



Université ABBES LAGHROUR Khenchela
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Industriel
جامعة عباس لغرور خنشلة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم الهندسة الصناعية



N° Série :.....

Mémoire de fin d'étude

présenté pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Télécommunications

Spécialité : Systèmes des Télécommunications

THEME

**Conception et modélisation des
antennes compactes pour les
communications sans fil.**

Réalisé par : - M^{lle} BAKHOUCHE Rayane

- M. MEBARKIA Fadel

Devant Le Jury :

Présidente:

Dr. KHALFAOUI Fatima

Rapporteur:

Pr. BEDRA Sami

Examineur:

Dr. HASSAD Mourad

Promotion 2022/2023

Remerciements

Tout d'abord, je remercie ALLAH, le tout puissant sans sa volonté rien n'est possible, qui m'a donné de l'aide, du courage et de la patience afin de réaliser ce mémoire.

*Nos remerciements à notre encadrant **Pr.BEDRA Sami**, qu'il trouve ici l'expression de nos sincères remerciements d'avoir bien voulu accepter d'encadrer ce mémoire et de nous avoir dirigés avec patience et intérêt pendant ce travail. Nous lui exprimons notre profonde gratitude pour tous ses conseils, son aide précieuse, son dévouement pour le travail et toutes les ressources qu'il a mis à notre disposition.*

Nous adressons tous nos remerciements aux membres du jury :

- **Dr. HASSAD Mourad**
- **Dr. KHALFAOUI Fatima**

Pour leur rigueur scientifique, leur professionnalisme, pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail en acceptant d'être membres de jury de notre mémoire.

Nous n'oublions pas de remercier tous nos collègues et amis sans exception.

Merci à tous.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à

A ma chère mère pour l'éducation qu'elle m'a donnée avec tout Moyens et au prix de tous les sacrifices que tu as faits pour moi, pour le sens du devoir que tu m'as appris depuis mon enfance.

A mon cher papa qui m'a fourni un soutien et une confiance sans faille, et de ce fait, je ne saurais exprimer mon gratitude seulement par des mots, que dieu le protège et le garde pour moi.

A mes deux sœurs Imane et Racha

A mon seul et unique frère Wassim

A ma grande famille sans exception.

A tous mes amis.

A toutes ma promotion, master Systèmes des Télécommunications 2022-2023

Rayane

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mes parents, je vous aime très fort. À mon Père qui sacrifié leur temps pour moi, j'espère que Dieu entré dans son paradis et ma très chère Mère pour leur soutien apporté à cette étude et au sourire d'ange et encourageant que Dieu vous procure une longue vie.

À toute ma famille grande et petite.

À mes Frères, mes Sœurs et leurs Enfants, que Dieu vous garde, vous procure une longue vie.

À tous mes Amis et ceux que je connaisse de près et de loin.

Ce travail est dédié aussi à tous les universitaires Algériens pour les différentes étapes de leurs études.

À tous ceux qui m'aiment.

Table des Matières

Table des Matières

Introduction Générale	2
-----------------------------	---

Chapitre I

Généralités sur les Antennes Microbandes

I.1. Introduction.....	6
I.2. Historique	6
I.3. Définition	6
Figure. I.1. Présentation d'une antenne imprimée.	7
I.4. Principe de fonctionnement.....	7
I.5. Structure d'une antenne patch	7
I.6. Les différentes formes du patch.....	8
I.7. Techniques d'alimentation	9
I.7.1. Alimentation par contact	10
<i>I.7.1.1. Alimentation par ligne microruban</i>	<i>10</i>
<i>I.7.1.2. Alimentation par sonde coaxiale.....</i>	<i>10</i>
I.7.2. Alimentation par proximité	11
<i>I.7.2.1. Alimentation par fente</i>	<i>11</i>
<i>I.7.2.2. Alimentation par couplage de proximité</i>	<i>11</i>
I.8. Différentes méthodes d'analyse des antennes microbandes.....	13

I.8.1. Méthodes analytiques	13
<i>I.8.1.1. Modèle de la ligne de transmission</i>	13
<i>I.8.1.2. Modèle de la cavité</i>	13
I.8.2. Méthodes numériques rigoureuses.....	14
<i>I.8.2.1. La méthode aux différences finies</i>	14
<i>I.8.2.2. La méthode des éléments finis</i>	14
<i>I.8.2.3. La méthode des moments</i>	15
<i>I.8.2.4. La méthode spectrale</i>	15
I.9. Avantages et Limitations des Antennes Patches.....	16
I.9.1. Les avantages.....	16
I.10. Les applications des antennes microbandes.....	16
I.11. Conclusion	17
I.12. Références bibliographiques.....	17

Chapitre II

Modèle mathématique d'une antenne microbande rectangulaire

II.1. Introduction.....	21
II.2. Modèle de la cavité	21
II.3. Les Champs dans la cavité	22
II.4. Formulation mathématique	23
II.5. Modèle de la cavité modifiée d'une antenne microbande de forme rectangulaire....	28
II.6. Antenne microbande compacte en forme de E	29
II.7. Conclusion	30
II.8. Références bibliographiques.....	30

Chapitre III

Conception et modélisation d'une antenne compacte

III.1. Introduction.....	33
III.2. Géométrie de l'antenne patch E	34
IV.3. Discussions des résultats numériques	35
IV.3.1. Etude paramétrique de l'antenne proposée	35
IV.3.2. Etude paramétrique de l'antenne proposée	38
IV.4. Conclusion	44
IV.5. Références bibliographiques.....	44

Chapitre IV

Conception d'une antenne compacte pour les communications sans fil

IV.1. Introduction.....	47
IV.2.1. Etude paramétrique de l'antenne proposée	48
IV.2.2. Structure finale de l'antenne optimisée	52
IV.3. Conclusion	57
IV.4. Références bibliographiques.....	58

Conclusion Générale.....	60
Résumé, Abstract, ملخص	62

Introduction Générale

Introduction Générale

Dans les années 1950, le concept d'antenne Patch a été proposé et développé pour la première fois dans les années 1970 [1-2]. Maintenant, avec le flux d'antennes de communication imprimées dans de nombreux appareils électroniques, par exemple : (les ailes des avions, les téléphones portables, etc...) [3]. Ces antennes se caractérisent par une faible hauteur, compatibles avec des surfaces planes, résistantes mécaniquement lorsqu'elles sont montées sur des surfaces solides, simples et peu coûteuses à fabriquer, compatibles avec les conceptions [4]. Il y a un élément qui compose l'antenne microbande en plusieurs géométries variables (rectangulaire, circulaire, triangulaire, carrée, etc...) [5]. Il peut aussi être appelé patch conducteur.

Plusieurs modèles et méthodes ont été proposés pour analyser les antennes patches, que l'on peut classer en deux groupes : Le premier groupe comprend des méthodes simples et intuitives, qui sont basées sur des hypothèses physiques qui se traduisent généralement par des formules simples. Le deuxième groupe comprend des méthodes analytiques rigoureuses. Ces méthodes se concentrent sur le problème des limites des grandeurs électroniques, elles sont fondées sur la base de formalismes mathématiques complexes, et ne peuvent conduire à des résultats exploitables que par le biais d'une résolution numérique [5].

Les méthodes que nous venons d'évoquer ne sont pas les seules manières théoriques de prédire les propriétés des antennes microbandes. Aujourd'hui, il s'avère qu'il existe de nombreux programmes commerciaux de simulation électromagnétique qui ont prouvé leur existence dans l'analyse de ces antennes, parmi ces logiciels les plus célèbres le logiciel HFSS (High Frequency Structure Simulator) [5]-[7].

L'objectif de ce mémoire est la conception d'une antenne microbande compacte pour les communications sans fil. Utilisant le modèle de la cavité basé sur les connaissances électromagnétiques pour prévoir la fréquence de résonance de la structure étudiée. Cette étude s'articule scinder en quatre chapitres.

Tout d'abord, dans le premier chapitre introductif, on a présenté les antennes patches nous avons présenté des généralités (la définition, l'historique, le principe de fonctionnement, les différentes formes des antennes patches). Nous avons parlé de leurs techniques

d'alimentation, les différentes méthodes d'analyse, ainsi leurs avantages et à la fin en a terminé ce chapitre par les applications des antennes microbandes.

Dans le deuxième chapitre nous avons formulé les équations du modèle de cavité pour modéliser analytiquement une antenne microruban rectangulaire, qui est assimilée à une cavité résonnante à deux parois électriques parfaites, relatif aux surfaces parfaitement conductrices, et quatre murs latéraux magnétique. L'inclusion des champs de bord dans la formulation mathématique permet d'obtenir un modèle fiable pour des substrats minces et épais. Ainsi, le procédé peut traiter le cas d'une antenne compacte de forme de E avec une relative facilité.

Le chapitre trois est consacré à la présentation des résultats numériques concernant les caractéristiques de l'antenne rectangulaire compacte en forme de E , en utilisant le simulateur électromagnétique HFSS.

Dans le dernier chapitre avons fait une simulation de L'antenne compacte de forme F inversé, en utilisant le simulateur électromagnétique HFSS qui a permet de montrer ses caractéristiques pour les différentes valeurs de la permittivité relative ϵ_r , après, nous avons présenté les résultats de simulation suivis par des commentaires et des discussions.

Finalement, on donne une conclusion générale de ce mémoire, en énumérant les différentes phases importantes de ce manuscrit. On parlera aussi des problèmes rencontrés et des suggestions pour des travaux futurs.

Références bibliographiques

- [1] Bedra, Randa. "*Etude d'une antenne supraconductrice couverte par une couche diélectrique*"., Thèse de Doctorat, Université de Batna 2, 2018.
- [2] Bedra, Sami. "*Evaluation analytique et numérique des caractéristiques électromagnétiques des structures microbandes ouvertes*"., Thèse de Doctorat, Université de Batna 2, 2015.
- [3] Massaoudi, Soumia. "*Etude théorique et expérimentale des matériaux à bandes interdites photoniques bidimensionnels (BIP 2D) en micro-ondes : application à l'ultraréfraction*"., Thèse de Doctorat, Université de Paris XI Orsay, 2005.

- [4] Türker, Nurhan, Filiz Güneş, and Tülay Yildirim. "Artificial neural networks applied to the design of microstrip antennas." *Mikrotalasna revija* , Vol. 12, no.1 , pp. 10-14, 2006.
- [5] Benkouda, Siham. "*Contribution à l'étude des problèmes de caractérisation des antennes microrubans à plaques rayonnantes parfaitement conductrices et supraconductrices.* ", Thèse de Doctorat, Batna, 2011.
- [6] Fadila Benmeddour. "Etude et réalisation d'un résonateur microruban de forme circulaire.", Thèse de Doctorat, Université de Constantine 1, 2012.
- [7] Alikacem, Mohamed Kamel,. "Etude comparatif entre une antenne patch rectangulaire Et une autre inversée par le logiciel HFSS.", Mémoire de Master, Université de Médéa, 2021.

Chapitre I

Généralités sur les Antennes Microbandes

I.1. Introduction

Les antennes sont une partie très importante dans un système de communication sans fil. Selon la définition standard d'IEEE (institute of Electrical and Electronic Engineer) des termes pour des antennes, une antenne est un moyen de rayonner ou recevoir les ondes radio [1]. Autrement dit, une antenne est un système de conducteurs qui est la partie d'un émetteur ou système de réception conçu pour émettre ou recevoir des ondes électromagnétiques [2]. L'antenne patch, appelée aussi antenne plaquée est un type récent d'antenne dont le développement et l'utilisation sont de plus en plus fréquents. Elle est constituée d'un diélectrique, possédant un plan de masse métallique sur une face. Sur l'autre face, une gravure métallique permet de supporter des courants de surface qui créent le rayonnement électromagnétique [3].

I.2. Historique

Le concept de l'antenne microbande tout d'abord a été proposé dans les années 1953 par Deschamps [1]. Un brevet a été publié en France en 1955 par Gutton et Baissinot. Mais c'est au début des années 70 qu'elles ont été développées, grâce au développement de la technologie des circuits imprimés et la disponibilité de substrats de bonne qualité avec des pertes minimales et des propriétés mécaniques meilleures, plusieurs applications des antennes microbandes ont été réalisées. En 1972, Howells a produit des antennes imprimées avec des polarisations linéaires et circulaires dans les deux bandes *L* et *UHF* pour la NASA. À la même période, Robert Munson de « Ball Aerospace System » conçu une antenne imprimée conformée sur toute la circonférence d'un missile [4].

I.3. Définition

Une antenne patch est une ligne microbande de forme particulière. Elle se compose d'un plan de masse et d'un ou de plusieurs substrats diélectriques dont la surface porte un élément métallique [5]. L'élément rayonnant, déposé sur un substrat diélectrique dont la face inférieure est entièrement métallisée pour réaliser un plan de masse [6]. Elles sont largement utilisées dans la bande de fréquences micro-ondes, à cause de leur simplicité et compatibilité

avec la technologie des circuits imprimés faisant d'elles une structure facile à produire. La figure I.1 présente la structure typique d'une antenne microbande.

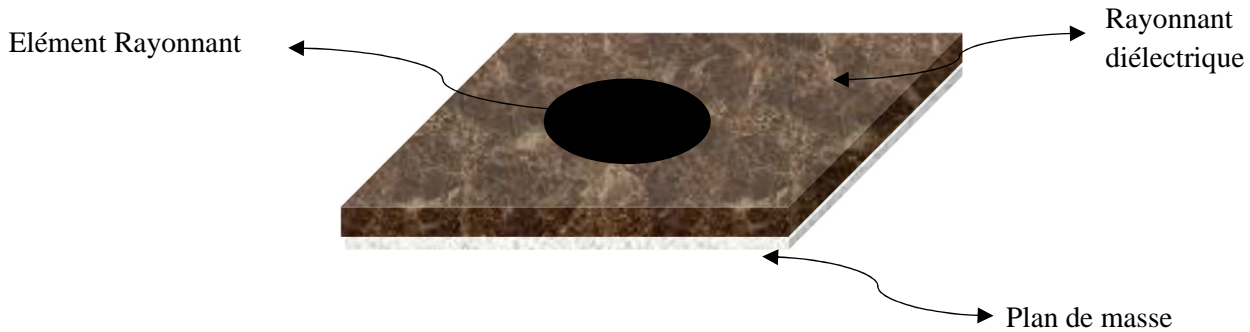


Figure. I.1. Présentation d'une antenne imprimée.

I.4. Principe de fonctionnement

Pour mieux comprendre le mécanisme de rayonnement des antennes microbandes, la Littérature scientifique s'appuie généralement sur la théorie de l'optique (voir la figure I.2.) [7]-[14].

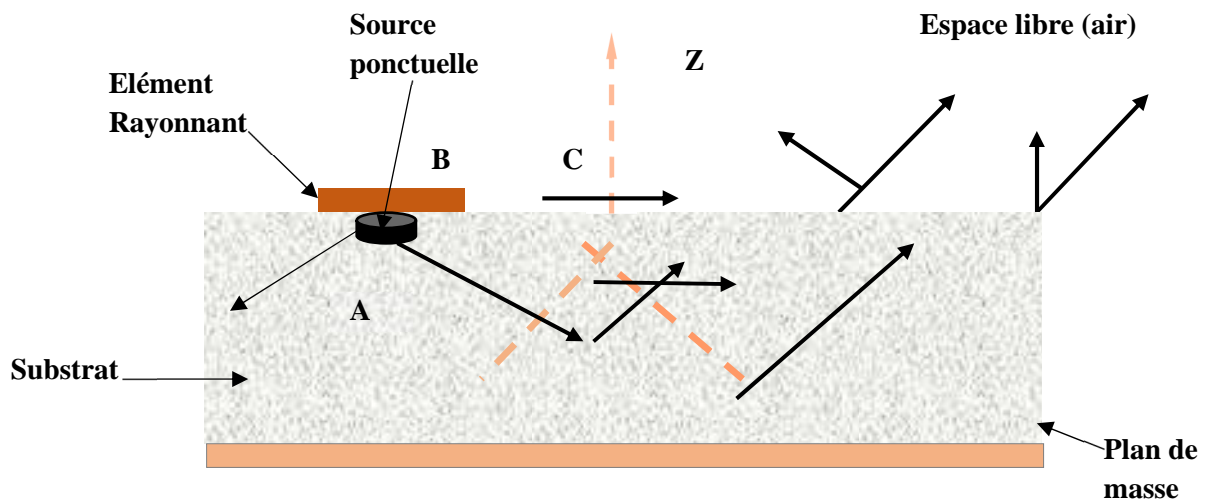
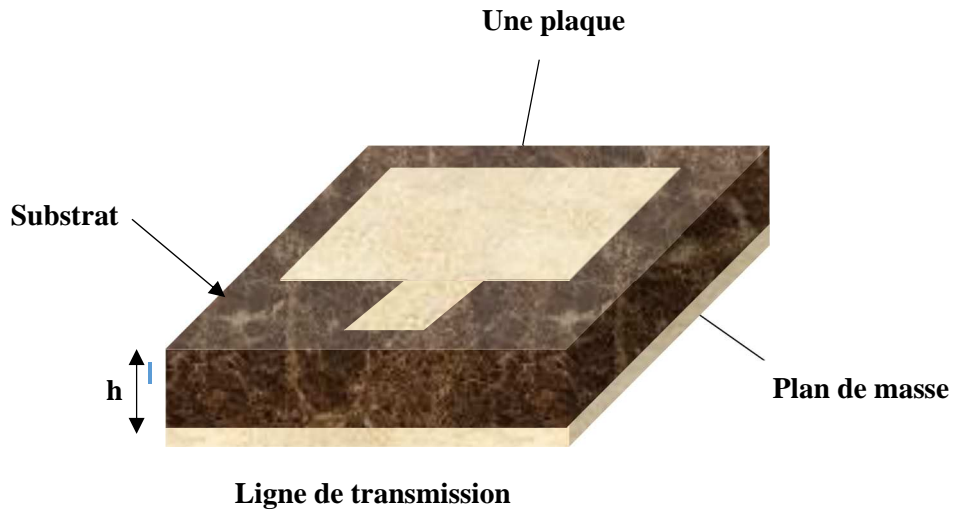


Figure. I.2. Trajectoires des rayons dans une antenne microruban.

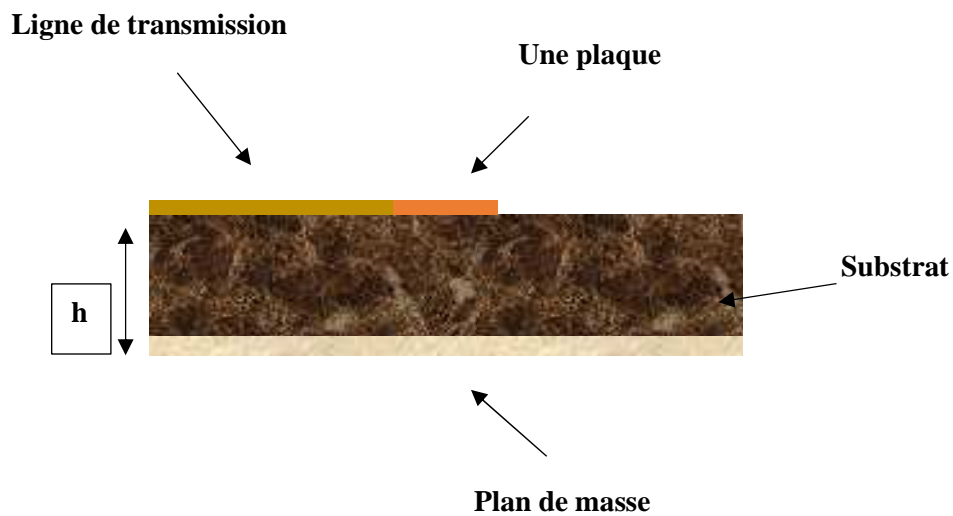
I.5. Structure d'une antenne patch

La configuration la plus simple d'une antenne microbande (Figure I.3) est constituée

D'un plan de masse, un substrat diélectrique caractérisé à la fois par une permittivité ϵ_r , électrique, et une perméabilité magnétique μ_r , et un élément rayonnant de forme Quelconque appelé patch [15]



(a)



(b) vue latérale.

Figure I.3. Structure d'une antenne patch, (a) vue frontale, (b) vue latérale.

I.6. Les différentes formes du patch

En pratique, L'élément rayonnant peut prendre plusieurs formes, Les formes les plus Utilisées sont montrées dans la figure ci-dessous (Figure I.4).

