

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

N° :



DOMAINE : SCIENCE ET TECHNOLOGIE

FILIERE : GENIE ELCTRIQUE

OPTION : S.T.N

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par : - BACHIR Hemza

-BEN RABAH Hichem

Intitulé

**Conception d'une antenne multi-bandes pour les
terminaux mobile LTE**

Soutenu devant le jury composé de:

| | | |
|-----------------------|-------------------|------------|
| Dr. KHEDROUCHE Djamel | Université M'sila | Président |
| Dr. KENANE Hadi | Université M'sila | Rapporteur |
| Dr. DJOUANE Lotfi | Université M'sila | Examineur |

Année universitaire : 2016 /2017

Remerciements

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'un projet de recherche mené au niveau du Laboratoire de communications, Département d'électronique de la Faculté de Technologie de l'Université MOHAMED BOUDIAF de M'sila. Nous tenons tout d'abord à remercier chaleureusement notre encadreur Dr. KENANE pour son soutien permanent ainsi que sa disponibilité pour l'achèvement de ce travail qui nous a été très favorables. Nous remercions monsieur D. KHEDROUCHE et L. DJOUANE, tous les deux maitres de conférence à l'université MOHAMED BOUDIAF de M'sila, pour accepter d'évaluer notre travail.

Nous n'oublions pas de remercier les membres de laboratoire LGE, M. BEKHTI, M. BOUGOUTAIA à l'Université de M'sila, pour nous avoir dirigés et guidés tout le long de ce travail ; leurs conseils et remarques constructifs étaient très bénéfiques pour notre travail. Nous exprimons par ailleurs toute notre sympathie à l'ensemble des membres du laboratoire. Ce mémoire, n'aurait pu aboutir, sans la contribution et l'encouragement de certaines personnes que nous vivement à remercier : MR HAMDAOUI ATHMANE, RAHMANI BOUBAKER, FAICEL MESSAADI, MOUHAMMED BEN RABAH, le bureau d'informatique Shine4info, et le Groupe Dhaghte (la pression), ainsi qu'à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin. Nous gardons enfin un remerciement chaleureux pour la famille, pour son soutien et son encouragement dans tous les instants de cette aventure, ainsi qu'à tous nos proches et nos amis.

Dédicace

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

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

A mes frères OUSSAMA, MERIEM et mon
cher ABDELBARI.

A ma belle SAADIYA

A tout ma famille

Et mes amis : SAMI, HAMOUD, SOUFIANE,
DERRADJI, TOUFIK, CHIHEB, HAMZA, CHOUAIB,
TAKI, SAMIR, SALAH, MUSTAPHA, SALIM,
ABDALHALIM,

A tous les amis qui ne sont pas mentionnés.

HEMZA

Dédicace

A ma très chère mère FATIMA
pour son soutien précieux et son amour.

A mon très cher père AHMED

A mes frères

A ma Grand-mère MERIEM

A tout ma famille

Et mes amis : BACHIR, BELKACEM, ZIAN,
KADDOUR, MOUHAMMED, NABIL, YUCEF,
MADANI.

A tous les amis qui ne sont pas mentionnés.

HICHEM

Table des Matières

| | |
|---------------------|-----|
| Remerciements | I |
| Dédicace..... | II |
| Dédicace..... | III |

Introduction Générale

| | |
|-------------------------------|---|
| Introduction Générale : | 2 |
|-------------------------------|---|

Chapitre I : Généralités sur les antennes LTE

| | |
|--|----|
| I.1 Introduction | 5 |
| I.2 Les antennes imprimées | 5 |
| I.2.1 Technologie des antennes imprimées | 5 |
| I.2.2 Les Techniques d'alimentation | 6 |
| I.3 Les caractéristiques des antennes imprimées | 8 |
| I.3.1 Le coefficient de réflexion S11 | 8 |
| I.3.2 L'impédance d'entrée de l'antenne | 8 |
| I.3.3 Le gain | 9 |
| I.3.4 Diagramme de rayonnement | 9 |
| I.3.5 Rendement | 10 |
| I.4 Nécessite du système LTE | 10 |
| I.5 La technologie LTE | 12 |
| I.6 Les systèmes radio cellulaires | 13 |
| I.6.1 Première génération..... | 13 |
| I.6.2 Deuxième génération..... | 13 |
| I.6.3 Les 2.5 et 2.75 générations (GPRS et EDGE) | 14 |
| I.6.4 La troisième génération | 14 |
| I.6.5 La quatrième génération | 15 |
| I.7 La bande de fréquence de LTE | 16 |
| I.8 Les antennes MIMO | 17 |
| I.8.1 Les avantages..... | 17 |
| I.8.2 Les inconvénients | 18 |
| I.9 Conclusion | 18 |

Chapitre II : Etude paramétrique d'une antenne patch rectangulaire

| | |
|---|----|
| II.1 Introduction | 20 |
| II.2 La conception d'une antenne patch rectangulaire | 20 |
| II.3 Etude paramétrique d'une antenne patch rectangulaire | 23 |
| II.3.1 Effet de la longueur du Patch (L_p)..... | 23 |
| II.3.2 Effet de la largeur du Patch (W_p) | 24 |

| | |
|---|----|
| II.3.3 Effet de la position de la ligne d'alimentation..... | 25 |
| II.3.4 Effet de l'introduction des stubs dans la ligne d'alimentation | 27 |
| II.3.5 Effet de la distribution du courant surfacique..... | 28 |
| II.4. Conclusion..... | 31 |

Chapitre III : Etude paramétrique sur les antennes LTE

| | |
|---|----|
| III.1 Introduction | 33 |
| III.2 Géométrie de l'antenne | 33 |
| III.3 Etude paramétrique des différents paramètres de l'antenne MIMO..... | 35 |
| III.3.1 Effet de la largeur du plan de masse | 35 |
| III.3.2 Effet de la longueur du plan de masse | 36 |
| III.3.3 Effet de la position de point d'alimentation | 37 |
| III.4- Effet de largeur et longueur du patch | 41 |
| III.4.1 Effet de la largeur du Patch (W) | 41 |
| III.4.2 Effet de la longueur du Patch (l)..... | 42 |
| III.5 Effet de la distribution du courant surfacique..... | 43 |
| III.6. Conclusion | 47 |

Chapitre IV : Réalisation d'une antenne LTE bi-bandes

| | |
|---|----|
| IV.1. Introduction..... | 49 |
| IV.2. Préparation de Typon..... | 49 |
| IV.3. Mode opératoire :..... | 52 |
| IV.4. Détermination de permittivité | 55 |
| IV.5 Conclusion | 56 |

Conclusion Générale

| | |
|----------------------------|----|
| Conclusion Générale :..... | 58 |
|----------------------------|----|

Références

| | |
|------------------|----|
| Références | 60 |
|------------------|----|

Introduction

Générale

Introduction Générale

Le concept des antennes imprimées fait son apparition dans les années 50, mais c'est au cours des années 70 qu'elles ont été développées. Une antenne micro-ruban est composée d'un élément rayonnant de forme géométrique quelconque (circulaire, rectangulaire, etc...), un plan de masse et une couche diélectrique appelée substrat sur lequel se dépose l'élément rayonnant. L'élément rayonnant est aussi appelé patch. Pratiquement, les formes de patch les plus utilisées sont la forme rectangulaire et circulaire. À cause de leur faible coût de réalisation et leur capacité d'intégration aux différentes applications (aéronautiques, aérospatiales, militaires, ...), les antennes imprimées sont implantées dans de nombreux dispositifs électroniques tels que les téléphones portables, les ailes des avions, etc... [1-3].

Pendant ces dernières années, les antennes LTE sont devenues une matière importante de recherche dans le domaine électromagnétique (conception et réalisation des antennes). Elles sont bien conformes pour les différentes applications de la quatrième génération 4G. Plusieurs recherches ont étudié les caractéristiques des antennes imprimées telles que la fréquence de résonance, la bande passante, le diagramme de rayonnement, la distribution du courant surfacique...etc.

