

République algérienne démocratique et populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
المركز الجامعي لعين تموشنت  
Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent  
Institut de Technologie  
Département de Génie Electrique



Projet de fin d'études  
Pour l'obtention du diplôme de Master en :  
Domaine : TECHNOLOGIE  
Filière : TELECOMMUNICATION  
Spécialité : RESEAUX DES TELECOMMUNICATIONS

Thème

***Simulation d'une antenne large bande pour une application WIFI***

Présenté Par :

**OTSMANI Fatiha**

Devant le jury composé de :

<b>BOUTKHIL Malika</b>	MAA	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Présidente
<b>FEROUANI Souheyla</b>	MCB	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Examinatrice
<b>MOULESSEHOUL Wassila</b>	MAB	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Encadrante

***Année Universitaire 2018/2019***

## Résumé

Dans ce travail, nous avons choisi d'étudier une antenne patch large bande de forme rectangulaire, destinée à opérer à la fréquence 2,4GHz pour l'application Wifi. La conception de cette antenne est réalisée avec le logiciel de conception et de simulation en 3D CST « Computer Simulation Technolgy ». L'antenne conçue est avantageuse pour le Wifi, car elle est caractérisée par une taille, une bande passante, un rayonnement et un gain satisfaisant, qui la rendent propice et très convenable pour établir une communication fiable.

Mots clés :

Antenne imprimée, antenne imprimée rectangulaire, antenne microruban, antenne imprimée avec encoches, fentes, antenne large bande, CST, WiFi 802 11.

## Abstract

In this work ,we have chosen to study a broadband patch antenna of rectangular shape, intended to operate at the 2,4 GHz frequency for the application Wifi. The design of this antenna is realized with the computer software of design and simulation in 3D CST« Computer Simulation Technolgy ». The designed antenna is advantageous for the WiFi because it is characterized by a bandwidth, a size ,a radiation and a satisfactory gain which make it appropriate and very suitable for establishing a reliable communication.

Keywords

Printed antenna, rectangular printed antenna , microstrip antenna, printed antenna with slits, slots, broadband antenna, CST, WiFi 802 11.

## الملخص

في هذا العمل ، اخترنا دراسة هوائي مطبوع عريض النطاق ذو الشكل المستطيل ، المراد تشغيله عند التردد 2.4 جيجهرتز لتطبيق الواي في . يتم تصميم هذا الهوائي باستخدام برمجيات التصميم و المحاكات ثلاثية الأبعاد .

الهوائي المصمم ، مفيد للواي في لانه يتميز بحجم و عرض نطاق و اشعاع و كسب مرض يجعلونه مناسباً جيداً لاقامة اتصال موثوق.

## الكلمات المفتاحية

الهوائي المطبوع ، الهوائي المطبوع المستطيل ، الهوائي ذو الشريط المصغر ، الهوائي المطبوع مع شقوق فتحات ، الهوائي واسع النطاق، WiFi 802 11، CST.

# ***REMERCIEMENT***

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'un projet de fin d'étude mené au niveau de l'institut de technologie/ Département de Génie Electrique au Centre Universitaire BLHADJ Bouchaib d'Ain Témouchent.

Tout d'abord, je remercie le Dieu, notre créateur de m'avoir donnée la force, la volonté et le courage afin d'accomplir ce modeste travail.

*J*e tiens à remercier chaleureusement ma Directrice de projet **Madame MOULESSEHOUL Wassila**, Maitre Assistante classe B au Centre Universitaire d'Ain Témouchent, pour m'avoir dirigée et guidée tout le long de ce travail.

*J*e tiens également à remercier Mesdames les membres de jury pour l'honneur qu'elles m'ont faite en acceptant de siéger à ma soutenance.

*A* **Madame BOUTKHIL Malika**, Maitre Assistante classe A au Centre Universitaire d'Ain Témouchent, pour avoir accepté d'assurer la présidence de mon jury de mémoire.

*J*'adresse mes plus sincères remerciements à **Madame FEROUANI Souheyla**, Maitre de conférences classe B au Centre Universitaire d'Ain Témouchent, pour avoir accepté de faire partie de ce jury. j'aimerais lui manifester mes profondes gratitude pour son soutien permanent et sa disponibilité .

*J*'exprime par ailleurs toute ma sympathie à l'ensemble des étudiants de la promo Master 2, Réseaux des Télécommunications de l'année universitaire 2018-2019, qui m'ont constamment soutenue et encouragée.

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail à l'âme  
de ma mère, ma très chère mère Kheira  
qui m'a quittée ce mois de Mars 2019,  
pour jamais, que Dieu l'accepte dans  
ses Paradis.*

# Liste des figures

Figure I-1	Structure de base d'une antenne imprimée.....	14
Figure I-2	Différentes formes d'antennes imprimées.....	15
Figure I-3	Alimentation par ligne micro ruban.....	16
Figure I-4	Encoches d'adaptation .....	17
Figure I-5	Alimentation d'une antenne plaquée rectangulaire par coaxial.....	17
Figure I-6	Alimentation par fente.....	18
Figure I-7	Alimentation couplée par proximité.....	19
Figure I-8	Guide d'ondes coplanaire (CPW) .....	19
Figure I-9	Exemple de diagramme de rayonnement d'antenne.....	22
Figure I-10	Exemple de différents types de polarisation .....	23
Figure I-11	Bande passante et coefficient de réflexion.....	24
Figure I-12	Répartition du champ électrique entre le pavé et le plan de masse.....	25
Figure II-1	Liaison point a point.....	31
Figure II-2	Partages des ressources réseaux .....	32
Figure II-3	Architecture des réseaux Wifi : mode ad hoc .....	32
Figure II-4	Architecture des réseaux Wifi : mode infrastructure.....	33
Figure III-1	Antenne Patch rectangulaire.....	38
Figure III-2	Les fentes rayonnantes .....	39
Figure III-3	Patch étudié.....	41
Figure III-4	Coefficient de réflexion S11 .....	41
Figure III-5	Coefficient de réflexion S11.....	43
Figure III-6	Diagramme de rayonnement en 3D" Directivité".....	43
Figure III-7	Diagramme de rayonnement en 3D" Gain".....	44
Figure III-8	Coefficient réflexion S11 ( l'ensemble de simulations).....	45
Figure III-9	Coefficient de réflexion S11 (meilleure adaptation).....	45
Figure III-10	Diagramme de rayonnement en 3D" Gain" .....	46
Figure III-11	Diagramme de rayonnement en 3D" Directivité".....	46
Figure III-12	Antenne patch étudiée .....	47
Figure III-13	Coefficient réflexion S 11 (l'ensemble des simulations).. ..	48

Figure III-14	Coefficient réflexion S 11(meilleure adaptation ).....	48
Figure III-15	Coefficient réflexion S 11(meilleure adaptation ).....	49
Figure III-16	Diagramme de rayonnement en 3D" Directivité" .....	49
Figure III-17	Diagramme de rayonnement en 3D" gain".....	50

## Liste des tableaux

Tableau I-1	Classification fréquentielle des systèmes .....	24
Tableau II-1	Normes Physiques .....	34
Tableau III-1	Dimensions calculées du patch.....	41
Tableau III-2	Etude paramétrique du patch .....	42
Tableau III-3	Etude paramétrique du substrat .....	44
Tableau III-4	Essais de simulation.....	47

# Sommaire

Résumé.....	2
Remerciements.....	3
Dédicaces.....	4
Liste des illustrations.....	6
Liste des tableaux.....	6
Introduction général .....	9
Chapitre I: Généralités sur les antennes imprimées .....	11
I.1 Introduction .....	12
I.2 Bref historique.....	12
I.3 L'antenne imprimée .....	13
I.3.1 Définition.....	13
I.3.2 L'élément rayonnant.....	14
I.3.3 Le choix du matériau diélectrique.....	15
I.3.4 L'alimentation. ....	16
I.3.4.1 Techniques d'alimentation (avec contact).....	16
I.3.4.1.1 Alimentation par ligne Microruban.....	16
I.3.4.1.2 Excitation par ligne coaxiale.....	17
I.3.4.2 Alimentation par couplage( sans contact).....	18
I.3.4.2.1 Alimentation par ouverture (fente).....	18
I.3.4.1.3 Alimentation par proximité.....	18
I.3.4.1.4 Alimentation par guide d'onde coplanaire.....	19
I.4 Paramètres caractéristiques de l'antenne imprimée.....	19
I.4.1 Impédance d'entrée de l'antenne imprimée.....	19
I.4.2 Coefficient de réflexion.....	20
I.4.3 Directivité d'une antenne.....	20
I.4.4 Gain d'une antenne.....	21
I.4.5 Diagramme de rayonnement.....	21

I.4.6 Rendement d'une antenne.....	22
I.4.4 La polarisation.....	23
I.4.5 La bande passante.....	23
I.5 Principe de fonctionnement de l'antenne imprimée .....	24
I.6 Avantage et inconvénients.....	26
I.7 Domaines d'application .....	26
I.8 Conclusion.....	27
<b>Chapitre II: Réseaux Locaux A Grandes Bandes IEEE 802.11 (WiFi) .....</b>	<b>28</b>
II.1 Introduction .....	29
II.2 Le Wifi. ....	29
II.2.1 Présentation.....	30
II.2.2 Certification.....	30
II.2.3 Architecture.....	30
II.2.3.1 Étendre un réseau existant.....	31
II.2.3.2 Partager une ressource radio.....	32
II.3 Modes de fonctionnement.....	32
II.3.1 le mode Ad-hoc .....	33
II.3.2 le mode infrastructure.....	33
II.4 Avantages et Inconvénients du WIFI.....	33
II.4.1 Les avantages .....	33
II.4.2 Les inconvénients du Wifi.....	33
II.5 Les normes du WIFI .....	34
II.6 Les formats d'antennes.....	34
II.7 Les applications wifi.....	34
II.8 Conclusion.....	35
<b>Chapitre III: Simulation et Résultats.....</b>	<b>36</b>
III.1 Introduction.....	37
III.2 Outil de simulation.....	37
III.3 La Conception d'une antenne patch rectangulaire.....	38

III.3.1 Géométrie de base.....	38
III.3.2 Etude Théorique : Calcul des dimensions de l'antenne .....	39
III.3.3 Simulation et résultats.....	40
III.3.3.1 Etude paramétrique sur le patch.....	42
III.3.3.2 Etude paramétrique sur le substrat.....	44
III.4 Conception d'une antenne patch rectangulaire avec encoche.....	47
III.5 Conclusion.....	50
Conclusion générale.....	51

## ***Introduction Générale***

De jour en jour, la technologie ne cesse à se développer, et les chercheurs renversés en permanence dans le domaine des sciences, afin de servir la population et répondre à leur besoins et leur préoccupations, en essayant toujours de trouver des solutions à tout ce qui demeure difficile et complexe, d'éclaircir toute ambiguïté, de rapprocher tout ce qui est distant..., et en fin, de trouver une réponse à tout un problème ;

Au cours des dernières années, le domaine des télécommunications, a bénéficié de sa grande part de ce progrès technologique, en satisfaisant les fortes demandes de la population et de l'industrie. Notamment, dans le volet des antennes. Ces dernières sont des éléments indispensables pour assurer leur rôle d'émission et de réception des ondes électromagnétiques dans l'atmosphère terrestre ou dans l'espace. Elles sont présentes dans tous les systèmes de communication sans fil.

Et pour une connexion permanente et performante à un réseau mobile, les chercheurs et les concepteurs ont élaboré des dispositifs à base des antennes imprimées. Ces antennes présentent des caractéristiques très avantageuses en ce qui concerne le poids, le volume, le coût, la simplicité de fabrication et surtout la possibilité de les implanter sur tout type de dispositif électronique. Cependant ce type d'antenne présente des limites notamment la bande passante étroite, le faible gain, et la possibilité de résonner à une seule fréquence.

Aujourd'hui les antennes imprimées (appelées aussi micro-ruban ou patch) connaissent un grand intérêt chez les concepteurs, à cause de leurs nombreuses applications. En effet, les domaines d'utilisation privilégiés de ce type de ces antennes, sont les communications en hautes fréquences tels que les communications spatiales, les systèmes militaires et commerciaux, la navigation aérienne ou terrestre, les réseaux informatiques sans fil et la téléphonie mobile. Pour une antenne, de nombreuses bandes opérationnelles sont à couvrir suite à l'évolution des standards de communication. Elle est présente dans tous les systèmes de communication sans fil. Face à la croissance de divers standards tels que le GSM, DCS les nouvelles antennes doivent être capables de couvrir le maximum des bandes de fréquences correspondant à ces différents services en un minimum d'encombrement.

De ce qui précède, l'utilisation d'antennes imprimées est devenue usuelle dans les systèmes de radiocommunications. Il devient donc important de présenter ce «capteur» dans le cursus d'un technicien en réseaux des télécommunications.

L'objectif de ce mémoire est de concevoir une antenne imprimée « patch » type Wifi qui sera large bande sous un logiciel de simulation électromagnétique CST Microwave studio suite 2014. La caractérisation de l'antenne se poursuit également par la détermination de ses paramètres hyperfréquences (fréquence de résonance, bande passante, diagramme de rayonnement et gain).

Pour atteindre cet objectif, le présent travail présenté est scindé en trois chapitres:

Chapitre I : Dès généralités sur les antennes imprimées, leurs propriétés et leurs caractéristiques, un rappel théorique sur l'antenne imprimée, une présentation des différentes méthodes d'analyse et les différents techniques d'alimentation.

Chapitre II: Il sera consacré à la description de la technologie sans fil locaux à larges bandes, notre étude s'articule autour de la technologie Wifi, sa présentation, ses normes, ses intérêts ,ses domaines d'applications.etc.

Chapitre III : Représente dans la première partie une description de l'environnement de l'outil de simulation CST utilisé dans ce travail qui est un logiciel de simulation 3D. La deuxième partie de ce chapitre est consacré à la modélisation, conception d'une antenne patch rectangulaire et les résultats de simulation.

# **Chapitre I**

## Généralités sur les antennes imprimées

## **I.1 Introduction**

Le développement des télécommunications spatiales, les contrôles et les commandes à distance, ont fait apparaître la nécessité croissante de réaliser des dispositifs micro-ondes peu coûteux et peu encombrants, faisant appel à une technologie simple et économique. Les systèmes micro-ondes à structure micro ruban ont été à l'origine du développement des antennes imprimées (antennes plaques ou antennes patch) qui sont le plus souvent utilisées en réseaux afin d'améliorer leurs performances et de permettre la réalisation de fonctions très particulières.

