

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



## MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER**

En : Télécommunication

**Spécialité** : Réseau et télécommunication

Par : BENAZZOUZ Ghouti et BENSENANE Ikram

### Sujet

## Conception et réalisation d'une antenne miniature pour l'application LTE

Soutenu publiquement, le 03/07/2019, devant le jury composé de :

Mme. BELHADEF Yamina	MCA	Univ. Tlemcen	Présidente
Mr.KHELLADI Mounir	MCA	Univ. Tlemcen	Examineur
Mr.BOUACHA Abdelhafid	MCA	Univ. Tlemcen	Directeur de mémoire
Mlle.MAHI Sarra	Docteur	Univ. Tlemcen	Co- Directeur de mémoire
Mlle.ZIANI Djamila	Docteur	Univ. Tlemcen	Co- Directeur de mémoire
Mr. DEBBAL Mohamed	MCB	Univ. Ain Temouchent	Invité

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## Remerciement

Ce travail de mémoire a été effectué au Laboratoire de Télécommunications, Département de télécommunications (TTL) de la Faculté de Technologie de l'Université Abou-Bekr-Belkaïd Tlemcen.

Cette recherche s'est réalisée grâce au soutien et à l'encouragement de plusieurs personnes qui ont contribué chacune à leur façon à l'atteinte de l'objectif que constitue le dépôt de ce mémoire. Nous tiens à leurs adresser un très grand merci.

Avant tout, nos remerciements en premier lieu, à الله qui nous a donné la foi, le courage durant ces longues années d'études et la patience de parvenir à finir ce modeste travail.

Nous tenons à remercier particulièrement nos parents ; nos succès demeurés loin le fruit de leurs longues années de sacrifices et de patience.

Nous voudrions exprimer par ce modeste travail notre gratitude, notre reconnaissance, et nos grands remerciements à notre encadrant, Mr « **BOUACHA Abdelhafid** », Maître de conférences à l'Université Abou Bekr-Belkaid-Tlemcen, pour nous avoir proposé ce sujet et pour nous avoir fait bénéficier de ses compétences scientifiques et aussi pour sa disponibilité.

Il n'y a pas de superlatif assez grand pour exprimer profondément nos gratitude à Mlle« **MAHI Sarah** » et Mlle« **ZIANI Djamila** » pour la documentation et l'accompagnement tout au long de ce travail et les conseils fournis. Auxquelles nous adressons nos sincères remerciements de nous guider et épauler avec patience tout au long du temps qu'a pris la réalisation de ce mémoire. Nous les manifestons notre reconnaissance pour la confiance qu'elles ont mise en nous pour tous leurs conseils et toutes les heures qu'elles ont passés pour nous diriger sur la bonne voie et vers les bonnes ressources.

Nous remercions très sincèrement tout particulièrement les membres de jury qui ont accepté d'évaluer et juger notre travail.

Nos remerciements s'étendent également à tous, nos enseignants durant les années d'études.

Enfin, nous ne voudrions pas oublier de remercier toute personne qui nous aidions de loin ou de près à réaliser ce travail.

Merci...

## *Dédicace*

A ma mère **Fatiha**.

A mon père **Youcef**.

A ma famille « **BENAZZOUZ et ZAHZEH** ».

A mon frère **Mehdi**.

A ma fiancée **Yousra**.

A mon binôme **Ikram**.

A tous ceux qui me sont **chers**.

Ghouti

## *Dédicace*

*A ma très chère mère,  
pour son amour et ses encouragements.*

*A mon très cher père,  
qui est le premier soutien pour moi.*

*A mes sœurs, leurs maris et leurs enfants*

*A mon frère et sa femme et ses enfants*

*A toute ma famille*

*A mon très cher binôme*

*A tous mes chères amis (e).*

*Ikrām*

Sommaire	
<b>Liste des figures</b> .....	III
<b>Liste des tableaux</b> .....	V
<b>Liste des abréviations</b> .....	VI
<b>Introduction générale</b> .....	1

---

## Chapitre I

### *Généralité sur les antennes imprimées*

<b>I.1 Introduction :</b> .....	4
<b>I.2 Définition d'une antenne micro ruban :</b> .....	4
<b>I.3 Historique des antennes imprimées :</b> .....	6
<b>I.4 Avantage et inconvénients des antennes patch micro ruban :</b> .....	7
<b>I.5 Mécanisme de radiation :</b> .....	8
<b>I.6 Types d'alimentations :</b> .....	9
I.6.1 Alimentation sans contact : .....	9
I.6.1.1 Alimentation par fente : .....	9
I.6.1.2 Alimentation d'un couplage à proximité : .....	10
I.6.2 Couplage avec contact : .....	11
I.6.2.1 Alimentation de la sonde coaxiale : .....	11
I.6.2.2 Alimentation par la ligne de transmission micro ruban : .....	12
<b>I.7 Caractéristiques d'une antenne :</b> .....	13
I.7.1 Caractéristiques d'adaptation : .....	13
I.7.1.1 Coefficient de réflexion : .....	13
I.7.1.1 L'impédance d'entrée: .....	14
I.7.2 Caractéristiques de rayonnement .....	14
I.7.2.1 Diagramme de rayonnement : .....	14
I.7.2.2 Le gain: .....	15
I.7.2.3 Le rendement: .....	15
<b>I.8 Domaine d'application des antennes imprimées :</b> .....	16
<b>I.9 LTE :</b> .....	16
<b>I.10 Conclusion :</b> .....	18

---

## Chapitre II

### Conception d'antenne patch

<b>II.1 Introduction :</b> .....	19
<b>II.2 Outil de simulation :</b> .....	19
III.2.1 Définition :.....	19
II.2.2 Description des modules à réaliser :.....	20
II.2.3 Cahier de charge :.....	20
<b>II.3 Conception de l'antenne circulaire</b> .....	21
II.3.1 Calcul de rayon du patch :.....	21
II.3.2 longueur de la ligne d'alimentation :.....	21
II.3.3 largeur de la ligne d'alimentation :.....	22
II.3.4 Largeur de l'antenne :.....	22
II.3.5 Longueur de l'antenne :.....	22
<b>II.4 Simulation de l'antenne:</b> .....	23
II.4.1 Etude paramétrique sur les encoches:.....	27
II.4.2 Elargissement de bande.....	27
II.4.3 Optimisation de rayon du patch :.....	32
<b>II.5 Discussion et interprétation des résultats :</b> .....	32
II.5.1 Coefficient de réflexion :.....	33
II.5.2 Rapport d'onde stationnaire (VSWR) :.....	33
II.5.3 Le diagramme de rayonnement et le Gain:.....	34
II.5.4 L'impédance d'entrée :.....	35
II.5.5 Densité de courant :.....	36
II.5.6 L'efficacité :.....	36
<b>II.6 Conclusion</b> .....	37

---

## Chapitre III

### miniaturisation et réalisation d'antenne

<b>III.1 Introduction :</b> .....	41
<b>III.2 Miniaturisation :</b> .....	41
<b>III.3 Avantage et Inconvénient de la miniaturisation :</b> .....	42
<b>III.4 Limites théoriques de la miniaturisation des antennes :</b> .....	42
III.4.1 Facteur de qualité d'une antenne :.....	42

III.4.2 Facteur de miniaturisation : .....	43
<b>III.5 Définition d'une antenne miniature : .....</b>	<b>44</b>
<b>III.6 Les techniques de miniaturisation : .....</b>	<b>44</b>
<b>III.7 La miniaturisation de l'antenne circulaire proposée : .....</b>	<b>45</b>
<b>III.8 Discussion et interprétation des résultats : .....</b>	<b>52</b>
III.8.1 Performance d'antenne miniature : .....	53
<b>III.9 Réalisation d'antenne miniature: .....</b>	<b>57</b>
<b>III.10 Conclusion : .....</b>	<b>59</b>
<b>Conclusion Générale .....</b>	<b>62</b>
<b>Références .....</b>	<b>63</b>

## Liste des figures

### Chapitre I : Généralité sur les antennes imprimées

Figure I.1 : Antenne micro-ruban.....	5
Figure I.2 : Divers formes d'éléments rayonnants .....	6
Figure I.3 : Distribution de charge et de densité de courant.....	8
Figure I.4: Distribution du champ électrique vertical.....	9
Figure I.5: Alimentation par couplage d'ouverture.....	10
Figure I.6 Alimentation par couplage à proximité.....	11
Figure I.7 : Alimentation de la sonde coaxiale.....	12
Figure I.8 Patch avec la ligne d'alimentation.....	12
Figure I.9: Représentation du diagramme de rayonnement d'une antenne.....	15
Figure I.10 : Les bandes du spectre pour la 4G.....	18

### Chapitre II : Conception d'antenne patch LTE

Figure II.1 : L'antenne initiale, (a) patch de l'antenne, (b) plan de masse.....	23
Figure II.2: Le coefficient de réflexion de l'antenne initiale.....	24
Figure II.3: Antenne patch alimenté par ligne micro ruban en utilisant les deux encoches .....	25
Figure II.4 : Alimentation au bord d'antenne patch par une ligne micro ruban en utilisant le transformateur quart-d'onde.....	25
Figure II.5: Zoom in de l'antenne avec deux ces encoches.....	26
Figure II.6: le paramètre S11 après l'ajoute des encoches.....	26
Figure II.7: L'étude paramétrique des encoches.....	27
Figure II.8 : La première encoche sur le plan de masse .....	28
Figure II.9: Le coefficient de réflexion de la première encoche.....	28
Figure II.10: La variation de rayon du demi-circulaire.....	29
Figure II.11: L'étude paramétrique sur la première encoche du plan de masse.....	29
Figure II.12: L'étude paramétrique sur la deuxième encoche de plan de masse.....	30
Figure II.13 : Le plan de masse avec encoches symétriques.....	31
Figure II.14: La deuxième étude paramétrique sur les encoches.....	31
Figure II.15 : le paramètre S11 de l'antenne finale.....	32
Figure II.16 : le coefficient de réflexion S11 en dB.....	33
Figure II.17: Résultat du rapport d'onde stationnaire(VSWR).....	33
Figure II.18: le diagramme de rayonnement en 3D.....	35
Figure II.19: (a), (b), Diagramme de rayonnement polaire pour le plan E et le plan H.....	34
Figure II.20 : L'impédance d'entrée de l'antenne.....	35
Figure II.21: Densité de courant surfacique du patch.....	36

### Chapitre III : Miniaturisation et réalisation d'antenne

Figure III.1: Une miniaturisation de 10% de la taille du patch.....	46
Figure III.2 : Etude paramétrique sur la longueur de la ligne d'alimentation .....	47
Figure III.3: Zoom in de l'antenne avec la fente.....	47
Figure III.4: Illustration du chemin des courants, (a) fente quart d'onde, (b) fente demi-onde.....	48
Figure III.5: le paramètre S11 après l'ajoute de fente.....	49

Figure III.6: Etude paramétrique sur la largeur de fente dans la miniaturisation de 10% .....	49
Figure III.7 : Une miniaturisation de 30% de la taille du patch .....	50
Figure III.8: Etude paramétrique sur la largeur de fente dans la miniaturisation de 30% .....	50
Figure III.9: Une miniaturisation de 40% de la taille du patch .....	51
Figure III.10 : Etude paramétrique sur la largeur de fente dans la miniaturisation de 40% .....	52
Figure III.11: Antenne miniature, (a) face supérieure, (b) face inférieure. ....	53
Figure III.12 : le coefficient de réflexion S11 en dB.....	54
Figure III.13: Résultat du rapport d'onde stationnaire(VSWR).....	54
Figure III.14:L'impédance d'entrée de l'antenne.....	55
Figure III.15: (a), (b) Diagramme de rayonnement plane pour le plan E et le plan H....	56
Figure III.16:Diagramme de rayonnement en 3D.....	56
Figure III.17:Densité de courant surfacique du patch à la fréquence 2.6 GHz. ....	57
Figure III.18 : Antenne imprimée sur la plaque .....	58
Figure III.19:Antenne gravée sur la plaque, (a) Face supérieure, (b) Face inférieure.....	58
Figure III.20: Antenne miniature réalisé, (a) Face supérieure, (b) Face inférieure.....	59

## Liste des tableaux

Tableau I.1 : Quelques bandes de fréquence utilisées pour le LTE

Tableau II.1 : Le cahier de charge

Tableau III.1 : Comparaison entre les caractéristiques d'antenne.

## Liste des abréviations

LTE : Long Term Evolution

IMT : International Mobil Télécommunication

PCS : Professions et catégories socioprofessionnelles

DCS: Distributed Control System

AWS: Apparent Wind Speed

CLR: Conditional Logistic Regressions

GSM: Global System For Mobile Communication

SMH: Signaling Message Handling

OFDMA: Orthogonal Frequency-Division Multiple Access

FDD: Frequency-Division Duplex

QOS: Quality Of Service

MIMO: Multiple-Input Multiple-Output

VSWR: The Voltage Standing Wave Ratio

S11: Coefficient of reflection

ULB : Ultra Large Bande

IR : Impulse Radio

DSP : Densité Spectrale de Puissance

4G : quatrième Génération

CST (MWS) : Computer Science Technology MICROWAVE STUDIO

FIT: FiniteIntegration Technique

HF : Hautes Fréquences

EM: électromagnétiques

WiMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access

HFSS: high-frequency structure simulator

# **Introduction générale**

## Introduction générale

Dans ces dernières années, les systèmes de télécommunications ont connu un développement remarquable marqué surtout par la création de nouveaux standards et aussi une révolution par l'utilisation des antennes imprimées dans plusieurs secteurs de la téléphonie mobile. Ils sont devenus un corps très important de la recherche dans le domaine électromagnétique d'un côté et un excellent conforme pour les différentes applications de la quatrième génération (LTE, LTE-Advanced, WiMAX et Gigabit WiMAX) d'un autre. Ces antennes présentent des caractéristiques très avantageuses en ce qui concerne le poids, le volume, le cout, la simplicité de fabrication et surtout la possibilité de les implanter sur tout type de dispositif électronique. A cause de leur utilisation dans des nombreuses applications les chercheurs mis en évidence un grand intérêt de miniaturiser ses antennes imprimées malgré le défi technologique principal posé par l'intégration d'une antenne dans un petit volume c'est-à-dire de petite taille comparé à la longueur d'onde de fonctionnement en essayant de conserver ses propriétés radioélectrique, notamment en termes d'efficacité et de la bande de fréquence.

L'objectif initial de notre travail est de concevoir une antenne micro-ruban de forme circulaire permettant d'émettre ou de recevoir dans la fréquence 2.6 GHz (fréquence du LTE). La conception de l'antenne est fondée sur une détermination des paramètres géométrique basée sur la théorie des antennes. Avant la réalisation d'une antenne, il se révèle essentiel d'utiliser un simulateur à l'étape de conception et c'est l'outil de simulation CST Microwave Studio qui a été choisi pour l'étude de notre antenne proposée. Ce logiciel permet la facilité de conception et simulation en 3D, de plus, ce logiciel est basé sur la méthode temporelle des intégrales finies (FIT) qui permet la génération des résultats plus proches de la réalité. Le deuxième objectif de cette thèse est d'arriver à miniaturiser l'antenne circulaire initiale tout en gardant son bon fonctionnement. Après la miniaturisation de l'antenne résolue par les techniques de la miniaturisation appliquées aux antennes imprimées, une réalisation pratique est effectuée.

Ce manuscrit est composé de trois chapitres soigneusement présentés ci-dessous.

Dans le **chapitre I**, nous proposons un rappel général sur les antennes imprimées. Nous commençons par un état de l'art sur ces antennes, suivi par leurs définitions, leurs mécanismes ainsi leurs avantages et inconvénients. Par ailleurs, nous présentons les différents types d'alimentation et les caractéristiques fondamentales des antennes. Dans la dernière partie du ce chapitre, nous décrivons brièvement la technologie LTE.

**Le chapitre II** commence d'abord par une présentation du logiciel CST, suivi par la description des différents modules à réaliser et le cahier de charge à compléter. Ensuite nous détaillons la conception de l'antenne circulaire et le calcul de ses paramètres géométriques. Puis nous entamerons la partie simulation afin y arriver a une antenne adaptée à la fréquence LTE. La fin de chapitre est consacrée à la présentation et à l'évaluation des différents résultats obtenus.

**Le Chapitre III** sera entièrement consacré à la miniaturisation de l'antenne circulaire conçue en chapitre II, après une présentation de la miniaturisation, ses avantages, ses inconvénients, ses limites théoriques ainsi que la définition d'antenne miniature. Pour conclure cette miniaturisation, nous devons choisir le meilleur compromis entre la taille et les performances de l'antenne résolue, en nous réalisons notre antenne miniature.

Notre travail est finalisé par une conclusion générale.

**Chapitre I :**  
**Généralités sur les**  
**antennes imprimées**

## I.1 Introduction :

Pour pouvoir améliorer la technologie dans la télécommunication il faudrait remplacer les antennes micro-onde classique dans plusieurs applications comme les télécommunications par satellite, les équipements portatifs et les récepteurs satellites de navigation par les antennes micro-ruban [1].

Dans ce premier chapitre, nous introduisons les généralités nécessaires à la bonne compréhension de l'ensemble des travaux de recherche menés dans le cadre de cette mémoire. Nous commençons par dresser un état de l'art sur les antennes imprimées. Ensuite, nous définirons l'antenne micro-ruban, ses avantages et ses inconvénients ainsi son mécanisme de radiation. En second lieu nous parlerons de ses types d'alimentation, leurs caractéristiques et leurs applications. Ensuite nous présenterons la technologie LTE d'une façon générale et nous terminerons notre chapitre par une conclusion.

## I.2 Définition d'une antenne micro ruban :

Une antenne est généralement utilisée pour la transmission ou la réception des ondes hertziennes et qui peuvent émettre ou recevoir un signal sur des différentes fréquences. L'antenne d'émission joue le rôle de transducteur, il échange la puissance électromagnétique guidée en une puissance rayonnée. D'une façon inverse la puissance rayonnée peut être captée par l'antenne de réception. Dans ce sens, l'antenne se présente comme un capteur et un transformateur de puissance rayonnée en puissance électromagnétique guidée. Les antennes présentent une propriété connue sous le nom de réciprocité c'est-à-dire une antenne utilisée en réception ou en émission avec les mêmes propriétés rayonnantes. Les antennes sont classées en trois grandes catégories d'antenne : les antennes omnidirectionnelles, les antennes directionnelles et les antennes isotropes. Les antennes de la première catégorie ont tendance d'émettre le signal dans toutes les directions tandis que les antennes de la deuxième catégorie privilégient et concentre le signal dans une direction donnée, aussi que isotrope est une antenne fictive, ponctuelle, qui rayonne la même densité de puissance dans toutes les directions de l'espace. La grande majorité des antennes utilisées sont les antennes directionnelles [2].

## Chapitre I : Généralités sur les antennes imprimées

---

Depuis la création des antennes et au cours de son développement, ils existent plusieurs types d'antennes, parmi lesquels nous allons choisir les antennes micro ruban.

L'antenne micro-ruban appelée aussi antenne imprimée ou encore antenne patch [3] est composée d'un patch métallique très mince, appelé élément rayonnant, déposé sur la face supérieure d'un substrat diélectrique de permittivité diélectrique  $\epsilon_r$  et dans la face inférieure est gravé un plan de masse qui peut être partiellement ou entièrement métallisé (figure I.1).

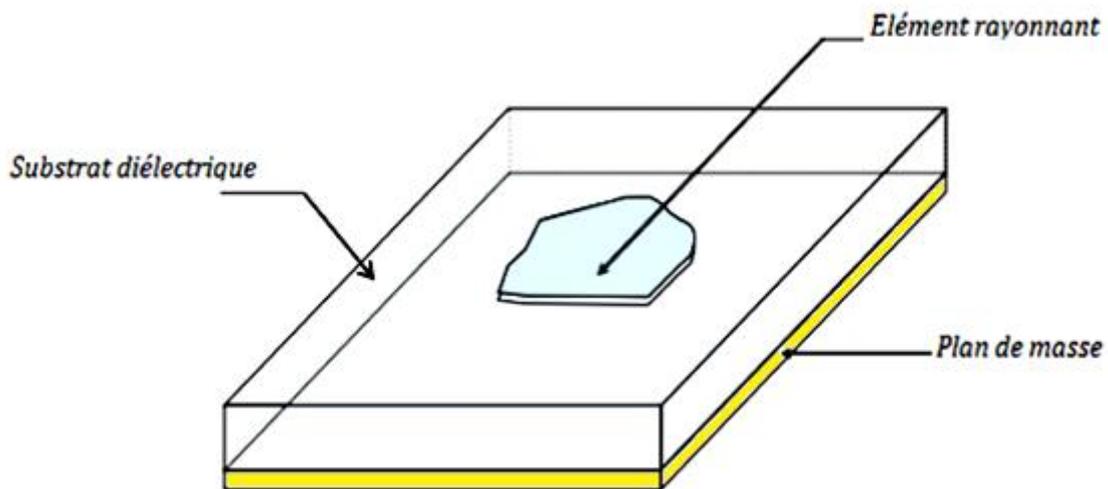


Figure I.1 : Antenne micro-ruban.

L'élément rayonnant de l'antenne peut prendre plusieurs formes [1] tels que la forme rectangulaire, circulaire, elliptique et triangulaire (figure I.2). Ainsi, les dimensions de l'antenne sont déterminées en fonction de la hauteur et la permittivité du substrat ainsi que la fréquence de fonctionnement.

