



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

**Développement d'une antenne
microbande à double bandes pour les
applications WLAN/MIMO.**

Réalisé par : - M^{elle} BENZEMOULI Kater Enada

- M^{elle} MEDJEHED Maroua

Devant Le Jury :

Présidente:	Dr. FRIHA Souad
Rapporteur:	Pr. BEDRA Sami
Examineur:	Dr. DOUAK Fouzi

Promotion 2022/2023

REMERCIEMENTS

وآخر دعوانهم ان الحمد لله رب العالمين

Tout d'abord nous remercions ALLAH tout le puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force, la volonté et la patience d'accomplir ce modeste travail.

En second lieu, Nous adressons nos remerciements, notre gratitude et notre appréciation au promoteur de notre mémoire, le Pr BEDRA Sami, pour nous avoir fait bénéficier de ses compétences scientifiques, ainsi que pour sa présence tout au long de ce travail.

Nous tenons à remercier les membres de jury, la présidente : Mme. FRIHA Souad pour le grand honneur que vous nous faites en acceptant de juger et de présider ce travail, et l'examineur : Dr .DOUAK Fouzi pour avoir accepté d'examiner notre travail.

Nous vous prions de bien vouloir recevoir le témoignage de notre profond respect.

Nous remercions également nos chers parents, nos succès demeurés loin le fruit de leurs longues années de sacrifices et de patience.

Un grand merci particulier pour tous nos enseignants du département de génie industriel université Abbés Laghrour Khenchela pour leur gentillesse et disponibilité pendant 5 années d'études.

Enfin, nous ne voudrais pas oublier de remercier tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin pour réaliser ce travail.

Dédicace

Nous dédions ce mémoire à :

Nos chers parents pour leur encouragement, leur patience, leur soutien, leur disponibilité.

A nos frères, A nos sœurs.

À nos familles, nos proches et à ceux qui nous donné de l'amour et la vivacité. À tous nos amis qui nous ont encouragés, et à qui nous a souhaité plus de succès dans tous ceux que nous voulons.

Kater Enada & Maroua

Table des Matières

Table des Matières

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

Chapitre I

Généralités sur les Antennes Microbandes

I .1. Introduction.....	8
I.2. Description d'une antenne microruban.....	8
I.5. Fonctionnement d'antenne microbande	12
I.5.1. Les ondes existantes sur les antennes microbandes.....	12
I.5.1.1. Ondes guidées.....	12
I.5.1.2. Ondes rayonnées.....	12
I.5.1.3. Ondes de surface.....	13
I.5.2. Fonctionnement	13
I.6. Technique d'alimentation	14
I.6.1. Alimentation de ligne microruban	14
I.6.2. Alimentation par câble coaxiale.....	16
I.6.3. Alimentation couplée à l'ouverture (fente).....	17
I.6.4. Alimentation couplée par proximité	18
I.7. Méthode d'analyse des antennes.....	19
I.7.1. Méthode analytique.....	19

<i>I.7.1.1. Méthode de la ligne de transmission</i>	20
<i>I.7.1.2. Méthode de la cavité</i>	20
I.7.2. Méthode numérique (full-wave).....	21
I.7.3. Méthode d'optimisation	21
<i>I.7.3.1. Algorithmes génétiques</i>	21
<i>I.7.3.2. Réseaux de neurones artificiels</i>	22
I.8. Domaine d'utilisations des antennes microrubans	22
I.9. Avantages et inconvénients.....	23
I.9.1. Principaux avantages des antennes microrubans.....	23
I.9.2. Principaux inconvénients des antennes microrubans	23
I.10. Conclusion.....	23
I.12. Références bibliographiques.....	24

Chapitre II

Les Systèmes WLAN et MIMO

II. 1. Introduction.....	30
II.2. Systèmes MIMO.....	30
II.2.1. Définition du système MIMO	30
II.2.2. Présentation des systèmes MIMO	31
II.2.3. Fonctionnement de MIMO.....	31
<i>II .2.3.1. Notion de diversité</i>	32
II.3. Les différentes catégories de MIMO.....	34
II .4. Types des systèmes MIMO.....	35
II.4.1. SISO.....	35

II.4.2. SIMO	36
II.4.3. MISO	36
II.4.4. MIMO	37
II.5. Intérêt des systèmes MIMO	38
II.6. Application de la technologie MIMO	39
II.6.1. La technologie MIMO dans le système WiMAX	39
II.6.2. La technologie MIMO dans le système WiFi	40
II.6.3. Les antennes MIMO	40
II.6.3.1. Choix de l'antenne MIMO	41
II.7. Systèmes WLAN	41
II.7.1. Définition de système WLAN.....	41
II.7.2. Système WLAN.....	41
Figure II.9. Système WLAN.....	42
II.7.3. Fonctionnement de WLAN	42
II.8. Les composants des réseaux WLAN	44
II.8.1. Les types des systèmes WLAN.....	45
II.8.1.1. Infrastructure BSS.....	45
II.8.1.2. Ad hoc IBSS.....	46
II.8.1.3. Ponts.....	46
II.8.1.4. Système de distribution sans fil WDS	46
II.8.2. Les avantages des WLAN.....	48
II.8.3. Les inconvénients des WLAN	48
II.8.4. Application des WLAN.....	49
II.8.5. Les antennes WLAN	49
II.8.6. Choix des antennes WLAN	51
II.9. Conclusion.....	51
II.10. Références bibliographiques.....	51

Chapitre III

Conception d'une antenne microruban pour les communications WLAN

III. 1. Introduction.....	55
III.2. Discussions des résultats numériques	55
III.2.1. Etude paramétrique de l'antenne proposée	55
III.2.1.1. Coefficient de réflexion	55
III.2.2. Diagramme de rayonnement 3D	63
III.3. Conclusion.....	66
III.4. Références bibliographiques.....	66

Chapitre IV

Développement d'une antenne compacte pour les applications MIMO

IV.1. Introduction	70
IV.2. Discussions des résultats numériques.....	72
IV.2.1. Etude paramétrique de l'antenne proposée	72
IV.2.1.1. Coefficient de réflexion.....	72
IV.3. Structure finale de l'antenne optimisée	77
IV.4. Diagramme de rayonnement.....	79
IV.5. Cartographie des champs.....	83

IV.6. Conclusion	85
IV.7. Références bibliographiques.....	85
<hr/>	
Conclusion Générale	87
Résumé, Abstract, ملخص.....	89

Introduction Générale

Introduction générale

Au cours de ces dernières années, le domaine de télécommunications a fait des pas gigantesques en avant grâce aux demandes successives et accélérées de la population et l'industrie. Dans ce domaine, l'invention des antennes a pris une place spéciale parce qu'elles sont des éléments indispensables pour assurer une opération d'émission ou de réception des ondes électromagnétiques dans l'atmosphère terrestre ou dans l'espace [1,2]. Il existe plusieurs types d'antennes telles que les antennes paraboliques, les antennes patches, les antennes Yagi, les antennes dipôles, etc. [3].

Les réseaux sans fil ont remplacé les communications filaires pour obtenir une plus grande mobilité et améliorer le débit des applications grâce au développement particulier de ces antennes. Parmi lesquelles, on cite les antennes microrubans qui sont très convoitées car leur profil est faible. De plus, le défi a été de développer des techniques qui permettent d'obtenir une structure d'antenne microruban de taille plus petite pour remplacer l'antenne de grande taille de l'ancienne génération. C'est pourquoi, les antennes microrubans sont devenues très populaires dans les applications de communications sans fil [4]. D'abord, le concept d'antenne microbande a été proposé dans les années 1950. Comme ce dernier a réalisé des excellents progrès, de nombreuses applications des antennes microrubans sont montées sur des missiles et des avions dans une vingtaine d'années. Depuis lors, l'étude des antennes microbandes a explosé, donnant naissance à une antenne de la nouvelle industrie [5].

En effet, les domaines d'utilisation privilégiés des antennes microbandes sont les communications en haute fréquences tels que les communications spatiales, les systèmes militaires et commerciaux de positionnement par satellite (GPS), la navigation aérienne ou terrestre, les réseaux locaux sans fil WLAN (Wireless Local Area Network), la médecine, la communication entre deux mobiles. Cette large et importante utilisation est due aux divers avantages tels que : faible poids, volume et épaisseur, coût de fabrication, une production en série facile, possibilité de mise en réseau, l'intégration d'éléments discrets et la conformabilité facilitant l'implantation sur tout type de support [1,2]. Toutefois, ce type d'antenne présente des limites précisément la bande passante étroite [6,7], une excitation possible d'ondes de surface [8,9], un rayonnement faible et une directivité relativement peu élevée [10,11].

Ces dernières années, le système WLAN a évolué et la gamme appliquée sur le marché est de plus en plus large grâce au développement rapide de la communication sans fil, [12,13]. Les WLAN exigent l'envoi et la réception bidirectionnels de données de manière rapide, efficace et fiable, ce qui se reflète dans le sous-système d'antenne [14,15]. La société moderne est entrée dans l'ère de l'information et les gens présentent des nécessités plus grande pour ce genre d'antenne [16]. Mais, les antennes microrubans ont une bande passante étroite, donc il faut utiliser des antennes microbandes bi-bandes. Actuellement, des études approfondies sur ces dernières appliquées au WLAN ont été menées et de nombreux types d'antennes fonctionnant en bi-bande ont été proposés, tels que les antennes dipôles [17]. Ces antennes ont une structure simple et un coût faible, qui s'accordent à l'utilisation d'appareils WLAN. La recherche sur ces antennes est axée sur la petite échelle, la large bande, la multi polarisation, la multi bande et le gain élevé, etc. [18].

La conception des nouvelles générations de réseaux sans fil se trouve généralement accompagner au problème de la restriction de la capacité causé par une bande passante très étroite et une puissance d'émission souvent faible. Pour surmonter ces obstacles, une nouvelle technologie appelée communément MIMO (entrées multiples, sorties multiples) tente de tirer profit de la dimension spatiale, en installant plusieurs antennes au niveau des émetteurs et/ou des récepteurs. MIMO est l'une des dernières formes de technologie d'antenne intelligente pour perfectionner les performances de communication [19].

Dernièrement, les créateurs d'antennes microrubans utilisent la technologie MIMO, dans laquelle ils utilisent deux patches rayonnants ou plus dans la fabrication pour la transmission. Récemment, plusieurs antennes MIMO ont été proposées dans la littérature. Quelques-unes d'entre elles sont conçues pour fonctionner dans la gamme de fréquences de 3,1 à 10,6 GHz, adaptée aux applications ultra large bande (ULB) [20, 21].

Les techniques de simulation électromagnétique ont été développées très vite pour arriver à un niveau de précision très efficace. Ces outils de simulation ont permis d'accélérer le processus de conception, permettant de concevoir des prototypes virtuels. Par exemple le logiciel HFSS (High Frequency Structure Simulation) qui est l'un des plus performants sur le marché [22].

Dans ce travail, l'objectif principal est la conception des antennes microbandes compactes pour les applications WLAN et les applications dans les systèmes MIMO. Pour atteindre notre but, nous avons divisé ce travail en quatre chapitres :

Dans le chapitre introductif, nous avons présenté des généralités sur les antennes microbandes leurs différents matériaux et les substrats utilisés, ainsi que leur mécanisme de fonctionnement, les techniques d'alimentation cohérentes, et les domaines d'applications. Nous présentons également les méthodes d'analyses les plus utilisées pour traiter ce genre d'antenne. Nous avons terminé ce chapitre par une conclusion.

Le deuxième chapitre est consacré aux systèmes MIMO et WLAN. Nous avons fait une présentation détaillée sur ces deux systèmes. Ce chapitre est divisé en deux parties, la première sur les systèmes MIMO, et dans la deuxième sur les systèmes WLAN.

Le troisième chapitre présente la simulation d'une antenne microbande pour les communications WLAN. L'avantage est qu'elle peut fonctionner dans les deux bandes de fréquences 2.4 et 5 GHz en même temps. On a commencé par une étude paramétrique des paramètres physique et géométriques de l'antenne proposée, puis les résultats obtenus. Ensuite nous avons présenté le diagramme de rayonnement de l'antenne microbande (2D et 3D) par rapport aux différentes fréquences ainsi que la répartition des champ électrique, magnétique, et du courant électrique de cette antenne. Enfin une interprétation, une discussion et une explication physique et géométrique de résultats obtenus.

Dans le quatrième chapitre nous avons présenté la simulation d'une nouvelle antenne compacte pour les applications MIMO qui ont l'avantage d'offrir une large bande passante. La conception proposée de l'antenne compacte est capable de générer deux bandes de fonctionnement distinctes avec un coefficient de réflexion de -10dB comme suit 3.26–3.56 GHz et 4.84–6.67 GHz avec une bande passante adéquate de 300 MHz et 1.83 GHz, respectivement. Les bandes passantes d'impédance sont suffisamment larges pour couvrir les bandes passantes requises de 5.25–5.85 GHz pour les sorties multiples à entrées multiples. Nous avons fourni des commentaires sur les résultats obtenus.

Enfin, nous avons présenté une conclusion générale qui résume le travail effectué et les perspectives susceptibles de l'achever.

Références bibliographiques

- [1] James, J. R., G. John, and C. M. Hall. "Millimetre-wave hybrid dielectric-microstrip antenna array." In *IEE Proceedings H (Microwaves, Optics and Antennas)*, vol. 131, no. 6, pp. 341-350. IET Digital Library, 1984.
- [2] Bhattacharyya, A., and Ramesh Garg. "Input impedance of annular ring microstrip antenna using circuit theory approach." *IEEE Transactions on antennas and propagation* 33, no. 4, pp. 369-374, 1985.
- [3] Sarwar, A., A. Kumar Patel, G. Chandra, and R. Singh. "A Vernal Design of Microstrip Patch Antenna for 2.4 GHz/5 GHz WLAN Applications." *International Journal of Advanced Research* 2, no. 4 pp. 689-693, 2016.
- [4] BougoutaiaTahar. "*Analyse et conception des antennes microstrip à base de métamatériaux.*", Thèse de doctorat. Université de M'sila, 2018.
- [5] Bedra, Sami. "Evaluation analytique et numérique des caractéristiques électromagnétiques des structures microbandes ouvertes.", Thèse de Doctorat, Université de Batna, 2015.
- [6] Popovic, Branko D., Jon Schoenberg, and Zoya Basta Popovic. "Broadband quasi-microstrip antenna." *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 43, no. 10 , pp. 1148-1152, 1995.
- [7] Pozar, David. "Considerations for millimeter wave printed antennas." *IEEE Transactions on antennas and propagation* 31, no. 5, pp. 740-747, 1983.
- [8] Elazar, Gavriel, and M. Kisliuk. "Microstrip linear slot array antenna for X-band." *IEEE transactions on antennas and propagation* 36, no. 8, pp. 1144-1147, 1988.
- [9] Peixeiro, C., and A. M. Barbosa. "Leaky and surface waves in anisotropic printed antenna structures." *IEEE transactions on antennas and propagation* 40, no. 5 , pp. 566-569, 1989.
- [10] Meddour Meriem, Benkedda Siham, "Etude et simulation d'une antenne microbande dans la bande WiFi 5 GHz.", Mémoire de Master, Université de Ouargla, 2017.
- [11] Bhattacharjee, A. K., SR Bhadra Chaudhuri, D. R. Poddar, and S. K. Chowdhury. "Equivalence of radiation properties of square and circular microstrip patch antennas." *IEEE transactions on antennas and propagation* 38, no. 10, pp.1710-1711, 1990.

- [12] Park, Hangu, and Maysam Ghovanloo. "Wireless communication of intraoral devices and its optimal frequency selection." *IEEE transactions on microwave theory and techniques* 62, no. 12, pp. 3205-3215, 2014.
- [13] Ngan, Tsz-Lung, Edward Ting-Hei Wong, Kris Lap-Shun Ng, Patrick Kwok-Shing Jeor, and Gladys Goh Lo. "The Enhanced Workflow and Efficiency of the Wireless Local Area Network (WLAN)-Based Direct Digital Radiography (DDR) Portable Radiography." *Journal of Digital Imaging, Vol. 28*, pp. 302-308, 2015.
- [14] Joseph, Wout, Daan Pareit, Günter Vermeeren, Dries Naudts, Leen Verloock, Luc Martens, and Ingrid Moerman. "Determination of the duty cycle of WLAN for realistic radio frequency electromagnetic field exposure assessment." *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 111, no. 1, pp. 30-36, 2013.
- [15] Ziegler, Volker, Benedikt Schulte, Jordi Sabater, Sergio Bovelli, Juergen Kunisch, Kai Maulwurf, Marta Martinez-Vazquez et al. "Broadband 57–64-GHz WLAN communication system integrated into an aircraft cabin." *IEEE transactions on microwave theory and techniques* 60, no. 12, pp. 4209-4219, 2012.
- [16] Wang, Zheyu, Lanlin Z. Lee, Dimitris Psychoudakis, and John L. Volakis. "Embroidered multiband body-worn antenna for GSM/PCS/WLAN communications." *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 62, no. 6 pp. 3321-3329, 2014.
- [17] Khodabakhshi, Hamid, and Ahmad Cheldavi. "Irradiation of a six-layered spherical model of human head in the near field of a half-wave dipole antenna." *IEEE transactions on microwave theory and techniques* 58, no. 3, pp. 680-690, 2010.
- [18] Yang, Jiachen, Huanling Wang, Zhihan Lv, and Huihui Wang. "Design of miniaturized dual-band microstrip antenna for WLAN application." *Sensors* 16, no. 7, pp. 983, 2016.
- [19] Bendimerad Fethi Tarek, "*MIMO et accès multiples avancés pour réseaux sans fil.*", Projet PNR, Cerist, 2011-2013.
- [20] Aldhaheri Ali Salem Ahmed. "Conception et simulation d'une antenne MIMO", Mémoire de Master, Université de Biskra, 2019.
- [21] Amyar, Amal. "Conception et analyse d'une antenne MIMO fractal 4x4 pour les applications ULB.", Mémoire de Master, Université de Guelma, 2022.
- [22] Abdrraouf, Hemmas Mohamed, Ben Alia Mohamed Amin, and Bey Aymen Baha Eddine. "Conception et Simulation d'une Antenne Imprimée.", Mémoire de Master, Université de Bordj Bou Arreridj, 2021.

Chapitre I

Généralités sur les Antennes Microrubans

I.1. Introduction

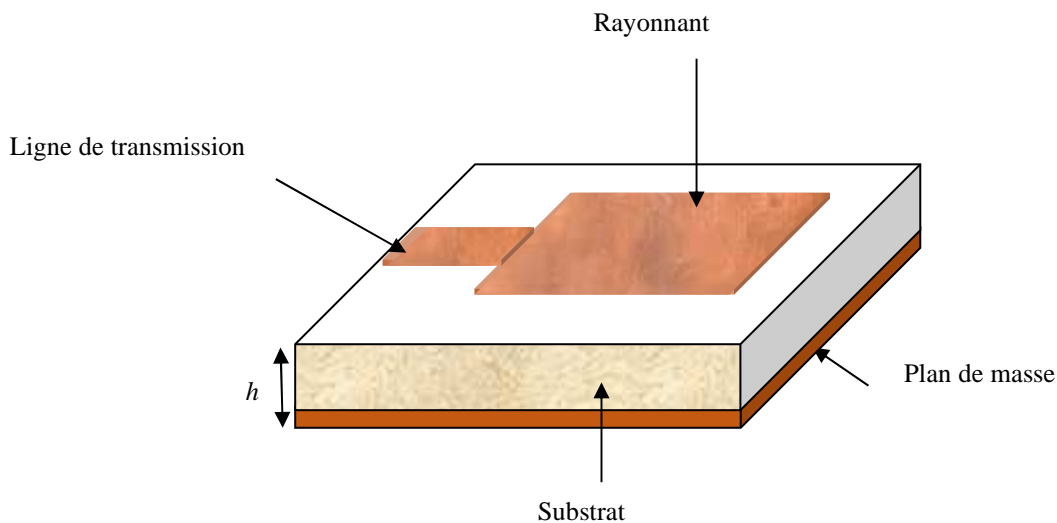
Une antenne est un outil de communication conçu pour transmettre ou de recevoir des ondes électromagnétiques, en utilisant un émetteur ou un récepteur. Une antenne patch ou microbande est constituée d'un substrat en diélectrique complètement métallisé sur l'une de ses faces et recouvert d'une bande métallique sur l'autre face [1]. L'antenne microruban a des Nombreux applications authentiques disponibles telles que la communication par satellite, le radar, le WLAN et le WiMAX [2]. Actuellement ces antennes sont largement utilisées pour les applications militaires et civiles tel que les systèmes mobiles, le système d'identification par radiofréquence (RFID), les systèmes à entrées multiples et sorties multiples (MIMO) [3].

I.2. Description d'une antenne microruban

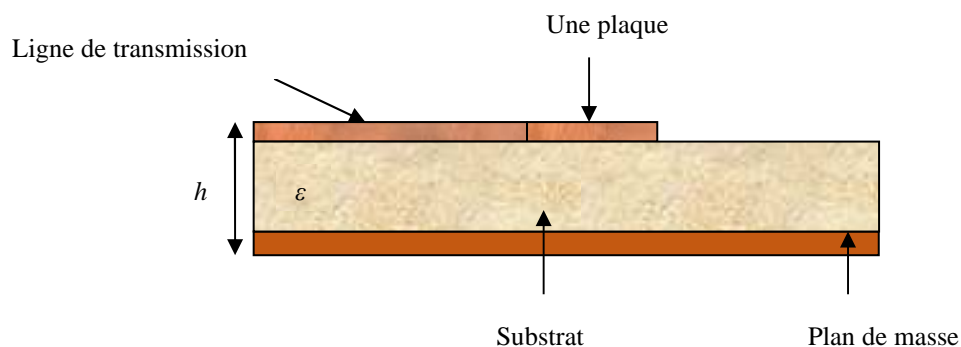
La fabrication de l'antenne microruban (Figure I.1) est simple, il utilise une microbande conventionnel, technique de conception de bande qui comprend la gravure du motif de l'élément d'antenne dans une trace métallique qui est lié à un substrat diélectrique isolant, tel qu'une carte de circuit imprimé, avec un métal continu couche collée sur le côté opposé du substrat qui sert de plan de masse [4].

L'alimentation des éléments rayonnants de formes variées peut être réalisée par diverses méthodes, ce qui permet l'acquisition d'un diagramme de polarisation linéaire ou circulaire. Les paramètres physiques et géométriques liés à cette structure sont [5]:

- La permittivité relative de diélectrique (ϵ_r).
- La tangente des pertes ($\tan \delta$) dans ce même substrat, avec dominance des pertes par effet joule.
- L'épaisseur du diélectrique (elle doit rester faible par rapport à la longueur d'onde à transmettre).
- Les dimensions de l'élément rayonnant ' L (longueur de patch), W (largeur de patch) '.



(a) Vue de dessus de l'antenne patch



(b) Vue latérale de l'antenne microbande

Figure I.1. Structure d'une antenne microbande.

I.3. Caractéristiques

L'antenne microbande est fabriquée de manière à ce que le diagramme de rayonnement soit normal à l'élément rayonnant. Cet élément rayonnant peut être rectangulaire, carré, circulaire ou simplement un dipôle. Pour une antenne microruban rectangulaire, sa longueur L est généralement $0.0003\lambda_0 < L < 0.5 \lambda_0$, et λ_0 est la longueur d'onde dans l'espace libre. Le rayonnant est sélectionné de façon qu'il soit très mince ($t \ll \lambda_0$ où t est

d'épaisseur de l'antenne microruban). La taille h (épaisseur) du substrat diélectrique est habituellement $0,003 \lambda_0 \leq h \leq 0,05 \lambda_0$.

La permittivité diélectrique du substrat est typiquement dans la gamme $2,2 \leq \epsilon_r \leq 12$ [6]. Dans une ligne microruban, la propagation des ondes se met à la fois dans le milieu diélectrique et dans l'air. Du point de vue modélisation, les deux milieux sont remplacés par un milieu effectif caractérisé par une constante diélectrique.

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

- De la largeur W des circuits de métallisation,
- Des caractéristiques du substrat : à savoir sa constante diélectrique ϵ_r et son épaisseur h .

Les différentes formes des patchs sont très faciles d'être analysés et de fabriquer (figure I.2), mais également un diagramme de rayonnement est très intéressant car il présente une faible composante croisée. Les dipôles microrubans ont la particularité de présenter une large bande passante et d'occuper très peu d'espace, ce qui les rend particulièrement adaptés à la réalisation de réseaux d'antennes [7].

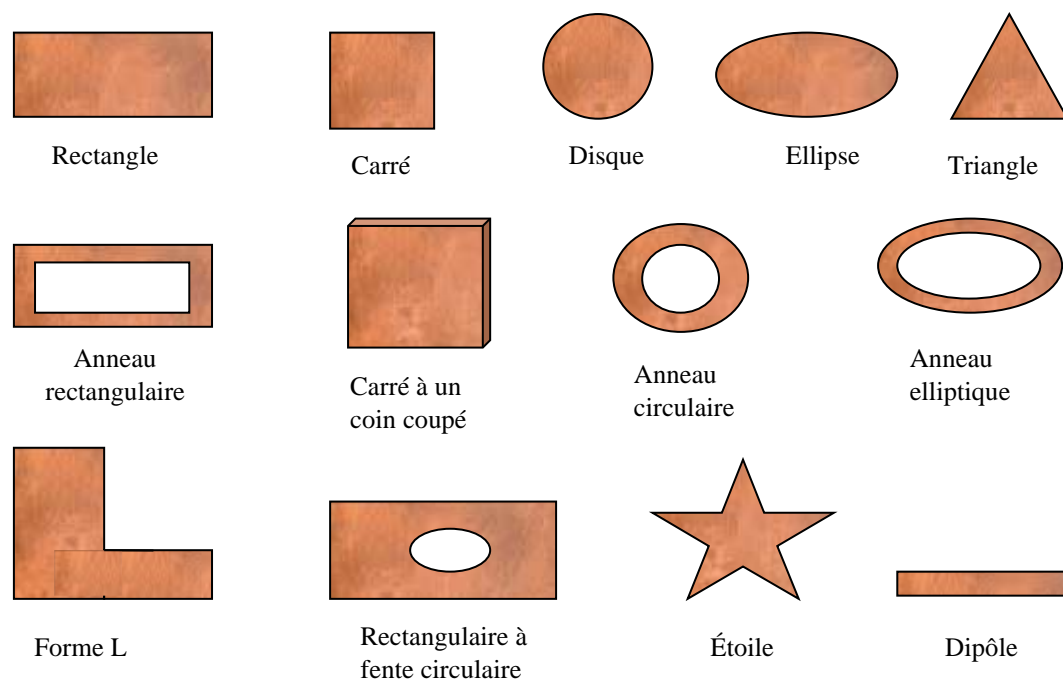


Figure I. 2. Différentes formes des antennes microrubans.

I.4. Substrat

Dans la technologie imprimée, le substrat diélectrique remplit un double rôle. D'une part, Il est un matériau diélectrique, où viennent se graver les circuits et, d'autre part il est une pièce mécanique, car il supporte la structure. Cela implique des exigences à la fois sur le plan mécanique et électrique parfois difficiles à concilier, d'épaisseur généralement faible devant la longueur d'onde de fonctionnement, le substrat diélectrique affecte le comportement et les performances électromagnétiques de l'antenne. On préfère souvent utiliser des substrats diélectriques à faibles pertes diélectrique ($Tg\delta < 10^{-3}$) et de grande épaisseur, qui favorisent le rendement de l'antenne et ceux à permittivité relative faible ($\epsilon_r < 3$) qui améliorent le rayonnement tout en diminuant les pertes par ondes de surface pour une hauteur donnée [8], afin d'obtenir une bande passante large. Cependant dans ce cas on a une augmentation des pertes par onde de surface. Les matériaux les plus couramment utilisés sont les composites à base de Téflon ($2 < \epsilon_r < 3$, $tg\delta = < 10^{-3}$) et de polypropylène ($\epsilon_r = 2.18$, $tg\delta = 3.10^{-4}$), les mousses synthétiques ($\epsilon_r = 1.03$, $tg\delta = 10^{-3}$), ainsi que le Duroid qui est un substrat souple, largement utilisé pour son faible coût et ses propriétés mécaniques flexibles [9].

- Alumine $\epsilon_r = 9.8$ $tg\delta = 10^{-4}$
- Quartz $\epsilon_r = 3.78$ $tg\delta = 10^{-4}$
- Téflon $\epsilon_r = 2 \rightarrow 3$ $tg\delta = 10^{-3}$

Globalement il est recommandé d'utiliser des substrats minces à permittivités élevées dans les circuits micro-ondes pour réduire les ondes de surfaces et les radiations non désirées. Toutefois, l'efficacité et la bande passante diminuent à cause des pertes dans le substrat.

Le matériau doit satisfaire à certaines exigences, surtout :

- La stabilité en température pour soudure et aux conditions atmosphériques,
- L'uniformité de la permittivité relative et de la hauteur,
- Les faibles pertes diélectriques ($tg\delta \leq 3.10^{-3}$) pour une meilleure efficacité,
- Une résistance aux produits chimiques (pour les phases de photolithographie).

Dans le domaine des hyperfréquences, différents substrats diélectriques sont utilisées pour divers applications, notamment [10] :

- Les matériaux ferrimagnétiques,
- Les matériaux céramiques,

- Les matériaux semi-conducteurs,
- Les matériaux synthétiques,
- Les matériaux TMM (matériaux à transition de phase métallique),
- Les matériaux composites.

I.5. Fonctionnement d'antenne microbande

I.5.1. Les ondes existantes sur les antennes microbandes

Dans la (figure I.3) Nous avons inclus un schéma simplifié qui illustre les différents types d'ondes qui se propagent lorsque l'antenne microbande fonctionne. Il existe trois types d'onde : (A) Onde guidée. (B) Onde rayonnée. (C) Onde de surface.