Les antennes micro ruban présentent une révolution dans le domaine de la télécommunication sans fil, elles sont largement utilisées dans les communications mobiles et personnelles et trouvent plusieurs applications dans une large gamme de fréquence grâce à leurs petites tailles, simplicité, facilité de fabrication, de mise en œuvre et leurs faibles couts

Dans ce chapitre, nous allons voir des généralités sur les antennes imprimées, leurs caractéristique, leurs modes d'alimentations ainsi que leurs techniques d'adaptation. A la fin nous allons parler sur les différents réseaux sans fil et leurs caractéristiques

## **I.2 Bref historique**

Les communications hertziennes, les télécommunications spatiales et les radars utilisent le plus souvent des antennes à réflecteur. Ce sont des dispositifs performants qui possèdent un bon rendement, une grande pureté de polarisation et une large bande de fréquences. Dans le cas des applications mobiles, leur poids et leur encombrement deviennent deux inconvénients majeurs. Bien avant d'être appliquée aux antennes micro ruban, dans les années soixante, la technologie dite de circuit imprimée avait été largement mise à contribution notamment dans le domaine de l'électronique [1].

Le concept d'antennes imprimées est apparu dans les années 1950, mais il faudra attendre les années 1970 pour voir apparaître les premières réalisations qui seront essentiellement réservées à des applications militaires, et les années 1990 pour un véritable passage au stade industriel [2].

Deux atouts majeurs vont entraîner un développement très important de ce type d'antenne: leur faible coût de réalisation, et leur capacité d'intégration. Elles sont aujourd'hui implantées

dans de nombreux dispositifs électroniques et constituent le type d'antenne privilégié aux fréquences microondes dans les systèmes de communication intégrés modernes [2].

### **I.3 L'Antenne imprimée**

#### **I.3.1 Définition :**

Comme toute antenne, est défini par son rôle de convertir l'énergie électrique d'un signal en énergie électromagnétique transportée par une onde électromagnétique (ou inversement).

Une définition traditionnelle est la suivante : Une antenne d'émission est un dispositif qui assure la transmission de l'énergie entre un émetteur et l'espace libre où cette énergie va se propager, réciproquement, une antenne de réception est un dispositif qui assure la transmission de l'énergie d'une onde se propageant dans l'espace à un appareil récepteur Le transport d'énergie par une onde électromagnétique va donc permettre le transfert d'information sans support physique à travers un canal ou une liaison radioélectrique, à condition que l'onde électromagnétique soit modulée par un signal informatif. Une liaison radioélectrique est un canal de transmission entre un émetteur et un récepteur, dont le support de transmission est assuré par des ondes électromagnétiques [3].

Et dans sa version la plus simple, l'antenne micro ruban, ou antenne imprimée, représentée (figure I-1), est constituée d'une plaque de substrat entièrement métallisée d'un côté tandis qu'un film métallique de forme variable et de dimensions ajustées est déposé sur son autre face. Ce dernier constitue l'élément rayonnant dont les dimensions et les caractéristiques du substrat sur lequel il est déposé fixent entre autres, la fréquence de résonance. Le plan de masse métallique est suffisamment grand par rapport à l'élément rayonnant de façon à limiter les effets d'ondes de surface qui rayonnent sur les extrémités de la plaque [1][4].

Les dimensions de l'élément métallique sont de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde utilisée. Le rayonnement est directionnel dans un demi-espace si le plan de masse ou plan réflecteur est supposé infini [10].

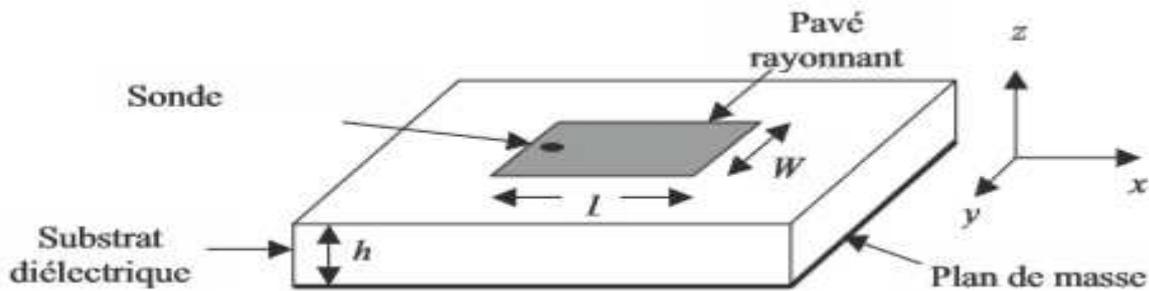


Figure I-1 Structure de base d'une antenne imprimée. [1]

### I.3.2 l'élément rayonnant (patch)

L'élément rayonnant d'une antenne imprimée, couramment appelée patch, constitue la partie essentielle pour toute la structure de l'antenne. Sa forme et son alimentation influencent fortement sur la qualité des paramètres de cette antenne et sur les modes qui sont susceptibles de s'exciter dans l'antenne, et donc sur la nature du rayonnement [10].

Tout d'abord, il existe plusieurs manières de construire une antenne en micro-ruban. En effet, une antenne en micro-ruban peut consister en un seul élément ou en plusieurs éléments. La décision d'utiliser un élément de rayonnement unique ou un ensemble d'éléments dépend des requis de l'application pour laquelle on conçoit l'antenne. Par exemple, pour des applications qui nécessitent un gain élevé, plusieurs éléments devront être utilisés. De plus, avec plusieurs éléments, on peut obtenir des patrons de rayonnement plus adaptés aux besoins d'une application spécifique. En plus d'avoir la possibilité d'un nombre d'éléments spécifique [4].

Dans la pratique, les patches sont les plus souvent utilisés de forme variée tel que carré, rectangle, disque, anneau ou des triangles (figure I-2). Ces formes influencent sur les performances de l'antenne telles que le diagramme de rayonnement, le gain etc. [1][2][4]

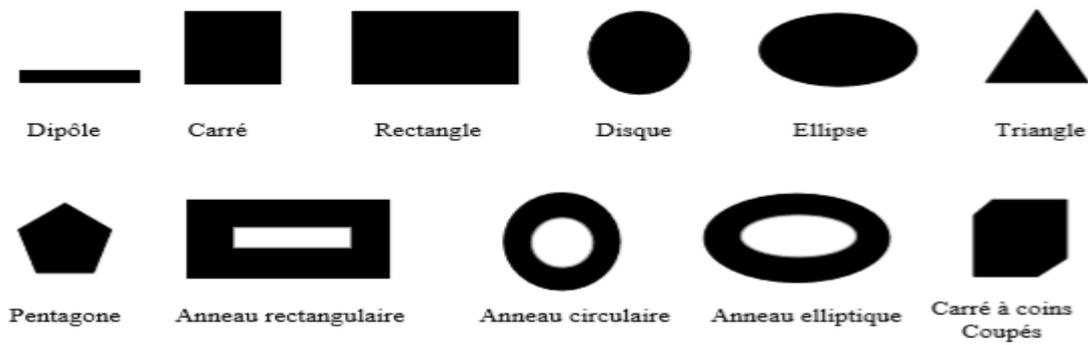


Figure I-2 Différentes formes d'antennes imprimées [5]

### I.3.3 Le choix du matériau diélectrique

Les choix du substrat et de ses dimensions vont être très importants dans la conception d'une antenne en micro-ruban. En effet, les paramètres d'épaisseur et de constante diélectrique du substrat vont jouer un rôle important sur les caractéristiques de l'antenne. L'épaisseur du substrat utilisé doit être suffisamment élevée, mais plus petite que  $0,11 \lambda_0$ ,  $\lambda_0$  est la longueur d'onde de la fréquence pour laquelle on conçoit l'antenne. Cette contrainte doit être respectée parce qu'un élément rectangulaire ne pourra pas entrer en résonance [4]. En plus de rendre notre antenne plus robuste, l'épaisseur du diélectrique va augmenter la puissance de rayonnement et améliorer la plage d'impédance de l'antenne, ce qui veut dire que l'impédance d'une antenne conçue avec un substrat épais va varier moins rapidement lorsque la fréquence change que dans le cas où l'on utilise un substrat mince. Cette caractéristique nous permet donc de concevoir des antennes plus puissantes, mais aussi pouvant tolérer une plage de fréquence beaucoup plus élevée [4]. L'autre caractéristique importante, est la constante diélectrique de ce substrat. Une constante diélectrique faible va permettre d'augmenter la puissance de rayonnement de l'antenne, donc une constante faible va être préférée. Cependant, une constante diélectrique plus faible nécessite des éléments de rayonnement ayant une taille plus grande. En général, les substrats ayant une constante diélectrique de  $\epsilon_r < 2.5$  sont préférés [4].

### I.3.4 L'Alimentation

Un problème récurrent dans la conception des antennes imprimées concerne le choix de la technique d'excitation. L'alimentation par sonde coaxiale est possible mais on préfère souvent utiliser des lignes imprimées qui permettent d'alimenter plusieurs éléments à la fois notamment dans le cas de la mise en réseau des antennes [1].

L'alimentation de l'antenne dépend de la manière dont l'antenne est intégrée dans le dispositif. Les trois principaux types sont:

#### I.3.4.1 Technique d'alimentation (avec contact)

##### I.3.4.1.1 Alimentation par ligne micro ruban

L'alimentation la plus simple consiste à utiliser une ligne micro ruban sur le même plan que le patch rayonnant.

Cette technique consiste à placer une ligne micro-ruban (généralement de 50 Ohms) en contact avec l'élément rayonnant (Figure 1-3). La longueur de la ligne est considérée plus petite que les dimensions du patch. Ce principe assez simple à réaliser fournit la possibilité de fabriquer une structure planaire sur un substrat diélectrique. Cet avantage est l'origine d'une large utilisation d'une alimentation micro-ruban dans les réseaux d'antennes imprimées de différentes formes [6].

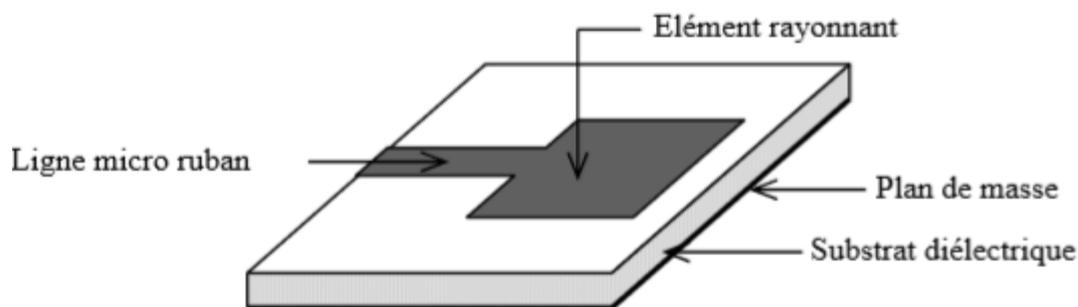


Figure I-3 Alimentation par ligne micro ruban [5][10]

Par ailleurs, cette disposition présente un inconvénient si la ligne rayonne. C'est le cas en très haute fréquence. Le rayonnement de la ligne perturbe alors celui de l'antenne qui ne présente

pas la même pureté de polarisation. Cependant pour les cas usuels, cette technique très utilisée, présente le grand avantage de la simplicité de réalisation. Pour améliorer l'adaptation entre la ligne micro ruban et l'antenne, il est courant de réaliser des encoches (Figure I-4) dont la taille est à calculer afin d'obtenir une meilleure adaptation.[10]

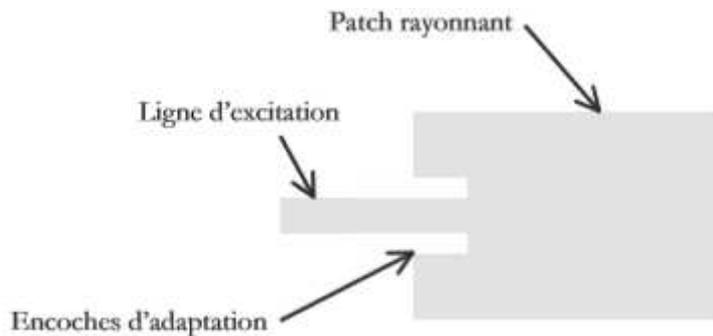


Figure I-4 Encoches d'adaptation [1]

#### I.3.4.1.2 Excitation par une ligne coaxiale

L'alimentation avec câble coaxiale ou alimentation par sonde est une technique très utilisée pour alimenter les antennes micro rubans (Figure I-5). Dans ce cas, le conducteur intérieur du connecteur coaxial traverse le diélectrique et est soudé au patch, alors que le conducteur externe est relié au plan de masse.

L'avantage principal de ce type d'alimentation est qu'elle peut être appliquée à n'importe quel endroit choisi à l'intérieur du patch, avec une facilité de fabrication. Cependant, cette méthode présente des inconvénients au niveau du diagramme de rayonnement. En effet, la connexion génère un pic de courant localisé au niveau de l'élément rayonnant qui peut induire une dissymétrie dans le diagramme de rayonnement. De plus, des pertes apparaissent avec le perçage du plan de masse, du diélectrique ainsi que de l'élément rayonnant [06].