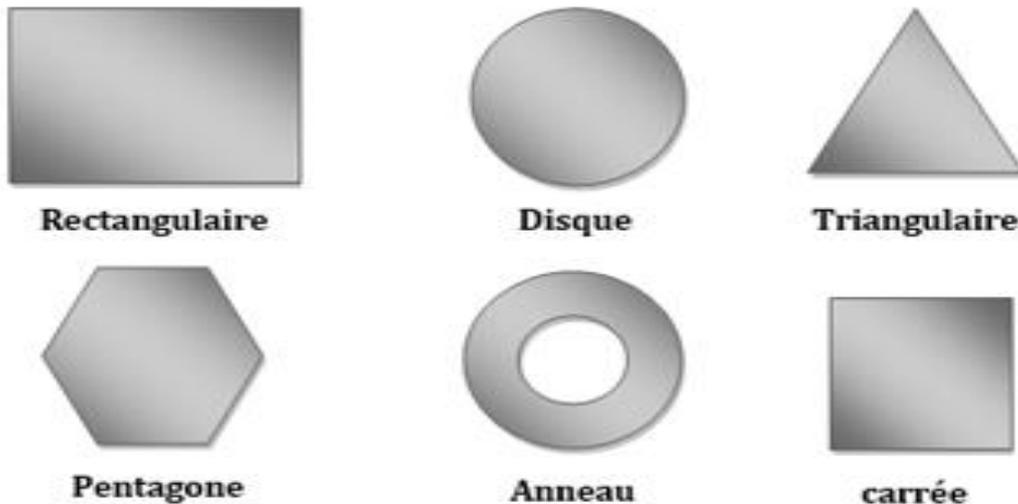


Figure I.2 : Divers formes d'éléments rayonnants

### I.3 Historique des antennes imprimées :

La première conception d'antennes imprimée a été proposée par Deschamps en 1953 aux U.S.A, et en France après 3 ans par Baissinot et Gutton. En 1960 Lewin fait une observation et une étude sur le phénomène de rayonnement provenant des discontinuités dans les strip-lines [4], [5].

Un peu plus tard dans l'année 1970, Byron a décrit une structure planaire qui se compose d'une plaque conductrice imprimée sur un substrat diélectrique avec un  $\epsilon_r \leq 10$  posé sur un plan de masse. Ses premières réalisations étaient essentiellement réservées à des applications militaires. Dans les années 1990, Howel et Munson ont réalisé un véritable passage au stade industriel [4].

En 1994, la majorité des travaux vise à améliorer certains sous-systèmes de cette nouvelle technique. A cette époque, on lui donne plusieurs noms : technologie « sans porteuse », ou en « bande de base » ou encore « technologie impulsionnelle ». Au cours de développement d'antenne, elle touche dans l'année 1989 le terme Ultra Large Bande qui apparaît dans une publication du ministère de la défense aux Etats-Unis. Les travaux concernant cette technologie se sont effectués dans le cadre de programmes confidentiels américains (militaires). Les projets américains ne sont plus confidentiels. Ce fait marquera, d'abord les Etats-Unis puis le monde entier avec une augmentation brillante des travaux de recherches sur la technologie ULB dans l'industrie et les universités et cause ainsi un intérêt important dans

la communauté des communications. Ce terme a été utilisé premièrement en 2002 et il désigne les techniques basées sur l'émission d'impulsions de très courtes durées soit inférieures à la nanoseconde et présentent un très faible rapport entre la durée de l'impulsion et sa période de répétition. Par conséquent, le signal ULB possède une largeur de bande extrêmement grande à une très faible densité spectrale de puissance (DSP) [6].

### **I.4 Avantage et inconvénients des antennes patch micro ruban :**

L'utilisation des antennes imprimées est devenue une évidence grâce à ses différents avantages qui les rendent attrayants pour beaucoup d'applications. Parmi ces avantages nous citons [7] :

- faible poids
- volume réduit
- une forme très simple et robuste
- non encombrantes
- adaptées aux surfaces planes et non planes
- faible coût de fabrication
- Ces antennes peuvent être placées sur les missiles, les fusées et les satellites sans modifications importantes
- L'utilisation de deux fréquences de travail est possible.

Comme elles ont des avantages, elles ont aussi des inconvénients tels que :

- Bande passante étroite
- Gain plus faible cause à des pertes
- L'isolation entre les éléments rayonnants et l'alimentation est faible
- Capacité de manipulation à faible énergie
- Des limitations pratiques sur le gain au maximum à 20dB.

### I.5 Mécanisme de radiation :

Le mécanisme de radiation d'une antenne patch se réalise à partir de sa forme géométrique. Quand on excite la ligne d'alimentation avec une source RF, une onde électromagnétique va se propager sur cette ligne, après elle attaque l'élément rayonnant (de largeur plus grande que la ligne, donc plus facile à rayonner). Une distribution de charge (figure I-3) va s'établir à l'interface substrat/plan de masse sur et sous l'élément rayonnant. Cette distribution va créer un champ électrique vertical (figure I-4) entre le patch et le plan de masse ce qui va provoquer une inversion des phases des composantes verticales du champ électrique sur la longueur de l'antenne et à l'inverse de la précédente des rayonnements qui sont en phase dans le plan de l'antenne est dus aux composantes horizontales des lignes de champ qui entoure l'élément imprimé [8].

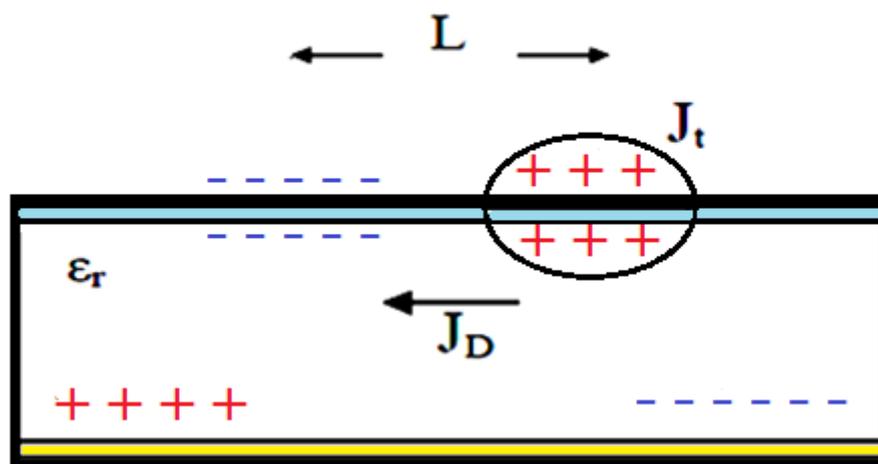


Figure I.3 : Distribution de charge et de densité de courant

Avec :

- $J_D$ : Courant de déplacement.
- $J_t$  : Courant de surface.

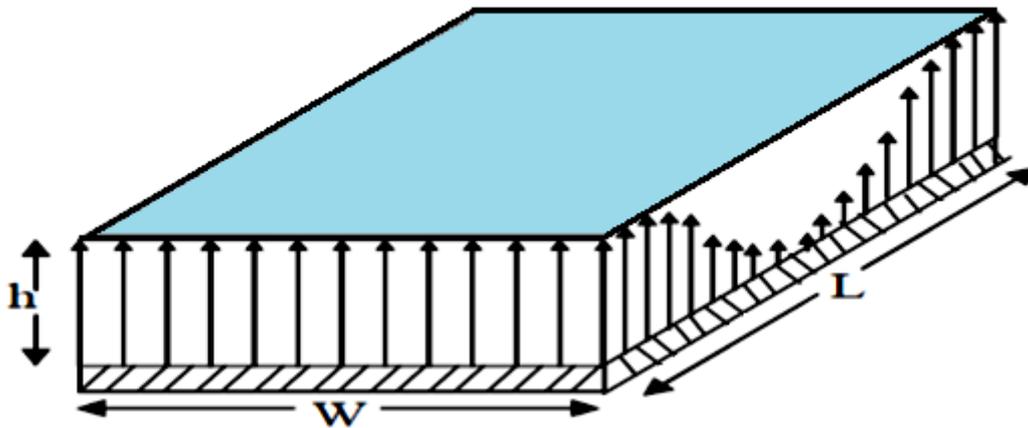


Figure I.4: Distribution du champ électrique vertical.

### I.6 Types d'alimentations :

L'adaptation de l'alimentation de l'antenne est une phase cruciale pour garantir un transfert maximal de l'énergie. Il existe dans la littérature des divers types d'alimentation qui sont classées en deux catégories : alimentation avec contact et sans contact.

#### I.6.1 Alimentation sans contact :

L'alimentation sans contact utilise le couplage de champ électromagnétique pour transférer la puissance au patch [1], cette catégorie comporte deux types d'alimentation:

##### I.6.1.1 Alimentation par fente :

L'antenne alimentée par fente (figure I.5) se compose de deux substrats de deux différentes permittivités diélectriques dont la face inférieure du premier substrat supporte une ligne de transmission et sur sa face supérieure un plan de masse avec une fente est posé. En dessus de ce dernier un deuxième substrat est placé comportant le patch sur sa face sup. Cette technique permet d'alimenter le patch par couplage à travers la fente du plan de masse qui est centré sous ce patch. Cette alimentation [1] souffre d'une bande passante trop étroite et son avantage qu'elle est facile à modéliser.

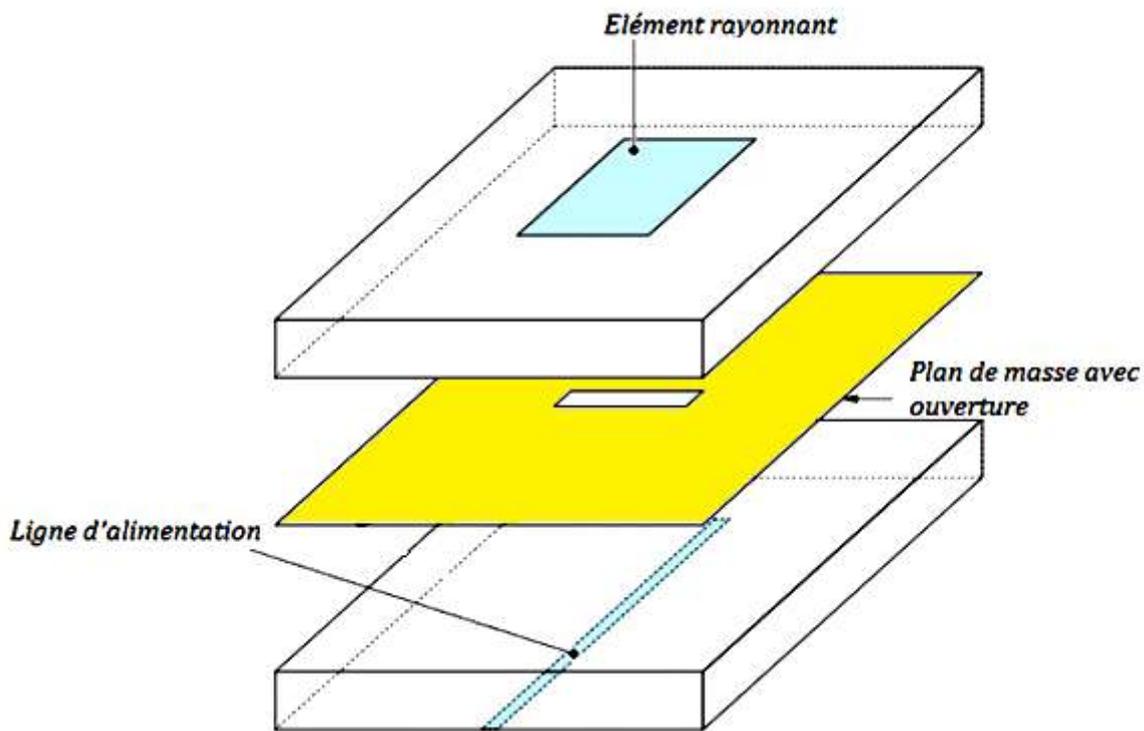


Figure I.5: Alimentation par couplage d'ouverture.

### I.6.1.2 Alimentation d'un couplage à proximité :

Dans cette alimentation (figure I.6), la ligne micro ruban est installée entre deux substrats. Le substrat supérieur comporte le patch. Ainsi le plan de masse se trouve sur la face inférieure de deuxième substrat. Le transfert d'énergie est effectué par couplage entre la ligne d'alimentation et le patch. Ce couplage peut être optimisé par l'ajustement des dimensions de la ligne. Parmi les avantages de ce couplage est l'affaiblissement du rayonnement parasite et son grand inconvénient qu'il réside dans sa difficulté à mettre en œuvre [1].

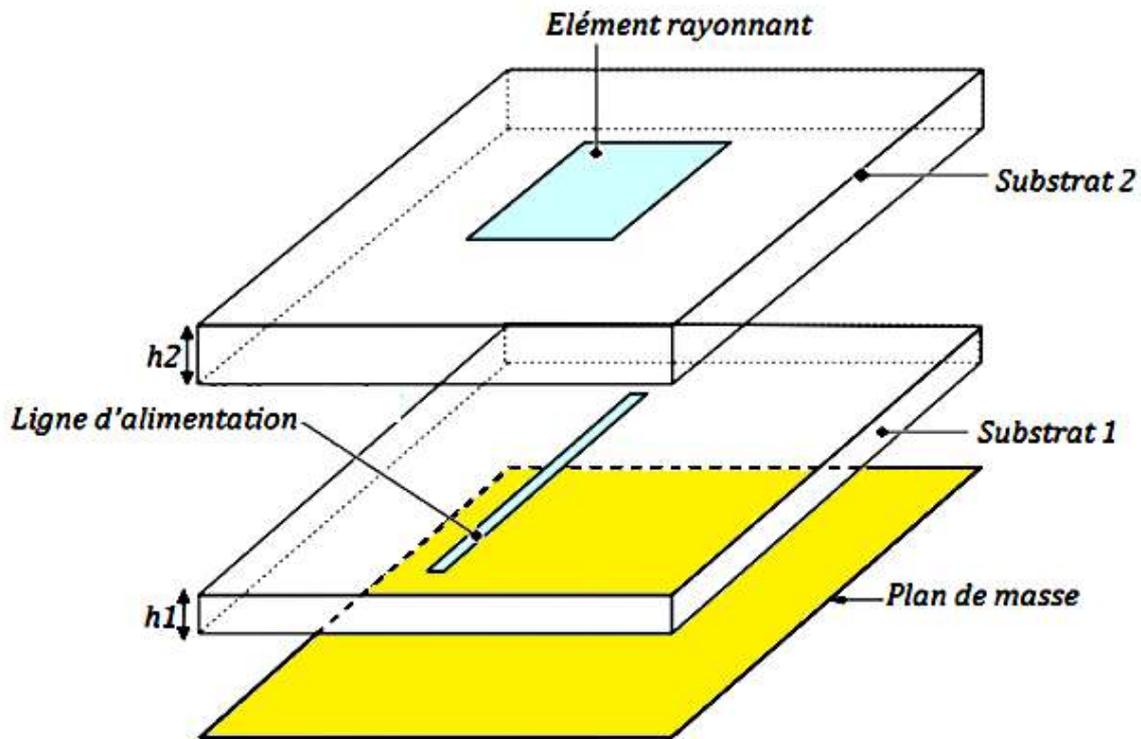


Figure I.6 Alimentation par couplage à proximité.

### I.6.2 Couplage avec contact :

Cette catégorie d'alimentation permet un contact direct entre la ligne de transmission et la surface rayonnante [1]. Nous distinguons deux types d'alimentations avec contact :

#### I.6.2.1 Alimentation de la sonde coaxiale :

Dans cette alimentation (figure I.7), le conducteur externe du connecteur coaxial est relié au plan de masse et le connecteur intérieur est relié au patch. Sa bande passante étroite et la difficulté de la modélisation notamment pour des substrats épais cause un grand peine pour cette alimentation. Parmi ses avantages, elle peut être appliquée à n'importe quel emplacement du patch [1].

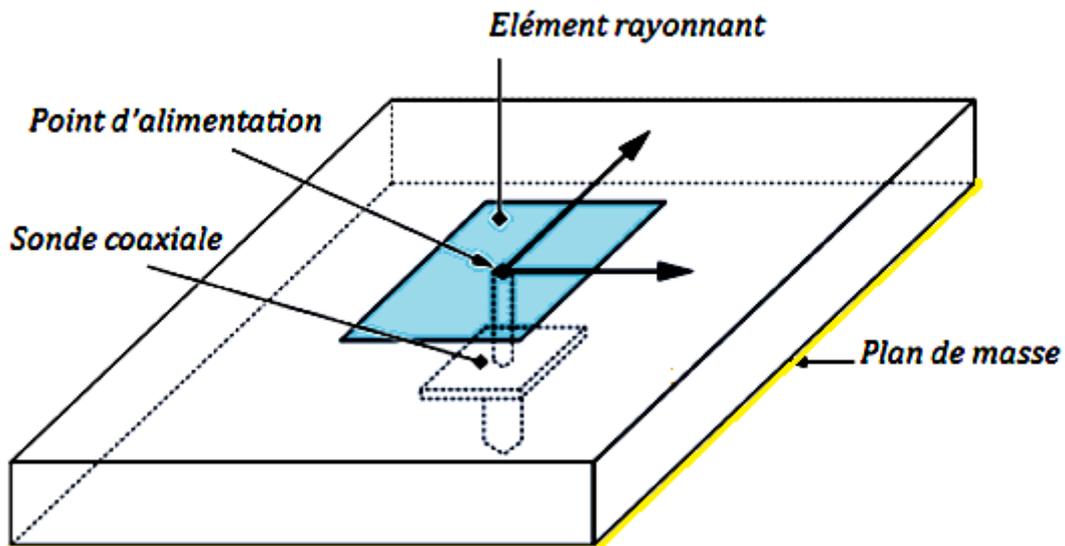


Figure I.7 : Alimentation de la sonde coaxiale.

### I.6.2.2 Alimentation par la ligne de transmission micro ruban :

Cette alimentation porte une ligne micro ruban a une largeur plus petite que le patch qui doit être connecté avec eux et seront poser sur un substrat diélectrique porte sur sa face inférieur un plan de masse (figure I.8). Cette alimentation est très facile à fabriquer vu le coût de fabrication et à adapté en contrôlant la position de la ligne mais elle provoque un rayonnement parasite qui peut être important [1].

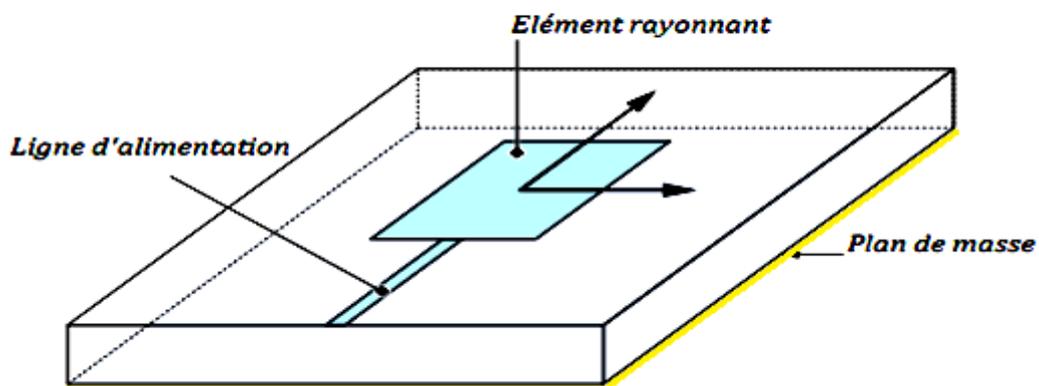


Figure I.8 Patch avec la ligne d'alimentation.

Pour chaque technique d'alimentation il y'a des inconvénients comme il y'a des avantages. Dans le cadre de notre thèse nous avons choisi la technique d'alimentation par une ligne micro ruban car elle procède d'une technologie plus simple par gravure sur la même face de l'antenne et du circuit d'alimentation et elle donne une meilleure fiabilité.

### I.7 Caractéristiques d'une antenne :

Pour évaluer la performance de n'importe qu'elle antenne fonctionnant dans n'importe qu'elle fréquence, plusieurs caractéristiques sont prises en compte. Parmi ces caractéristiques telles que nous les récapitulons. Il existe des caractéristiques d'adaptation où l'antenne est évaluée comme un circuit électrique et des caractéristiques de rayonnements.

#### I.7.1 Caractéristiques d'adaptation :

Ces caractéristiques sont essentielles pour savoir les qualités d'adaptation de l'antenne. Et ils sont donné comme ce suit :

##### I.7.1.1 Coefficient de réflexion :

Le coefficient de réflexion d'une antenne représente le rapport de la puissance réfléchi à l'entrée de l'antenne et la puissance émise. L'équation du coefficient de réflexion est exprimée par [9] :

$$S_{11} = \frac{(Z_e(f) - Z_0)}{(Z_e(f) + Z_0)} \quad (I-1)$$

Avec :

- $Z_e$  est l'impédance d'entrée de l'antenne
- $Z_0$  est l'impédance caractéristique (Généralement égale à 50  $\Omega$ )

Le coefficient de réflexion permet de connaître la qualité d'adaptation d'une antenne. En effet, plus son module tend vers l'infini négatif en dB, plus l'antenne est adaptée. Souvent, la fréquence de résonance d'une antenne est celle où le coefficient de réflexion est minimal.

## I.7.1.1 L'impédance d'entrée:

L'impédance d'entrée de l'antenne est l'impédance vue de la part de la ligne d'alimentation au niveau de l'antenne [10]. Cette impédance est donnée par la formule :

$$\mathbf{Z_e} = \mathbf{Z_0} \frac{(1 + \mathbf{S_{11}})}{(1 - \mathbf{S_{11}})} \quad (\text{I-2})$$

Où

- $Z_0$  est l'impédance caractéristique de la ligne d'alimentation.
- $S_{11}$  est le coefficient de réflexion.

## I.7.2 Caractéristiques de rayonnement

L'antenne est un élément fondamental dans un système radioélectrique, et ses caractéristiques comme le diagramme de rayonnement, le gain et le rendement influencent directement les performances de qualité et de portée du système.

### I.7.2.1 Diagramme de rayonnement :

Le diagramme de rayonnement présente les changements de la puissance rayonnée par l'antenne dans les différentes directions de l'espace, il indique les directions dans lesquels la puissance rayonnée est maximale [11]. Le diagramme de rayonnement (figure I.9) peut être représenté soit en distribution 3D qui nous permet une meilleure visualisation du lobe principal et des lobes secondaires, soit en 2D en une représentation polaire ou cartésienne.