Bien que les antennes imprimées LTE semblent simples et faciles à fabriquer, mais chercher à obtenir les caractéristiques électromagnétiques qui satisfont toutes les conditions, est une tâche un peu compliquée. Pour cette raison, des approches de modélisations fiables sont nécessaires. Deux approches sont possibles pour la modélisation d'une antenne imprimée :

➤ L'approche théorique basée sur le calcul du champ en résolvant les équations de Maxwell. La résolution de ces équations demande la connaissance de plusieurs informations telles que la nature des antennes, les caractéristiques EM des milieux de propagation, les conditions aux limites sur les surfaces.

➤ L'approche qui est développée à partir d'un logiciel de simulation CST STUDIO. Dans notre étude on va utiliser ce logiciel pour calculer la fréquence de résonance et le coefficient de réflexion S_{11} , la distribution des courants sur les conducteurs (lignes et patches), les diagrammes de rayonnement, la directivité et les pertes de retour.

Pour obtenir un bon compromis entre la taille réduite de l'antenne imprimée et les caractéristiques de rayonnement et d'adaptation, deux techniques doivent être utilisées : l'étude paramétrique et l'optimisation.

Pour avoir une bonne antenne LTE avec des meilleures caractéristiques, une étude paramétrique doit être utilisée, cette étude sera faite sur cette antenne avec et sans des fentes sur le patch. Dans l'étude paramétrique, on doit varier un seul paramètre alors que les autres doivent être fixes ce qui nous a permis de voir l'effet de chaque paramètre sur les caractéristiques de l'antenne conçue. [1]

Ce manuscrit est scindé en quatre chapitres. Il est présenté comme suit :

Le premier chapitre de ce mémoire est une présentation généralité sur les antennes LTE. Après avoir rappelé les notions de base des antennes imprimées, on entame la théorie concernant la technologie LTE, la nécessité de cette technologie et ses bandes de fréquence.

Dans le deuxième chapitre, on va présenter une étude paramétrique d'une antenne patch rectangulaire. Parmi ces paramètres à varier, on peut citer : longueur et largeur du patch, la position d'alimentation, longueur et largeur du plan de masse. La création des fentes sur la surface rayonnante influence sur la distribution du courant surfacique ce qui nous a permis d'abaisser la fréquence du mode dominant.

Dans le troisième chapitre, on doit faire une étude paramétrique d'une antenne bi-bandes dédié à la technologie LTE (bande 22 et 38). La simulation sera faite en utilisant l'environnement de conception CST MICROWAVE STUDIO 2017.

Dans le quatrième chapitre, une réalisation pratique d'une antenne MIMO LTE sera faite.

En enfin une conclusion sur notre travail présenté.

Chapitre I :

Généralités sur les antennes LTE

I.1 Introduction

Dans la dernière vingtaine d'années, l'usage des services de communications mobiles a connu un essor remarquable. On comptait, à la fin de l'année 2011 près de 6 milliards d'abonnés à travers le monde, soit 87% de la population mondiale.

C'est véritablement un nouveau secteur de l'industrie qui s'est créé, regroupant notamment constructeurs de circuits électroniques, constructeurs de terminaux mobiles, constructeurs d'infrastructures de réseaux, développeurs d'applications et opérateurs de réseaux mobiles. Conçues à l'origine pour offrir uniquement un service de téléphonie mobile, les technologies de communications radio mobiles ont considérablement évolué et permettent désormais une connexion à haut débit en situation de mobilité.

Les utilisateurs de terminaux mobiles peuvent naviguer sur le web, utiliser leurs applications et services préférés, télécharger des vidéos, et bien plus, tout cela sur le même terminal et en mobilité. Cette révolution a été rendue possible par la conjonction de deux facteurs, d'une part l'apparition et la généralisation de téléphones intelligents (smartphones, puis tablettes), d'autre part le déploiement généralisé de la norme 3G+ sur les réseaux, entraînant une amélioration significative de leurs performances en termes de transmission de données. Tout cela a fait augmenter l'attente des clients pour une meilleure qualité et une plus grande performance des réseaux. Il est donc nécessaire de mettre en œuvre de nouvelles technologies. Il est vite apparu que seule la nouvelle génération LTE (aussi appelée 4G) et de nouvelles bandes de fréquences seraient à même de satisfaire les besoins à venir. Le LTE (*Long Term Evolution*) a été envisagé dès novembre 2004 comme l'évolution à long terme de l'UMTS [1].

I.2 Les antennes imprimées

I.2.1 Technologie des antennes imprimées

Vu l'explosion technologique dans la télécommunication et les recherches scientifiques continues concernant les antennes imprimées, l'utilisation des antennes micro-ondes classiques devient incapable de répondre à ces exigences. Pour cette raison, les antennes multi bandes remplacent les antennes classiques dans la plupart des applications telles que : les satellites, la commande et contrôle, télémesure, les équipements portatifs, les antennes IRM en médecine et les récepteurs satellite de navigation. [1]

I.2.2 Les Techniques d'alimentation

Il existe plusieurs techniques d'alimentation sont utilisées pour les antennes patch :

- Alimentation par ligne de transmission micro-ruban.
- Alimentation par couplage d'ouverture.
- Alimentation par câble coaxial.
- Alimentation par proximité de couplage.

Ces méthodes peuvent être par contact direct entre la ligne de transmission et la surface rayonnante ou sans contact en utilisant le couplage de champ électromagnétique pour transférer l'alimentation vers le patch [2].

I.2.2.1 Alimentation par ligne de transmissions imprimées

Une ligne d'alimentation micro-ruban est une bande qui est beaucoup plus étroite que le patch. Cette alimentation est très facile à fabriquer et facilement adapté en contrôlant ses dimensions et sa position. La ligne de transmission et le patch sont fabriqués à partir du même conducteur.

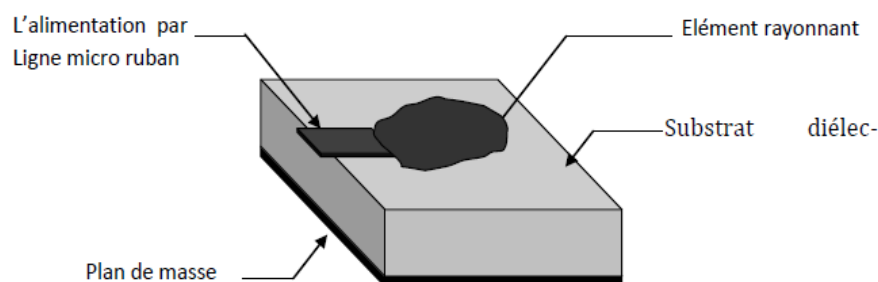


Figure I.1 : Alimentation par ligne de transmission micro-ruban. [4]

I.2.2.2 Alimentation par couplage d'ouverture

Couplage ouverture est plus difficile à fabriquer et conduit à bande passante étroite. La géométrie est constituée de deux substrats séparés par un motif avion. La face inférieure du substrat est alimentée par une ligne de transmission et l'énergie est couplée à la pastille à travers une fente. Le substrat sur le dessus a un faible constant diélectrique inférieur tandis que le substrat est un matériau de haute avec ϵ_r une alimentation sans contact. En contrôlant la longueur de la fente ou de la largeur de la ligne de transmission, en correspondance est effectuée.