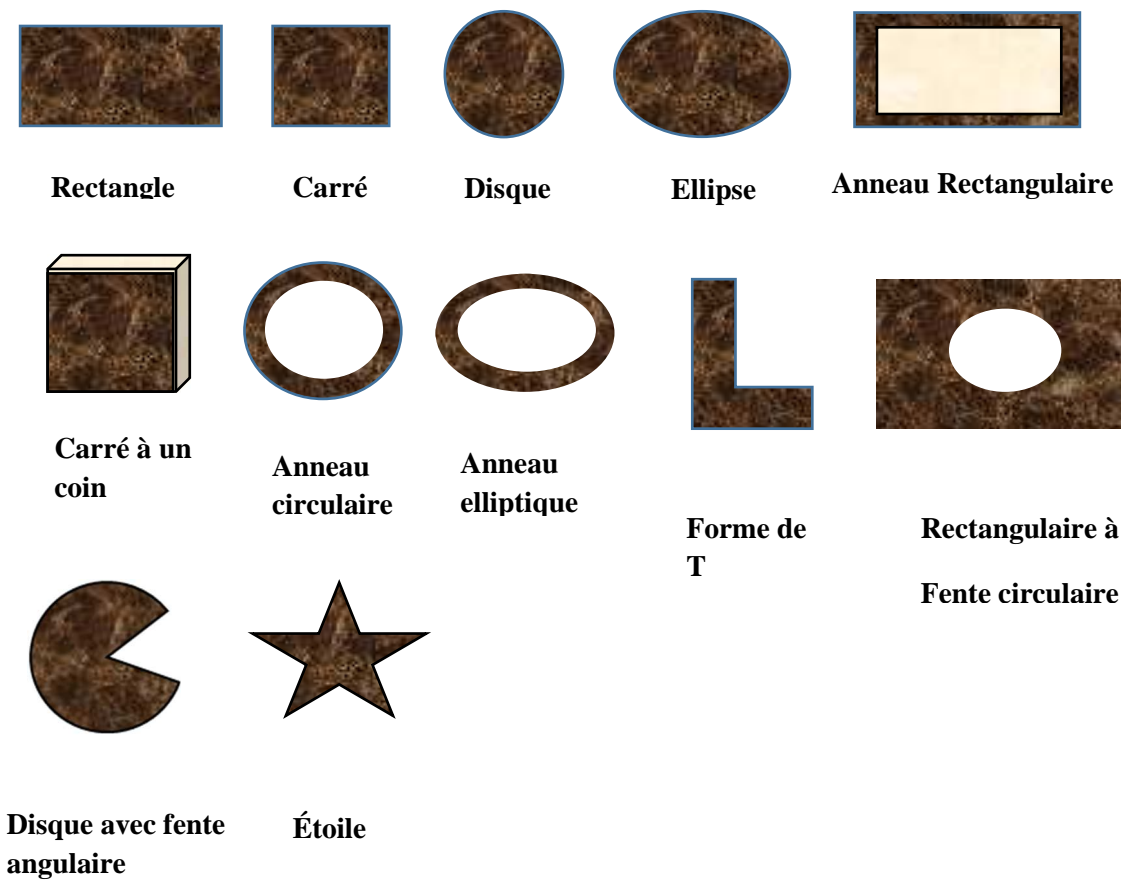


Figure I.4. Différentes formes d'antenne microbande.

I.7. Techniques d'alimentation

L'alimentation des antennes patch est l'une des parties les plus importantes dans le processus de la conception. Pour cela, plusieurs techniques ont été considérées dans ce but. En effet, elles peuvent être classées en deux grandes catégories [16] :

- **Par contact :**
 - ligne micro-ruban.
 - câble coaxial.
- **Par proximité :**
 - Couplage à ouverture (fente).
 - Alimentation par couplage de proximité

I.7.1. Alimentation par contact

I.7.1.1. Alimentation par ligne microruban

L'alimentation peut être établie par la connexion directe à une ligne microbande

(Figure. I.5), dont le point de jonction est sur l'axe de symétrie de l'élément ou décalé par rapport à cet axe de symétrie si cela permet une meilleure adaptation d'impédance [16].

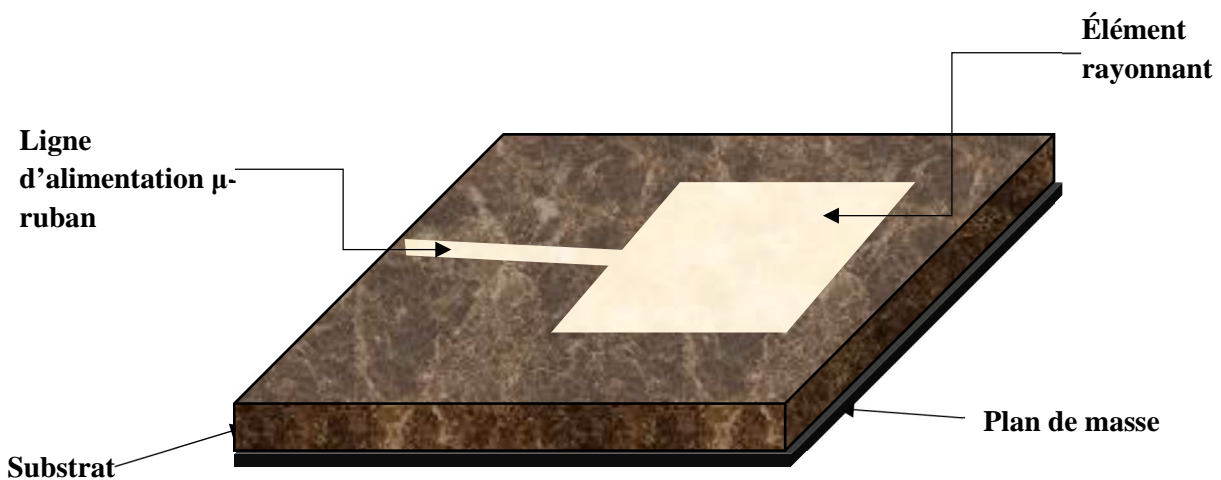


Figure. I.5. Alimentation par ligne microruban.

I.7.1.2. Alimentation par sonde coaxiale

L'alimentation avec câble coaxiale ou alimentation par sonde est une technique très utilisée pour alimenter les antennes microrubans (Figure I.6). Dans ce cas, le conducteur intérieur du connecteur coaxial traverse le diélectrique et est soudé au patch, alors que le conducteur externe est relié au plan de masse. L'avantage principal de ce type d'alimentation est qu'elle peut être appliquée à n'importe quel endroit choisi à l'intérieur du patch, avec une facilité de fabrication. Cependant, cette méthode présente des inconvénients au niveau du diagramme de rayonnement. En effet, la connexion génère un pic de courant localisé au niveau de l'élément rayonnant qui peut induire une dissymétrie dans le diagramme de rayonnement. De plus, des pertes apparaissent avec le perçage du plan de masse, du diélectrique ainsi que de l'élément rayonnant [17].

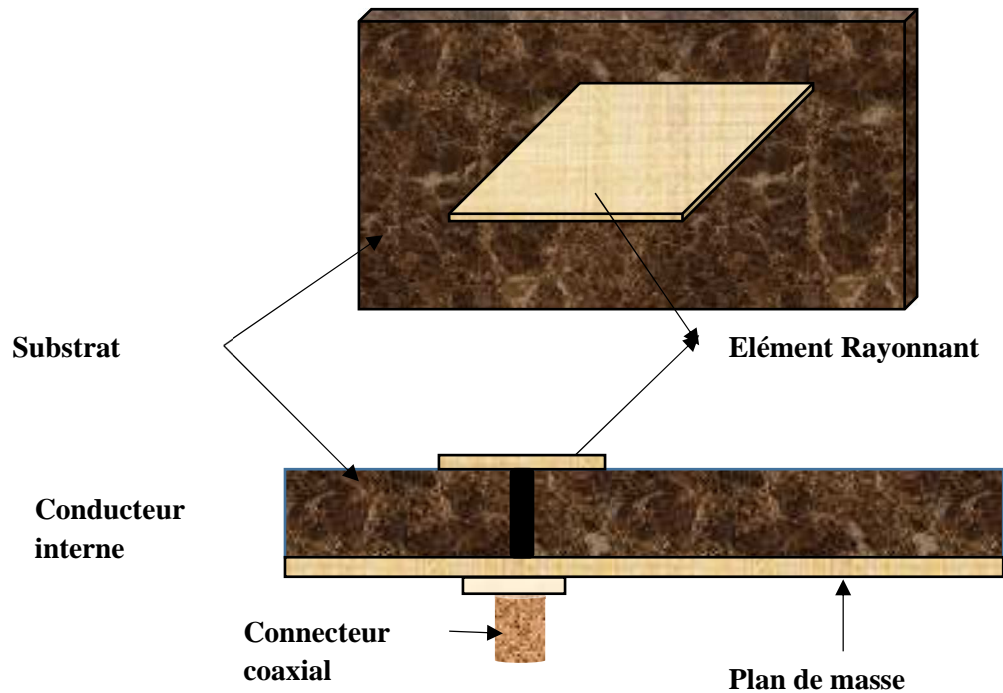


Figure I.6. Alimentation par sonde coaxiale.

I.7.2. Alimentation par proximité

I.7.2.1. Alimentation par fente

Cette structure (figure I.7) est constituée par deux substrats séparés par un plan de masse, le patch est imprimé sur le substrat supérieur et le ruban d'alimentation est imprimé sur le substrat inférieur, avec une fente non résonnante fendue dans le plan de masse [18]-[24].

I.7.2.2. Alimentation par couplage de proximité

Cette technique d'alimentation est connue également sous le nom de couplage électromagnétique. Deux substrats diélectriques sont employés tels que la ligne d'alimentation est située entre les deux substrats et le patch est imprimé sur le substrat supérieur (figure I.8). L'avantage principal de cette technique est qu'elle élimine le rayonnement parasite due à l'alimentation et fournit une largeur de bande élevée, en raison de l'augmentation globale de l'épaisseur de l'antenne microbande. Cette technique fournit également des choix entre deux milieux diélectriques différents, un pour le patch et un pour la ligne d'alimentation pour optimiser les performances de l'antenne [25]-[26].

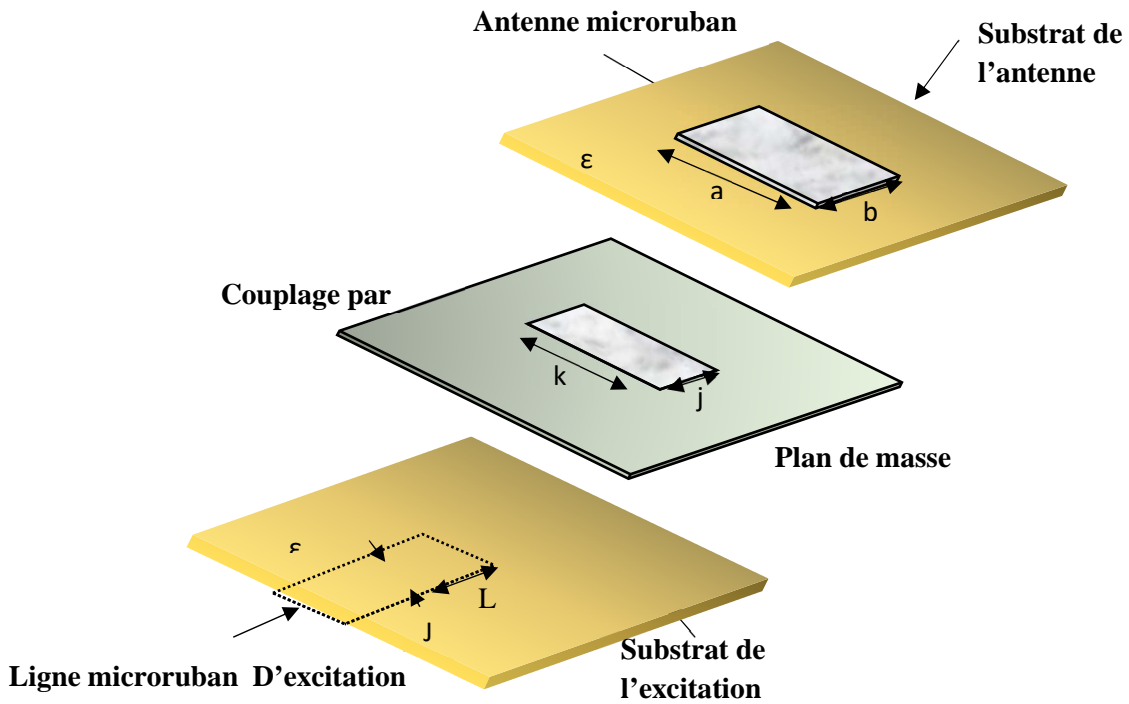


Figure I.7. Alimentation par fente.

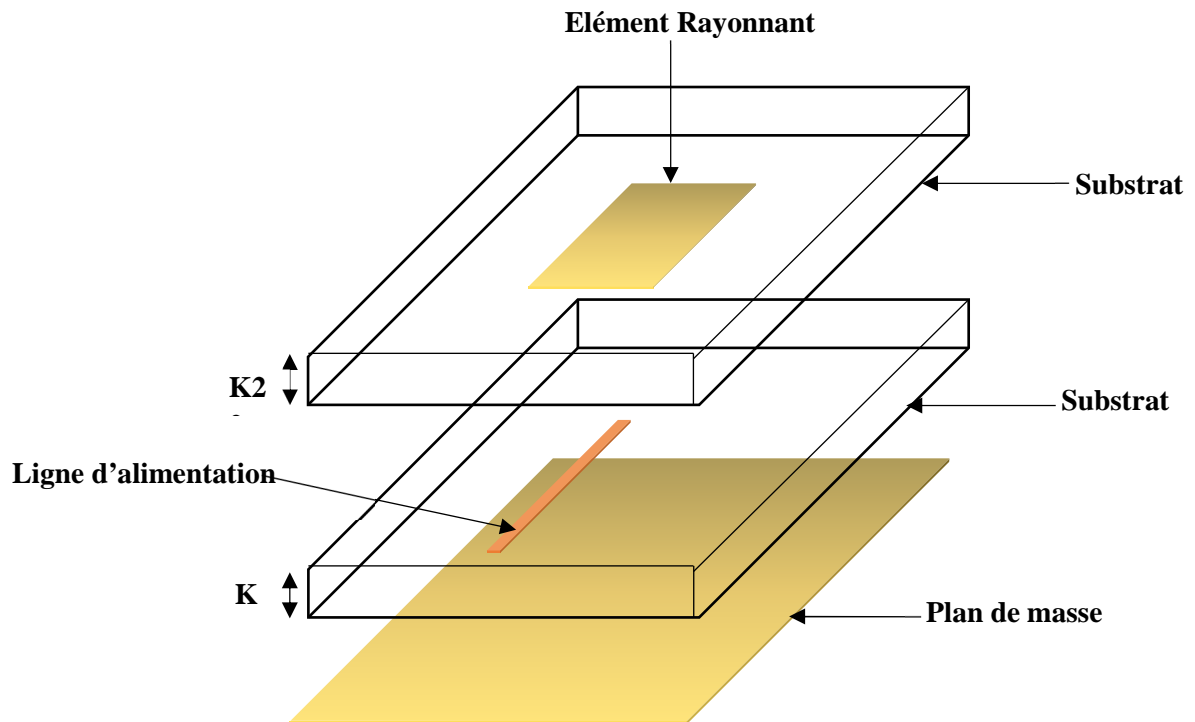


Figure I.8. Alimentation par couplage de proximité.

I.8. Différentes méthodes d'analyse des antennes microbandes

Depuis l'avènement des antennes planaires microbandes, plusieurs méthodes d'analyse ont été utilisées, allant des modèles intuitifs simples jusqu'aux méthodes numériques. On peut classer ces méthodes en deux catégories principales : les méthodes analytiques et les méthodes numériques [27].

I.8.1. Méthodes analytiques

Elles prennent en compte au départ la nature des phénomènes physiques, ce qui permet d'effectuer des approximations, permettant la modélisation du modèle en question. En premier lieu parmi ces méthodes, on peut citer quelques-unes [27] :

- Le modèle de la ligne de transmission.
- Le modèle de la cavité.

I.8.1.1. Modèle de la ligne de transmission

La méthode des lignes (**M**ethod **o**f **L**ines) est une méthode semi-analytique procédant à une discrétisation partielle des opérateurs différentiels de l'équation de Helmholtz dans l'espace. Deux des trois dimensions dans l'opérateur sont discrétisées, autorisant la résolution analytique, une fois découplée, des équations différentielles ordinaires sont obtenues. Cette technique semi-analytique implique habituellement les trois étapes de base suivantes [27] :

- Division de la région de résolution en couches ;
- Discrétisation de l'équation différentielle dans une direction ;
- Résolution des équations.

I.8.1.2. Modèle de la cavité

Il fournit une bonne interprétation physique. Pour l'étude d'autres formes géométriques de l'élément rayonnant, le modèle de la Cavité est plus adapté. Celui-ci s'applique dans la région limitée par la surface métallique du patch et du plan de masse associé. Cette région sera assimilée à une cavité dont les parois latérales seront des murs magnétiques et les faces supérieures et inférieures des murs électriques. C'est au niveau de parois latérales, que les courants de surface sont calculés et de l'est déduit le rayonnement [28]-[32].

I.8.2. Méthodes numériques rigoureuses

Ces méthodes sont les plus utilisées récemment. Elles sont basées sur la distribution du courant électrique sur le conducteur. Parmi ces méthodes, on peut citer :

- La méthode aux différences finies.
- La méthode des éléments finis.
- La méthode des moments.
- La méthode spectrale

I.8.2.1. La méthode aux différences finies

La méthode des différences finies dans le domaine temporel FDTD (Finite Difference Time Domain) est une approche numérique permettant la résolution des équations différentielles dans le domaine temporel dans une structure uniformément maillée. La méthode consiste à approcher les dérivées ponctuelles spatiales et temporelles qui apparaissent dans les équations de Maxwell par des différences finies centrées. L'approximation réside dans le remplacement de chaque dérivée de l'équation de Maxwell par une expression aux différences finies (à partir du théorème de Taylor) exprimant la valeur de l'inconnue en un point en fonction de sa valeur aux points voisins [29].

La résolution d'un problème par la méthode des différences finies implique trois étapes :

- Division de la région sous la forme d'une grille (maillage) ;
- Approximation de l'équation de Maxwell par différences finies en reliant les variables aux points voisins ;
- Résolution des équations aux différences finies par rapport aux conditions aux frontières.

Cette technique à l'avantage de permettre une caractérisation dans une large bande de fréquence d'une structure en une seule simulation, les paramètres de propagation et l'impédance caractéristique peuvent être déterminés en appliquant la transformée de Fourier [30].

I.8.2.2. La méthode des éléments finis

La Méthode des éléments finis 'FEM' (Finite Element Method) est employée dans plusieurs domaines de la physique afin de résoudre des équations aux dérivées partielles.

Le maillage de cette approche est souvent en tétraèdres. Dans chaque cellule, il y a une variation linéaire des champs qui sont déterminés en résolvant un système d'équations aux valeurs propres. Ce raisonnement est utilisé par le logiciel Ansys-HFSS [31].

La résolution d'un problème par la méthode des éléments finis implique 4 étapes :

- Discrétisation en éléments finis de la région de résolution ;
- Discrétisation des équations pour chaque élément ;
- Assemblage de tous les éléments dans la région de résolution ;
- Résolution du système d'équations.

1.8.2.3. La méthode des moments

Ce mode de calcul permet de déterminer les solutions des fonctions de Green [29]. Il s'agit de Calculer le champ diffracté par un conducteur parfait en présence d'une onde incidente. Une fois la distribution des courants de surface est connue, la description du champ électromagnétique à l'aide des fonctions de Green est ainsi retrouvée. En raison de son maillage surfacique en forme triangulaire, cette méthode est plutôt utilisée pour le calcul des structures planaires et celles grandes devant la longueur d'onde de travail. On trouve ce concept de calcul dans le'' logiciel ADS Momentum''. La méthode des moments (Method of Moments) est une technique numérique qui permet de résoudre efficacement le système d'équations intégrales en le transformant en un système matriciel résolu par ordinateur [30].