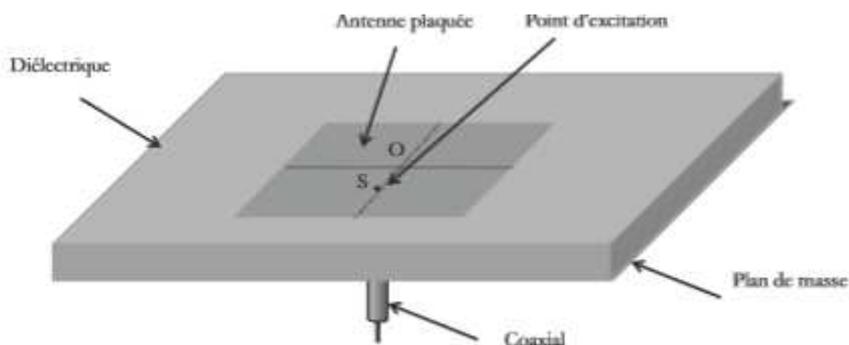


Figure I-5 Alimentation d'une antenne plaquée rectangulaire par coaxial [1]

### I.3.4.2. Alimentation par couplage (sans contact)

#### I.3.4.2.1 Alimentation par ouverture (fente)

L'alimentation par une ligne micro ruban sur le même plan que l'élément rayonnant est, dans certains cas, un désavantage par rapport à la qualité du rayonnement. La solution à ce problème consiste à placer la ligne d'excitation sur un plan inférieur. Dans ce type d'alimentation, le patch de rayonnement et la ligne d'alimentation du micro ruban sont séparés en plan de masse. La jonction entre le patch et la ligne d'alimentation est faite par une ouverture ou une fente dans le plan de masse. Le plan de masse isole la ligne d'alimentation de l'élément rayonnant et limite l'interférence de l'élément parasite sur le diagramme de rayonnement et offre une plus grande pureté de polarisation [06]. Généralement, les matériaux à permittivité élevée sont employés pour le substrat inférieur par contre les matériaux à faible constante diélectrique sont utilisés pour le substrat supérieur dans le but d'optimiser le rayonnement du patch. Ce type d'alimentation est difficile à concevoir à cause des couches multiples, qui augmentent l'épaisseur d'antenne. Cependant elle offre l'élargissement de bande passante [06].

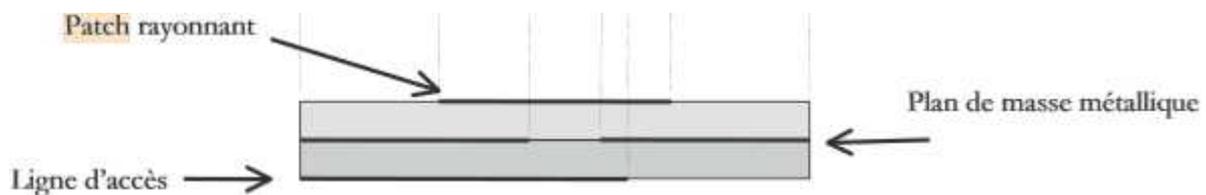


Figure I-6 Alimentation par fente.[1]

#### I.3.4.2.2 Alimentation Par Proximité

La meilleure bande passante pouvant atteindre 13% est réalisable en utilisant l'alimentation par couplage de proximité illustrée par la figure 1.7. L'avantage de cette technique d'alimentation réside dans l'affaiblissement du rayonnement parasite et la facilité du couplage, ce dernier peut être optimisé par l'ajustement des dimensions de la ligne. Cependant elle est très difficile à mettre en œuvre [08] [9].

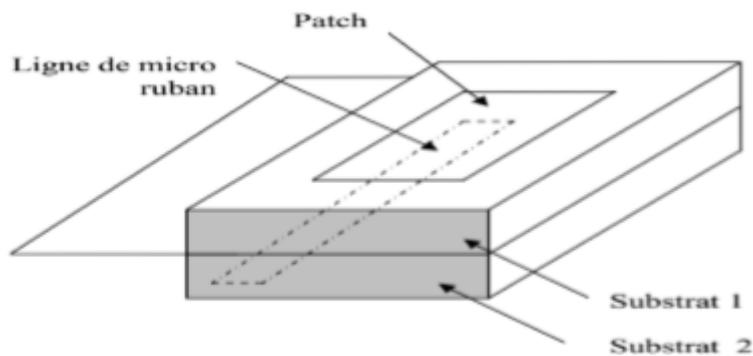


Figure I-7 Alimentation couplée par proximité .[10]

### I. 3.4 3 Alimentation par guide d'ondes coplanaire

Le guide d'ondes coplanaire est une ligne de transmission efficace largement utilisée qui présente l'avantage de placer la ligne d'alimentation au même niveau que le plan de masse. Il est constitué d'un ruban central métallique placé entre deux plans de masse parallèles entre eux, déposé sur la même face d'un substrat diélectrique. De part sa géométrie, le mode de propagation est principalement TEM, en partie dans le substrat. Le signal se propage donc entre le conducteur central et les plans de masse équipotentiels [5].

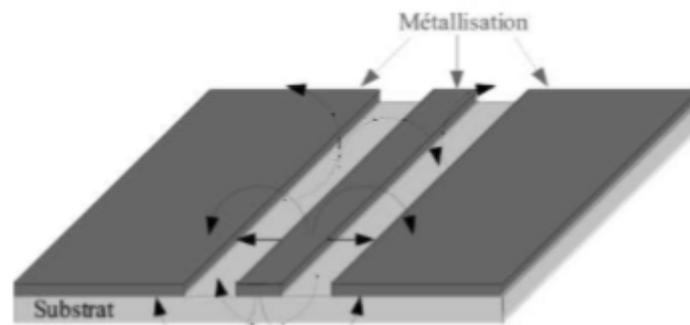


Figure I-8 Guide d'ondes coplanaire (CPW) [5][10]

## I.4 Paramètres caractéristiques de l'antenne imprimée

### I.4.1. Impédance d'entrée de l'antenne imprimée

L'impédance d'entrée du patch élémentaire est de quelques centaines d'Ohms sur le bord de la cavité de l'antenne. Cette impédance décroît progressivement en se dirigeant vers le point d'alimentation du patch. Au niveau de ce dernier, la valeur recommandée de l'impédance est de  $50 \Omega$ , et ceci pour avoir une bonne alimentation. L'impédance d'une antenne varie avec la fréquence utilisée.

En considérant l'antenne comme un quadripôle caractérisé par sa matrice de transfert  $S$ , on peut, théoriquement, calculer la valeur de l'impédance d'entrée  $Z_{in}$  par l'expression (I.1) contenant le coefficient de réflexion à l'entrée du quadripôle  $S_{11}$  [10]

$$Z_{in} = Z_0(1 - S_{11}) / (1 + S_{11}) \quad (\text{I.1})$$

Avec :

$Z_0$  : impédance caractéristique de la ligne d'alimentation

$S_{11}$  : est fonction de la fréquence, alors  $Z_{in}$  varie avec la fréquence

#### I.4.2 Coefficient de réflexion

Le coefficient de réflexion met en évidence l'absorption de l'énergie par l'antenne. Les discontinuités présentées par l'antenne peuvent être caractérisées par le coefficient de réflexion, qui est lié à l'impédance d'entrée par la relation (1.2) [10] :

$$S_{11} = Z_r - Z_c / Z_r + Z_c \quad (\text{I.2})$$

#### I.4.3 Directivité d'une antenne

La directivité est un paramètre pour caractériser l'émission ou la réception des ondes dans une direction considérée  $(\theta, \phi)$ . Elle peut être calculée par le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction donnée et celle d'une antenne isotrope de référence donnée par l'équation (1.3). Elle est souvent exprimée par l'angle dont la bissectrice et la direction de rayonnement maximum, à l'intérieur duquel le gain en puissance ne dépend pas au-dessous du gain maximum. Cette diminution du gain correspond à 3dB [10].

$$D(\theta, \phi) = \frac{P(\theta, \phi)}{\left(\frac{1}{4\pi}\right) \int_0^{4\pi} P(\theta, \phi) d\Omega} \quad (\text{1.3})$$

Avec :

$P(\theta, \phi)$  : La puissance reçue de l'émetteur ;

$\left(\frac{1}{4\pi}\right) \int_0^{4\pi} P(\theta, \phi) d\Omega$  : La puissance moyenne rayonnée dans toute l'espace.

La directivité indique dans quelles directions la densité de puissance est meilleure ou moins bonne que celle de l'antenne isotrope.

#### I.4.4. Gain d'une antenne

Le gain d'une antenne est défini par le rapport de la puissance émise dans la direction du lobe principal à la puissance qui serait émise par une antenne omnidirectionnelle consommant la même puissance à la source. Cette grandeur est exprimée en dBi ('i' pour isotrope), elle est donnée par la relation (I.4)

$$\mathbf{G}(\theta, \phi) = \eta * \mathbf{D}(\theta, \phi) \quad (1.4)$$

Avec :

$\eta$  : impédance d'onde du milieu dans le vide qui égale à 120.

#### I.4.5 Diagramme de rayonnement

Le diagramme de rayonnement d'une antenne est une représentation en deux dimensions (2D) ou en trois dimensions (3D) de la façon dont l'antenne collecte ou rayonne l'énergie électromagnétique dans l'espace à une distance 'r' relativement grande (zone lointain) [10].

Le diagramme de rayonnement est tracé selon la fonction normalisée  $F_a(\theta, \phi)$  qui est le rapport entre le champ électrique rayonné  $E(\theta, \phi)$  et sa valeur  $E_{max}$  ; il est donné par la relation suivante (1.5)

$$\mathbf{F}_a(\theta, \phi) = E(\theta, \phi) / E_{max} \quad (1.5)$$

Avec :

$\theta$  : Angle d'élévation (plan horizontal)

$\varphi$  : Angle azimutal (plan vertical)

Il existe trois modèles de rayonnement couramment utilisés pour décrire la propriété du rayonnement d'une antenne :

a) Isotrope : Une antenne hypothétique sans perte ayant un rayonnement égal dans toutes les directions. Il est valable uniquement pour une antenne idéale et est souvent pris comme référence pour exprimer les propriétés directives des antennes pratiques.

b) Directionnel : Une antenne qui possède la propriété de rayonnement ou réception des ondes électromagnétiques d'une manière plus efficace dans certaines directions que l'autres. Cela est généralement applicable à une antenne où sa directivité maximale est significativement supérieure à celle d'un dipôle demi-onde.

c) Omnidirectionnel : Une antenne ayant un modèle non-directionnel essentiellement dans un plan donné et un modèle directionnel dans n'importe quel plan orthogonal [10].

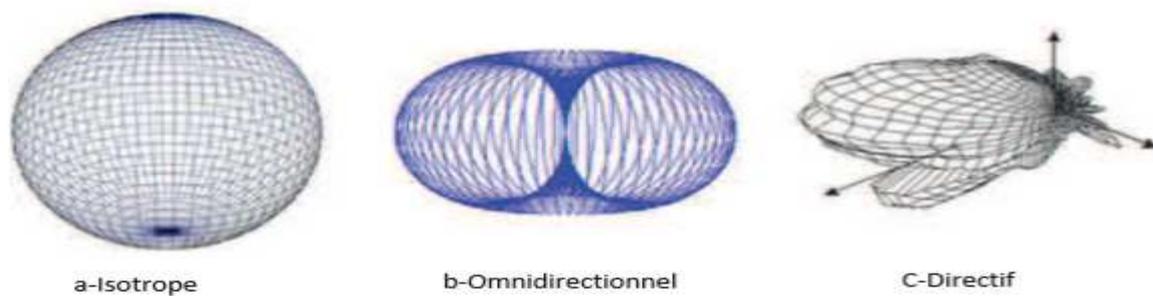


FIGURE I-9 Exemple de diagramme de rayonnement d'antenne [13]

#### I.4.6 Rendement d'une antenne

Le rendement de l'antenne est le rapport entre la puissance rayonnée et la puissance fournie à l'antenne, soit :

$$\eta = P_r / P_f \quad (\text{I-6})$$

Avec :

$P_r$  : puissance rayonnée

$P_f$  : puissance fournie

Ce rapport caractérise la perte à l'intérieur de l'antenne.

Le rendement des antennes à polarisation linéaire est habituellement décrit en termes des deux plans E et H. Le plan E est défini comme étant le plan contenant le vecteur champ électrique et la direction du rayonnement maximal tandis que le plan H est défini comme étant contenant le vecteur champ magnétique et la direction du rayonnement maximal [10].

#### 4.7 Polarisation

La polarisation d'une antenne est déterminée par celle de l'onde radiée dans une direction donnée, elle est identique à la direction du champ électrique c'est-à-dire à celle des brins rayonnant de l'antenne. Si le plan E (électrique) est parallèle au vecteur E de l'onde émise, on parle de polarisation verticale si le plan E est perpendiculaire au sol, s'il est parallèle au sol on parle de polarisation horizontale. Aussi le vecteur du champ électrique instantané trace dans le temps une figure, la figure est généralement une ellipse. Si le chemin du vecteur de champ électrique suit une ligne l'antenne est dite linéairement polarisée. Si le vecteur de champ électrique tourne selon un cercle on dit a polarisation circulaire [8] [9].

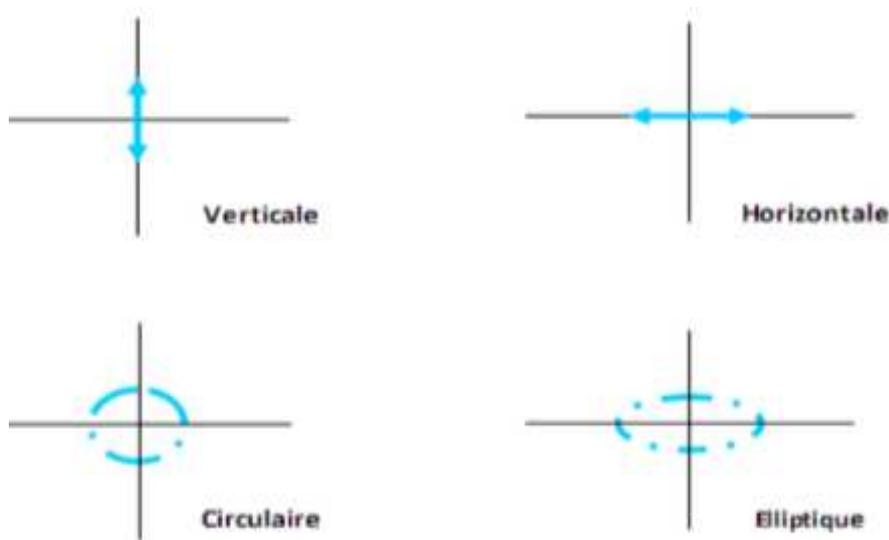


Figure 1.10 Exemple de différents types de polarisation .[10][16]

#### I.4.8 La bande passante

La bande passante d'une antenne patch est définie comme la gamme de fréquence pour laquelle le patch est adapté a sa ligne d'alimentation, elle est relativement faible. Pour accroître la bande passante il est possible d'augmenter l'épaisseur du substrat. Elle est donnée par la relation :

$$\text{BP (\%)} = [(f_2 - f_1) / f_c] \cdot 100 \quad (\text{I.7})$$

Avec  $f_c$  la fréquence à la résonance,  $f_1$  et  $f_2$  les deux fréquences minimale et maximale.