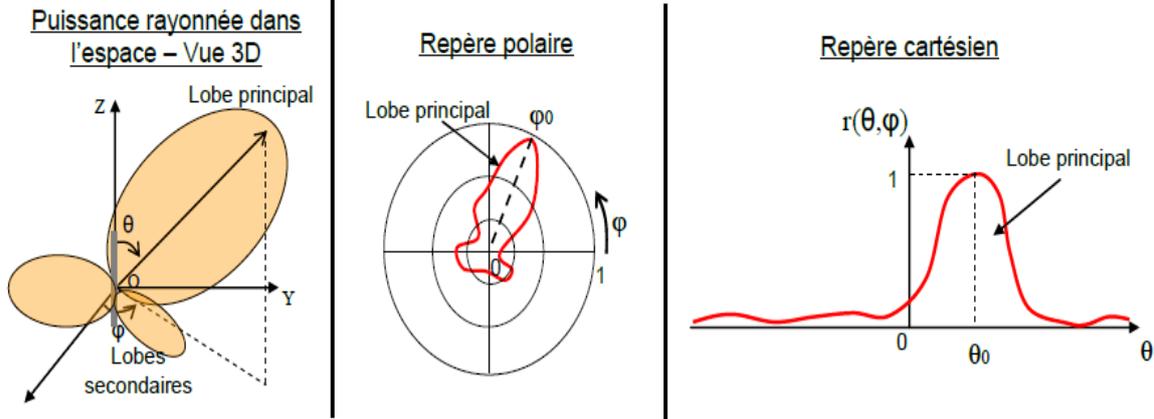


Figure I.9: Représentation du diagramme de rayonnement d'une antenne.

### I.7.2.2 Le gain:

Le gain représente le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction et la puissance rayonnée par une antenne isotrope sans perte, il est exprimé en dB et présenté par l'équation suivante [11] :

$$G(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{P(\theta, \varphi)}{P_a} \quad (I-3)$$

Avec:

- $P(\theta, \varphi)$ : Puissance rayonnée dans une direction.
- $P_a$ : Puissance rayonnée par l'antenne.

### I.7.2.3 Le rendement:

Le rendement d'une antenne ou également appelé efficacité est le rapport entre la puissance totale rayonnée et la puissance d'alimentation de cette antenne. Il est exprimé pareillement en fonction du gain et directivité [10].

$$\eta = \frac{P}{P_a} = \frac{\text{Gain}}{\text{Directivité}} \quad (I-4)$$

Avec:

- $P$ : Puissance totale rayonnée.

- Pa: Puissance d'alimentation de l'antenne.

### I.8 Domaine d'application des antennes imprimées :

Vu l'avancement technologique dans les télécommunications, les antennes micro ruban trouve leur place et dominent ce secteur de communication [12]. Parmi les applications de ces antennes, nous pouvons citer :

- Les télécommunications par satellites.
- La commande et le contrôle.
- La télémétrie par missile, guidage des missiles et télédétection.
- Les équipements portatifs.
- Les antennes d'émission utilisées en médecine.
- Les récepteurs satellite de navigation.
- Les radars.

L'antenne patch est de plus en plus utilisée dans plusieurs domaines, très demandé dans le secteur de la téléphonie mobile (LTE) et surtout dans les normes de téléphonie mobile moderne.

### I.9 LTE :

Le LTE (Long Term Evolution) est une technologie très avancée dans la communication radio mobile proposée par l'organisme 3GPP en 2004. Cette technologie utilise la méthode d'accès OFDMA et les divisions fréquentielle et temporelle (FDD, TDD) pour l'accès aux canaux de fréquences. La couverture de la cellule atteint les 5 KM avec une capacité entre 200 à 400 utilisateurs. Sa mobilité supportée égale à 350 Km/h. Ce réseau utilise la technologie d'antennes multiples MIMO (Multiple-Input Multiple-Output), ce qui permet d'avoir des débits de 75 Mbit/s dans le sens montant et 300 Mbit/s dans le sens descendant. La vitesse de téléchargement est de 100 Mbit/s pour un utilisateur en mouvement et de 1 Gbit/s en mode stationnaire [13]. Le LTE à un coût de service et consommation d'énergie avec une sécurité trop élevé donc le LTE assure une meilleure qualité de service (QoS).

Si nous parlons sur les bandes de fréquence, des bandes supplémentaires par rapport à la 3G doivent être couvertes. Ainsi, un déploiement dans la bande 700 MHz est prévu en Amérique

## Chapitre I : Généralités sur les antennes imprimées

du Nord, dans les bandes 900 MHz, 1800 MHz, 2600 MHz en Europe, 1800 MHz et 2600 MHz en Asie, 1800 MHz en Australie. La Chine, le Japon et Taïwan ont également fait le choix de bandes avec support de duplex temporel dit TDD (Time Division Duplex) : ce sont similaires à celles utilisées par les autres pays en 4G, mais ajoutent des bandes de fréquences entre 2300 et 2400 MHz, et entre 3400 et 3800 MHz. Cependant, ce déploiement est prévisionnel et il est difficile d'affirmer avec certitude quelles seront les bandes utilisées dans le futur [14]. Ces bandes de fréquence et leur nom ainsi que sa voie montante et descendante sont présenté sur le tableau suivant :

<b>Numéro de la bande fréquentielle</b>	<b>Bande de fréquence (MHz)</b>	<b>Nom</b>	<b>Voie montante (TX) (MHz)</b>	<b>Voie descendante(RX) (MHz)</b>
1	2100	IMT	1920-1980	2110-2170
2	1900	PCS	1850-1910	1930-1990
3	1800	DCS	1710-1785	1805-1880
4	1700	AWS	1710-1755	2110-2155
5	850	CLR	824-849	869-894
6	800		830-840	875-885
7	2600	IMT-E	2500-2570	2620-2690
8	900	GSM	880-840	925-960
9	1700		1749,9-1784,9	1844,9-1879,9
10	1700		1710-1770	2110-2170
11	1500		1427,9-1447,9	1475,9-1495,9
12	700	SMH	698-716	728-746
13	700	SMH	777-787	746-756
14	700	SMH	788-798	758-768

Tableaux I.1 : Quelques bandes de fréquence utilisées pour le LTE

Si nous assemblons les bandes de fréquences à couvrir dans le cadre de la 4G, nous pouvons déduire que les 5 bandes à couvrir sont les suivantes (figure I.10):

## Chapitre I : Généralités sur les antennes imprimées

---

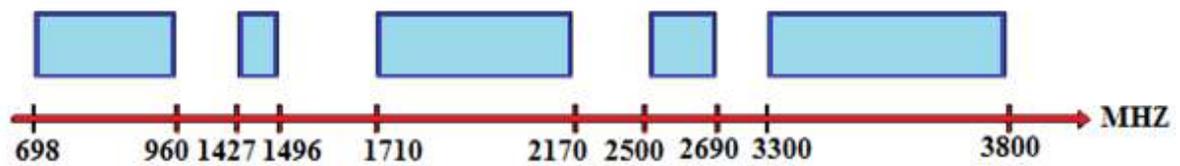


Figure I.10 : Les bandes du spectre pour la 4G.

### I.10 Conclusion :

Ce chapitre introductif nous a permis d'avoir une vue d'ensemble sur les antennes imprimées. Nous commençons par donner une définition de base de l'antenne imprimée suivi par un bref historique sur ces antennes. Ainsi, les avantages, le mécanisme de radiation, les techniques d'alimentations et les caractéristiques des antennes micro-ruban ont été également détaillés dans ce chapitre. La dernière section a été consacrée à une présentation globale de la technologie LTE.

Le prochain chapitre sera consacré à la conception d'une antenne patch destinée à une application de la technologie LTE.

**Chapitre II:**  
**Conception de l'antenne**  
**patch LTE**

### II.1 Introduction :

La conception d'une antenne réalisée à l'aide d'un logiciel adapté, est une phase incontournable dans un souci de gain de temps et d'optimisation de structure aux paramètres désirés. Elle permet également de prendre en compte les paramètres diélectriques et conducteurs des matériaux choisis et de nous rapproché des futures antennes réalisées. Pour cela, nous avons choisi le logiciel de simulation électromagnétique CST MICROWAVE STUDIO (MWS), qui se caractérise par son analyse rapide et précise des structures haute fréquence (HF) tels que les antennes.

L'objectif de chapitre est de concevoir une antenne imprimée pour une application LTE à l'aide de l'outil CST. Dans ce contexte nous présenterons en premier lieu le logiciel CST MICROWAVE STUDIO (MWS), suivi par la description des différents modules à réaliser, ensuite nous définirons notre cahier de charge afin de formaliser notre étude. En second lieu nous détaillons la démarche adoptée pour déterminer les paramètres géométriques du motif imprimé (antenne circulaire) en se basant sur la théorie des antennes. En fin, pour évaluer l'antenne conçue, une étude de performance en termes de coefficient de réflexion, taux d'onde stationnaire, diagramme de rayonnement, gain, directivité, impédance et d'efficacité est effectué et les résultats sont analysés.

### II.2 Outil de simulation :

#### III.2.1 Définition :

CST MICROWAVE STUDIO (Computer Science Technology « CST ») est un logiciel spécialisé pour la simulation électromagnétique en 3D des composantes hautes fréquences (HF) tels que les antennes, les filtres et les coupleurs. Les simulations sous CST MWS sont basées sur la technique des intégrales finies (FIT: Finite Integration Technique), pour déterminer les solutions aux problèmes électromagnétiques (EM) régis par les équations de Maxwell sous formes intégrales [15].

Les avantages se présentent pour ce logiciel, et qui résident dans les points suivants :

## Chapitre II: Conception d'une antenne patch

- Quelle que soit la technologie demandée, il y a une possibilité de traiter toutes sortes de structures homogènes et inhomogènes.
- Le logiciel exige des moyens informatiques importants.
- Les calculs nécessitent la résolution de systèmes matriciels de grandes dimensions.
- Il faut d'abord bien maîtriser le logiciel avant d'entamer le projet, surtout si ce projet contient des opérations compliquées, il s'agit de concevoir des structures n'ayant pas une forme géométrique bien déterminée. Aussi aux conditions aux limites pour éviter le conflit entre une surface de radiation et une surface conductrice.

Ce logiciel présente aussi des inconvénients comme :

- La durée de la simulation est reliée par le volume du projet, alors elle peut prendre des heures si le projet est proportionnellement grand.

### II.2.2 Description des modules à réaliser :

Pour un premier accès les dimensions du patch vont être calculées en fonction des caractéristiques du substrat (permittivité relative  $\epsilon_r$ , l'épaisseur  $h$ ) et le choix de la fréquence de résonance (2.6 GHz). L'alimentation sera faite à l'intermédiaire d'une ligne micro-ruban. En faisant appel à la bibliothèque de logiciel CST MWS, nous choisissons le type de matériaux utilisé.

### II.2.3 Cahier de charge :

Ce projet consiste à réaliser une antenne patch microstrip à une fréquence LTE (2.6 GHz). Le cahier de charge (tableaux II.1) nous impose les valeurs caractérisant des différents éléments de l'antenne.

Le type de matériaux	Les composants d'antenne	Hauteur (mm)	Permittivité diélectrique
CEM-1(Lossy)	Substrat	1.58	4.4
Copper (annealed)	Plan de masse et le patch	0.035	-

Tableau II.1 : Le cahier de charge

### II.3 Conception de l'antenne circulaire

#### II.3.1 Calcul de rayon du patch :

Nous avons calculé le rayon de l'antenne patch circulaire à partir des équations (II.1) et (II.2) [16] et nous obtenons par conséquent un rayon  $a$  du patch qui est égale à 15.6 mm :

$$a = \frac{F}{\left( \left\{ 1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r F} \left[ \ln \left( \frac{F\pi}{2h} \right) + 1.7726 \right] \right\}^{1/2} \right)} \quad (\text{II.1})$$

D'où le facteur  $F$  :

$$F = \frac{8.791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{II.2})$$

Avec :

- $f_r = 2.6$  GHz [Fréquence de résonance].
- $\epsilon_r = 4.4$  [permittivité relative].
- $h = 1.58$  mm [l'épaisseur du substrat]

#### II.3.2 longueur de la ligne d'alimentation :

Généralement la longueur de la ligne d'alimentation est de l'ordre de la demi-longueur d'onde (équation (II.3) [16]), pour notre antenne, elle est d'environ 57 mm.

$$L_L = \frac{\lambda}{2} = \frac{C}{2F} \quad (\text{II.3})$$

Avec :

- $C$  : C'est la vitesse de la lumière.
- $\lambda$  : La longueur d'onde.
- $F$  : La fréquence de résonances.

### II.3.3 largeur de la ligne d'alimentation :

Pour adapter l'antenne à son alimentation, la largeur de la ligne est déterminée en fonction de l'impédance caractéristique ( $Z_c$  qui est généralement égale à 50 Ohm) en utilisant l'équation suivante [16] :

$$Z_c = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{re}} \left[ \frac{W_0}{h} + 1.393 + 0.667 \ln \left( \frac{W_0}{h} + 1.444 \right) \right]} \quad (\text{II.4})$$

Avec :

- $h$  : L'épaisseur du substrat.
- $W_0$  : La largeur de la ligne d'alimentation.
- $\epsilon_{re}$  représente la permittivité effective de l'antenne et elle est définie par l'équation suivante :

$$\epsilon_{re} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ 1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-2} \quad (\text{II.5})$$

Nous obtenons une largeur de la ligne d'alimentation  $W_0 = 3.044$  mm.

### II.3.4 Largeur de l'antenne :

La largeur de l'antenne est exprimée par la relation suivante [16] :

$$W_G = 2 \times a + 6 \times h \quad (\text{II.6})$$

Où :

- $a$  : Le rayon du patch.
- $h$  : L'épaisseur du substrat.

Le résultat de calcul donne une antenne avec une largeur de 40.68 mm.

### II.3.5 Longueur de l'antenne :

L'équation de la longueur de l'antenne est donnée par [16] :

$$L_G = 2 \times a + L_L + 6 \times h \quad (\text{II.7})$$

D'où :

## Chapitre II: Conception d'une antenne patch

---

- $a$  : Le rayon du patch.
- $L_L$  : La longueur de la ligne d'alimentation.
- $h$  : L'épaisseur du substrat.

La longueur de notre antenne égale à 97.68 mm.

### II.4 Simulation de l'antenne:

L'antenne conçue a été modélisée sous CST MWS en introduisant les paramètres de ses différentes composantes y compris le substrat, le patch, la ligne d'alimentation et le plan de masse. La figure II.1 illustre la structure de cette antenne.

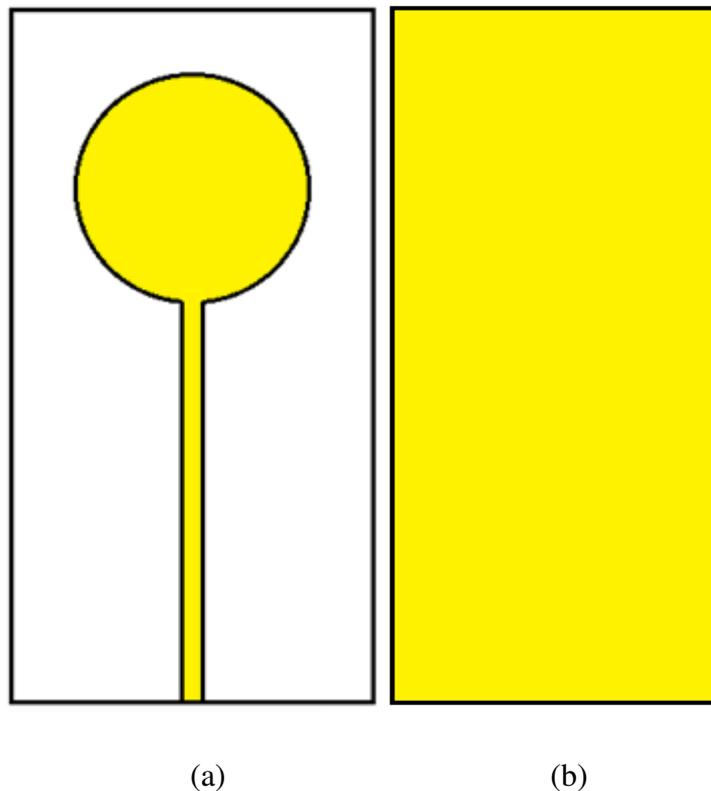


Figure II.1 : L'antenne initiale, (a) patch de l'antenne, (b) plan de masse

Après avoir introduit tous les paramètres et lancer la simulation, le coefficient de réflexion obtenu pour cette antenne est représenté sur la figure (II.2) :

## Chapitre II: Conception d'une antenne patch

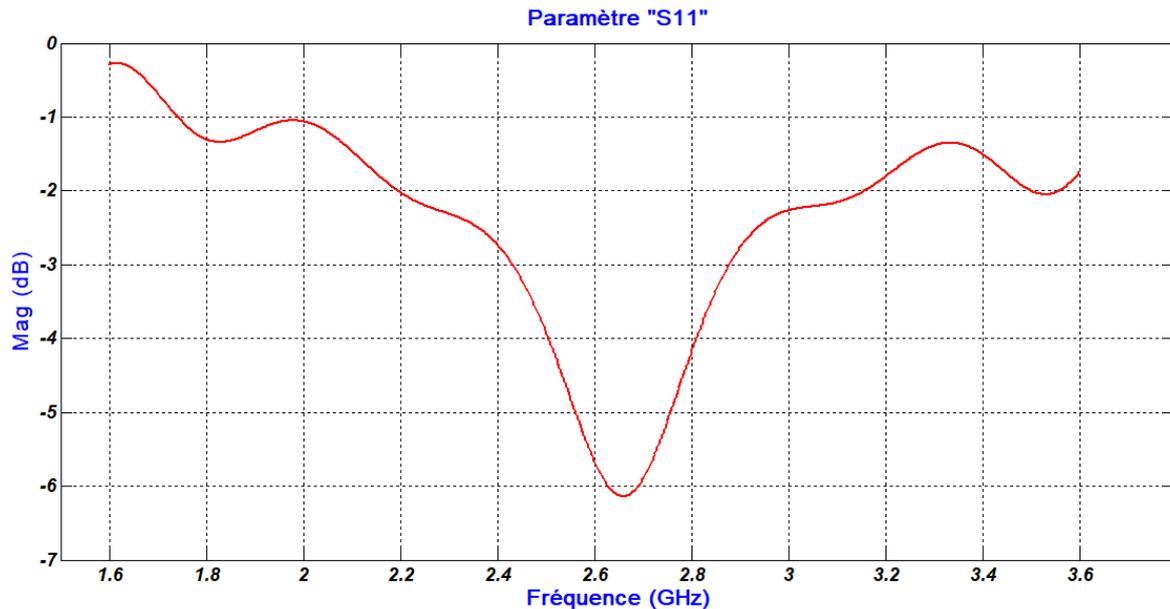


Figure II.2 : Le coefficient de réflexion de l'antenne initiale

Nous remarquons que le coefficient de réflexion  $S_{11}$  de cette antenne est au-dessus de -10 dB ce qui conduit à une désadaptation de l'antenne notamment à la fréquence désirée. Pour arriver à notre objectif, un certain nombre de modifications sur l'antenne sera effectué.

D'abord pour une conception d'antenne patch alimentée par une ligne micro-ruban deux différentes approches peuvent être employées pour améliorer l'adaptation de l'antenne [16,17]. La première consiste à introduire des encoches à l'entrée du patch comme nous montre la figure II.3. La deuxième méthode utilise un transformateur quart d'onde pour adapter l'antenne à 50 Ohm. Dans ce cas, le transformateur est placé entre la ligne micro-ruban et l'extrémité du patch (figure II.4) pour l'assortiment d'impédance.

## Chapitre II: Conception d'une antenne patch

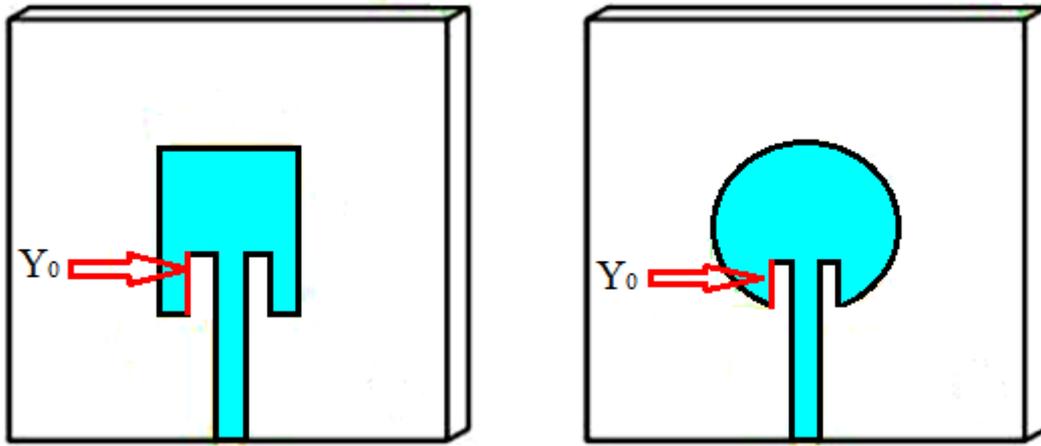


Figure II.3 : Antenne patch alimenté par ligne micro ruban en utilisant les deux encoches

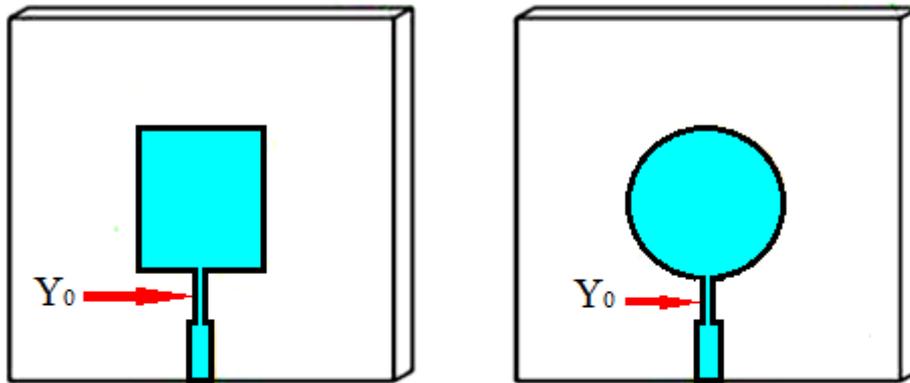


Figure II.4 : Alimentation au bord d'antenne patch par une ligne micro ruban en utilisant le transformateur quart-d'onde.