1.8.2.4. La méthode spectrale

Les méthodes intégrales, elles permettent d'obtenir les solutions d'un problème de propagation ou de discontinuités à partir de la détermination des distributions de courants ou de champs sur une surface particulière. Ces méthodes sont bien adaptées à la programmation sur ordinateur puisqu'elles utilisent peu de place mémoire et nécessitent de faibles temps de calcul. Cependant, le problème ne peut être résolu que si le cas étudié n'est pas trop complexe, de géométries simples, milieux pas très hétérogènes, etc.... [30].

La méthode d'analyse spectrale est d'actualité, on permet donc de réduire le problème vectoriel tridimensionnel en un problème bidimensionnel. Elle n'est pas limitée par les conditions classiques telles que la faible épaisseur du substrat et un constant diélectrique faible. Cette méthode est considérée comme étant la plus rigoureuse, bien qu'elle soit un peu coûteuse, du point de vue temps de calcul et précision exigée sur la détermination des éléments de la matrice associée. On a la possibilité d'inclure dans l'analyse l'effet des différents paramètres tels que la faible épaisseur du substrat, le constant diélectrique, les pertes par conducteur et diélectrique et les dimensions finies du

plan masse. La solution obtenue est d'autant plus proche et plus exacte lorsque la fonction de base modélise bien la variation réelle des courants surfaciques [23-32].

I.9. Avantages et Limitations des Antennes Patches

I.9.1. Les avantages

- Faibles poids, volume, épaisseur et coût,
- Facilité de la fabrication
- Antennes multi bandes, multi polarisations possibles
- Réseaux d'alimentation et d'adaptation fabriqués simultanément avec l'antenne
- Polarisation linéaire et circulaire pour les télécommunications

I.9.2. Les limitations

- Supportent uniquement des faibles puissances (100W) ;
- Bande passante relativement étroite, Généralement faible gain ;
- La plupart des antennes rayonnent uniquement dans le demi-plan ;
- Faible rendement (faible efficacité en fonction des dimensions de la structure et des pertes dans le substrat utilisé) [24].

I.10. Les applications des antennes microbandes

Les antennes microbandes remplacent les antennes classiques dans la plupart des applications, on cite quelques applications [11] :

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

I.11. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté des généralités sur les antennes microbandes, commençons par une définition, historique, principe de fonctionnement, et les différentes formes des antennes. Nous avons parlé de leurs techniques d'alimentation, les différentes méthodes d'analyse, ensuite nous avons présenté leurs avantages, limitations, et les applications des antennes microbandes.

I.12. Références bibliographiques

- [1] Deschamp, G.A "*Microstrip Microwave Antennas*" 3 rd USAF Symposium on Antennas, 1953.
- [2] Balanis, Constantine A. "*Antenna theory: analysis and design.* ", John wiley & sons, 2016.
- [3] Picon, Odile, et al. "*Les antennes : Théorie, conception et applications.* ", Dunod, 2009.
- [4] Chouti, L. "*Caractérisation d'une antenne microbande couplée par une ouverture de forme rectangulaire. Application à la réalisation d'une antenne multibande*", Thèse de Doctorat. Université de Constantine 1, 2018.
- [5] Aissaoui, Ch, "*Contribution à l'analyse des antennes microbandes avec excitation par la méthode du domaine spectral-Application à un réseau d'antennes microbandes*"., Thèse de Doctorat, Université de Constantine 1, 2017.
- [6] Belhedri, A. "*Influence de la supraconductivité à haute température de transition sur la résonance d'une plaque rectangulaire réalisée sur un substrat à anisotropie de type électrique et magnétique*", Mémoire de Magister, Université de Ouargla, 2013.
- [7] Aissaoui, Djelloul. "*Analyse à l'aide de modèles équivalents d'antennes imprimées alimentées par lignes adaptées.* ", Mémoire de Magister, Université de Tlemcen, 2007.
- [8] Mekimah, Boualem. "*Etude du fonctionnement en mode bifréquence des patches microbandes empilés et excentrés.* ", Mémoire de Magister, Université de Ouargla, 2013.
- [9] Refice, Mohamed Lamine. "*Modélisation et simulation des antennes en onde millimétrique à base de métamatériaux.*", Mémoire de Magister, Université Djelfa, 2014.

- [10] Khedrouche, Djamel. "Modélisation des antennes microbandes par une analyse tridimensionnelle rigoureuse en utilisant une méthode intégrale.", Thèse de Doctorat, Université de Constantine, 2009.
- [11] Bedra, Sami. "*Evaluation analytique et numérique des caractéristiques électromagnétiques des structures microbandes ouvertes.* ", Thèse de Doctorat, Université de Batna, 2015.
- [12] Meddour Meriem, Benkedda Siham, "Etude et simulation d'une antenne microbande dans la bande WiFi 5 GHz.", Mémoire de Master, Université de Ouargla, 2017.
- [13] Djouablia, Linda, "Contribution à l'étude des structures microbandes rayonnantes par la méthode des moments application à la forme triangulaire.", Thèse de Doctorat, Université de Constantine 1, 2017.
- [14] Belhedhri, Abdelkrim. "*Influence de la supraconductivité à haute température de transition sur la résonance d'une plaque rectangulaire réalisée sur un substrat à anisotropie de type électrique et magnétique.* ", Mémoire de Magister, Université de Ouargla, 2013.
- [15] Chen, Zhi Ning, and Michael Yan Wah Chia. "*Broadband planar antennas : design and applications.* ", John Wiley & Sons, 2006.
- [16] Chebbara, Fouad. "*Etude des caractéristiques de résonance et de rayonnement des antennes microbandes réalisées avec des matériaux ayant une anisotropie de type électrique et magnétique.* ", Thèse de Doctorat, Université de Batna, 2011.
- [17] Luk, K. M., et al. "Broadband microstrip patch antenna.", *Electronics letters*, vol. 34, no.15, pp.1442-1443, 1998.
- [18] Bedra, Sami, et al. "Analysis of HTS circular patch antennas including radome effects." *International Journal of Microwave and Wireless Technologies*, vol. 10, no. 7 , pp. 843-850, 2018.
- [19] Melihi, Souhila, Tine-hinane Fengal, and M. Rouha. "*Antenne de téléphonie mobile caractérisation et optimisation.* ", Mémoire de Master, Université béjaia, 2016.
- [20] Chouti, Leila, "*Caractérisation d'une antenne microbande couplée par une ouverture de forme rectangulaire. Application à la réalisation d'une antenne multibande.* ", Thèse de Doctorat, Université de Constantine 1, 2018.
- [21] Chenouf , Ahlem, and Bouguettaya. "*Amélioration des performances de l'antenne patch microstrip en utilisant une structure de bande interdite électromagnétique.* ", Mémoire de Master, Université de M'sila, 2020.

- [22] Pozar, David M. "Microstrip antennas." *Proceedings of the IEEE* 80.1, pp.79-91, 1992.
- [23] Wahiba, Abdellaoui, and Chergui Farida. "*Etude de l'antenne patch rectangulaire par le modèle de la cavité.* ", Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri, 2012.
- [24] Bedra, Randa. "*Etude d'une antenne supraconductrice couverte par une couche diélectrique.* ", Thèse de Doctorat, Université de Batna 2, 2018.
- [25] Yahya, Rabia. "*L'étude et la Réalisation des Antennes Ultra Large Bande à Double Polarisation.* ", Institut National de la Recherche Scientifique (Canada), 2011.
- [26] Kaid Omar, "*Conception et modélisation d'une antenne pour les communications Ultra Large Bande.* " , Mémoire de Master, Université de Mesila, 2013.
- [27] Mosig, Juan Ramon, and Freddy Gardiol. "Techniques analytiques et numériques dans l'analyse des antennes microruban." *Annales des télécommunications*. Vol. 40.
- [28] Touati, Mohamed Housseem Eddine. "*Conception et Simulation d'une antenne micro-ruban circulaire.* ", Mémoire de Master, Université de Biskra, 2014.
- [29] Benmeddour. Fadila "*Etude et réalisation d'un résonateur microruban de forme circulaire.*", Thèse de Doctorat, Université de Constantine, 2017.
- [30] Tighilt, Yamina. "*Identification des antennes microrubans multicouches par la méthode spectrale et les réseaux de neurones.* ", Thèse de Doctorat, Université de Sétif, 2011.
- [31] Mekkioui Zahra., "*Contribution à l'analyse d'antennes diélectriques microruban à ondes de fuite unidimensionnelle et bidimensionnelle à motif métallique quelconque.*", Thèse de Doctorat, Université de Tlemcen, 2004.
- [32] Maaloul Elhadi, Hamaddou Akram. "*Etude et Simulation d'une Antenne Micro-ruban Ultra Large Bande.*", Mémoire de Master, Université de Ouargla, 2018.

Chapitre II

Modèle mathématique d'une antenne
microbande

II.1. Introduction

La conception d'antennes imprimées avait été proposée par Deschamps dès 1953 mais la mise en œuvre efficace de ces antennes n'est entrée en jeu qu'avec l'apparition sur le marché d'un diélectrique à faibles pertes [1]-[5]. Depuis, la recherche dans ce domaine n'a cessé de se croître pour exploiter les avantages de ces antennes (faible poids, faible volume et épaisseur réduite, réseau d'antennes, ...etc.) [6]. Ces divers avantages sont assortis d'inconvénients non négligeables tels que : largeur de bande étroite, faible gain [7]. Les antennes imprimées rectangulaires ou antennes patches rectangulaires (Figure 1) sont largement utilisées dans les différentes applications de télécommunications. Elles sont facilement modélisées en utilisant la méthode des lignes de transmission et la méthode des cavités résonantes [8].

II.2. Modèle de la cavité

Grâce à nos recherches, nous apprenons à utiliser des modèles équivalents, simples et précis basés sur le modèle de cavité. Une autre méthode d'analyse de plaquette est le modèle de cavité, dans lequel la zone entre le patch et le plan de masse est traitée comme un modèle de cavité, dans lequel la zone entre le patch et le plan de masse est traitée comme des parois de cavité électrique entourées en haut et en bas. Parois magnétiques en bordure [8]-[11].

Parce que le substrat utilisé est mince par rapport à la longueur d'onde dans le milieu diélectrique, les champs intra cavité restent uniformes sur toute l'épaisseur du substrat, tandis que le courant magnétique équivalent autour de la périphérie calcule les champs lointains et le rayonnement

Le modèle de cavité fournit un formalisme pour décrire les champs dans l'antenne et les champs rayonnés. Contrairement au modèle de ligne de transmission qui est contraint à un champ rectangulaire. Le modèle de cavité a été créé à la fin des années 1970 lorsque la puissance de calcul des ordinateurs ne permettait pas d'exploiter tout le potentiel des méthodes de résolution numérique [8]. Parmi ses avantages :

La surface sous la couche supérieure peut être facilement estimée pour une variété de géométries. Dans ces conditions tous les modes excités dans la cavité peuvent être pris en

compte, ce qui est particulièrement important lorsque l'épaisseur du substrat augmente ou lorsque les deux faces de l'antenne sont égales, donc dans ce cas une excitation d'au moins se produit deux modes d'amplitude égale [11].

II.3. Les Champs dans la cavité

Les champs à l'intérieur d'un substrat diélectrique sont ceux d'une cavité délimitée par des conducteurs électriques horizontaux et des parois latérales magnétiques.

D'après le schéma de la figure ci-dessus. Lorsque l'élément rayonnant est alimenté, une répartition de charge s'établit sur les surfaces inférieure et supérieure de cet élément, ainsi que sur la surface plane de masse. Cette distribution de charge est entraînée par deux mécanismes : le mécanisme d'attraction et le mécanisme de répulsion comme discuté par *Richards* [11].

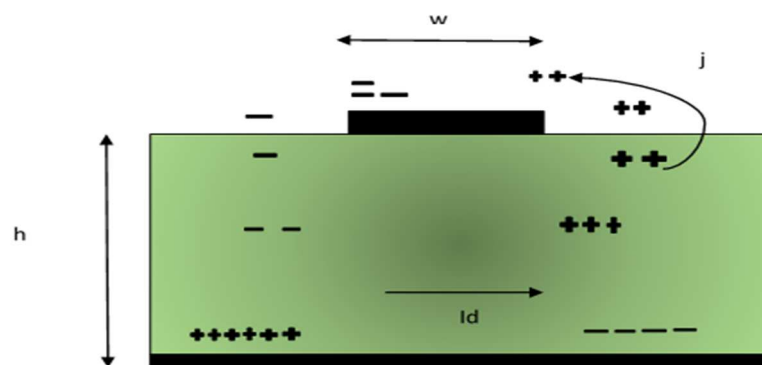


Figure II.1. Distribution de charge et de densité du courant sur une antenne microbande.

- Le mécanisme d'attraction des charges de signe opposé situé sur le bas de l'antenne et sur le plan de masse assure le maintien de la concentration des charges sur le bas de l'antenne.
- Le mécanisme de répulsion entre charges de même nature situées dans la partie inférieure de l'antenne tend à repousser certaines charges des extrémités de l'antenne vers sa surface supérieure.

En raison de ce mouvement de charges, des densités de courant apparaissent en bas et en haut de l'élément rayonnant.

II.4. Formulation mathématique

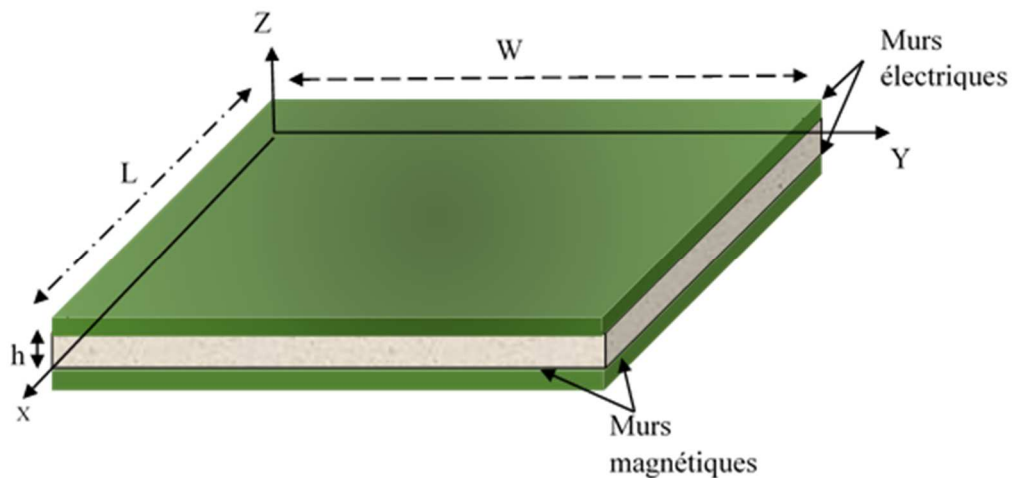


Figure II.2. Modèle de la cavité simple.

Pour permettre de fixer les modes stationnaires dans les équations, la cavité dans le repère (OX, OY, OZ) est représentée comme indiqué sur la (figure) et a les dimensions suivantes :

- L en abscisse
- W selon l'axe Y

La théorie du modèle de cavité est basée sur :

- La composante tangentielle du champ le long de la périphérie de la plaque est négligeable et donc la paroi magnétique a traversé la plaque puisque le courant électrique est la normale à la plaque ai des bords du métal est nulle.
- Supposons que l'élément rayonnant et le plan de masse soient en métal parfait et forment donc des parois électriques, ce qui signifie que les composantes tangentielles du champ électrique et la composante normale du champ magnétique sont nulles.

$$E = E(x, y)K \quad (1)$$

D'après l'équation de Maxwell :

$$\text{rot}E = -j\omega\beta(1) \quad (2)$$

Sachant que β est l'intensité de flux magnétique

On déduit

$$E = E_z(x, y)k \begin{cases} 0 \\ 0 \\ E_z(x; y) \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{matrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \partial/\partial x & \partial/\partial y & \partial/\partial z \\ 0 & 0 & E_z \end{matrix} \begin{matrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \frac{\partial E_z}{\partial y} \vec{i} & -\frac{\partial E_z}{\partial x} \vec{j} & 0 \end{matrix} + 0\vec{k} = -j\omega\beta_x\vec{i} - j\omega\beta_y\vec{j} \quad (4)$$

$$j\omega\beta_z\vec{k} = 0 \Rightarrow \beta_z = 0 \quad (5)$$

Soit :

$$\frac{\partial E_z}{\partial y} = -j\omega\beta_x \quad (6)$$

$$\frac{\partial E_z}{\partial x} = j\omega\beta_y \quad (7)$$

$$\frac{\partial E_z}{\partial z} = 0 = -j\omega\beta_z \Rightarrow \beta_z = 0 \quad (8)$$

Donc

$$\vec{\beta} = -\frac{1}{j\omega} \left\{ \frac{\partial E_z}{\partial y} \vec{i} - \frac{\partial E_z}{\partial x} \vec{j} \right\} = \beta_x \vec{i} + \beta_y \vec{j} \quad (9)$$

Notez qu'il n'y a pas de flux magnétique le long d'OZ, donc les lignes de champ magnétique sont parallèles au plan $z=0$.

Le champ électromagnétique dans la cavité peut être calculé à l'aide de l'équation d'onde

$$\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{E}) = \vec{\nabla} \cdot (\vec{\nabla} \cdot \vec{E}) - (\vec{\nabla} \cdot \vec{\nabla}) \vec{E} \quad (10)$$

$$\begin{cases} \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0 \\ \vec{\nabla} \cdot (\vec{\nabla} \times \vec{E}) = \omega^2 \mu \epsilon \vec{E} \end{cases} \quad (11)$$

$$\vec{\nabla} \vec{E} + \omega^2 \mu \epsilon \vec{E} = \vec{0} \quad (12)$$

La solution générale de l'équation (12) est la superposition de tous les modes excités dans la cavité.

$$\text{Soit: } S^2 = \omega^2 \mu \epsilon$$

Avec S est constante de propagation de l'onde dans le milieu

Se réécrit :

$$\vec{\nabla} \vec{E} + S^2 \vec{E} = 0 \tag{13}$$

Elle se simplifie car il n'y a qu'une seule composante de champ le long de z_0

$$\frac{\partial^2 E_z(x,y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_z(x,y)}{\partial y^2} + S^2 \cdot E_z(x,y) = 0 \tag{14}$$

Donc nous devons chercher la solution de cette équation différentielle par la méthode de séparation des variables conduit à poser :

$$E_z(x,y) = f(x) \cdot g(y) \tag{15}$$

et

$$S^2 = S_x^2 + S_y^2 \tag{16}$$

Cette équation (15) correspond à la solution de deux équations indépendantes

$$g(Y) \cdot \frac{\partial^2 f(X)}{\partial x^2} + f(X) \cdot \frac{\partial^2 g(Y)}{\partial y^2} (S_x^2 + S_y^2) \cdot f(X) \cdot g(Y) = 0 \tag{17}$$

$$\Rightarrow g(Y) \cdot \frac{\partial^2 f(X)}{\partial x^2} + f(X) \cdot \frac{\partial^2 g(Y)}{\partial y^2} + S_x^2 \cdot f(X) \cdot g(Y) + S_y^2 \cdot f(X) \cdot g(Y) = 0 \tag{18}$$

$$g(Y) \cdot \left[\frac{\partial^2 f(X)}{\partial x^2} + S_x^2 \cdot f(X) \right] + f(X) \cdot \left[\frac{\partial^2 g(Y)}{\partial y^2} + S_y^2 \cdot g(Y) \right] = 0 \tag{19}$$

Cette équation différentielle du second ordre peut être décomposée en deux équations différentielles correspondant la composante de champ E.

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 f(X)}{\partial x^2} + S_x^2 \cdot f(X) = 0 \\ \frac{\partial^2 g(Y)}{\partial y^2} + S_y^2 \cdot g(Y) = 0 \end{cases} \tag{20}$$

Dont les solutions évidentes sont :

$$f(x) = H_1 \cos(S_X \cdot X) + R_1 \sin(S_X \cdot X) \quad (21)$$

$$f(x) = H_2 \cos(S_Y \cdot Y) + R_2 \sin(S_Y \cdot Y) \quad (22)$$

Avec : $H_1 H_2 R_1 R_2$ sont quatre constantes qui dépendent des conditions aux limites.