D'autres paramètres sont considérées pour la caractérisation des antennes imprimées comme la directivité qui caractérise la concentration du rayonnement dans une direction donnée, le coefficient de réflexion ( $S_{11}$ ) sur ce que l'on se base lors de l'optimisation, ou bien encor le gin, l'impédance d'entrée et le rendement [8].

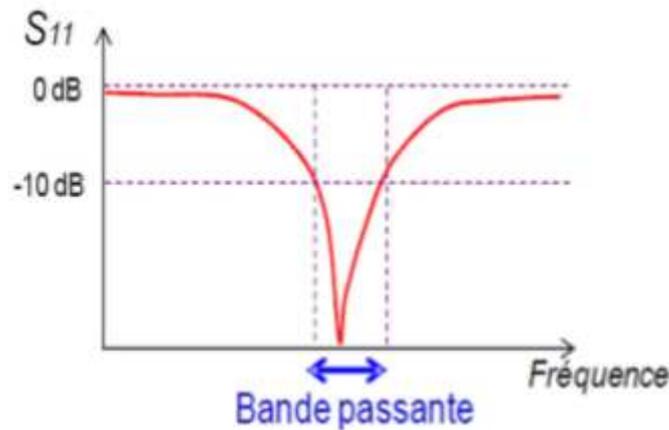


Figure I-11 Bande passante et coefficient de réflexion [13]

Critère FB	FB	Type de système
$FB = BP/f_c$ $BP = f_2 - f_1$ $F_c = (f_1 + f_2)/2$	$0 \leq FB \leq 0,01$	Bande Etroite
	$0,01 \leq FB \leq 0,25$	Large Bande
	$0,25 \leq FB$	Ultra large Bande

Tableau I-1 : classification fréquentielle des systèmes [10].

### I-5 Principe de fonctionnement des antennes imprimées

Une antenne imprimée peut être considérée comme une cavité résonnante ouverte constituée de quatre murs latéraux magnétiques et de deux murs horizontaux électriques. Le rayonnement est provoqué par la fuite du champ aux extrémités entre le patch métallique proprement dit et le plan de masse. Le fonctionnement de l'antenne étant alors illustré à l'aide de deux fentes équivalentes aux bords rayonnants et séparées par la distance  $L$ .

Dans sa configuration originale, le comportement de l'antenne est contrôlé à l'aide d'une sonde de courant connectée entre le patch rayonnant et le plan de masse, ce qui va provoquer l'apparition d'un champ électrique à l'intérieur de la cavité.

Une condition de résonance qui permet de transférer une puissance maximale à l'antenne consiste à choisir la longueur  $L$  légèrement inférieure à la demi-longueur d'onde guidée  $\lambda_g$  dans le diélectrique. Ce fonctionnement correspond à l'excitation du mode fondamental (ou fréquence de résonance fondamentale) qui correspond à la plus faible fréquence excitée. Dans le cas d'une antenne de forme rectangulaire de dimensions  $L$ ,  $W$ , les fréquences de résonances d'un mode TM  $mn$  dans la cavité sont données par la formule suivante :

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

Où  $C$  est la vitesse de la lumière dans le vide et  $\epsilon_r$ , la permittivité du substrat. Les conditions aux limites imposées par la nature de la cavité et le choix de la longueur  $L$  résonnante vont imposer une répartition des composantes des champs électrique et magnétique à l'intérieur de la cavité. Le champ électrique  $E_x$  est maximal et en opposition de phase de part et d'autre des bords rayonnants et sa valeur est nulle au centre, ce qui a pour conséquence l'apparition d'un maximum de rayonnement selon la direction normale à l'antenne ( Figure 1-12).

En effet, les champs émis par les deux fentes équivalentes aux bords rayonnants étant, dans ce cas, en phase. Le champ magnétique  $H_y$  est nul aux extrémités rayonnantes et, à l'inverse du champ électrique, est maximal au centre de la cavité [1].

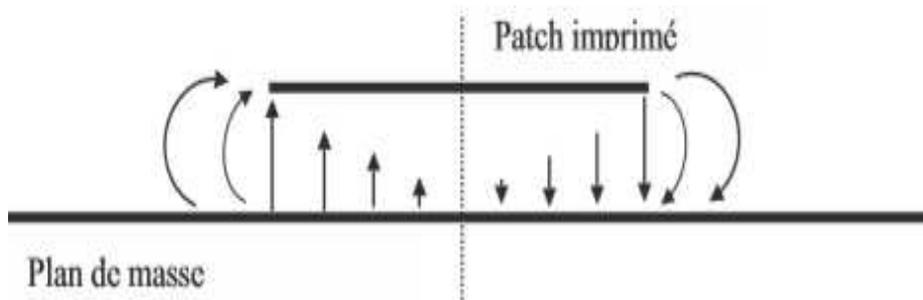


Figure I-12 Répartition du champ électrique entre le patch et le plan de masse.[1]

Leurs expressions simplifiées, car ne tenant pas compte en première approximation des effets de bords, s'expriment de la façon suivante :

$$E_z = E_0 \cos \pi x / L$$

$$H_y = H_0 \sin \pi x / L$$

Une représentation simplifiée consiste à considérer l'antenne à l'aide d'un tronçon de ligne de transmission d'impédance caractéristique  $Z_0$ , de longueur  $L$  et chargé aux extrémités afin de tenir compte du rayonnement électromagnétique dû aux fentes équivalentes.

## I.6 Avantages et inconvénients

Cette technologie appliquée aux antennes micro ruban (ou antennes patch) présente un certain nombre d'avantages parmi lesquels :

- La possibilité de les imprimer sur des surfaces non-planes dans le cas de substrats souples,
- Un faible coût de fabrication,
- Elles sont légères et peu encombrantes,
- La possibilité de mise en réseaux pour améliorer la directivité et pour des applications de balayage électronique de l'espace,
- La possibilité de les intégrer dans des appareils électriques nomades,
- La polarisation de l'onde électromagnétique linéaire ou circulaire en ajustant la géométrie et l'excitation de l'élément rayonnant.

Malheureusement, ces antennes présentent également un certain nombre d'inconvénients qui peuvent limiter leur domaine d'applications.

On peut noter :

- Une bande passante limitée (de 1 à 5 %),
- Un faible gain (de l'ordre de 5 dB),
- Une pureté de polarisation difficile à obtenir,
- L'excitation possible d'ondes de surface dans le diélectrique,
- Des puissances transportées faibles en comparaison aux antennes traditionnelles [1] [5][9].

## I.7 Domaines d'application

Vu l'explosion technologique dans la télécommunication et les recherches scientifiques continues concernant les antennes imprimées, et vu les exigences multiples dans le domaine de communication l'utilisation des antennes micro-ondes classiques devient incapable de répondre à ces exigences. Pour cette raison les antennes imprimées remplacent les antennes classiques dans la plupart des applications parmi ces applications on cite :

La commande et contrôle ,la télémessure par missile, l'aviation civile et militaire ,les équipements portatifs, les éléments d'alimentation dans les antennes complexes, les antennes d'émission utilisées en médecine, les récepteurs satellite de navigation, systèmes de télédétection ou RADAR,

L'antenne patch est de plus en plus utilisée en télécommunication, tout particulièrement dans le secteur de la téléphonie mobile [5] [8].

## **I.8 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté une brève description sur les antennes imprimées, leurs caractéristiques, les différentes techniques d'alimentation ainsi que leurs avantages et leurs inconvénients. Quelques applications des antennes imprimées ont été également décrites et à la fin de ce chapitre nous avons cité quelques principes et les techniques d'élargissement de la bande passante.

# Chapitre II

## RESEAUX LOCAUX A LARGES BANDES

IEEE 802.11 (WiFi)



## **II.1 Introduction**

L'une des applications des antennes patch qui a connu un grand développement dans le domaine des communications, c'est sans doute les systèmes multimédias sans fil.

Les réseaux locaux sans fil WLAN s'utilisent comme les réseaux filaires et couvrent quelques centaines de mètres. Les technologies sans fil évoluant très rapidement, on trouve toute une série de normes physiques, repérées par la lettre suivant le terme générique 802.11. Elles se distinguent par la bande de fréquences utilisée, les débits binaires et la portée dans un environnement dégagé.

Dans ce chapitre nous présenterons le standard Wi-Fi IEEE 802.11, qui opère dans les bandes ISM (Industrielle, Scientifique et Médicale) 2,4 GHz et 5 GHz. Ainsi que ses différentes versions.

## **II.2 Le WiFi**

### **II.2.1 Présentation**

Le Wifi (Wireless Fidelity) est le nom donné par la WiFi Alliance (anciennement WECA, Wireless Ethernet Compatibility Alliance) et constitue le terme « grand public » pour désigner la norme IEEE 802.11, norme qui caractérise les réseaux locaux sans fil. Les applications visées par la technologie WiFi sont les réseaux locaux sans fil aussi bien pour l'industrie et les lieux publics que pour les applications domestiques. L'objectif est de pouvoir relier ensemble de nombreux périphériques (assistant personnel, station de travail, clavier, souris, ...) afin de s'affranchir des liaisons filaires souvent encombrantes et permettre ainsi une grande mobilité.

Le Wifi est une technologie permettant la transmission de données informatiques sans fil et à haut débit,

En 1997, la première version du standard 802.11 apparaissait. Ce standard a été développé pour favoriser l'interopérabilité du matériel entre les différents fabricants ainsi que pour permettre des évolutions futures compatibles. Depuis la finalisation de la norme en 1998, plusieurs « version » de la technologie Wifi sont apparues, chacune d'elles présentant des caractéristiques différentes. [7], [11].

## II.2.2 Certification

La Wi-Fi Alliance organisme qui regroupe les principaux acteurs du marché sans fil dans le monde. Favorise la technologie WiFi , Garanti l'interopérabilité des produits WiFi , Certifie les équipement wifi logo WiFi (l'absence de logo n'implique pas nécessairement qu'un dispositif est incompatible avec appareils Wi-Fi) [11], [13]



- L'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) a créé le standard 802.11 pour les réseaux sans fil [11]
- La WiFi Alliance a créé le label WiFi pour les produits 802.11

## II.2.3 Architecture

Le déploiement d'un réseau Wifi permet de reproduire l'ensemble des applications liées à l'utilisation d'un réseau Ethernet classique mais ... sans fil. Il existe deux types d'applications principales liées aux technologies radio [12].

### II.2.3.1 Étendre un réseau existant

Des liaisons point à point de plusieurs kilomètres permettent de prolonger un réseau LAN ou éventuellement d'amener l'Internet haut débit là où personne ne le propose. Prenons l'exemple de deux écoles distantes, à vue, possédant chacun un réseau informatique et désirant mettre en commun leurs réseaux. Le Wifi, par le biais d'une liaison directionnelle (point à point) permet de relier les deux infrastructures, en réduisant les coûts de 10 à 100 fois par rapport à un raccordement câblé.

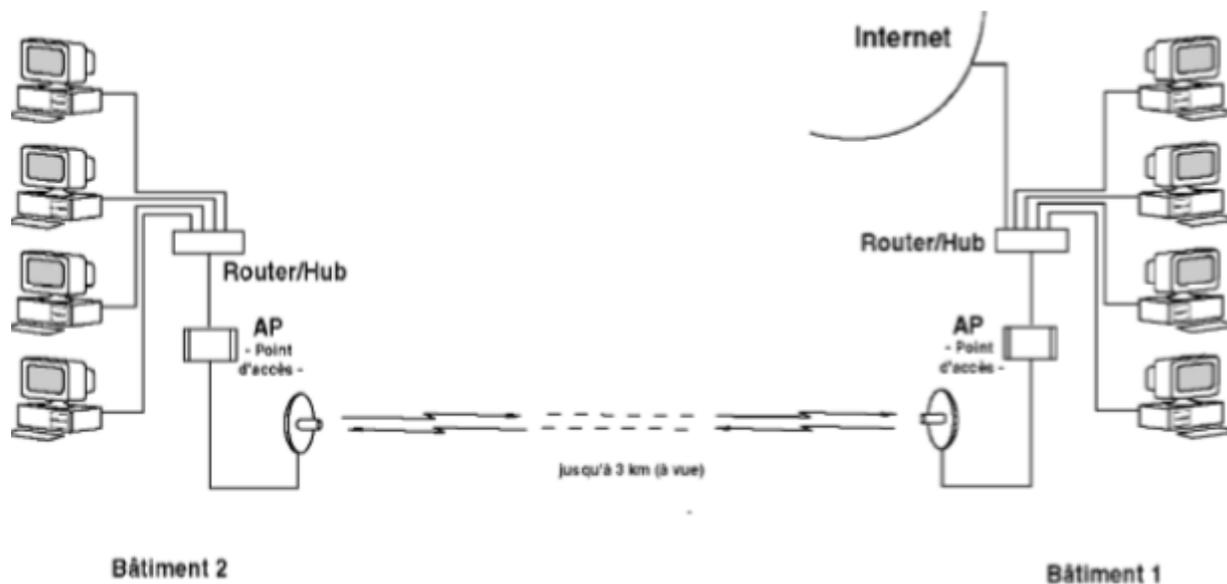


Figure II-1 liaison point a point [12]

### II.2.3.2 Partager une ressource réseau

La seconde consiste à mutualiser des éléments réseaux (fichiers, images, films, applications, matériel, connexion Internet) entre plusieurs usagers.

Cinq voisins désirent par exemple partager un accès Internet haut-débit, en toute légalité selon le contrat passé avec leur fournisseur d'accès : une liaison omnidirectionnelle Wifi va permettre de mutualiser facilement l'accès à cette ressource. Dans ce cas le débit de la connexion sera partagé entre les utilisateurs simultanés. La ressource « Internet » pourrait être remplacée par n'importe quel élément réseau : Imprimante, scanné, serveur de données, permettant par exemple la mise en place d'un site contributif de données à l'échelle d'un village ou d'un quartier. L'utilisation du Wifi a permis de s'affranchir de la contrainte de câblage et de la mise en place d'un Switch ou d'un hub mais aussi de réduire considérablement les délais de déploiement. [12][14]



Figure II-2 partages des ressources réseaux [12]

### II.3 Modes de fonctionnement

Les réseaux WiFi possèdent une architecture basée sur un système cellulaire qui peut s'organiser suivant deux modes de fonctionnement:

#### II.3.1 le mode Ad-hoc

Pas de point d'accès, Les stations communiquent directement entre elles. L'ensemble formé par les stations à portée radio est appelé IBSS( **independant basic service set**).

