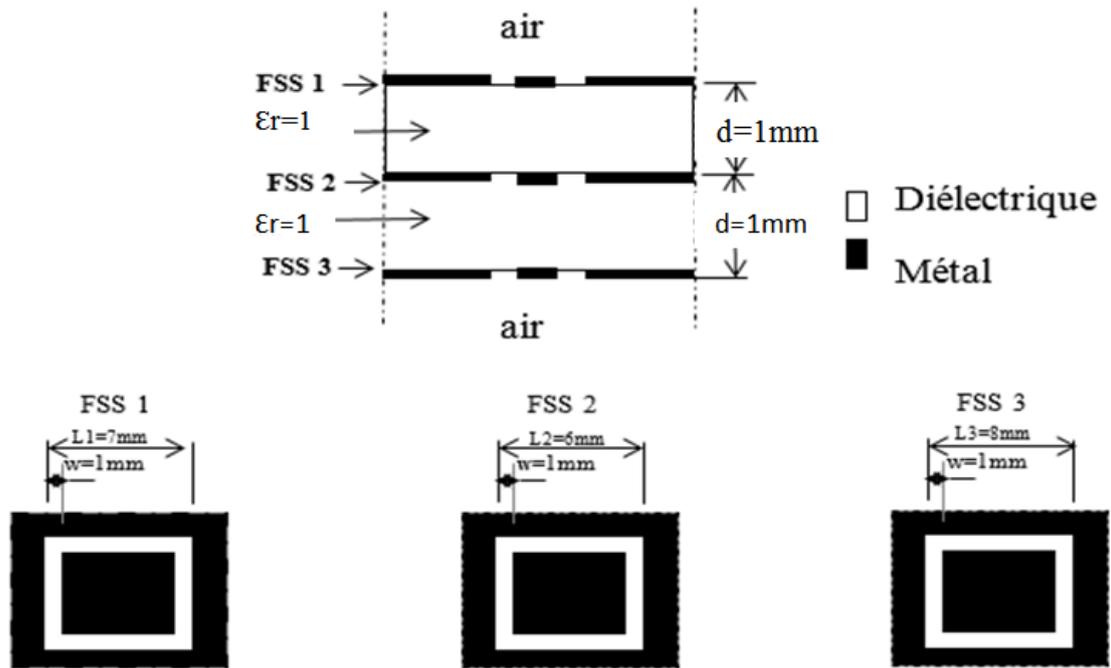


Figure III.16. Filtre à deux cavités rectangulaires résonantes limitées par des parois périodiques

La figure III.17 montre le coefficient de réflexion pour la structure à trois niveaux de métallisations.

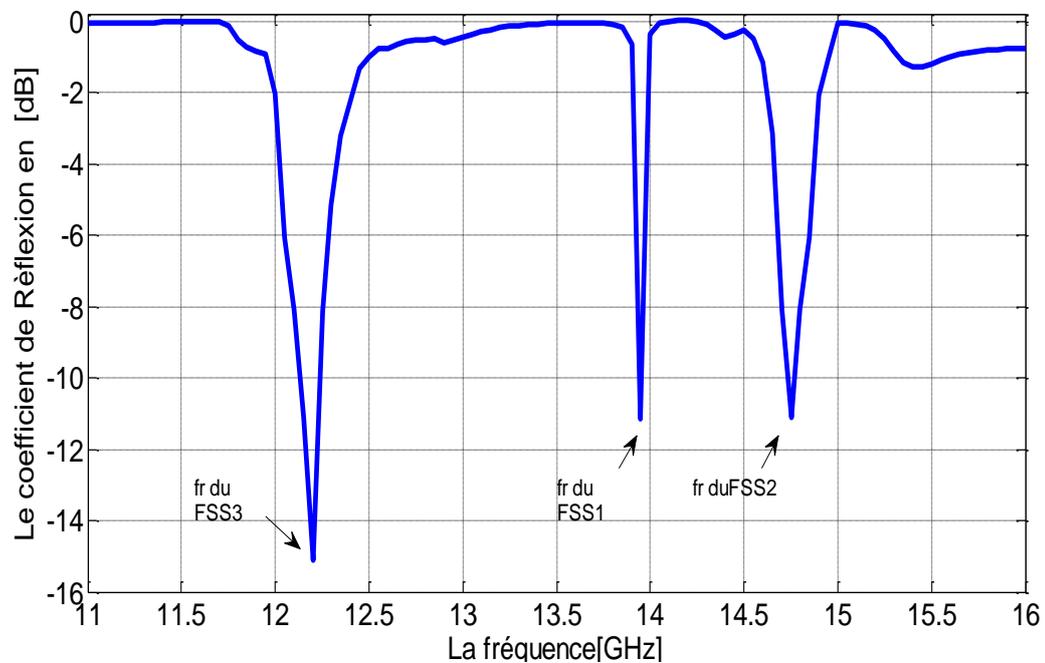


Figure III. 17. Coefficient de réflexion, en dB, pour la structure de filtrage planaire à trois niveaux de métallisations.