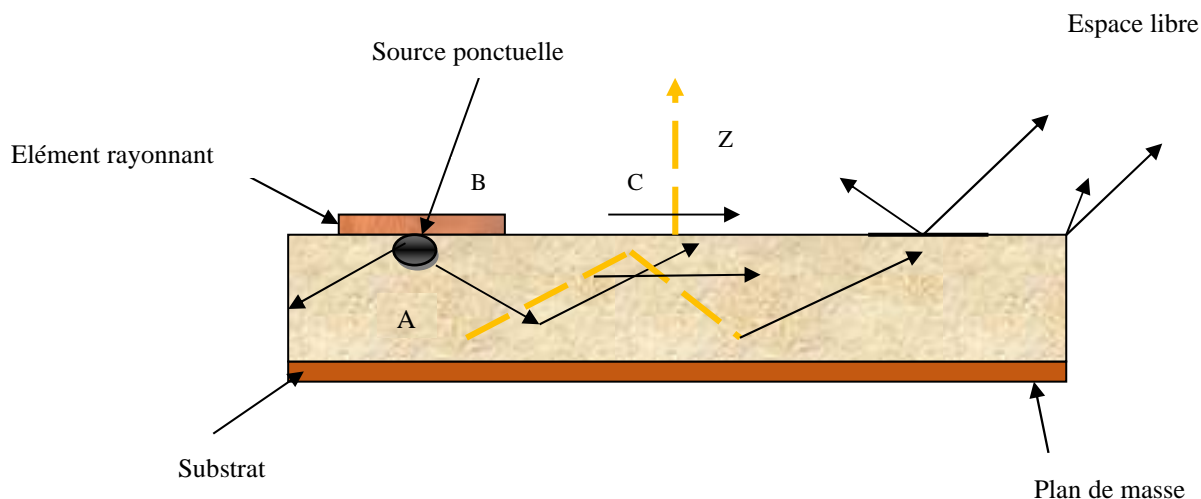


Figure I.3. Trajectoire des rayons dans une antenne microruban

I.5.1.1. Ondes guidées

Dans le substrat le champ électromagnétique s'accumule entre les deux plans conducteurs, Cela concerne la propagation du signal le long d'une ligne microbande.

I.5.1.2. Ondes rayonnées

La propagation du signal se fait librement dans l'espace, dans l'air et au-dessus du métal. Elle contribue au rayonnement du résonateur. Le rayonnement paraît surtout être émis par

le voisinage immédiat des arêtes en raison des courants de surface qui circulent surtout sur les bords [11]-[12].

1.5.1.3. Ondes de surface

Quelques rayons peuvent atteindre les surfaces de séparation avec une incidence rasante, et reste piégés à l'intérieur de l'isolant. Il s'agit du mécanisme de la réflexion totale, dont les fibres optiques font usage. Le bord du diélectrique peut guider l'onde de surface et ne contribuant pas directement au rayonnement vers le haut de l'antenne. Toutefois, quand cette onde atteint le bord du substrat (point C), elle est diffractée et génère un rayonnement parasite, et si on a un réseau de deux antennes côté à côté par exemple, l'onde de la surface peut créer un couplage entre les éléments du réseau. Le diagramme de rayonnement de l'antenne [13].

1.5.2. Fonctionnement

Pour bien comprendre le mécanisme des résonateurs microrubans, il faut savoir les champs électromagnétiques en champ proche. Lorsque la ligne d'alimentation est excitée par une source radiofréquence, une onde électromagnétique guidée entre la ligne et le plan de masse va se propager jusqu'à l'élément rayonnant (de largeur plus grande que la ligne, donc plus capable à rayonner). Sous l'élément rayonnant et sur le plan de masse se fait la distribution de charge [14].

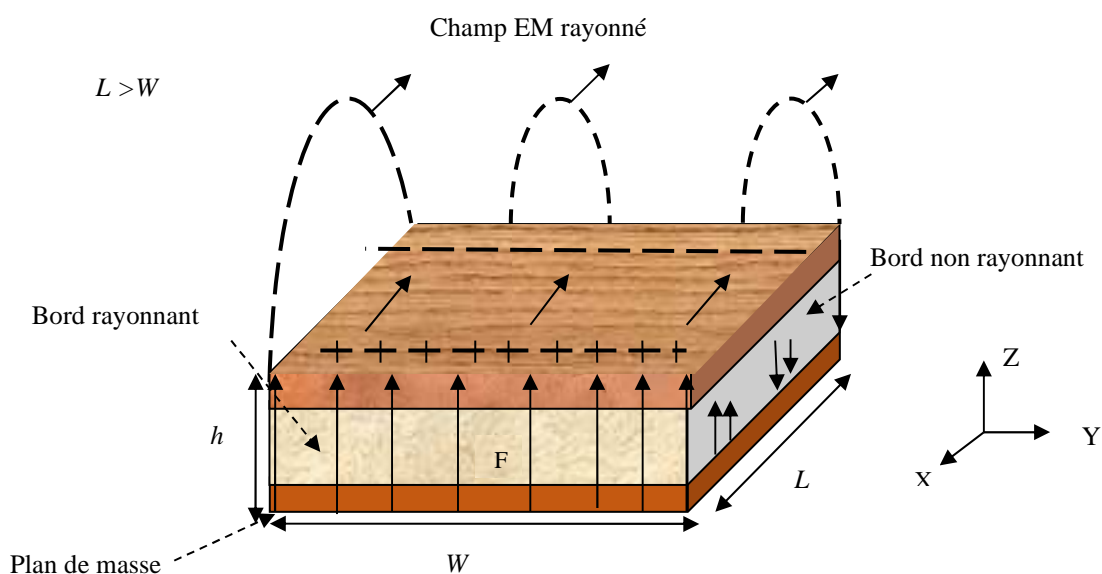


Figure I.4. Rayonnement d'une antenne microbande rectangulaire.

Pour rendre le problème plus simple, la structure de la (figure I.4) peut être assimilée à une cavité bornée par deux murs électriques (plan de masse et élément rayonnant), et de mur latéral magnétique, est accumulée selon un ensemble de fréquences modales (fréquences modales de résonance) auxquelles, on peut permettre des configurations de répartition des champs, nommées modes. Ces cavités fonctionnent alors sur des modes TM^{mn} [14].

Le champ présent entre les bords du microruban et le plan de masse déborde et contribue à générer le champ électromagnétique rayonné : ceux générés par les bords séparés par L étant maximum et en opposition de phase vont avoir tendance à s'ajouter constructivement et optimalement, et générer un rayonnement inscrit dans le plan YZ . Alors Ces deux bords sont appelés bords rayonnants [15].

I.6. Technique d'alimentation

Il y a plusieurs techniques d'alimentations des antennes microbandes, ces techniques peuvent être :

- **Avec contact** : utiliser un élément de connexion tel qu'une ligne microruban pour connecter la source d'alimentation directement à la plaque rayonnante,
- **Sans contact** : le couplage du champ électromagnétique assure que la ligne microruban et le transfert de puissance de l'élément rayonnant [16].

Parmi les techniques d'alimentation les plus utilisées, on cite : la ligne microruban, la sonde coaxiale (les deux schémas de contact), le couplage d'ouverture et le couplage de proximité (les deux schémas sans contact) [13-14].

I.6.1. Alimentation de ligne microruban

Dans ce type d'alimentation, un ruban conducteur est connecté directement au bord du patch rayonnant comme la « Figure I.5 » le montre. La longueur de la bande conductrice est plus petite par rapport au patch. L'avantage de ce genre d'alimentation est qu'elle peut être gravée sur le même substrat pour fournir une structure planaire [17].

Le but de l'encart coupé dans le patch est d'adapter l'impédance de la ligne d'alimentation au patch sans avoir besoin d'un élément d'adaptation additionnel. Ceci est achevé par un contrôle correct de la position de l'encart.

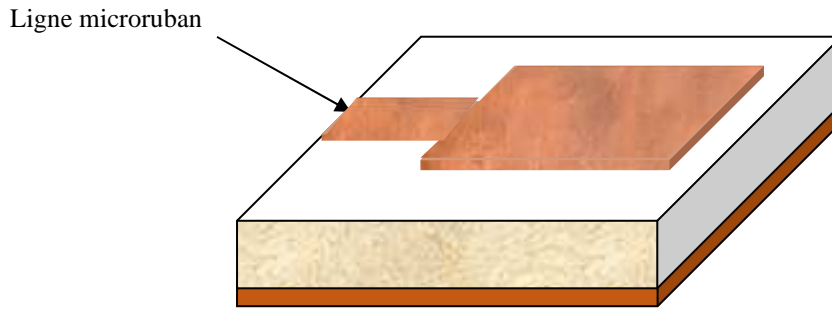


Figure I.5. Technique d'alimentation de l'antenne par une ligne microruban.

En conclusion, c'est une technique d'alimentation simple, parce qu'elle fournit une fabrication facile et une modélisation simple, ainsi que l'adaptation d'impédance. Mais, quelques applications nécessitent un substrat épais, ce qui génère l'augmentation des ondes de surface et le rayonnement parasite, entraînant une dégradation de la bande passante [17].

L'alimentation par ligne microruban (figure I.6) peut être faite par [18]:

- Connexion directe dont le point de jonction est sur l'axe de symétrie de l'élément (a),

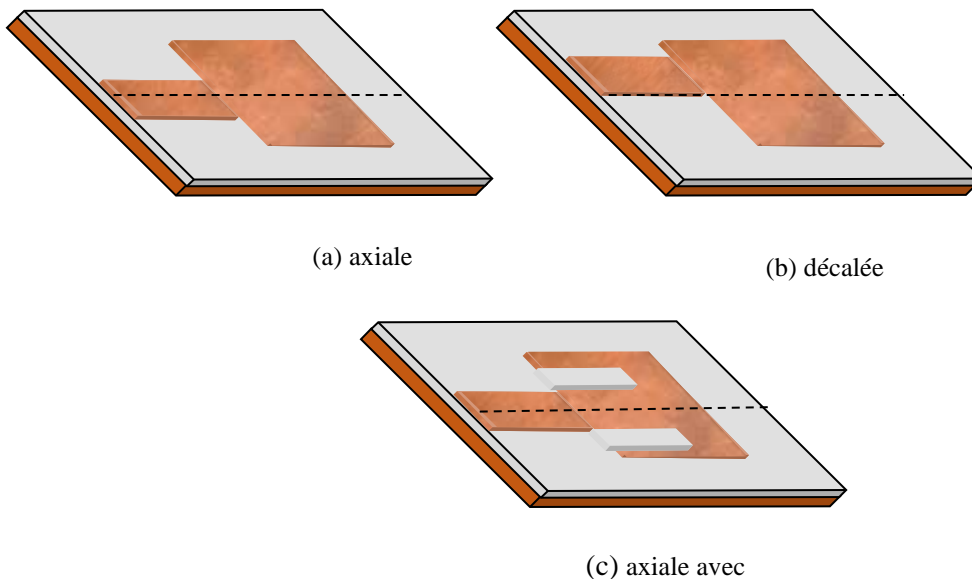


Figure I.6. Différents types d'alimentation avec ligne microruban.

- Le point de jonction est décalé par rapport à cet axe de symétrie, si cela (premier et deuxième cas) permet une meilleure adaptation d'impédance (b),
- L'alimentation axiale avec encoche donne des résultats agréables, elle est très utilisable dans les réseaux d'antennes imprimées de différentes formes (c).

I.6.2. Alimentation par câble coaxiale

L'alimentation coaxiale autrement-dit l'alimentation par sonde est très connue. Elle est utilisée pour l'alimentation des antennes imprimées. Le conducteur intérieur du connecteur coaxial s'étend à travers le diélectrique et il est soudé au patch, mais le conducteur extérieur est relié au plan de masse (Figure I.7).

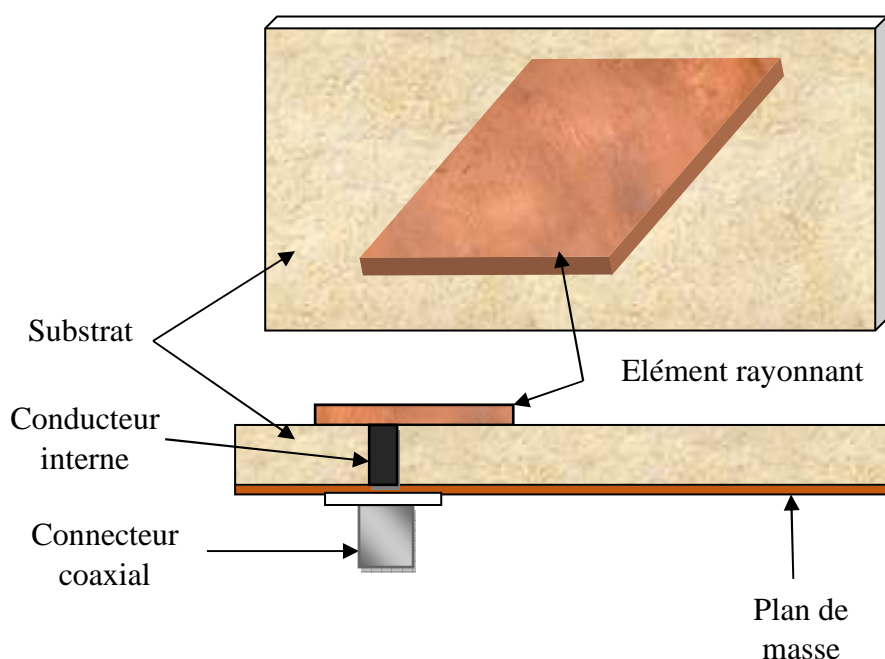


Figure I.7. Technique d'alimentation par câble coaxiale.

Le bienfait primordial de ce type d'alimentation est qu'elle peut être placée à n'importe quel endroit du patch pour assurer l'adaptation d'impédance. Cette méthode a un rayonnement parasite faible est facile à fabriquer. Mais, son inconvénient principal est qu'elle fournit une bande passante étroite et elle est difficile à modéliser car un trou doit être foré dans le substrat et le connecteur sort en dehors du plan de masse, cela ne la rend pas complètement plane pour les substrats épais ($h > 0.002 \lambda_0$) [19].

D'autre part, pour des substrats plus épais, l'agrandissement de la longueur de sonde rend l'impédance d'entrée plus rentable, menant aux problèmes d'adaptation. A partir de ce qu'on a vu, il est visible qu'avec un substrat diélectrique épais, les alimentations par lignes microbandes et par câble coaxial souffrent de plusieurs problèmes.

Les techniques d'alimentation sans contact, que nous allons discuter ci- dessous, résolvent ces problèmes [19].

I.6.3. Alimentation couplée à l'ouverture (fente)

Dans ce type, le plan de masse isole le patch (microruban) rayonnant et la ligne microruban d'alimentation comme indiquée dans la (Figure I.7). Le couplage entre le patch et la ligne d'alimentation est assuré par une fente ou une ouverture dans le plan de masse.

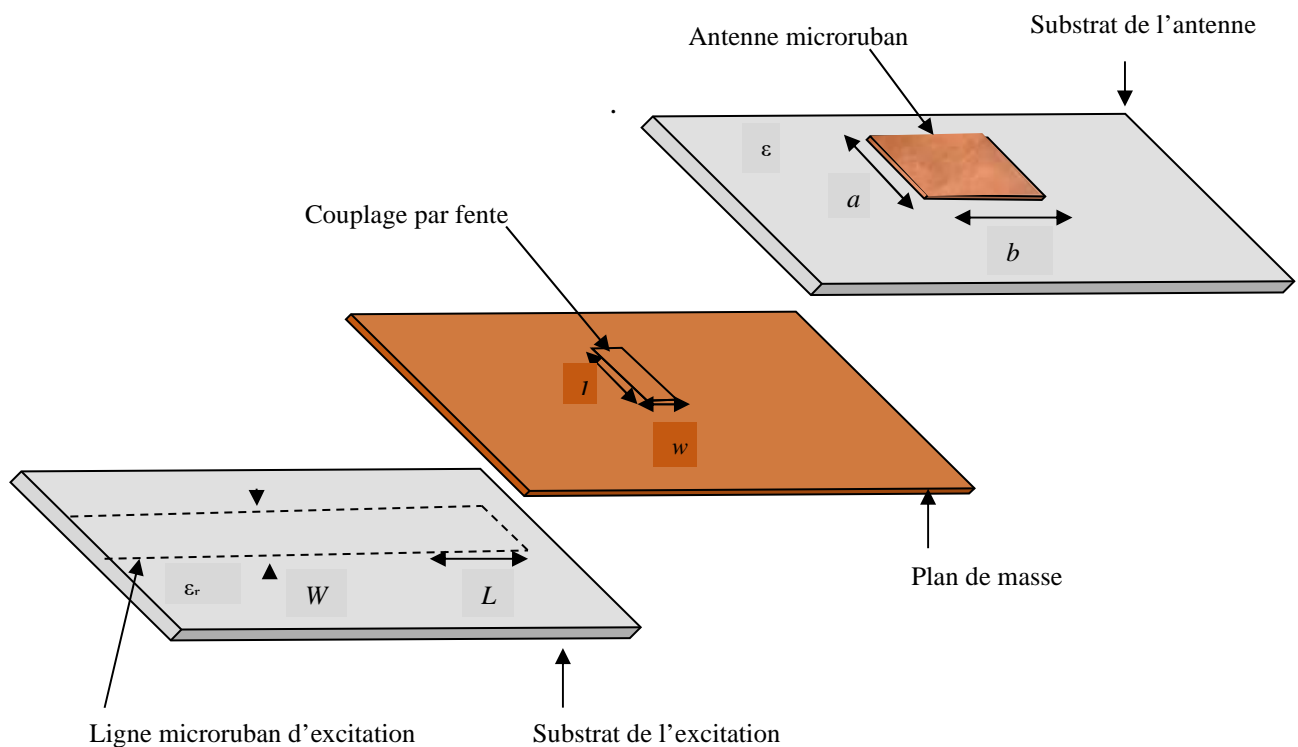


Figure I.8. Technique d'alimentation couplée à l'ouverture (fente).

La fente de couplage est centrée sous le patch. La forme, la taille et la position de cette fente déterminent la quantité de couplage à partir de la ligne d'alimentation au patch. Puisque le plan de masse sépare le patch et la ligne d'alimentation, le rayonnement parasite est minimisé. D'une façon générale, un matériau ayant une constante diélectrique élevée est

employé pour le substrat inférieur, alors qu'un matériau épais et ayant une constante diélectrique faible est employé pour le substrat supérieur afin d'optimiser le rayonnement du patch. L'inconvénient majeur de cette technique d'alimentation est qu'elle présente des difficultés au niveau de la fabrication en raison des couches multiples qui augmentent également l'épaisseur d'antenne. Cette technique d'alimentation fournit aussi une largeur de bande étroite [20].

I.6.4. Alimentation couplée par proximité

Dans cette technique connue aussi sous le nom (couplage électromagnétique), deux substrats diélectriques sont employés pour que la ligne d'alimentation soit située entre les deux substrats et le patch soit imprimé sur le substrat supérieur comme il est montré dans la « Figure I.9 ». Son bienfait primordial est qu'elle élimine le rayonnement parasite et fournit une largeur de bande très élevée (plus que 13%), grâce à l'augmentation globale de l'épaisseur de l'antenne microbande. Elle fournit également des choix entre deux milieux diélectriques différents, un pour le patch et l'autre pour la ligne d'alimentation pour rendre les performances de l'antenne optimales [20].

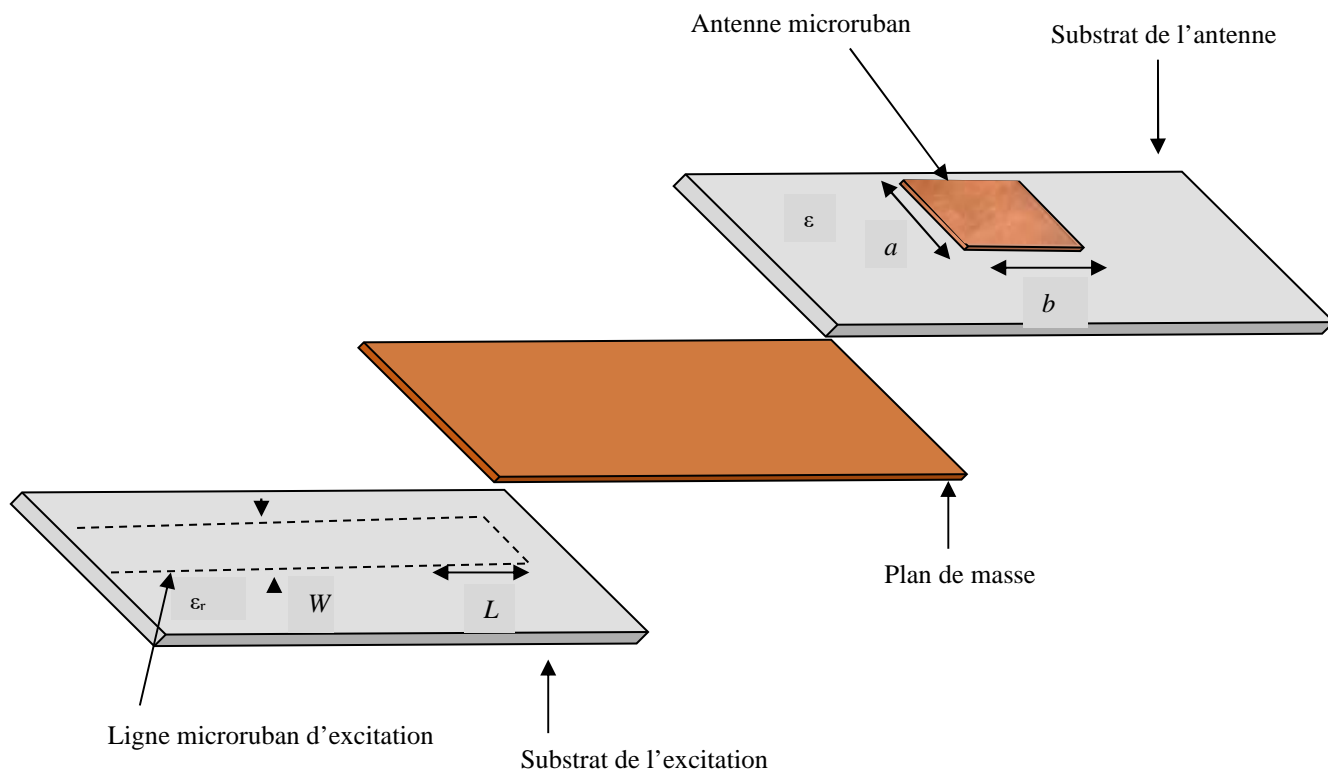


Figure I.9. Technique d'alimentation couplée par proximité

Pour adapter cette technique, on doit contrôler la longueur de la ligne d'alimentation. Son inconvénient essentiel est qu'elle est difficile à fabriquer à cause des deux couches diélectriques qui nécessitent un alignement approprié. Cependant, il y a une augmentation de l'épaisseur globale de l'antenne [21].

I.7. Méthode d'analyse des antennes

Depuis l'arrivée des antennes planaires microrubans, divers méthodes d'analyse ont été utilisées, commençant par des modèles axiomes simples jusqu'aux méthodes numériques. On peut classer ces méthodes en deux catégories principales : les méthodes analytiques (approximatives) et les méthodes numériques (rigoureuses) [22].

Les méthodes approximatives se basent sur la simplification des hypothèses. Elles ont des limites et leurs solutions sont moins précises. Elles sont généralement utilisées pour la modélisation des antennes à élément unique à cause de la difficulté rencontrée dans la modélisation du couplage entre les différents éléments. Cependant, elles offrent un bon aperçu physique avec un temps de calcul généralement très petit. Les méthodes rigoureuses tiennent compte de tous les mécanismes importants de l'onde et s'appuient énormément sur l'utilisation d'algorithmes numériques efficaces. Lorsqu'elles sont appliquées convenablement, les méthodes rigoureuses sont très précises et peuvent être employées pour la modélisation d'une variété d'antennes y compris les antennes réseaux. Ces méthodes sont plus compliquées et fournissent moins d'aperçu physique. Souvent, elles nécessitent plus de calculs et donc un temps de travail plus élevé [23-24].

I.7.1. Méthode analytique

Il existe un grand nombre des méthodes et des modèles pour l'analyse des antennes microbandes. On cite deux méthodes analytiques : le modèle de la ligne de transmission et le modèle de cavité.

Ces modèles sont très populaires et très pratiques, ils considèrent l'antenne comme une ligne de transmission ou une cavité résonante [25], parmi ces méthodes, on cite [26] :

- Le modèle de la ligne de transmission (valable notamment pour l'élément rectangulaire),

- Le modèle de la cavité électromagnétique (valable notamment pour tout autre élément rayonnant de géométrie quelconque simple),

Généralement, le modèle ligne de transmission est le plus facile mais aussi le moins précis, au contraire, le modèle de la cavité est plus précis et permet une bonne approche physique du mécanisme.

1.7.1.1. Méthode de la ligne de transmission

Le traitement théorique basé sur le modèle de la ligne de transmission (MLT) était le premier et le plus simple pour l'analyse et la synthèse des antennes microbandes [27]. Finalement, pour avoir des solutions aux problèmes où les inconnues sont la constante de propagation et l'impédance caractéristique il faut analyser les lignes de transmission [28]. La ligne de transmission équivalente à l'antenne est obtenue après sa détermination. Le mode TEM (Transverse Electromagnétique) ou quasi TEM avec une variation négligeable dans la direction transverse est le mode de propagation le plus dominant [29].

L'avantage essentiel de ce modèle est qu'il peut interpréter facilement des phénomènes physiques rencontrés. Bien que son inconvénient principal soit incompatible avec les applications dans lesquelles l'antenne est alimentée par couplage ou réalisée avec des substrats électriquement épais [30].

1.7.1.2. Méthode de la cavité

La simplicité et la visibilité physique dans l'analyse des antennes microbandes sont fournies par le modèle de la cavité. En effet, ce modèle est plus précis que le modèle de la ligne de transmission [31].

La structure imprimée peut être comparée à une cavité limitée en haut par une plaque conductrice, en bas par un plan de masse et entourée par une surface latérale. Les deux plans conducteurs représentent des murs électriques et la surface latérale constitue le mur magnétique. Dans ce modèle l'inconnu est le système des modes préparatifs et leurs fréquences de résonance [32].

I.7.2. Méthode numérique (full-wave)

Actuellement, Ces méthodes sont les plus utilisées. Elles sont basées sur la distribution du courant électrique sur le conducteur. Parmi ces méthodes, on peut citer [33]:

- La méthode des différences finies,
- La méthode des éléments finis,
- Le système d'équations intégrales couplées, discrétisées par la méthode des moments,
- La méthode spectrale, qui correspond à La transformée de Fourier de la méthode de l'équation d'intégrale.

I.7.3. Méthode d'optimisation

L'optimisation est le mécanisme de minimiser ou de maximiser une fonction objective ou de coût. Dans le cas d'une antenne microruban, le rôle de l'optimisation est à approximer d'une manière précise un de ces paramètres comme la fréquence de résonance, l'impédance d'entrée ou le paramètre S_{11} . Les principales méthodes de cette catégorie sont les algorithmes génétiques pour l'optimisation globale et les réseaux de neurones pour l'optimisation locale.

I.7.3.1. Algorithmes génétiques

A partir du concept de sélection naturelle développée par Charles Darwin, on a inspiré les algorithmes génétiques (GA). Le principe est de simuler l'évolution d'une population d'individus divers, à laquelle on applique différents opérateurs génétiques (croisement. Mutation, ...etc.) et que l'on soumet chaque génération à une sélection. Si la sélection s'opère à partir d'une fonction d'adaptation alors la population tend à s'améliorer. L'évaluation de chaque individu est réalisée par une fonction de fitness qui représente le seul lien entre les algorithmes génétiques et le problème physique à optimiser.

L'optimisation par GA présente de nombreux avantages par rapport aux méthodes d'optimisation classique parce que cette méthode d'optimisation globale très stochastique :

- Elle optimise les variables continues et discrètes.
- Elle ne nécessite pas le calcul des dérivées d'une fonction de coût.
- Capable d'obtenir un minimum global sans rester piégée dans un minimum local.

- Elle peut aboutir à une liste de solutions.

Toutefois elle nécessite un temps de calcul considérable. L'optimisation par les algorithmes génétiques a été largement utilisée dans la modélisation des antennes [34-37]. Elle a été aussi appliquée pour initier les poids d'un réseau de neurones [38-39].

I.7.3.2. Réseaux de neurones artificiels

L'analyse des réseaux de neurones est une méthode prometteuse de l'intelligence artificielle, elle est présente dans tous les domaines (informatique, électronique, science cognitive, neurobiologie et même philosophie etc.), elle a des applications dans de nombreux domaines comme [40-41] :

- Industrie : contrôle de qualité, diagnostic de pannes, corrélations entre les données fournies par les différents capteurs, analyse de signature ou écriture de manuscrite...,
- Finance : prévision et modélisation des marchés (cours de monnaies...), sélections d'investissements, attribution de crédits...,
- Télécommunications et informatique : analyse du signal, élimination des bruits, reconnaissances de formes (bruit, images, paroles), compression de données, modélisation de composants et circuits hyperfréquences....

I.8. Domaine d'utilisations des antennes microrubans

Vu que les antennes microrubans continuent d'être développées et utilisées, on s'attend à ce qu'elles remplacent les antennes classiques dans la plupart des applications [42]. Ces antennes ont une forme idéale et on peut les utiliser dans de multiples domaines civil ou militaire. Les domaines d'utilisation privilégiés de ces antennes sont [43] :

- La communication par satellite,
- Les radars Doppler et d'autres types de radars,
- La navigation aérienne ou terrestre,
- Téléguidages des missiles,
- Surveillance de locaux ou carrefours,
- Radiation biomédicale,
- La communication entre mobiles,

Et dans des nouveaux domaines tels que la médecine ou le téléphone portable.

I.9. Avantages et inconvénients

Les antennes microbandes sont devenues largement populaires parce qu'un large public les utilise. Contrairement aux antennes classiques, elles offrent aux utilisateurs de nombreux avantages [44].

I.9.1. Principaux avantages des antennes microrubans

- Faible poids,
- Volume réduit,
- Faible coût de fabrication,
- Simplicité de la structure,
- Polarisation linéaire et circulaire,
- Fonctionnement en double ou triple fréquence,
- Possibilité d'intégration dans les circuits micro-onde intégrés.