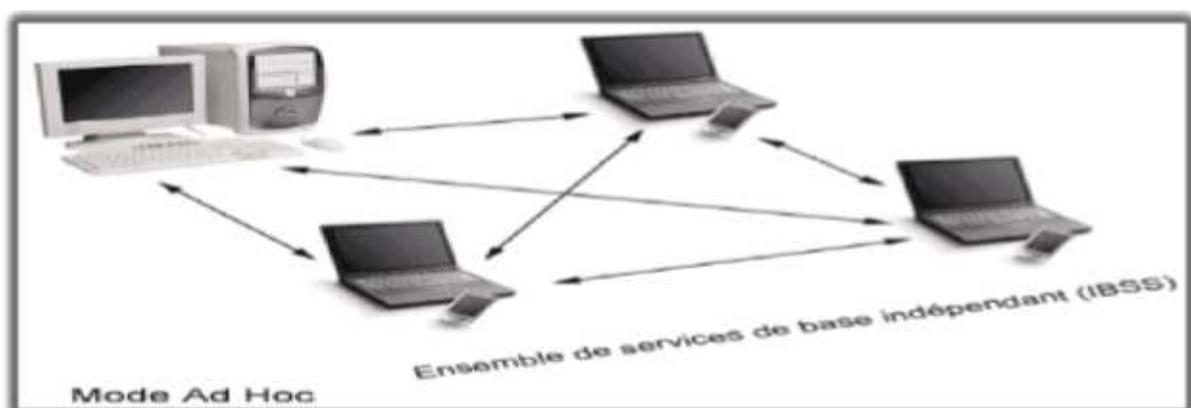


Figure II-3 Architecture des réseaux Wifi : mode ad hoc [12]

### II.3.2 le mode infrastructure

En **mode infrastructure** chaque ordinateur station (notée **STA**) se connecte à un point d'accès via une liaison sans fil. L'ensemble formé par le point d'accès et les stations situés dans sa zone de couverture est appelé *ensemble de services de base* (en anglais *basic service set*, noté **BSS**) et constitue une cellule. Chaque *BSS* est identifié par un *BSSID* qui correspond à l'adresse MAC du point d'accès.

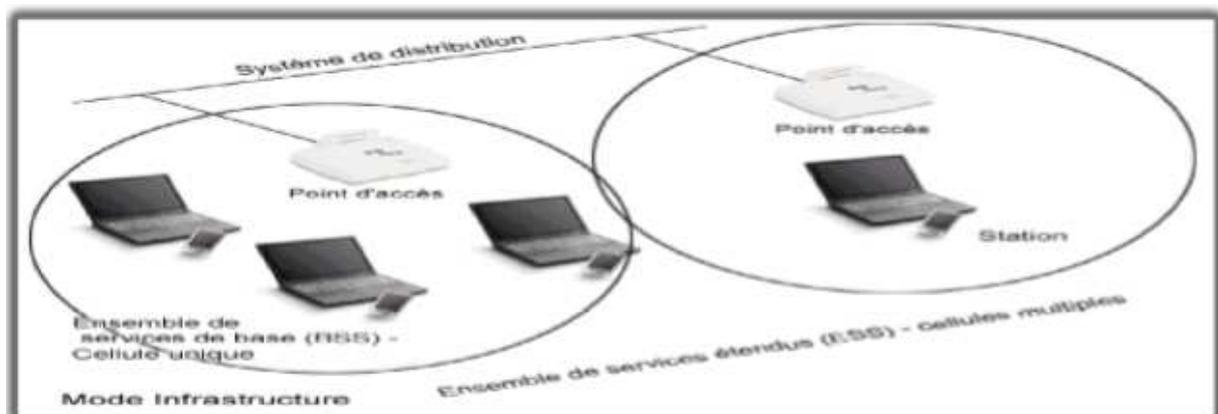


Figure II-4 Architecture des réseaux Wifi : mode infrastructure [12]

## II.4 Avantages et Inconvénients du WIFI

### II.4.1 Les avantages

- Facilité de déploiement
- Peut être implémenté comme extension ou alternative à un réseau câblé.
- Relie des ordinateurs là où il serait difficile/coûteux de mettre un câble.
- Faible coût et rapide à installer [14]

### II.4.2 Les inconvénients du Wifi

- Nécessité de protéger les accès aux ressources du réseau et en évitant les écoutes non désirées.
- Risque d'interférences : utilisation de bandes de fréquences libres [14].

## II.5 Les normes du WIFI

Le tableau suivant résume les différentes normes utilisés pour le WIFI

Norme	Bande	Largeur Max du canal	Nombre Max de flux	Débit Max théorique
IEEE 802.11b	2,4 GHz	22 MHz	1	11 Mbit/s
IEEE 802.11a	5 GHz	20 MHz	1	54 Mbit/s
IEEE 802.11g	2,4 GHz	20 MHz	1	54 Mbit/s
IEEE 802.11n (HT)	2,4 et 5 GHz	20/ <b>40</b> MHz	4	<b>150</b> Mbit/s (1 flux) <b>600</b> Mbit/s (4 Flux)
IEEE 802.11ac (VHT)	5 GHz	20/40/ <b>80/160</b> MHz	8	<b>866,7</b> Mbit/s (1 flux) <b>6933.3</b> Mbit/s (8 flux)

VHT: Very High Troughput (Très hauts débits)

Tableau II-1 Normes Physiques [14]

## II.6 Les formats d'antennes

Il existe une variété étourdissante d'antennes WiFi, nous trouvons les antennes fouets, antennes patches, paraboles, paraboles grillagés, antennes « yagi », antenne hélicoïdes ,etc...[11]

Le système point à point ont une portée ne dépassant pas les 160 mètres, assurés par leurs antennes internes omnidirectionnelles. Des antennes directives et à gain élevé peuvent être utilisées pour couvrir des stations à quelque km de l'émetteur [15].

## II.7 Les applications wifi

Les utilisateurs qui possèdent un point d'accès ou bornes Wi-Fi peuvent se connecter dans des cafés, des hôtels, des aéroports, etc., et accéder à Internet mais aussi bénéficier de tous les services liés à Internet (World Wide Web, courrier électronique, téléphonie, téléphonie mobile, téléchargements etc.). Cet accès est utilisable de façon fixe, mais parfois également en situation de mobilité. Le WiFi trouve ses applications dans de nombreux domaine tel que le domaine médical, les entreprises, l'industrie, les mines, le tourisme, etc.

## **II.8 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons donné une présentation du système WiFi et de son standard IEEE 802.11 et de ses différentes normes,

Le Wi-Fi (802.11b) est l'une des premières solutions du standard 802.11. Il utilise la bande de fréquences 2,4 GHz sur une portée maximale de 300 mètres.

L'objectif de notre étude c'est de concevoir des antennes imprimées pour la bande 2,4 Ghz et le chapitre qui suit, sera consacré à la présentation des résultats de simulations de l'antenne conçue au cours de ce travail.

# **Chapitre III**

## Simulation et résultats

### III.1 Introduction

Ce chapitre présente les démarches de conception logicielle, et les résultats de simulation d'une antenne imprimée de forme rectangulaire destinée pour une application Wifi.

### III.2 Outil de simulation

Microwave Studio de CST (Computer Simulation Technology) c'est le logiciel que nous employons, fait usage de la méthode des intégrales finies (FIT, Finite Integration Technique) développée par Weiland en 1977, cette méthode FIT consiste à faire une discrétisation spatiale des équations de Maxwell sous leur forme intégrale. La FIT procède par la description des équations de Maxwell sur un espace de grille, en préservant les propriétés de conservation de l'énergie, et en constituant des équations différentielles particulières telles que celle de Poisson ou l'équation d'onde. Il s'agit d'une approche très sophistiquée, et on peut l'utiliser à la fois dans le domaine du temps et dans le domaine de fréquence [16]. Donc l'utilisateur est amené à représenter la structure de l'antenne, indiquer les caractéristiques des matériaux, définir les ports, valider et simuler le modèle dans le logiciel. La solution logicielle offerte par CST Microwave Studio, est une option très intéressante pour la conception d'antenne en microruban. Des fonctions comme l'optimisation, l'édition en 3D, la modélisation par variable, la mise à la terre finie et la possibilité de définir les conditions aux bornes, en font un logiciel très intéressant pour la tâche à effectuer dans le cadre de ce travail. Cet outil est très complet pour le développement de composante micro-onde allant de composante en microruban aux composantes coaxiales. Le CST Microwave Studio utilise deux techniques de discrétisation : une discrétisation surfacique (cellules en 2D) et une discrétisation volumique (cellule en 3D) [13].

En outre, vu que le calculateur du domaine de temps du logiciel agit rapidement sur une immense bande de fréquence correspondant à une faible impulsion d'entrée dans le domaine temporel, le CST se trouve plus approprié pour simuler sur des gammes de fréquence élevées.

### III.3 La Conception d'une antenne patch rectangulaire

L'élément rectangulaire (Figure III-1) est sans contexte le plus utilisé. Pour la raison d'être facile dans sa conception, robuste et très facile à manipuler. Ils existent différentes méthodes pour la miniaturisation de ce type d'antennes, ce qui facilite leurs intégrations sur les circuits imprimés ou les cartes électroniques des appareils (téléphone portable, Modem wifi, carte wifi...). [13]

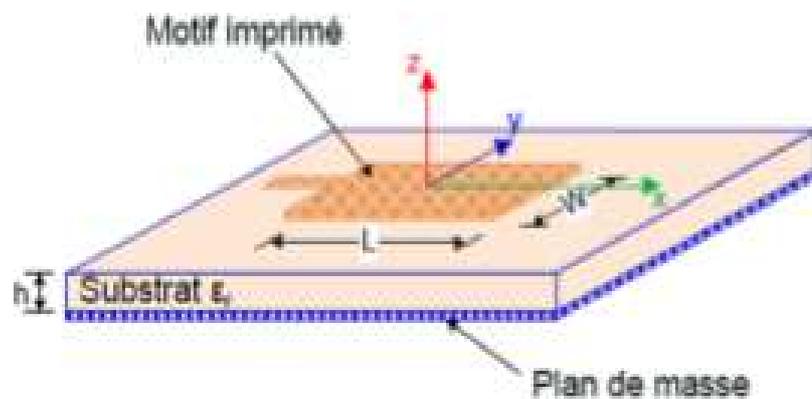


Figure III-1: Antenne Patch rectangulaire [13]

#### III.3.1 Géométrie de base

L'Antenne patch étudiée, est alimentée et adaptée par une ligne microruban à 50 ohms. Nous allons simuler cette antenne qui fonctionne à la fréquence 2,4 GHz pour des applications Wifi. Le substrat utilisé est de type FR-4 avec une permittivité de 4,4 et une épaisseur  $h = 1.6$  mm, et pour l'élément rayonnant nous utilisons le cuivre d'une épaisseur  $t = 0.035$  mm.

### III.3.2 Etude Théorique : Calcul des dimensions de l'antenne

Le modèle ligne de transmission implique que pour le mode fondamental, le long de la largeur du patch, nous avons une tension maximale et un courant minimal. Ce qui implique que les bords le long de la largeur du patch sont considérés comme des fentes rayonnantes. L'effet de bords et le rayonnement des fentes sont modélisés par une capacité équivalente et une résistance de rayonnement. Chose qui prolonge les dimensions autour de la périphérie du patch [17] [18].

- La longueur et la largeur effective du patch s'écrivent:

$$L_e = L + 2\Delta L \quad (\text{III.1})$$

$$W_e = W + 2\Delta W \quad (\text{III.2})$$

$\Delta L$  et  $\Delta W$  Sont les extensions le long de L et de W.

L'extension de la longueur du patch est calculée par la relation :

$$\Delta L = 0,412h \frac{(\epsilon_e + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0,264\right)}{(\epsilon_e - 0,258) \left(\frac{W}{h} + 0,813\right)} \quad (\text{III.3})$$

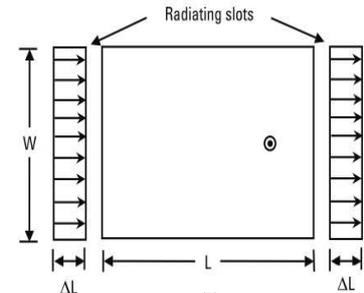


Figure III-2 Les fentes rayonnantes [17]

La propagation dans deux milieux ayant une permittivité nettement différents exige la détermination d'une valeur approchée de  $\epsilon_e$  (Constante diélectrique effective).