Dans le cas de notre antenne, nous allons utiliser la méthode des encoches pour améliorer l'adaptions à notre fréquence de résonance. Cela est montré dans la figure II.5.

Selon Balanis, la longueur des encoches est premièrement évaluée par l'équation II.8 [8] :

$$Y_0 = \frac{2a}{2\pi} \times \arcsin(1 - 2 \times Z_{in} \times G) \quad (\text{II.8})$$

Avec :

$$G = \begin{cases} \frac{1}{90} \left(\frac{2a}{\lambda_0}\right)^2 & \text{si } 2a \leq \lambda_0 \\ \frac{1}{120} \left(\frac{2a}{\lambda_0}\right)^2 & \text{si } 2a \geq \lambda_0 \end{cases} : \text{conductance de rayonnement. (II.9)}$$

$$Z_{in} = 50\Omega.$$

## Chapitre II: Conception d'une antenne patch

Où :

- $a$  : rayon du patch.
- $Z_{in}$  : impédance d'entrée de l'antenne.
- $\lambda_0$  : longueur d'onde dans le vide.

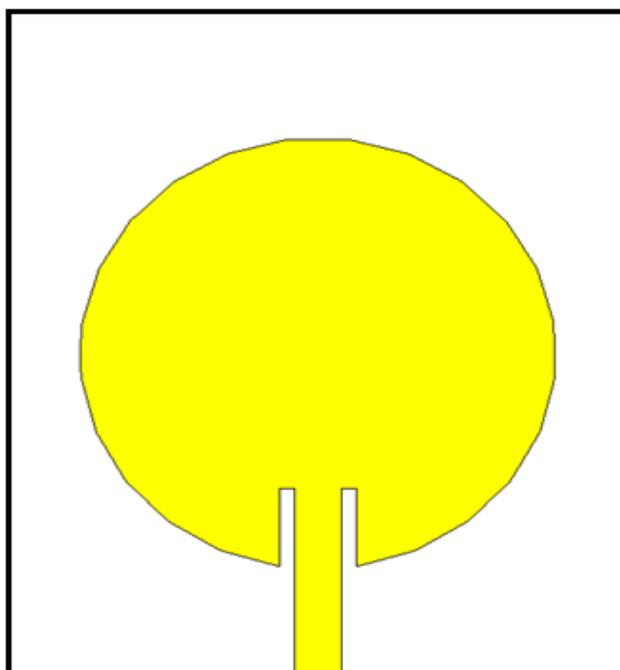


Figure II.5: Zoom in de l'antenne avec deux ces encoches.

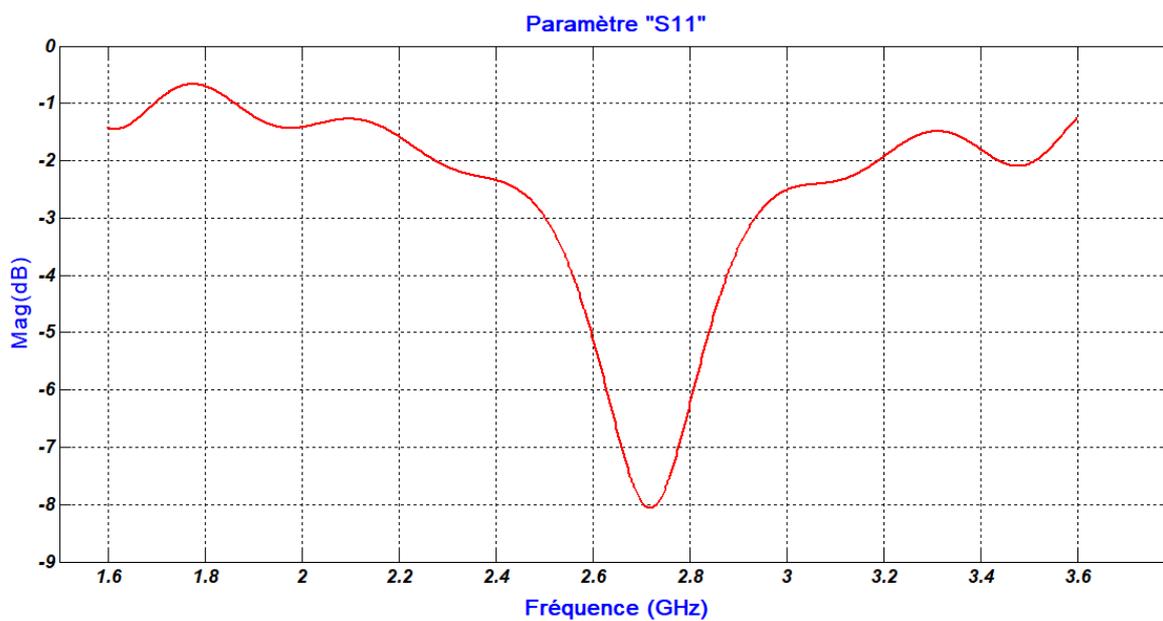


Figure II.6: le paramètre S11 après l'ajoute des encoches.

## Chapitre II: Conception d'une antenne patch

Le résultat du coefficient de réflexion avec la valeur obtenue pour la longueur des encoches ( $y_0 = 5.83$  mm) est toujours non satisfaisant en ce qui concerne l'adaptation de l'antenne où nous remarquons un niveau de  $S_{11}$  supérieur à  $-10$  dB (figure II.6). De ce fait, nous allons mener une étude paramétrique sur la longueur de ces encoches.

### II.4.1 Etude paramétrique sur les encoches:

La figure (II.7) montre l'effet de la longueur des encoches sur la variation du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence. Nous remarquons qu'une meilleure adaptation est pour une longueur des encoches égales à 11.1 mm, mais ceci est pour la fréquence 2.75 GHz. De plus, la bande de fréquence à «  $-10$  dB » est très étroite par rapport à la bande de fréquence théorique qui est 19 MHz. Pour cette raison nous allons procéder d'élargir la bande de fréquence en utilisant la méthode d'insertion des fentes parmi les méthodes d'élargissement qui existent dans la littérature.

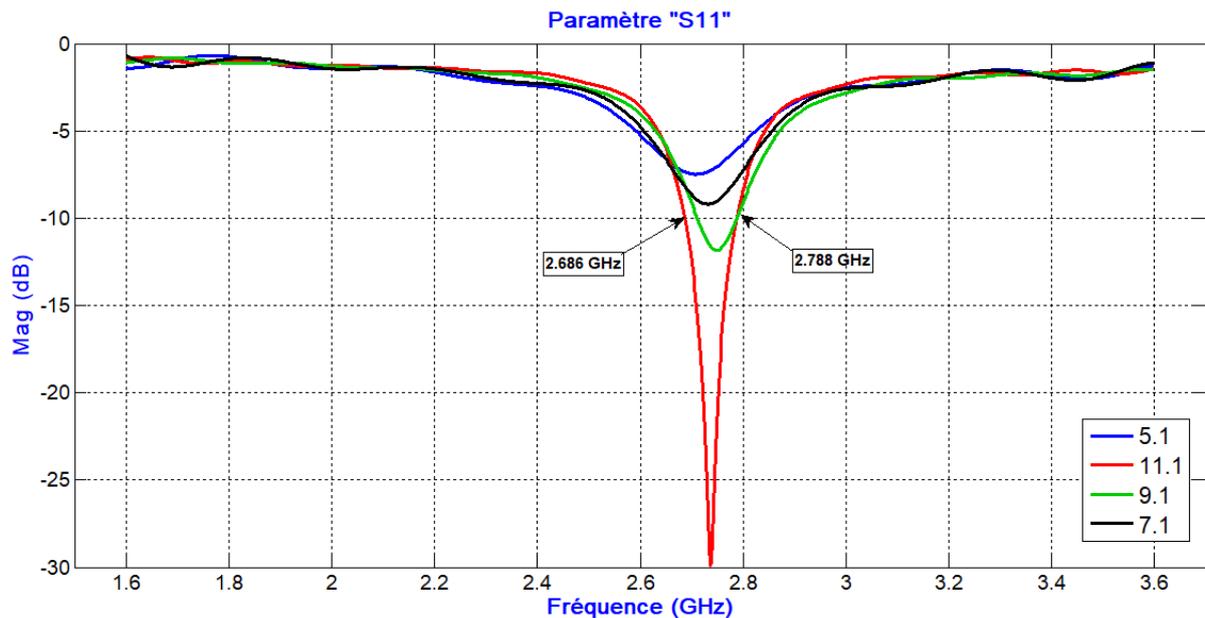


Figure II.7 : L'étude paramétrique des encoches.

### II.4.2 Elargissement de bande

Afin d'élargir la bande passante de l'antenne, nous introduisons une encoche demi-circulaire de rayon de 1mm au niveau du plan de masse. Le coefficient de réflexion  $S_{11}$  de l'antenne après l'insertion de cette encoche présentée sur la figure II.8 montre une bonne adaptation dans la même bande de fréquence (figure II.9). Par conséquent, nous avons procédé à une

## Chapitre II: Conception d'une antenne patch

étude paramétrique sur le rayon de l'encoche. La figure II.10 présente par ailleurs les différents changements du rayon de l'encoche afin d'atteindre le rayon adéquat.

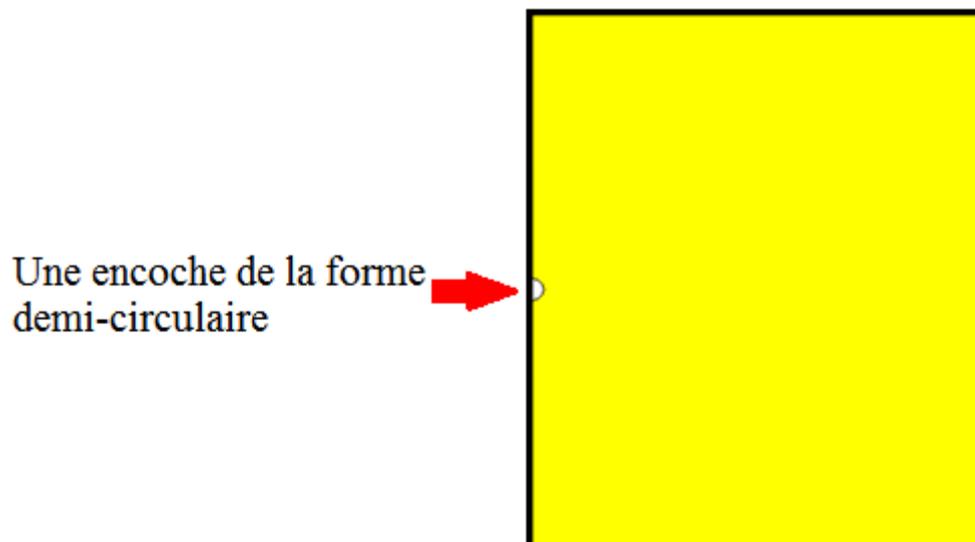


Figure II.8 : La première encoche sur le plan de masse

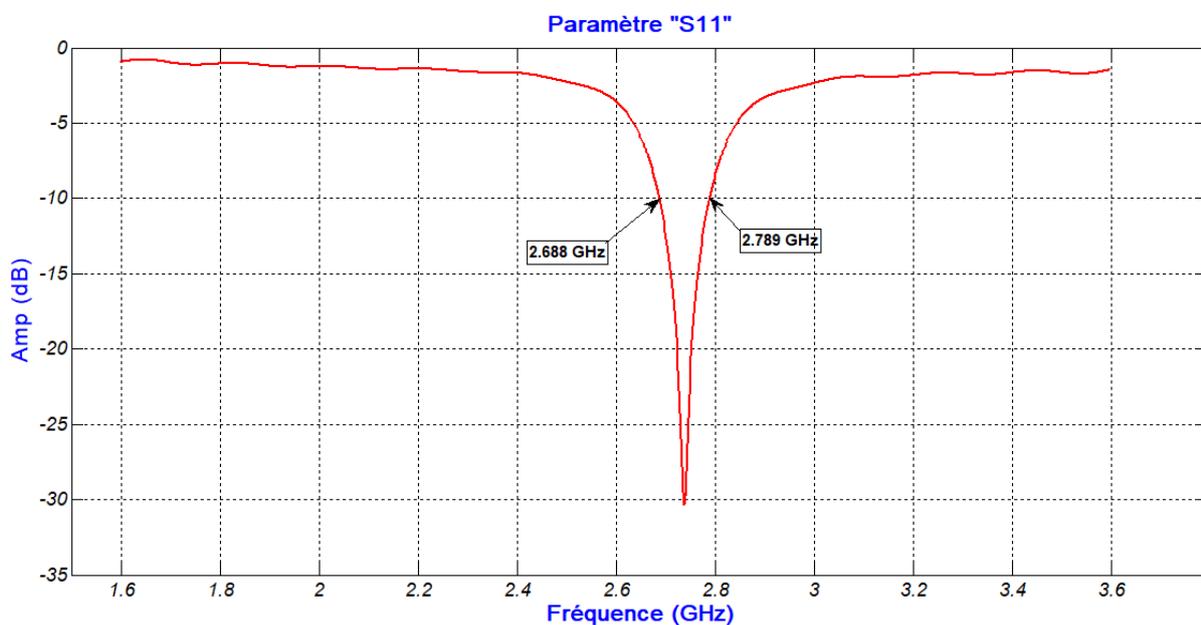


Figure II.9: Le coefficient de réflexion du la première encoche.

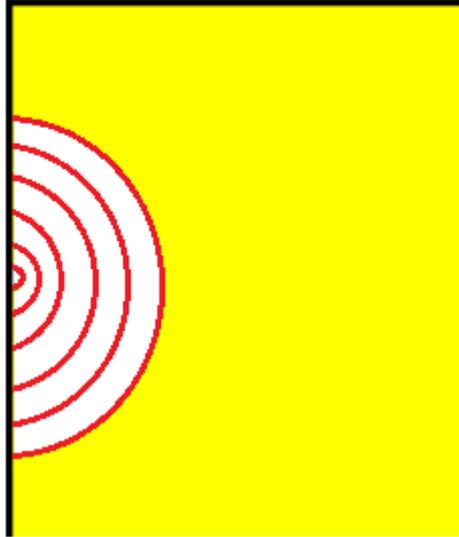


Figure II.10: La variation de rayon du demi-circulaire.

Sur la figure II.11, nous pouvons remarquer qu'un petit élargissement de la bande passante (2 MHz) est obtenu pour un rayon égal à 9mm. Nous pouvons constater également, qu'un décalage vers la fréquence désirée est achevé en augmentant le rayon d'encoche. Cependant, la bande de fréquence est insuffisante par rapport à la bande de fréquence théorique (19 MHz). Pour cette raison nous allons créer une deuxième encoche sur le plan de masse suivons les mêmes étapes de la première encoche.

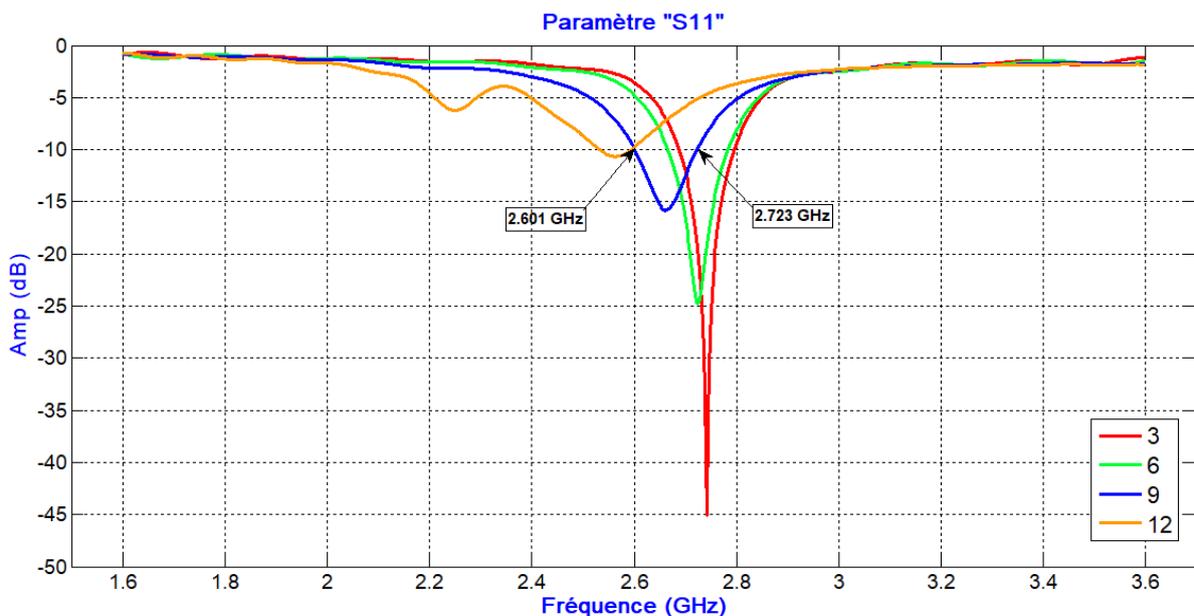


Figure II.11: L'étude paramétrique sur la première encoche du plan de masse.

## Chapitre II: Conception d'une antenne patch

La figure II.12 représente l'étude paramétrique de l'effet du rayon de la deuxième encoche sur la variation du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence. Le meilleur résultat en termes de bande passante est obtenu pour une valeur de 9 mm de rayon résultant ainsi à une antenne à fentes symétriques (figure II.13). Par contre, en termes d'adaptation, nous constatons que le coefficient S11 dépasse -10 dB mais reste insuffisant. Pour cette raison, nous devons refaire l'étude paramétrique sur la longueur des encoches au niveau de l'élément rayonnant patch.

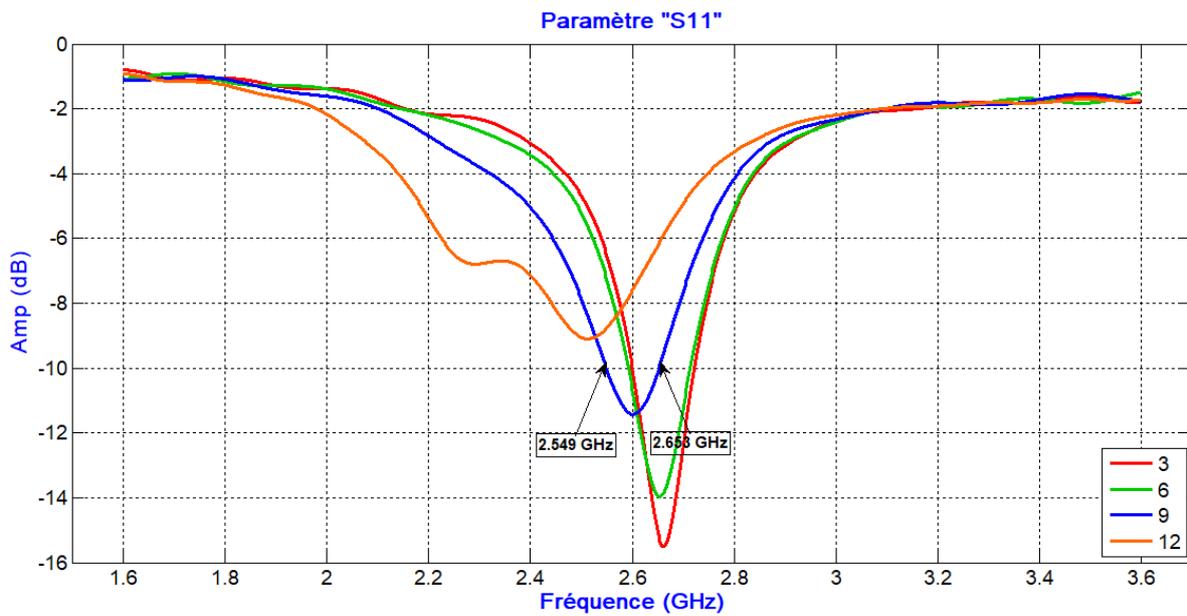


Figure II.12: L'étude paramétrique sur la deuxième encoche de plan de masse.

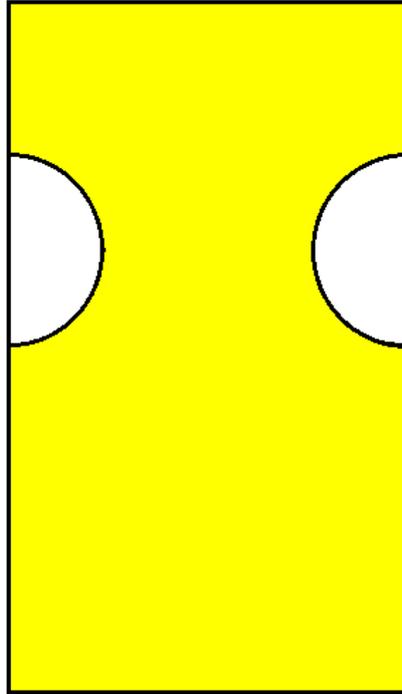


Figure II.13 : Le plan de masse avec encoches symétriques.

Nous observons sur la figure II.14 que pour la longueur des encoches  $y_0=7.6$  mm, l'antenne présente une bande passante satisfaisante et une meilleure adaptation avec une valeur de coefficient de réflexion égale à  $-47\text{dB}$  à la fréquence  $2.57$  GHz. Pour y arriver à la fréquence  $2.6$  GHz, nous allons utiliser l'option d'optimisation de rayon du patch grâce a ses résultats précise sur notre besoin.