Le champ électrique E_z est présent donc sous la forme :

$$E_z = [H_1 \cdot \cos(s_x \cdot X) + R_1 \cdot \sin(s_x \cdot X)] [H_2 \cdot \cos(s_y \cdot Y) + \sin(s_y \cdot Y)] \quad (23)$$

Conditions aux limites sur des surfaces magnétiques idéales qui imposent un champ magnétique tangentiel nul sur ces surfaces, à savoir :

$$\beta_x = 0 \text{ en } Y = 0 \rightarrow w$$

$$\beta_y = 0 \text{ en } X = 0 \rightarrow L$$

$$\beta_z = 0 \text{ en } Z = 0 \rightarrow h$$

$$\beta_x = 0 \Rightarrow \frac{\partial E_z(x, y)}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial E_z}{\partial y} = -H_2 \cdot \sin(S_Y \cdot Y) + R_2 \cdot \cos(S_Y \cdot Y) = 0 \Big|_{Y=0}^{Y=w} \quad (24)$$

$$\text{En } Y = 0 \Rightarrow R_2 \cdot S_Y = 0 \Rightarrow R_2 = 0$$

$$\text{En } Y = w \Rightarrow S_Y \cdot Y = S_Y \cdot w \Rightarrow S_Y = \frac{n \cdot \pi}{w}$$

Avec n entier.

On déduit :

$$\beta_y = 0 \Rightarrow \frac{\partial E_z(x, y)}{\partial x} = 0 \quad (25)$$

$$0 \Rightarrow \frac{\partial E_z(x, y)}{\partial x} = -H_1 \cdot \sin(S_Y \cdot Y) + R_1 \cdot \cos(S_Y \cdot Y) = 0 \Big|_{X=0}^{X=L}$$

$$\text{en } X = 0 \Rightarrow R_1 = 0$$

$$X = L \Rightarrow S_X \cdot X = S_X \cdot L + m \cdot \pi \Rightarrow S_x = \frac{m \cdot \pi}{L}$$

Avec m : étant un entier

En utilisant les expressions de CX CY, obtenu et un tenant compte de la nullité des constantes R_1 et R_2 , le champ électrique Z s'écrit sous la forme suivante

$$E_Z(x, y) = [H_1 \cdot \cos(S_X \cdot X) + R_1 \sin(S_X \cdot X)][H_2 \cdot \cos(S_Y \cdot Y) + R_2 \sin(S_Y \cdot Y)] \quad (26)$$

$$E_Z(x, y) = [H_1 \cdot \cos(S_X \cdot X) + H_2 \sin(S_X \cdot X)] \quad (27)$$

$$E_Z(x, y) = S \cos\left(\frac{m\pi}{L} \cdot X\right) \cdot \cos\left(\frac{n\pi}{w} \cdot Y\right) | S = H_1 \cdot H_2 \quad (28)$$

Les composantes de champ magnétique :

$$\beta_X(x, y) = S \cdot \frac{n\pi}{w} \cdot \frac{1}{j\omega} \cdot \cos\left(\frac{m\pi}{L} \cdot X\right) \cdot \cos\left(\frac{n\pi}{w} \cdot Y\right) \quad (29)$$

$$\beta_Y(x, y) = S \cdot \frac{m\pi}{L} \cdot \frac{1}{j\omega} \cdot \cos\left(\frac{m\pi}{L} \cdot X\right) \cdot \cos\left(\frac{n\pi}{w} \cdot Y\right) \quad (30)$$

On a :

$$S^2 = S_X^2 + S_Y^2 \quad (31)$$

Cette relation permet de calculer la fréquence de résonance de chacun de ces modes.

$$S^2 = \left(\frac{m\pi}{L}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{w}\right)^2 = \left(\frac{\omega}{S_0}\right)^2 = \omega \sqrt{\pi \varepsilon}$$

Avec :

$$S_0 : \text{vitesse dans le vide } S_0 = \frac{1}{\sqrt{\mu \varepsilon}}$$

ε : permittivité du diélectrique (substrat)

μ : Perméabilité du diélectrique (substrat)

On déduit :

$$f_{mn} = \frac{1}{2\pi \sqrt{\mu \varepsilon}} \cdot \sqrt{\left(\frac{m\pi}{L}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{w}\right)^2} \quad (32)$$

II.5. Modèle de la cavité modifiée d'une antenne microbande de forme rectangulaire

La géométrie considérée est représentée sur la Figure II.3. Un patch rectangulaire supraconducteur, caractérisé par une épaisseur t et des dimensions (L, W) selon les deux axes (x,y) respectivement, est imprimé sur un substrat anisotrope d'épaisseur h . Tous les matériaux diélectriques sont supposés non magnétiques et ont une perméabilité de 0μ . Pour simplifier l'analyse, la puissance de l'antenne n'est pas considérée.

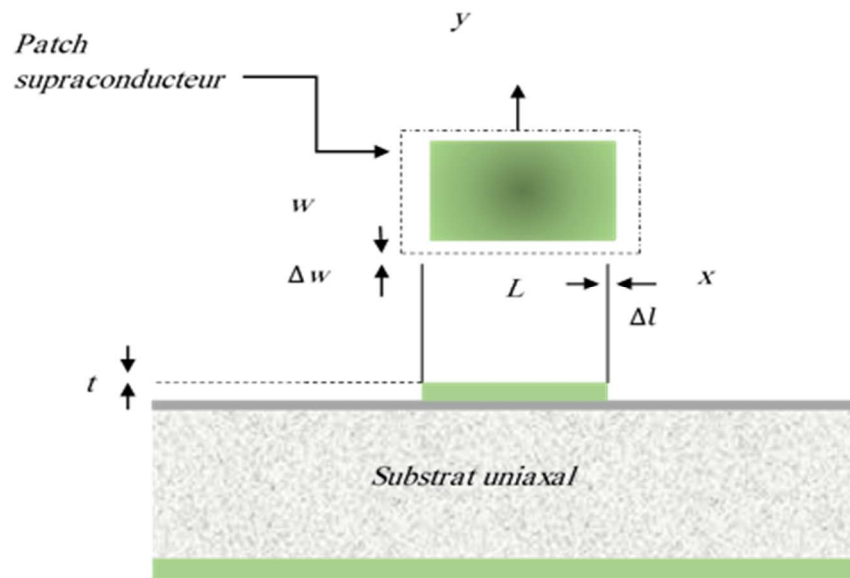


Figure.III.3. Géométrie de l'antenne microbande rectangulaire.

Les conditions aux limites aux parois de la structure se traduisent par des modes magnétiques transversaux de type nm TM (dans la direction z) pour un substrat diélectrique mince par rapport à la longueur d'onde de fonctionnement. La fréquence de résonance de l'insert rectangulaire pour le mode mn TM est de :

$$f_{mn} = \frac{t_0}{2\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{\left(\frac{m}{L}\right)^2 + \left(\frac{n}{W}\right)^2} \quad (33)$$

Avec : t_0 est la vitesse de la lumière dans l'espace libre.

Pour rendre les résultats théoriques obtenus comparables aux mesures, des effets de bord doivent être pris en compte. Ainsi, le réseau de rayonnement est supérieur de charges à sa taille physique. Plusieurs expressions ont été proposées pour calculer la longueur et la largeur efficaces de l'élément rayonnant.

II.6. Antenne microbande compacte en forme *E*

La configuration proposée de l'antenne est illustrée à la figure II.4. La conception de l'antenne consiste en une seule couche d'épaisseur h . L'antenne en forme de *E* est formée en insérant la coordonnée ou en supprimant les points insérés du patch rectangulaire de dimension appropriée. Deux fentes parallèles sont incorporées à l'intérieur de l'antenne patch rectangulaire pour perturber le trajet du courant de surface. La forme en *E* est de construction plus simple. Les deux fentes parallèles ont même longueur L_s et même largeur W_s . La séparation des deux fentes est W_1 . Il n'y a donc que trois paramètres (L_s , W_s , W_1) pour les slots utilisés ici.

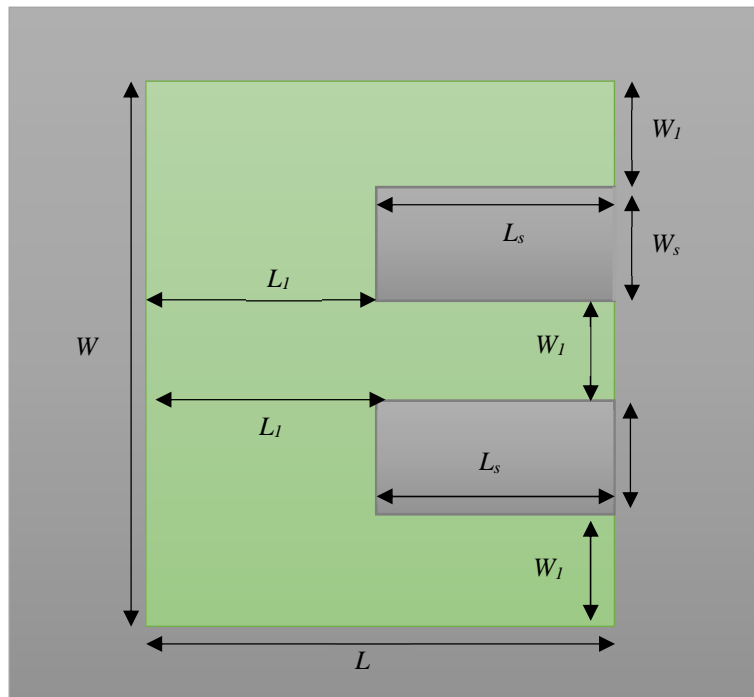


Figure II.4. Géométrie d'une antenne microbande compacte en forme de E.

La fréquence de résonance de l'antenne microbande en forme de E est [12] :

$$f_{inf} = \frac{t_0}{2 L_{eff} \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (34)$$

Et pour la prochaine fréquence de résonance d'antenne microbande en forme E, la formule est modifiée de manière appropriée comme [12]

$$f_{sup} = \frac{0.36 t_0}{W_{eff} \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (35)$$

Les paramètres L_{eff} , W_{eff} , et ϵ_{eff} , peut être calculé à partir de [12].

II.7. Conclusion

Dans ce chapitre nous utilisons le modèle de cavité pour modéliser analytiquement une antenne microruban rectangulaire, qui est comparée à une cavité résonnante à deux parois électriques parfaites, référencées sur des surfaces parfaitement conductrices, et quatre parois magnétiques. La prise en compte des champs frangeants dans la formulation mathématique permet un modèle fiable pour les substrats minces et épais. Ainsi, le procédé peut traiter le cas d'un patch microbande de forme de E.

II.8. Références bibliographiques

- [1] Balanis, Constantine A. "Antenna theory: analysis and design. ", John wiley & sons, 2016.
- [2] Picon, Odile, et al. "Les antennes : Théorie, conception et applications. ", Dunod, 2009.
- [3] Chouti, L. "Caractérisation d'une antenne microbande couplée par une ouverture de forme rectangulaire. Application à la réalisation d'une antenne multibande", Thèse de Doctorat. Université de Constantine 1, 2018.
- [4] Aissaoui, Chafika, "Contribution à l'analyse des antennes microbandes avec excitation par la méthode du domaine spectral-Application à un réseau d'antennes microbandes", Thèse de Doctorat, Université de Constantine 1, 2017.
- [5] Khedrouche, Djamel. "Modélisation des antennes microbandes par une analyse tridimensionnelle rigoureuse en utilisant une méthode intégrale.", Thèse de Doctorat, Université de Constantine, 2009.
- [6] Bedra, Sami. "Evaluation analytique et numérique des caractéristiques électromagnétiques des structures microbandes ouvertes. ", Thèse de Doctorat, Université de Batna, 2015.
- [7] Chouti, Leila, "Caractérisation d'une antenne microbande couplée par une ouverture de forme rectangulaire. Application à la réalisation d'une antenne multibande. ", Thèse de Doctorat, Université de Constantine 1, 2018.
- [8] Tazoult Karim , Saidane Mohamed Sedik. " Modèle de cavité amélioré d'un résonateur microbande réglable pour l'application dans un équipement portable sans fil. ", Mémoire de Master, Université de Khenchela, 2021.
- [9] Pozar, David M. "Microstrip antennas." Proceedings of the IEEE 80.1, pp.79-91, 1992.
- [10] Bedra, Randa. "Etude d'une antenne supraconductrice couverte par une couche diélectrique. ", Thèse de Doctorat, Université de Batna 2, 2018.

- [11] Laati Hadil, Sahraoui Rania, "*Modélisation des antennes compactes supraconductrices imprimées sur des substances anisotropes*", Mémoire de Master, Université de Khenchela, 2022.
- [12] Neog, Dipak K., et al. "New expression for the resonance frequency of an E-shaped microstrip patch antenna." *Microwave and Optical Technology Letters* , vol.48., no.8 , pp. 1561-1563, 2006.

Chapitre III

Conception et modélisation d'une
antenne compacte

III.1. Introduction

En 1953, le scientifique Deschamps proposa des antennes imprimées, qui furent réalisées correctement et efficacement en 1970, grâce à l'arrivée sur le marché d'isolateurs électriques à faibles pertes [1]. Depuis, la recherche dans ce domaine n'a cessé de s'intensifier pour exploiter les nombreux avantages des antennes imprimées : faible poids, faible volume et épaisseur réduite, faible coût de fabrication, compatibilité avec des circuits intégrés (antennes actives), et réseau d'antennes. Les antennes microbandes peuvent prendre plusieurs formes géométriques aléatoires, cependant, Nous utilisons des formes régulières afin de faciliter leur étude on retrouve, entre autres formes géométriques, la forme circulaire [2-6], la forme triangle [5] et la forme rectangulaire. L'antenne la plus facile à étudier est le l'antenne rectangulaire que ces propriétés électromagnétiques caractérisent : (son gain, son diagramme de rayonnement, sa largeur de faisceau, sa polarisation.), ses paramètres d'utilisations : (sa fréquence de résonance f_r , sa résistance d'entrée R_{in} et sa bande passante BW) et ces paramètres internes : (son facteur de qualité Q , sa résistance de rayonnement R_r , son rendement η et ses pertes métal et diélectrique mesurées par Q_c , Q_d).

Dans telles applications, une antenne patch en forme E est très profitable par ce qu'elle nécessite moins d'espace qu'une antenne microruban classique de formes géométriques courantes [7-8]. Les antennes patch sont à profil bas, faciles à fabriquer et peu coûteuses, les antennes microruban deviennent de plus en plus très utiles parce que nous pouvons l'imprimer directement sur une carte de circuit imprimé, les antennes patch sont de plus en plus répandues sur le marché de la téléphonie mobile [9].

L'élément rayonnement de ce chapitre est un patch métallique en forme E, deux fentes ont été réalisées sur le patch pour élargir la bande passante [10]. La géométrie de l'antenne est présentée sur la figure III.1.

Dans ce chapitre, on applique l'analyse des antennes microbandes compacte de forme E (figure III. 1). Ensuite, on a commencé l'étude paramétrique de l'antenne proposée : la permittivité et de l'épaisseur du diélectrique, ainsi que les largeurs des fentes de l'élément rayonnant sur les caractéristiques de résonance. Enfin, nous dessinons un ensemble de courbes pour les résultats obtenus par le processus de simulation.

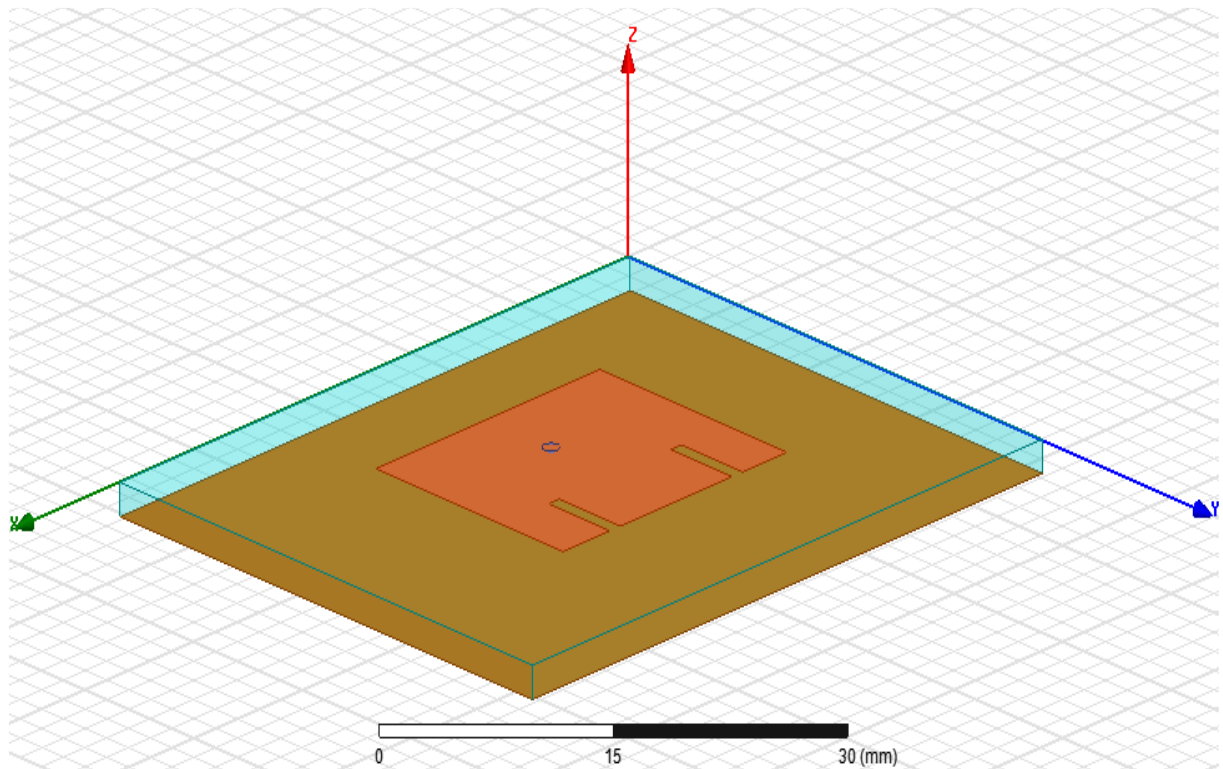


Figure III. 1. Structure de l'antenne proposée sous HFSS.

III.2. Géométrie de l'antenne patch *E*

La géométrie de l'antenne patch forme *E* est illustrée à la figure III.2. Tout d'abord, une rectangulaire antenne patch microruban est conçue sur la base de la conception standard. La procédure pour déterminer la longueur W_p et la largeur L_p pour la fréquence de résonance à (5GHz) Il est alimenté par une sonde coaxiale en position (x_0, y_0) , deux fentes parallèles sont incorporées pour perturber le trajet du courant de surface, La longueur de fente L_1 , largeur de fente W_1 et les dimensions du bras central (W_2, L_1) du patch en forme de *E* contrôle la fréquence de la deuxième mode de résonance et la valeur réalisable de la bande passante [11-12]. Notez que toutes les simulations présentées dans ce chapitre sont obtenues à l'aide de simulateur HFSS [13].

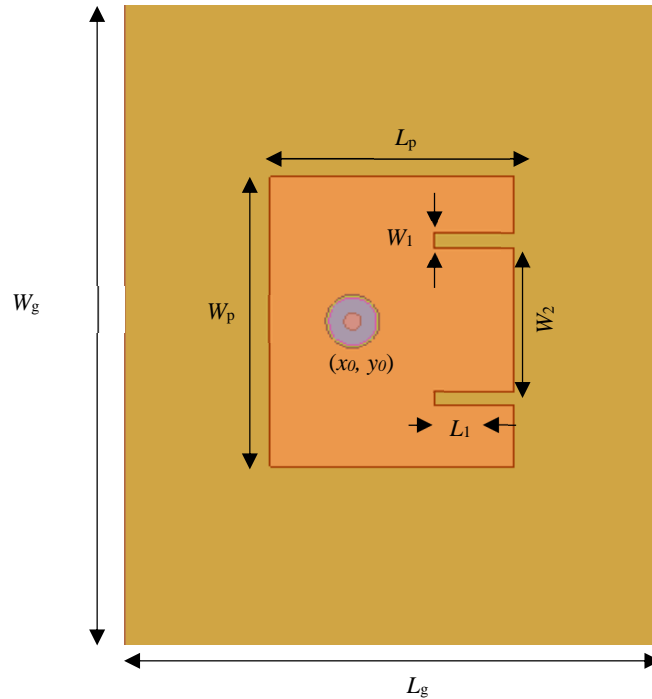


Figure III. 2. Dimensions de la structure de l'antenne optimisée.

IV.3. Discussions des résultats numériques

IV.3.1. Etude paramétrique de l'antenne proposée

Nous présentons sur la figure III.3 Le coefficient de réflexion d'une antenne microbande de forme E , pour différentes valeurs d'épaisseur de substrat h .