La structure à trois FSS est caractérisée par 3 résonances observées à 12.2GHz, 13.9GHz et 14,75GHz. Avec ce type de structures, les performances des filtres sont améliorées, ce qui leur confère la possibilité d'utilisation pour des applications multifonctionnelles.

III.5 Conclusion

Dans ce chapitre, la première partie est réservée à l'introduction de la structure en cascade, puis nous avons simulé structure FSS a patch rectangulaire métallique monocouche et plusieurs couches. Les résultats du logiciel HFSS montrent une bonne cohérence. Une autre structure FSS multicouche à anneau diélectrique à deux et trois couches de métallisation a été étudiée. La structure de filtre à plusieurs niveaux de métallisation présente de multiples résonances, chacune provenant d'une source ajustable connue auparavant. HFSS est utilisé pour modéliser la structure résultante.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans le cadre de notre projet, nous avons pu développer nos capacités pour atteindre des objectifs modestes et acceptables à travers les sujets que nous avons convenu de choisir sous l'intitulé *«Etude et simulation des FSS planaires à plusieurs niveaux de métallisation par HFSS »*.

L'objectif principal de notre travail est d'étudier et simuler les FSS à plusieurs niveaux de métallisation à deux et trois couches.

Tout d'abord, des indices théoriques de la technique de structure planaire sont présentés, ainsi que différentes structures planaires de filtrage. Les éléments de base de ces structures sont les lignes de transmission, et les différents types de ces lignes de transmission et leurs géométries ont été répertoriés comme suit : technologie microruban, technologie coplanaire et technologie de ligne à fente. Ensuite, une théorie sur le FSS et ses propriétés et leurs réponses spectrales est présentée.

Dans la dernière partie de notre travail, premièrement, les résultats obtenus ont été comparés à ceux présentés dans la littérature, et il y avait un bon accord entre les résultats obtenus. Des structures à deux couches de métallisation ont ensuite été étudiées. Cette structure multicouche est constituée de deux écrans FSS séparés par une couche d'air.

Ensuite, la structure avec trois niveaux de métallisation a été simulée par le logiciel HFSS pour trouver encore une structure multibande ajustable.

References bibliographies

- [1] **Edward C. Niehenke, Robert A. Pucel, and Inder J. Bahl.** “Microwave and Millimeter-Wave Integrated Circuits”, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol.50, no. 3, pp. 846-857, March 2002.
- [2] **Wang Tongqing.** *Etude de circuits intégrés micro-ondes planaires et non planaires*, Thèse de Doctorat, école polytechnique de Montréal.
- [3] **Joong Chang Chun.and Wee Sang Park.** “Analysis of a Double Step Microstrip Discontinuity in the substrate Using the 3-D-FDTD Method”, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol.44, no.9, pp.1600-1602, September 1996.
- [4] **T.C.Edwards.** *Conception des circuits micro-ondes*, Masson édition,1984.
- [5] **J.-M.Ribero, J.-P.Damiano, R.Staraj.** “Accurate analysis and synthesis of annular ring Microstrip antennas”, *IEE Proc-Microw, Antennas propag*, vol. 144, no.5, October 1997.
- [6] **Thanh Mai Vu.** *Contribution à la mise en œuvre de fonctions accordables à MEMS RF En bande millimétrique sur silicium*, Thèse de Doctorat, Université de Toulouse, 2010.
- [7] **Benjamin Potelon.** *Etude et conception de Filtres Hyperfréquences Hybrides Planaires-Volumiques*, Thèse de Doctorat, Université de Bretagne Occidentale, 2007.
- [8] **Keith R. Carver.** and James W. Mink, “Microstrip Antenna Technology”, *IEEE Transactions On Antennas and Propagation*, vol. AP.29, no.1, pp.2-24, January 1981.
- [9] **Emmanuel Rampnoux .** *Analyse Conception et réalisation de filtres planaires Millimétriques appliqués à la radiométrie spatiale*, thèse de Doctorat, Université de Limoges, Mars 2003.
- [10] **Benjamin Potelon.** *Etude et Conception de Filtres Hyperfréquences Hybrides Planaires-Volumique*, Thèse de Doctorat, Université de Bretagne Occidentale, Décembre 2007.
- [11] **Tzong-Lin Wu,** *Micro Wave filter Design*, Department of Electrical Engineering National, Taiwan University.