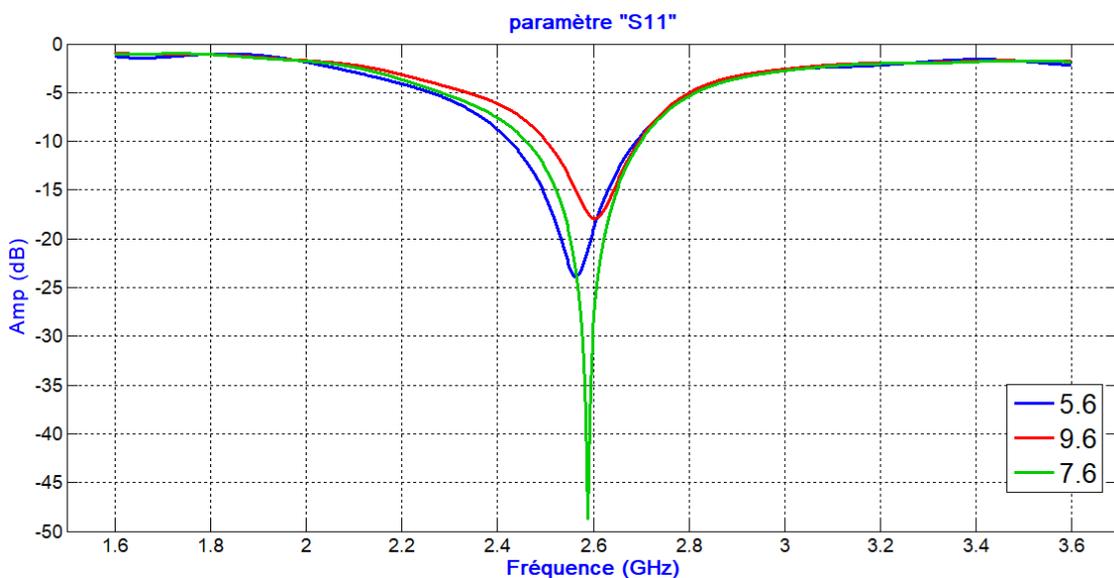


Figure II.14: La deuxième étude paramétrique sur les encoches.

### II.4.3 Optimisation de rayon du patch :

A l'aide de la fonction d'optimisation qui se trouve dans le simulateur, nous obtenons (Figure II.15) une meilleure adaptation à notre fréquence (2.6 GHz) avec un rayon du patch égale à 15.5 mm et un coefficient de réflexion à l'égard d'un pic de l'ordre de -42dB.

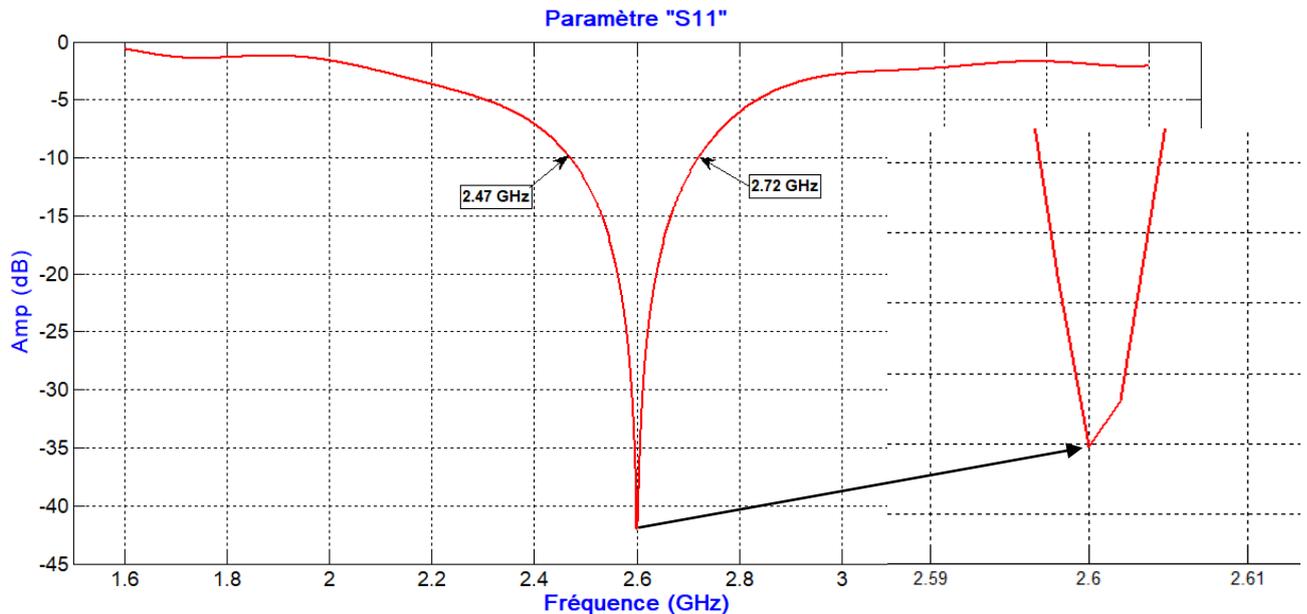


Figure II.15 : le paramètre S11 de l'antenne finale.

### II.5 Discussion et interprétation des résultats :

Dans cette section, nous allons présenter et évaluer l'ensemble des résultats de l'antenne conçue en termes de coefficient de réflexion, rapport d'onde stationnaire, diagramme de rayonnement, gain, impédance d'entrée, densité de courant et l'efficacité.

### II.5.1 Coefficient de réflexion :

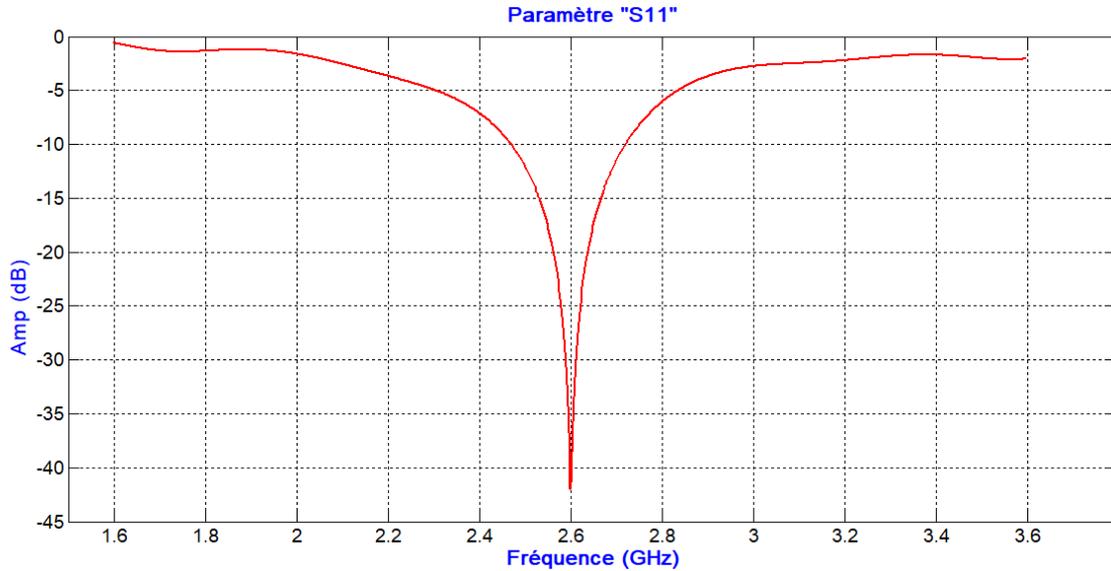


Figure II.16 : le coefficient de réflexion S11 en dB.

Le coefficient de réflexion obtenu avec le logiciel CST (figure II.16) montre une meilleure précision sur l'adaptation de l'antenne avec un pic de l'ordre de  $-42$  dB pour la fréquence LTE 2.6 GHz.

### II.5.2 Rapport d'onde stationnaire (VSWR) :

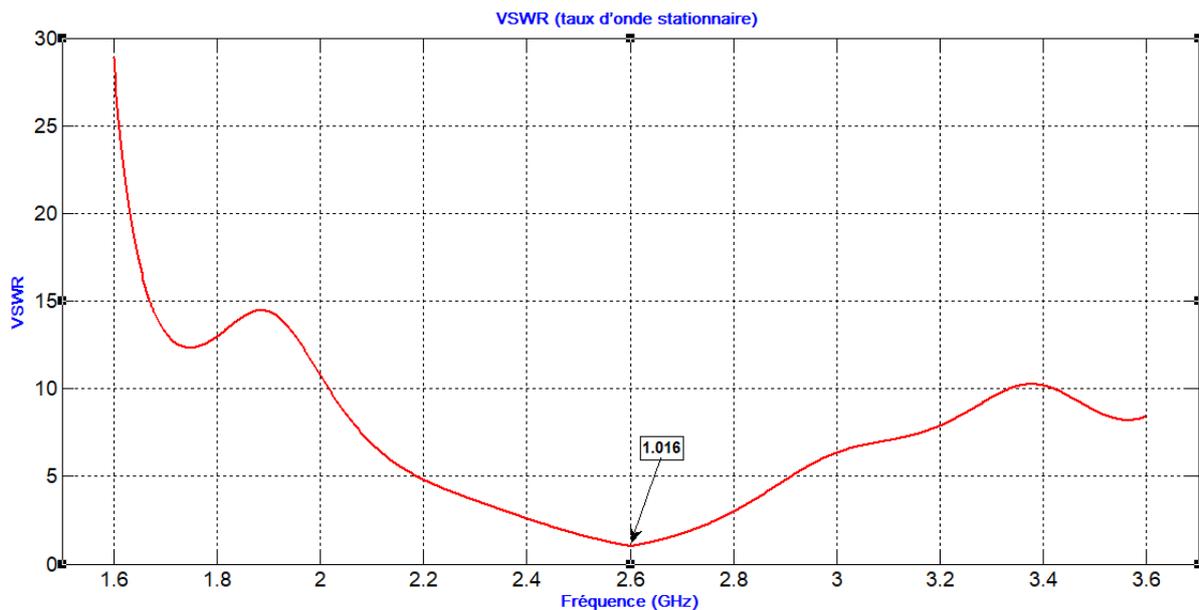


Figure II.17: Résultat du rapport d'onde stationnaire(VSWR).

## Chapitre II: Conception d'une antenne patch

La courbe du rapport d'onde stationnaire simulé et montré dans la figure II.17 est compris entre 1 et 2 dans la bande de fréquence théorique [2.5-2.69]GHz, ce qui montre une bonne adaptation d'impédance entre l'antenne et la ligne de transmission.

### II.5.3 Le diagramme de rayonnement et le Gain:

Les figure (II.18) et (II.19) respectivement, représenté le diagramme de rayonnement en présentations polaire et en 3D. Nous remarquons que l'antenne présente un rayonnement omnidirectionnel dans le plan E et quasi-omnidirectionnel dans le plan H.

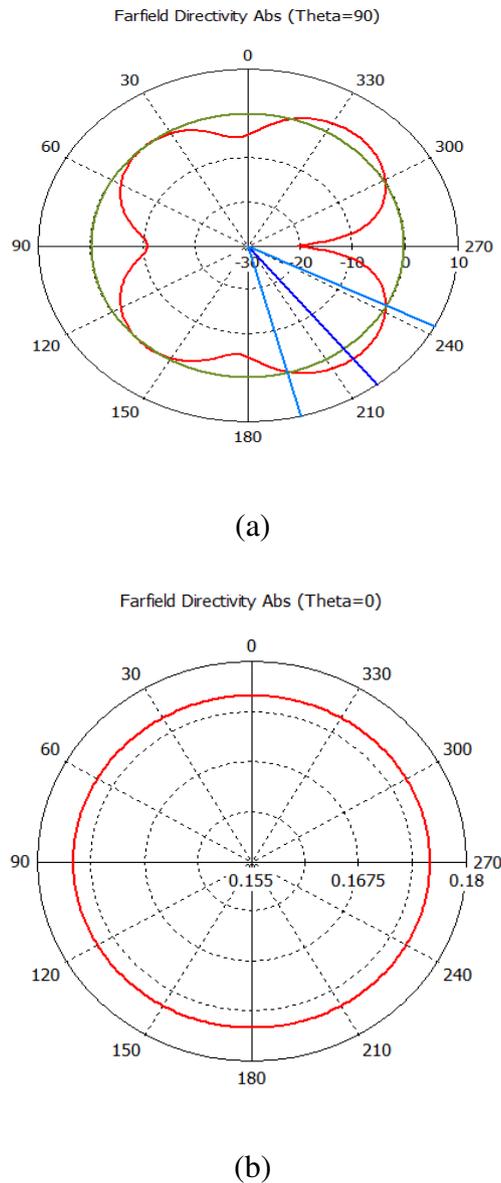


Figure II.18: Diagramme de rayonnement polaire de l'antenne à la fréquence 2.6 GHz, (a) Plan E, (b) Plan H.

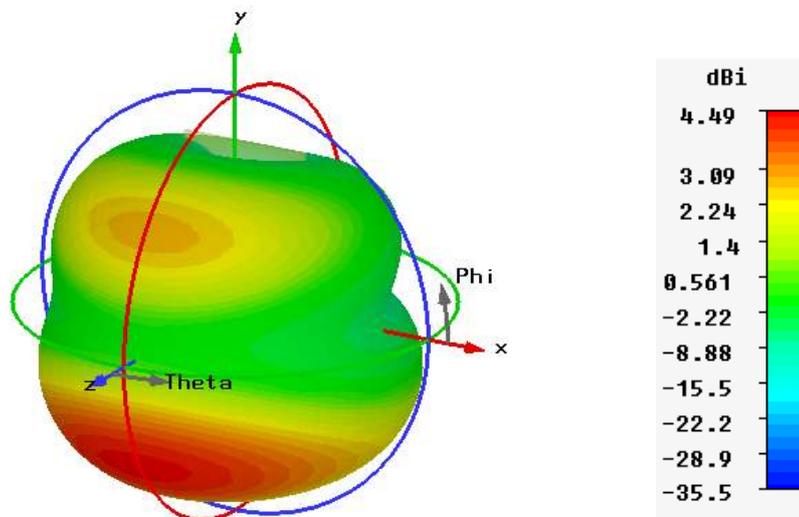


Figure II.19 : le diagramme de rayonnement en 3D.

### II.5.4 L'impédance d'entrée :

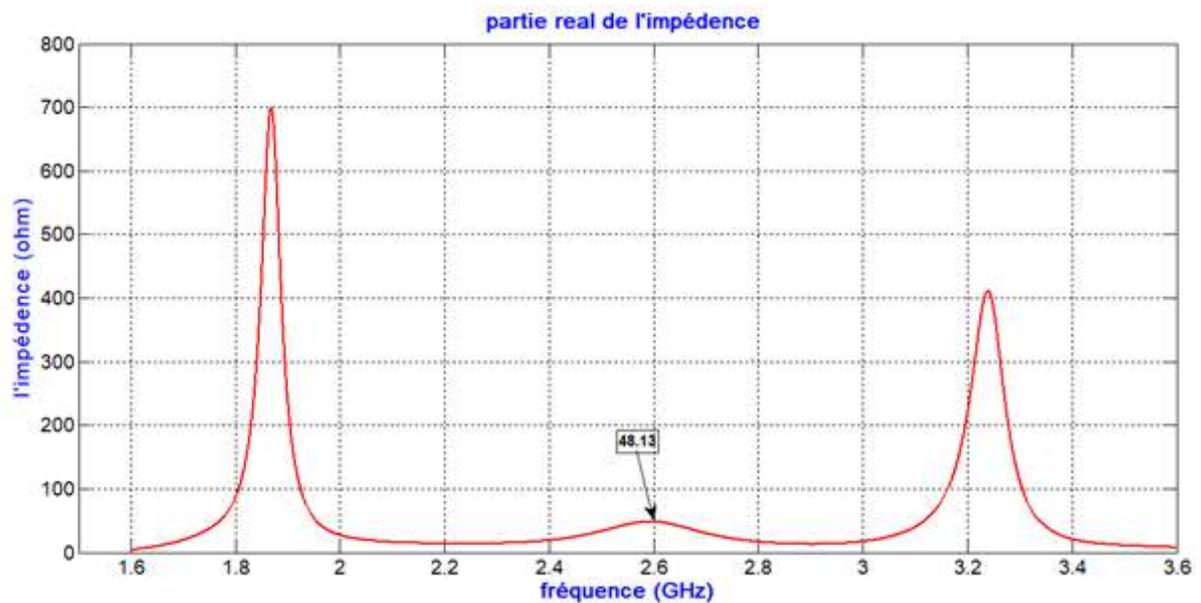


Figure II.20 : L'impédance d'entrée de l'antenne.

## Chapitre II: Conception d'une antenne patch

Le résultat de la figure II.20 présente l'impédance d'entrée de l'antenne qui est égale à  $48.13\Omega$ . Cette valeur est proche de l'impédance caractéristique (50 Ohm), ce qui implique un bon transfert de l'énergie entre l'alimentation et la ligne micro-ruban.

### II.5.5 Densité de courant :

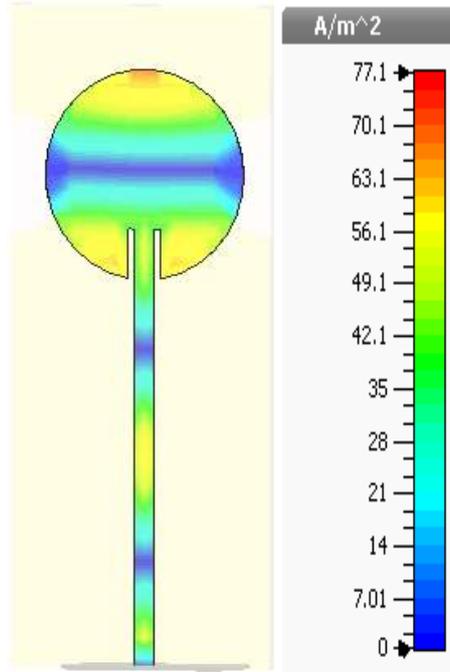


Figure II.21: Densité de courant surfacique du patch.

L'observation de la distribution du courant de l'antenne étudiée permet de mieux comprendre comment les courants sont répartis sur la structure. La Figure II.21 montre que le courant (à la fréquence 2.6 GHz) est distribué majoritairement autour des encoches ainsi que dans l'extrémité haute du patch, nous constatons aussi l'absence de la densité de courant électrique au centre du patch.

### II.5.6 L'efficacité :

L'efficacité est déterminé par la relation (II.10) en fonction du gain et de la directivité, pour notre antenne nous avons une efficacité moyenne d'antenne égale à 60%.

$$\eta = \frac{\text{Gain}}{\text{Directivité}} \quad (\text{II.10})$$

## Chapitre II: Conception d'une antenne patch

---

Vu que l'efficacité désigne à la puissance rayonné de l'antenne et à la puissance fourni. Un transfert moyen ce passe de l'énergie ou de puissance est estimé à 60% de la puissance fourni à cette antenne.

### II.6 Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons traité les différentes étapes pour concevoir une antenne imprimée circulaire alimentée par une ligne micro-ruban qui résonne à la fréquence LTE (2,6 GHz). Dans le but d'évaluer les performances de l'antenne conçue, un ensemble de simulations sous le logiciel CST a été menu. Tous d'abord nous avons commencé par la conception d'une antenne circulaire simple en se basant sur la théorie des antennes. L'analyse des résultats de cette antenne en termes de coefficient de réflexion montre une désadaptation à la fréquence souhaitée. Afin d'améliorer l'adaptation de notre antenne proposée, nous avons opté pour l'insertion des encoches au niveau d'élément rayonnant. L'effet positif de ces encoches sur l'adaptation est clairement observé dans les simulations (coefficient S11) examinées. Par contre, la bande passante fonctionnelle de l'antenne ne répond pas à celle désirée pour l'application LTE (qui s'étale de 2.5 à 2.69 GHz). Après une recherche bibliographique, nous avons-nous orienté vers l'utilisation des fentes pour l'élargissement de la bande passante. Pour ce faire, nous avons procédé à une étude paramétrique pour le bon positionnement des fentes au niveau du plan de masse. Dans la dernière partie de ce chapitre, nous avons présenté les différents résultats de l'antenne finale proposée. Ces résultats montrent une bonne performance de l'antenne à la fréquence désirée LTE (2.6 GHz) en termes de coefficient de réflexion, rapport d'onde stationnaire, diagramme de rayonnement, gain, impédance d'entrée, densité de courant et l'efficacité.

Dans le chapitre suivant nous nous intéresserons à la miniaturisation ainsi à la réalisation de notre antenne conçue.

# **Chapitre III**

## **Miniaturisation et réalisation de l'antenne circulaire LTE**

### III.1 Introduction :

Ces dernières années, le secteur de la téléphonie mobile connaît des évolutions rapides qui tendent à réduire la forme de ses antennes via des antennes miniaturisé de plus petite taille. En effet la réduction de la taille et du poids des antennes imprimées constitue un enjeu majeur sur ses performances.

Dans ce chapitre, nous commençons d'abord par présenter la miniaturisation, ses avantages, ses inconvénients et ses limites théoriques, suivis par une définition d'antenne miniature. Ensuite nous citons les diverses techniques de la miniaturisation soit celle proposée dans la littérature ou celles appliquées aux antennes imprimée. Après la miniaturisation de notre antenne nous présenterons les résultats de la simulation. La dernière partie de ce chapitre est consacré à la réalisation de notre antenne conçue.

### III.2 Miniaturisation :

D'une façon générale, la miniaturisation consiste à réduire les dimensions des objets. En pratique, la miniaturisation des composant électronique tente à réduire de façon idéale un composant tout en gardent la fonction ou la forme originale. La miniaturisation d'antenne procède une démarche de réduction l'encombrement de l'antenne afin de satisfaire des critères surfaciques ou volumiques. Le développement de la miniaturisation des objets communicants a connu deux durées. La première consistait à rendre plus petit les produits en travaillant sur les trois dimensions de l'espace, X, Y et Z. Ce qui impliquait des antennes de plus en plus petites. Plus l'antenne était petite, plus elle perdait de ses performances, et cela se manifestait dans l'adaptation de l'antenne. La majorité des antennes dédiées aux systèmes de télécommunications d'aujourd'hui sont considérées bien adaptées si leur coefficient de réflexion est inférieur de -10 dB avec un gain positif. La deuxième c'est l'évolution de la technologie tactile, et l'intégration d'écran assez grand permettant une bonne visibilité et facilitant la manipulation des menus et des options, ont modifié les techniques de miniaturisation. Les industriels se sont appropriés une nouvelle règle consistant à miniaturiser suivant Z (l'épaisseur) et s'autorisant une plus grande liberté pour les deux dimensions X et Y (longueur et largeur). L'antenne devra toujours être assez petite, parce qu'elle devra cohabiter avec beaucoup plus de composants et de systèmes sur une même carte électronique [5].