Les s valeurs considérées pour l'analyse sont 1 mm (courbe noir), 1.8 mm (courbe rouge) et 2.4 mm (courbe bleu). L'augmentation de l'épaisseur croissante du substrat diminue la précision, entraînant une augmentation de la bande passante et se déplace vers la ligne -10dB . On observe que les résultats à 1.8 mm sont meilleurs lorsqu'on les compare à d'autres valeurs en ce qui concerne la précision et la bande passante.

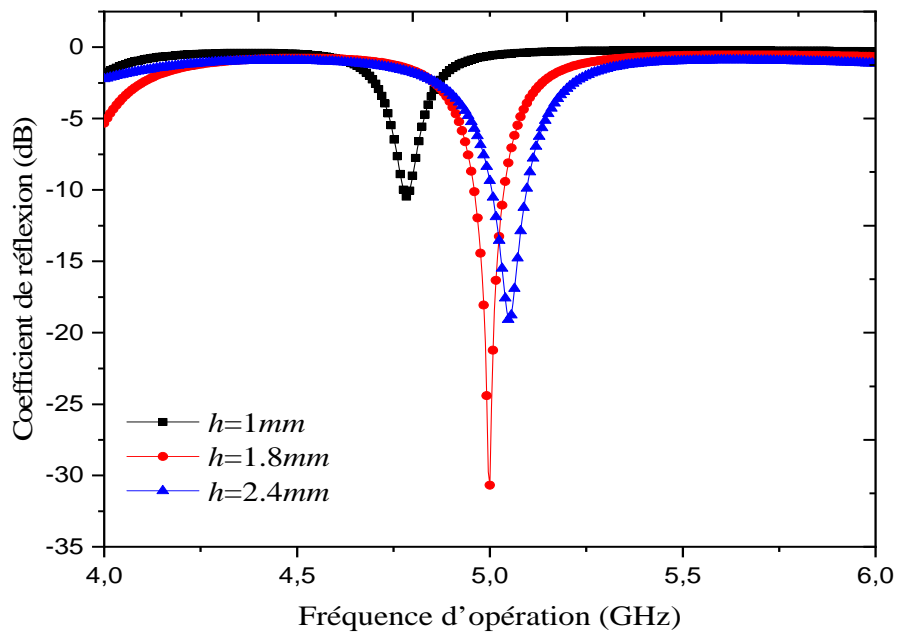


Figure III.3. Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence d'opération de l'antenne pour différentes valeurs d'épaisseur du substrat h .

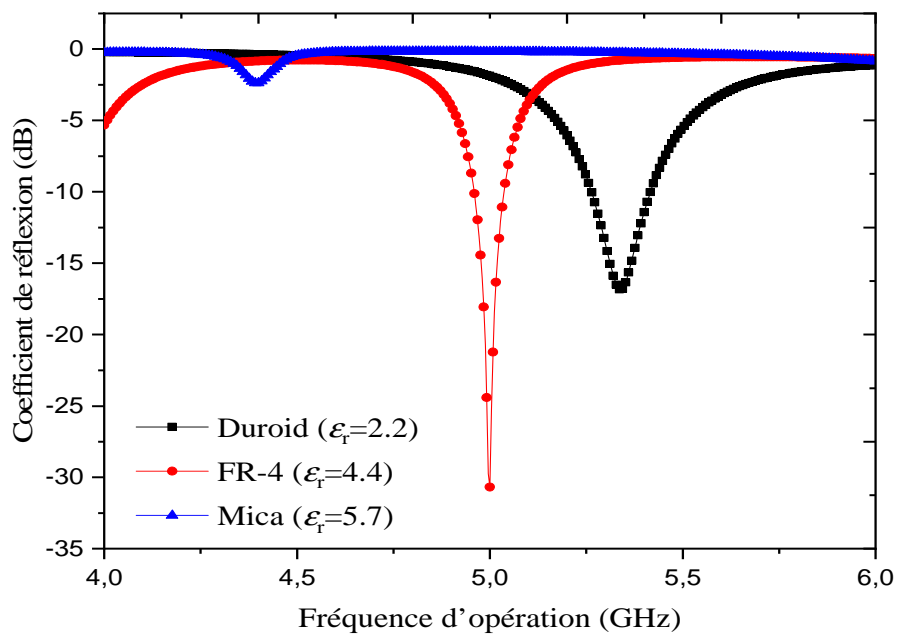


Figure III.4. Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de l'antenne imprimée sur différents substrats ϵ_r .

La variation du coefficient de réflexion pour différentes valeurs de permittivités du substrat (2.2, 4.4, 5.7) est représentée sur la Figure III.4.

Où la couleur bleue représente la variation du coefficient de réflexion de la structure sur un substrat de Mica avec une permittivité de 5.7, la couleur rouge représente la variation du coefficient de réflexion d'une antenne imprimée sur une permittivité de diélectrique FR-4 égale à 4.4, et le noir est utilisé pour représenter la variation du coefficient de réflexion d'une antenne imprimée sur Duroid ($\epsilon_r = 2.2$).

La diminution de permittivité du substrat réduira la précision, et une légère variation de la bande passante et parmi les trois valeurs ($\epsilon_r = 4.4$) produira les meilleurs résultats.

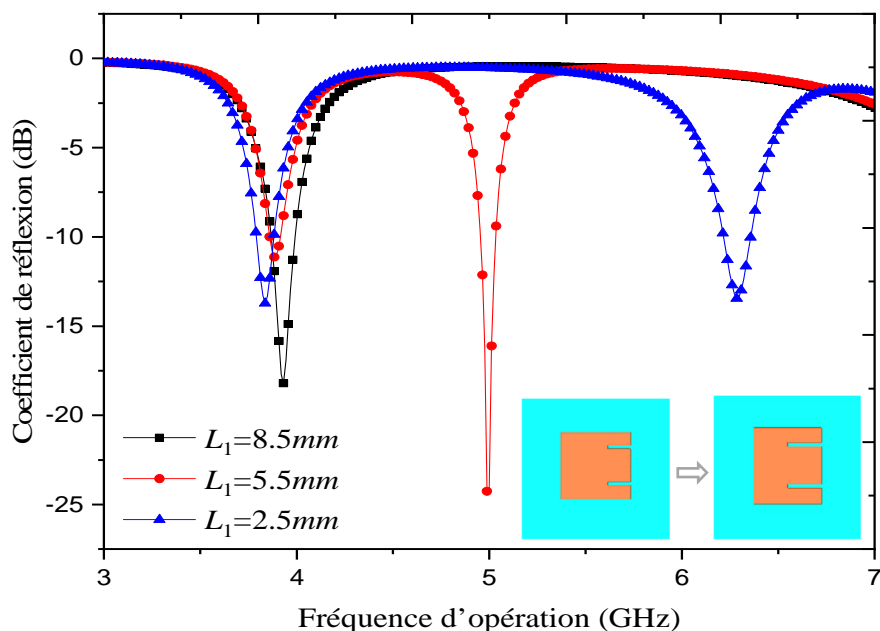


Figure III.5. Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de pour différentes tailles du la ligne microbande L_1 .

Les résultats du coefficient de réflexion pour trois valeurs différentes de la taille de la ligne microbande (L_1) sont observés sur la figure III.5, et ces valeurs sont 8.5, 5.5, et 2.5 mm. La diminution de la taille du la ligne (L_1) déplacera les résultats du coefficient de réflexion au-dessus de la ligne de référence de -10dB, augmentant la précision et réduisant la bande passante. La taille de ligne microbande $L_1 = 5.5\text{mm}$ est la meilleure valeur choisie comme longueur de la ligne microbande par rapport aux deux autres valeurs.

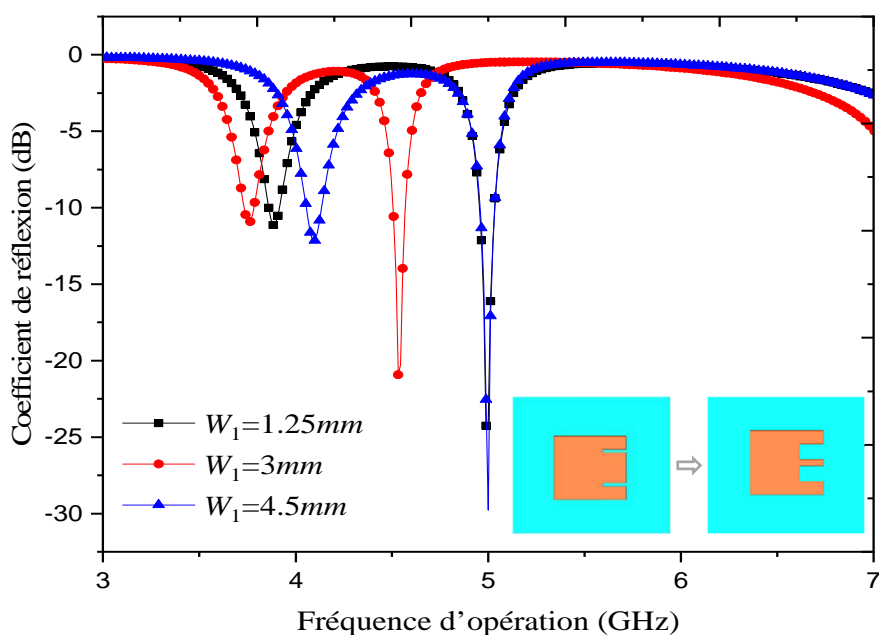


Figure III.6. Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de pour différentes tailles du la ligne microbande W_1 .

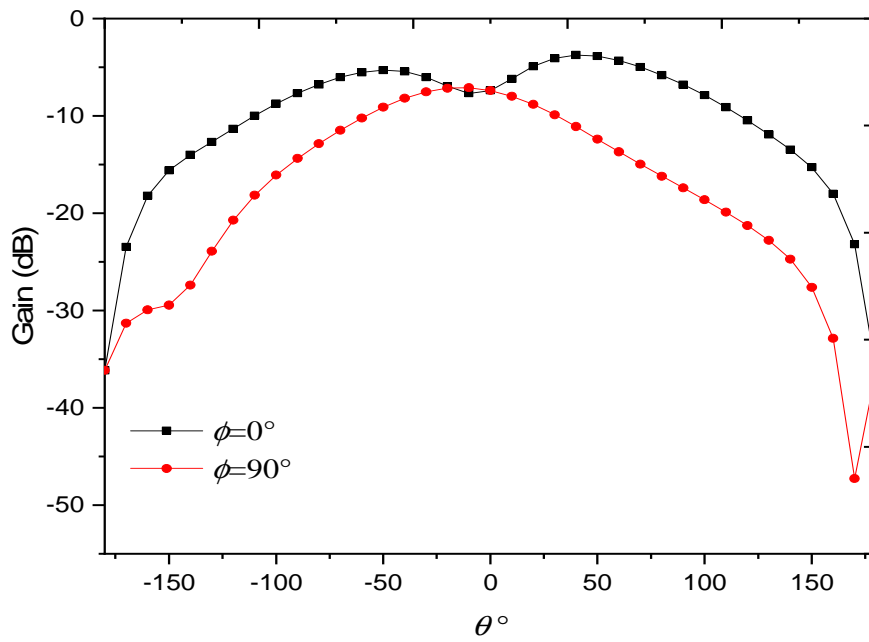
Le coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de pour différentes tailles du la ligne microbande W_1 est montré dans la Figure III.7, et trois valeurs de $W_1 = 1.25\text{mm}$, $W_1 = 3\text{mm}$, et $W_1 = 4,5\text{mm}$ sont prises en compte dans l'analyse des résultats. L'augmentation de la largeur de la ligne microbande W_1 réduira la précision et fournira une légère amélioration de la bande passante.

IV.3.2. Etude paramétrique de l'antenne proposée

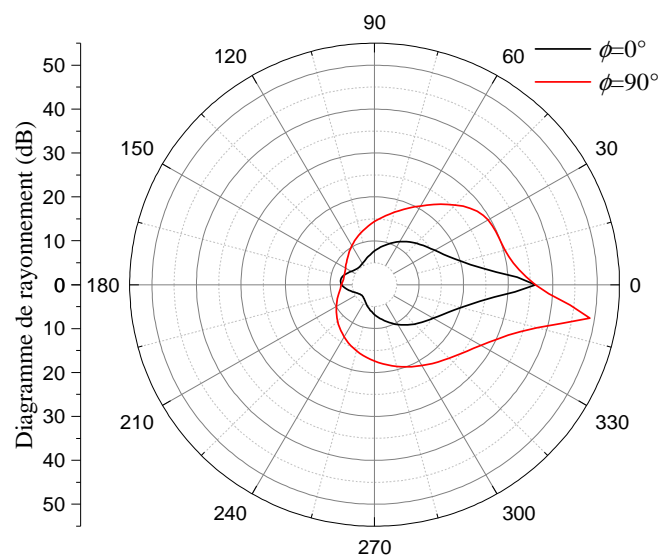
A partir des études paramétriques menées précédemment, nous pouvons déduire les paramètres finaux qui donnent la bande passante très large, dans le tableau ci-dessous.

Tableau III.1. Dimension d'antenne optimisée.

Paramètres	W_g	L_g	W_p	L_p	W_1	L_1	W_2
Valeurs (mm)	46	38	20.5	17.25	1.25	5.50	9



(a)



(b)

Figure III.7. Gain de l'antenne proposée, (a) Gain dans les deux plans E et H , (b) Diagramme de rayonnement du Gain.

La figure III.7 présente le gain de l'antenne proposée, dans les deux plans E et H (Figure III.7. a). Nous remarquons que le gain dans les deux plans lorsque ($\phi=0^\circ$, $\phi=90^\circ$) augmente d'une valeur de (-35dB, -65°) jusqu'à atteindre une valeur (-8dB ; -10°). Après cette valeur la courbe diminue progressivement à (-40dB, 185°). Presque le même comportement est visualisé pour le plan H .

Le diagramme de rayonnement simulé est montré dans les figure III.7. (b). On constate que la polarisation croisée de crête est inférieure d'environ 15 dB à la polarisation maximale tandis que sa largeur de faisceau à 3 dB est de 330°. Aussi, le gain réalisé de l'antenne, ont également été calculés et jugés tout à fait acceptables pour toute la gamme des communications sans fil.

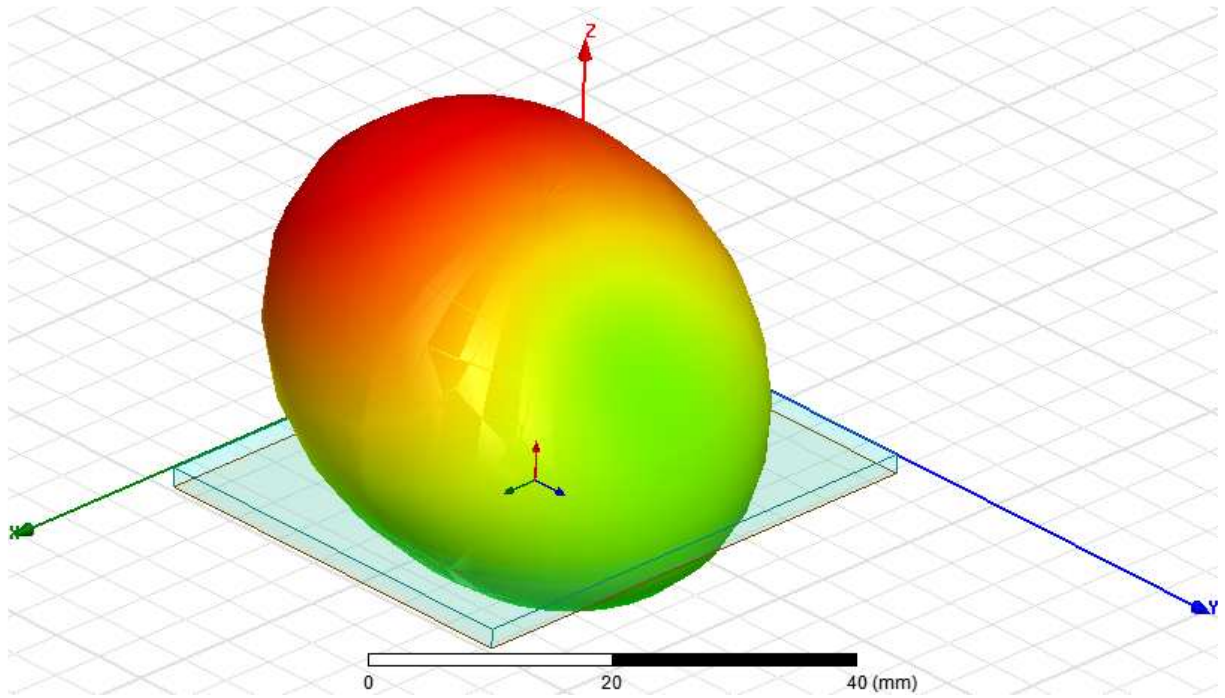
Il existe une multitude de façons de représenter le rayonnement d'une antenne, le diagramme en champs, en puissance, gain, directivité, en polaire ou cartésien, en linéaire ou en décibels, en 2D ou bien en 3D.

On étudie dans cette partie les caractéristiques de rayonnement d'une antenne imprimée de forme E . Le diagramme de rayonnement est une caractéristique importante d'une antenne. En effet le diagramme de rayonnement d'une antenne nous renseigne sur la façon avec laquelle l'antenne dirige son rayonnement dans une direction ou une autre dans l'espace et aussi il permet de visualiser ces lobes dans deux ou trois dimensions dans le plan horizontal ou dans le plan vertical incluant ainsi le lobe le plus important.

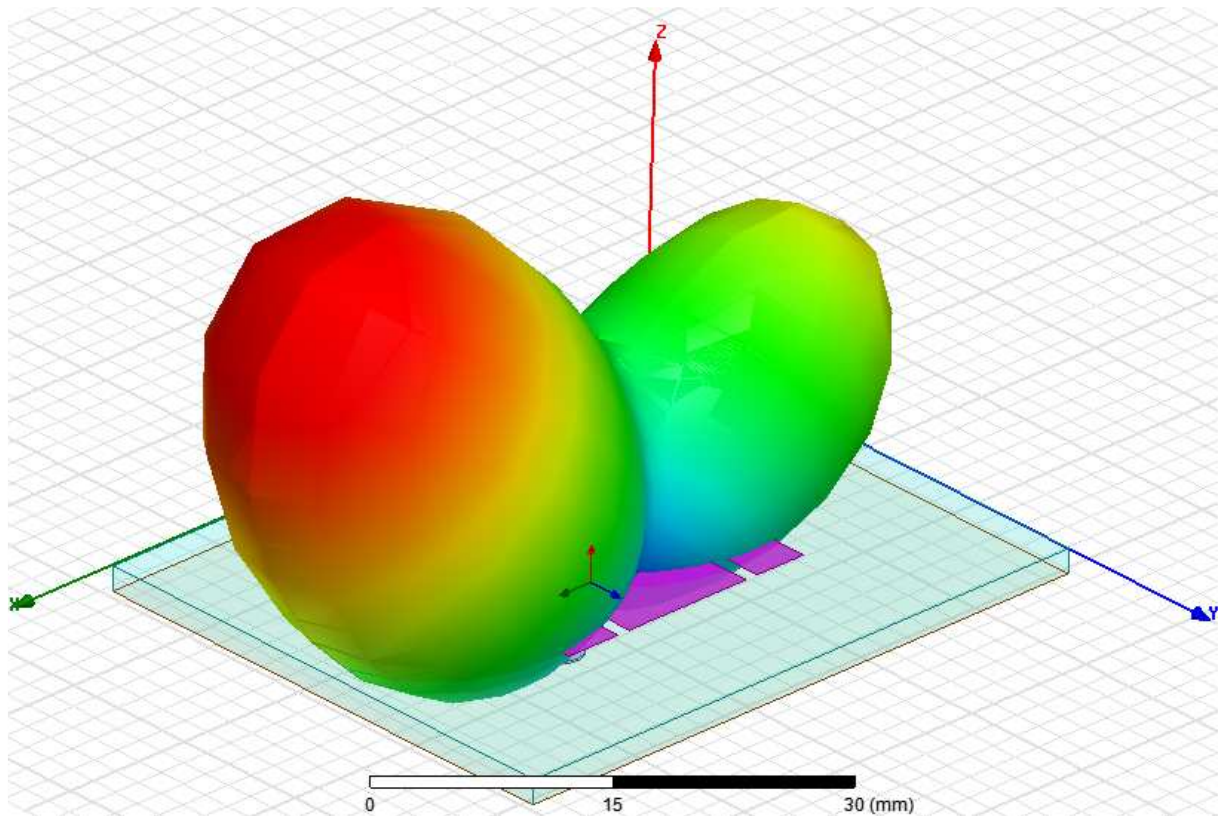
Les rayonnements étaient meilleurs que ceux du modèle de référence (antenne rectangulaire) et suffisants pour les applications sans fil. Le diagramme de rayonnement en 3D de l'antenne à deux fréquences opérationnelles est illustré à la Figure III.8.