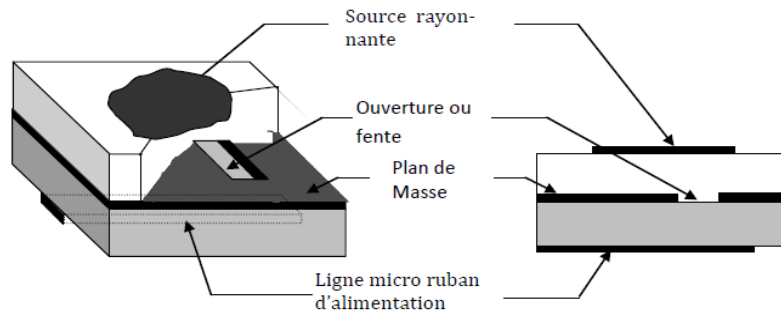


Figure I.2 : Alimentation par couplage d'ouverture. [4]

I.2.2.3 Alimentation par câble coaxial

L'alimentation par câble coaxial présente une bande passante étroite. Il se compose de deux conducteurs. Le conducteur externe est relié au plan de masse tandis que l'intérieur conducteur est relié à la pastille rayonnante. Coaxial avance du capteur est facile à fabriquer et correspondance. Il est très difficile à modéliser pour des substrats épais. [2]

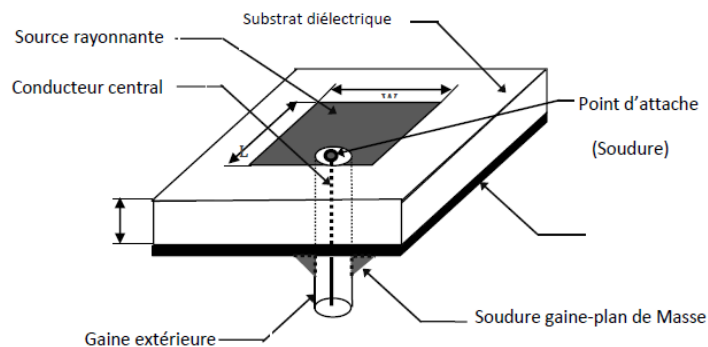


Figure I.3 : Alimentation par câble coaxial. [4]

I.2.2.4 Alimentation par proximité de couplage

À couplage de proximité, la ligne micro-ruban est placée entre deux substrats. Le substrat supérieur à un patch rayonnant sur le dessus. Cette technique est facile à modéliser mais difficile à fabriquer. La bande passante de la proximité couplage alimentation est très grand. Ce couplage est capacitif et a un faible rayonnement parasite.

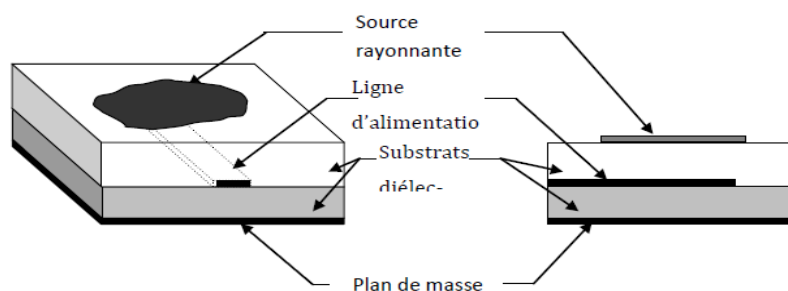


Figure I.4 : Patch avec alimentation par couplage de proximité. [4]

I.3 Les caractéristiques des antennes imprimées

I.3.1 Le coefficient de réflexion S_{11}

Le coefficient de réflexion (*Return Loss* : RL) est un paramètre qui indique la quantité de puissance réfléchie vers l'émetteur, et qui n'est pas dissipée à la charge.

Dans un système électrique caractérisé par les paramètres S, lorsque le coefficient S_{11} a connaît une forte atténuation à une fréquence donnée appelée fréquence de résonance, il y a un maximum de transfert de puissance entre la source et la charge. Ce paramètre est très important pour optimiser une antenne [3, 15]. Son expression est donnée par : [4]

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

Z_e : Impédance d'entrée de l'antenne

Z_0 : Impédance normalisée (généralement égale à 50Ω)

$$RL = -20 \log_{10} |S_{11}| \quad (dB) \quad (I.2)$$

Pour une adaptation parfaite entre l'émetteur et l'antenne $S_{11} = 0$ et $RL = \infty$ signifie qu'il n'aura aucune énergie réfléchie, tandis qu'une $S_{11} = 1$ a une $RL = 0$ dB ce qui implique que tout la puissance incidente est réfléchie. Pratiquement, un VSWR de 2 est acceptable, qui correspond à un RL de -9.54 dB qui signifie 1% de la puissance sera réfléchie vers la source[3].

Le TOS ou le VSWR : taux d'onde stationnaire (*Voltage Standing Wave Ratio*) est donné par :

$$VSWR = \frac{1 + |S_{11}|}{1 - |S_{11}|} \quad (I.3)$$

I.3.2 L'impédance d'entrée de l'antenne

L'impédance d'entrée de l'antenne est l'impédance vue de la part de la ligne d'alimentation au niveau de l'antenne.

Cette impédance est donnée par la formule :

$$Z_e = Z_0 \frac{(1 + S_{11})}{(1 - S_{11})} \quad (I.4)$$

Z_0 = impédance caractéristique de la ligne d'alimentation.

$$Z_e = \frac{V_e}{I_e} = R_e + jX_e \quad (I.5)$$

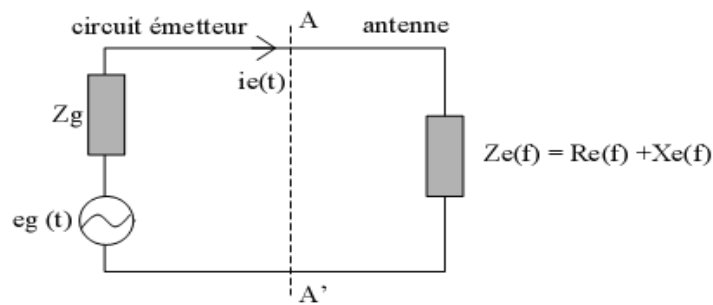


Figure I.5 : L'impédance d'entrée d'une l'antenne.

I.3.3 Le gain

Le gain d'une antenne est le rapport entre la puissance qu'il faudrait fournir à une antenne de référence et celle qu'il suffit de fournir à l'antenne considérée pour produire la même intensité de rayonnement dans une direction donnée

A une direction donnée, le gain d'une antenne est la quantité d'énergie rayonné dans cette direction comparée à l'énergie qu'une antenne isotrope rayonnait dans la même direction avec la même puissance d'entrée. Habituellement on s'intéresse par le gain maximum, qui est le gain dans la direction dans laquelle l'antenne rayonne la majorité de sa puissance.

Le rapport de gain donnée par :

$$G(\theta, \phi) = e_{cd} D(\theta, \phi) \quad (dBi) \quad (I.6)$$

I.3.4 Diagramme de rayonnement

Comme il est généralement difficile de représenter (et même de calculer) la surface caractéristique de rayonnement d'une antenne, on se contente de représenter des coupes de cette surface. Ces coupes, appelées Diagrammes de Rayonnement qui peuvent être tracés en coordonnées cartésiennes ou polaires. Si les antennes présentent un angle d'ouverture très faible (cas des antennes hyperfréquences), on représente le diagramme en coordonnées cartésiennes. Ci-dessous la figure I.6 présente un diagramme de rayonnement avec ses caractéristiques associées.

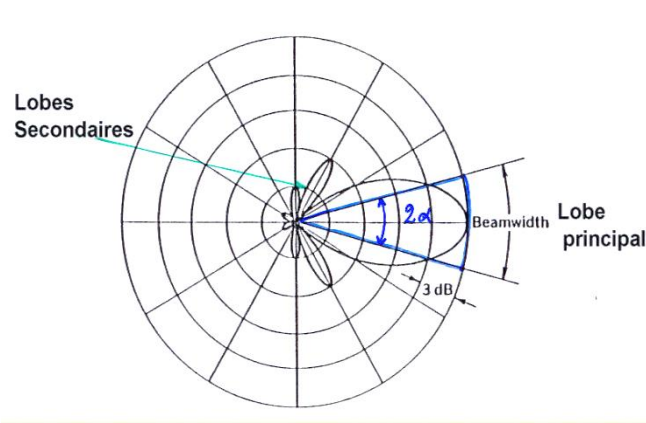


Figure I.6 : Diagramme de rayonnement. [4]

I.3.5 Rendement

Le rendement est le rapport entre l'énergie rayonnée par une antenne et celle que lui fournit l'alimentation, elle est exprimée par :

$$\eta = \frac{R_r}{R_r + R_p} \quad (I.7)$$

Ou : R_r : Résistance liée à son rayonnement.