### III.3 Avantage et Inconvénient de la miniaturisation :

La miniaturisation offre un énorme nombre d'avantages [5] à l'antenne. Elle permet la réduction de l'espace occupé c'est à dire les éléments qui prennent moins de place sont plus désirables que les structures qui sont de plus en plus volumineux, car ils sont plus faciles à transporter, à stocker, à se mettre dans un réseau sans l'encombrer et souvent plus pratiques à utiliser. Elle permet aussi la réduction du poids, des prix et de la consommation d'énergie et de matière. Par ailleurs la miniaturisation admet la production d'appareils multifonctionnels.

Comme beaucoup de technologies, la miniaturisation possédant des avantages, elle présente aussi des inconvénients [2] tels que la complexité de l'opération de séparation des métaux lors du recyclage, ce qui limite d'autant l'avantage obtenu par les économies en matière et en énergie. Dans le cas des nanotechnologies, le recyclage des nano-éléments est quasi impossible. À puissance égale, l'échauffement des circuits électroniques miniaturisés est plus important, la surface d'échanges étant réduite. D'autre part, en miniaturisant l'antenne, la dégradation de ses performances est impliquée.

### III.4 Limites théoriques de la miniaturisation des antennes :

Malgré les améliorations brillantes dans le domaine de la microélectronique, la miniaturisation se heurte de nos jours à deux types de limites.

#### III.4.1 Facteur de qualité d'une antenne :

Miniaturiser une antenne consiste à trouver un compromis entre les dimensions minimales souhaitées et les performances acceptées en termes de diagramme de rayonnement, d'efficacité et de gain à la fréquence de travail. Les dimensions de la structure doivent au minimum demeurer proches de la demi-longueur d'onde pour obtenir une efficacité de rayonnement optimale. Les limites théoriques à la miniaturisation des antennes font actuellement l'objet de nombreuses discussions mais les travaux initiaux de Wheeler, Chu, Harrington et Mc Lean font toujours office de référence. Leurs études consistant à évaluer le facteur de qualité  $Q$  de l'antenne ont permis d'établir les limites en termes de performances des antennes électriquement petites. Le facteur de qualité  $Q$ , défini comme étant le rapport

## Chapitre III: Miniaturisation et réalisation d'antenne

---

entre l'énergie maximale stockée dans l'antenne et la puissance totale rayonnée (équation III.1) [2].

$$Q = \frac{2 \times W_0 \times \text{Max}(W_e, W_m)}{P_a} \quad (\text{III.1})$$

Où :

- $W_e$  est la quantité moyenne d'énergie non rayonnée électrique.
- $W_m$  est la quantité moyenne d'énergie non rayonnée magnétique.
- $W_0$  est la pulsation à la fréquence  $f_0$ .
- $P_a$  la puissance reçue ou rayonnée par l'antenne.

Bien que beaucoup de nouvelles expressions de la limite du facteur de qualité existent, celle établie par Chu et Wheeler reste très utilisée (équation III.2). Ce minimum du facteur de qualité est en théorie inatteignable. Il permet d'évaluer les solutions d'antenne miniature par rapport à cette limite théorique [6].

$$Q_{\min} = \frac{1}{(K \times a)^3} + \frac{1}{K \times a} \quad (\text{III.2})$$

Avec :

- $K$  : c'est le nombre d'onde,  $K = \frac{2\pi}{\lambda}$ .
- $a$  : le rayon de la petite sphère contenant l'antenne.

### III.4.2 Facteur de miniaturisation :

En pratique, ce facteur de miniaturisation s'évalue avec deux manières. La première consiste à réaliser une antenne compacte de telle sorte que ses performances électromagnétiques se rapprochent le plus de l'antenne de référence en faisant un rapport des dimensions de ces deux antennes. La deuxième admet une réalisation d'antenne compacte avec les mêmes dimensions maximales et comparer le rapport des fréquences, soit à un niveau d'adaptation donné, soit à un niveau de gain dans l'axe donné [18].

### III.5 Définition d'une antenne miniature :

Une antenne miniature est une antenne électriquement petite avec un élément rayonnant tenue dans une sphère appelée la sphère de Chu de rayon inférieur à la valeur « $\frac{\lambda}{2 \times \pi}$ ». Cette valeur correspond à la distance de transition entre les champs proches et les champs lointains ou la distance est entre l'énergie électromagnétique stockée dans l'antenne et l'énergie électromagnétique rayonnée [19].

Nous pouvons donc dire que l'antenne est miniature si l'élément rayonnant est renfermé dans une sphère de rayon  $\frac{\lambda_0}{2}$  où  $\lambda_0$  c'est la longueur d'onde fonctionnelle de cette antenne et si l'antenne vérifie les conditions suivant [20]:

- Ses dimensions sont plus petites que le quart de la longueur d'onde opérationnel.
- Sa plus grande taille est inférieure au quart d'onde (équation III.3).

$$L_{\max} < \frac{\lambda_0}{\pi} \quad (\text{III.3})$$

### III.6 Les techniques de miniaturisation :

De nombreuses techniques, largement détaillées dans des ouvrages de référence et de nombreux documents internationaux, ont été utilisées pour réduire la taille des antennes pour une fréquence donnée. Plusieurs catégories des méthodes de miniaturisation intéressent à l'élément rayonnant. Il s'agit d'une part, de changer localement la structure rayonnante en utilisant des éléments localisés ou des courts-circuits et d'autre part de modifier ponctuellement sa géométrie. Parmi les techniques de miniaturisation des antennes, nous citons [21] :

- ✓ **Modification de la géométrie :**
  - Le repliement du l'élément rayonnant.
  - La réduction de la taille d'antenne patch jusqu'à 50%.
- ✓ **Modification de la forme de l'élément rayonnant :**
  - En forme triangulaire.
  - En forme de nœud-papillon.
  - Méandres verticaux ou repliement de la structure.

- Méandres latéraux ou verticaux très étroits.
- ✓ **Utilisation d'un substrat à haute constante diélectrique.**
- ✓ **Ajout des courts circuits verticaux entre l'élément rayonnant et le plan de masse en deux façons :**
  - Court-circuit plain.
  - Court-circuit languette.
- ✓ **Ajout de résonateurs parasites :**
  - Juxtaposés.
  - Juxtaposés avec un ajout de courts-circuits.
  - Superposés.
  - Superposés avec un ajout de courts-circuits.
- ✓ **Insertion de fentes dans l'élément rayonnant pour :**
  - Fente demi-onde (non-débouchant).
  - Fente quart d'onde (débouchant).
  - L'allongement des longueurs électriques.
  - La création de nouveaux résonateurs.
- ✓ **Insertion d'une charge capacitive insérée :**
  - En bout d'élément.
  - Dans l'élément.
- ✓ **Utilisation des charge capacitif et ou inductif réalisé par des composante localisés.**

### III.7 La miniaturisation de l'antenne circulaire proposée :

Parmi ses techniques de miniaturisation nous avons choisi la technique de réduction d la taille du patch. Pour un premier pas, nous allons commencer par une réduction de 10%. Sur la figure III.1, nous remarquons que l'antenne est adaptée avec un coefficient de réflexion égale à -19 dB, mais ceci est pour une fréquence de 2.85 GHz. De plus, La longueur de la ligne d'alimentation (57 mm) est assez grande par rapport aux conditions de la miniaturisation. Pour cette raison, nous allons mener une étude paramétrique sur la longueur de la ligne d'alimentation.

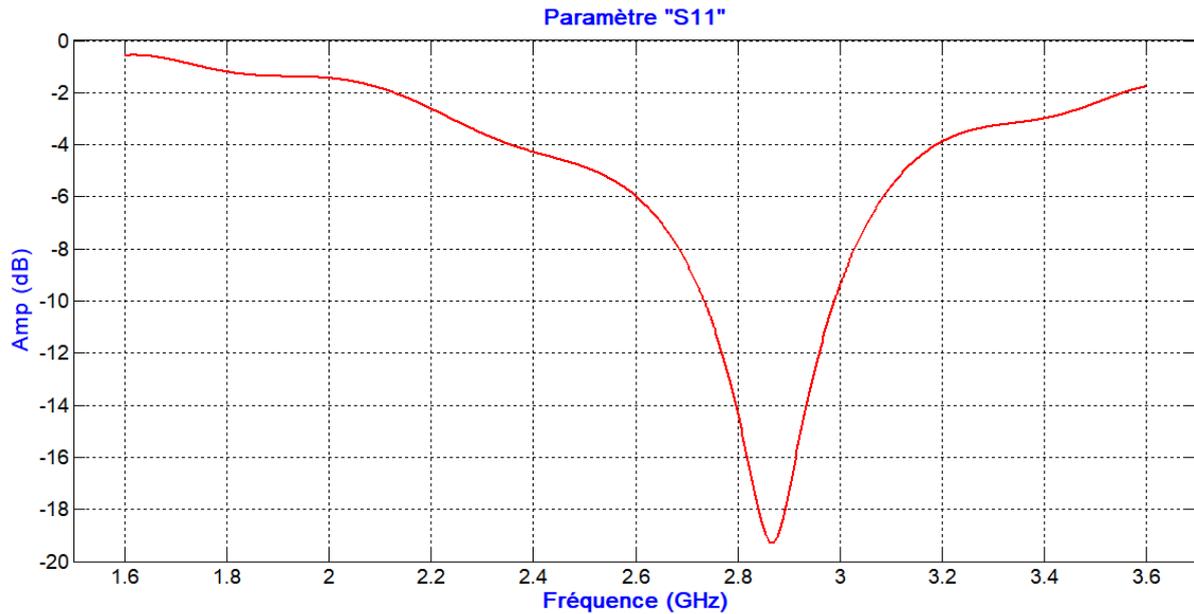


Figure III.1: Une miniaturisation de 10% de la taille du patch.

La figure III.2 représente l'étude paramétrique de l'effet de la longueur de ligne d'alimentation sur la variation du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence. Le meilleur résultat en termes d'adaptation est obtenu pour une valeur de 8 mm de la longueur de la ligne d'alimentation. Par contre, cette adaptation reste toujours à une autre fréquence (2.9 GHz). De ce fait, nous allons combiner cette méthode de miniaturisation avec la méthode de l'insertion des fentes dans l'élément rayonnant pour tirer plus de profit en hybridant ces deux méthodes. Une fente demi-onde (non-débouchant) d'une longueur et largeur de 1 mm est insérée comme représenté sur la figure III.3.

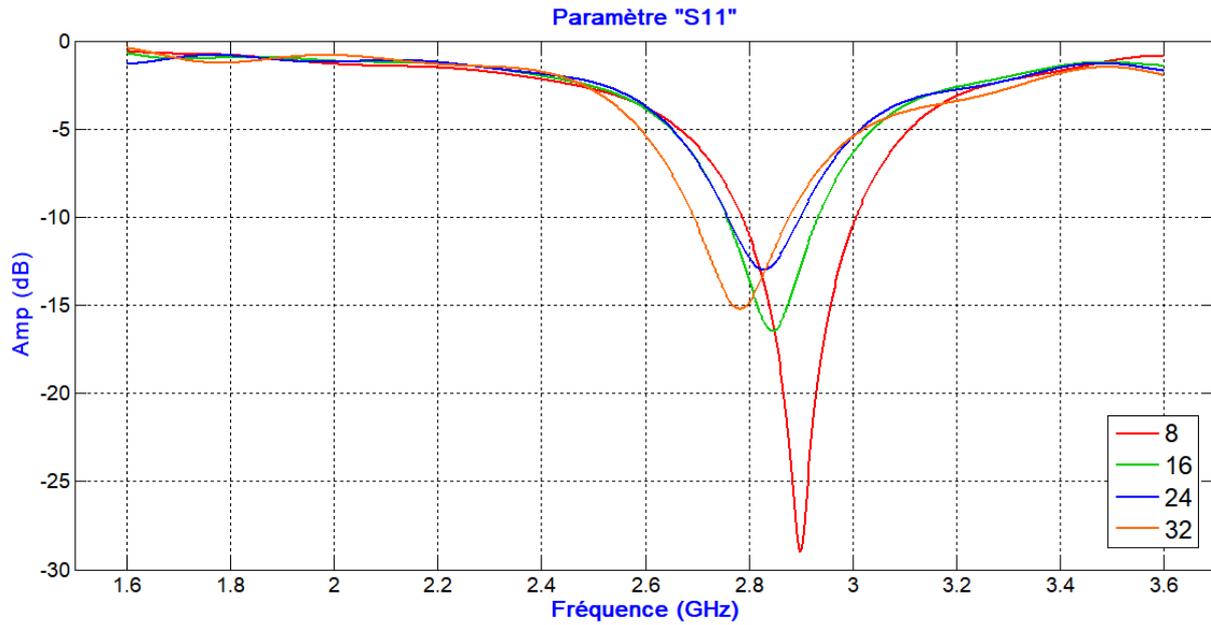


Figure III.2 : Etude paramétrique sur la longueur de la ligne d'alimentation

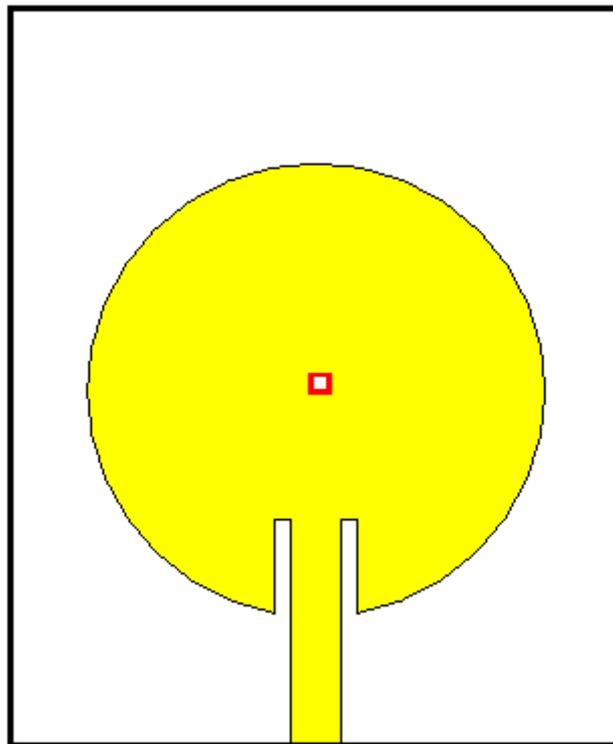


Figure III.3: Zoom in de l'antenne avec la fente.

L'utilisation de fentes sur un élément rayonnant permet (lorsqu'elles sont bien placées) d'augmenter la distance parcourue par le courant surfacique. En effet, un courant qui circule d'un bout à l'autre de la partie métallique de l'antenne sera bloqué par les fentes. Pour les

## Chapitre III: Miniaturisation et réalisation d'antenne

contourner, il devra emprunter un chemin plus long que celui sans les fentes (Figure III.4). Grâce à cette technique il est possible de réduire la taille d'une antenne jusqu'à 30%. Toutefois, le facteur de qualité augmente avec le nombre de fentes. En fonction de leur forme et de leur emplacement les fentes peuvent éventuellement introduire des effets capacitifs et inductifs. Si ces effets sont correctement contrôlés, ils peuvent donc augmenter la bande passante de l'antenne [22].

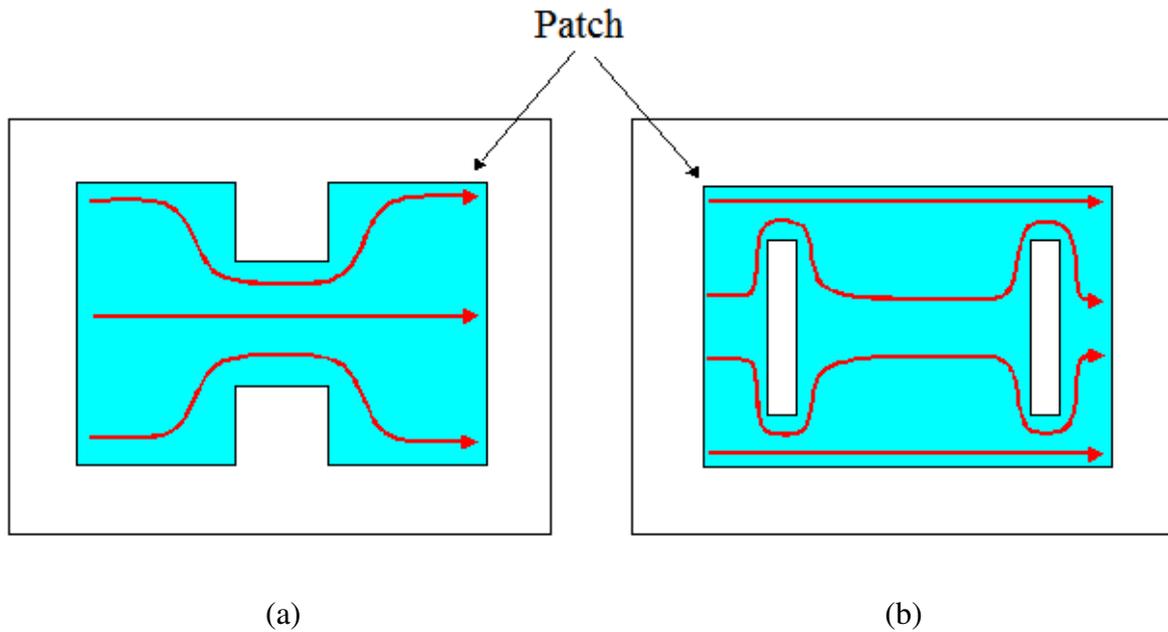


Figure III.4 : Illustration du chemin des courants, (a) fente quart d'onde, (b) fente demi-onde.

Le coefficient de réflexion  $S_{11}$  de l'antenne après l'insertion de cette encoche présentée sur la figure III.5 montre une bonne adaptation dans la même fréquence (2.9 GHz). Par conséquent, nous avons procédé à une étude paramétrique sur la largeur de fente pour regagner notre fréquence de travail.

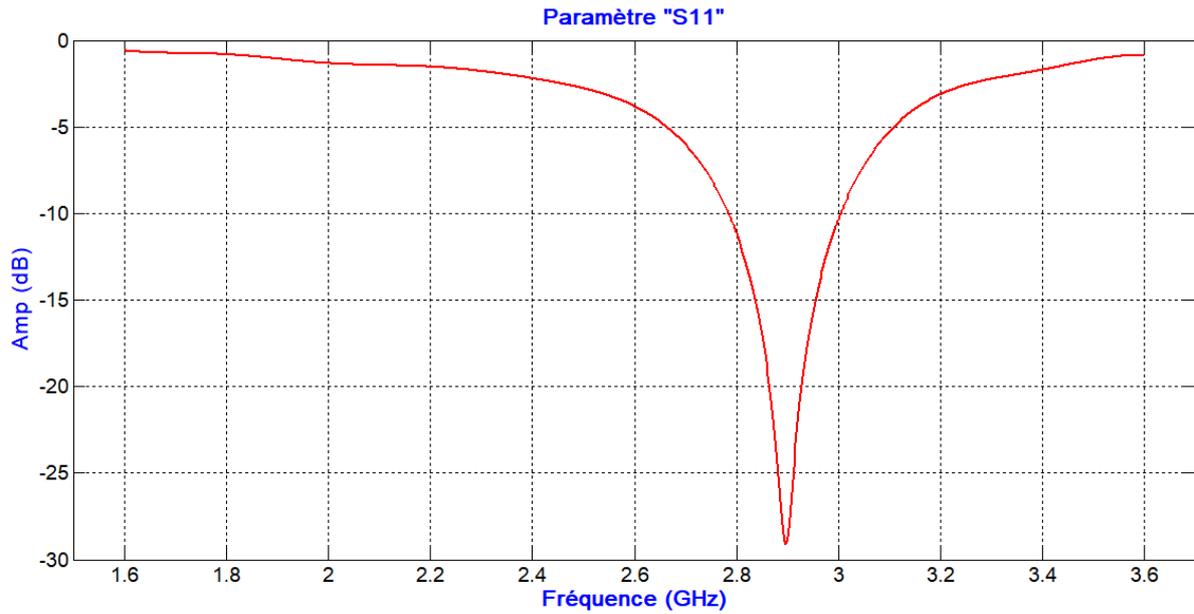


Figure III.5: le paramètre S11 après l'ajoute de fente.

La figure III.6 montre l'effet de la largeur de fente du patch sur la variation du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence. Nous remarquons qu'une meilleure adaptation est pour une largeur de la fente égale à 12.75 mm à la fréquence 2.6 GHz. Nous pouvons remarquer également, qu'un décalage vers la fréquence désirée est achevé en augmentant la largeur de fente. Cependant l'antenne est bien adapter, nous allons passer à la miniaturisation de 30% de la taille originale du patch.