Le gain maximal de l'antenne était de 8.2 dB à 2.4 GHz. À 5 GHz, le gain minimal d'antenne optimisé a été observé à 7 dB, ce qui était meilleur que celui du modèle d'antenne microruban conventionnel (patch rectangulaire).

Le diagramme de gain 3D illustre que son diagramme de rayonnement était presque large avec de légères distorsions à un certain angle dans les bandes de fréquences plus élevées (>5GHz).



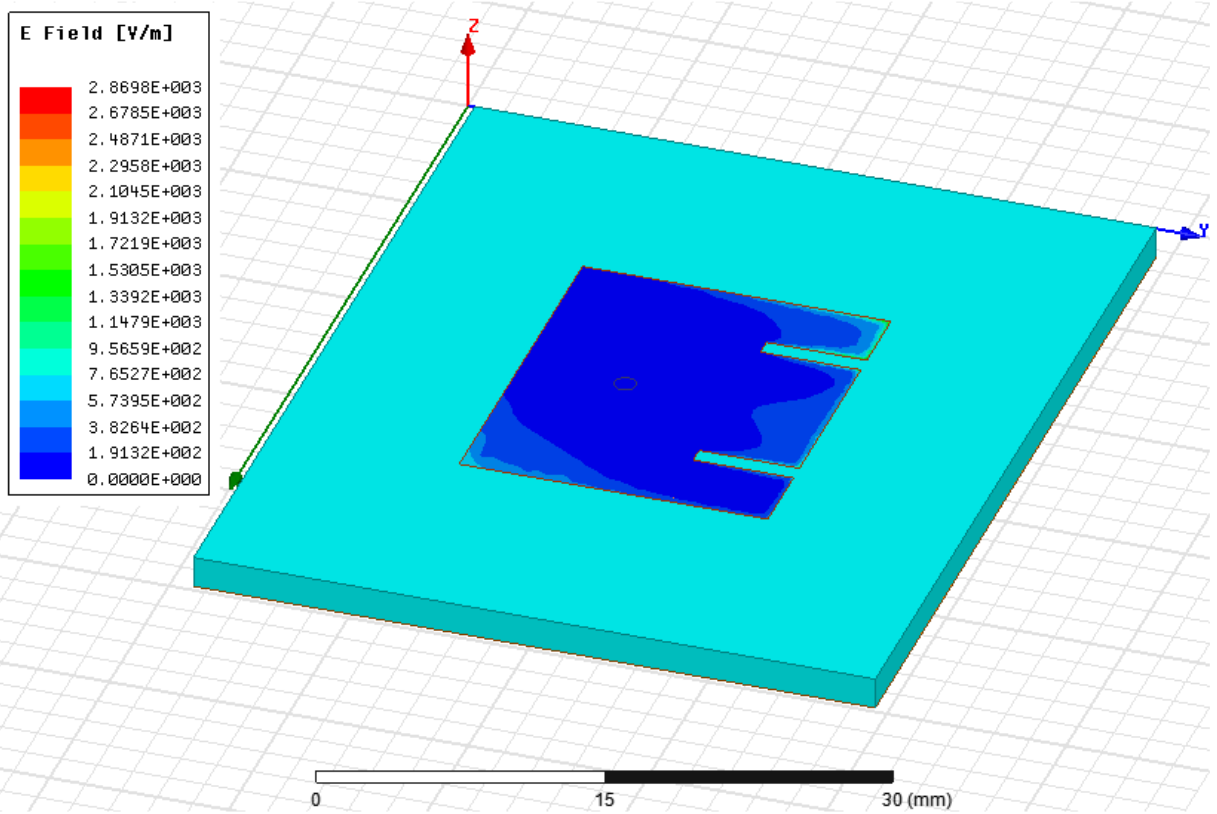
(a)



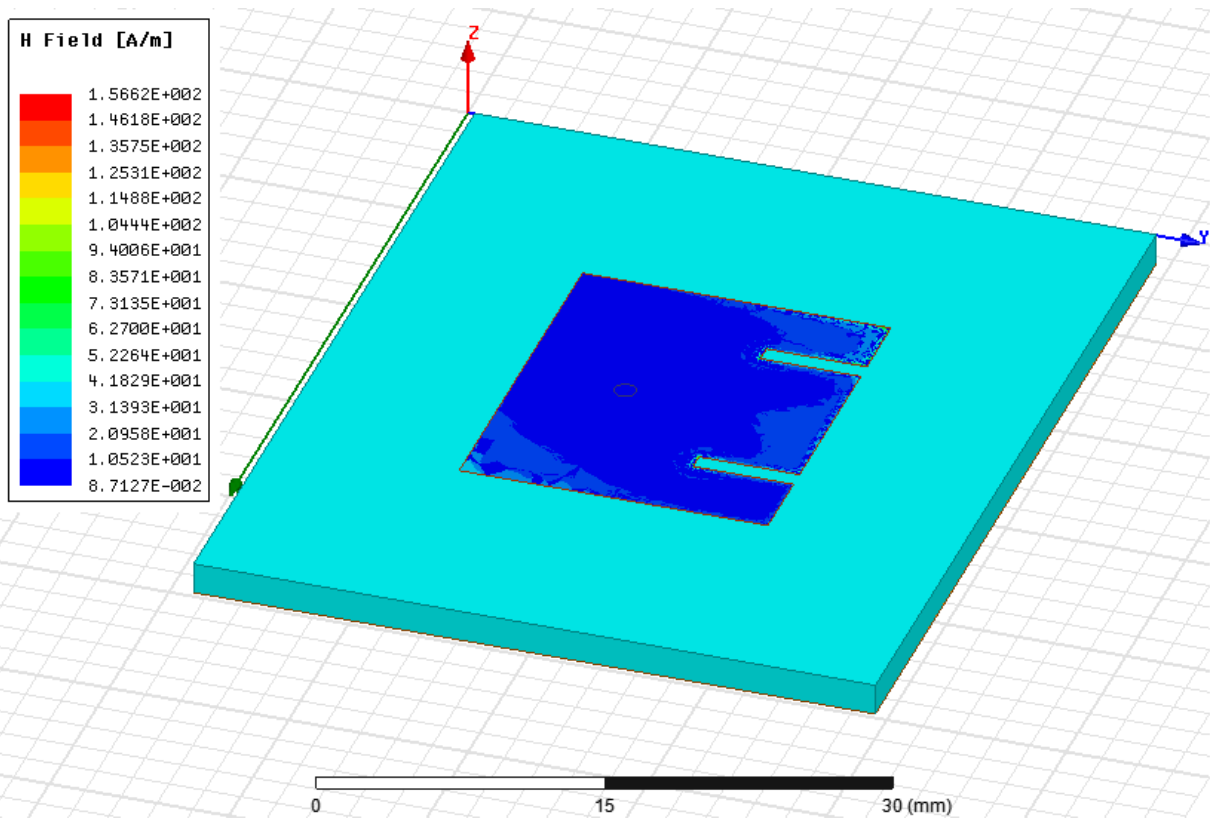
(b)

Figure III.8. Diagramme de rayonnement de l'antenne proposée à :

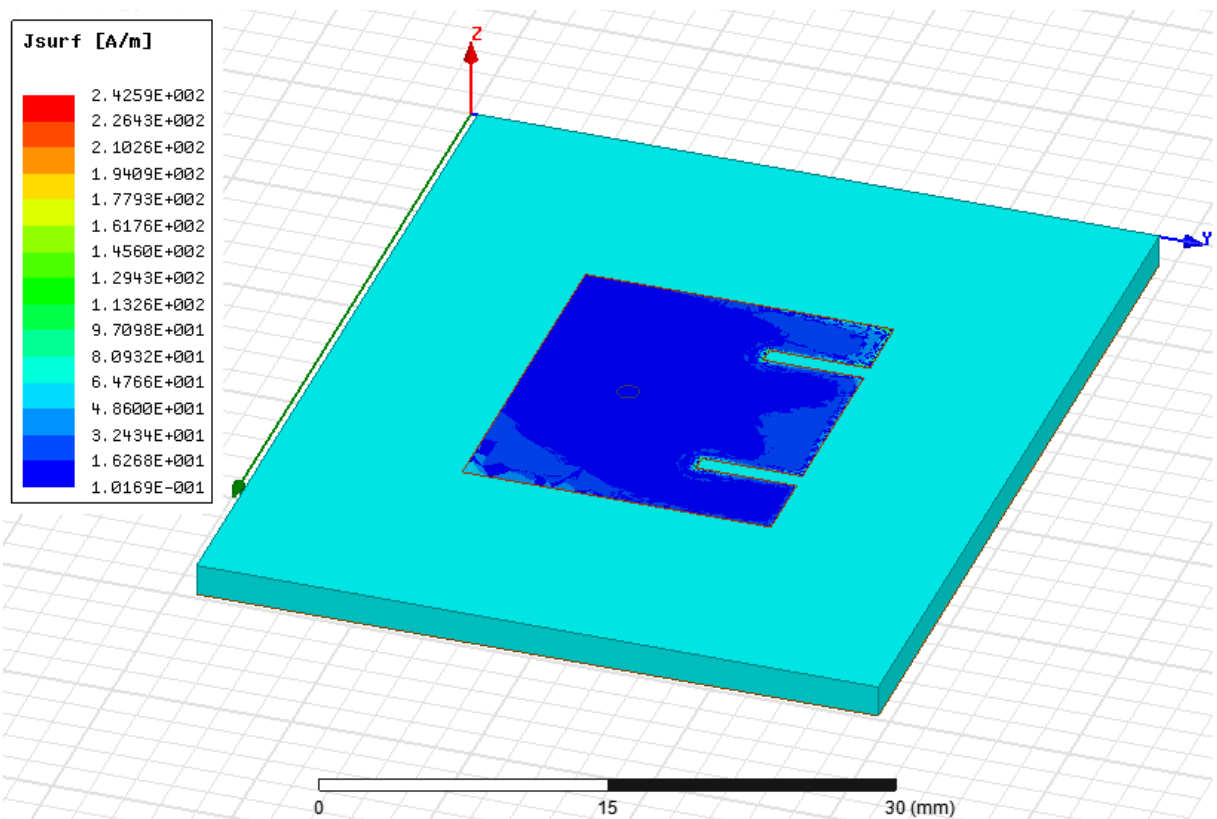
(a) 2.4GHz, (b) 5GHz.



(a)



(b)



(c)

Figure III.9. Répartition du : (a) champ électrique, (b) champ magnétique, (c) courant électrique de l'antenne proposée sous HFSS.

La Figure III.9, illustré la répartition du champ électrique, champ magnétique, et la distribution des courants surfaciques de la structure proposée.

La figure III.9 illustre respectivement, les distributions de champ électrique (figure III.9.a) et magnétique (figure III.9.b) de l'antenne microbande optimisée à 2.4 GHz. Les deux graphiques montrent clairement que les distributions actuelles diffèrent entre les deux lignes microbandes (Slots) de l'antenne microbande de forme E. Le chemin de distribution des champs électrique et magnétique de la surface du patch a permis à l'antenne de résonner sur différentes deux bandes de fréquences. La majorité des distributions de champ étaient situées près du point d'alimentation et des bords de patch optimisée.

On peut observer que la distribution du courant sur les bornes de l'antenne est plus grande dans le champ électrique mais sur le (b) champ magnétique, (c) courant électrique de l'antenne proposée sous HFSS la distribution électrique sur les bornes de l'antenne est plus proche.

La distribution du courant de surface dans les régions de l'antenne proposée conçue à 2.4 GHz est illustrée à la figure III.9.c. À cette fréquence de résonance, la force magnétique était maximale et les régions efficaces se trouvaient dans le chargeur, à la base du patch.

IV.4. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons utilisé une étude paramétrique (géométrique et physique) afin d'améliorer les performances d'une antenne patch et de l'optimisée on utilise le simulateur électromagnétique HFSS, après nous avons étudiés et commentons les différents résultats obtenus. En plus d'avoir une large bande passante, un gain et un diagramme de rayonnement suffisants, l'antenne proposée était efficace. En conséquence, c'est un concurrent sérieux pour les applications des systèmes sans fil.

IV.5. Références bibliographiques

- [1] Daout, F., et al. "Conception, Simulation, Réalisation et mesure d'une antenne imprimée rectangulaire 2.4 GHz." *Journal sur l'enseignement des sciences et technologies de l'information et des système*, vol. 8, 2009.
- [2] Mhamdi, Ahmed, et al. "CAD cavity model analysis of high Tc superconducting rectangular patch printed on anisotropic substrates.", *5th IEEE International Conference on Electrical Engineering-Boumerdes (ICEE-B)*, 2017.
- [3] Bedra, Randa, Sami Bedra, and Tarek Fortaki. "Analysis of elliptical-disk microstrip patch printed on isotropic or anisotropic substrate materials." *International Journal of Microwave and Wireless Technologies*, vol 8, no.2, pp. 251-255, 2016.
- [4] Bedra, Randa. "Etude d'une antenne supraconductrice couverte par une couche diélectrique.", Thèse de Doctorat, Université de Batna 2, 2018.
- [5] Kumar, Raj, and P. Malathi. "Experimental investigation of resonant frequency of multilayered rectangular and circular microstrip antennas." *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 53, no.2, pp.352-356, 2011.

- [6] Pozar, D. A. V. I. D. M. "Radiation and scattering from a microstrip patch on a uniaxial substrate." *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 35, no.6 , pp. 613-621, 1989.
- [7] Dam, M., and M. Biswas. "Investigation of a right-angled isosceles triangular patch antenna on composite and suspended substrates based on a CAD-oriented cavity model." *IETE Journal of Research*, vol. 63, no.2, pp. 248-259, 2017.
- [8] Guney, Kerim, and Erhan Kurt. "Effective side length formula for resonant frequency of equilateral triangular microstrip antenna." *International Journal of Electronics*, vol. 103, no.2, pp. 261-268, 2016.
- [9] Balanis, Constantine A. *Antenna theory: analysis and design*. John wiley & sons, 2016.
- [10] Yang, Fan, et al. "Wide-band E-shaped patch antennas for wireless communications." *IEEE transactions on antennas and propagation*, vol. 49.7 , pp. 1094-1100, 2001.
- [11] Bedra, Sami. "*Evaluation analytique et numérique des caractéristiques électromagnétiques des structures microbandes ouvertes*"., Thèse de Doctoa, Université de Batna, 2015.
- [12] Ang, Boon-Khai, and Boon-Kuan Chung. "A wideband E-shaped microstrip patch antenna for 5–6 GHz wireless communications." *Progress In Electromagnetics Research*, vol. 75, pp 397-407, 2007.
- [13] High Frequency Structure Simulation (HFSS), ANSOFT Co., Pittsburgh, PA, USA.

Chapitre IV

Conception d'une antenne pour les
communications sans fil

IV.1. Introduction

Au nombre des multiples variétés d'antennes actuellement étudiées dans la communication sans fil on retrouve l'antenne patch rectangulaire. Il se caractérise par la simplicité de sa structure, la facilité de sa fabrication, sa bande passante large et son diagramme de rayonnement appréciable. Ce type d'antenne à un sérieux inconvénient, qui est la bande passante étroite [1]-[3]. Par conséquent, de nombreux efforts ont été faits pour élargir la bande. Bien que, la configuration conventionnelle d'une antenne microruban comprend un seul patch conducteur assurant diverses applications [4]-[7].

Dans le but d'améliorer les paramètres de la structure, il est nécessaire d'arrêter l'étape de conception de l'antenne et d'utiliser le logiciel approprié. De plus, la conception aide à la prise en compte de l'imperfection des paramètres diélectriques et conducteurs des matériaux sélectionnés, afin d'être plus proche des antennes futures réalisées. Par conséquent, le choix d'un simulateur électromagnétique adapté est essentiel. Parmi les nombreux outils de simulation existants Nous avons réussi à en tester un, à savoir HFSS (High Frequency Structure Simulator) Aa comme un simulateur de calcul la méthode des éléments finis Pour les antennes patch rectangulaire à forme compacte, le simulateur HFSS est retenu pour sa combinaison idéale à la fois de précision des calculs et de rapidité de résolution.

Ce chapitre sera consacré à l'étude d'une antenne compacte, la configuration de cette antenne Figure IV.1 (a) a également évoluée en deux étapes ((b) puis (c)) à partir d'une antenne patch rectangulaire. Les paramètres importants qui affectent les performances de l'antenne seront étudiées afin d'avoir une bonne conception de ce type d'antenne [8].

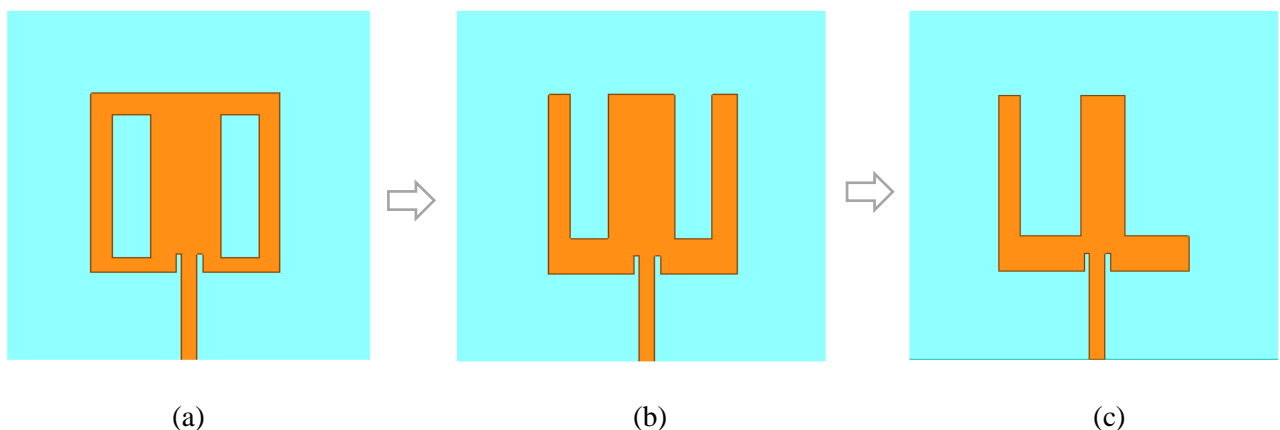


Figure IV. 1. Configuration et évolution de la structure proposée.

La configuration des structures proposées est montrée sur la figure IV. 1 Nous percevons que l'antenne patch rectangulaire avec deux ouvertures (slots) (a), évoluée à la structure de forme *E* inversé (b) puis en *F* inversé (c).

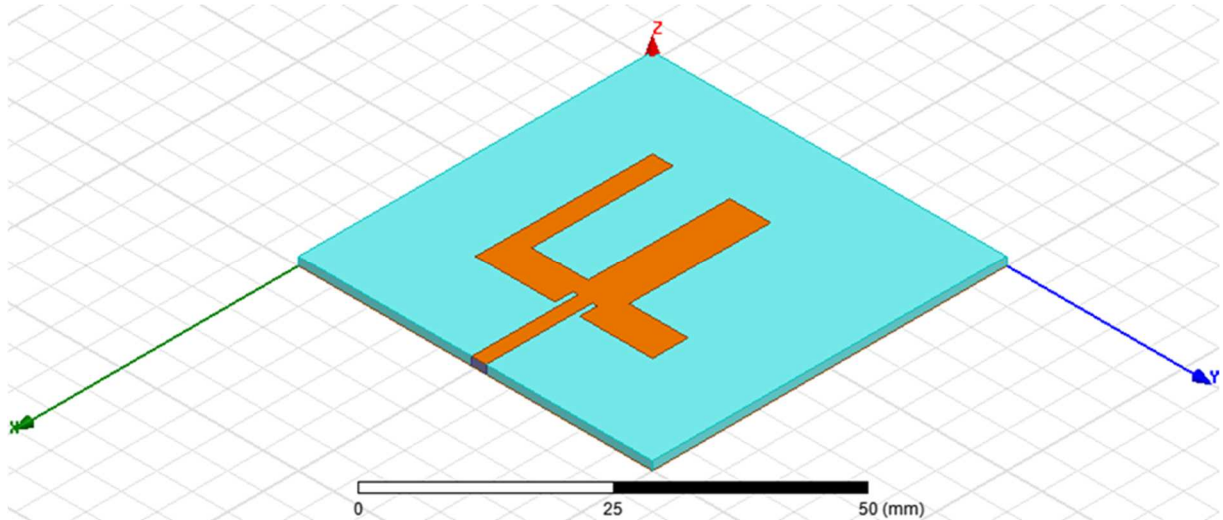


Figure IV. 2. Structure de l'antenne proposée sous HFSS.