R_p : Résistance liée aux pertes de l'antenne. [4]

I.3.6 La bande passante

La largeur de bande ou bande passante d'une antenne définit le domaine de fréquence dans lequel le diagramme de rayonnement de l'antenne présente les caractéristiques requises.

Plusieurs travaux ont tenté d'établir une relation entre la taille physique, l'efficacité et la bande passante relative des antennes électriquement petites. Parmi ces travaux, on peut citer le modèle de Wheeler et Chu [5]

$$BP = \frac{\left(\frac{2\pi d}{\lambda}\right)^3}{\eta} \quad (I.8)$$

I.4 Nécessité du système LTE

- *La capacité*

Le système doit supporter simultanément un grand nombre d'utilisateurs par cellule. Il est attendu qu'au moins de 200 utilisateurs simultanés par cellule soient acceptés à l'état actif pour une largeur de bande de 5 MHz, et au moins de 400 utilisateurs pour des largeurs de bandes supérieures [4].

- *Les débits*

Les objectifs de débit maximal définis pour le LTE sont de 100 Mbit/s en voie descendante pour une largeur de bande allouée de 20 MHz et 50 Mbit/s en voie montante pour une largeur de bande allouée de 20 MHz. Ces données supposent un terminal comprenant deux antennes en réception et une antenne en émission (diversité) [4].

- *L'agilité en fréquence*

Le LTE peut opérer sur des différentes porteuses afin de s'adapter à des allocations spectrales variées. Les largeurs de bandes sont les suivantes : 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 20 MHz dans les sens montant et descendant [4].

- *La mobilité*

Le LTE vise à rester fonctionnel pour des terminaux se déplaçant à des vitesses élevées (jusqu'à 350 km/h) tout en étant optimisé pour des vitesses plus faibles (entre 0 et 15 km/h). Les bandes de fréquence LTE allouées au niveau mondial sont : 450-470 MHz, 790-960 MHz, 1.71-2.025 GHz, 2.11-2.2 GHz, 2.3-2.4 GHz, 2.5-2.69 GHz. Au niveau européen, ce sont les bandes 790-862 MHz et 2.5-2.69 GHz qui ont été identifiées. La bande 790-862 MHz, regroupe les fréquences libérées suite à l'extinction de la télévision analogique au profit de la TNT (Télévision Numérique Terrestre). Cette bande possède de très bonnes propriétés de propagation. Pour un même nombre de stations de base déployées, la bande basse permet d'offrir une meilleure couverture, Néanmoins, la bande disponible est assez étroite (30 MHz pour les deux voies). La bande 2.5-2.69 GHz présente une largeur plus élevée avec 70 MHz pour les deux voies. Elle est appropriée pour les zones denses. Pour cela, de nouvelles techniques de gestion des ressources radio sont développées. Le LTE opère sur des porteuses de largeur maximale de 20 MHz mais, Il est possible d'atteindre une largeur de bande maximale de 100 MHz en agrégeant cinq porteuses [4].

- *La latence*

La latence du système se traduit concrètement par sa capacité à réagir rapidement à des demandes d'utilisateurs ou de services. Elle se décline en latence du plan de contrôle et latence du plan utilisateur [4].

- *Latence du plan de contrôle*

L'objectif fixé pour le LTE est d'améliorer la latence du plan de contrôle par rapport à l'UMTS, via un temps de transition inférieur à 100 ms entre un état de veille de l'UE et un état actif autorisant l'établissement du plan utilisateur [4].

- *Latence du plan utilisateur*

Cette latence est définie par le temps de transmission d'un paquet entre la couche IP de l'UE et la couche IP d'un nœud du réseau d'accès ou inversement. En d'autres termes, la latence du plan utilisateur correspond au délai de transmission d'un paquet IP au sein du réseau d'accès. Le LTE vise une latence du plan utilisateur inférieure à 5 ms dans des conditions de faible charge du réseau et pour des paquets IP de petite taille [4].

I.5 La technologie LTE

Parmi les antennes imprimées les plus répondu à la technologie de la 4ième génération, les antennes LTE multi-bandes sont devenu indispensables pour répondre aux systèmes de télécommunications de nos jours. Les réseaux LTE sans fil imposent de nouvelles approches pour transmettre l'information. Les techniques d'antennes multiples constituent une solution intéressante pour augmenter le débit sans accroître la bande passante et de remédier le problème de saturation des bandes allouées. Cependant, la conception de systèmes à base de diversité soulève de nouveaux défis quant à leur intégration au sein de terminaux à encombrement réduit.

Le réseau LTE Offre des vitesses nettement supérieures aux réseaux 3G, 4G, et HSPA+. La technologie LTE sans fil est actuellement la plus rapide. Elle utilise des téléphones intelligents aux points d'accès sans fil en passant par les tablettes et les clés Internet.

De plus, elle possède la capacité de permettre à un plus grand nombre d'utilisateurs d'accéder au réseau sans-fil à grande vitesse sans compromettre la performance. En d'autres termes, c'est la convergence parfaite d'Internet, du mobile, des nouvelles technologies et de tout ce qu'il s'y rapporte. [7]

Le LTE augmente significativement l'efficacité spectrale et le taux de transmission de données en introduisant la technologie de transmission OFDM et de multi antenne MIMO. Il supporte différentes allocations de largeur de bandes, tels que 1,4MHz, 3MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz et 20MHz. L'assignement de fréquences en LTE est plus flexible. Sa capacité et sa couverture ont été grandement améliorées [8].

Le réseau LTE offre, en théorie, des vitesses de téléchargement pouvant atteindre 100 Mbps. Les vitesses types des clients se situent vers 45 Mbps pour la plupart des appareils, voire jusqu'à 40 Mbps pour certains appareils sur le réseau LTE. Ce réseau est prêt pour l'avenir et l'avancement des appareils. [7]

I.6 Les systèmes radio cellulaires

I.6.1 Première génération

Dans les années 1970-1980, la première génération de téléphone mobile noté (1G) fait son apparition. Elle possède un fonctionnement analogie et est constituée d'appareils relativement volumineux et a couverture limitée. Les principaux standards utilisaient sont :

- **AMPS** (*Advanced Mobile Phone System*)
- **TACS** (*Total Access Communication System*)
- **ETACS** (*Extended Total Access Communication System*)

Ces réseaux ne permettent pas de garantir la confidentialité des communications et sont par ailleurs devenu très saturée [11].

I.6.2 Deuxième génération

Contrairement à la 1G, les communications sans fil sont complètement numériques pour la deuxième génération de téléphonie mobile (2G) au début des années 90, la norme GSM (Global System for Mobile Communication) pour la Communication sans fil est adoptée en Europe. La 2G permet de transmettre la voix ainsi que les données numériques de faibles volumes.

Suivant la bande utilisée, Il existe plusieurs types de standard GSM tels que GSM 900, DCS 1800 et PCS 1900 :

GSM 900 : il est très utilisé dans les urbaine et rurale (macro cellules) en utilisant deux bandes de fréquences 890-915 MHz et 935-960 MHz. Les cellules peuvent avoir une portée de plus de 35 Km.

DCS 1800 (*Digital Cellular System*) : C'est un système dérivé du GSM 900 pour les zones urbaines (micro cellules) en utilisant deux bandes de fréquences de 75MHz autour des 1800 MHz : 1710-1785 MHz et 1805-1880 MHz [14].

I.6.3 Les 2.5 et 2.75 générations (GPRS et EDGE)

Des améliorations du GSM sont mises au point afin d'en améliorer le débit. C'est le cas notamment des standards GPRS (General Packet Radio Service «2.5G») et EDGE (Enhanced Data Rates GSM Evolution «2.75G»). Ces deux standards continuent à profiter de l'infrastructure existante du GSM.

Le GPRS fait son apparition en 2001. Il permet d'étendre l'architecture du standard GSM, afin d'autoriser le transfert de données par paquets avec des débits trois fois plus importants que la 2G. Cette méthode est plus adaptée à la transmission des données.

Grâce au mode de transfert par paquets, les transmissions des données n'utilisent le réseau que lorsque cela est nécessaire. En effet, les ressources ne sont pas allouées que lorsque des données sont échangées contrairement au mode «circuit» en GSM où une connexion est établie pour toute la durée de la communication. Cela autorise un accès plus confortable aux services WAP (*Wireless Application Protocol*) et à internet allégé.