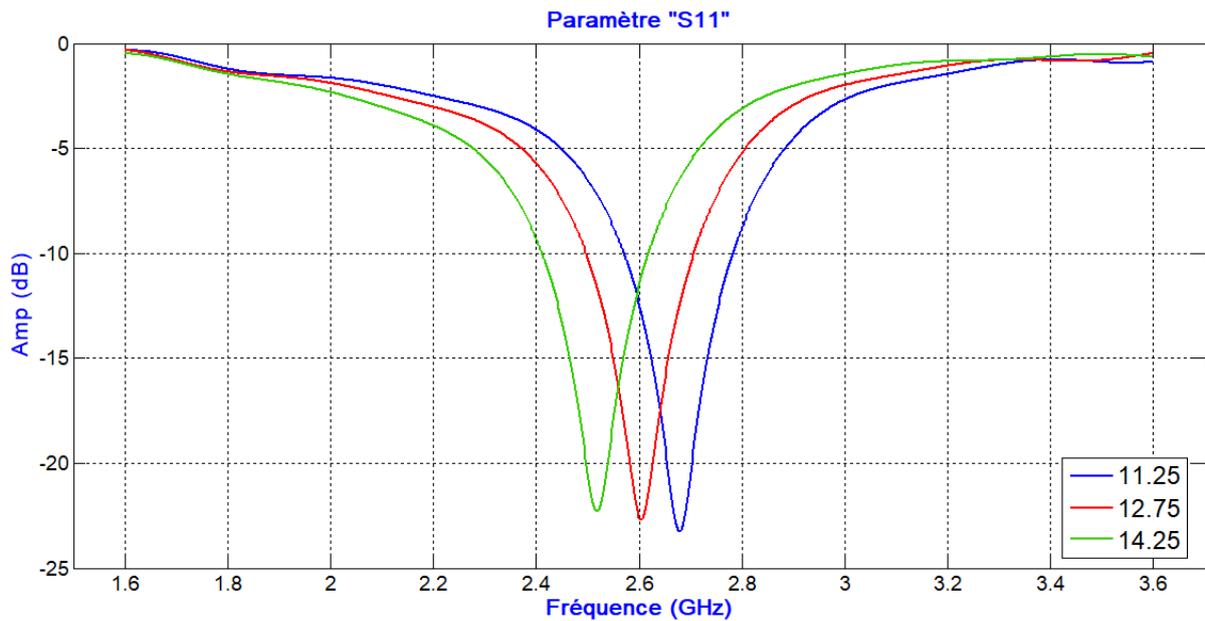


Figure III.6: Etude paramétrique sur la largeur de fente dans la miniaturisation de 10%.

## Chapitre III: Miniaturisation et réalisation d'antenne

Après avoir miniaturisé le patch, le coefficient de réflexion obtenu pour cette antenne est représenté sur la figure III.7 :

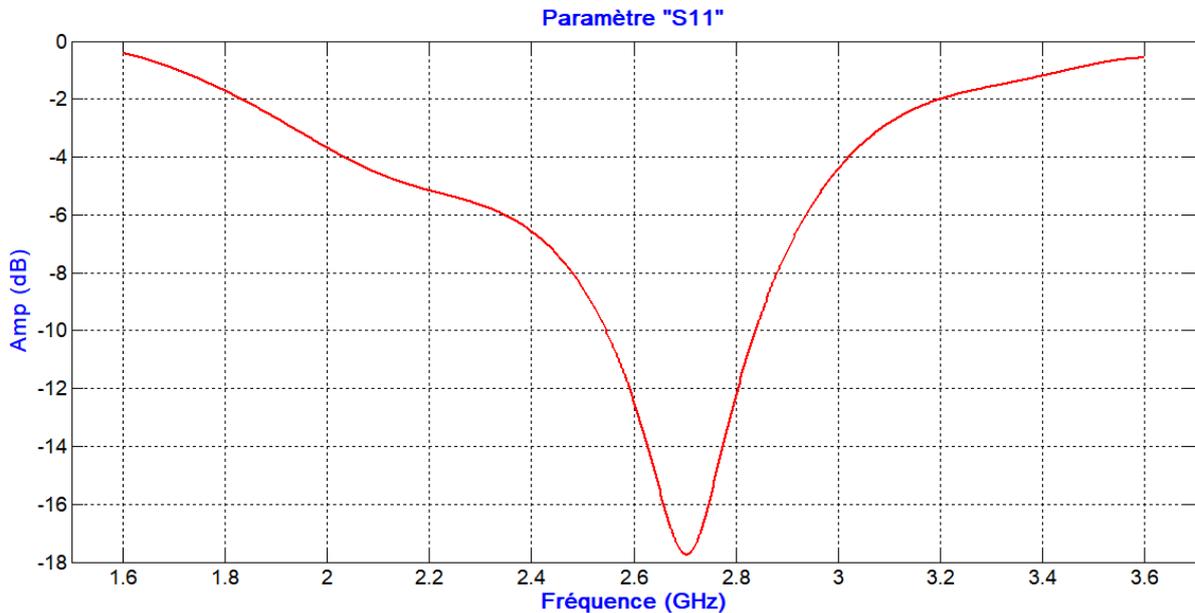


Figure III.7: Une miniaturisation de 30% de la taille du patch

Le résultat du coefficient de réflexion (figure III.7) obtenue est toujours satisfaisant en ce qui concerne l'adaptation de l'antenne mais a une fréquence de l'antenne de 2.7 GHz. Pour cette raison, nous allons refaire l'étude paramétrique sur la largeur de la fente du patch.

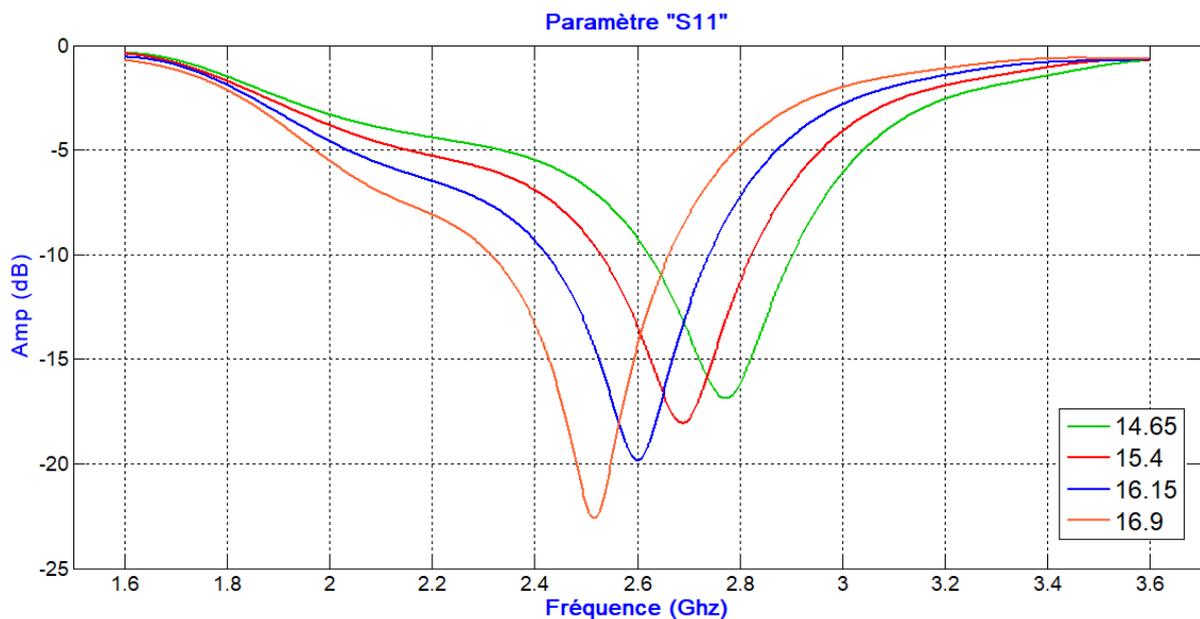


Figure III.8: Etude paramétrique sur la largeur de fente dans la miniaturisation de 30%.

## Chapitre III: Miniaturisation et réalisation d'antenne

L'étude paramétrique représentée sur la figure III.8 montre qu'une meilleure adaptation pour est pour une longueur des encoches égales à 16.15 mm. Dans ce cas-là, nous pouvons continuer la miniaturisation et entamer à la miniaturisation de 40% de la taille du patch.

Sur la figure III.9, le coefficient de réflexion présente une adaptation satisfaisante à l'antenne et proche de la fréquence souhaitée (2.6 GHz). Dans chaque pourcentage de miniaturisation du patch, le rapprochement à notre fréquence était toujours par une étude paramétrique sur la largeur de la fente. Ceci nous a mené à répéter cette étude.

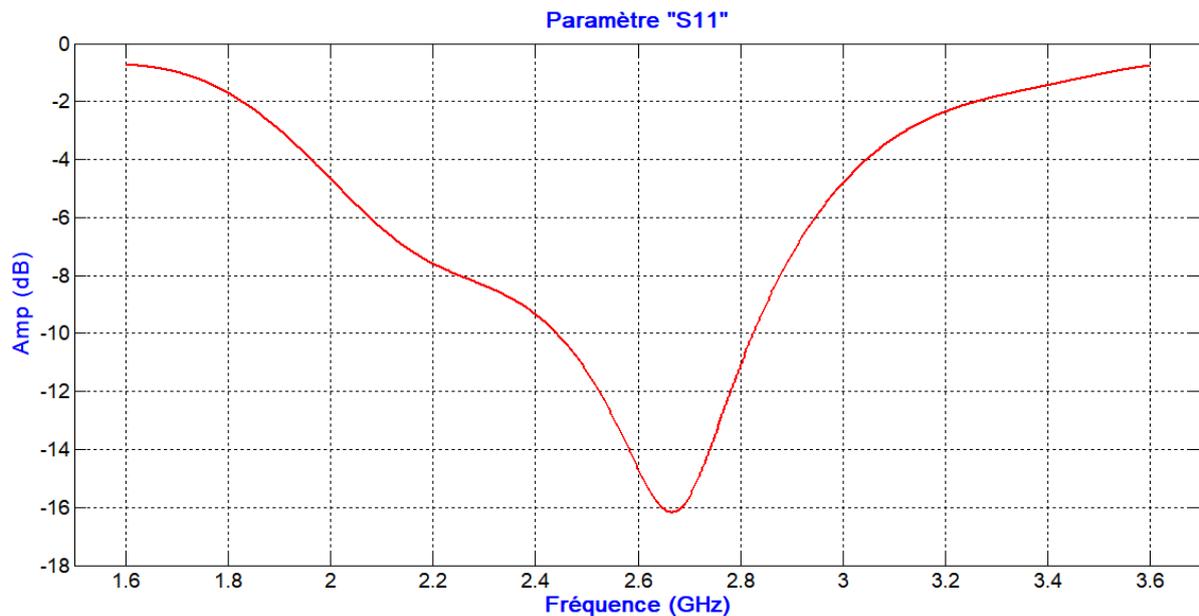


Figure III.9: Une miniaturisation de 40% de la taille du patch

La figure (III.10) montre l'effet de la largeur de fente sur la variation du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence. Nous remarquons qu'une largeur de fente égale à 16.75 mm donne une antenne adaptée à notre fréquence 2.6 GHz avec une bande passante très satisfaisante.

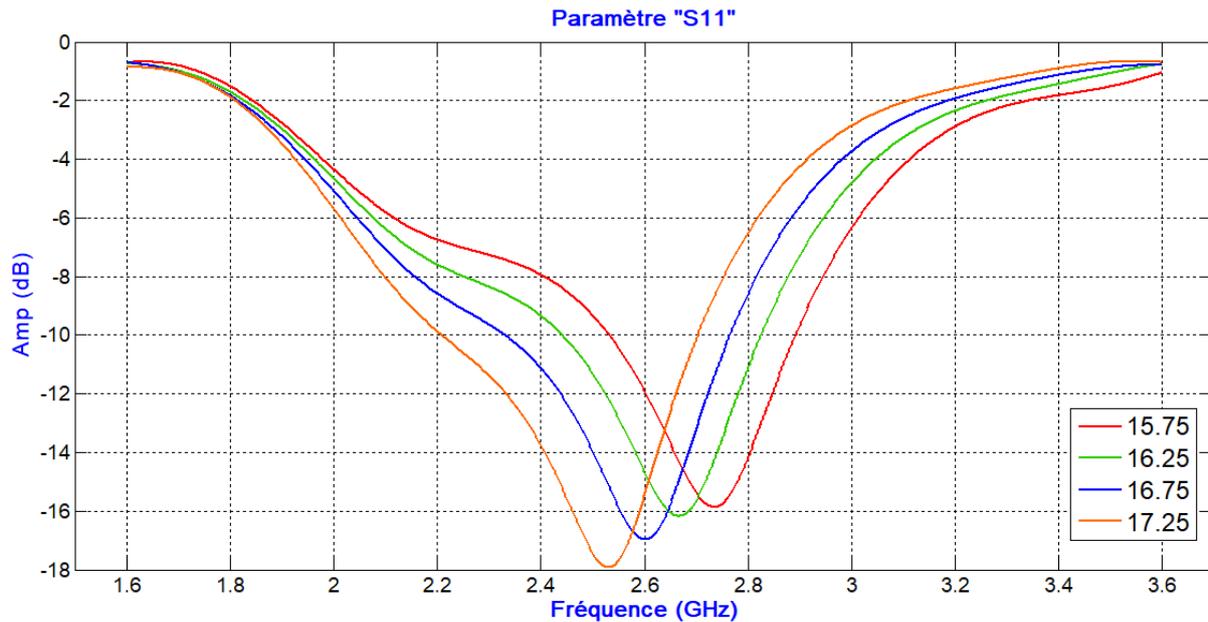


Figure III.10 : Etude paramétrique sur la largeur de fente dans la miniaturisation de 40%.

### III.8 Discussion et interprétation des résultats :

Le tableau III.1 résume les résultats de gain, directivité, efficacité dans le but d'évaluer la miniaturisation. Nous observons une dégradation des performances de l'antenne sauf en terme de la bande de fréquence, cette dégradation concerne notamment l'adaptation et l'efficacité qui modère la perte en bande de fonctionnement. Par ailleurs nous constatons que le pourcentage de 30% de la miniaturisation est le meilleur vu qu'il présente une efficacité acceptable et une bande de fréquence très satisfaisante. Pour cela nous allons choisir l'antenne miniaturisé à 30% de la taille originale du l'élément rayonnant (Figure III.11) et nous présenterons ses performances.

## Chapitre III: Miniaturisation et réalisation d'antenne

	Gain (dB)	Directivité (dBi)	Efficacités	Bande de fréquence (MHz)
10% de miniaturisation	2.37	3.86	61%	20
<b>30% de miniaturisation</b>	<b>1.92</b>	<b>2.92</b>	<b>65%</b>	<b>35</b>
40% de miniaturisation	1.14	2.33	50%	40

Tableau III.1 : Comparaison entre les caractéristiques d'antenne.

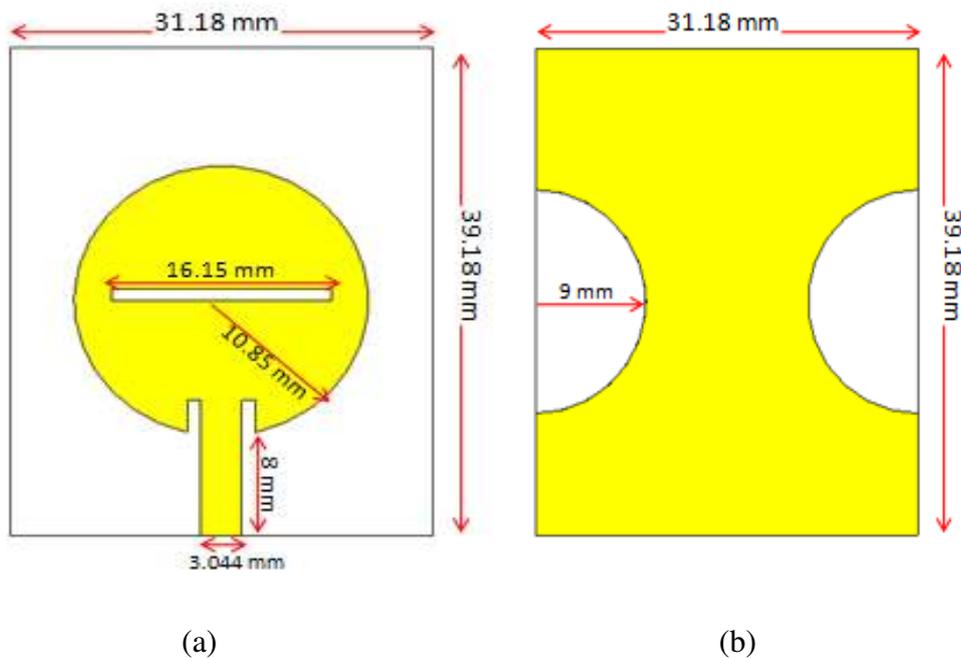


Figure III.11 : Antenne miniature, (a) face supérieure, (b) face inférieure.

### III.8.1 Performance d'antenne miniature :

Le coefficient de réflexion de l'antenne finale est représenté sur la figure III.12. Il est à constater qu'un niveau de -19.8 dB est aboutie à la fréquence LTE 2.6 GHz. La figure III.13 montre par ailleurs le rapport d'onde stationnaire (VSWR) qui est compris entre 1 et 2 montrant ainsi la bonne adaptation de l'antenne. L'impédance de l'entrée est également montrée dans la figure III.14 en matière de la partie réelle. Nous pouvons constater une

## Chapitre III: Miniaturisation et réalisation d'antenne

adaptation d'impédance satisfaisante qui est très proche à 50 ohm( $46.35\Omega$ ). Ces résultats le bon transfert de l'énergie entre l'alimentation et la ligne micro-ruban à la fréquence désirée.

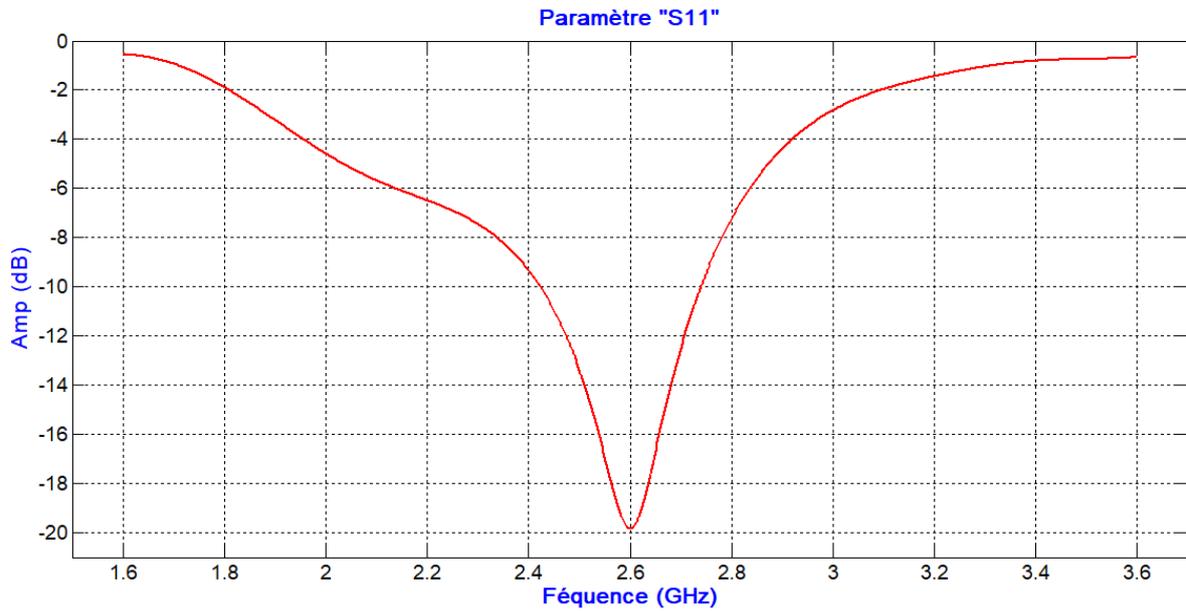


Figure III.12: le coefficient de réflexion S11 en dB.

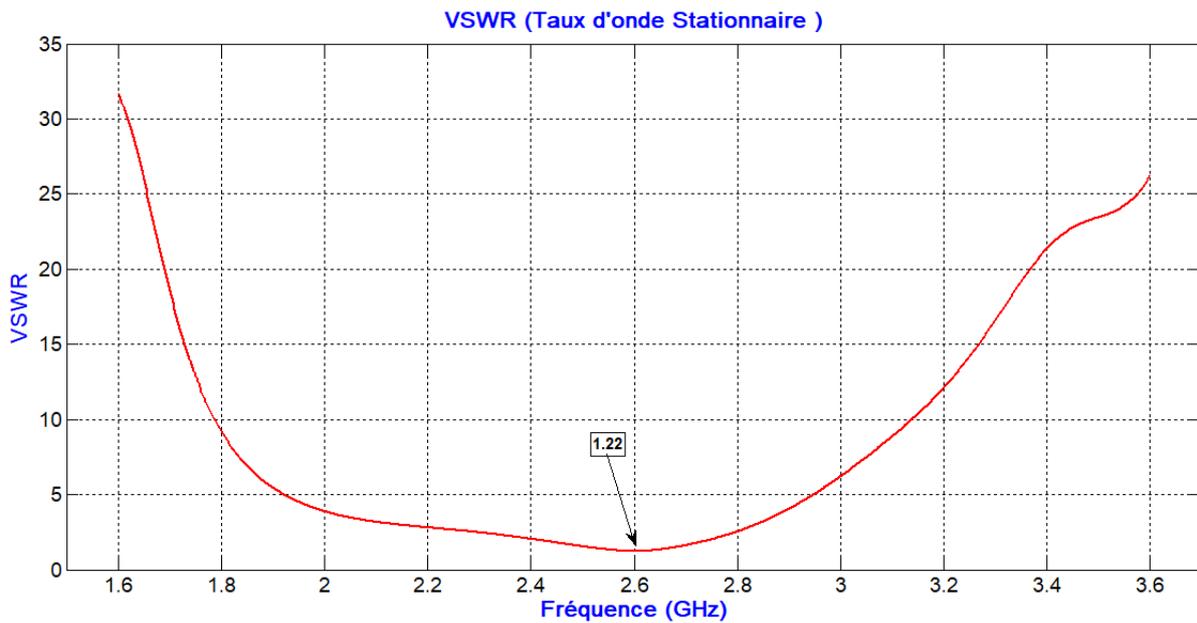


Figure III.13 : Résultat du rapport d'onde stationnaire(VSWR).