I.9.2. Principaux inconvénients des antennes microrubans

- Bande passante étroite,
- Faible gain,
- Faible efficacité,
- Puissance faible [44],
- A partir de ses alimentations et de ses jonctions, un rayonnement supplémentaire se produit,
- La taille de l'antenne microbande présente à la fois des avantages et des inconvénients, mais dans certains cas, ces antennes ne peuvent pas être utilisées parce que leur taille est trop grande [45],

I.10. Conclusion

La technologie planaire a permis toute une évolution d'une nouvelle technologie dans le domaine des antennes microrubans, grâce à la miniaturisation des circuits ainsi que l'accroissement de leur fréquence de fonctionnement, elle a donné aussi, naissance à de

nombreuses structures planaires de transmission de l'information. Les structures de la technologie microbande sont largement exploitées dans le milieu industriel, à cause de leurs poids léger, leur encombrement réduit et leur fabrication facile [46]. Dans ce chapitre, nous avons présenté la description, le fonctionnement et les caractéristiques des antennes microrubans ainsi que leurs avantages et leurs inconvénients. Nous avons également mentionné et expliqué les différentes techniques d'alimentation, et les méthodes d'analyses les plus utilisés pour analyser et concevoir les structures microrubans sans oublier les domaines d'utilisation.

I.11. Références Bibliographiques

- [1] Combes, Paul F. "*Micro-ondes : Lignes, Guides et cavités*", Dunod, pp. 71-79. 1997.
- [2] Malik, et all., "*Smart Antennas: Recent Trends in Design and Applications*" Bentham Books, UAE, 2021.
- [3] Malik, et all., "*Printed Antennas: Design and Challenges*" CRC Press, Boca Raton, 2022.
- [4] Markad, N. T., Sunil Kr Singh, S. K. Kundu, and Ravi Prakash. "Microstrip Stacked patch Antenna for Next Generation GSM." *International Journal of Engineering and Technology*, Vol. 2, No. 4, 2009.
- [5] Boussaha, Somia. "*Contribution à l'étude et à la modélisation des antennes imprimées rectangulaires Applications aux systèmes de communication.*" Mémoire de Magister, Université de Guelma, 2012.
- [6] Boyer, Alexandre. "*Antennes : support de cours énoncé de travaux dirigés.*", INSA, Toulouse, (2011).
- [7] Aissaoui, Djelloul. "*Analyse à l'Aide de Modèles Equivalents d'Antennes Imprimées Alimentées par Lignes Adaptées,*" Mémoire de Magister, Université de Tlemcen, 2007.
- [8] Irankunda Germain & Ufiteyezu Emmanuel, "*Etude et Conception d'une antenne patch Rectangulaire pour les Réseaux Personnels Sans fils _WPAN à 60 GHz.*" , Mémoire de Master, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, 2011.

- [9] Freytag, Laure. "*Conception, réalisation et caractérisation d'antennes pour stations de base des réseaux de télécommunication sans fil.*", Thèse de Doctorat, Université de Limoges, 2004.
- [10] 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, 2017.
- [11] Mosig, Juan Ramon, and Freddy Gardiol. "Techniques analytiques et numériques dans l'analyse des antennes microruban." *Annales des télécommunications*, vol. 40, no. 7-8, pp. 411-437. 1985.
- [12] Hafiane, Abdellatif. "*Étude du couplage d'antennes imprimées par la méthode des différences finies et extraction du modèle électrique.*" Thèse de Doctorat, Université de Marne-la-Vallée, 2003.
- [13] Djouablia, Linda, "*Contribution à l'étude des structures microbandes rayonnantes par la méthode des moments application a la forme triangulaire.*", Thèse de Doctorat, Université de Constantine, 2017.
- [14] Diblanc, Michaël. "*Développement du concept de l'antenne à résonateur BIE pour la génération de la polarisation circulaire.*" Thèse de Doctorat, Université de Limoges, 2006.
- [15] Benomar, Ahmed. "*Etude des Antennes à Résonateurs Diélectriques: Application aux Réseaux de Télécommunications.*", Thèse de Doctorat, Université de Limoges, 2015.
- [16] Kadri, Boufeldja. "*Modélisation-et-Synthèse-de-réseaux-périodiques-et-non-périodiques-d'antennes-microrubans-par-l'application-d'un-Algorithmes-Génétique-Flou.*", Thèse de Doctorat, Université de Tlemcen, 2011.
- [17] Nazih Hamdieken, "*Analyse d'une antenne microbande circulaire par la méthode Neurospectrale*", Mémoire de Magister, Université de Batna, 2006.
- [18] Carver, Keith, and James Mink. "Microstrip antenna technology." *IEEE transactions on antennas and propagation* 29, no. 1, 2-24, 1981.
- [19] Addaci, Rafik, "*Evaluation de la fréquence de résonance complexe et de la bande passante d'une antenne microbande rectangulaire par la méthode neurospéctrale.*", Mémoire de Magister, Université de Constantine, 2006.
- [20] Touati, Mohamed Housseem Eddine. "*Conception et Simulation d'une antenne micro-ruban circulaire.*" Mémoire de Master, Université de Biskra, 2014.

- [21] Ben abadji Selma, Lellam Chafika; "*Conception et Modalisation d'une antenne micro-ruban compacte pour une utilisation dans les terminaux mobiles*"; Mémoire de Master, Université Telemcen, 2012.
- [22] Bedra, Sami. "*Evaluation analytique et numérique des caractéristiques électromagnétiques des structures microbandes ouvertes*." , Thèse de Doctorat, Université de Batna, 2015.
- [23] Mekimah Boualem, "*Etude du fonctionnement en mode bifréquence des patches microbandes empilés et excentrés*." , Mémoire de Magister, Université de Ouargla, 2013.
- [24] 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.
- [25] Benkouda, Siham, "*Contribution à l'étude des problèmes de caractérisation des antennes microrubans à plaques rayonnantes parfaitement conductrices et supraconductrices*." , Thèse de Doctorat, Université de Batna, 2011.
- [26] Luxey, Cyril, et al. "*Antennes imprimées-Bases et principes*." , Technique de l'ingénieur, 2007.
- [27] Munson, R. "Conformal microstrip antennas and microstrip phased arrays." *IEEE Transactions on Antennas and propagation* 22, no.1, pp. 74-78, 1974.
- [28] Maity, Sudipta, and Bhaskar Gupta. "Cavity model analysis of 30°–60°–90° triangular microstrip antenna." *AEU-International Journal of Electronics and Communications* 69, no. 6, pp. 923-932, 2015.
- [29] James, J. R., P. S. Hall, and C. Wood. "*Microstrip antenna theory and design*." , IEE Series, London, UK , 1981.
- [30] Assadi-Haghi, Atousa. "*Contribution au développement de méthodes d'optimisation structurelle pour la conception assistée par ordinateur de composants et de circuits hyperfréquences*." , Thèse de Doctorat, Université de Limoges, 2007.
- [31] Chatterjee, Deb, and Richard G. Plumb. "Some convergence considerations in space-domain moment-method analysis of a class of wide-band microstrip antennas." *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 48, no. 2, pp.147-160, 2000.

- [32] Lo, Y., D. Solomon, and W. Richards. "Theory and experiment on microstrip antennas." *IEEE transactions on Antennas and Propagation* 27, no. 2, pp.137-145, 1979.
- [33] Boutout Farid., "*Etude de problème d'excitation et caractérisation des antennes à Structure planaire de forme régulière*" Mémoire de Magister, Université de Constantine, 1997.
- [34] Mummareddy, Satish, D. H. Werner, and P. L. Werner. "Genetic optimization of fractal dipole antenna arrays for compact size and improved impedance performance over scan angle." *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, vol. 4, pp. 98-101, 2002.
- [35] García-Müller, P. L. "Optimisation of compact horn with broad sectoral radiation pattern." *Electronics Letters*, vol. 37, no. 6, 2001.
- [36] Delabie, C., M. Villegas, and O. Picon. "Creation of new shapes for resonant microstrip structures by means of genetic algorithms." *Electronics Letters* , vol. 33, no. 18, pp.1509-1510, 1997.
- [37] Johnson, J. Michael, and Yahya Rahmat-Samii. "Genetic algorithms and method of moments (GA/MOM) for the design of integrated antennas." *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 47, no. 10, pp. 1606-1614, 1999.
- [38] Raida, Zbynek. "Modeling EM structures in the neural network toolbox of MATLAB." *IEEE Antennas and propagation Magazine*, vol. 44, no. 6, pp. 46-67, 2002.
- [39] Khuntia, Bonomali. "*Microstrip antenna design using genetic algorithms coupled with artificial neural networks.*", Thèse de Doctorat, Tezpur University, 2009.
- [40] Freeman, James A., and David M. Skapura, "*Neural networks: algorithms, applications, and programming techniques*". Addison Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1991.
- [41] POMĚNKA, Petr, and Zbyněk RAIDA. "Methodology of neural design: Applications in microwave engineering." *Radioengineering*, vol.15, no. 2 pp. 13, 2006.
- [42] Mosig, Juan R., and Fred E. Gardiol. "*Rayonnement d'une antenne microruban de forme arbitraire.*" *Annales des télécommunications*, vol. 40, no. 3-4, pp. 181-189, 1985.

- [43] Rouibah, Ammar. " *Etude d'une antenne microruban de forme arbitraire par la méthode FDTD.*", Mémoire de Magister, Université de Setif, 2009.
- [44] Ahamed, Md Maruf, et al., "Rectangular Microstrip Patch Antenna at 2GHZ on Different Dielectric Constant for Pervasive Wireless Communication." *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)* 2, no. 3, pp. 417-424, 2012.
- [45] Site web: <https://umairhussain.wordpress.com/2010/10/12/advantages-anddisadvantages-of-microstrip-patch-array-antenna/>
- [46] Hamdieken, Nazih, " *Application de nouvelles méthodes de modélisation et d'optimisation dans l'étude des antennes microbandes et des systèmes multi-antennaires pour techniques de diversité et MIMO,*", Thèse de Doctorat, Université de Batna 2, 2017.

Chapitre II

Les Systèmes WLAN et MIMO

II. 1. Introduction

Avec le développement rapide de la technologie de communication sans fil, dernièrement, le système de communication WLAN (réseau local sans fil) a également été vigoureusement développé et la gamme d'applications du marché devient de plus en plus large. Les systèmes de communication WLAN nécessitent généralement l'envoi et la réception bidirectionnels de données de manière rapide, efficace et fiable, ce qui se reflète dans le sous-système d'antenne. L'antenne est une partie importante du système de communication sans fil [1]. La conception de réseaux sans fil des nouvelles générations sont toujours confrontées au problème de la contrainte de capacité imposé par une bande passante très étroite et une puissance d'émission souvent limitée. Afin de pallier ces handicaps, une nouvelle technologie communément appelée MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) tente de tirer profit de la dimension spatiale, en installant plusieurs antennes au niveau des émetteurs et/ou des récepteurs [2].

Les systèmes WLAN MIMO sont intéressés par la communauté scientifique et ils sont déployés pour perfectionner la communication sans fil entre les appareils électroniques (par exemple, les ordinateurs, les ordinateurs portables, les Smartphones) [3].

II.2. Systèmes MIMO

II.2.1. Définition du système MIMO

La technologie MIMO proposée en première fois par *Pioneer Foschini* en 1998 [4]. Elle a été dédiée à une technologie sans fil qui applique plusieurs émetteurs et récepteurs pour transférer plus de données en même temps. La technologie MIMO tire parti d'un phénomène d'ondes radioélectriques appelé trajets multiples, où les informations transmises rebondissent sur les murs, les plafonds et d'autres objets, atteignant l'antenne de réception plusieurs fois sous différents angles et à des moments légèrement différents. Elle exploite le comportement par trajets multiples en utilisant plusieurs émetteurs et récepteurs (intelligents) avec une dimension (spatiale) supplémentaire pour augmenter considérablement les performances et la portée. Le MIMO permet à plusieurs antennes d'envoyer et de recevoir plusieurs flux spatiaux en même temps [5].

II.2.2. Présentation des systèmes MIMO

La Figure II.1 montre que le système MIMO est constitué de plusieurs antennes N_t en émission et N_r en réception [6]. Ce système est l'un des principaux axes de développement pour améliorer les débits des communications sans fil. Leur particularité réside dans l'utilisation simultanée de plusieurs antennes, émettrices et réceptrices. D'autant plus, ces systèmes permettent d'améliorer les performances des appareils et permettent d'atteindre à la fois de très hautes efficacités spectrales et de lutter efficacement contre les évanouissements du signal. L'idée générale est de tirer profit de la dimension spatiale du canal et d'exploiter les trajets multiples plutôt que de les supprimer [7].

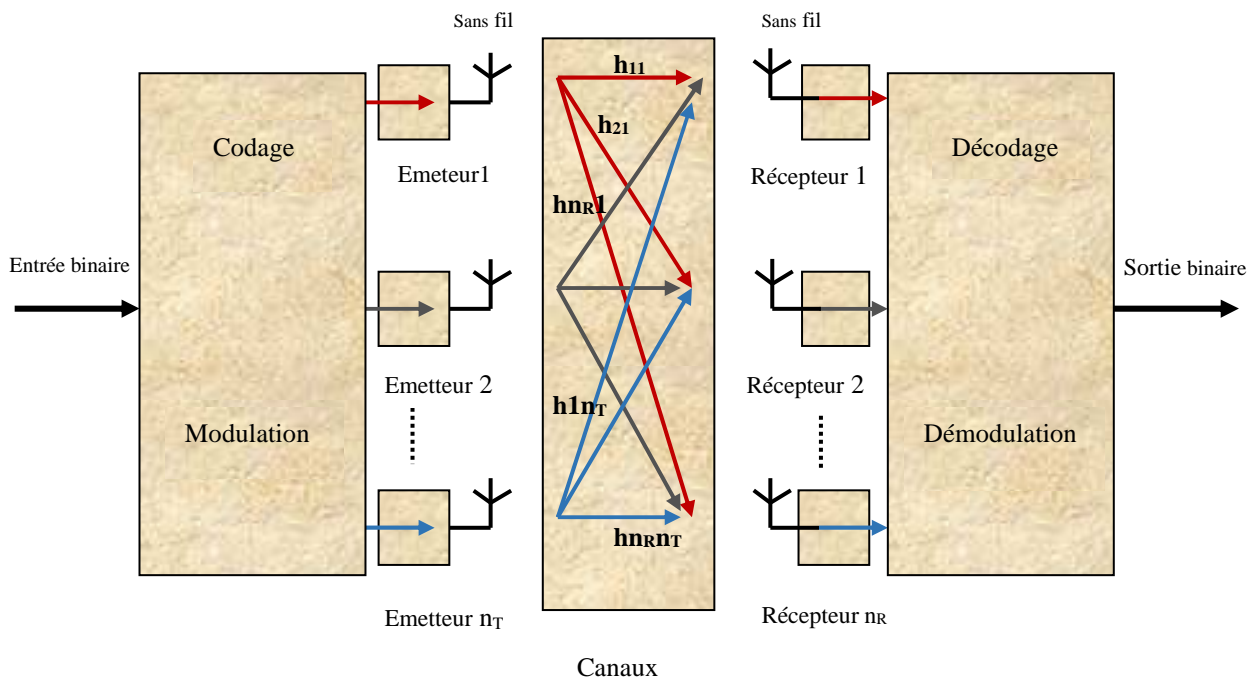


Figure II.1. Système MIMO.

II.2.3. Fonctionnement de MIMO

Les systèmes MIMO donnent une nouvelle forme de diversité appelée diversité spatiale. Le but de cette technologie est d'exploiter le phénomène d'évanouissement et de multiplicité des trajets, car ils sont considérés comme des obstacles à long terme. En effet, le récepteur reçoit et combine plusieurs copies d'un même signal envoyé à partir de plusieurs antennes et subissant des évanouissements indépendants. Par conséquent, le récepteur prend la bonne décision permettant de reconstituer le message d'origine sans

erreur. En résumé, l'utilisation de plusieurs antennes au niveau des systèmes MIMO peut servir à améliorer la fiabilité de transmission en réduisant la probabilité d'erreur (gain en diversité) et à augmenter le débit de transmission (gain de multiplexage) [2].

L'idée générale de système MIMO est relativement simple : dans une bande de fréquence spécifique, il transmet les informations à l'aide des plusieurs antennes émettrices et réceptrices au même temps. En première approximation, le débit transmis dans cette bande de fréquence se trouve multiplié par le nombre d'antennes émettrices. La mise en œuvre concrète soulève en revanche des problèmes complexes ; en effet, tous les signaux transmis se mélangent, et il faut être capable de séparer les éléments du mélange. On doit alors faire appel, du côté du récepteur, à des méthodes sophistiquées de traitement du signal. L'utilisation de réseaux d'antennes en émission et en réception permet ainsi d'améliorer l'efficacité spectrale et/ou la fiabilité des transmissions numériques dans un environnement riche en diffuseurs [2].

II.2.3.1. Notion de diversité

La diversité des transmissions radio fréquences est utilisée pour lutter contre les pertes de propagation des ondes dans le canal de propagation. Pour ce faire, plusieurs copies du même signal sont envoyées de façon indépendante au récepteur, réduisant ainsi la probabilité d'atténuation en même temps des signaux émis. Elle permet de lutter contre l'évanouissement de signaux et les interférences entre canaux de transmission permettant ainsi d'accroître l'efficacité de la liaison radio. On peut distinguer quatre formes de diversités [8].

II.2.3.1.1. La diversité spatiale

Elle consiste à émettre le même message simultanément indépendamment à travers plusieurs antennes de l'émetteur. On cherche à minimiser le plus possible la corrélation entre les signaux émis afin d'introduire le phénomène de trajet multiple. Les antennes doivent respecter une distance de cohérence, pour réduire la corrélation entre les signaux et bien exploiter le phénomène de diversité spatiale.

II.1.3.1.2. La diversité de polarisation

Le même signal est transmis à l'aide de plusieurs antennes avec une polarisation différente similaire à la diversité spatiale, principalement des polarisations verticales et horizontales [8].

II.1.3.1.3. La diversité temporelle

Elle consiste à transmettre plusieurs répliques du signal ou des versions redondantes dans des périodes séparées par au moins du temps de cohérence du canal T_c . Elle s'applique aux canaux sélectionnés par le temps. La diversité temporelle est généralement utilisée avec de l'entrelacement et du codage correcteur d'erreur. Le désavantage de la diversité temporelle est évidemment le retard induit par la diversité, ce qui réduit le débit de transmission [8].

Où

$S(t)$: est le signal transmis sur plusieurs intervalles temporels.

T_c : est le temps de cohérence du canal.

W : est la largeur de bande du signal.

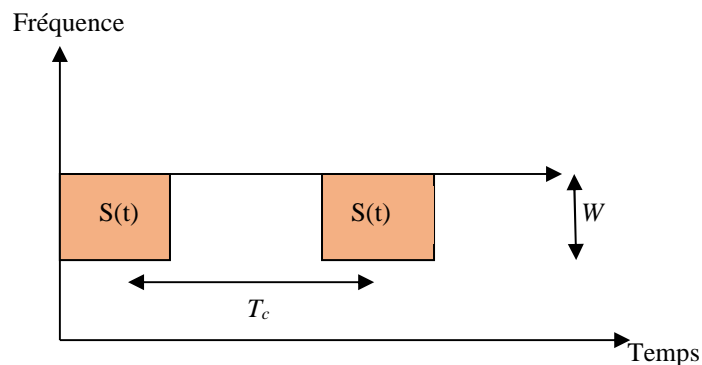


Figure II.2. La diversité temporelle.

II.1.3.1.4. La diversité fréquentielle

A cet effet, l'émetteur envoie le même signal dans des versions autorisées selon les besoins sur plusieurs fréquences porteuses dont l'écartement fréquentiel est d'au moins la bande de cohérence du canal B_c , et peut être obtenu lorsque le canal est sélectif en fréquence. [8].

Où

$S(t)$: est le signal transmis sur plusieurs intervalles fréquentiels.

B_c : est la largeur de bande de cohérence du canal.

W : est la largeur de bande du signal.



Figure II.3. La diversité fréquentielle.

II.3. Les différentes catégories de MIMO

Trois catégories de MIMO peuvent être considérées :

- **Diversité spatiale MIMO** : appelée aussi diversité d'antenne, ce type de diversité peut envoyer en même temps un même message sur chacune différentes antennes à l'émission. Les signaux reçus sur chacune des antennes de réception sont ensuite remis en phase et sommés de façon cohérente. Cela permet d'augmenter le rapport signal sur bruit (grâce au gain de diversité) de la transmission. Pour que cette technique soit efficace, il faut que les sous- canaux MIMO soient décorrélés les uns des autres [9].
- **Le multiplexage spatial MIMO** : chaque message est divisé en sous-messages différents ils sont envoyées au même temps sur chacune des antennes d'émission. Les signaux reçus sur les antennes de réception sont réassemblés pour reconstituer le message d'origine. Comme pour la diversité MIMO, les sous-canaux de propagation doivent être décorrélés. Le multiplexage MIMO permet d'augmenter les débits de transmission (grâce au gain de multiplexage). Les techniques de diversité et de multiplexage MIMO peuvent être appliquées conjointement. Par exemple pour un système MIMO 5 x 5 (c'est-à-dire 5 antennes d'émission et 5 antennes de réception), on peut configurer un sous- système MIMO 2 x 2 pour faire du multiplexage et un sous-système MIMO 3 x 3 pour faire de la diversité MIMO [9].
- **MIMO - Beamforming** : pour l'orientation et le contrôle du faisceau d'onde radio nous utilisons le réseau d'antenne MIMO. Les techniques de beamforming permettent à la fois d'étendre une couverture radio (d'une station de base ou d'un point d'accès par exemple) et de limiter les interférences entre utilisateurs et la pollution électromagnétique environnante (en ciblant le récepteur visé) [9].

II .4. Types des systèmes MIMO

Afin de configurer les antennes, nous mentionnons quatre types différents [10] :

- SISO (Entrée unique Sortie unique),
- SIMO (Entrée unique Sortie multiple),
- MISO (Sortie unique à entrées multiples),
- MIMO (Entrée multiple Sortie multiple).

II.4.1. SISO

Le terme MIMO comme SISO (Single Input Single Output), la Figure II.4 montre que SISO a une seule antenne sur le côté émetteur et le côté le récepteur.



Figure II.4. Système SISO.

Des quatre antennes disponibles, la SISO la plus simple en termes de mise en œuvre et de conception. Le seul avantage de SISO est qu'il est très simple par rapport à d'autres types de systèmes. SISO a trouvé son application dans le Wi-Fi, la télévision, la radio, ... etc [10].

$$C = B \cdot \log_2(1 + SNR) \quad [bits / s] \quad (II.1)$$

Avec :

C : la capacité du canal.

B : la largeur de bande du canal.

SNR : le rapport signal sur bruit.

II.4.2. SIMO

Les systèmes SIMO (Single Input Multiple Output) utilisent une seule antenne pour l'émission et plusieurs antennes pour la réception (Figure II.5), pour améliorer la diversité de réception afin de lutter contre les effets de l'évanouissement de l'antenne et des interférences ionosphériques sans augmenter la capacité de canal, nous utilisons ce système SISO [10].

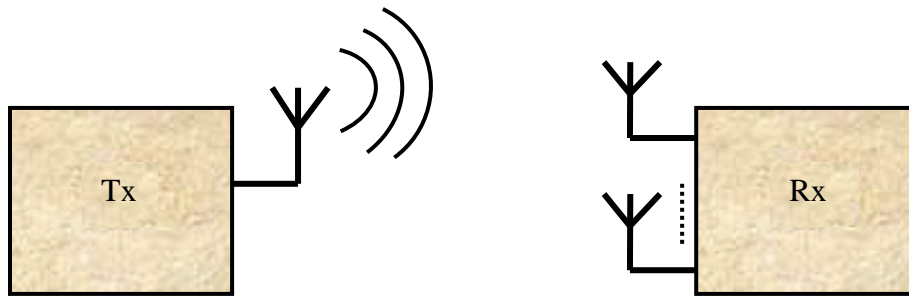


Figure II.5. Système SIMO.

La capacité du canal SIMO :

$$C = B \cdot M_r \cdot \log_2(1 + SNR) \quad [bits / s] \quad (II.2)$$

Avec :

M_r : le nombre d'antennes utilisées du côté du récepteur.

C : la capacité du canal.

B : la largeur de bande du canal.

SNR : le rapport signal sur bruit.

II.4.3. MISO

Le MISO (Multiple Input, single Output) appelé aussi diversité des émissions (figure II.6). Au niveau de récepteur, Il y a une seule antenne capable de recevoir les mêmes données qui sont transmises à plusieurs reprises à partir d'antennes de transmission multiples et les données sont ensuite récupérées en traitant le signal optimal reçu (total des signaux à deux voies). [10].

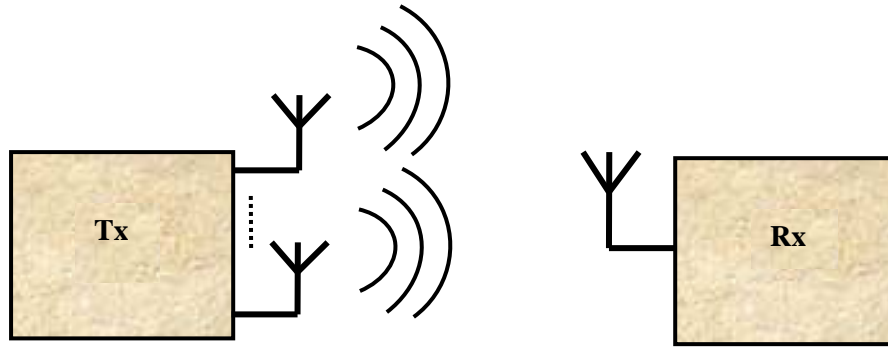


Figure II.6. Système MISO.

Pour restaurer le signal d'origine à la réception avec moins de perte de chemin que SISO et SIMO et réduire l'évanouissement par trajets multiples pendant la transmission, nous utilisons la configuration MISO [10].

II.4.4. MIMO

La figure II.7. Montre que le système MIMO (Multiple Input Multiple Output) c'est lorsqu'il y a plusieurs antennes aux deux extrémités de la liaison radio. Pour améliorer à la fois la robustesse et le débit du canal, nous utilisons le système MIMO.

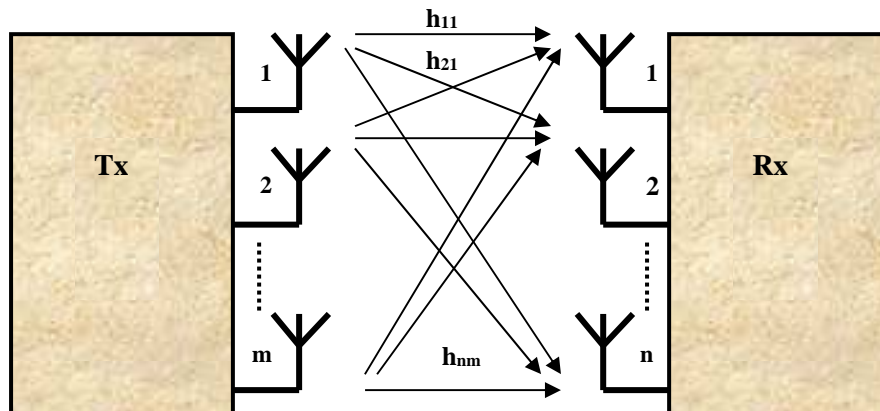


Figure II.7. Système MIMO.

Il est essentiel de pouvoir utiliser le codage sur canal pour séparer les données des différents trajets pour profiter pleinement du MIMO. Cela nécessite un traitement, mais offre une robustesse de canal / capacité de débit de données supplémentaire. Il existe de nombreux formats de MIMO qui peuvent être utilisés depuis SISO, via SIMO et MISO

jusqu'aux systèmes MIMO complets. Ceux-ci sont tous capables d'apporter des améliorations significatives des performances, mais généralement au prix d'un traitement supplémentaire et du nombre d'antennes utilisées. Un équilibre entre les performances et les coûts, la taille, le traitement disponible et la durée de vie de la batterie qui en résulte doit être fait lors du choix de l'option appropriée [10].

La seule différence entre un système MISO et un système MIMO est que MISO envoie les mêmes paquets aux antennes qui transmettent sur la même fréquence. Mais MIMO envoie des paquets différents aux antennes qui transmettent à la même fréquence [7].

II.5. Intérêt des systèmes MIMO

Dans les systèmes classiques, il y a qu'une antenne émettrice et une antenne réceptrice (Systèmes SISO). Selon les normes de Shannon et Nyquist, Ils souffrent d'un goulot d'étranglement en termes de capacité de canaux [11]. Cependant, les concepteurs de systèmes de communication sans fil sont confrontés à un grand nombre de défis car d'avantage de services de nouveaux et futurs systèmes de communication sans fil nécessitent un taux de transmission de données plus élevé. Pour satisfaire la demande en débit de transmission, plusieurs voies ont été explorées : l'augmentation de la bande passante et des niveaux de puissance de transmission. Ces méthodes se heurtent à la limitation du spectre de fréquences disponibles et la variation dans le temps et dans l'espace de l'environnement de propagation. Les systèmes MIMO, des systèmes de communications sans fil avec des antennes multiples aux deux extrémités de la liaison (Figure II.1) sont apparus comme la technologie la plus prometteuse dans ces cas. Ils permettent d'augmenter la capacité du canal considérablement, sans pour autant augmenter la puissance de transmission ni la bande passante [12,13] Là où la technologie de diversité spatiale décrite précédemment est exploitée comme technique permettant de lutter contre les effets d'un canal multi-trajets, les systèmes MIMO résultent de l'utilisation d'une nouvelle dimension, dite dimension spatiale, qui se traduit par un complément à la dimension temporelle, car c'est par défaut la dimension des systèmes de communication numériques [14]. Les systèmes MIMO sont également appelés systèmes sans fil spatio-temporel [12].