Tout comme la norme GPRS, le standard EDGE est utilisé comme une transition vers la 3G. Une modification du type de modulation (8-PSK) permet d'améliorer le taux de transmission de données. Il quadruple les améliorations du débit de norme GPRS, ouvrant ainsi la porte aux applications multimédias [14].

I.6.4 La troisième génération

La 3^{ème} génération représente une évolution majeure par rapport à la 2G. Sur la base de communications «voix», se sont les services mobiles qui profitent de réseaux hauts débits largement supérieurs.

En 2002 la norme UMTS fait son apparition, cette dernière propose d'atteindre un débit de données plus important, ouvrant ainsi la porte à des applications multimédias comme la visioconférence, diffusion de contenu vidéo et audio, MMS vidéo, l'accès à internet haut débit etc.

Il existe plusieurs normes de (3G) dans le monde, la norme UMTS employée en Europe repose sur la technique WCDMA (*Wide band Code Division Multiple Access*) qui utilise une bande de fréquence de 5 MHz pour le transfert de la voix et de données avec des débits pouvant aller de 384 Kbits/s à 2 Mbits/s. tandis que le CDMA 2000 est utilisée aux Etats Unis et le TD-SCDMA (*Time Division Synchronous Code Division Multiple Access*) en Chine.

L'UMTS utilise les bandes 1885-2025 MHz et 2110-2200 MHz. Cependant une nouvelle infrastructure de réseau doit être mise en place car l'UMTS ne peut pas fonctionner sur les réseaux GSM [14].

I.6.5 La quatrième génération

En 2010, le monde a connu une grande évolution dans le domaine du téléphone mobile qui arrive à la 4^{ème} génération. La 4^{ème} génération succède à la 3G est une dénomination qui regroupe un ensemble de critères évolutifs et se traduit surtout par l'augmentation de débit et de la qualité des services (atténuation des problèmes de connexion, souplesse de l'utilisation de TV mobile).

De nombreux critères entrant en jeu tels que le débit où la 3G nous offre des débits maximums de 7 à 14 Mbit/s selon les pays, la 4G nous permettra d'atteindre des débits, théoriquement, de l'ordre de 100 Mbits/s en mouvement, et jusqu'à 1 Gbits sans mouvement. La technologie LTE s'est vue être en mise en place, pour la première fois, dans plusieurs pays tels que USA, Norvège et Suède. [4,8, 9 et 15]

Le tableau suivant représente une évolution pour des standards de communication :

Tableau I.1: L'évolution des standards de communication. [4, 15]

| Génération | standards | Bandes de fréquences | Débit |
|------------|-----------|--|----------------------|
| 1G | ETACS | Analogique ; premier téléphone sans fil, voix uniquement | - |
| 2G | GSM | Permet le transfert de voix ou de données numériques de faible volume. | 9.6 Kbits/s |
| 2.5G | GPRS | Permet le transfert de voix ou de données numériques de volume modéré. | (21.4-171.2) Kbits/s |
| 2.75G | EDGE | Permet le transfert simultané de voix ou de données numériques. | (43.2-345.6) Kbits/s |
| 3G | UMTS | Permet le transfert simultané de voix ou de données numériques à haut débit. | (0.144-2) Mbits/s |
| 4G | LTE | Permet le transfert simultané de voix ou de données numériques à haut débit en temps réel. | 100 Mbits/s |

I.7 La bande de fréquence de LTE

Pour le LTE, des bandes additionnelles vis-à-vis de la 3G doivent être couvertes. Ainsi, un déploiement dans la bande 700 MHz est prévu en Amérique du Nord, dans les bandes 900 MHz (la bande 8), 1800 MHz, 2600 MHz (la bande 38) 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*) : sur les bandes 33 à 44. Elles sont similaires à celles utilisées par les autres pays en 4G, mais il existe des autres bandes de fréquences 2300-2400 MHz, et 3400-3800 MHz. Cependant, ce déploiement est prévisionnel et il est difficile d'affirmer avec certitude quelles seront les bandes utilisées dans le futur. [16]

Pour le WiMAX, trois ensembles de bandes de fréquences ont été envisagés : 2,3-2,9 GHz, 3,3-3,8 GHz et 5,15-5,85 GHz. Finalement, seulement une partie d'entre elles (2,5-2,7 GHz et 3,4-3,6 GHz) ont obtenu une licence dans le monde pour le moment. On considère pour la suite la bande 3,3-3,8 GHz dans son intégralité comme la bande WiMAX, l'autre bande correspondant à la bande 7, déjà prise en compte pour le LTE.

On synthétise les bandes de fréquences à couvrir dans le cadre de la 4G, (Tableau I.2) où les 5 macro-bandes à couvrir sont les suivantes :

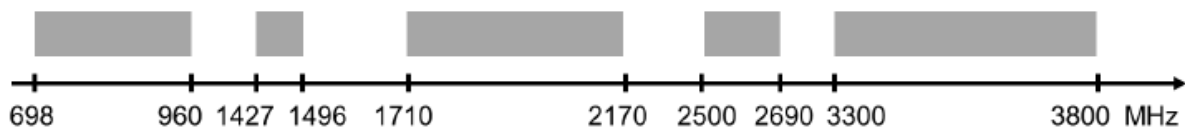


Figure I.7 : Les bandes de spectre pour la 4G.

Pour les opérateurs, et par rapport aux normes précédentes, LTE offre améliorée la performance ainsi que le capital et les coûts d'exploitation réduits. Beaucoup fabricants conçoivent antennes prototypes de différentes tailles et de notre travail concerne pour certains de ces prototypes et les bandes LTE suivantes :

Tableau I.2: Les bandes spectrales du système LTE. [2]

| LTE numéro de bande | Allocation (MHz) |
|---------------------|------------------|
| 8 | 880-915 |
| 11 | 1427.9-1452.9 |
| 22 | 3410-3500 |
| 34 | 2010-2025 |
| 36 | 1930-1990 |
| 38 | 2570-2620 |
| 39 | 1880-1920 |

I.8 Les antennes MIMO

I.8.1 Les avantages

Les avantages offerts par les systèmes à diversité antennaire sont conditionnés par une bonne isolation entre les éléments rayonnants. Pour atteindre cet objectif, deux approches sont adoptées : la première utilise les techniques de découplage telles que l'insertion de fentes ou de ligne de neutralisation, la seconde consiste en la disposition orthogonale des antennes l'une par rapport à l'autre. Pour la première conception, la démarche consiste à obtenir un système performant sans rechercher, dans un premier temps une forte intégration. Néanmoins, le système proposé est intégrable dans des terminaux émergents dans le marché actuel comme les mini-tablettes, l'hybride téléphone-tablette, voire des terminaux plus grands à l'image de l'ordinateur portable. Des performances très satisfaisantes en termes de bandes et d'isolation sont atteintes.

Les systèmes multi-antennaires permettent de contrer ou éventuellement de tirer profit des effets de multi-trajets en exploitant la dimension spatiale du canal. Selon leur utilisation à l'émission, et/ou à la réception, les systèmes ayant plusieurs antennes sont respectivement définis comme MISO (Multiple Input Single Output), SIMO (Single Input Multiple Output) et MIMO (Multiple Input Multiple Output).

I.8.2 Les inconvénients

Enfin, les performances en diversité des antennes sont évaluées dans différentes configurations d'environnements. Les résultats ont montré que ces systèmes sont adaptés à la technologie LTE et offrent la possibilité d'établir des communications sans fil MIMO.

Les communications hertziennes, les télécommunications spatiales et les radars utilisent le plus souvent des antennes à réflecteurs. Ce sont des dispositifs performants qui possèdent un bon rendement, une grande pureté de polarisation et une large bande de fréquences.

Dans le cas des applications mobiles, leur poids et leur encombrement deviennent deux inconvénients majeurs. Bien avant d'être appliquée aux antennes microbandes, dans les années soixante, la technologie dite de circuit imprimé avait été largement mise à contribution notamment dans le domaine de l'électronique. Cette technologie est actuellement appliquée aux antennes microbandes ou antennes patch [1].