Selon Hammerstad pour une bande tel que  $\frac{w}{h} \geq 1$  [17]

$$\epsilon_e = \frac{1}{2}(\epsilon_r + 1) + \frac{1}{2}(\epsilon_r - 1) \left(1 + 12\frac{H}{w}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (\text{III.4})$$

( $\epsilon_r$  : Permittivité relative,  $\epsilon_e$  : Permittivité effective)

Pour qu'une antenne rayonne le plus efficacement possible, la largeur W doit être calculée par la relation :

$$W = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{(\epsilon_r + 1)}{2}}} \quad (\text{III.5})$$

( $C = 3 \times 10^8$  m/s)

La longueur effective est donnée par la relation

$$L_e = \frac{c}{2f_0\sqrt{\epsilon_e}} \quad (\text{III.6})$$

$f_0$  est la fréquence de résonance calculée par la relation :

$$f_0 = \frac{c}{2L_e\sqrt{\epsilon_e}} \quad (\text{III.7})$$

- **La longueur (Ls) et la largeur (Ws) du substrat**

$$L_s > 6h + L_p$$

$$W_s > 6h + W_p$$

$L_p$  : (longueur du patch + longueur de la ligne d'alimentation)

$W_p$  : largeur du patch,  $h$  : Epaisseur du substrat diélectrique

- **La ligne microruban**

L'impédance caractéristique de la ligne microruban peut être calculé par :

$$Z_c = \frac{119,9}{\sqrt{2(\epsilon_r+1)}} \left[ \ln \left( 4 \frac{h}{w_f} + \sqrt{16 \left( \frac{h}{w_f} \right)^2 + 2} \right) - \frac{1}{2} \left( \frac{\epsilon_r-1}{\epsilon_r+1} \right) \left( \ln \frac{\pi}{2} + \frac{1}{\epsilon_r} \ln \frac{4}{h} \right) \right] \quad (\text{III.8})$$

La longueur de la ligne peut être calculé par :

$$L_f = \frac{\lambda_e}{2} = \frac{\lambda_0}{2F_0\sqrt{\epsilon_e}} \quad (\text{III.9})$$

Avec :

$w_f$ : Largeur de la ligne microruban

$h$  : Epaisseur du substrat diélectrique

(Calcul des dimensions de l'antenne [07][13][17][18])

### III.3.3 Simulation et Résultats

Le tableau suivant résume les différents paramètres de l'antenne avec plan de masse et substrat ,après un calcul théorique, les dimensions sont données comme suit:

Paramètres	Dimensions
Wp :Largeur du patch	38,036 mm
Ws :largeur du substrat	47,636 mm
Wg :largeur du plan de masse	47,636 mm
wf :Largeur de la ligne d'alimentation)	3,0588 mm
Lp :Longueur de l'Antenne	29,443 mm
Ls :longueur du substrat)	69,963 mm
Lg :Longueur de plan de masse	69,963 mm

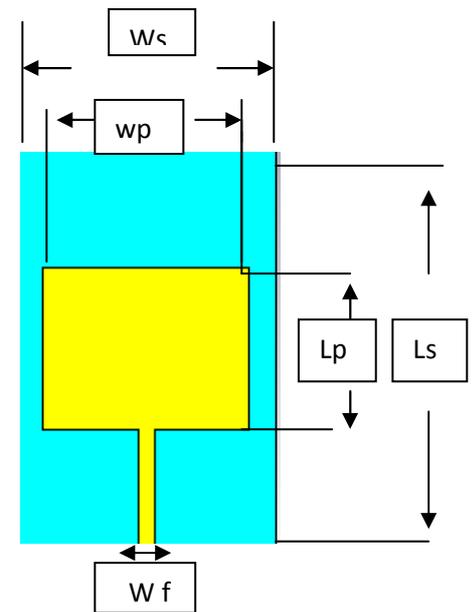


Tableau III-1 Dimensions calculées du patch

Figure III-3 Patch étudié

A partir de ces dimensions nous allons faire la conception de l'antenne sous le logiciel CST, et voir l'adaptation de l'antenne sur la fréquence 2,4 GHz qui est la fréquence utilisée pour le Wifi.

La figure suivante représente le coefficient de réflexion S11, nous voyons bien que l'adaptation de l'antenne n'est pas à la fréquence désirée, dans ce cas elle vaut 2,31 GHz pour une légère adaptation à -10.50 dB.

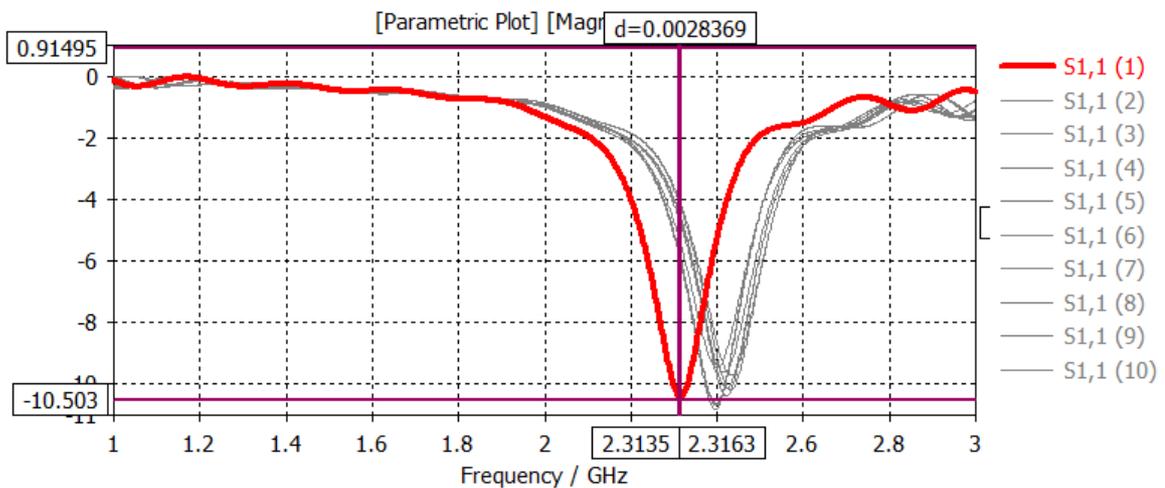


Figure III-4 Coefficient réflexion S 1.1

### III.3.3.1 Etude paramétrique sur le patch

Une étude paramétrique sous CST, a été menée sur les dimensions des paramètres de l'antenne. Plusieurs essais ont été effectués afin d'améliorer l'adaptation de notre antenne et la largeur de la bande passante qui est très réduite ,tableau III-2 ci-après:

3D Run ID	Parameters			
	Status	lp	wf	wp
4	Calculated	28.1	3.0588	37.6
5	Calculated	28	3.0588	37.2
6	Calculated	28	3.0588	36.26
7	Calculated	28.2	3.0588	36.26
8	Calculated	28.4	3.0588	36.26
9	Calculated	28.4	3.0588	38.1
10	Calculated	28.4	3.0588	38.45
11	Calculated	28.4	3.0588	40
12	Calculated	38	3.0588	40
13	Calculated	36	3.0588	40
14	Calculated	28	3.0588	40
15	Calculated	28	2.98	40
16	Calculated	28	2.92	40
17	Calculated	28	2.92	38

Tableau III-2 Etude paramétrique du patch

Après la variation des valeurs des paramètres géométriques de l'antenne nous avons réussi à aboutir à la fréquence désirée avec un coefficient de réflexion S11 à -11,99 dB (figure III-5) .

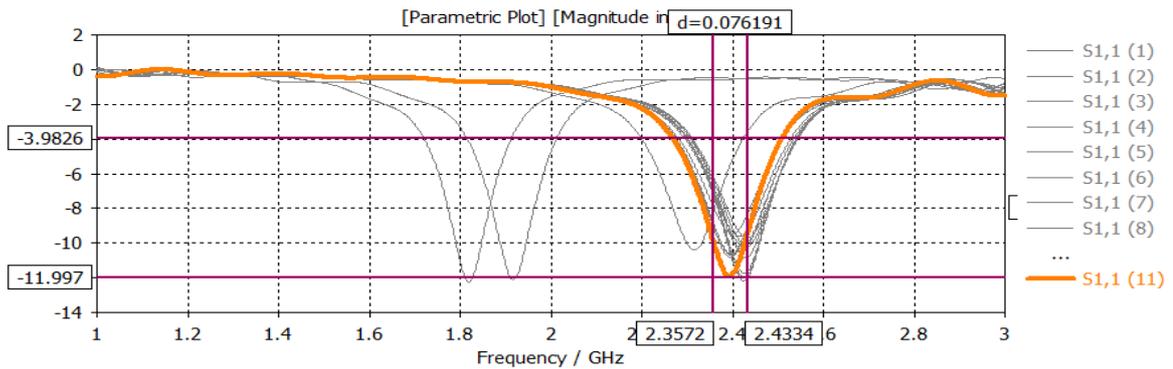


Figure III-5 Coefficient de réflexion S11 .

### Détermination de la largeur de bande

D'après le résultat, nous remarquons que la largeur de bande est :

$$BP=f_2-f_1, \text{ et } FB= BP/f_c, \text{ , } BP=0.076, f_c=2.4\text{GHz}$$

Dans ce cas :  $0.01 < FB = 0.031 < 0.25$

Donc d'après le chapitre 1 on est dans le cas où l'antenne est large bande.

Le diagramme de rayonnement de l'antenne est visualisé en directivité et en gain comme montré par les figures suivantes:

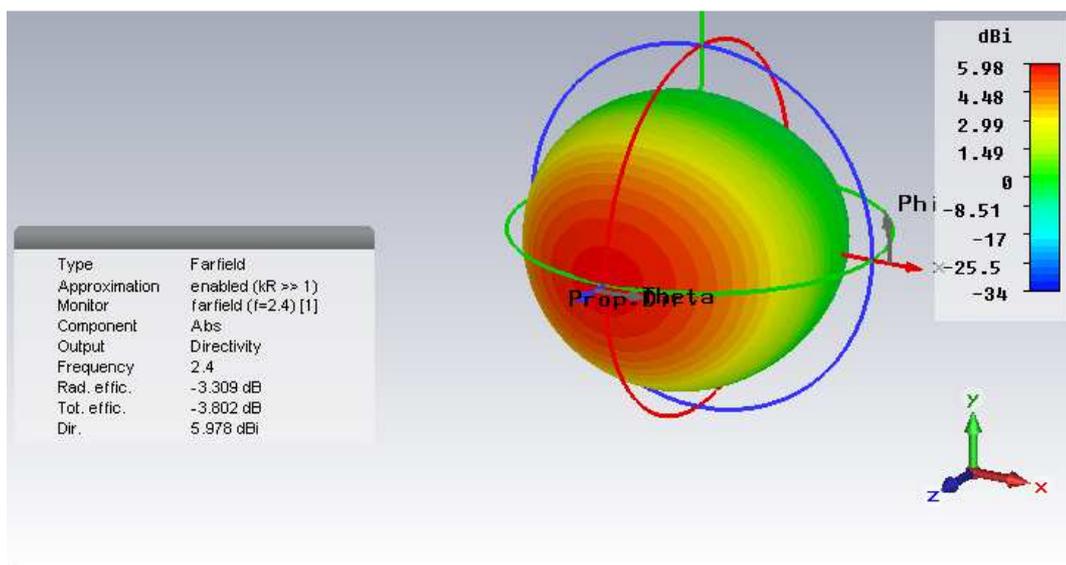


Figure III-6 Diagramme de rayonnement en 3D" Directivité"

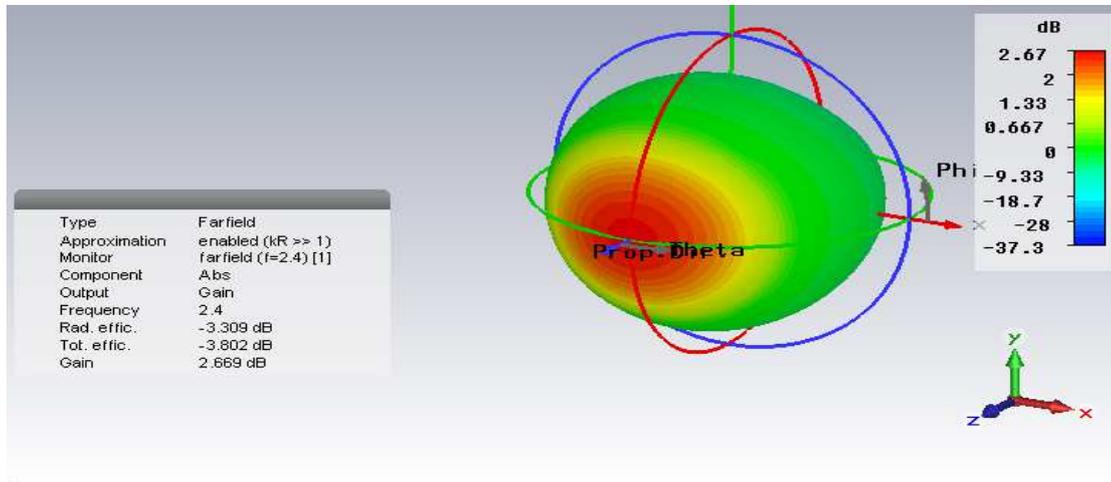


Figure III-7 Diagramme de rayonnement en 3D "Gain"

### III.3.3.2 Etude paramétrique sur le substrat

Afin d’améliorer l’adaptation de notre antenne en gardant sa forme simple, nous avons joué sur la variation de la taille du substrat.-

run ID	Status	lg	lp	ls	wg	wp	w
18	Calculated	45	28.4	45	47.636	38.4	47.636
19	Calculated	47	28.4	47	47.636	38.4	47.636
20	Calculated	48	28.4	48	47.636	38.4	47.636
21	Calculated	47.636	28.4	47.636	47.636	38.4	47.636
22	Calculated	47	28.2	47	47	38.4	47
23	Calculated	47	28.25	47	47	38.4	47
24	Calculated	47	28.3	47	47	38.4	47
25	Calculated	45	28.3	45	47	38.4	47
26	Calculated	45	28.4	45	47	38.4	47
27	Calculated	45	28	45	47	38.4	47
28	Calculated	45	28.25	45	47	38.4	47
29	Calculated	45	28.2	45	47	38.4	47
30	Calculated	42	28.3	42	47	38.4	47
31	Calculated	40.5	28.2	40.5	47	38.4	47
32	Calculated	41.5	28.3	41.5	47	38.4	47
33	Calculated	44	28.3	44	47	38.4	47

Tableau III-3 Etude paramétrique du substrat

Après la variation de plusieurs paramètres notamment ceux du substrat, nous avons obtenu une bonne adaptation de l'antenne à la fréquence de 2.4 GHz, avec un  $S_{11} = -16.61$  dB, donc notre antenne est bien adaptée à cette fréquence.

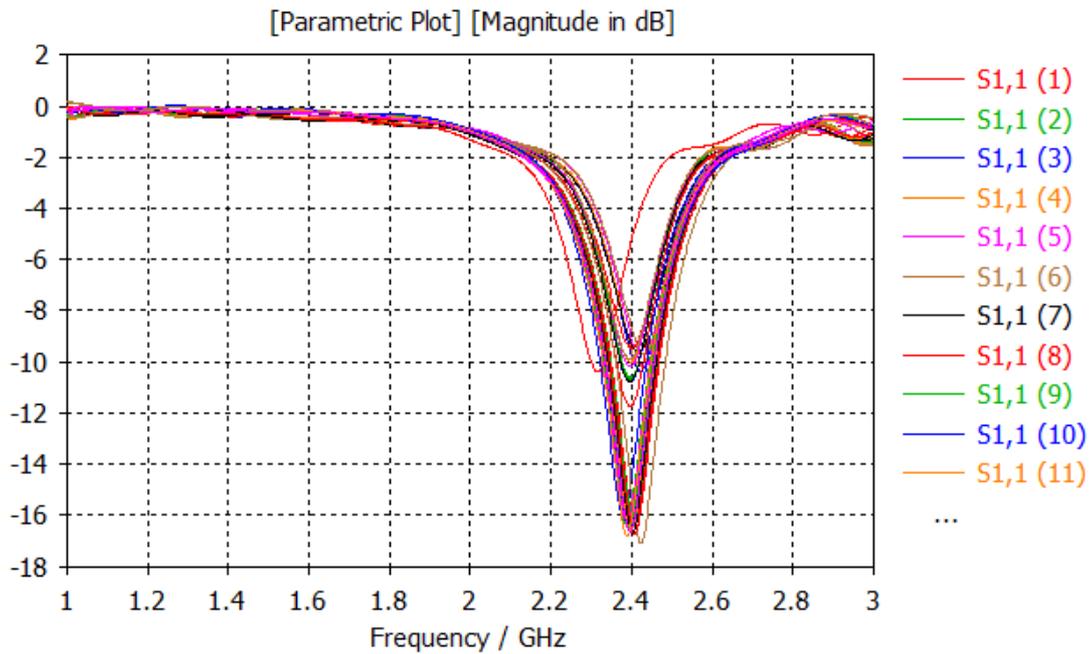


Figure III-8 Coefficient réflexion  $S_{11}$  (l'ensemble de simulations)

La largeur de bande calculée d'après la figure suivante est de 0.04, donc elle est bonne que l'autre bande.