Or, les systèmes MIMO ont une exigence qui peut empêcher de définir une implémentation réaliste dans des dispositifs de petites tailles. En fait, son implémentation en LTE (Long-

Term Evolution) implique que plusieurs antennes doivent être montées dans un espace très confiné. Cependant, l'intégration de plusieurs antennes dans un petit objet communicant tout en gardant un haut niveau de performances n'est pas aisée.

En effet, l'espace limité entre les différentes antennes provoque tout naturellement un fort couplage mutuel et une faible isolation, ce qui entraîne comme conséquences une forte corrélation et une diminution de la capacité du canal [15].

II.6. Application de la technologie MIMO

Afin de d'augmenter les débits des communications sans fil, les systèmes MIMO sont l'un des principaux axes de développement. Ces systèmes est également destinés à être utilisé et appliqué dans la radiotéléphonie mobile des normes récentes telles que : 3GPP (3rd Generation Partnership Project) et 3GPP2 (3rd Generation Partnership Project 2).

En 3GPP, les normes : accès haute vitesse par paquets plus (HSPA+) et (LTE) prennent en compte le MIMO. Par ailleurs, à soutenir pleinement les environnements cellulaires, y compris les consortiums de recherche MIMO IST-MASCOT (Integrated Spatial and Time-Multiplexed Adaptive Channels for Wireless Communications) proposons de développer des techniques avancées MIMO, par exemple, MIMO multi-utilisateurs (MU-MIMO) [16].

Pour augmenter le débit de transmission et améliorer la qualité des systèmes MIMO utilisent : HIPERLAN/2 (High-Performance Radio Local Area Network 2), WiFi (Wireless Fidelity) et les systèmes de la 4^{ème} génération tels que l'LTE et le WiMAX [17].

II.6.1. La technologie MIMO dans le système WiMAX

Le système WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) est le nom de marque de technologie pour l'exécution de la norme IEEE 802.16 (Institute of Electrical and Electronics Engineers) indique interface d'air au PHY (couche physique) et à l'IMPER (couche moyenne de contrôle d'accès). Hormis indiquer l'appui de diverses largeurs de bande de canal et modulation et codage adaptatifs.

Les réalisations de WiMAX qui emploient la technologie MIMO sont devenues importantes.

MIMO offre une augmentation significative de l'efficacité du spectre de WIMAX. La technologie MIMO améliore la réception et permet une meilleure extension et un meilleur débit de transmission. [7].

II.6.2. La technologie MIMO dans le système WiFi

La norme 802.11n est disponible depuis le 11 septembre 2009. Grâce aux technologies MIMO et OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), Le débit théorique atteint les 300 Mbit/s (débit réel de 100 Mbit/s dans un rayon de 100 mètres) [16].

II.6.3. Les antennes MIMO

La technologie de transmission MIMO est utilisée dans les systèmes de communication modernes. Elle utilise plusieurs antennes émettrices et réceptrices afin d'émettre plus de données simultanément pour améliorer l'efficacité de la transmission. Des antennes séparées transmettent sur des canaux de propagation non connectés pour augmenter la transmission. Capacité pour un ou plusieurs utilisateurs, ou envoyer le même signal de sortie sur plusieurs antennes et intégrer dans les récepteurs pour améliorer la qualité du signal (diversité de réception) [10].

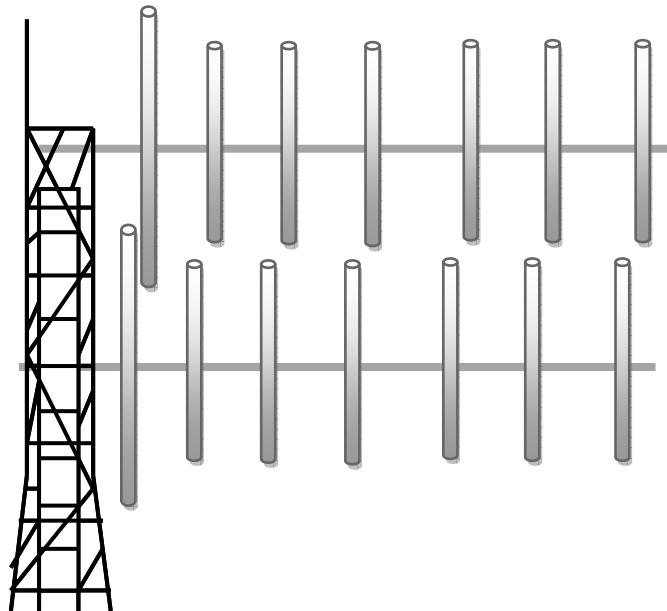


Figure II.8. Antenne MIMO.

La désignation "A x B" est généralement mentionnée avec le nom de la technologie MIMO pour indiquer le nombre d'antennes d'émission et de réception, où A est le nombre

d'antennes à l'entrée du système et B est à la sortie [18]. Il existe plusieurs types d'antennes MIMO qui diffèrent les unes des autres par la façon dont elles transmettent les données et le nombre d'antennes utilisées dans l'émetteur, généralement de 2 à 8, ou le récepteur de 2 à 4. Notamment les antennes MIMO à deux antennes (2x2 MIMO), les antennes MIMO à quatre antennes (4x4 MIMO), les antennes MIMO à huit antennes (8x8 MIMO), etc. Les antennes MIMO sont utilisées dans divers appareils sans fil, notamment les téléphones portables, les ordinateurs portables, les normes Wi-Fi, WiMax, les points d'accès, les stations de base cellulaires, etc. [16].

II.6.3.1. Choix de l'antenne MIMO

Les antennes utilisées couramment dans les réseaux de deuxième, troisième et quatrième génération (2G, 3G et 4G) sont des empilements verticaux de dipôles élémentaires. La taille de l'étage est conditionnée par la taille des dipôles élémentaires qui sont à moins de la moitié de la longueur d'onde. A titre d'exemple, à 900 MHz (longueur d'onde de 33 cm), la taille d'un étage est ainsi d'environ 15 cm. En empilant typiquement une petite dizaine d'étages, le rayonnement de ces antennes couvre une zone d'environ 65° d'ouverture horizontale et d'environ 10° d'ouverture verticale. La capacité de focalisation de ce type d'antenne, c'est-à-dire son gain, est typiquement de 17 dBi (décibel par rapport à l'isotrope) [17].

II.7. Systèmes WLAN

II.7.1. Définition de système WLAN

Un réseau local sans fil (noté WLAN pour Wireless Local Area Network) [19] est une méthode de distribution sans fil pour deux ou plusieurs appareils qui utilisent des ondes radio haute fréquence et comprennent souvent un point d'accès à Internet. Les utilisateurs peuvent se déplacer dans la zone de couverture (une maison ou un petit bureau, tout en maintenant une connexion réseau) grâce à WLAN [20].

II.7.2. Système WLAN

Les WLAN ont été créés pour :

- Offrir un accès large bande radio avec des débits de plusieurs Mbit/s,

- Relier des équipements de type PC et autres équipements électroniques ou informatiques dans des environnements professionnels, immeubles de bureaux, bâtiments industriels ou grand public et se connecter à un réseau cœur, tel qu'un réseau Ethernet.

Les WLAN sont déployés dans des lieux privés et dans des lieux publics gare, aéroports, campus (hot spots) [21]. Ils sont complémentaires des réseaux cellulaires 2G et 3G qui offrent une plus grande mobilité mais les débits plus faibles. Le domaine de WLAN est partagé entre deux grandes familles : La première famille est celle du WiFi nom donné à la norme IEEE 802.11b qui est actuellement la plus populaire pour offrir des débits jusqu'à 11 Mbit/s pour des distances de 10 à 100 m. Une évolution pour des débits jusqu'à 22 Mbit/s est en cours de définition. La seconde famille est celle de l'HIPERLAN2 et de IEEE 802.11a basée sur l'OFDM plus robuste aux distorsions sélectives en fréquence du canal, offrant des débits jusqu'à 54 Mbit/s mais au prix d'une complexité plus grande [21].

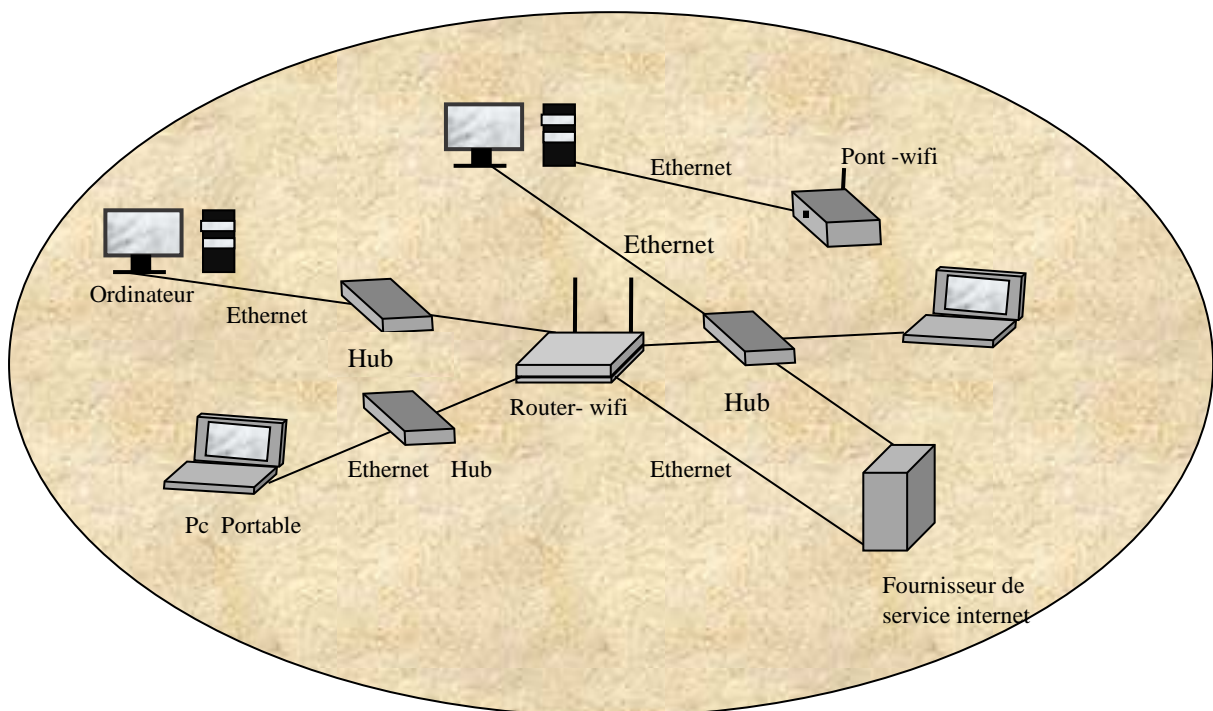


Figure II.9. Système WLAN.

II.7.3. Fonctionnement de WLAN

La différence entre le LAN sans fil (WLAN) (également appelé Wifi (Wireless Fidélité) ou réseau IEEE 802.11) et une connexion câblée c'est qu'un WLAN n'utilise pas les câbles comme son moyen de transmission. Plutôt il utilise les ondes électromagnétiques, ondes

radio ou la lumière infrarouge. Donc le WLAN est moins coûteux (pas d'installation, pas de câblage) et aussi facile d'accéder à des endroits divers non fixes. La plupart des réseaux locaux sans fil se composent de deux parties : Les appareils et les Points d'accès (AP) [22]. Chacun de ces éléments est équipé d'une interface sans fil qui a deux fonctions : la première est de traduire les données en un signal radio / IR (infrarouge). La deuxième est de transmettre ce signal en utilisant une antenne ou un émetteur. Après avoir reçu le signal, l'AP passe à l'étape de décodage en jouant le rôle d'un pont. La synchronisation et la coordination des dispositifs au sein d'une zone locale sont fournis par l'AP. La transmission des paquets peut être pointeur des paquets vers une destination à partir d'un réseau filaire. Chaque point d'accès se distingue des autres points d'accès par un matériel dont l'adresse est unique c'est l'adresse de contrôle d'accès au support. Chaque point d'accès d'un réseau sans fil dispose une interface qui comprend le WLAN media et protocole de contrôle d'accès et peut avoir une interface connectée au réseau LAN câblé [22]. La filaire d'interface est presque toujours un port Ethernet. Pour pouvoir envoyer des signaux subrepticement dans une direction précise, le point d'accès utilise une antenne externe. Il y a une mémoire tampon qui contient la trame alors qu'ils sont transférés entre les deux interfaces et l'adresse MAC (Media Access Control) de chaque port est stockée dans un ensemble de tables internes [22]. La structure de base d'un WLAN s'appelle un ensemble de services de base (BSS), qui relie les deux serveurs : BSS (Basic Service Set) indépendants et infra structure BSS. Les serveurs communiquent entre eux directement dans le BSS indépendant IBSS (Independent Basic Service Set) et se composent généralement d'un petit nombre de stations configurées dans un but précis, souvent pour une courte période seulement. Les IBSS sont souvent appelés ad hoc réseaux. L'infrastructure BSS comprend un point d'accès et plusieurs périphériques sans fil. Ces dispositifs communiquer entre eux via l'AP [22].

L'AP diffuse son ensemble de services identifié (SSID) pour permettre à d'autres de rejoindre ce réseau spécifique. Chaque BSS se voit attribuer un BSSID (Identifiant de l'ensemble de services de base), sont des 48 bits identifiant que le distingue des autres BSS. Dans l'infrastructure BSS, le BSSID est le MAC adresse de l'interface sans fil dans le point d'accès créant le BSS. Ad hoc les réseaux génèrent un BSSID aléatoire. Les appareils des utilisateurs finaux lancent toujours le processus d'association, tandis que les points d'accès choisissent d'accepter ou de refuser l'accès en fonction du contenu de cette demande d'association. Au fur et à mesure que les utilisateurs bougent, leur appareil mobile tente de

trouver et de vous connectez avec le BSS fournissant le signe le plus fort et le moins du trafic concurrent [22].

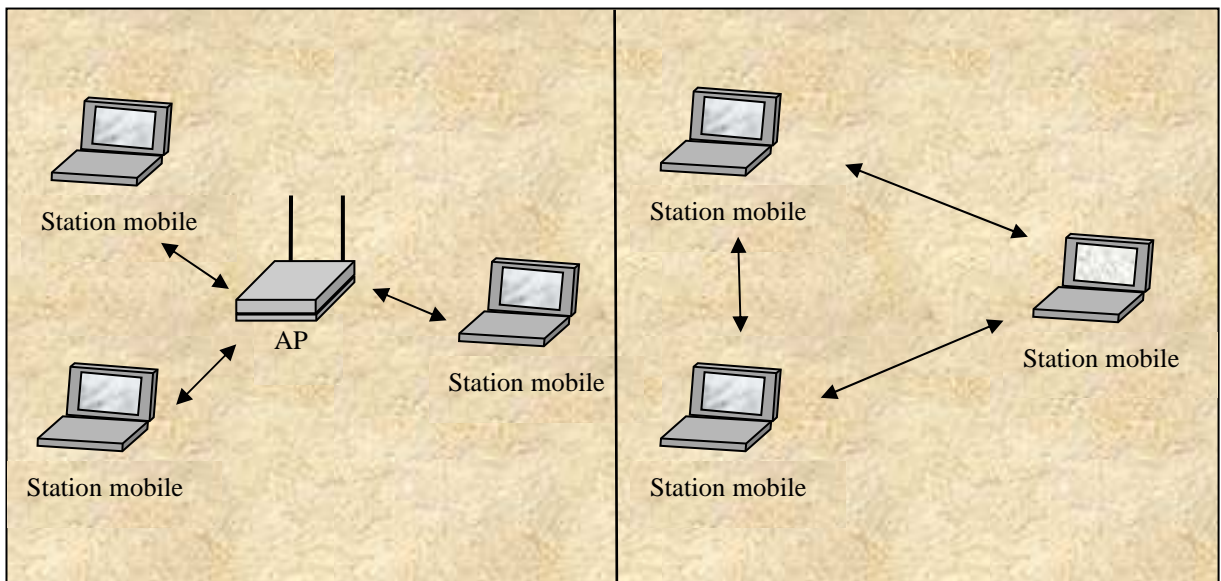


Figure II.10. Fonctionnement d'un réseau local sans fil avec et sans AP.

II.8. Les composants des réseaux WLAN

Le WLAN autrement dit IEEE 802.11 définit deux équipements, une station sans fil (un PC équipé d'une carte d'interface réseau sans fil (NIC) et un point d'accès (AP) servant de passerelle entre les réseaux sans fil et filaires). Un point d'accès consiste généralement en une radio, une interface réseau câblée (par exemple, 802.3), et un logiciel de pontage conforme à la norme de pontage 802.11d. Le point d'accès agit en tant que station de base du réseau sans fil, regroupant les accès de plusieurs stations sans fil sur le réseau filaire. Les stations finales sans fil peuvent être des cartes réseau 802.11, carte PC (Personal Computer), PCI (Peripheral Component Interconnect) ou ISA (Industry Standard Architecture), ou des solutions intégrées dans les clients non-PC (comme un combiné téléphonique basé sur 802.11).

Un réseau local sans fil 802.11 est basé sur une architecture cellulaire. Chaque cellule (BSS) est connectée à la station de base ou AP [23]. Tous les points d'accès sont connectés à un système de distribution (DS) similaire à un réseau fédérateur, généralement Ethernet

ou sans fil. Tous les composants mentionnés apparaissent en tant que système 802 pour les couches supérieures de l'OSI et sont connus comme l'ESS (Extended Service Set).

Le portail et le point d'accès sont identiques, agissant comme un pont de traduction, quand le système de distribution est construit avec des composants de type 802, tels que 802.3 (Ethernet) ou 802.5 (Token Ring). La norme 802.11 définit le système de distribution comme un élément interconnectant les SRS (Station Radio Service) au sein du ESS via des points d'accès. Le système de distribution prend en charge les types de mobilité 802.11 en fournissant des services nécessaires pour gérer le mappage adresse à destination et l'intégration transparente de plusieurs services BSS. Un point d'accès est une station adressable fournissant une interface au système de distribution pour les stations situées dans divers BSS. Les réseaux BSS et ESS indépendants sont transparents pour la couche LLC (Logical Link Control) [23].

II.8.1. Les types des systèmes WLAN

Les types de WLAN sont [24]:

II.8.1.1. Infrastructure BSS

L'infrastructure est le type de WLAN le plus connu. Il s'appuie sur les appareils sans fil pour se connecter au WAP (point d'accès sans fil) s'ils veulent accéder au réseau. Cela signifie que les PC, ordinateurs et autres appareils doivent se trouver à portée du WLAN et entrer les informations d'identification correctes pour être autorisés à rejoindre le WLAN. Généralement, les points d'accès sans fil sont fixes et ont une certaine zone de couverture.

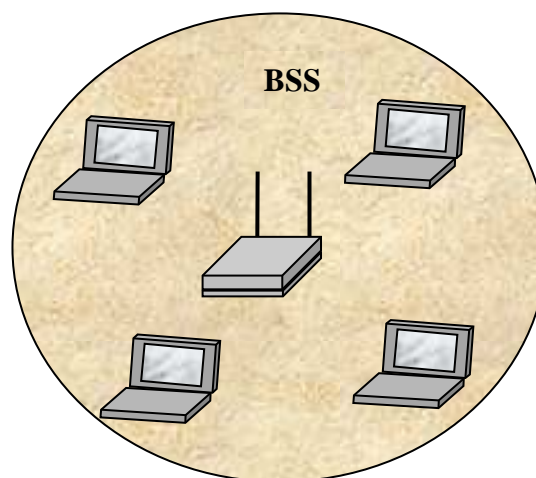


Figure II. 11. Infrastructure d'un WLAN.

Un réseau peut potentiellement avoir plusieurs points d'accès sans fil et le logiciel client sera chargé de choisir le meilleur WAP auquel se connecter dans cette circonstance potentielle [24].

II.8.1.2. Ad hoc IBSS

Les réseaux Ad hoc se reposent sur les stations qui ne communiquent que d'égal à égal, non pas sur le WAP. Le réseau peer to peer accorde l'accès aux appareils sans fil qu'ils peuvent connecter les uns aux autres. Les données et les informations peuvent ensuite être partagées entre les appareils qui sont connectés les uns aux autres sur le WLAN.

La force du signal n'est pas une bonne mesure pour juger du WLAN, car le système enregistrera la force du pair le plus proche [24].

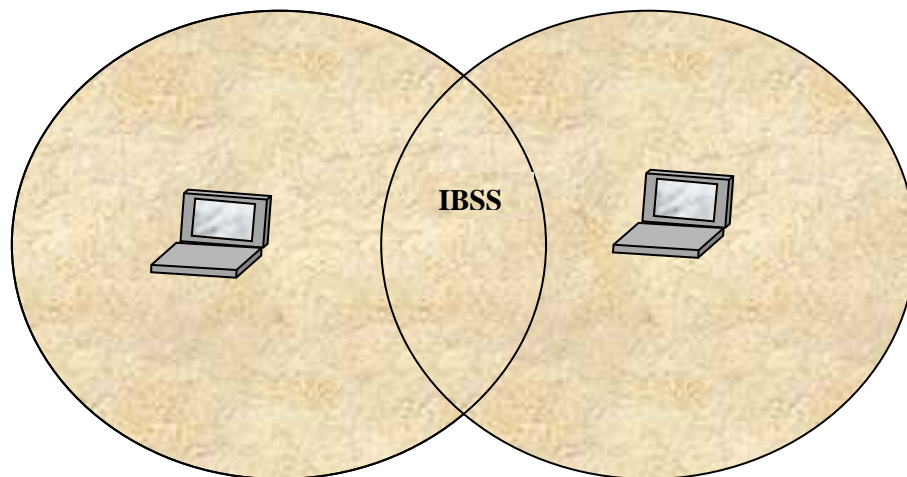


Figure II.12. Ad hoc d'un WLAN.

II.8.1.3. Ponts

Les ponts (Bridge) sont utilisés pour connecter les réseaux les uns aux autres. Les ponts Ethernet sans fil permettent aux appareils connectés sur un réseau Ethernet filaire d'être connectés à un réseau sans fil [24].

II.8.1.4. Système de distribution sans fil WDS

La liaison nommée système de distribution sans fil (notée WDS pour Wireless Distribution System) peut relier plusieurs points d'accès entre eux (interconnexion de plusieurs BSS).

Le DS permet d'accroître la couverture du réseau au-delà de la simple couverture radio d'un point d'accès. L'interconnexion de plusieurs BSS via le WDS constitue un ensemble de services étendus (ESS) [25].

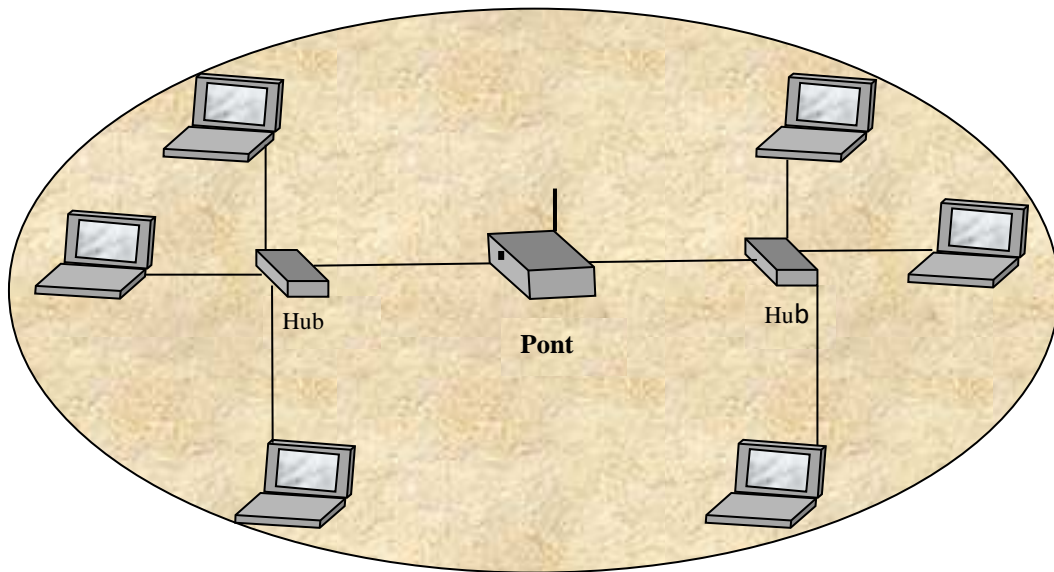


Figure II.13. Pont d'un WLAN.

Les systèmes de distribution sans fil permettent d'étendre le réseau à l'aide de plusieurs points d'accès sans dépendre d'une infrastructure câblée pour les prendre en charge.

Le plus grand bienfait de l'utilisation de WDS est que les adresses MAC des paquets de données sont retenues entre les différents points d'accès [24].

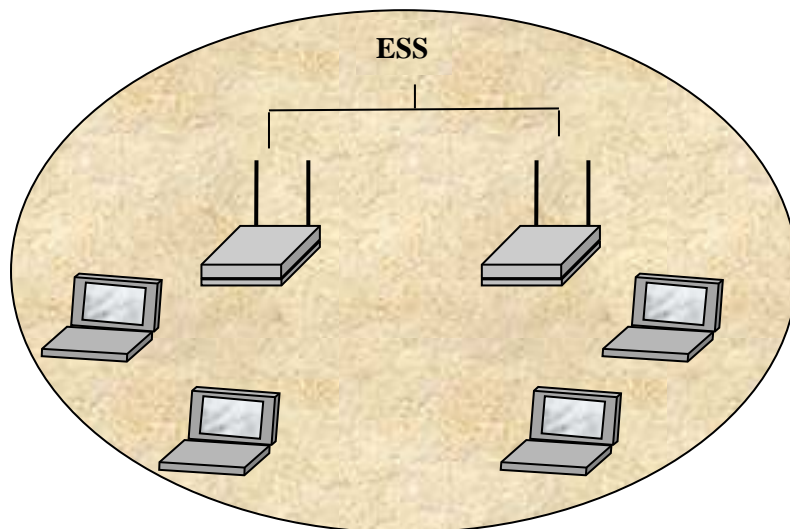


Figure II.14. Système de distribution sans fil d'un WLAN.

II.8.2. Les avantages des WLAN

Les avantages des WLAN contiennent [25] :

- Une mobilité génératrice de gains de productivité, avec un accès en temps réel aux informations, quel que soit le lieu où se situe l'utilisateur, pour une prise de décision plus rapide et plus efficace.
- Une installation plus économique du réseau dans les endroits difficiles à câbler, bâtiments anciens et structures en béton armé.
- Un coût de maintenance inférieur, particulièrement dans les environnements dynamiques nécessitant des transformations fréquentes grâce aux coûts minimes du câblage et de l'installation par poste et par utilisateur.

Au contraire des réseaux câblés au backbone, l'utilisateur du WLAN sera libre et indépendant. Il aura un accès permanent et omniprésent. Cette liberté fournit de nombreux bienfaits dans des types de lieux de travail tels que [25]:

- Un accès immédiat entre le lit d'hôpital et les informations concernant le patient pour les médecins et le personnel hospitalier.
- Un accès réseau simple et en temps réel pour les consultants et les auditeurs sur site.
- Un accès étendu aux bases de données pour les chefs de service nomades, directeurs de chaîne de fabrication, contrôleurs de gestion ou ingénieurs du bâtiment.
- Une configuration simplifiée du réseau avec un recours minime au personnel informatique pour les installations temporaires telles que stands de foire, d'exposition ou salles de conférence.
- Un accès plus rapide aux informations client pour les fournisseurs de services et détaillants, résultant en un meilleur service et une satisfaction supérieure.

II.8.3. Les inconvénients des WLAN

Parmi les méfaits du WLAN, on cite [26] :

- En matière de sécurité, les réseaux sans fil sont moins sûrs que les réseaux câblés. n'importe quel appareil peut se connecter au WLAN, il est donc important de limiter la connexion à n'importe quel réseau,

- La limitation du partage de données à d'autres réseaux se fait à l'aide d'une identification sans fil comme WEP (Confidentialité équivalente au filaire) ou WPA, qui encode la transmission,
- De plus, le sans fil est plus vulnérable aux interférences d'autres barrières physiques comme le mur solide,
- Pour les réseaux gouvernementaux et de nombreuses entreprises, les réseaux locaux sont utilisés pour fournir de bonnes performances et de la sécurité.

II.8.4. Application des WLAN

Parmi les réseaux locaux sans fil qui peuvent être classés en fonction de leurs applications.

On cite [27] :

- Les réseaux d'entreprises,
- Les réseaux domestiques,
- Les réseaux de capteurs (Sensor Networks),
- Les réseaux tactiques (Tactical Networks),
- Les réseaux pervasifs (Pervasive Networks),
- L'informatique portative ((Wearable Computing),
- Les réseaux des véhicules automatisés (Automded Vehical Networks).

II.8.5. Les antennes WLAN

Pour les systèmes WLAN, il existe deux types d'antennes de base, classés selon la direction dans laquelle ils émettent les signaux radio : omnidirectionnelle et directionnelle.

Antennes omnidirectionnelles : Les antennes omnidirectionnelles sont faites afin d'émettre des signaux identiques sur tous les 360 degrés.

Ce type d'antenne est utilisé pour devenir émetteur à partir d'un nœud central, tel qu'un point d'accès, vers des utilisateurs dispersés dans toute la zone. Dans un petit bureau de trois ou quatre pièces, un point d'accès équipé d'une antenne omnidirectionnelle devrait être en mesure de donner une couverture suffisante pour toutes les stations sans fil dans toutes les pièces [28].

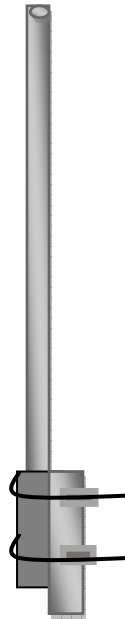


Figure II.15. Antenne omnidirectionnelle.

Antennes directionnelles : Les antennes directionnelles ou patchs offrent un signal plus précis que des antennes omnidirectionnelles. Les signaux sont généralement transmis selon un schéma de forme ovale avec une largeur de faisceau d'environ 30 degrés.