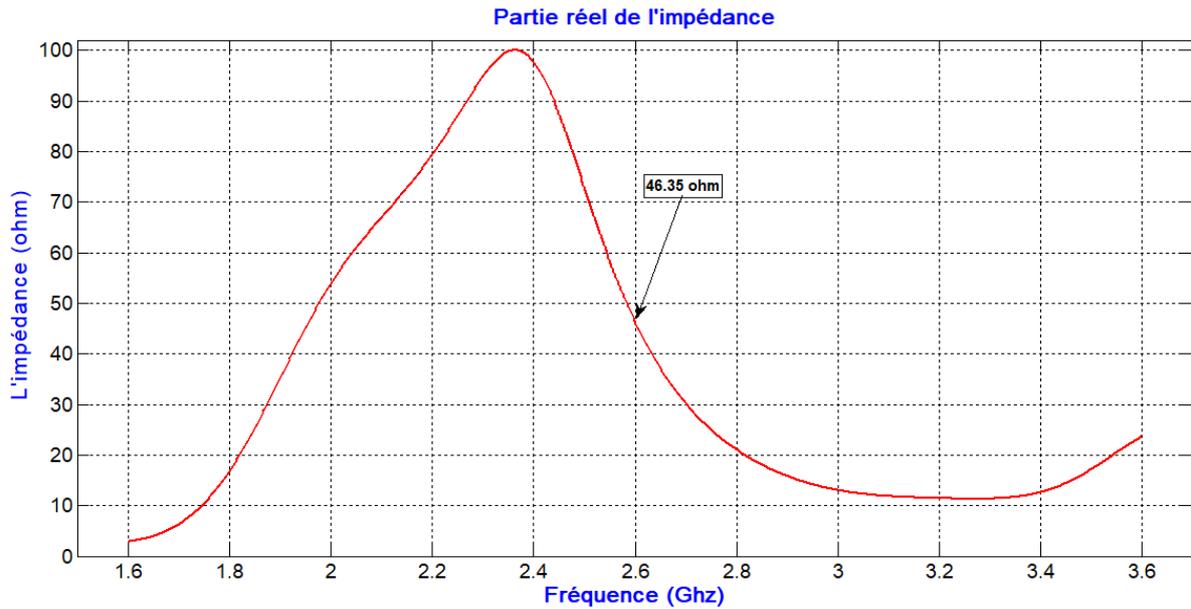
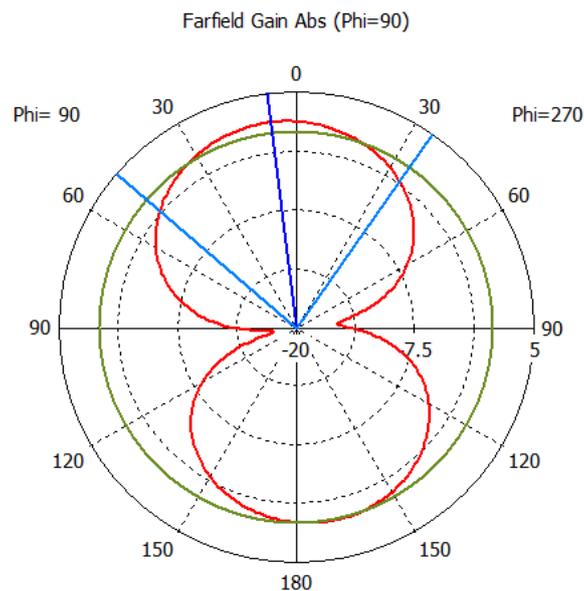
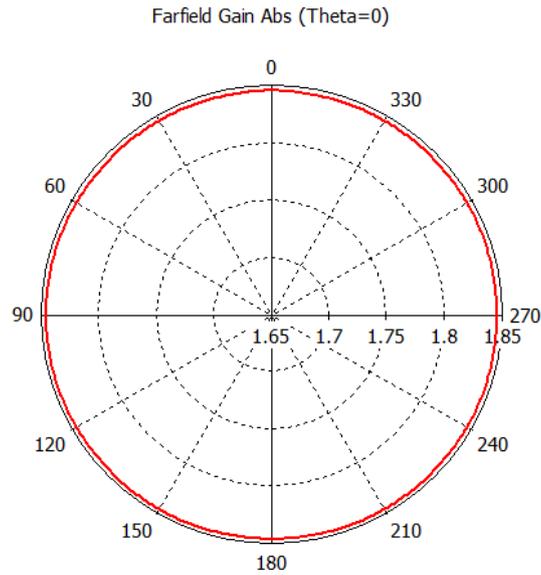


Figure III.14: L'impédance d'entrée de l'antenne.

Cancernant le diagramme de rayonnement, la figure III.15 montrent les diagrammes de rayonnement de l'antenne en représentation polaire dans les deux plans E et H. Dans le plan H, nous remarquons que le diagramme de rayonnement est quasi-omnidirectionnel tandis qu'il est bien omnidirectionnel dans le plan E. Le tracé du rayonnement en 3D donne une meilleure exploration du diagramme de rayonnement qui confirme que le rayonnement de l'antenne est globalement bien omnidirectionnel.



(a)



(b)

Figure III.15: Diagramme de rayonnement polaire de l'antenne à 2.6 GHz pour (a) le plan E et (b) le plan H

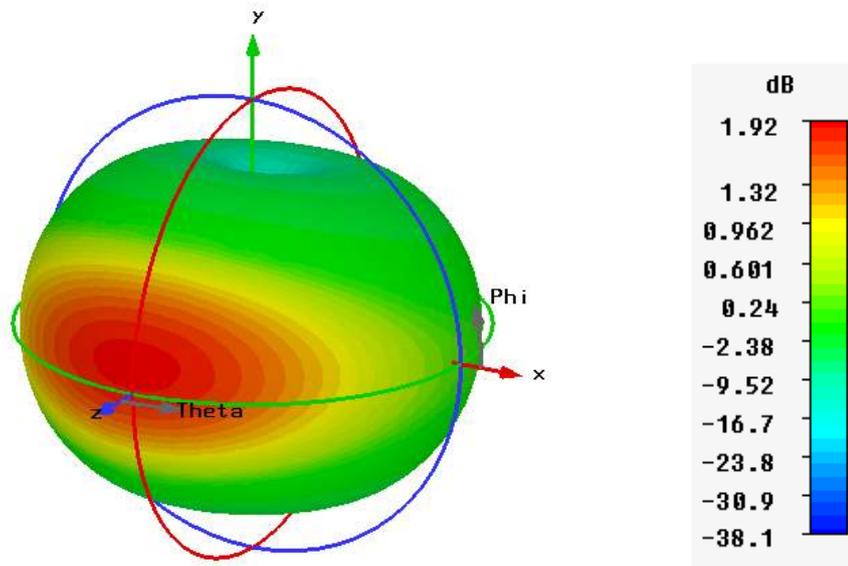


Figure III.16: Diagramme de rayonnement en 3D

La Figure III.17 montre que le courant à la fréquence 2.6 GHz est distribué légèrement autour des encoches ainsi que dans l'extrémité haute du patch et majoritairement au centre de

## Chapitre III: Miniaturisation et réalisation d'antenne

la ligne d'alimentation, nous observons aussi l'absence totale de la densité de courant entre les bords de la fente et l'extrémité de l'élément rayonnant.

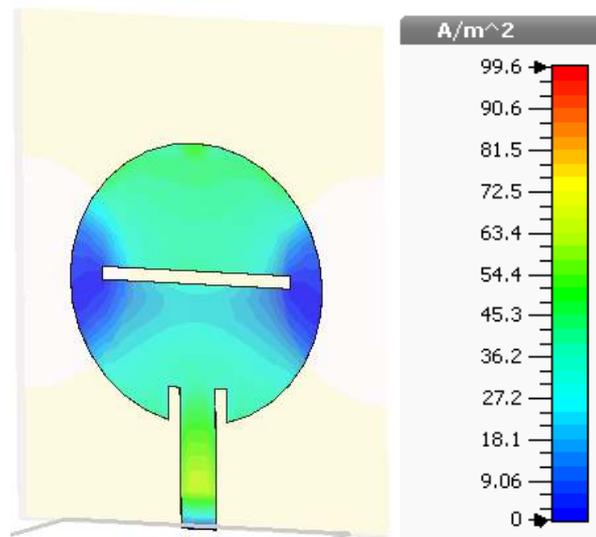


Figure III.17: Densité de courant surfacique du patch à la fréquence 2.6 GHz.

### III.9 Réalisation d'antenne miniature:

Tous d'abord nous avons nettoyé la Plaque à l'aide d'un dissolvant contenant l'alcool et l'acétone très concentrés. Puis nous avons commencé par la technique de transfert toner c'est-à-dire imprimer l'antenne sur une feuille très fin et glacée. Le grand avantage de cette méthode est quand pourra facilement fabriquer plusieurs structures, il est possible aussi de réaliser des antennes imprimées complexes ou ce qu'elles demandant une grande précision. Pour transférer l'antenne imprimée sur la plaque, nous avons posé le papier qui porte la structure de l'antenne sur la plaque en mettant les goutte de dissolvant sur la face supérieure de la plaque ainsi que sur le papier (figure III.18). Après une demi-heure de séchage, nous avons enlevé le papier et nous remarquons sur la figure III.19 que la partie noire reste gravée sur la plaque (c'est celle qui contient le toner). Suivant la même méthode de travaille nous réalisons la face inférieure de la plaque.



Figure III.18 :Antenne imprimée sur la plaque



Figure III.19 : Antenne gravée sur la plaque, (a) Face supérieure, (b) Face inférieure.

Ensuite l'opération suivante consiste à supprimer le cuivre dans la surface où il n'y a pas de patch et de plan de masse sur la plaque substrat/cuivre par une attaque chimique, cette action s'appelle la gravure. Toute la difficulté réside dans le fait qu'il faut protéger le cuivre dans la surface où il doit rester. Pour cette raison nous avons entrée la plaque dans un bain chaude qui contient du sodium hydroxyde en suivant bien les consignes de sécurité. Si le bain est récent ou très actif, l'opération risque d'être très courte, alors nous avons surveillé bien en laissant que les traces des futures structures sur la couche de cuivre. Puis nous avons nettoyé la plaque encore une fois avec le dissolvant et nous observons que l'encre a été disparue et que le cuivre est resté intact, en conclusion le toner protégera le cuivre. Finalement et a laide d'une cisaille

## Chapitre III: Miniaturisation et réalisation d'antenne

nous avons découpé la plaque Substrat/cuivre aux dimensions de notre antenne miniature. Le modèle de l'antenne en taille réelle est illustré dans la figure III.20. Où nous présentons les deux faces soudées avec le connecteur coaxial.

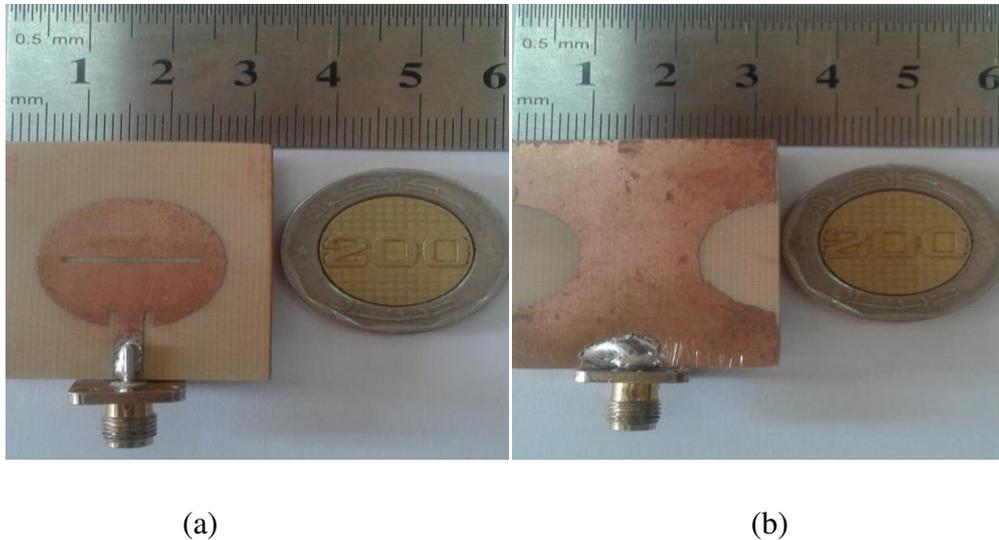


Figure III.20 : Antenne miniature réalisée, (a) Face supérieure, (b) Face inférieure.

### III.10 Conclusion :

Ce chapitre nous a permis d'avoir une vue générale sur la miniaturisation. Nous avons abordé en première temps, une brève définition de la miniaturisation en mettant l'accent sur l'antenne miniature et ses conditions. Puis dans un second temps nous avons traité les différentes étapes pour miniaturiser une antenne imprimée circulaire alimentée par une ligne micro-ruban qui résonne à la fréquence LTE (2.6 GHz). D'abord nous avons commencé par une miniaturisation de 10% de la taille du patch circulaire en se basant sur la technique de la miniaturisation qui consiste à réduire la taille du patch. L'analyse des résultats montre une adaptation à une fréquence de 2.85 GHz. Afin d'arriver à la fréquence souhaitée (2.6 GHz), nous avons opté pour une autre méthode de la miniaturisation à travers l'insertion d'une fente dans l'élément rayonnant. L'effet positif de cette fente est clairement observé dans les simulations (coefficient S11) examinées. En termes de réduction de la taille de l'élément rayonnant pour notre fréquence et suivant les mêmes étapes, nous avons enchaîné la miniaturisation de 30% et sommes passés à 40% de la taille de l'élément rayonnant. La miniaturisation entraîne une dégradation aux niveaux des performances de l'antenne d'une sorte que plus

## Chapitre III: Miniaturisation et réalisation d'antenne

---

l'antenne était petite, plus elle perdait ses performances, ceci nous avons mené à choisir un compromis entre les dimensions et les bonne performances de l'antenne miniaturée et aboutir à des meilleurs résultats présentés en termes de coefficient de réflexion, rapport d'onde stationnaire, diagramme de rayonnement, gain et l'efficacité. Finalement, une réalisation de l'antenne miniature pour l'application LTE était faite au sein de laboratoire de LTT et de laboratoire des antennes imprimées. Cette antenne nous donne une vue pratique sur les différentes difficultés dans la réalisation des antennes imprimées.

# **Conclusion générale**

## Conclusion Générale

Les travaux qui ont été effectués dans le cadre de ce mémoire sont consacrés à la conception, miniaturisation, réalisation d'une antenne micro-ruban de la forme circulaire alimenté par une ligne micro-ruban qui résonne à la fréquence LTE (2,6 GHz).

Pour atteindre cet objectif, la simulation a été réalisé sous le logiciel CST MWS studio, ce simulateur nous a permet de modéliser et d'analyser cette antenne rapidement et précisément. Ainsi l'interface graphique a été réalisée sous le logiciel MATLAB.

Le principal avantage de la technologie des antennes micro-ruban est la simplicité de la réalisation ainsi que le faible coût de fabrication. Ceci, nous avons abordé d'abord à justifier notre choix sur l'antenne imprimée de la forme circulaire alimentée par une ligne micro-ruban pour l'application LTE en présenter les définitions d'ensemble des termes antenne imprimée, les techniques d'alimentation, les différent forme d'élément rayonnant et la technologie LTE en mettant l'accent sur les avantages et les performances d'antennes. Ensuite et grâce à la théorie des antennes, nous avons déterminé les paramètres géométriques du motif imprimé. Avant y arriver à évaluer les performances de l'antenne conçue, nous avons vu un ensemble de modification sur la structure d'antenne en terme d'insertion des encoche sur l'élément rayonnant et le plan du masse, la première conduit a une adaptation de l'antenne et la deuxième cause un élargissement de la bande fréquence. Puis nous avons entamée la miniaturisation après une brève présentation sur elle. La miniaturisation consiste à réduire la taille d'élément rayonnant suivons des techniques données dans la littérature. Avant d'atteindre à un meilleur compromis entre la taille et les performances d'antenne, nous avons visualisé les effets des techniques de miniaturisation utilisée (l'insertion de fente sur l'élément rayonnant et la réduction jusqu'à 50% de la taille du patch). Pour conclure, les résultats montrent une meilleure adaptation à l'antenne miniature pour l'application LTE, cette dernière a était réaliser au sein de laboratoire de télécommunications (LTT). L'analyse des résultats et la comparaison avec celle de la simulation reste comme une première perspective au futur, pour les autres perspectives nous proposons à réaliser une antenne miniature bi-bande ou multi-bande qui couvre toute les bandes LTE ainsi qu'une miniaturisation plus de 40% de la taille originale de l'élément rayonnant avec des performances satisfaisants.

## Références

- [1] S. E. Sandstrom « A Compact Microstrip Patch Antenna For LTE Application, Master Thesis, Submitted For Degree Of Master In Electrical Engineering Specialization In Signal Processing & Wave Propagation ».
- [2] A. Chami « Miniaturisation Et Intégration D'antennes Imprimées Pour Systèmes ULB Pulsés » Université Nice Sophia Antipolis. France. 2011.
- [3] M. N. Moghadasi, R. A. Sadeghzadeh, T. Sedghi, T. Aribi, And B. S. Virdee, Member, IEEE « UWB CPW-Fed Fractal Patch Antenna With Band-Notched Function Employing Folded T-Shaped Element » IEEE Antennas And Wireless Propagation Letters.12. 2013.
- [4] I. J. Bahl, P. E. Bhartia « Microstrip Antennas » Dedham,MA : Artech House.1980.
- [5] K.R. Carver And J. W. Mink « Microstrip Antenna technology » IEEE Trans. AntennasPropagat, Vol AP-29, PP2-24, JAN 1981.
- [6] P. Bihouix, B. Guillebon « Quel Futur Pour Les Métaux ? Raréfaction Des Métaux : Un Nouveau Défi Pour La Société » EDP Sciences. 2010.
- [7] L. J. Volakis « Antenna Engineering » Handbook, University Stuttgart.2007.
- [8] J. H. Visser « Array And Phased Array Antenna Basics » Antenna Engineer. The Netherlands 2005.
- [9] S. Tebache « Méthode De Caractérisation Hyperfréquence Des Antennes Imprimées » Magister, Faculté des Sciences Et De La Technologie, Université Mohamed Khider, Biskra 2013.
- [10] C. Hamid « Conception D'un Nouveau System D'antenne Réseau Conforme En Onde Millimétrique » Maitrise En Ingénierie, Université De Québec A Chicoutimi. Mai 2012.
- [11] A. Boyer « Antennes, Support De Cours Enonce De Travaux Diriges» Institut National Des Sciences Appliquées De Toulouse.
- [12] J. R. Mosing Et F. E. Gardiol « Rayonnement D'une Antenne Micro ruban De Forme Arbitraire » Ann.Telecommum. Vol.40,No3-4,1985.
- [13] M. Lahby « Optimisation Et Evaluation Des Performances Des Communications Mobile Dans Un Environnement Réseaux Multi-accès » Thèse Doctorat Faculté Des Science Et Techniques Université Hassan II Mohammedia-Casablanca.30 NOV 2013.
- [14] F. Sonnerat « Développement D'antenne Innovante Pour Les Terminaux Mobile 4G Tenant Compte De L'interaction Avec L'utilisateur : Solution Circuit Et Antennes Envisageable » Université Européenne De Bretagne Telecom Bretagne, Thèse De Doctorat. Soutenue Le 03 OCT 2013.

- [15] M. Corriveau « Modélisation et Conception D'une Antenne Micro-Onde De Type Micro Ruban Avec Radome » Université Du Québec.2006.
- [16] A.Balanis « Antenna Theory Analysis And Design » Arizona State University Tempe,AZ. 2005.
- [17] D. M. Pozar, D. H. Schaubert « MicrostripAntennas : The Analysis And Design Of Microstrip Antennas And Arrays » 2002.
- [18] T. Arab « Etude Des Matériaux Composites (Titanate Oxyde) : Application Pour Réalisation Des Substrats D'antenne Miniatures » Magister, Faculté de Technologie. Université de Setif-1 UFAS. 04 NOV 2014.
- [19] F. Z. Marouf « Conception D'antennes Pifa Bi-Bande » Mémoire De Master II Université De Tlemcen.2009.
- [20] J. Dauvignac, N. fortino, S. Tourette, G. Kassiavas, P. Ciais « Miniaturisation Des Antennes UWB Planaires » Université De Nice-Sophia Antipolis. 25 OCT 2006.
- [21] A. Diallo « Systems Multi-Antennes Pour Diversités Et Mimo » Thèse De Doctorat De L'université De Nice-Sophia Antipolis.NOV 2007.
- [22] M.JeremyValleau « Miniaturisation d'Antenne Très Large Bande Pour Application Spatiale » Thèse Doctorat, Institut National Polytechnique. Université de Toulouse. 01 DEC 2016.

## Résumé

Récemment, nous assistons à une course à la miniaturisation des antennes imprimées pour les transmissions sans fil comme les réseaux LTE.

L'objectif majeur de ce projet de fin d'étude est la conception ainsi la réalisation d'une antenne miniature dans la technologie imprimé pour une application LTE.

Afin de remplir cet objectif, nous allons s'appuyer sur des études théoriques tant au niveau de la conception de l'antenne initiale qu'au niveau de sa miniaturisation dont le but est d'apercevoir un compromis performance/ cout.

L'antenne élaborée permet à des objets communicants d'opérer dans la bande de fréquence du système LTE. Pour valider les résultats de simulation, l'antenne sera fabriquée et analysée.

## Abstracts

Recently, we are witnessing a race to miniaturize printed antennas for wireless transmissions like LTE networks.

The major objective of this end of study project is the design and realization of a miniature antenna in printed technology for an LTE application.

In order to fulfill this objective, we will rely on theoretical studies both at the level of the initial antenna design and at the level of its miniaturization, the aim of which is to perceive a performance / cost compromise.

The elaborate antenna allows communicating objects to operate in the frequency band of the LTE system. To validate the simulation results, the antenna will be fabricated and analyzed.

## ملخص

في الآونة الأخيرة ، نشهد سباقاً لتصغير الهوائيات المطبوعة للإرسال اللاسلكي مثل شبكات LTE.

الهدف الرئيسي من مشروع نهاية الدراسة هذا هو تصميم وتنفيذ هوائي مصغر في التكنولوجيا المطبوعة لتطبيق LTE.

من أجل تحقيق هذا الهدف، سوف نعتمد على الدراسات النظرية على مستوى التصميم الأولي للهوائي وعلى مستوى التصغير الخاص به، والهدف من ذلك هو إدراك تسوية الأداء/التكلفة.

يسمح الهوائي التفصيلي للأجهزة المتصلة بالعمل في نطاق التردد لنظام LTE. للتحقق من صحة نتائج المحاكاة ، سيتم تصنيع الهوائي وتحليله.