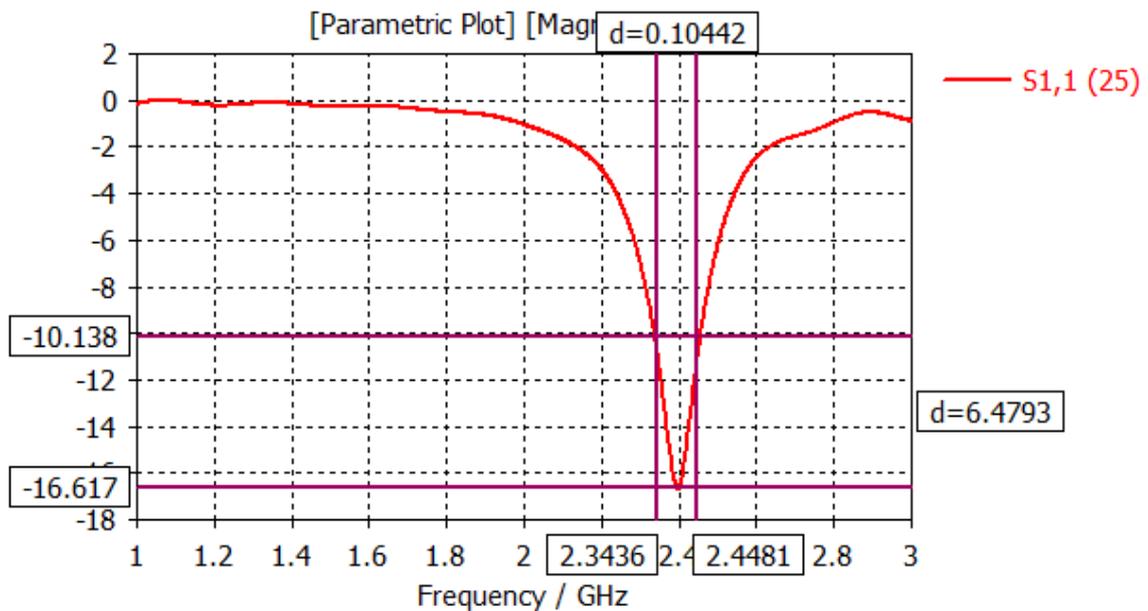


Figure III-9 Coefficient réflexion  $S_{11}$  (meilleure adaptation)

Les diagrammes de rayonnements de l'antenne sont montrés par les figures suivantes, nous voyons bien une amélioration du gain de 0.76 dB par rapport à la première étude:

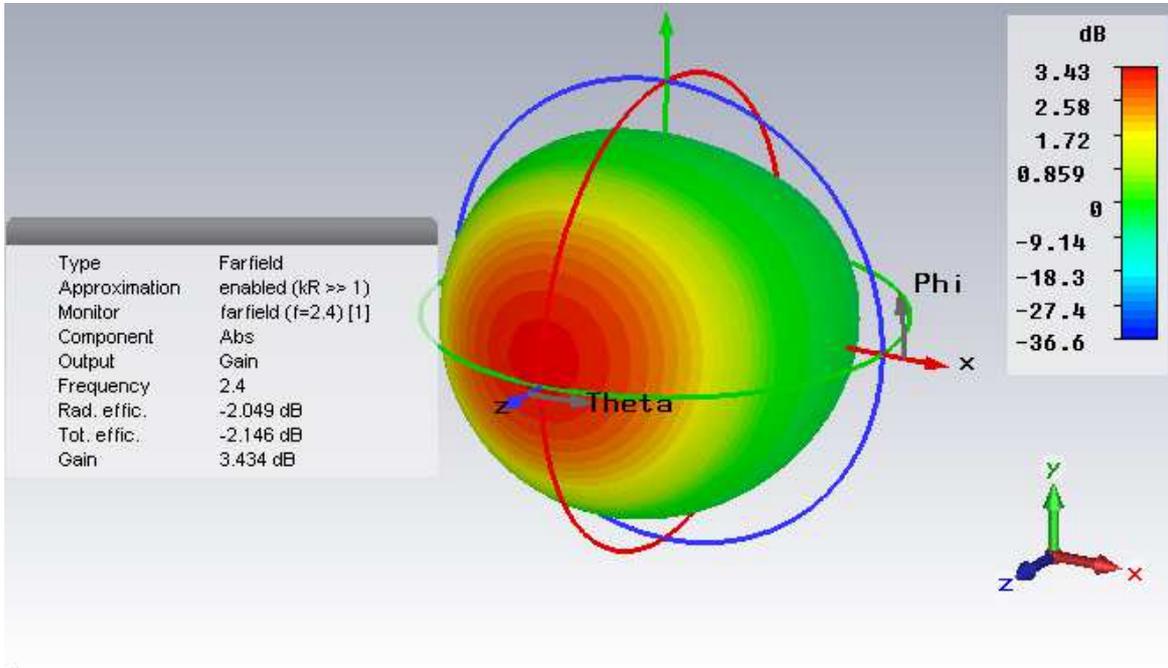


Figure III-10 Diagramme de rayonnement en 3D "Gain"

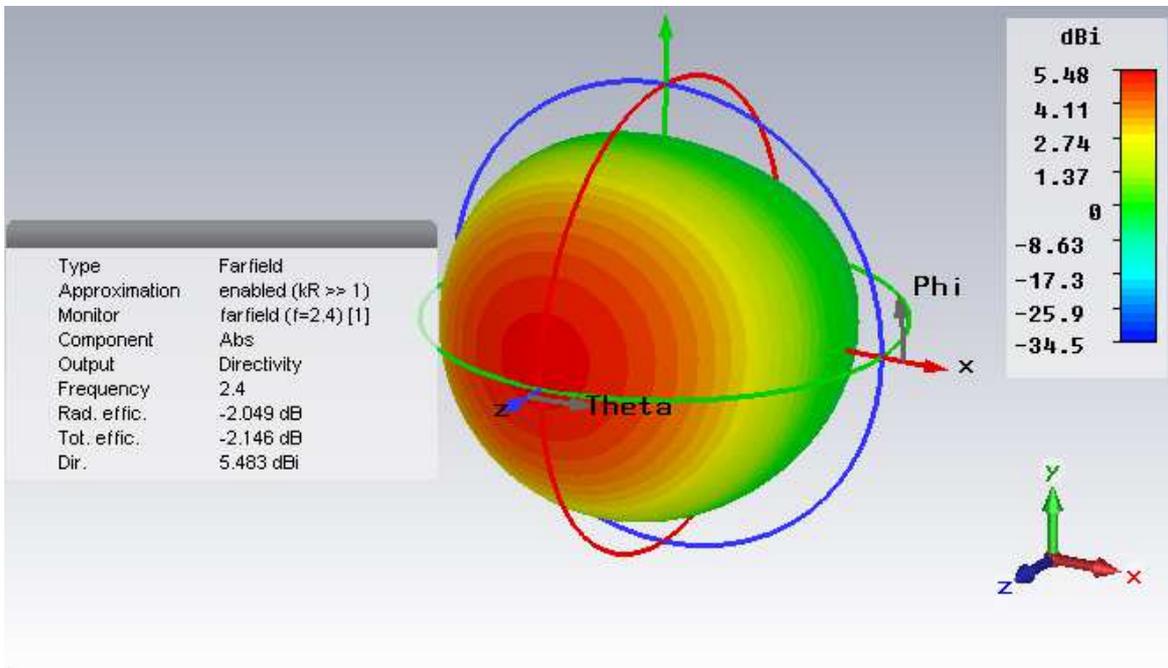
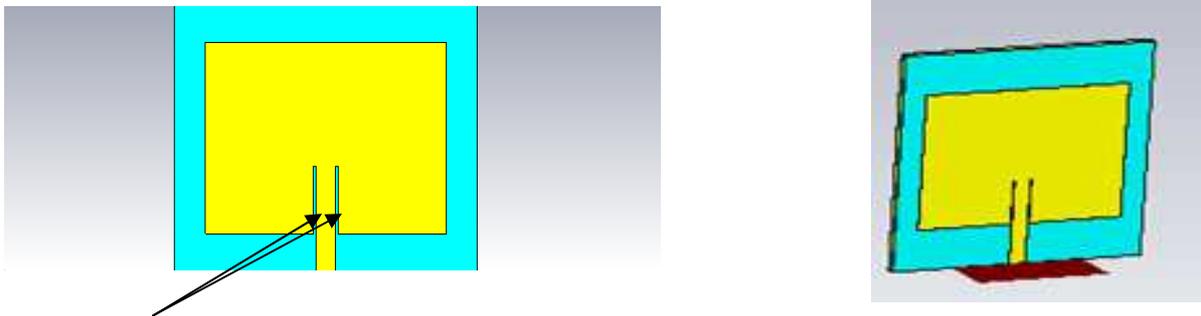


Figure III-11 Diagramme de rayonnement en 3D "Directivité"

D’après les différents essais effectués voir le tableau ci-dessus, nous avons arrivé à aboutir une fréquence de 2.4 GHz mais à un paramètre S11 de -16.61 dB, avec un gain maximal de 3,43 dB et une directivité de 5,48 dBi alors d’après ces résultats obtenus, nous cherchons à une meilleure adaptation, et pour cela, nous allons effectuer une autre étude paramétrique sous CST en essayant la méthode d’une antenne patch avec encoches.

### III.4 Conception d'une antenne patch rectangulaire avec encoche

L'antenne patch rectangulaire avec encoches est donnée par les deux figures suivantes:



Encoches

Figure III-12 Antenne patch étudiée

in ID	Status	Fi	G	Lg	Lp	Ls	Wg	Wp	Ws	S1,1
4	Calculate	9.044	1	70	28.4	70	47.636	38.036	47.636	1DC
5	Calculate	9.044	0.4	70	28.4	70	47.636	38.036	47.636	1DC
6	Calculate	9.2	0.4	70	28.4	70	47.636	38.036	47.636	1DC
7	Calculate	9.2	0.25	70	28.4	70	47.636	38.036	47.636	1DC
8	Calculate	9.044	0.35	70	28.4	70	47.636	38.036	47.636	1DC
9	Calculate	9.5	0.4	70	28.4	70	47.636	38.036	47.636	1DC
10	Calculate	10	0.4	70	28.4	70	47.636	38.036	47.636	1DC
11	Calculate	9.0435	0.203	45	28.3	45	47	38.4	47	1DC
12	Calculate	9.0435	0.6	45	28.3	45	47	38.4	47	1DC
13	Calculate	9.0435	0.4	45	28.3	45	47	38.4	47	1DC
14	Calculate	9.5	0.4	45	28.3	45	47	38.4	47	1DC
15	Calculate	9.04	0.15	45	28.3	45	47	38.4	47	1DC
16	Calculate	9.04	0.1	45	28.3	45	47	38.4	47	1DC
17	Calculate	8.5	0.15	45	28.3	45	47	38.4	47	1DC
18	Calculate	9.5	0.15	45	28.3	45	47	38.4	47	1DC
19	Calculate	9.04	0.15	45	28.4	45	47	38.4	47	1DC
20	Calculate	9.04	0.15	45	28.1	45	47	38.4	47	1DC

Tableau III-4 Essais de simulation

Là aussi nous allons faire une étude paramétrique sur l'ensemble des dimensions de l'antenne à savoir l'ajout de l'insertion de la ligne dans le patch (Fi: feed insertion), et le Gap (espacement entre la ligne et le patch).

D'après les résultats obtenus, nous avons atteint un niveau de coefficient de réflexion de -46,52 dB à une fréquence de 2.43 GHz, et une largeur de passante plus importante par rapport de celle de l'antenne patch simple qui vaut 0.05. Ce résultat est obtenu avec une longueur d'encoche  $F_i = 9\text{mm}$  et une largeur  $G = 0.15\text{mm}$ .