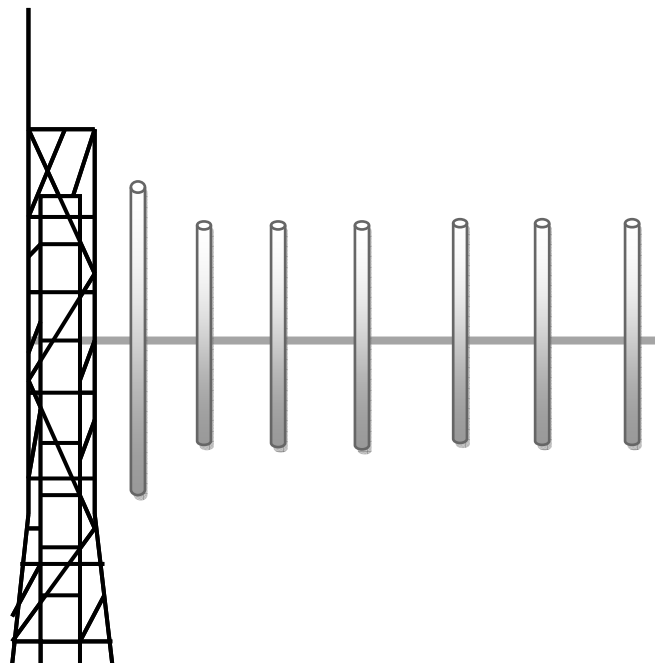


Figure II.16. Antenne directionnelle.

Ce type d'antenne est également idéal pour les bureaux. Par exemple, un point d'accès avec une antenne semi-directionnelle peut être placé dans un coin d'une pièce pour fournir une

couverture fiable sur toute sa longueur. Les antennes directionnelles peuvent également être utilisées à l'extérieur pour fournir des liaisons point à point sur de courtes distances ou comme extrémité client d'un réseau point à multipoint [28].

II.8.6. Choix des antennes WLAN

Pour garantir une liaison sans fil solide, le choix des antennes WLAN reliées à l'endroit de l'application est l'étape la plus importante. Après la conversion des signaux numériques en signaux analogiques, le signal est mélangé, filtré, amplifié et finalement libéré dans l'atmosphère. La fonction principale de l'antenne WLAN est de contrôler la façon dont l'énergie est libérée et le type de champ d'énergie qu'elle forme [28].

II.9. Conclusion

Dans ce chapitre, une vue d'ensemble des systèmes WLAN et MIMO a été présentée. Dans la première partie, nous avons concentré sur le fonctionnement et les types de ces systèmes, et dans la deuxième partie, nous avons traité leurs avantages, leurs inconvénients et leurs applications. Ensuite nous avons présenté les antennes de chaque système et de quoi dépend le choix de ces antennes.

II.10. Références bibliographiques

- [1] Yang, Jiachen, Huanling Wang, Zhihan Lv, and Huihui Wang. "*Design of miniaturized dual-band microstrip antenna for WLAN application*," *Sensors*, vol. 16, no. 7, pp. 983, 2016.
- [2] Bendimerad Fethi Tarik et al. "*MIMO et Accès Multiples Avancés pour Réseaux Sans Fil*," Rapport général du projet PNR, Cerist. 2013.
- [3] Sharawi, Mohammad S. "Current misuses and future prospects for printed multiple-input, multiple-output antenna systems.", *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 59, no.2, pp.162-170, 2017.
- [4] Babu, Jagadeesh K., Sri Rama K. Krishna, and Pratap L. Reddy. "A review on the design of MIMO antennas for upcoming 4G communications." *International journal of applied engineering research*, vol. 2.1, pp. 85, 2011.

- [5] Laheg, Cherifa. "*Etude Et Conception D'une Antenne MIMO Reconfigurable.*", Mémoire de Master, Université de Guelma, 2022.
- [6] Vardhan, Piyush, Manisha Gupta, and Arun Kumar. "Massive-MIMO-past, present and future: a review." *Indian Journal of Science and Technology*, vol. 9, no. 48, pp.1-13, 2016.
- [7] Mazri Ammar, "*Etude d'un modèle de canal MIMO.*", Mémoire de Master, Université de Biskra, 2020.
- [8] Bouaziz, Samir, and Kahina Rekkal. "A PAPR reduction for STBC MIMO-OFDM systems in 4G wireless communications using PTS scheme." *First International Conference on New Technologies of Information and Communication (NTIC)*, pp. 1-5, 2015.
- [9] Diarra, Dramane, and Poudougo Joël. "*Conception d'une antenne MIMO double bande 28/38GHz avec forte isolation pour les applications 5G Simulation avec HFSS.*", Mémoire de Master, Université de Sekikda, 2021.
- [10] Bouslimani Bilal, Haif Billel. "*Développement d'antenne MIMO à ondes millimétriques pour les communications mobiles 5G.*" , Mémoire de Master, Université de Medea, 2022.
- [11] Proakis, John G. "Digital communications. ", *Mc-Graw-Hill, Higher Education*, 2008.
- [12] Foschini, Gerard J., and Michael J. Gans. "On limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas." *Wireless personal communications*, vol. 6, no. 3, pp.311-336, 1998.
- [13] Foschini, Gerard J. "Layered space-time architecture for wireless communication in a fading environment when using multi-element antennas." *Bell labs technical journal*, vol.1, no. 2, pp. 41-59, 1996.
- [14] Oestges, Claude, and Bruno Clerckx. "*MIMO wireless communications: from real-world propagation to space-time code design.* ", Academic Press, 2010.
- [15] Chiau, Choo Chiap. "*Study of the diversity antenna array for the MIMO wireless communication systems.*" , Thèse de Doctorat, Queen Mary, University of London, 2006.
- [16] Site web :
<https://www.electronics-notes.com/articles/antennas-propagation/mimo/multiuser-mimo.php>
- [17] Zerrouki, El-Hadj. "*Application à la technologie MIMO dans les réseaux Wi-Fi.*" Thèse de Doctorat., 2006.
- [18] Allel Monsaf, Amraoui Zakaria. "*Conception de nouveau système d'antennes MIMO pour le standard 5G.*" , Mémoire de Master, Université de Guelma, 2021.

- [19] Alizadeh-Shabdiz, Farshid. "*System and method of improving sampling of WLAN packet information to improve estimates of Doppler frequency of a WLAN positioning device.*" U.S. Patent No. 7,768,963. 3 Aug. 2010.
- [20] Messenger, Steven. "*Wireless local area network.*" U.S. Patent No. 5,046,066. 3 Sep. 1991.
- [21] Jean-Claude, B. I. C. "Les réseaux WLAN.", *GET/Télécom Paris*, 2003.
- [22] Bouzzaoui Samira et Dekali Zahira. "Conception des réseaux sans fils iee 802.11 en modes infrastructure et ad hoc." Thèse de doctorat, Université de Tlemcen, 2016.
- [23] Hedna, Saida. "Gestion de l'économie d'énergie dans les réseaux sans fil 802.11 Ad Hoc." , Mémoire de Magister, Université de Batna, 2011.
- [24] Crow, B. P., Widjaja, I., Kim, J. G., & Sakai, P. T. "*IEEE 802.11 wireless local area networks,*" IEEE Communications magazine, vol. 35, no. 9, pp. 116-126, 1997.
- [25] Allio, Sylvain. "*Méthodes avancées pour une ingénierie WLAN multi-standards.*" Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Rennes, 2007.
- [26] Everson, John M., and Jason R. Delker. "*Method and system for providing location information for a wireless local area network (WLAN).*" U.S. Patent No. 7,pp. 433-673, 2008.
- [27] Karima, Belhadj, and Abid Amina. "*Etude et réalisation d'un réseau WIFI hotspot dans le service public.*" , Mémoire d'ingénieur, Université de Tizi-Ouzou, 2012.
- [28] Présent, Dominique. "*Réseaux WiFi–Norme 802.11.*", Département SRC-IUT. De marne la vallée, 2003.

Chapitre III

Conception d'une antenne microruban pour les communications WLAN

III. 1. Introduction

Les antennes planaires connaissent une grande importance des chercheurs dans nos jours à cause de leurs nombreuses utilisations. En effet, les domaines d'utilisation favorisés des antennes microrubans sont les communications en haute fréquences tels que les communications spatiales, les systèmes militaires et commerciaux de positionnement par satellite (GPS), la navigation aérienne ou terrestre, les applications aérospatiales, les réseaux informatiques sans fil WLAN (Wireless Local Area Network), la communication entre deux mobiles et dans des nouveaux domaines tels que la médecine ou le téléphone mobile. Cette large et importante utilisation de ces antennes est due essentiellement aux divers avantages qu'elles peuvent offrir par rapport aux antennes classiques tels que : faible poids, faible volume et épaisseur, coût de fabrication très faible, une production en série facile, possibilité de mise en réseau et l'intégration d'éléments discrets et la conformabilité facilitant l'implantation sur tout type de support [1]-[2].

Un réseau WLAN est une technologie qui combine un réseau informatique avec une technologie de communication sans fil. L'environnement WLAN peut utiliser Les bandes de fréquences 2.4 GHz et 5 GHz. Pour développer la technologie de communication sans fil et de l'utilisation des bandes de fréquences sans besoin d'autorisation, l'application du WLAN devient de plus en plus étendue. En tant qu'élément clé du système WLAN, l'antenne microruban doit également être adaptée au développement de la technologie de communication WLAN [3]. Le présent chapitre est destiné à la conception et la simulation d'une antenne microruban pour les communications WLAN. Dans la première partie de ce travail, On propose une structure d'antenne conçue pour fonctionner sur les bandes de fréquences de 2.4/5 GHz qui sont des fréquences dédiées aux ces applications WLAN. L'objectif de cette antenne est qu'elle peut fonctionner aux ces deux bandes de fréquences aux même temps (peut fonctionner à la bande de 2.4 GHz et la même antenne peut fonctionner sur l'autre bande de 5 GHz, simultanément). Nous avons choisi l'outil de simulation électromagnétique *Ansoft HFSS* pour l'étude et la simulation des différents résultats des performances de l'antenne [4].

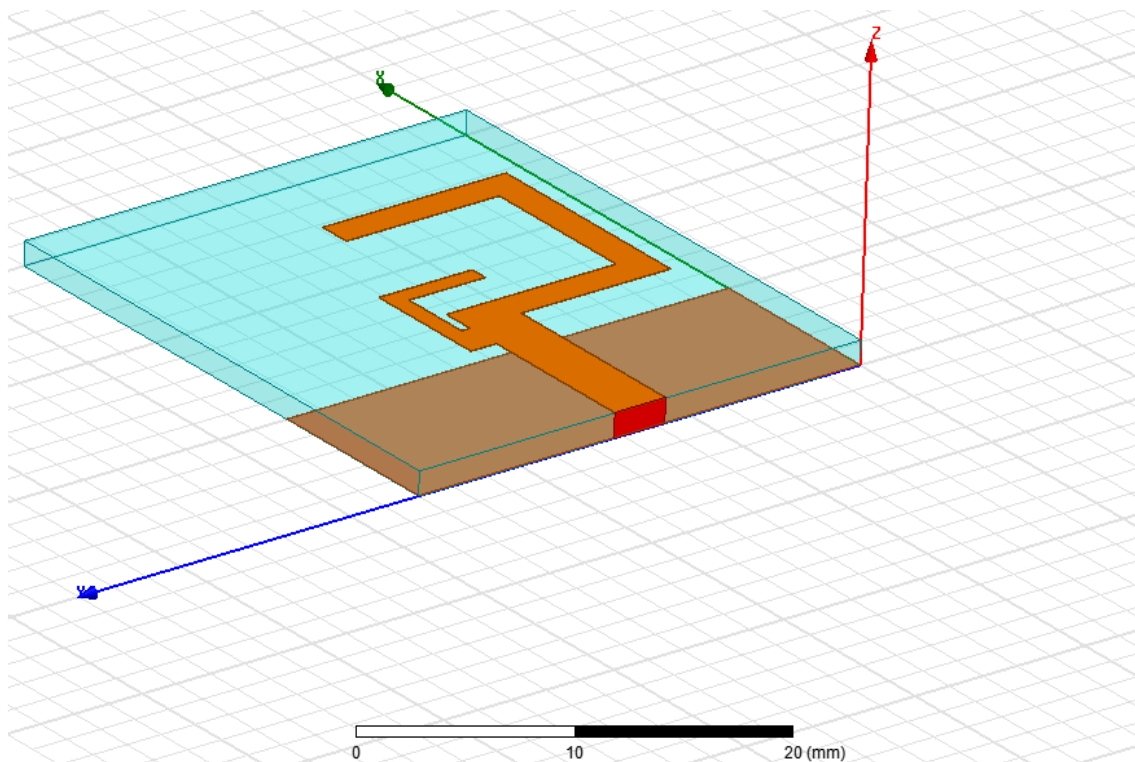


Figure III. 1. Structure de l'antenne proposée sous HFSS.

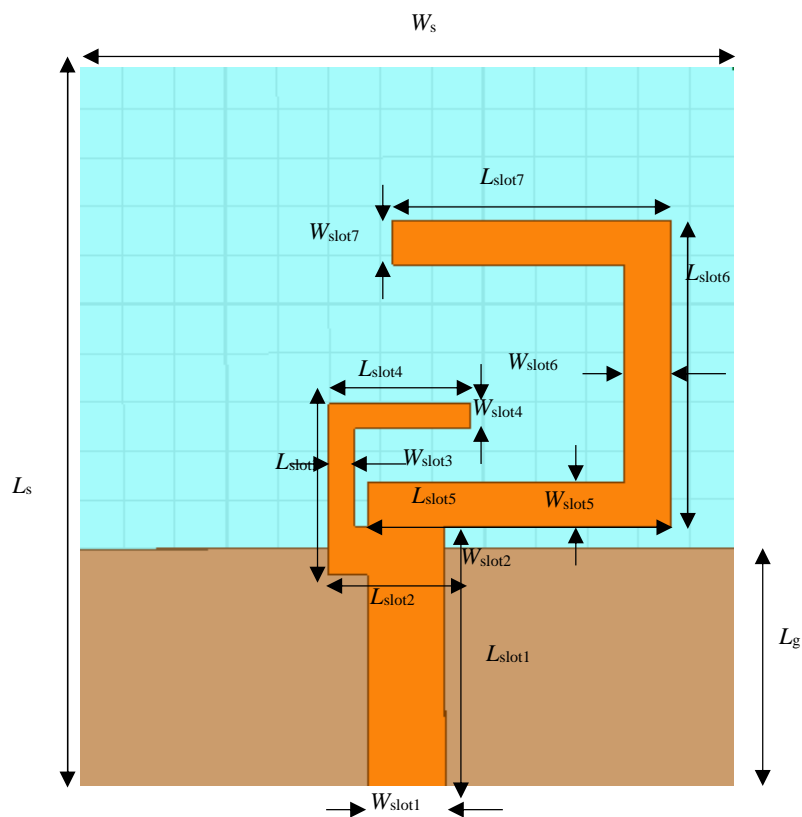


Figure III. 2. Dimensions de la structure de l'antenne optimisée.

La deuxième partie de ce travail sera consacré à l'étude de l'antenne proposée, les paramètres importants qui affectent les performances de l'antenne seront étudiées afin d'avoir une bonne conception de ce type d'antenne. La structure de l'antenne étudiée est illustrée dans la figure III. 1. Elle est constituée d'un patch imprimé sur la face supérieure d'un substrat de type 'FR4 epoxy', de permittivité relative $\epsilon_r = 4.4$ et d'épaisseur de substrat $h = 1.6 \text{ mm}$. Le plan de masse partiel imprimé sur la face inférieure du substrat et couvre partialement la surface du substrat. L'antenne proposée s'adapte à la fois aux bandes de fréquences WLAN, fonctionnant à 2.4 et à 5 GHz. La figure III.2 montre la géométrie et les paramètres de l'antenne proposée.

III.2. Discussions des résultats numériques

III.2.1. Etude paramétrique de l'antenne proposée

Trouver les valeurs idéales pour les dimensions physiques de l'antenne est un défi critique dans la conception d'une antenne. Une analyse paramétrique approfondie est utilisée pour déterminer les meilleures valeurs de paramètres. Un paramètre physique est modifié à la fois tandis que les autres restent inchangés dans cette procédure.

III.2.1.1. Coefficient de réflexion

La Figure III.3 présente la variation du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de l'antenne pour différentes valeurs d'épaisseurs du substrat h (1.2 mm à 2 mm). D'après cette figure on remarque que l'augmentation des valeurs d'épaisseur provoque une petite variation de la fréquence et ceci pour les valeurs du coefficient de réflexion.

Ces résultats montrent que l'antenne présente une bonne adaptation pour la valeur d'épaisseur optimale $h = 1.6 \text{ mm}$, avec un coefficient de réflexion de -22dB à la fréquence de résonance de 5GHz. Mais à la fréquence 2.4 GHz, cette adaptation atteinte sa valeur max pour un coefficient de réflexion de -28dB.

La figure III.4. Illustre les résultats de coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de l'antenne pour différentes tailles du plan de masse L_g .

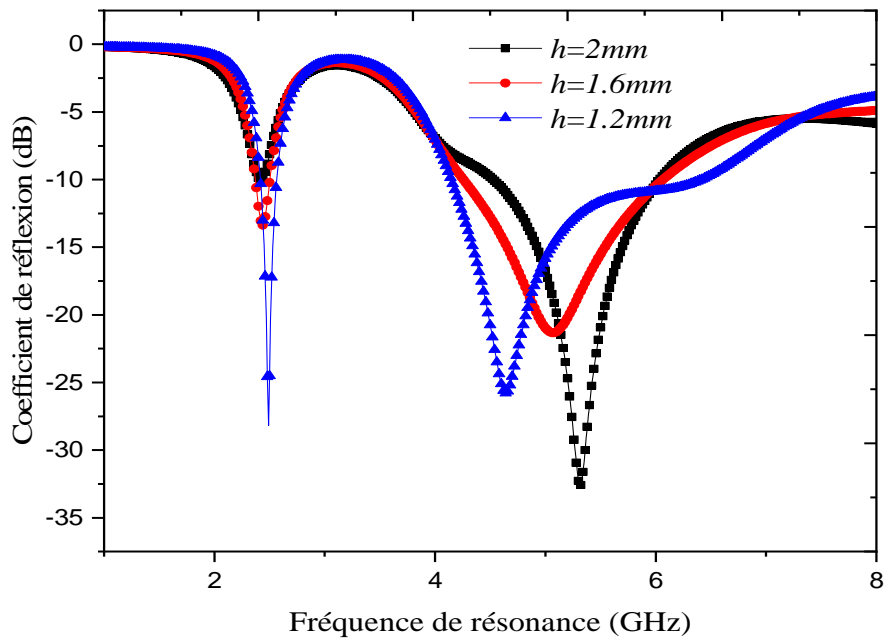


Figure III.3. Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de l'antenne pour différentes valeurs d'épaisseur du substrat h .

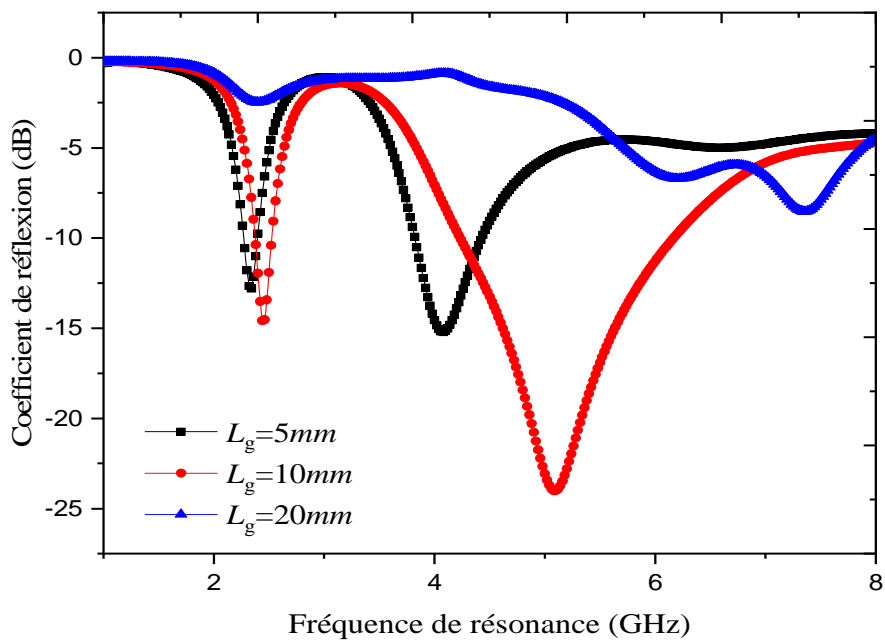


Figure III.4. Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de l'antenne pour différentes tailles du plan de masse L_g .

- Pour $L_g=5 \text{ mm}$ la fréquence sera 2.3 GHz, et le coefficient de réflexion est diminué jusqu'à -12.75 dB, juste après cette valeur il relevée d'augmenter à la valeur de coefficient de réflexion -1dB et nous remarquons une augmentation de la valeur de la fréquence de résonance de 2.3GHz à 3GHz et juste après cette valeur le coefficient de réflexion diminue Jusqu'à -15.8 dB et la valeur de fréquence sera 4.1GHz. Juste après cette valeur le coefficient de réflexion relevée à augmenter et reste stable au -3dB.
- Pour $L_g =10 \text{ mm}$, la fréquence est de 2.4 GHz, et le coefficient de réflexion est diminué jusqu'à -15 dB et juste après la valeur de 2.4 GHz, il relevée d'augmenter à la valeur de coefficient de réflexion -1.25dB et nous remarquons une augmentation de la valeur de la fréquence de résonance de 2.4GHz à 3.2GHz et juste après cette valeur le coefficient de réflexion diminue Jusqu'à -24.5dB et la valeur de fréquence sera 5.125GHz. Juste après cette valeur le coefficient de réflexion relevée à augmenter et reste stable au -3dB.
- Pour $L_g =20 \text{ mm}$, la valeur de coefficient de réflexion elle est presque stable elle ne désigne à aucun changement dans la fréquence de résonance par rapport aux autres valeurs de tailles du plan de masse L_g .

D'après ces résultats on constate que le deuxième cas ($L_g =10 \text{ mm}$) est le plus adapté par rapport à l'étude théorique.

La figure III.5, illustre les résultats de coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de l'antenne imprimée sur différentes substrats ϵ_r . Trois matériaux diélectriques sont considérés dans cette figure ; le premier matériau est le Mica ($\epsilon_r = 5.7$), le deuxième est FR-4 ($\epsilon_r = 4.4$), et le troisième est le Duroid ($\epsilon_r =2.33$).

- Pour le Mica ($\epsilon_r = 5.7$), la fréquence sera 2.8 GHz, et le coefficient de réflexion est diminué jusqu'à -24 dB et juste après la valeur de 2.8 GHz, il débuté d'augmenter à la valeur -2.5 dB, et nous remarquons une augmentation de la valeur de la fréquence de résonance de 2.8GHz à 3.8GHz. Juste après cette valeur le coefficient de réflexion diminue jusqu'à -27 dB qui correspond à une fréquence de 6.8GHz. Après cette valeur le coefficient de réflexion relevée à augmenter et reste stable au -7dB.

- Pour FR-4 ($\epsilon_r = 4.4$), la fréquence est de 2.4 GHz, et le coefficient de réflexion est diminué jusqu'à -14.9 dB et juste après la valeur de 2.4 GHz il relevée d'augmenter à la valeur de coefficient de réflexion -1.25dB et nous remarquons une augmentation de la valeur de la fréquence de résonance de 2.4GHz à 3.2GHz et juste après cette valeur le coefficient de réflexion diminue Jusqu'à -24dB et la valeur de fréquence sera 5.05GHz. Juste après cette valeur le coefficient de réflexion relevée à augmenter et reste stable au -6dB.
- Pour le Duroid ($\epsilon_r = 2.33$), la fréquence est de 2.3 GHz, et le coefficient de réflexion est diminué jusqu'à -14.6 dB et juste après la valeur de 2.3 GHz il relevée d'augmenter à la valeur de coefficient de réflexion -1 dB et nous remarquons une augmentation de la valeur de la fréquence de résonance de 2.3GHz à 3GHz et juste après cette valeur le coefficient de réflexion diminue Jusqu'à -31dB et la valeur de fréquence sera 4.3 GHz. Juste après cette valeur le coefficient de réflexion relevée à augmenter et reste stable au -6dB.

Lors de ces résultats on constate que le changement du matériau de substrat affecte significativement les bandes de fonctionnements.

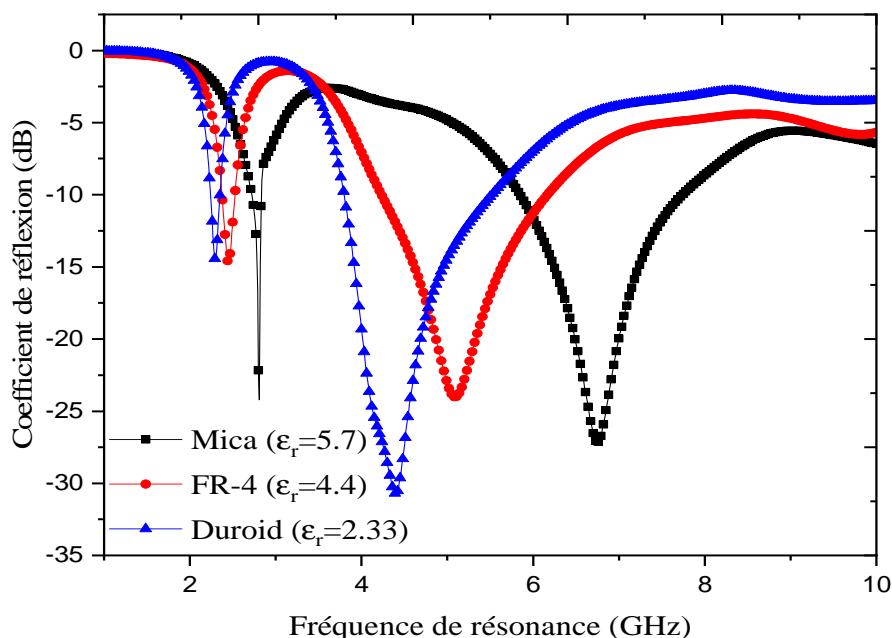


Figure III.5. Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de l'antenne imprimée sur différents substrats ϵ_r .

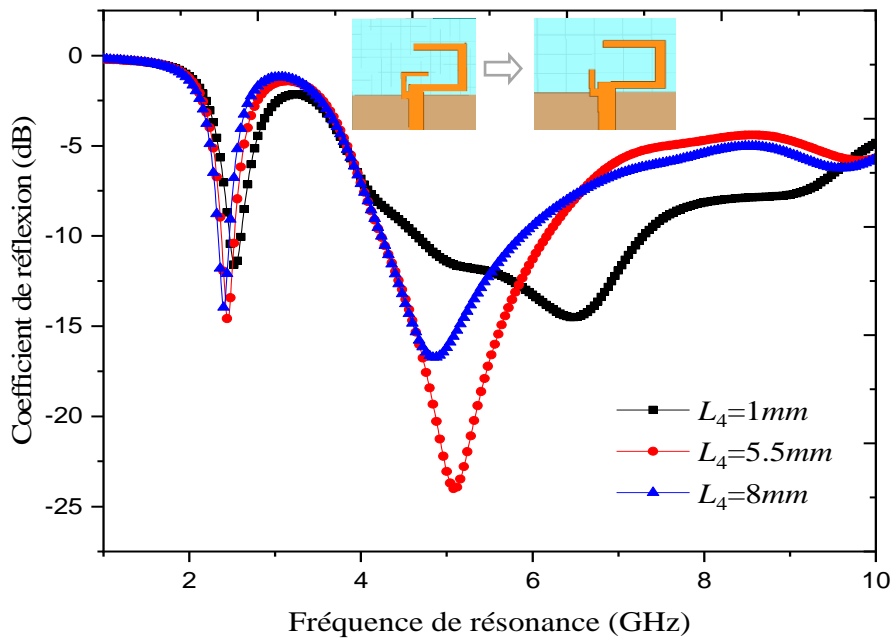


Figure III.6. Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de résonance pour différentes tailles de la ligne microbande L_4 .

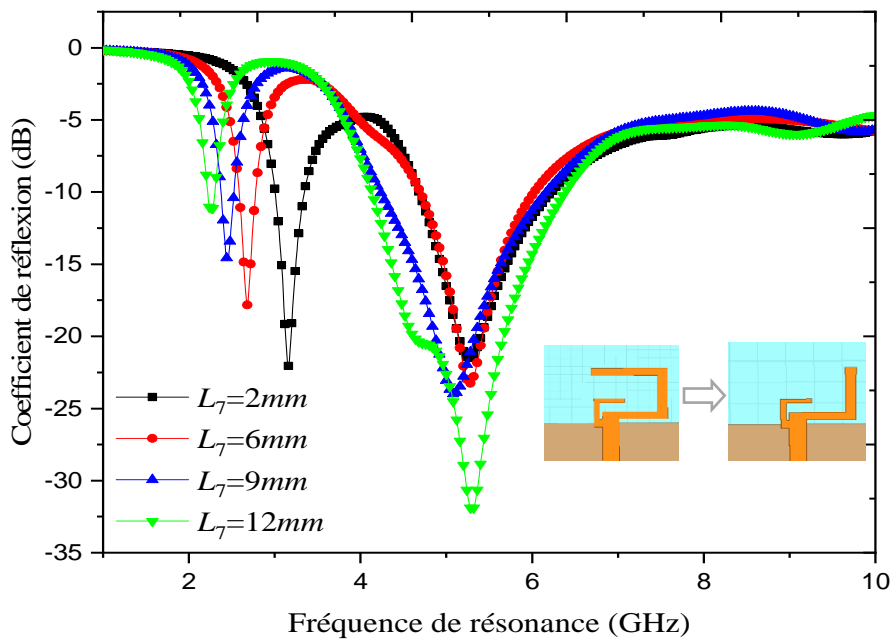


Figure III.7. Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de pour différentes tailles du la ligne microbande L_7 .