- [12] **Daniel H. Schaubert, Frederick G. Farrar, Arthur Sindoris, and Scott T. Hayes.** “Microstrip Antennas with Frequency Agility and Polarization Diversity”, IEEE Transactions On Antennas and Propagation, vol.29, no.1, pp.118-123, January 1981.
- [13] **Hamza Issa.** Miniaturisation des lignes de propagation micro-ondes en technologies Circuit imprimé et CMOS- Application à la synthèse de filtres, thèse de Doctorat, Université Joseph Fourier, Novembre 2009.
- [14] **S. Dali, M. Feham, N. Benahmed, M. Meliani, K. Nouri.** Hautes performances des Lignes Planaires Micro usinées sur membrane : Application à la conception des filtres.
- [15] **Munk, B. A.** Frequency Selective Surfaces - Theory and Design, John Wiley & Sons, New York, 2000.
- [16] **Brito, D. B., D'Assunção, A. G., Maniçoba, R. H. C., e Begaud, X.** Metamaterial Inspired Fabry–Pérot Antenna with Cascaded Frequency Selective Surfaces, Microwave and Optical Technology Letters, vol. 55, pp. 981-985, 2013.
- [17] **Tennant, A., Hurley, W., et Dias, T.** Experimental Knitted, Textile Frequency Selective Surfaces, Electronics Letters, vol. 48, Iss. 22, pp. 1386-1388, 2012.
- [18] **Mahmoud Niroo-Jazi,** Nimble Radiation-Pattern Antennas Using Agile Frequency Selective, Thèse de Doctorat en Telecommunication, Université du Québec, Juin 2012.
- [19] **Halim BOUTAYEB.** Etude des structures périodiques planaires et conformes associées aux antennes. Application aux communications mobiles, Thèse doctorat, l'université de Rennes1, décembre 2003.
- [20] **Gustavo Araújo Cavalcante.** Développement de circuits planaires sur des substrats textiles, Thèse de doctorat en génie électrique et informatique, Université fédérale de Rio grande de nord centre de Technologie, Avril 2014.
- [21] **Raouia, SAIDI.** Contribution à l'étude des filtres planaires micro-ondes à réseaux périodiques et/ou presque périodiques de patchs perturbés par la méthode WCIP pour des applications à bandes larges et à doubles polarisations". s.l. : Université de Batna 2, 12 oct 2019.

- [22] **Awatef, DJOUIMAA.** Thèse Doctorat " Contribution à l'étude des structure planaires à plusieurs niveaux de métallisation et à substrat multicouches." s.l. : Université de Batna 2, 2017.
- [23] **El hani . Rachid.** "Contributions Au Contrôle Du Faisceau D'antenne Réflecteur En Utilisant Les Surfaces sélectives En Fréquences Et Les Réseaux Réflecteurs," Thèse De Doctorat, Département De Génie électrique, Université De Montreal, Mars 2014.
- [24] **Wu, T. K., K. Woo, and S. W. Lee.** "Multi-ring element FSS for multi-band applications," IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium 1992 Digest. IEEE, 1992.
- [25] **Euloge Budet. Tchikaya.**"Modélisation électromagnétique des Surfaces Sélectives en Fréquence finies uniformes et non-uniformes par la Technique de Changement d'Echelle (SCT), " Micro- onde, Electromagnétisme et Optoélectronique, 22 octobre 2010.
- [26] **Suhair Mansoor Mahmood.** "Antennes Reconfigurables en Diagramme de Rayonnement base de Surfaces Sélectives de Fréquence, " Thèse du Doctorat, En Télécommunications, 2016.
- [27] **L. Thepaut.** "Etude de filtres hyperfréquences compacts à basse fréquence," Thèse de doctorat, En Electronique, Université De Bretagne Occidentale, 08.03.2017.
- [28] **A.L.P de S.Campos, Tercio de L.Silva, A.G.d'Assunção and R.H.C.Maniçoba** "A Comparative Study of Two Numerical Techniques To Analyze Double Screen Frequency Selective", Microw. Opt. Technol. Lett, vol.55, no.9, pp.2206-2209, 2013.