La structure de l'antenne étudiée est présentée sur la figure IV. 2, elle est constituée d'un patch rectangulaire forme *F* inversé imprimé sur la face supérieure d'un substrat, le plan de masse imprimé sur la face inférieure du substrat. L'antenne est destinée à fonctionner à une fréquence de 2.4GHz et 5GHz.

IV.2. Discussions des résultats numériques

IV.2.1. Etude paramétrique de l'antenne proposée

La meilleure performance d'une antenne dépend de la valeur de coefficient de réflexion (S_{11}) et sa valeur doit être inférieure à -10 dB. La figure IV.3 montre la comparaison entre le S_{11} simulé des antennes proposées (*a*, *b*, et *c*).

La figure IV.3 divulgue que la structure (c), a une double bande avec des encoches observées dans les réponses en fréquence des structure (*a*) et (*b*), avec une légère différence de bande passante.

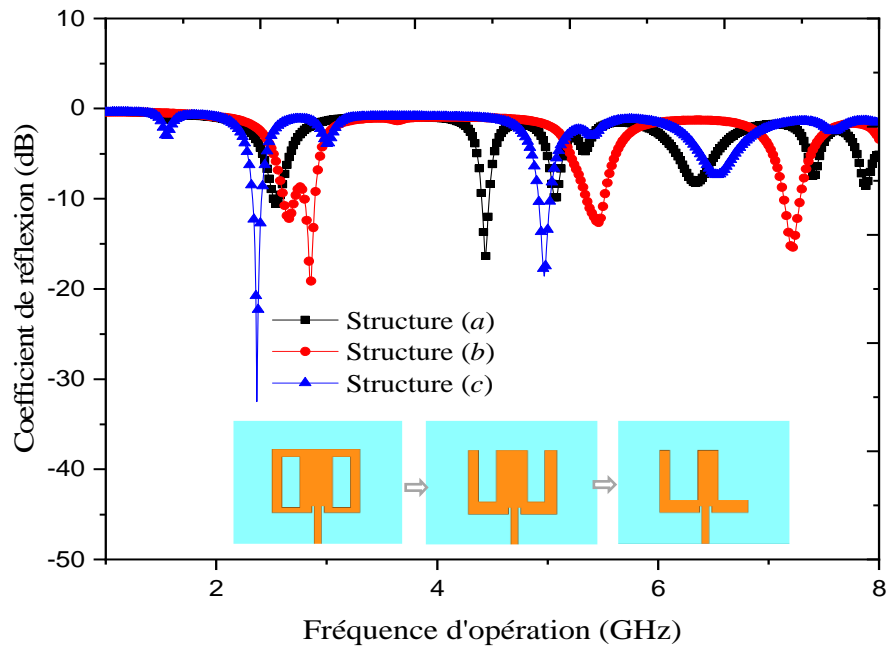


Figure IV.3. Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de pour différentes structures proposées *a*, *b* et *c*.

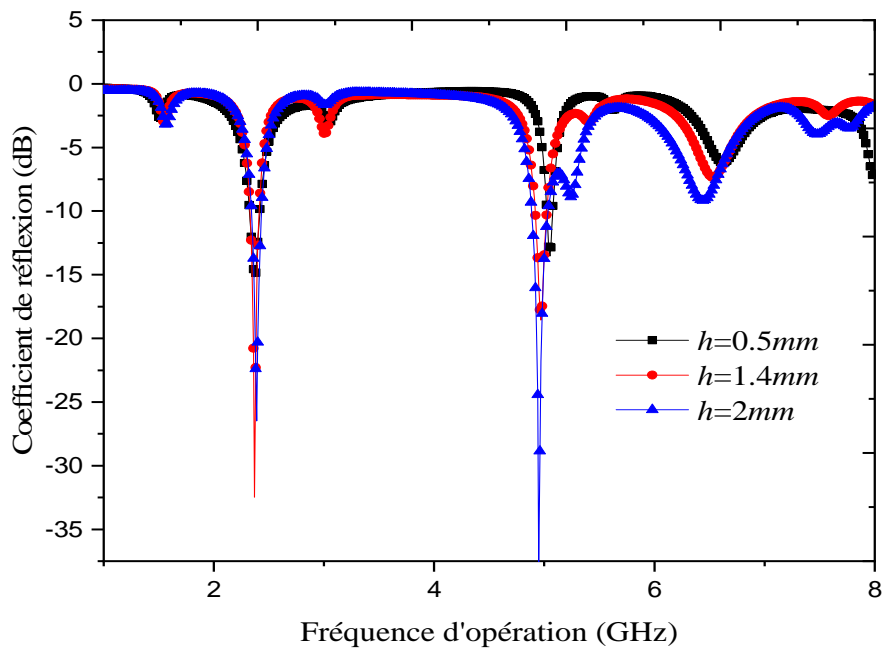


Figure IV.4. Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de l'antenne pour différentes valeurs d'épaisseur du substrat h .

D'autre part, les valeurs de coefficient de réflexion sont comprises entre -20dB et -34dB, qui correspondes aux fréquences de 2.4 et 5GHz, ce qui rend cette antenne adaptée aux applications de communication sans fil. Par conséquent, nous avons sélectionné cette structure pour simuler les différents paramètres de l'antenne compacte prévue pour les applications sans fil.

Maintenant, nous faisons varier l'épaisseur du substrat ($h=0.5, 1.4, \text{ et } 2 \text{ mm}$) et on garde tous les autres paramètres de l'antenne fixes. Les résultats obtenus du module du coefficient de réflexion (en dB) pour les trois épaisseurs du substrat sont implantés dans la figure IV.4. On remarque que pour les différentes épaisseurs du substrat, la fréquence de résonance reste presque inchangée, mais le niveau du coefficient de réflexion varie de manière non-significative. Une sous-routine d'optimisation de la structure antennaire vis-à-vis de la hauteur du substrat est devenue nécessaire.

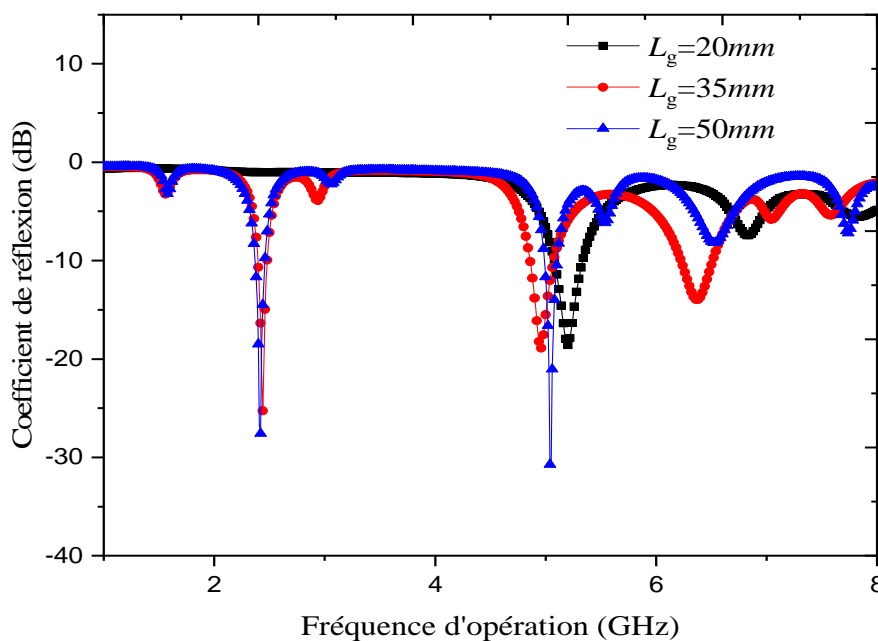


Figure IV.5. Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de l'antenne pour différentes tailles du plan de masse L_g .

Dans cette phase, nous étudions l'effet de la longueur du plan de masse L_g sur les caractéristiques de l'antenne microbande compacte et sur la fréquence de résonance. La variation du coefficient de réflexion (S_{11}) en fonction de la fréquence pour les trois longueurs du plan de masse ($L_g = 20, 35 \text{ et } 50 \text{ mm}$) est présentée dans la figure IV.5.

Les minimums du module du coefficient de réflexion passe de $(S_{11})|=-28.5\text{dB}$, et -32dB correspondants aux fréquence $f=2.4\text{ GHz}$, et $f=5\text{ GHz}$ pour $L_g=50\text{ mm}$. On observe que les résultats à $L_g=50\text{ mm}$, sont meilleurs lorsqu'on les compare à d'autres valeurs en ce qui concerne la précision et la bande passante.

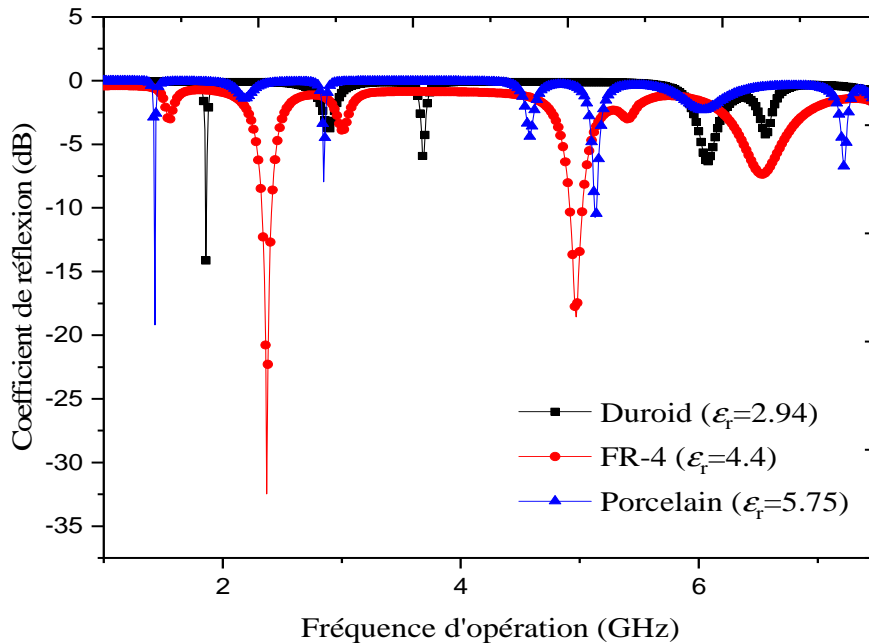


Figure IV.6. Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de l'antenne imprimée sur différents substrats ϵ_r .

Dans cette sous-section, nous étudions l'effet de la permittivité de diélectrique sur les caractéristiques de l'antenne compacte forme F inversé. Le coefficient de réflexion d'une antenne compacte déposé sur substrat ($h=3\text{mm}$), a été calculé pour quatre différentes valeurs de la permittivité relative ($\epsilon_r=2.94, 4.4, \text{ et } 5.75$). Nous superposons les résultats obtenus du coefficient de réflexion (S_{11}) en dB pour les trois diélectriques dans la figure IV.6.

Nous remarquons bien que le minimum du coefficient de réflexion passe de -33dB avec une fréquence de 2.4 GHz , et -18 dB avec une fréquence de 5GHz . On peut conclure donc, que la permittivité relative influe considérablement sur le coefficient de réflexion et par conséquent sur la fréquence de résonance de l'antenne de telle façon que chaque décroissance dans la permittivité fait accroître la fréquence de résonance et la rend plus forte.

IV.2.2. Structure finale de l'antenne optimisée

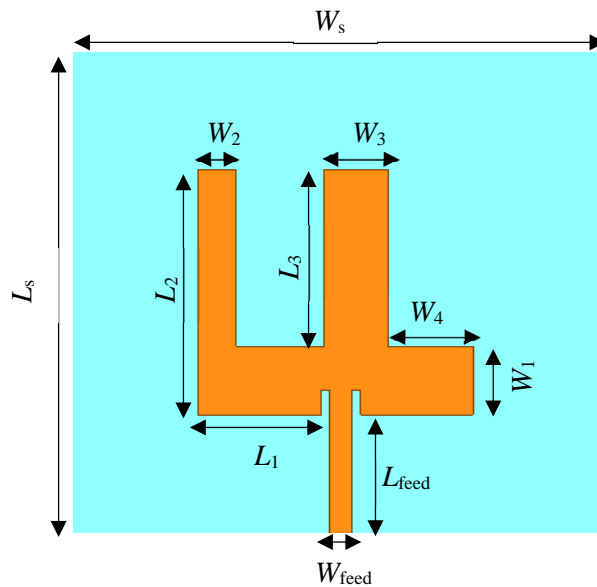


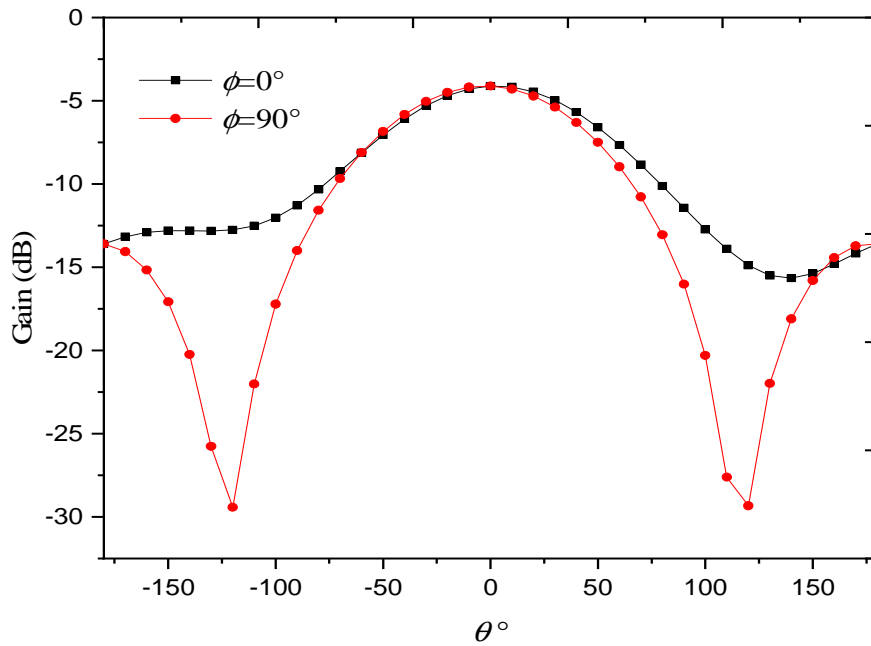
Figure IV.7. Structure finale de l'antenne optimisée.

Les paramètres géométriques ont été ajustés avec soin après avoir effectué un certain nombre d'itérations expérimentales en utilisant l'option de balayage des paramètres dans le solveur transitoire. Enfin, les paramètres optimaux obtenus pour la configuration proposée (Figure IV.7) sont présentés dans le tableau VI.1.

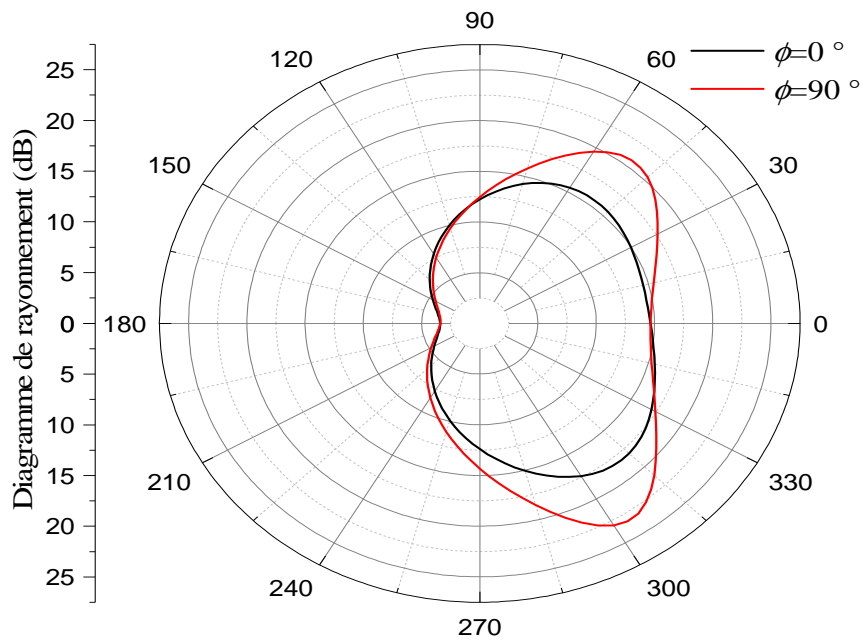
Table VI.1. Paramètres optimaux de l'antenne proposée.

Paramètres	W_s	L_s	W_1	L_1	W_2	L_2	L_3	W_3	W_4	W_{feed}	L_{feed}
Unité (mm)	50	50	7	11.25	3.5	25	7	5.75	7.75	2	15

La variation du gain et du diagramme de rayonnement est illustrée à la Figure IV.8 (a) et (b), respectivement. On peut remarquer à partir de cette figure que les lobes de rayonnement principaux de l'antenne proposée sont dirigés presque vers 0° dans les deux plans E et H dans à une fréquence de 2.4 GHz. Notamment, les diagrammes de rayonnement sont assez similaires (figure IV.8. (a)). Les résultats du diagramme de rayonnement en champ lointain pour l'antenne proposée, pour une fréquence spécifiée 2.4 GHz, ont été simulés, comme illustré à la Figure IV.8. (b), clarifiant un tracé polaire du diagramme de rayonnement dans les deux plans : Plan E ($\phi = 0^\circ$), Plan H ($\phi = 90^\circ$).



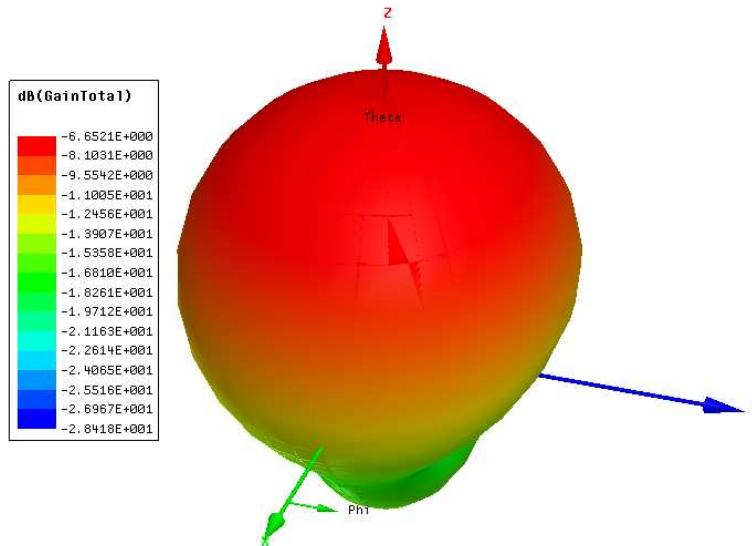
(a)



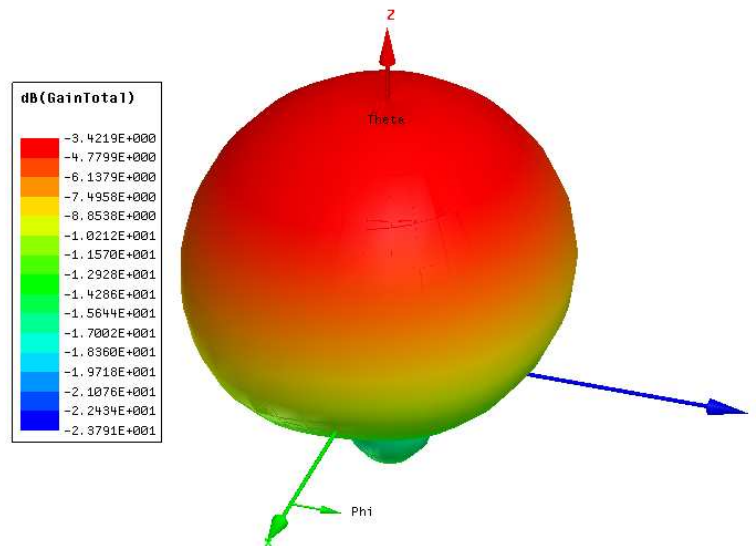
(b)

Figure III.8. Gain de l'antenne proposée, (a) Gain dans les deux plans E et H , (b) Diagramme de rayonnement du Gain.