Pour voir l'effet des différents paramètres d'antenne microbande sur le coefficient de réflexion, la figure III.6 montre la variation du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de résonance pour différentes tailles du la ligne microbande L_4 . On remarque que le coefficient de réflexion est moins du -10 dB et que la fréquence est presque stable à 2.4 GHz, pour une meilleure adaptation, on choisit une taille de ligne microbande L_4 égale à 5.5 mm qui corresponde à une fréquence de 2.4 GHz. Cependant, dans la fréquence 5GHz, l'adaptation atteindre à ça meilleure valeur dans la taille de la ligne microbande L_4 (5.5mm), avec un coefficient de réflexion inferieure a -10dB.

La variation du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence d'opération, pour différentes tailles du la ligne microbande L_7 , est exprimée dans la Figure III.7.

On observe que l'augmentation des valeurs de la ligne L_7 provoque une petite variation de la fréquence. Donc pour une meilleure adaptation de la valeur de coefficient de réflexion ($< -14.6\text{dB}$), on choisit une taille optimale de ligne microbande L_7 égale à 9 mm.

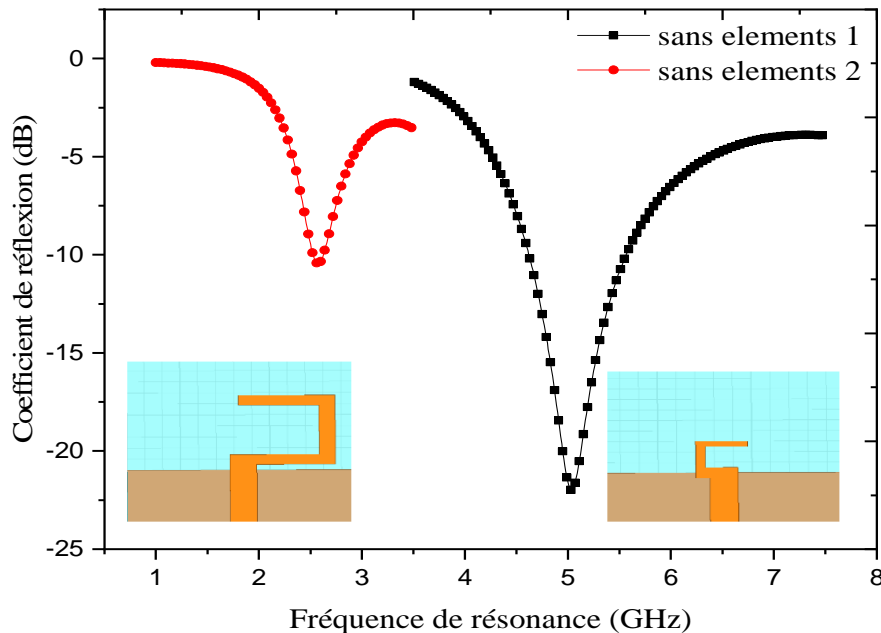


Figure III.8. Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence sans les éléments des lignes microbandes L_4 et L_7 .

La figure III.8, présente la variation de coefficient de réflexion en fonction des deux éléments (éléments rayonnants au bord de la structure). Selon cette figure, les deux courbes montrent la divergence de coefficient de réflexion dans deux cas, le premier sans l'élément (de forme C) de ligne microruban L_4 et le second sans l'élément (de forme C inversé) de ligne microruban L_7 . On peut visualiser que l'augmentation de coefficient de réflexion est inversement proportionnelle à la fréquence de résonance. Autrement dit, que l'élément essentiel responsable au rayonnement dans la bande 2GHz, est l'élément 1 (L_4), par contre, l'élément 1 (L_7), responsable au rayonnement dans la deuxième bande (5GHz).

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. Les dimensions adoptées lors de cette antenne de départ sont tabulées dans le Tableau III.1

Tableau III.1. Dimension de l'antenne optimisée.

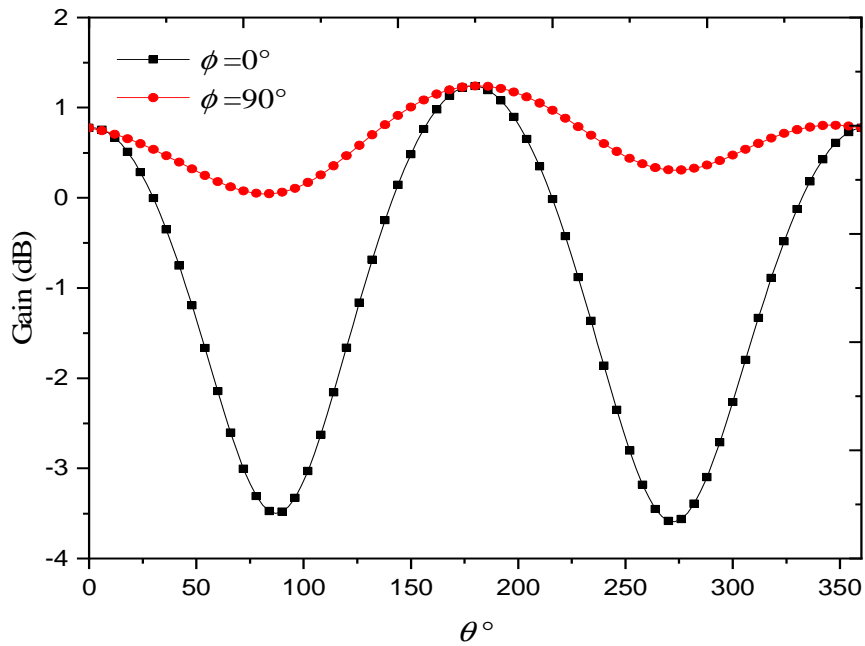
Paramètres	W_{slot1}	L_{slot1}	W_{slot2}	L_{slot2}	W_{slot3}	L_{slot3}	W_{slot4}	L_{slot4}	W_{slot5}	L_{slot5}
Valeurs (mm)	3	11	2	4.5	1	4	1	5.5	1.8	11.8
Paramètres	W_{slot6}	L_{slot6}	W_{slot7}	L_{slot7}	W_s	L_s	W_g	L_g		
Valeurs (mm)	1.8	10.7	1.8	9	30	26	10	26		

La figure III.9.a illustre le diagramme de gain simulé dans les deux plans E et H au fréquence de résonance (2.5GHz).

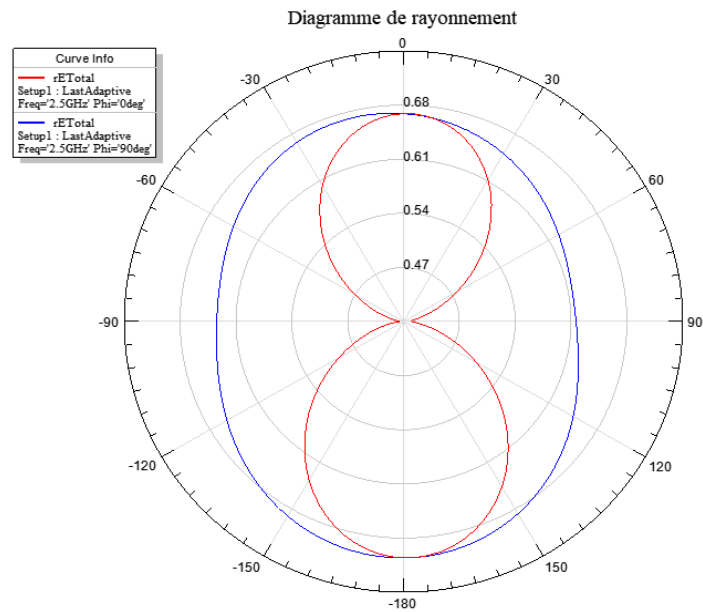
Pouvons remarquer que :

- Dans le plan E ($\phi = 0^\circ$) le gain diminue à la valeur -3.5dB, l'angle θ sera 87.5° et juste après cette valeur d'angle il relevée d'augmenter à sa valeur maximale qui est -1.25dB. On remarque une augmentation de la valeur d'angle de 87.5° à 187.5° le gain va diminuer juste après cette valeur à -3.7dB, l'angle θ augmente encore et devient 274° . Juste après cette valeur le gain relevé à augmenter à -1dB.
- Dans le plan H ($\phi = 90^\circ$) on remarque une légère diminution de la valeur du Gain sa valeur max identique à la valeur max du gain de cas précédent.

Par ailleurs, la figure III.9 (b) présente le diagramme de rayonnement de gain sur les deux plans E et H .



(a)



(b)

Figure III.9. Gain de l'antenne proposée, (a) Gain dans les deux plans E et H, (b) Diagramme de rayonnement du Gain.

Nous observons qu'un comportement omnidirectionnel et le rayonnement est stable sur tout la bande de fréquence. Le diagramme de rayonnement de l'antenne à 2.5GHz est presque omnidirectionnel avec une directivité maximale de de crête de 0,68 dB, dans la direction 180°.

III.2.2. Diagramme de rayonnement 3D

La Figure III.10 décrit les diagrammes de rayonnement simulés en 3D aux fréquences 1GHz, 3GHz, 5GHz, et 8GHz.

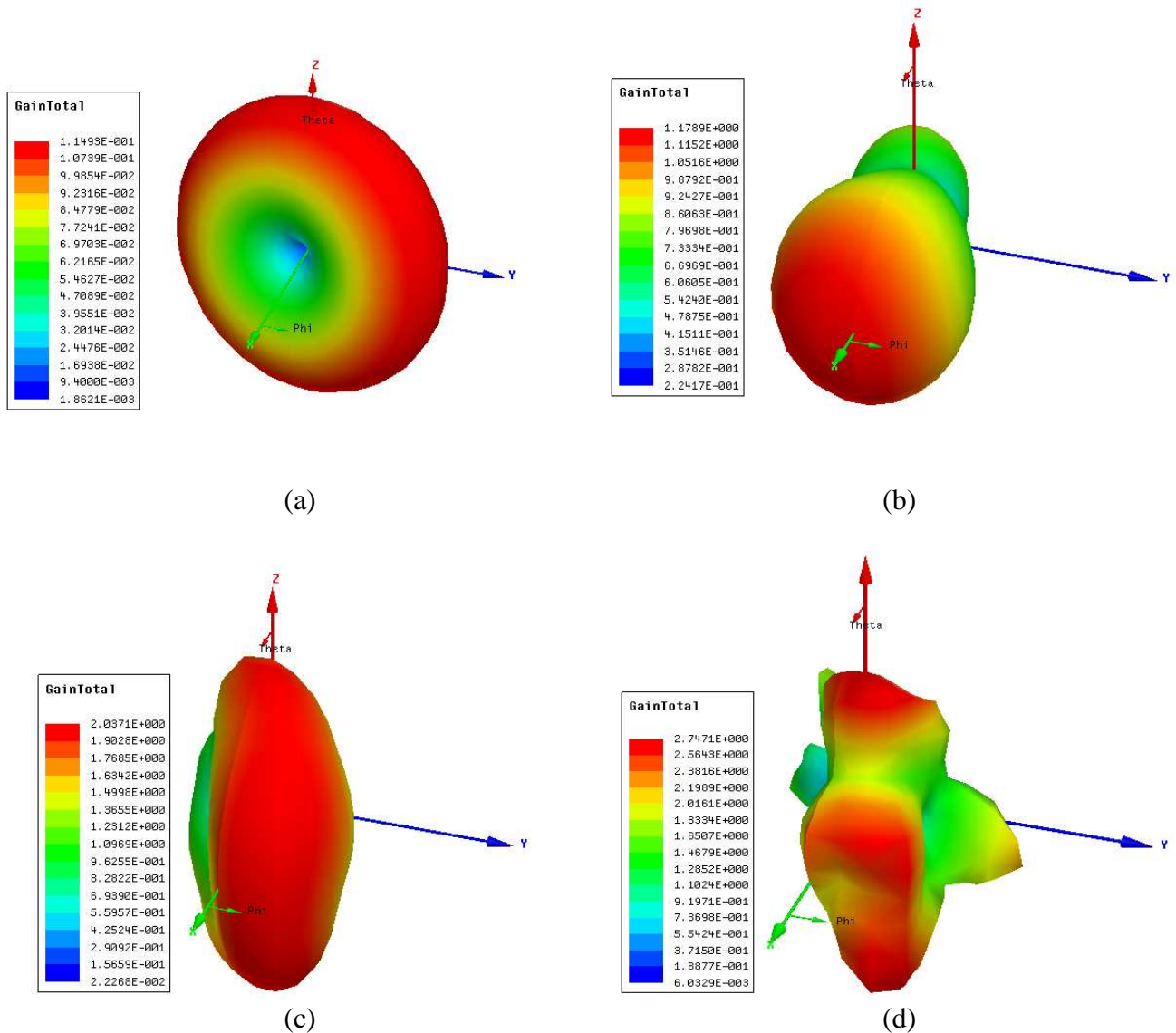


Figure III.10. Diagramme de rayonnement de l'antenne proposée à :

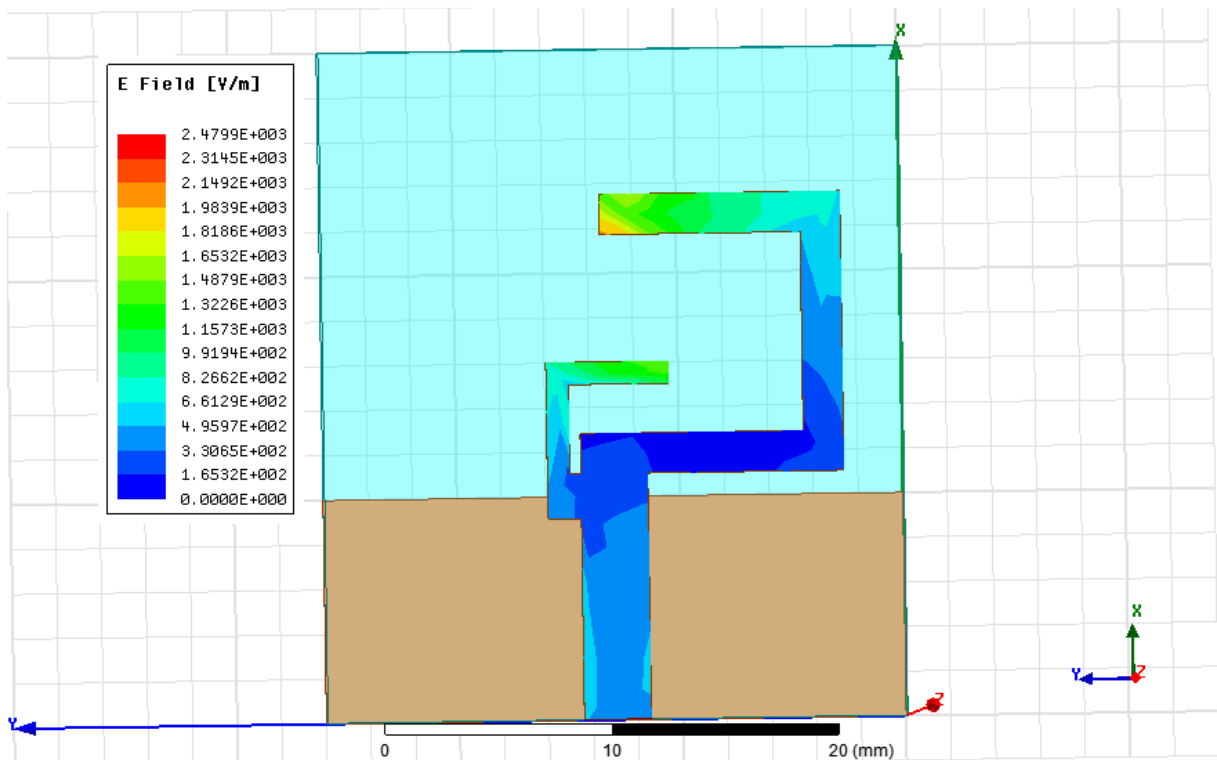
(a) 1GHz, (b) 3GHz, (c) 5 GHz, (d) 8GHz.

Le graphe de gain 3D illustre que le diagramme de rayonnement était presque large avec de légères distorsions à un certain angle dans les bandes de fréquences plus élevées (5, et 8 GHz). La directivité et le gain étaient meilleurs et suffisants pour les applications sans fil.

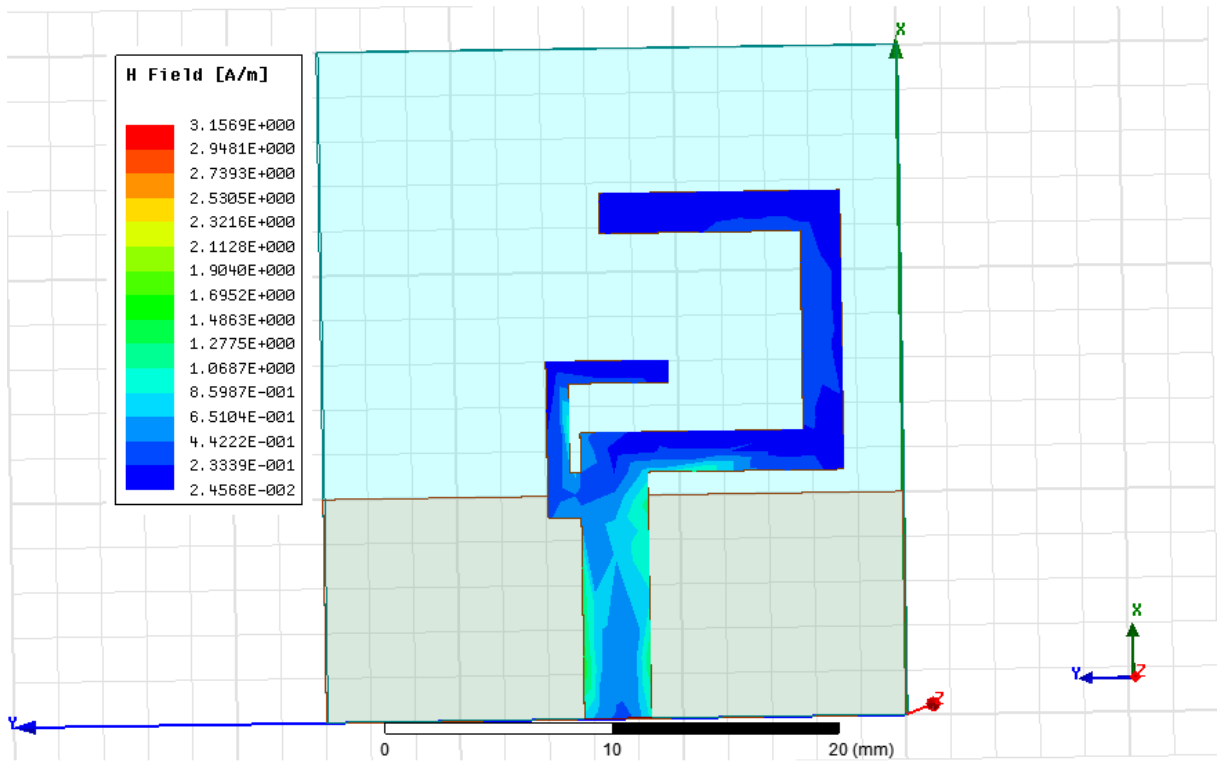
III.2.3. Cartographie des champs

La figure III.11 présente la répartition surfacique du : (a) champ électrique, (b) champ magnétique, (c) courant électrique de l'antenne proposée sur patch. Ces figures illustrent la cartographie des champs dans l'antenne, on peut observer que la distribution de champ électrique figure III.11. (a) est concentrée aux bords du structure. On remarque aussi une absence de champs dans le centre de patch.

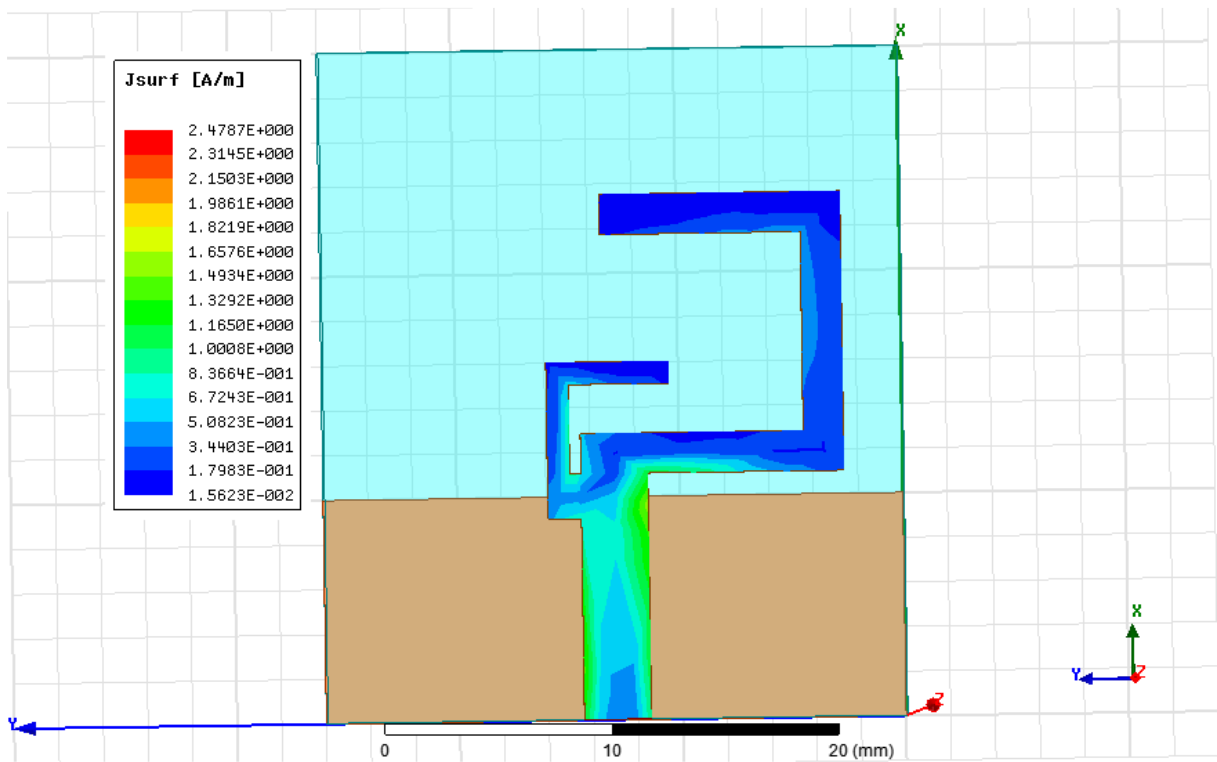
Il est clair de la figure III.11. (b) que la distribution de champ magnétique de l'antenne est concentrée au niveau de ligne d'alimentation d'antenne, mais il est un peu faible dans le reste de la structure.



(a)



(b)



(c)

Figure III.11. Répartition du : (a) champ électrique, (b) champ magnétique, (c) courant électrique de l'antenne proposée sous HFSS.

Il est observé également de la figure III.11. (c) que la distribution de courant de l'antenne est concentrée au niveau de la ligne d'alimentation d'antenne, on voit aussi que le champ est nul aux bornes et d'autres surfaces de la structure proposée. Donc on conclut que les résultats de cette distribution de courant sont cohérentes aux résultats de la théorie et de la littérature.

III.3. Conclusion

Dans ce chapitre, nous menons une étude paramétrique qui prend en compte l'effet des différents paramètres géométriques (dimensions) et physiques (substrat, épaisseur, largeur...), afin d'améliorer l'adaptation de l'antenne proposé. Pour connaître l'effet de ces paramètres sur les caractéristiques de l'antenne conçue (fréquence, diagramme de rayonnement et gain, ...etc.), une étude paramétrique sera faite.

Nous avons présenté une nouvelle antenne dont sa structure conçue pour fonctionner sur les deux bandes de fréquences 2.4GHz et 5 GHz aux mêmes temps, qui sont des fréquences dédiées aux applications WLAN.

III.4. Références Bibliographiques

- [1] James, J. R., G. John, and C. M. Hall. "Millimetre-wave hybrid dielectric-microstrip antenna array." In *IEE Proceedings H (Microwaves, Optics and Antennas)*, vol. 131, no. 6, pp. 341-350. IET Digital Library, 1984.
- [2] Bhattacharyya, A., and Ramesh Garg. "Input impedance of annular ring microstrip antenna using circuit theory approach." *IEEE Transactions on antennas and propagation* 33, no. 4, pp. 369-374, 1985.
- [3] Yang, Jiachen, Huanling Wang, Zhihan Lv, and Huihui Wang. "Design of miniaturized dual-band microstrip antenna for WLAN application." *Sensors* 16, no. 7, pp. 983, 2016.
- [4] Belhadj, Nadjib, Kadik Ismail, and Mmimen Bakhti, "*Conception et Réalisation d'un Réseau d'antennes Patch Rectangulaire 2.4 GHz à Base Du Logiciel HFSS.*" , Mémoire de Master, Université de Medea, 2021.

Chapitre IV

Développement d'une antenne compact pour les applications MIMO

IV.1. Introduction

La technologie MIMO est une technologie très importante pour les systèmes de communication sans fil. Cette technique bénéficie de l'intégration de plusieurs antennes sur les stations. Grâce à MIMO, la capacité ou la portée du système sans fil peuvent être considérablement augmentées [1].

Avec le développement rapide de l'utilisation des systèmes de communications sans fil et la forte expansion de l'internet mobile dans les quatre coins du globe (réseaux 3G/4G), la majorité des recherches dans ce domaine repose sur le déploiement de nouvelles technologies pour faire augmenter efficacement les réseaux sans fil. La conception des nouvelles générations de réseaux sans fil se trouve toujours confrontée au problème de limitation de capacité posé par une bande passante très étroite et une puissance d'émission souvent limitée. Afin de surmonter ces handicaps, une nouvelle technologie appelée communément MIMO (entrées multiples, sorties multiples) tente de tirer profit de la dimension spatiale, en installant plusieurs antennes au niveau des émetteurs et/ou des récepteurs [2]. Dans ce chapitre nous allons réaliser la conception d'une structure d'antenne patch microruban (MPA) qui peut fonctionner pour les applications MIMO qui ont l'avantage d'offrir une large bande passante. La conception proposée de l'antenne compacte est capable de générer deux bandes de fonctionnement distinctes avec un coefficient de réflexion de -10 dB comme suit 3.26–3.56 GHz et 4.84–6.67 GHz avec une bande passante adéquate de 300 MHz et 1.83 GHz, respectivement. Les bandes passantes d'impédance sont suffisamment larges pour couvrir les bandes passantes requises de 5.25–5.85 GHz pour les sorties multiples à entrées multiples [3].

Comme dans le chapitre précédent, afin d'étudier et de simuler différents résultats des performances de la structure proposée, nous avons choisi l'outil de simulation électromagnétique Ansoft HFSS.

La structure compacte proposée est illustrée dans la figure IV. 1. Il se compose d'un patch alimenté par un microruban bi-bande où la structure rayonnante consiste en une paire de patches en forme de L inversé séparés entre eux par un espace et le plan de masse est modifié en une forme de croix. Le patch rayonnant et le plan de masse modifié sont des conducteurs électriques idéaux. Le patch est imprimé sur un substrat de type époxy (FR-4)

avec une épaisseur de 1.6 mm, une permittivité relative de 4.4 et une tangente de perte de 0,0024 [3].

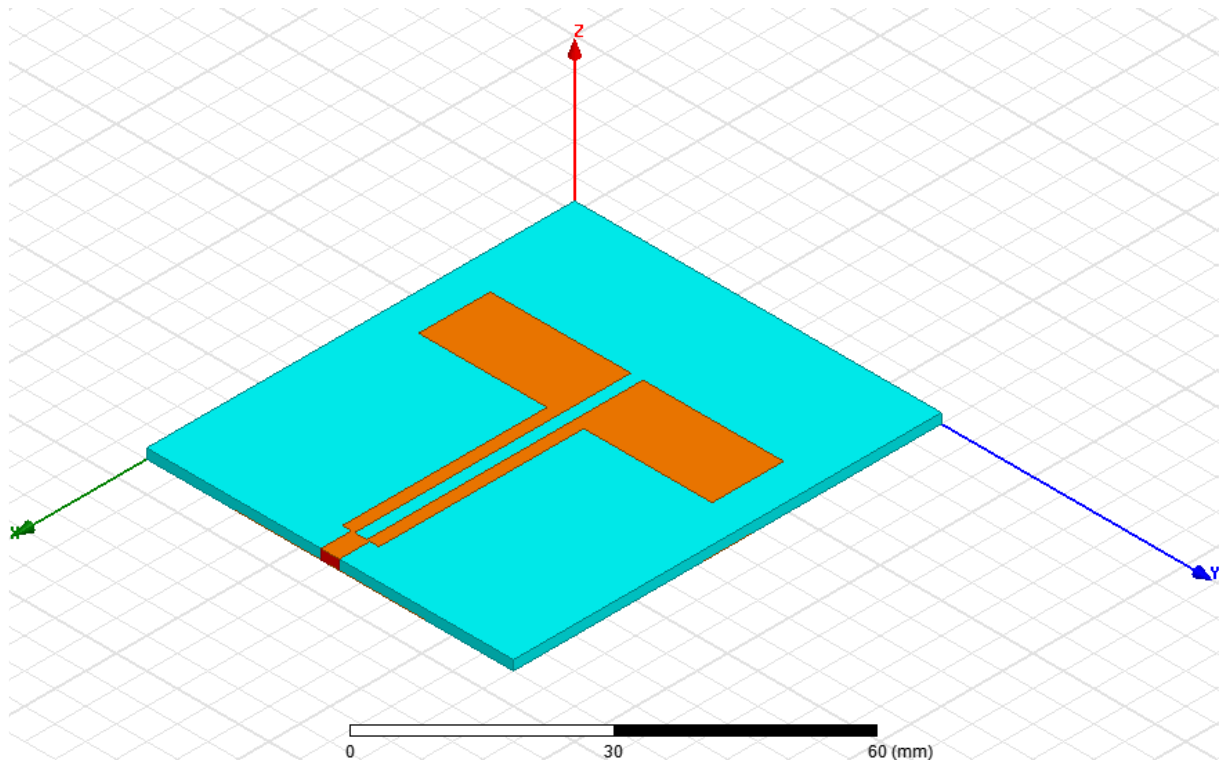


Figure IV. 1. Structure de l'antenne-MIMO avec HFSS.