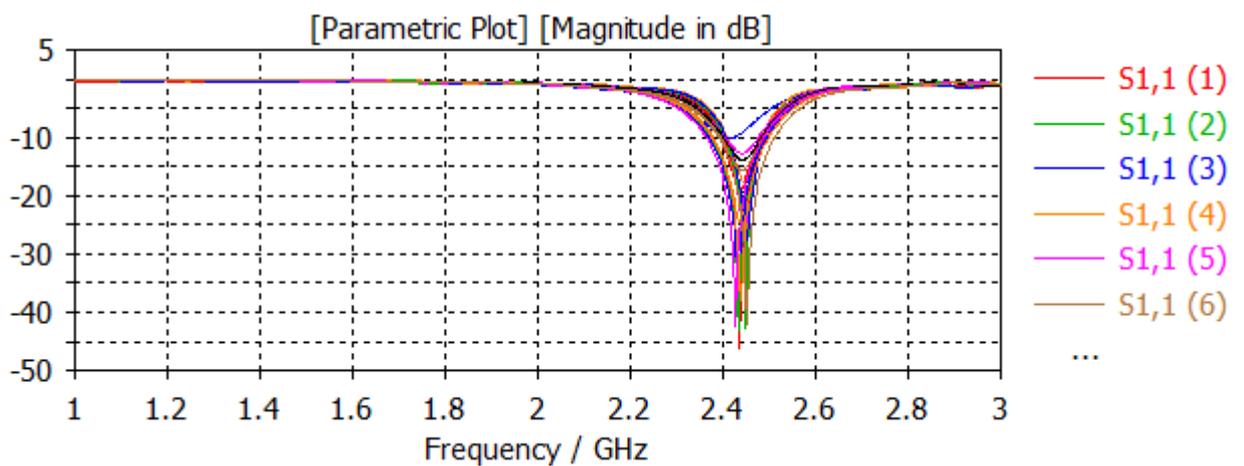


Figure III-13 Coefficient réflexion S11 ( l'ensemble de simulations)

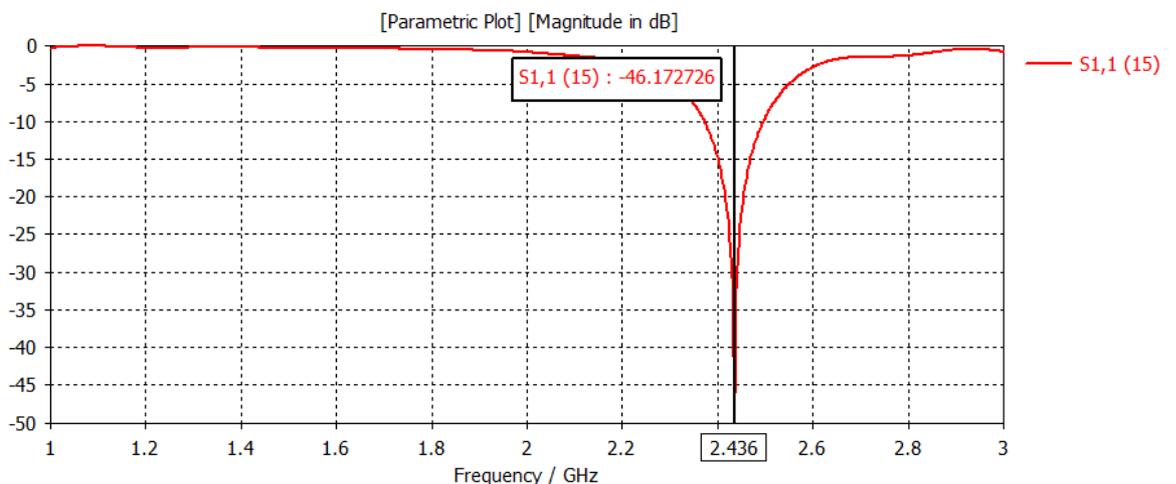


Figure III-14 Coefficient réflexion S11 de l'antenne avec encoche (meilleure adaptation)

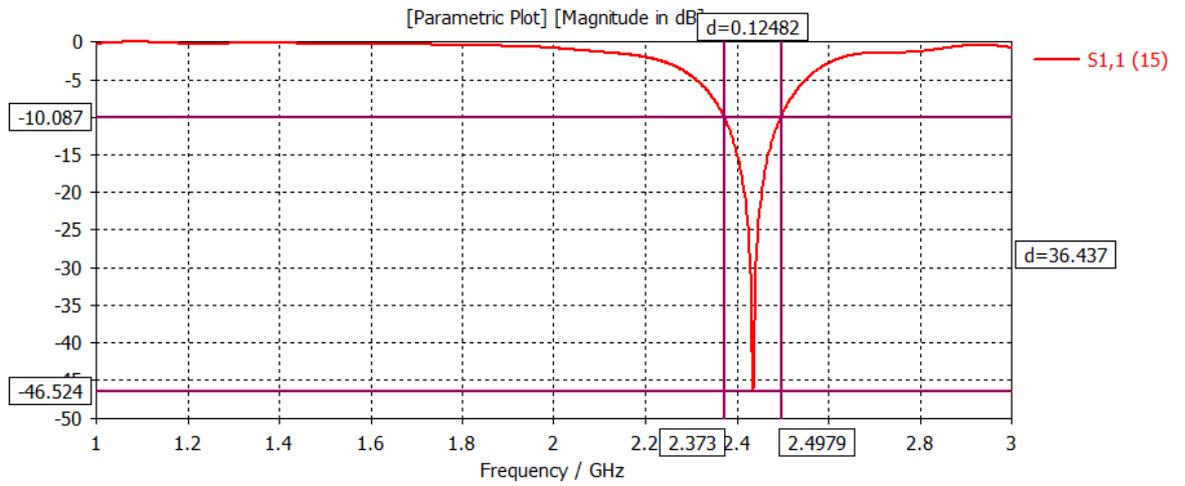


Figure III-15 Coefficient réflexion S11 de l'antenne avec encoche (meilleure adaptation)

La simulation en 3D donne un gain maximal de 3,51 dB qui est meilleur que le gain de l'antenne simple, avec une directivité de 5,5dBi, comme illustré sur les figures:

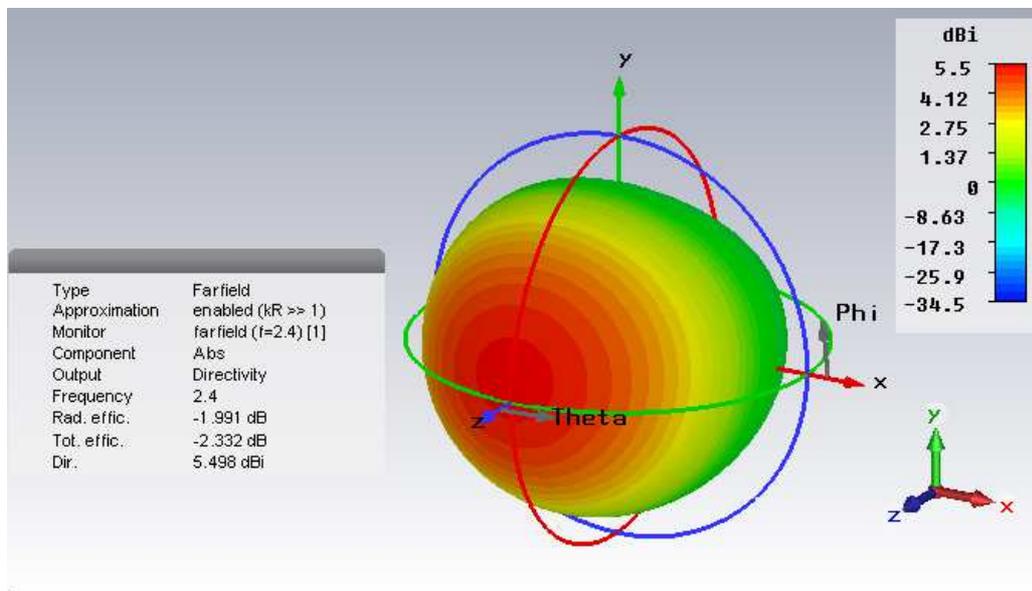


Figure III-16 Diagramme de rayonnement en 3D " Directivité "

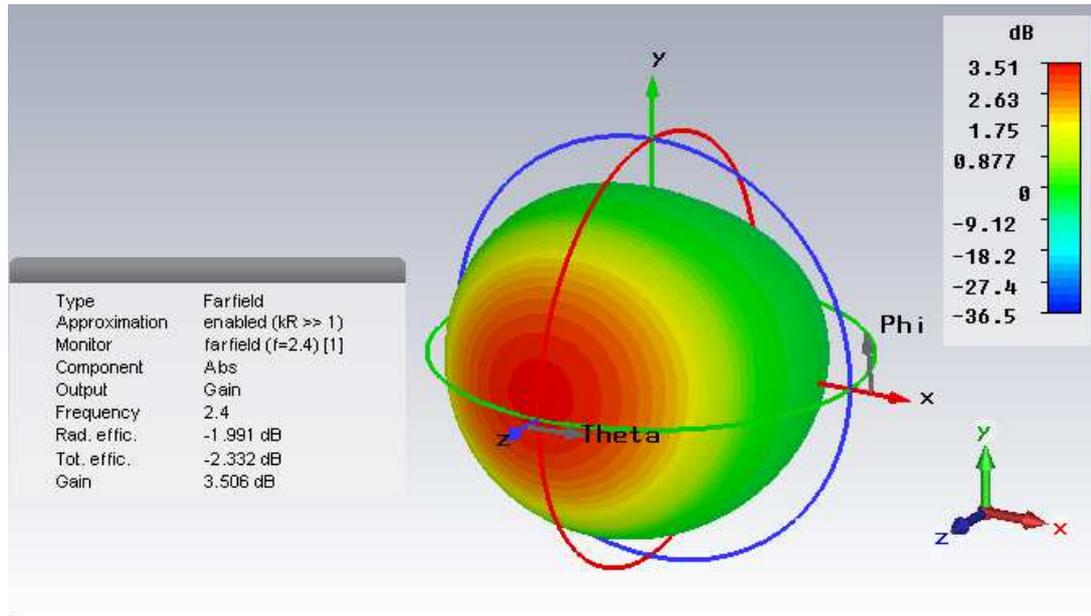


Figure III-17 Diagramme de rayonnement en 3D " gain"

### III.5 Conclusion :

La validation des résultats de simulation d'une antenne patch de forme rectangulaire pour l'application WiFi qui fonctionne à la fréquence 2,4 Ghz, conçue et simulée par le logiciel CST, a fait l'objet de la première partie de notre travail.

Après, nous avons aussi réussi à concevoir une antenne patch en gardant sa forme simple et en jouant seulement sur la variation des valeurs des dimensions des paramètres de l'antenne ainsi que la taille du substrat,

Et pour une amélioration de l'adaptation ainsi que la largeur de la bande passante nous avons essayé un autre mode de résonance en incisant le côté bas du patch en faisant deux fentes aux deux côtés de la ligne d'alimentation, cette méthodologie de conception de l'antenne avec encoches a donné de bons résultats au profit de l'application WiFi large bande.

## *Conclusion générale*

L'objectif de ce travail est la conception d'une antenne imprimée large bande pour les applications WiFi qui fonctionnent dans la fréquence 2,4 GHz.

Pour atteindre notre but, nous avons passé par deux étapes essentielles durant la conception de cette antenne. En premier lieu, une antenne conventionnelle a été simulée sous le logiciel de simulation CST « Computer Simulation Technology ». Cette antenne nous a permis d'atteindre la résonance avec un niveau d'adaptation normal mais elle présente une bande passante légèrement limitée, malgré qu'elle possède un gain, une directivité et un rendement satisfaisants. En deuxième lieu, et pour améliorer les performances de notre antenne nous avons touché sur la forme de rectangle ordinaire qui structure notre antenne. Pour cela, nous avons opté pour une antenne avec encoches. Cette technique est largement utilisée pour la conception d'antennes larges bandes nous avons modifié les dimensions en incisant une fente à chaque côté de la ligne d'alimentation ..

Cette dernière étape de travail avait pour but d'étudier l'influence des dimensions de l'encoche sur les performances de l'antenne patch, qui sont les pertes par réflexion, le gain, la directivité et la bande passante de l'antenne. Alors, de cette méthode là, nous avons pu déterminer les dimensions optimales de l'encoche qui nous permettent d'obtenir une antenne performante propice pour des applications à large bande, caractérisée par une taille conforme pour l'intégration dans les systèmes Wifi, ayant de faibles pertes par réflexion, un gain, une directivité et une bande passante convenables.

## *Références bibliographiques*

- [1] Odile Picon et coll, « Les antennes Théorie, conception et application », Dunod, ISBN 978-2-10-054245-1, Paris,2009.
- [2] AUDON Patrick « Master Recherche Télécommunications Hautes Fréquences et Optiques »,Université de Limoges.
- [3] Support du cours des antennes, première année Master année scolaire 2017-2018
- [4] Martin CORRIVEAU « Modélisation et Conception d'une Antenne Micro-Onde de Type Microruban avec Radome Mai 2006 , Université Du Québec À Trois-Rivières
- [5] KEBAB Redhwane « Conception d’antennes Ultra Large Bande En Technologie Imprim, Magistre,Université Abou Bakr Belkaid - Tlemcen
- [6] Meriem, MEDDOUR, and BENKEDDA.Siham. "Etude et simulation d’une antenne microbande dans la bande WiFi 5 GHz." 2017. GHz Université Kasdi Merbah Ouargla
- [7] F. Daout, S. Jacquet, X. Durocher, G. Holtzmer. « Conception, Simulation, Réalisation et mesure d’une antenne imprimée rectangulaire 2.4 GHz » Paris
- [8] MELIHI Souhila et FENGAL Tine-hinane « Thème Antenne de Téléphonie mobile, caractérisation et optimisation »,Master,2016  
Université ABDERRAHMANE MIRA-Bejaia Faculté
- [9] CHOUTI Leila « Contribution à l’étude d’antennes imprimées rectangulaires double bande et multi bandes tenant compte de l’effet de couplage » UNIVERSITE MENTOURI-CONSTANTINE Session 2009:
- [10] MAHAMAT HASSANE ABDALLAH « Optimisation et conception des topologies d’antennes ULB pour détection des objets », Maste
- [11] Aurélien GERON ,cofondateur et directeur technique du WiFi rst « WIFI Professionnel la norme 802.11,le déploiement , sécurité » -2011-
- [12] BOUKOFTANE Mohamed Amine et NEGADI Ahmed « Etude des Performances de Localisation Wifi » PFE Institut National des Télécommunications et des Technologies de et l’information et de La Communication ORAN

[13] BENDAHMANE Zhor, PFE Master , Centre Universitaire BLHADJ Bouchaib d'Ain Témouchent – 2015-

[14] SIDI ALI MEBAREK Zerrouk « Support de cours »Institut National des Télécommunications et des Technologies de et l'information et de La Communication ORAN

[15] GHRIBI Ahmed « Document/séminaire3 »,Institut National des Télécommunications et des Technologies de et l'information et de La Communication ORAN

[16] A. Kamil, "Conception d'une antenne patch ultra-large bande (3.1 GHz-10.6 GHz)" , grade du Maitreès sciences (M.Sc), Université du Québec,- 2011-.

[17] A.ZAIDI, A.BAGHDAD, A.BALLOUK, A.BADR « Conception et optimisation d'une antenne patch large bande avec encoche pour des applications dans la ban de EHF »

[18] R. Mishra, P. Kuchhal, A. Kumar College of Engineering Studies, University of Petroleum & Energy Studies, Dehradun (India) « Effect of Height of the Substrate and Width of the Patch on the Performance Characteristics of Microstrip Antenna » -2015-