L'antenne proposée a démontré des caractéristiques de diagramme de rayonnement sensibles avec des comportements principalement symétriques à cette fréquence.



(a)



(b)

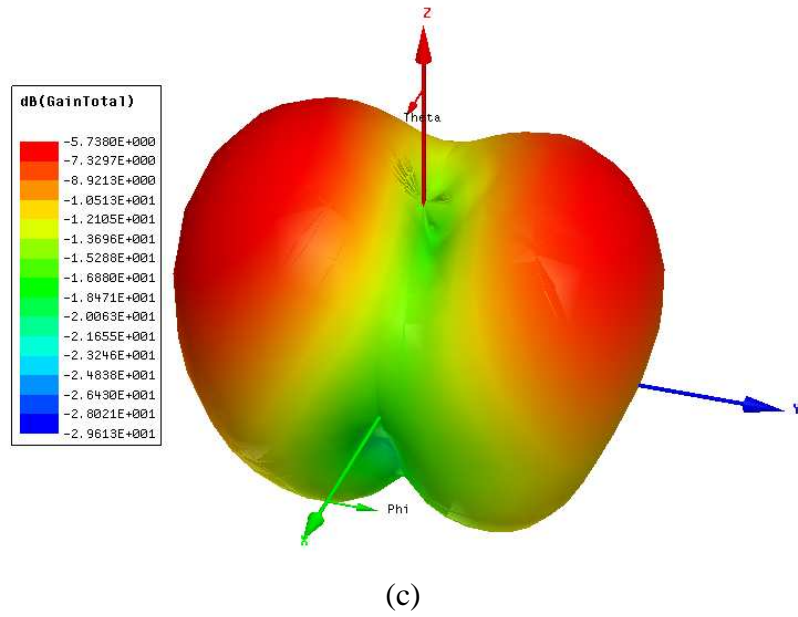


Figure IV.9. Diagramme de rayonnement de l'antenne proposée à :
 (a) 2GHz, (b) 2.4GHz, (c) 5 GHz.

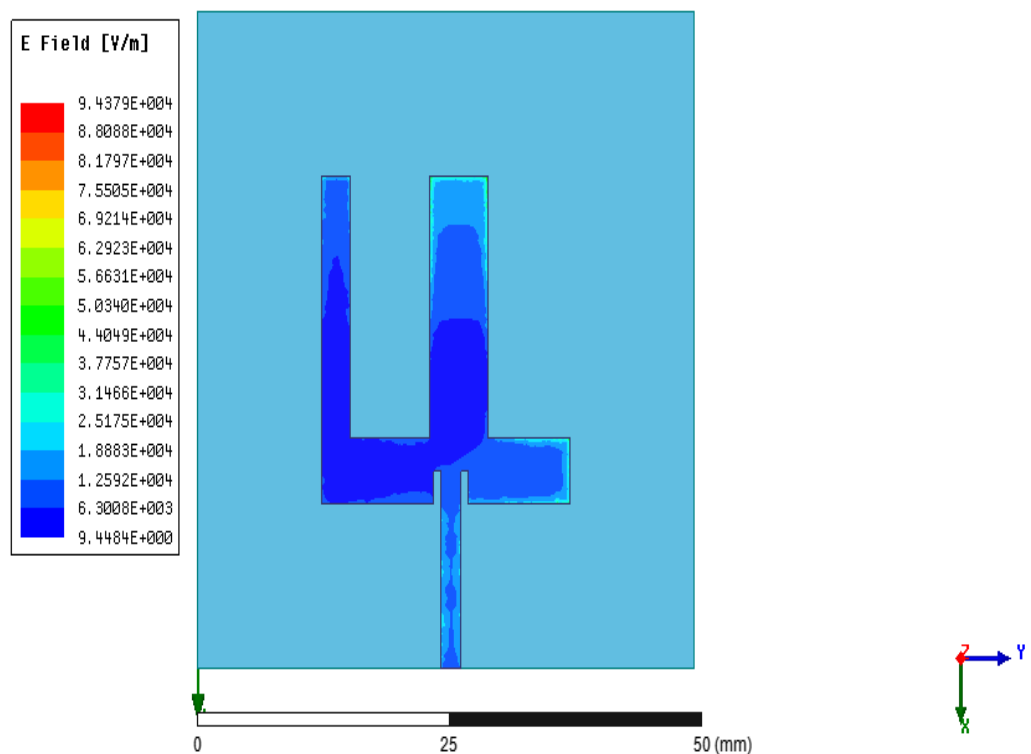


Figure IV.10. Répartition du champ électrique de l'antenne proposée sous HFSS.

Les diagrammes de rayonnement de l'antenne proposée en trois dimensions (3D) sont simulés dans la région de champ lointain, comme illustré à la figure IV.9. Cette figure montre que le diagramme de rayonnement de l'antenne proposée aux figures IV.9.a, et IV.9.b n'a qu'un seul lobe principal alors que les lobes secondaires sont minimisés. La figure IV.9.c représente le diagramme de rayonnement optimal des antennes proposées, avec la présence des lobes secondaires. On constate aussi, que le diagramme est directionnel dans le plan vertical H et omnidirectionnel dans le plan horizontal E .

La performance de l'antenne compacte proposée est illustrée plus en détails à l'aide des distributions des champs électrique, magnétique, et courants de surface simulées sur la structure d'antenne à la fréquence de résonance 2.4 GHz, tel qu'ils apparaissent aux figures IV.10, IV.11, et IV.12.

La Figure IV.10, présente la distribution de champ électrique de la structure simulé. Il est notable que le maximum de champ électrique se trouve aux extrémités du patch, ce qui explique le fait de rayonnement de ce type d'antenne s'effectue principalement par ces bords.

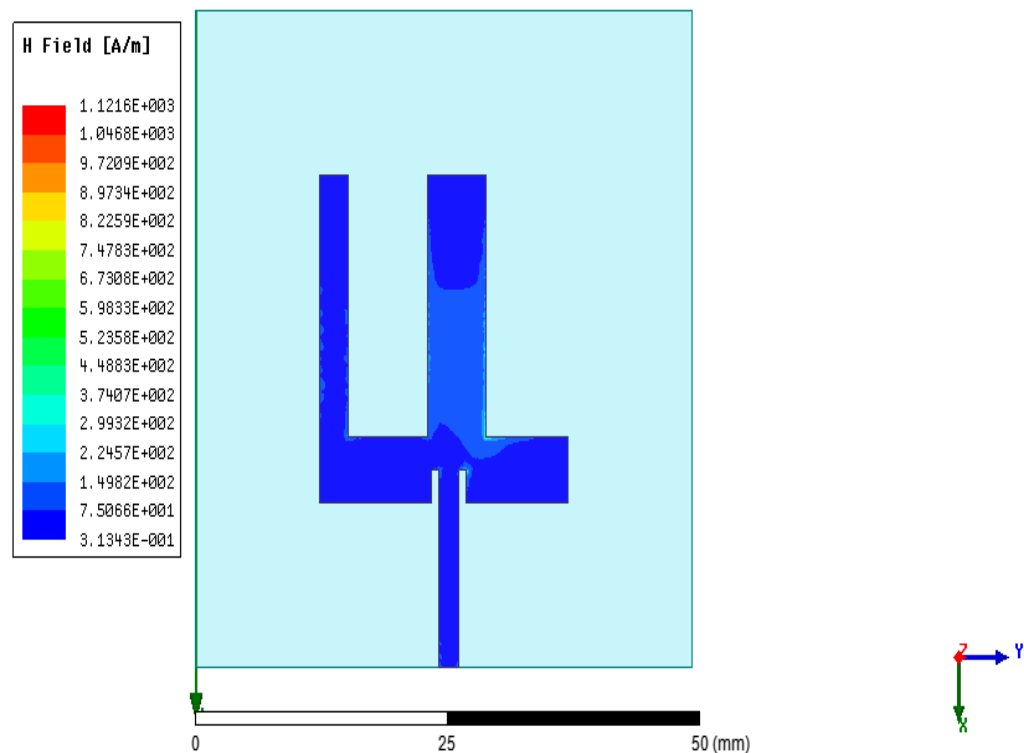


Figure IV.10. Répartition du champ magnétique de l'antenne proposée sous HFSS.

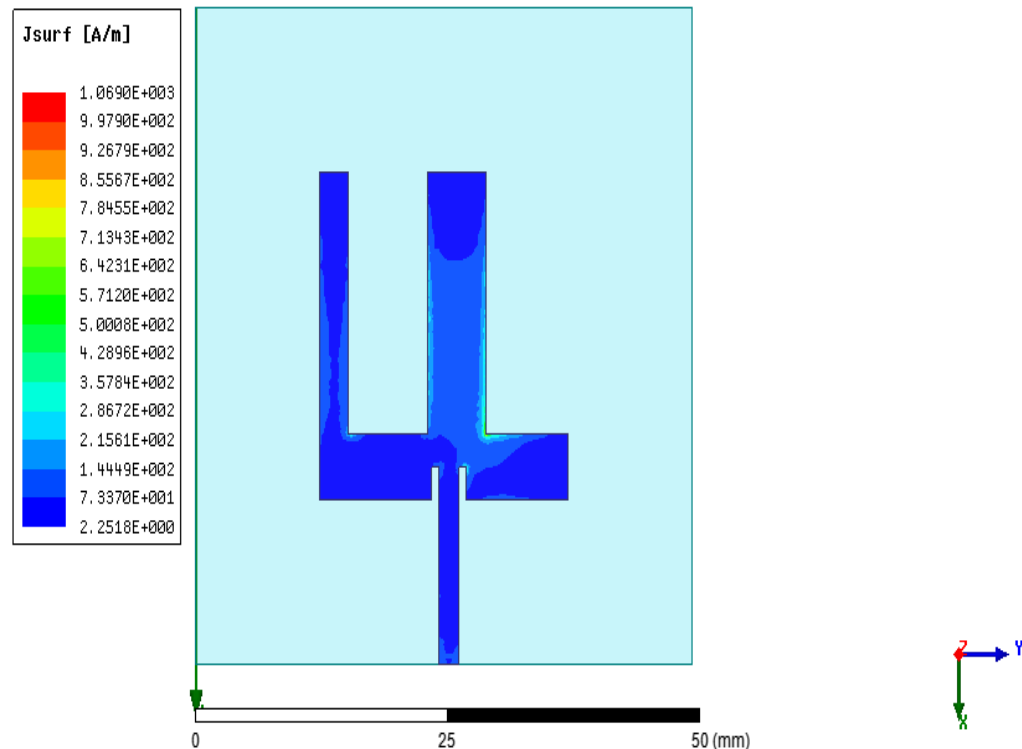


Figure IV.11. Répartition du courant électrique de l'antenne proposée sous HFSS.

A partir de la figure IV.11, on voit que le champ magnétique est concentré sur les bords supérieurs du côté de l'antenne compacte de forme F . Cependant, à la figure IV.12, on observe que la distribution du courant électrique est principalement localisée sur la ligne d'alimentation, ainsi que les bords de la structure rayonnante.

IV.3. Conclusion

Dans ce chapitre, une antenne microbande compacte en forme de F ont été conçus et simulés et leurs fréquences de fonctionnement se situent dans les bandes WLAN. L'antenne proposée offre une fréquence utile, une double bande et de bonnes caractéristiques de rayonnement en termes de diagrammes de rayonnement. Les résultats simulés d'un gain et d'une directivité très acceptables, tandis que la meilleure valeur de coefficient de réflexion (S_{11}) est de -30 dB. Ces paramètres sont relativement bons et peuvent être améliorés en réalisant un réseau des antennes proposées. Par conséquent, ces résultats rendent les antennes proposées adaptées aux applications de communication sans fil et peuvent être fabriquées facilement.

IV.4. Références bibliographiques

- [1] Tao, Lei, et al. "Bandwidth enhancement of microstrip patch antenna using complementary rhombus resonator." *Wireless Communications and Mobile Computing* , vol. 2018, 2018.
- [2] Mbinack, Clément, et al. "Inset-fed rectangular microstrip patch antenna bandwidth enhancement." *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 61, no.2, pp. 562-567, 2019.
- [3] Al-Ahmadi, Ahmad, and Yahya SH Khraisat. "Bandwidth enhancement of microstrip patch antenna." *Applied Physics Research*, vol. 11, no. pp. 35-40, 2019.
- [4] Zhao, Zhenjiang, and Tayeb A. Denidni. "Millimeter-wave printed-RGW hybrid coupler with symmetrical square feed." *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 30, no.2 , pp. 156-159, 2020.
- [5] Meriche, Mohammed A., et al. "High Gain Circularly Polarized X-shaped Aperture Coupled Antenna for WLAN Applications." *The Applied Computational Electromagnetics Society Journal (ACES)*, vol.2019, pp. 1508-1513, 2019.
- [6] Farahani, Mohammadmahdi, Mourad Nedil, and Tayeb A. Denidni. "A novel hedgehog waveguide and its application in designing a phase shifter compatible with hollow waveguide technology." *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 67, no.10, pp. 4107-4117, 2019.
- [7] Kamil, Adil."Conception d'une antenne patch ultra-large bande (3.1 GHz-10.6 GHz)", Mémoire de Master, Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique, 2011
- [8] Alikacem, Mohamed Kamel. "Etude comparatif entre une antenne patch rectangulaire Et une autre inversée par le logiciel HFSS.", Mémoire de Master, Université de Medea, 2021.

Conclusion Générale

Conclusion générale

La technologie des antennes microbandes a permis une grande agitation dans le domaine de la télécommunication. Elles sont des composants nécessaires et importants pour assurer le processus de transmission ou de réception des ondes électromagnétiques dans l'espace ou dans l'atmosphère terrestre. L'antenne en fait partie points clés pour les réseaux sans fil parce que ce composant est le dernier maillon de la chaîne permettant l'émission, la transmission et la réception du signal d'où les informations qui y sont contenues. Il est offert dans tous les systèmes de communication cellulaire, radiocommunication et réseaux de communications [1]-[2].

Tout d'abord, nous avons commencés par quelques généralités sur les antennes microbandes. Par la suite nous avons détaillé le principe de fonctionnement, les techniques d'alimentation, les différentes méthodes d'analyse, les avantages et les applications des antennes microbandes.

Dans le deuxième chapitre, nous démontrons la possibilité de modéliser l'analyse d'antenne microbande compacte pour les applications sans fil. C'est pourquoi, nous nous sommes appuyés sur le modèle de cavité à parois latérales magnétiques en conjonction avec des connaissances électromagnétiques. Cette proximité hybride prend en compte les caractéristiques physiques du matériau en plus paramètres géométriques d'une antenne microbande. La démonstration de la méthode de cavité modifiée simple qui permet la caractérisation électromagnétique pour les antennes microbande compacte de forme E . La méthode repose sur certaines hypothèses physiques qui conduisent généralement à formules simples.

Nous exploitons le modèle obtenu pour étudier l'effet et la variance des paramètres physiques et géométriques de l'antenne microbande compacte de forme E du chapitre trois, et l'antenne compacte de forme F inversé dans le dernier chapitre.

Dans le chapitre trois nous avons utilisé une étude paramétrique (géométrique et physique) afin d'améliorer les performances d'une antenne patch et de l'optimisée on utilise le simulateur électromagnétique HFSS, après nous avons étudiés et commentons les différents résultats obtenus. En plus d'avoir une large bande passante, un gain et un

diagramme de rayonnement suffisants, l'antenne proposée était efficace. En conséquence, c'est un concurrent sérieux pour les applications des systèmes sans fil.

L'antenne proposée offre une fréquence utile, une double bande et de bonnes caractéristiques de rayonnement en termes de diagrammes de rayonnement. Les résultats simulés d'un gain et d'une directivité très acceptables, tandis que la meilleure valeur de coefficient de réflexion (S_{11}) est de -30 dB. Ces paramètres sont relativement bons et peuvent être améliorés en réalisant un réseau des antennes proposées. Par conséquent, ces résultats rendent les antennes proposées adaptées aux applications de communication sans fil et peuvent être fabriquées facilement.

Le travail présenté dans ce mémoire n'a illustré que l'utilisation des antennes microbandes de forme E ou F inversé demande des degrés de liberté supplémentaires dans la conception de ces antennes, alors il est important de poursuivre les recherches dans ce domaine, mais en utilisant des structures plus difficiles impliquant plusieurs patches et/ou substrats de type électrique et magnétique anisotrope.

Références bibliographiques

- [1] Chouti, Leila,. "*Caractérisation d'une antenne microbande couplée par une ouverture de forme rectangulaire. Application à la réalisation d'une antenne multibande.* ", Thèse de Doctorat, Université Frères Mentouri-Constantine 1, 2018.
- [2] Bedra, Sami. "*Evaluation analytique et numérique des caractéristiques électromagnétiques des structures microbandes ouvertes.* ", Thèse de Doctorat, Université de Batna 2, 2015.

المخلص

يقدم هذا العمل هوائيًا منخفض الحجم مع نطاق تشغيل واسع للتطبيقات اللاسلكية. وراء التصميم بسيط وسهل التنفيذ. يتكون الهوائي الأول المقترح من عنصر إشعاع على شكل E رف E على الو 4 العلوي من الركيزة. الرقعة موضوعة على مادة FR-4 بسماك 2 مم. يتم وضع الرنان E على الجانب العلوي، بينما يتم فر المستوى الأرضي النحاسي على الجانب الآخر من الركيزة. يحتوي الهوائي المقترح الثاني على مقاطع F انبئية منخفضة ويحتوي تكوينها على رنان F معكوس. يوفر الهيكل المقترح نطاقًا مزدو 1 يبلغ 2.4 و 5 F يجاهرتز، على التوالي، والذي يمكن أن يغطي ترددات الاتصال اللاسلكي. بالإضافة إلى ذلك، فإن الهوائيات المقتر $ة$ لها خصائص عدة، كإشعاع محدد F يدا، وكفاءة F يدة، ومظهر F انبئي شديد الصغر، واتجاه شعاع عريض، ومستويات كسب كافية، ونطاق تشغيل مزدوج هي الخصائص الواعدة للتطبيقات اللاسلكية.

الكلمات المفتاحية - هوائيات Microstrip صغيرة الحجم؛ تصميم؛ عرض النطاق الترددي؛ للتطبيقات اللاسلكية.

Abstract

This work introduces a low-profile antenna with a broad operation band for wireless applications. The design procedure is simple and easy to accomplish. The first proposed antenna is composed of E shape arrangement at the topside of the substrate. The patch is arranged on a FR-4 material with 2 mm thickness. The E resonator is placed on the topside, while the ground plane is a cooper arrangement at the other side of the substrate. The second proposed antenna have low profiles, and their configuration contains inversed F resonator with a rectangular director. The proposed structure offers dual band of 2.4 and 5GHz, respectively, which could cover wireless frequencies. Moreover, the proposed antennas are Well-defined radiation, good efficiency, highly miniaturized profile, wide beam-steering, sufficient gain levels, and dual operation band are the promising characteristics of the wireless applications.

Keywords - *Compact Microstrip Antennas; Design; Bandwidth; Wireless Communications.*

Résumé

Ce travail introduit une antenne à profil bas avec une large bande de fonctionnement pour les applications sans fil. La procédure de conception est simple et facile à réaliser. La première antenne proposée est composée d'un élément rayonnant en forme de E sur la face supérieure du substrat. Le patch est disposé sur un matériau FR-4 de 2 mm d'épaisseur. Le résonateur E est placé sur la face supérieure, tandis que le plan de masse de cuivre est gravé sur l'autre côté du substrat. La deuxième antenne proposée à des profils bas et leur configuration contient un résonateur F inversé. La structure proposée offre une double bande de 2.4 et 5 GHz, respectivement, qui pourrait couvrir les fréquences de communication sans fil. De plus, les antennes proposées ont un rayonnement bien défini, une bonne efficacité, un profil hautement miniaturisé, une direction de faisceau large, des niveaux de gain suffisants et une double bande de fonctionnement sont les caractéristiques prometteuses des applications sans fil.

Mots Clés- *Antennes Microbandes Compactes ; Conception ; Bande Passante; Communications sans fil.*