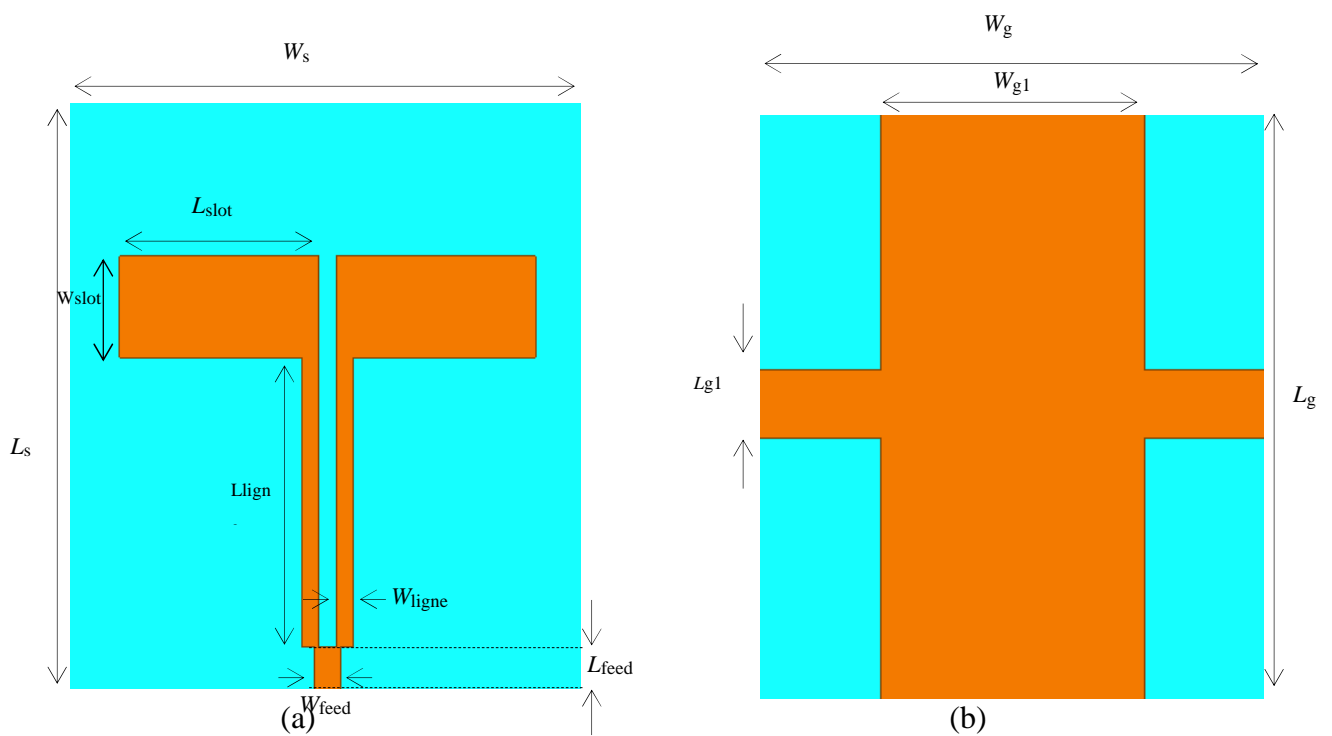


Figure IV. 2. Configuration de l'antenne proposée vue de face, (a) structure rayonnante et (b) vue arrière, plan de masse.

La figure IV.2 montre la géométrie de l'antenne proposée. Dans notre structure de conception actuelle, l'antenne est gravée des deux côtés du substrat FR-4 avec une surface totale ($L_s \times W_s$). La structure rayonnante est constituée de deux patchs en forme de L inversé situés symétriquement le long de la ligne médiane et séparés par un petit espace (Figure IV. 2.a). Les dimensions des larges bras verticaux et horizontaux des patchs en forme de L sont notées L_{slot} et W_{slot} . Le symbole L_{ligne} représente la longueur du bras étroit des patchs en forme de L et W_{ligne} représente la largeur des bandes étroites. Notez qu'il existe un plan de masse partiel symétrique ayant un bras vertical large avec des dimensions $L_g \times W_{g1}$ et un bras horizontal étroit avec des dimensions $W_g \times L_{g1}$ imprimés au dos du substrat (Figure IV. 2.b).

IV.2. Discussions des résultats numériques

IV.2.1. Etude paramétrique de l'antenne proposée

IV.2.1.1. Coefficient de réflexion

Habituellement, la première conception n'est pas entièrement optimisée et il est nécessaire d'ajuster le modèle pour affiner davantage les dimensions.

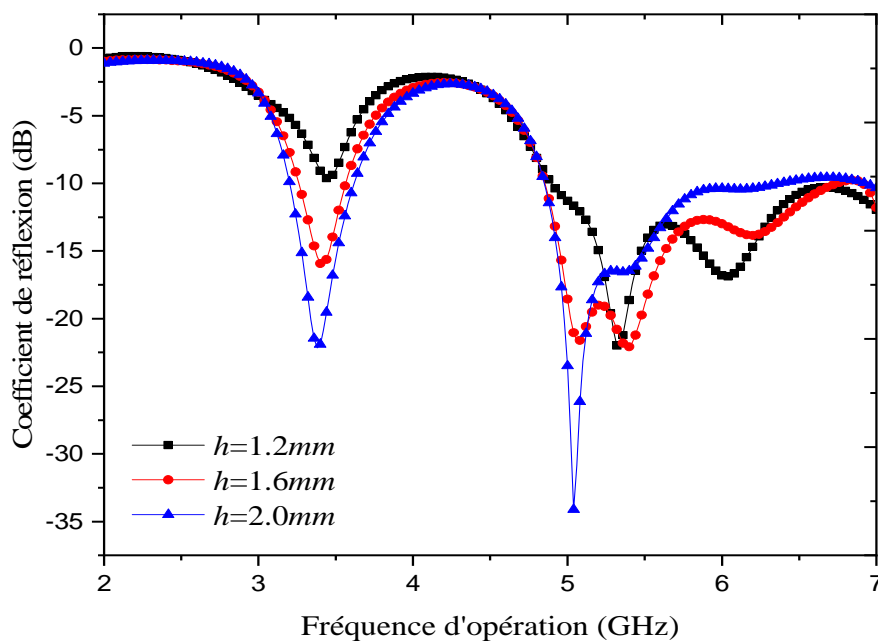


Figure IV.3. Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de l'antenne pour différentes valeurs d'épaisseur du substrat h .

La variation de coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de l'antenne pour différentes valeurs d'épaisseur du substrat h a été présentée dans la figure IV.3.

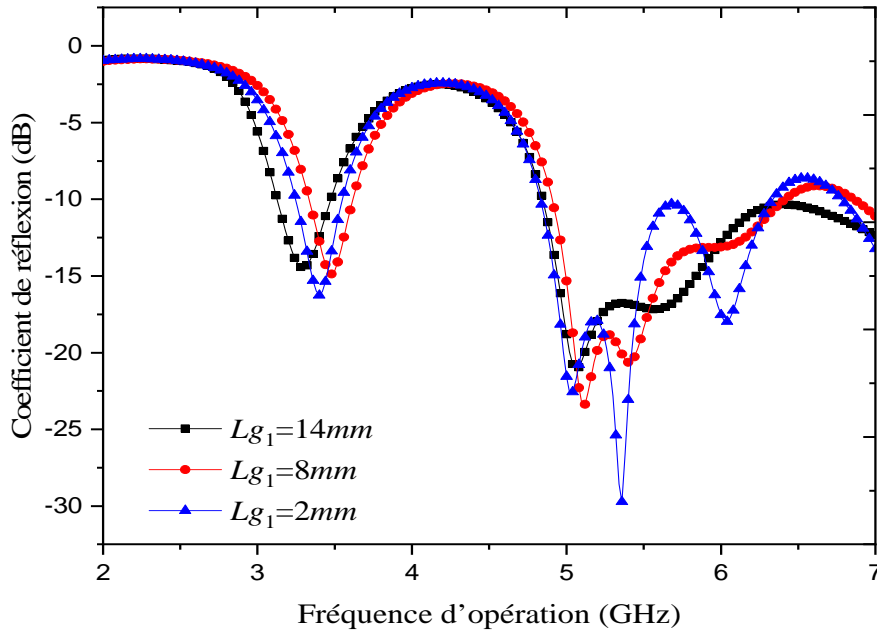


Figure IV.4. Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence d'opération de l'antenne pour différentes tailles du plan de masse Lg_1 .

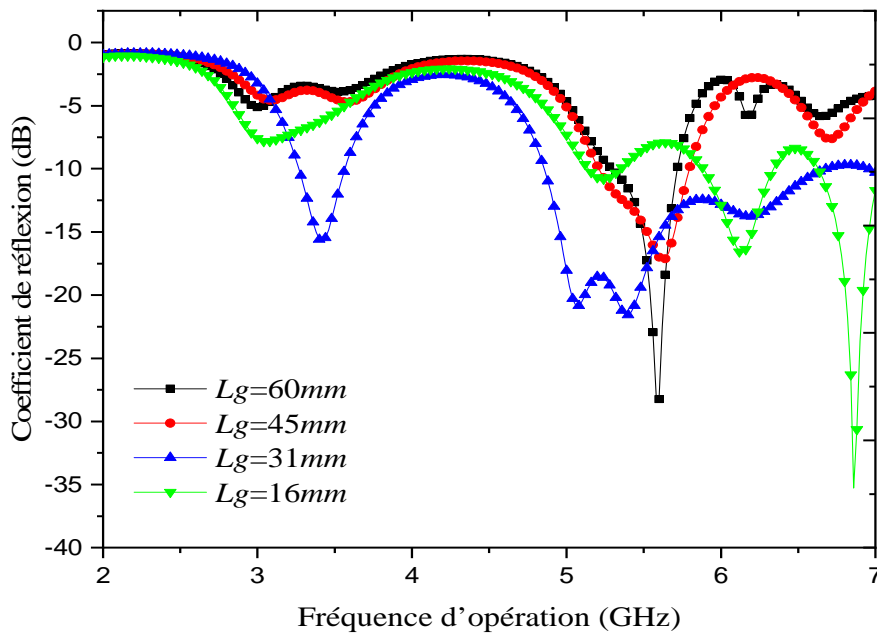


Figure IV.5. Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence d'opération de l'antenne pour différentes tailles du plan de masse Lg .

En changeant la hauteur du substrat de 1.2 mm à 2.0 mm, nous notons que la variation d'épaisseur du substrat fournit une variation de la bande passante. Le changement de l'épaisseur du substrat améliorer l'adaptation et peut être observé sur la figure IV.3. Selon les résultats simulés, l'antenne présente une large bande passante pour valeur d'épaisseur optimale de 1.6 mm, revient à une valeur du coefficient de réflexion inférieure à -10 dB.

La Figure IV.4. Illustre la variation de coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de l'antenne pour différentes tailles du plan de masse L_{g1} . On observe que l'augmentation des valeurs le coefficient de réflexion provoque une petite variation de la fréquence. On choisit une valeur optimale de coefficient de réflexion inférieure a -10 dB équivalente à la taille optimale du plan de masse $L_{g1} = 8 \text{ mm}$. Cette taille donne une meilleure valeur de la bande passante.

La figure IV.5 présente les résultats de coefficient de réflexion en fonction de la fréquence d'opération de l'antenne pour différentes tailles du plan de masse L_g . On observe que la taille $L_g=45\text{mm}$ est la taille optimale pour avoir la bande passante la plus large.

La figure IV.6 présente la variation de coefficient de réflexion en fonction de la fréquence d'opération de la structure proposée, pour différents types de substrats. Trois matériaux diélectriques sont considérés dans cette figure ; le premier matériau est le PTFE (*polytétrafluoroéthylène*, $\epsilon_r = 2.5$), le deuxième est FR-4 (*Flame Retardant-4*, $\epsilon_r = 4.4$), et le troisième est le BEO (*Oxyde de Béryllium*, $\epsilon_r = 6.8$).

Dans la figure IV.6, on observe que pour une antenne imprimée sur le premier matériau (PTFE) de permittivité $\epsilon_r = 2.5$, on a une résonance à 4 GHz avec une transmission de l'ordre de -15dB, mais, pour une valeur de permittivité égale à 4.4 on a une résonance de bi-bandes (3.34 GHz et 5.2 GHz) avec une transmission de l'ordre de -18dB et -22dB, respectivement. Pour une antenne imprimée sur le dernier matériau (BEO) de permittivité $\epsilon_r = 6.8$, on a une résonance étroite (4.3 et 4.8 GHz) avec une transmission de l'ordre de -35 et -45dB. On peut clairement voir que le matériau FR-4 ($\epsilon_r = 4.4$) est le plus optimale pour avoir une large bande passante. Ces fréquences de résonance vérifient bien le fait que la fréquence de résonance dépende de la permittivité du substrat utilisé.

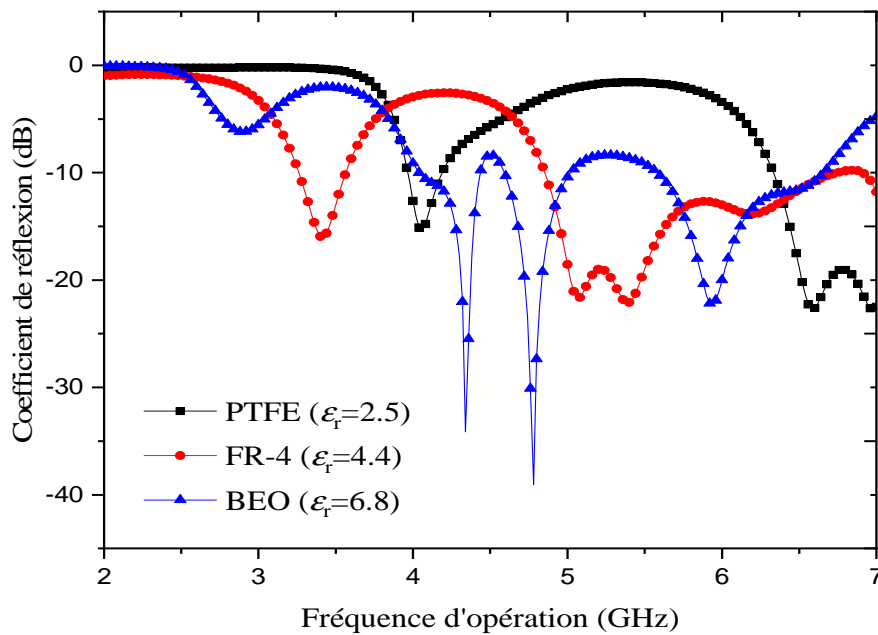


Figure IV.6. Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de l'antenne imprimée sur différents substrats ϵ_r .

Les autres paramètres considérés dans cette étude sont les dimensions des slots, à savoir la largeur W_{slot} et la longueur L_{slot} . Nous avons effectué des simulations pour déterminer l'influence de ces deux grandeurs sur les deux fréquences de résonance. Les résultats obtenus montrent que la variation de la longueur L_{slot} a le plus d'impact sur les valeurs des fréquences de résonance. La figure IV.7 montre un décalage significatif dans les valeurs des fréquences de résonance correspondant à la variation de la valeur de L_{slot} .

Cependant, les fréquences de résonance ne sont pas très sensibles à la variation de la valeur de W_{slot} . La figure IV.8, montrent qu'en faisant varier la valeur de W_{slot} , les valeurs des fréquences de résonance restent quasiment les mêmes, sauf un petit décalage vers la gauche. Les résultats obtenus montrent que les valeurs optimales des deux fréquences de résonance f_1 , et f_2 sont égales à 3.34 GHz et 5.2 GHz, respectivement. D'après les Figures IV.7 et 8, les dimensions de la fente (Slot) permettant d'obtenir ces valeurs optimales, sont $L_{\text{slot}} \times W_{\text{slot}} = 23 \text{ mm} \times 11.7 \text{ mm}$.

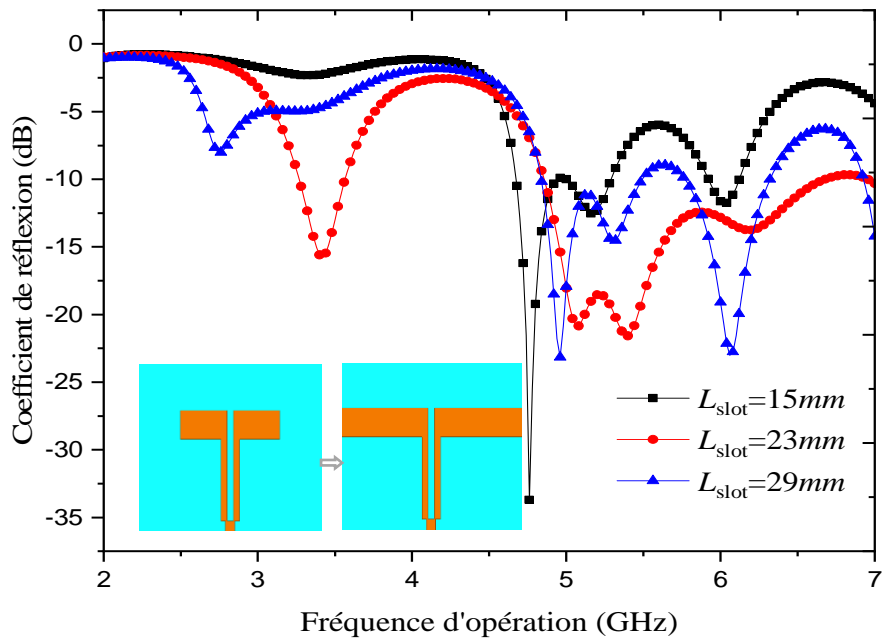


Figure IV.7. Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de pour différentes tailles du la ligne microbande L_{slot} .

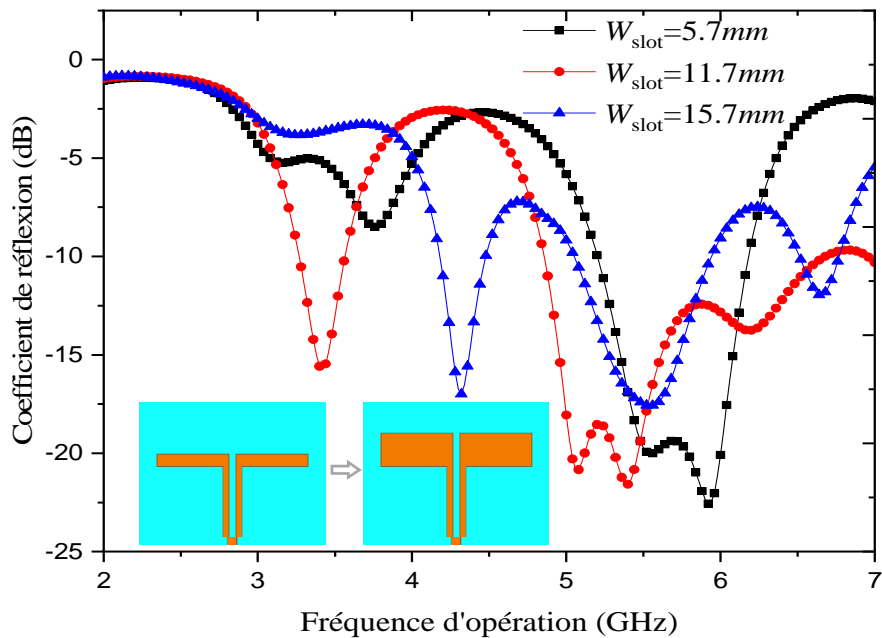


Figure IV.8. Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de pour différentes tailles du la ligne microbande W_{slot} .

La Comparaison de coefficient de réflexion simulée (nos résultats) et mesurée de l'antenne proposée est illustrée à la figure IV. 9. On remarque que nos résultats sont proches aux

valeurs mesurées de [3], ceci montre que notre simulation est plus proche au résultat expérimental. L'accord entre les résultats de simulation et ceux de la mesure est tout à fait satisfaisant du point de vue de l'adaptation. Cependant, la bande passante mesurée est atténuée à partir de 5.4 GHz jusqu'à 6.5 GHz. Cette dégradation est certainement due à un effet réactif au niveau de la connectique et la précision des paramètres du substrat diélectrique, ainsi que les tolérances de la fabrication.

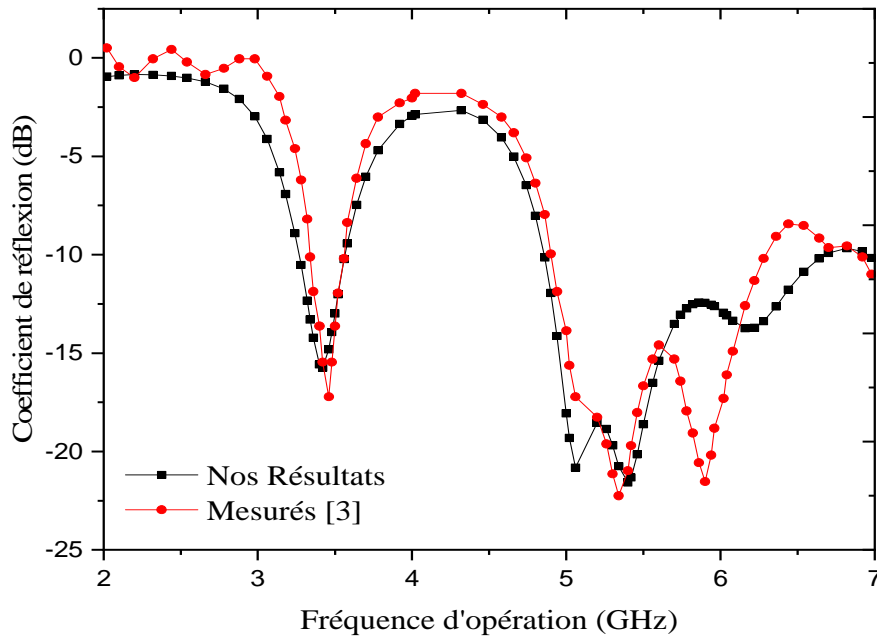


Figure IV. 9. Comparaison de coefficient de réflexion simulée et mesurée de l'antenne proposée.

IV.3. 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 sont présentés dans le tableau VI.1.

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

Paramètres	W_s	L_s	W_{slot}	L_{slot}	W_{ligne}	L_{ligne}	W_{feed}	L_{feed}	W_g	L_g	W_{g1}	L_{g1}
Unité (mm)	60	70	23	11.7	2	33.5	3	5	31	70	8	60

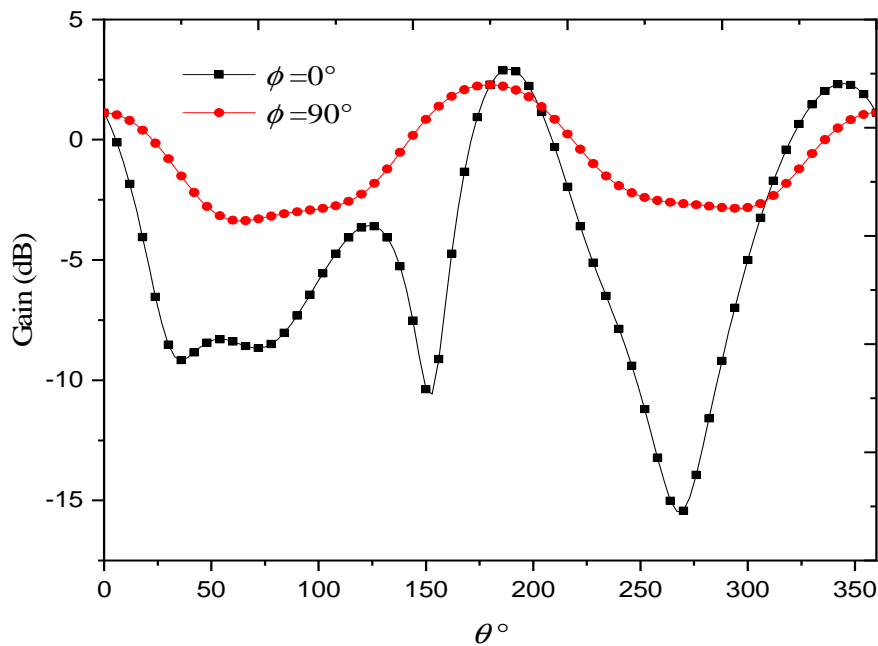
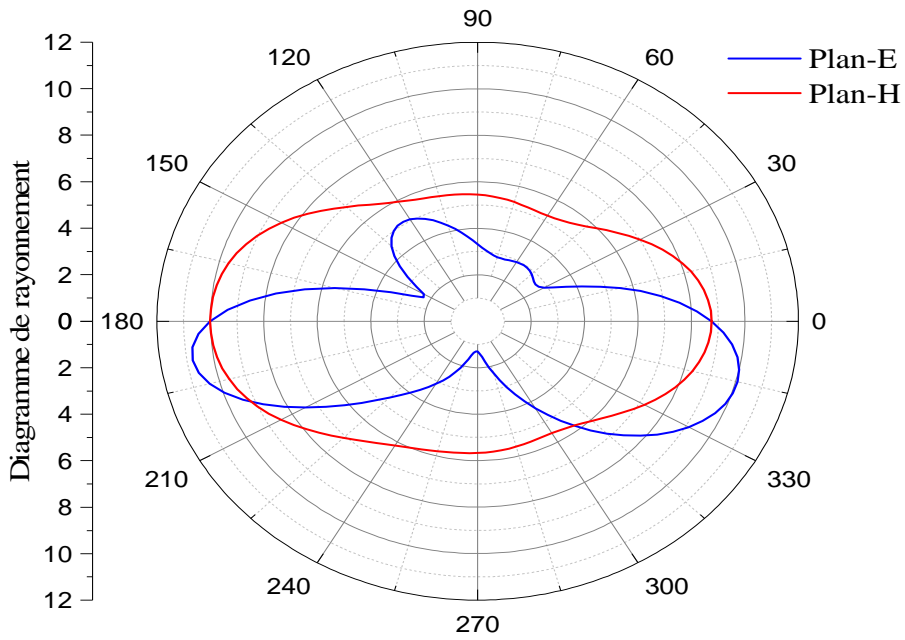


Figure IV.10. Gain de l'antenne proposée.

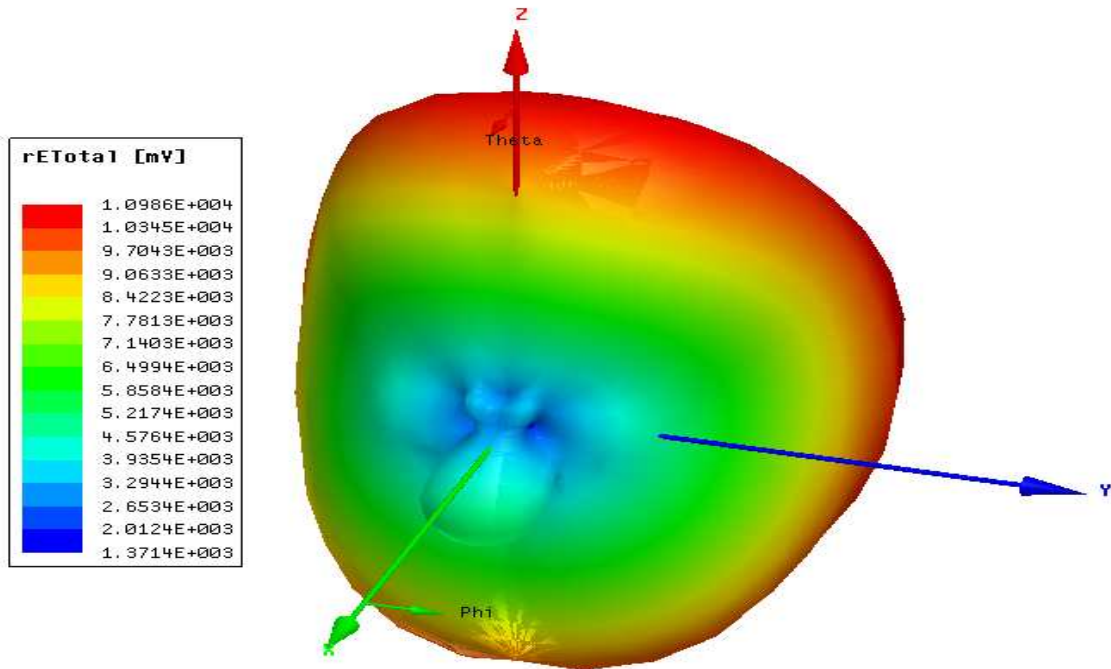
La figure IV.10 présente la variation du Gain d'antenne proposée, pour les deux plans E et H . A partir de cette figure, On voit que :

- Dans le plan E ($\phi = 0^\circ$) le gain diminue à la valeur -8.75dB , l'angle θ sera 26.5° et juste après cette valeur d'angle il relevée d'augmenter à la valeur de -125° , on remarque qu'une augmentation de la valeur de gain à 3 dB . Le gain va diminuer juste après cette valeur à -10.6dB , avec un angle θ de 150° . Juste après cette valeur le gain augmente à sa valeur maximale qui est 2.5dB qui correspond à un angle de 187.5° . Après cette valeur le gain redescend a -14.06dB et l'angle sera 268.75° . Le gain relever d'augmenter à la valeur 1.25dB .
- Dans le plan H ($\phi = 90^\circ$) on remarque une légère diminution de la valeur du Gain sa valeur max est légèrement inférieure à la valeur max du gain de cas précédent ($\phi = 0^\circ$).