Le rôle d'une antenne est de convertir l'énergie électrique d'un signal en énergie électromagnétique qui se propage l'espace libre, ou inversement. [1]

I.9 Conclusion

Dans ce chapitre, on a fait une étude sur les notions de bases concernant antennes imprimées telles que les paramètres électriques et géométriques de l'antenne patch et ses caractéristiques (diagramme de rayonnement, gain et directivité). Dans le même sens, on a fait un état de l'Art sur les antennes LTE ses avantages et ses inconvénients.

Chapitre II :

Etude paramétrique d'une antenne patch rectangulaire

II.1 Introduction

Durant ces dernières décennies, le développement des techniques rigoureuses permettant de résoudre les équations de Maxwell a introduit et imposé des outils informatiques en électromagnétiques. Ces outils sont de plus en plus utilisés dans l'analyse et la conception des dispositifs hyperfréquences utilisés dans les applications micro-ondes. Parmi ces outils, on peut citer Ansoft HFSS, ADS momentum et CST studio.

Dans ce manuscrit, on présente les différents aspects de mise en œuvre d'un projet CST *microwave studio* depuis le dessin de la structure étudiée jusqu'à l'exécution "*Analyze*" et l'obtention des résultats. Pour avoir un bon modèle, une étude paramétrique doit être faite. Les projets présentés dans ce mémoire sont réalisés en utilisant CST version 2016.

Le logiciel CST est simulateur électromagnétique en 3D qui permet de modéliser et d'analyser des circuits microondes et des structures tridimensionnelles. Il aide le concepteur à observer et analyser les diverses propriétés électromagnétiques de la structure telles que les caractéristiques de rayonnement et de dispersion. Il est important de comprendre chaque étape du processus de modélisation en détail afin d'obtenir des résultats fiables. Pour la simplicité et de réduire le coût de fabrication, on dispose le patch, la ligne d'alimentation et de même pour les autres circuits sur la même surface.

Dans ce qui suit, on va présenter la conception d'une antenne LTE à taille réduite ce qui permet de l'intégrer dans les mobiles de la 4^{ième} génération. Pour avoir des résultats performants, une étude paramétrique sur cette antenne en absence et en présence des fentes sera faite, pour le patch et de même pour la masse. La définition des paramètres de simulation consiste à définir la plage de simulation et à définir le type de simulation (domaine temporel, ou fréquentiel). La dernière étape est constituée par la visualisation et l'exploitation des résultats de la simulation avec le simulateur CST qui nous permet de tracer les différentes courbes, et exploiter les valeurs des paramètres S (coefficient de réflexion S_{11} , l'isolation S_{21} , ...)[9].

II.2 La conception d'une antenne patch rectangulaire

Pratiquement, l'antenne de forme rectangulaire est la plus utilisée à cause de sa simplicité et de même pour des autres caractéristiques. Il existe plusieurs approches analytiques qui sont utilisées pour modéliser une antenne micro-ruban à patch rectangulaire. Parmi ces modèles, on peut citer le modèle de cavité (CM) et le modèle de la ligne de transmission

(TLM). Les méthodes analytiques permettent de visualiser la liaison entre les différents paramètres physiques et les phénomènes physiques mieux que les méthodes numériques.

Dans le modèle TLM, l'antenne est considérée comme une ligne de transmission de section ouverte. Cette ligne est de longueur L et largeur W , comme illustré dans la Figure II.1. Les deux termes h et ϵ_r représentent la hauteur et la permittivité relative du substrat, respectivement. La fréquence de résonance pour le mode TM_{m0} (*transverse magnetic*) peut s'exprimer par

$$f_{rm} = \frac{mc}{2(L+\Delta L)\sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (\text{II.1})$$

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r+1}{2} + \frac{\epsilon_r-1}{2} \frac{1}{\sqrt{1+12h/w}} \quad (\text{II.2})$$

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{reff}+0.3)\left(\frac{W}{h}+0.264\right)}{(\epsilon_{reff}-0.258)\left(\frac{W}{h}+0.8\right)} \quad (\text{II.3})$$

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r+1}{2} + \frac{\epsilon_r-1}{2} \left(1 + \frac{10h}{W}\right)^{-\alpha\beta} \quad (\text{II.4})$$

$$\alpha = 1 + \frac{1}{49} \log \frac{\left(\frac{W}{h}\right)^4 + \left(\frac{1}{52} \frac{W}{h}\right)^2}{\left(\frac{W}{h}\right)^4 + 0.432} + \frac{1}{18.7} \log \left[1 + \left(\frac{1}{18.1} \frac{W}{h}\right)^3\right] \quad (\text{II.5})$$

$$\beta = 0.564 \left(\frac{\epsilon_{reff}-0.9}{\epsilon_{reff}+3}\right)^{0.053} \quad (\text{II.6})$$

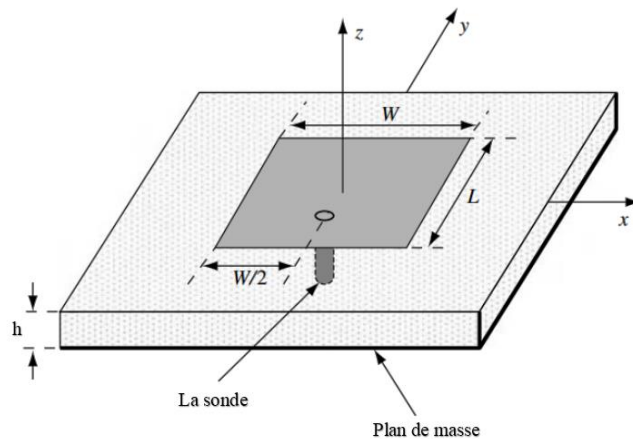


Figure II.1 : une antenne patch de forme rectangulaire.

où c est la vitesse de la lumière ($2,998 \times 10^8$ m/s), m est un entier ($\neq 0$), L est longueur du patch et ΔL est longueur équivalent (les frontières au deux terminaisons). Le mode dominant est TM_{10} .

L'antenne qui doit être conçue, doit présenter l'un des deux bandes passantes de fonctionnement :

- Une centrée sur 925 MHz avec une largeur de bande de 80 MHz correspondant à la bande GSM.
- Une centrée sur 1795 MHz avec une largeur de bande de 140 MHz correspondant à la bande DCS.

Dans notre étude on va varier les paramètres géométriques de l'antenne patch afin de voir l'effet de chaque paramètre sur les caractéristiques de cette antenne telles que les paramètres S (le coefficient de réflexion S_{11}), le diagramme de rayonnement et la directivité. Parmi les paramètres géométriques à modifier, on peut citer la longueur et largeur du patch, la taille du plan de masse, la position de la ligne d'alimentation et la création des stubs sur la ligne d'alimentation et la création des fentes sur le patch.

En utilisant le simulateur CST, l'antenne patch que nous avons adoptée est structurée d'un plan de masse, d'un substrat d'une permittivité de 4,4 (Epoxy), d'une ligne d'alimentation et d'un patch rectangulaire qui constituera l'élément rayonnant. Le patch est relié directement à la ligne d'alimentation comme illustré dans la figure II.2.