IV.4. Diagramme de rayonnement

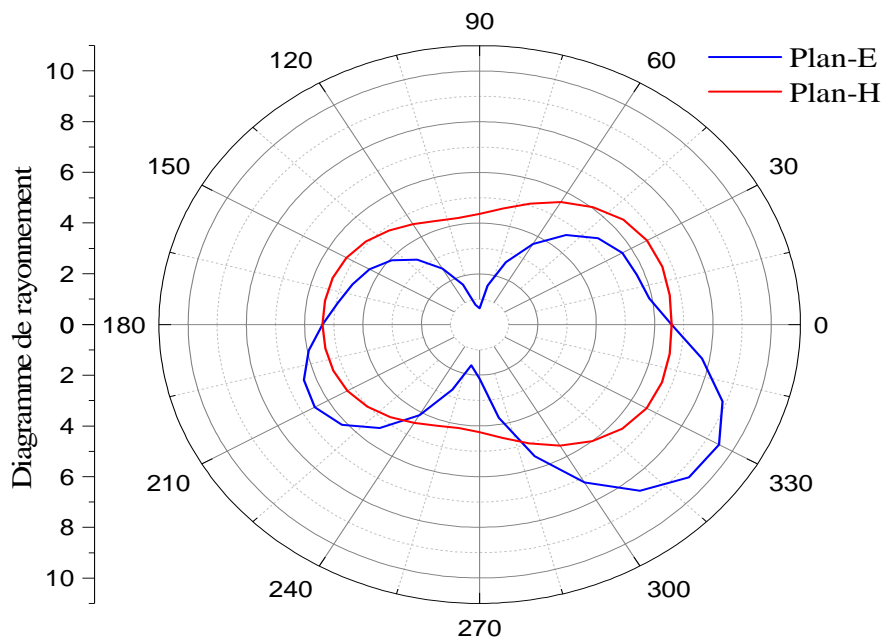


(a)

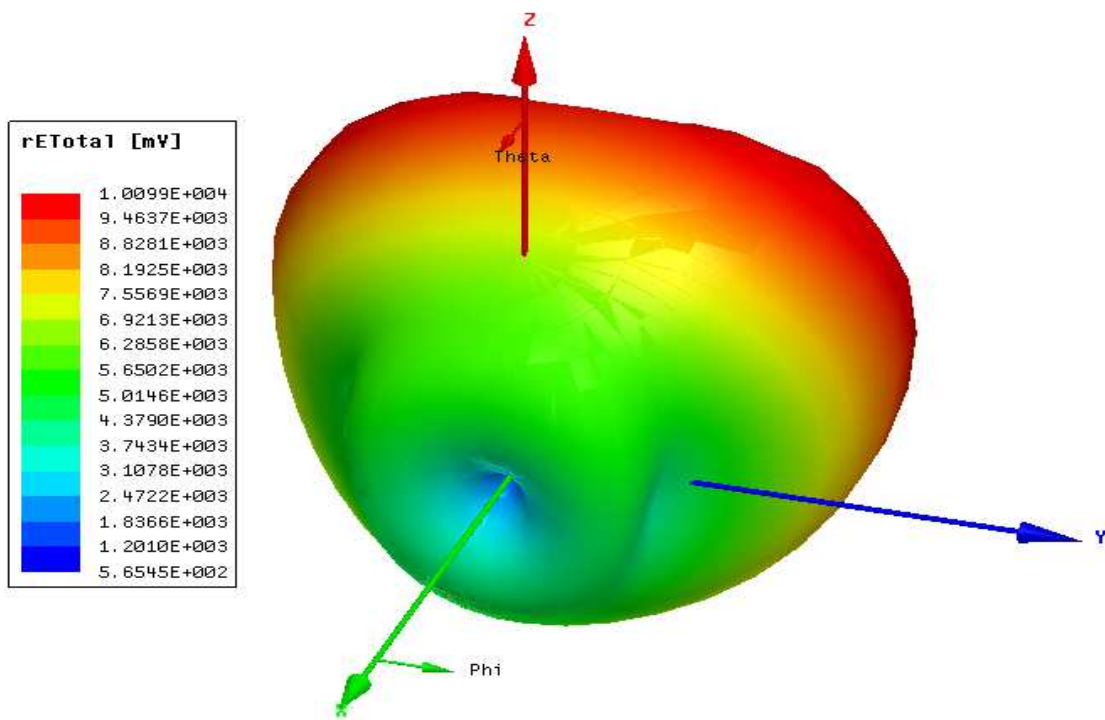


(b)

Figure IV.11. Diagramme de rayonnement de l'antenne proposée à $f_i=5.25\text{GHz}$, (a) Plan-E et Plan-H en 2D, (b) en 3D.



(a)



(b)

Figure IV.12. Diagramme de rayonnement de l'antenne proposée à $f_i=3.42\text{GHz}$, (a) Plan-E et Plan-H en 2D, (b) en 3D.

Le diagramme de rayonnement de l'antenne proposée a été présenté dans les figures IV.11, (a) représente les Plan-E et Plan-H en 2D, (b) diagramme de rayonnement en 3D, pour fréquence de 5.25GHz.

Dans la figure IV.11. (a), le plan H est symétrique et directionnel et le lobe principal se dirige aux alentours de 0 et de 90 degrés. Le rayonnement est relativement stable sur toute la bande de fréquence désirée. Le plan E est directif et non stable sur toute la bande de fréquences. Il se compose de deux lobes principaux à une direction égal à 195° et 340° et un lobe secondaire au 120° .

Pour mieux voir le comportement du rayonnement de l'antenne de base dans l'espace, on présente dans la figure IV.11 (b), le diagramme de rayonnement en 3D simulé, pour la fréquence de résonance 5.25 GHz. On constate que l'intensité de rayonnement est orientée vers la direction verticale de l'élément rayonnant.

Le diagramme de rayonnement de l'antenne proposée en 2D et en 3D, sont présentés dans la figure IV.12, et pour une fréquence de 3.42GHz. Partir de cette figure, nous observons que, d'une part, la figure IV.12 (a) présente le diagramme de rayonnement en 2D. On voit que le plan E a un comportement bidirectionnel, le lobe principal se dirige aux alentours de 0 et de 90 degrés. Le rayonnement est relativement stable sur toute la bande de fréquence convoitée. Nous présentons également le rayonnement de cette antenne pour les mêmes fréquences sur le plan H. On remarque un comportement omnidirectionnel, plus ou moins stable sur toute la bande de fréquence. D'autre part, la figure IV.12 (b) présente le diagramme de rayonnement en présentation 3D. Nous remarquons que le rayonnement est concentré sur la face supérieure de l'antenne.

D'ailleurs la figure IV.13 illustre la variation de diagramme de rayonnement de l'antenne proposée en 2D et en 3D, à la fréquence 6.3 GHz. Nous constatons que le rayonnement en 2D au plan H à un comportement presque omnidirectionnel, et le rayonnement est plus ou moins stable sur toute la bande de fréquence. Nous présentons le rayonnement de cette antenne dans le plan E. le diagramme de rayonnement est symétrique et directionnelle et se compose d'un lobe principal se dirige au 165° , et deux lobes secondaires au 307.5° et 12° . Le rayonnement est non stable sur toute la bande de fréquence. Le diagramme de rayonnement en 3D à la fréquence 6.3GHz est illustré à la figure. IV.1 3(b), on remarque qu'à cette fréquence le rayonnement est concentré à un seul côté de la structure proposée.

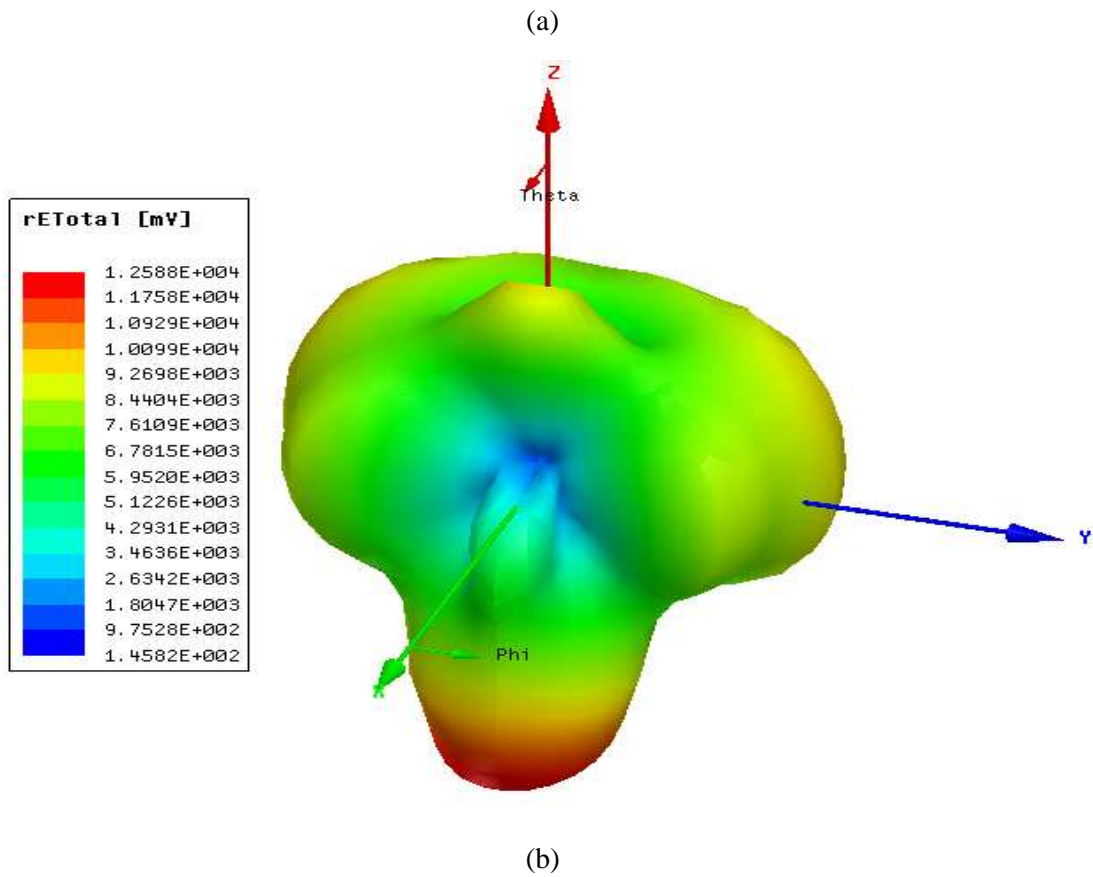
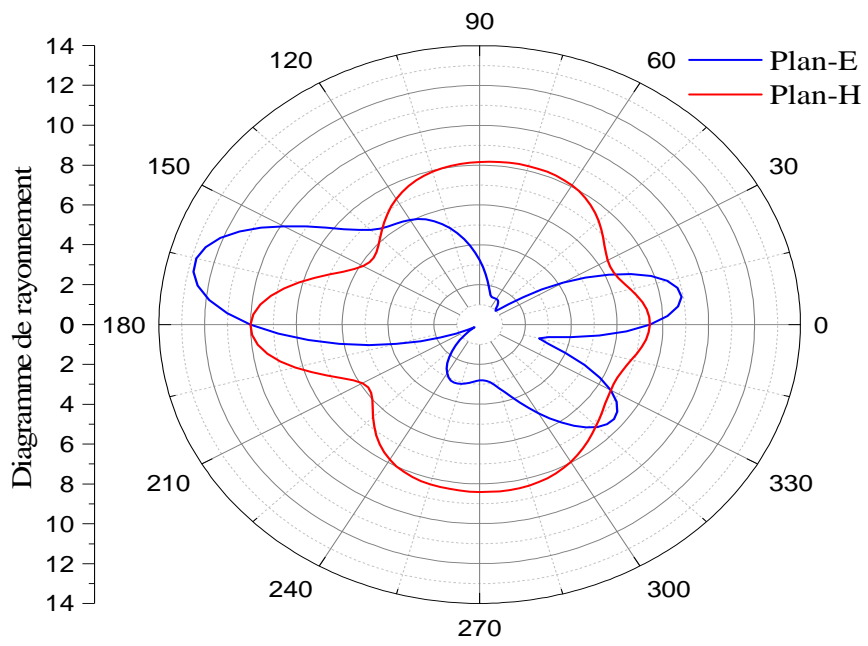


Figure IV.13. Diagramme de rayonnement de l'antenne proposée à $f_r=6.3\text{GHz}$, (a) Plan-E et Plan-H en 2D, (b) en 3D.

IV.5. Cartographie des champs

La performance de l'antenne proposée est illustrée en détails à l'aide de distribution de champ électrique de surface simulée à la figure IV.14.

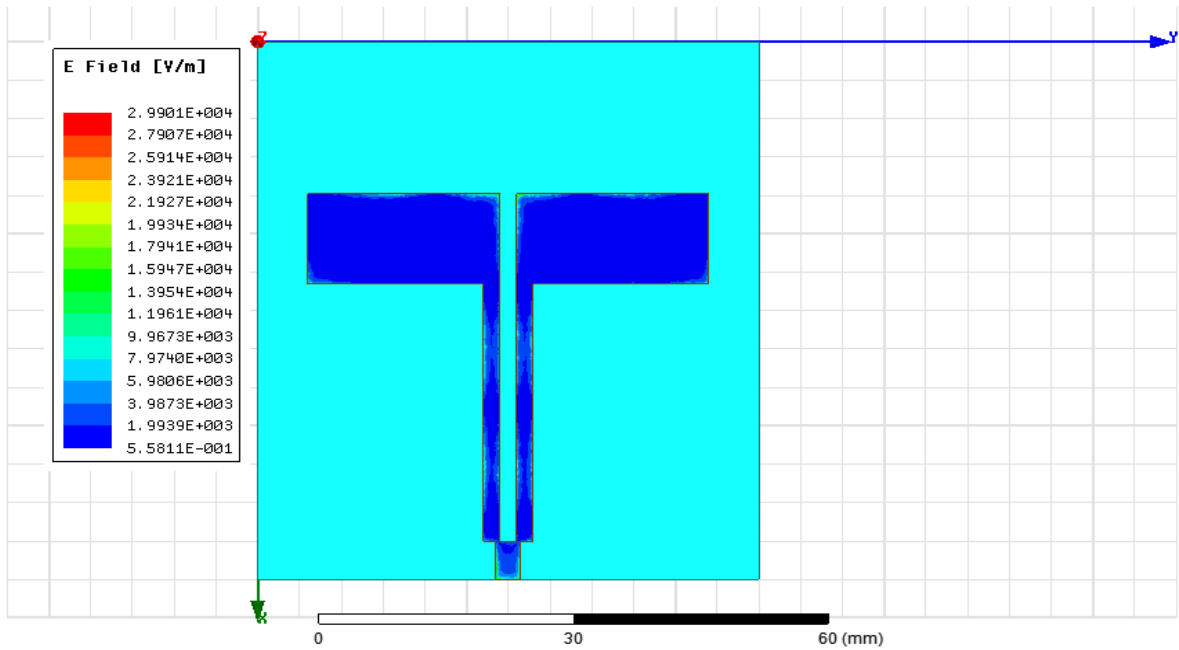


Figure IV.14. Répartition du champ électrique de l'antenne proposée sous HFSS.

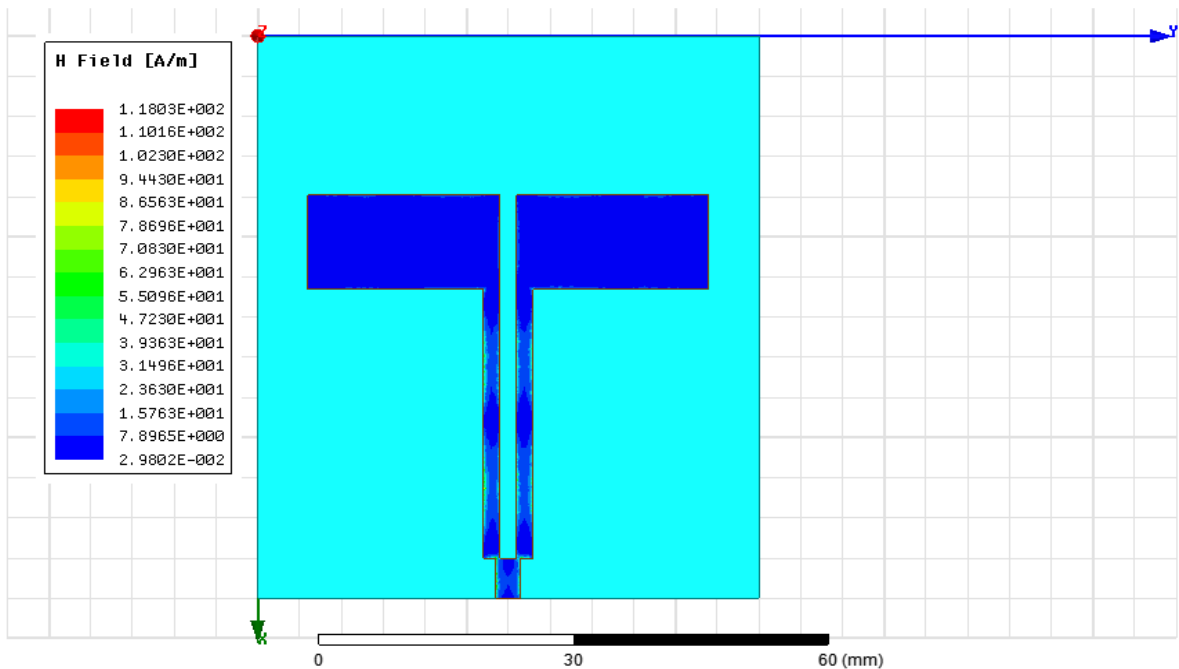


Figure IV.15. Répartition du champ magnétique de l'antenne proposée sous HFSS.

On remarque que la distribution de champ électrique est légèrement concentrée aux bords de la structure et au niveau de la ligne d'alimentation. Nous remarquons aussi une absence de champ au centre de la structure.

La figure IV.15, présente la répartition du champ magnétique de l'antenne proposée, nous observons qu'une légère présence du champ magnétique au niveau de ligne d'alimentation, et on remarque une absence de champ magnétique sur tout le reste de la surface de la structure. On remarque aussi que les résultats de cette distribution de champ sont cohérents au résultat de distribution de champs électrique.

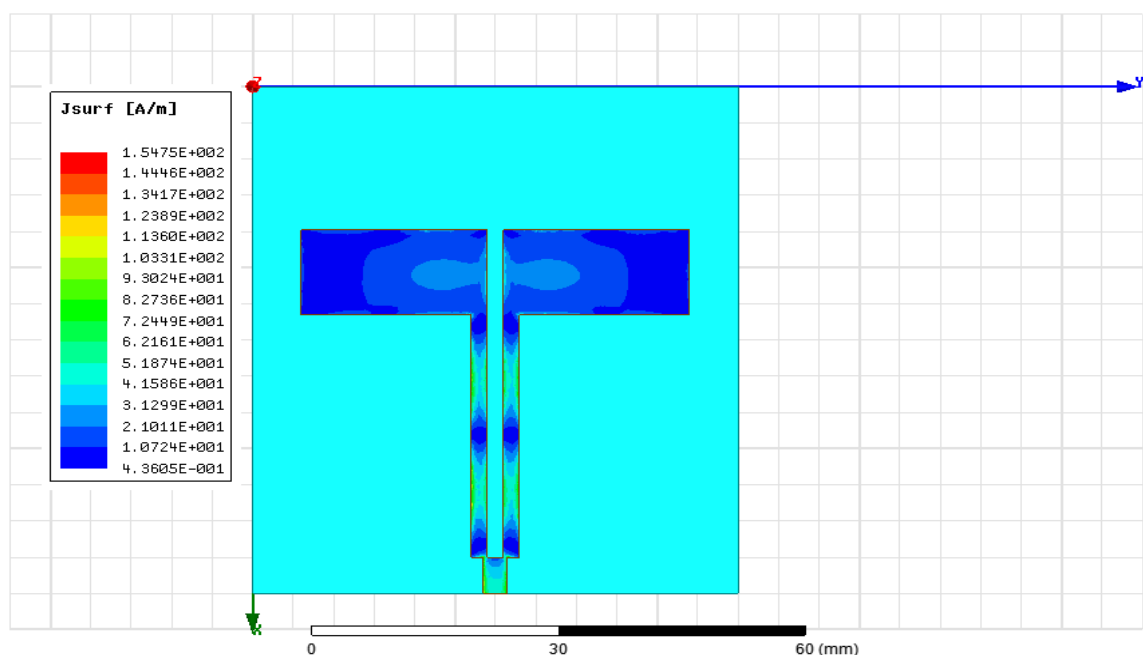


Figure IV.16. Répartition du courant surfacique de l'antenne proposée.

Afin de comprendre le comportement de la structure proposée, la distribution du courant de surface est simulée à la fréquence de résonance de 2.5 GHz, comme illustré à la figure IV.16. Comme on peut le voir sur la figure, le courant est principalement concentré le long des bords des éléments rayonnants en forme *L* et sur la ligne d'alimentation. Par conséquent, la fréquence de résonance de l'antenne peut être contrôlée en modifiant les dimensions des éléments rayonnants ainsi que les paramètres de la ligne d'alimentation.

IV.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons concevoir une structure compacte et adaptées aux application MIMO et sans fils. Nous avons faire une étude sur les différentes étapes de conception et de développent d'une antenne compacte performante. Afin de voir les différents paramètres de l'antenne proposée, et leurs performances en termes d'adaptation, largeur de bande, diagramme de rayonnement et gain. Les résultats de la simulation montrent que l'antenne de base est performante fonctionnant sur une large bande de fréquences étend de 3.4 à 5.25GHz. Ensuite une interprétation, une discussion et une explication physique et géométrique de résultats obtenus sont générées. Enfin, on peut conclure que la structure proposée présente de bonnes performances en tirant parti des éléments L inversés et qu'elle peut être utilisée dans des dispositifs portables pour les applications aux techniques MIMO.

IV.7. Références bibliographiques

- [1] Aldhaheri Ali Salem Ahmed. "*Conception et simulation d'une antenne MIMO*", Mémoire de Master, Université de Biskra, 2019.
- [2] Bendimerad Fethi Tarek, "*MIMO et accès multiples avancés pour réseaux sans fil.*", Projet PNR, Cerist, 2011-2013.
- [3] Kaur, Jaswinder, and Rajesh Khanna. "Development of dual-band microstrip patch antenna for WLAN/MIMO/WIMAX/AMSAT/WAVE applications." *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 56, no.4, pp. 988-993, 2014.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

La technologie de communication sans fil est très intéressée par les développeurs des antennes microrubans. Ces antennes sont utilisées par de nombreux appareils parce qu'elles ont des avantages multiples. Les chercheurs tentent d'améliorer ses caractéristiques pour répondre aux exigences futures [1]. Prenons par exemple les communications par réseau local sans fil WLAN. L'adaptation à ces réseaux qui utilisent les bandes de fréquences 2.4 et 5 GHz est nécessaire pour développer cette technologie [2].

Les appareils sans fil sont la dernière tendance en matière de technologie de communication et il existe une demande constante de compacité ou de miniaturisation, ainsi qu'une augmentation de la vitesse et du débit de données de ces appareils. À cet égard, les systèmes d'antenne MIMO sont considérés comme offrant de meilleures performances et posent aux ingénieurs de nombreux défis [3].

Le but de ce mémoire, la conception et le développement des antennes microrubans compactes pour les applications aux systèmes WLAN/MIMO. Ce travail comporte l'étude et la simulation des antennes compactes avec tailles réduites. Ces antennes sont utilisées dans les applications MIMO et les communications WLAN.

Pour réaliser notre objectif, une étude théorique des antennes imprimées a été menée pour mieux comprendre les phénomènes qui se produisent dans les substrats diélectriques, les multi-simulations réalisées à l'aide du logiciel HFSS nous ont permis de rapprocher du cas le plus réel. Pour comprendre le principe de fonctionnement des antennes microrubans, qui sont la base de notre travail. Nous avons commencé par étudier leur géométrie, leurs techniques d'alimentation, leurs caractéristiques d'adaptations et leurs caractéristiques de rayonnement, Dans le deuxième chapitre, nous avons présenté les systèmes WLAN et MIMO avec un bref aperçu basé sur le fonctionnement, les types, et applications de ces systèmes. Enfin nous avons présenté les antennes de chaque type et de quoi dépend le choix de ces antennes.

Dans l'étude pratique (la simulation), nous avons proposé une nouvelle structure d'antenne microruban compacte conçue pour fonctionner à double fréquence 2.4/5 GHz et qui peut être appliquée au WLAN seulement. Son intérêt est qu'elle peut fonctionner dans ces deux

bandes de fréquences simultanément. Pour améliorer les performances des réseaux sans fil, y compris les réseaux WLAN, nous avons développé une nouvelle antenne compacte pour les applications MIMO, qui améliore la connectivité sans fil en augmentant la bande passante et la portée et en réduisant les ondes de volume.

Grâce à l'examen minutieux de l'effet des paramètres physiques et géométriques des antennes compactes, nous avons conclu que :

- Il ya une liaison directe entre la fréquence de résonance et les paramètres physiques de l'antenne tels que : épaisseur et la permittivité du substrat (h, ϵ_r), la longueur et la largeur du patch (L, W) ;
- Nous avons proposé une nouvelle antenne dont sa structure conçue pour fonctionner sur les deux bandes de fréquences 2.4GHz et 5 GHz aux mêmes temps, qui sont des fréquences dédiées aux applications WLAN ;
- Nos résultats de la simulation aussi montrent que l'antenne proposée est performante fonctionnant sur une large bande de fréquences étend de 3.4 à 5.25GHz ;
- La structure proposée présente de bonnes performances en tirant parti des éléments L inversés et qu'elle peut être utilisée dans des dispositifs portables pour les applications aux techniques MIMO.

Donc comme perspectives pour des travaux futurs, nous allons essayer d'appliquer des matériaux artificiels tel que les métamatériaux comme substrat pour bien contrôler les caractéristiques de rayonnement de l'antenne microbande telle que le gain, la directivité et le diagramme de rayonnement. D'autre part nous allons essayer de proposer un réseau d'antennes reconfigurables et miniaturisés à base de métamatériaux.

Référence Bibliographique

- [1] Dida Houdaifa, and Boughrari AlaEddine. "*Conception et simulation d'antenne microruban à polarisation circulaire pour les applications WIFI.*", Mémoire de Master, Université de Ouargla, 2019.
- [2] Yang, Jiachen, Huanling Wang, Zhihan Lv, and Huihui Wang. "Design of miniaturized dual-band microstrip antenna for WLAN application." *Sensors* 16, no. 7, pp. 983, 2016.
- [3] Aldhaferi Ali Salem Ahmed. "*Conception et simulation d'une antenne MIMO.*", Mémoire de Master, Université de Biskra, 2019.

الملخص

يقترح هذا العمل هياكل *microstrip* مضغوطة لتطبيقات أنظمة *WLAN* و *MIMO*. الهيكل المقترح الأول هو هوائي مستو مضغوط ذو طابع مزدوج النطاق لتطبيقات *WLAN / Wi-Fi* مت طباعة هذا الهوائي على الركيزة *FR-4* مع بقعتين على شكل حرف *C*. نظرًا لأن نطاقات الرنين لهذا الهوائي يتم حفيزها بواسطة نطاقات مختلفة ، يمكن ضبط ردد الرنين في النطاقات المختلفة بمرونة. يتكون الهيكل الثاني من زوج من البقع المقلوبة على شكل حرف *L* مع مستوى أرضي جزئي. يمكن أن يولد التصميم المقترح لهوائي *microstrip* نطاقي تشغيل متميزين مع سارة -10 dB كما يلي $3.26-3.56$ GHz و $4.84-6.67$ GHz مع عرض نطاق مناسب يبلغ 300 ميغاهرتز و 1.83 جيجاهرتز ، على التوالي. نطاقات التردد المطلوبة للتطبيقات اللاسلكية (*WLAN*) ، 3.3 إلى 3.5 جيجا هرتز ، وللمدالات المتعددة لمخرجات متعددة (*MIMO*) ، 5.25 إلى 5.85 جيجا هرتز. أُيّرًا ، تم محاكاة الهوائيات المقترحة ذات المعلمات المحسّنة. يتم عرض ومناقشة إجراءات التصميم لتحقيق الأداء المطلوب.

الكلمات المفتاحية - هوائيات *Microstrip* صغيرة الحجم؛ تصميم؛ عرض النطاق الترددي ؛ *WLAN*؛ *MIMO*.

Abstract

This work proposes compact microstrip structures for WLAN and MIMO applications systems. The first proposed structure is a compact planar antenna with dual-band character for WLAN/Wi-Fi applications. This antenna was printed on the FR-4 substrate with two C-shaped patches. As the resonant bands of this antenna are excited by different bands, the resonant frequency in different bands could be adjusted flexibly. The second structure is formed with a pair of inverted L-shaped patches with a partial ground plane. The proposed design of the compact microstrip antenna can generate two distinct operating bands with -10dB return loss as follows 3.26–3.56 GHz and 4.84–6.67 GHz with adequate bandwidth of 300 MHz and 1.83 GHz, respectively. The impedance bandwidths are required for wireless applications (WLAN), 3.3 to 3.5 GHz, and for multiple inputs to multiple outputs (MIMO), 5.25 to 5.85 GHz. Finally, the proposed antennas with optimized parameters were simulated. The design procedure to achieve the required performance is presented and discussed.

Keywords - Compact Microstrip Antennas; Design; Bandwidth; WLAN; MIMO.

Résumé

Dans ce travail, nous proposons des structures microbandes compactes pour les applications WLAN et les applications dans les systèmes MIMO. La première structure proposée, est une antenne planaire compacte avec un caractère bi-bande pour l'application WLAN/Wi-Fi. Cette antenne a été imprimée sur le substrat du FR-4 avec deux bandes en forme de C. Comme les bandes de résonance de cette antenne sont excitées par différentes bandes, la fréquence de résonance dans différentes bandes pourrait être réglée de manière flexible. La deuxième structure, est formée avec une paire de patches en forme de L inversé et le plan de masse est considéré partiel. La conception proposée de l'antenne microruban compacte est capable de générer deux bandes de fonctionnement distinctes avec une perte de retour de -10dB comme suit 3.26–3.56 GHz et 4.84–6.67 GHz avec une bande passante adéquate de 300 MHz et 1.83 GHz, respectivement. Les bandes passantes d'impédance sont requises pour le réseau local sans fil, 3.3 à 3.5 GHz, et pour les entrées multiples à sorties multiples, 5.25 à 5.85 GHz. Enfin, les antennes proposées avec des paramètres optimisés ont été simulées. La procédure de conception pour atteindre les performances requises est présentée et discutée.

Mots Clés- *Antennes Microbandes Compactes ; Conception ; Bande Passante ; WLAN ; MIMO.*