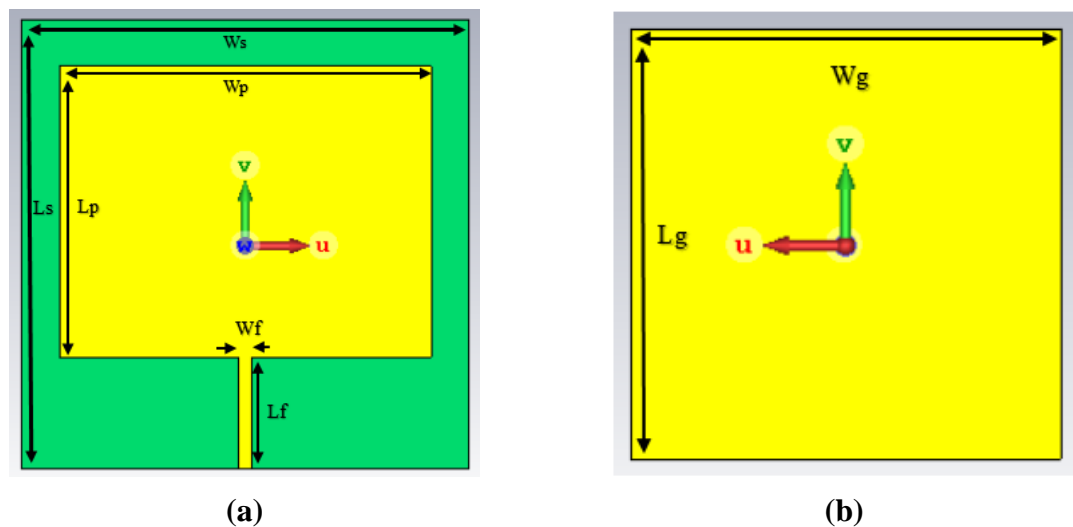


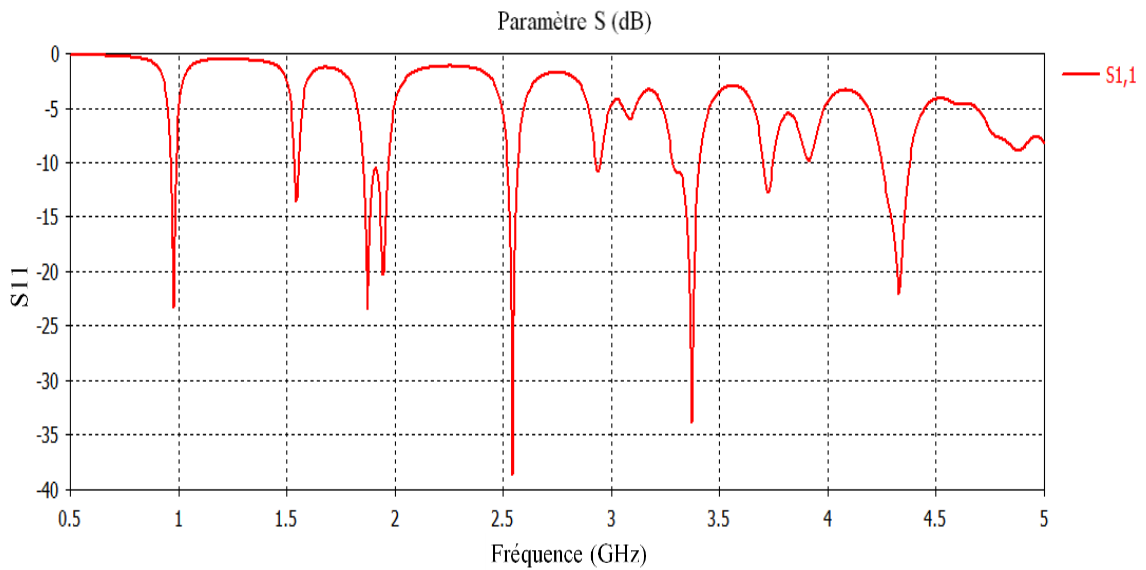
Figure II.2 : Antenne patch de forme rectangulaire, (a) : vue dessus (b) : vue dessous.

Les dimensions adoptées lors de cette première simulation sont tabulées dans Tableau II.1:

Tableau II.1: Les dimensions de l'antenne patch en mm.

| W_s | L_s | W_p | L_p | W_f | L_f | W_g | L_g |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 110 | 110 | 91.28 | 71.31 | 3.05 | 27.39 | 110 | 110 |

Cette première structure simulée avec les dimensions citées dans le tableau précédent avec une hauteur du substrat $h=1.6$ mm ne conduit pas à des performances intéressantes. Afin d'améliorer les caractéristiques de l'antenne patch, une solution fiable présentée dans une étude paramétrique des différents paramètres précédentes.

**Figure II.3 :** Coefficient de réflexion S_{11} pour les dimensions citées en tableau II.1.

II.3 Etude paramétrique d'une antenne patch rectangulaire

Durant l'étude paramétrique, on va varier un seul paramètre où les autres paramètres doivent être fixes, ce qui permet de faire une isolation de dépendance entre les paramètres physiques, puis on va observer l'influence de la variation de ce paramètre sur les caractéristiques de l'antenne conçue telles que la fréquence de résonance, le diagramme de rayonnement et le coefficient de réflexion.

II.3.1 Effet de la longueur du Patch (L_p)

Dans cette étude, la longueur du patch (L_p) sera variée de 50 mm jusqu'à 80 mm par un pas de 5 mm. Les autres paramètres sont fixes (largeur du patch $W_p=110$ mm, longueur de feeder $L_f=27.39$ mm, ...). On mentionne que la ligne d'alimentation est posée au centre de l'antenne

patch. Les résultats de simulation sont présentés en termes de coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence.

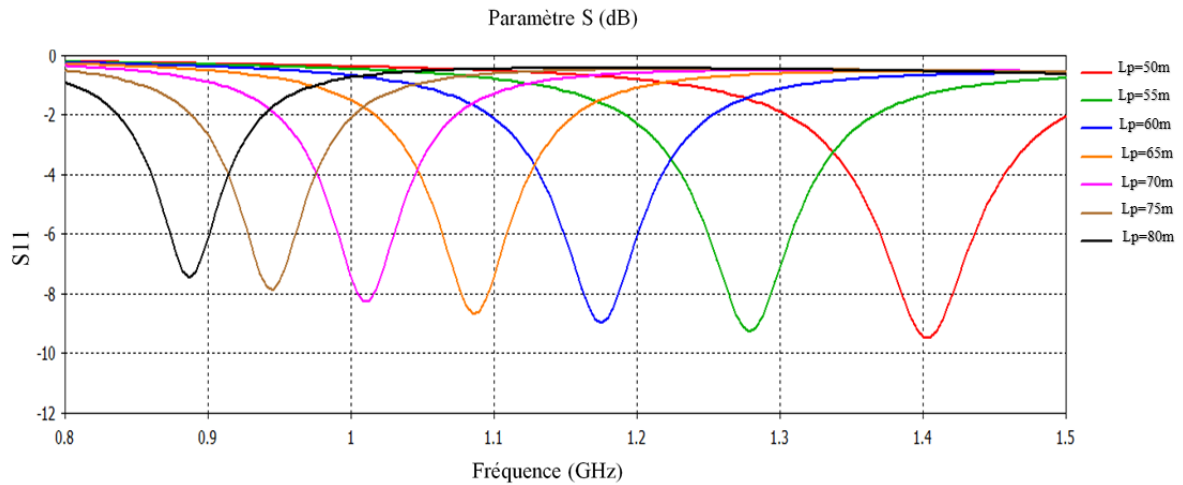


Figure II.4 : le coefficient S_{11} pour différentes longueurs du patch rectangulaire.

Les résultats de simulation montrés dans la Figure II.4 représentent l'évolution du coefficient de réflexion S_{11} pour différentes valeurs de L_p . A partir de ces courbes, on voit que l'augmentation dans la valeur de L_p va diminuer la fréquence de résonance de 1.4 GHz jusqu'à 0.9 GHz ce qui nous permet de balayer la bande LTE désirée, en agissant sur cette longueur L_p . De même, la bande passante sera plus étroite lorsque en augmente la longueur L_p .

II.3.2 Effet de la largeur du Patch (W_p)

Dans ce cas, la longueur du patch L_p est fixée à 80mm, puis on va varier la largeur (W_p) de 50 mm jusqu'à 110 mm par un pas de 5 mm ce qui nous permet d'avoir 11 cas possibles, les autres paramètres sont fixes (voir Tableau II.1).

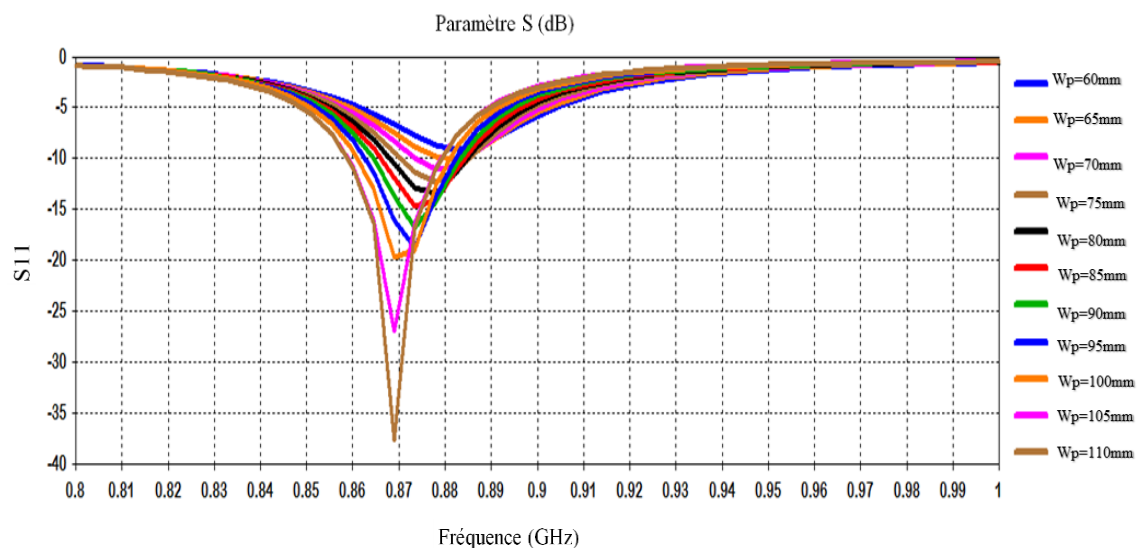


Figure II.5 : le coefficient S_{11} pour différentes largeurs du patch rectangulaire.

A partir des différentes courbes de coefficient de réflexion montrées dans la figure II.5, on voit que l'adaptation de l'antenne à la fréquence de résonance est proportionnelle à la valeur de W_p comme nous l'indique dans la Figure II.6. On mentionne ici que la largeur W_p affecte légèrement sur la valeur de la fréquence de résonance, mais elle affecte largement sur la largeur de la bande passante.

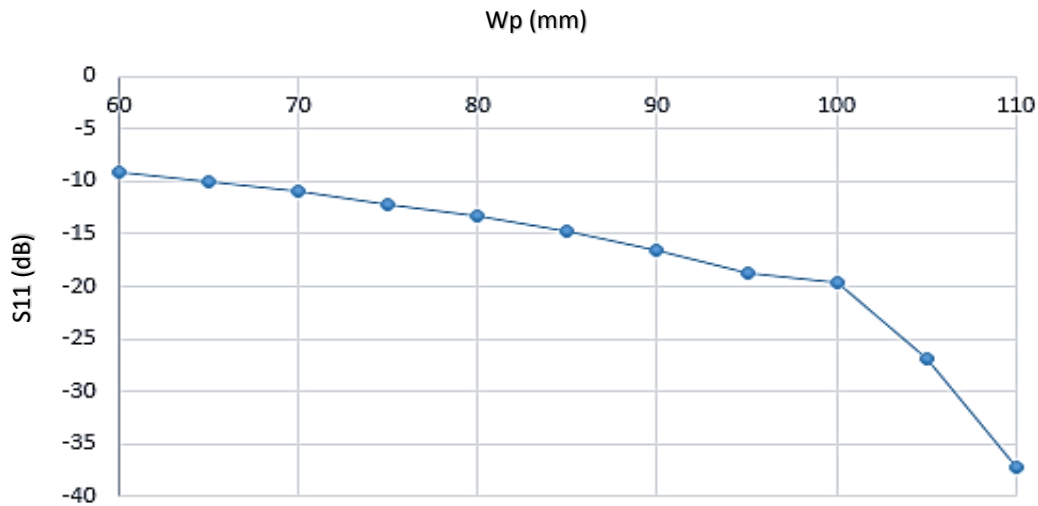


Figure II.6 : le coefficient S_{11} pour différentes longueurs du patch rectangulaire.

II.3.3 Effet de la position de la ligne d'alimentation

Au contraire des cas précédents, on suppose que la ligne d'alimentation est variée le long de l'axe U comme nous l'indiquons dans la figure suivante, avec x représente la position de la ligne d'alimentation par rapport au point central O .

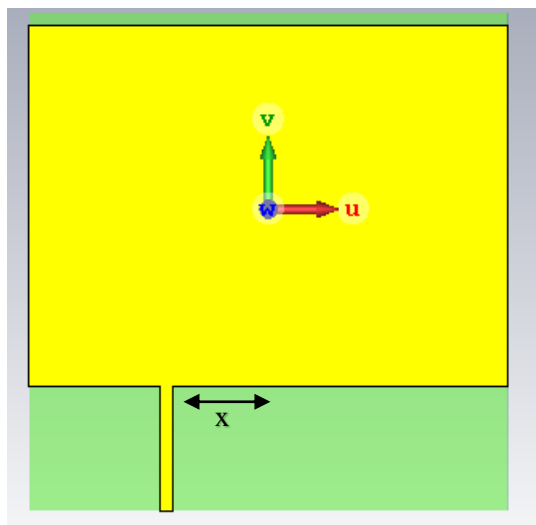


Figure II.7 : variation de la position de la ligne d'alimentation.

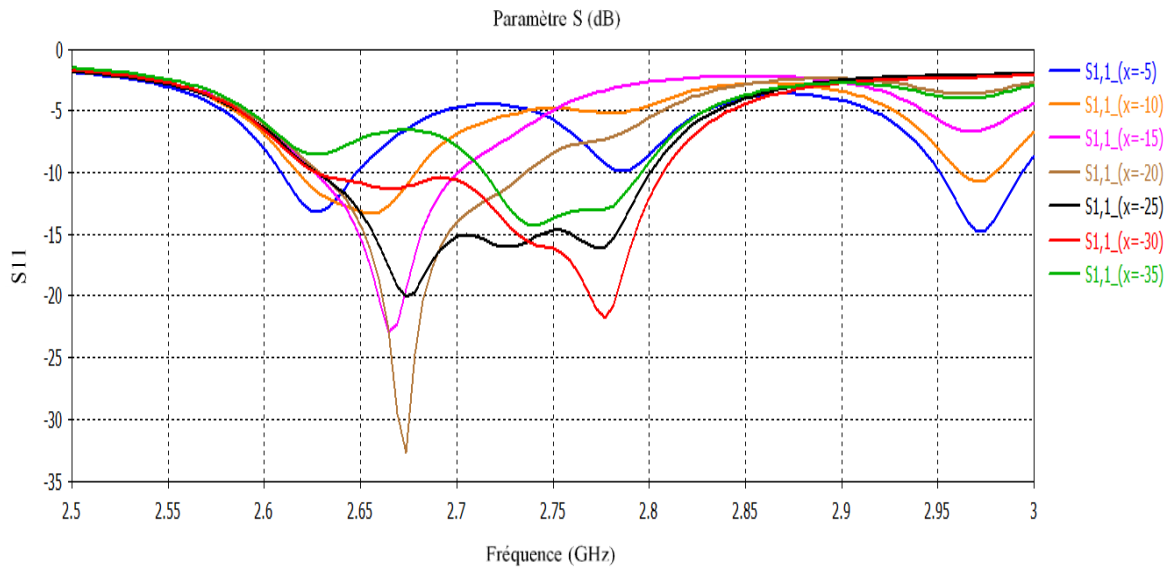


Figure II.8 : le coefficient S_{11} pour différentes position x en mm.

Les coefficients de réflexion, montrés dans la figure II.8, illustrent que la position de la ligne d'alimentation altère sur la bande passante et la fréquence de résonance d'une manière non linéaire ce qui exige une étude paramétrique approfondie pour choisir sa valeur optimale.

La bande passante la plus large est obtenue ($BW=190\text{MHz}$ de 2.62GHz à 2.8GHz) pour la position $x=-25$ mm comme illustré dans la Figure II.9.

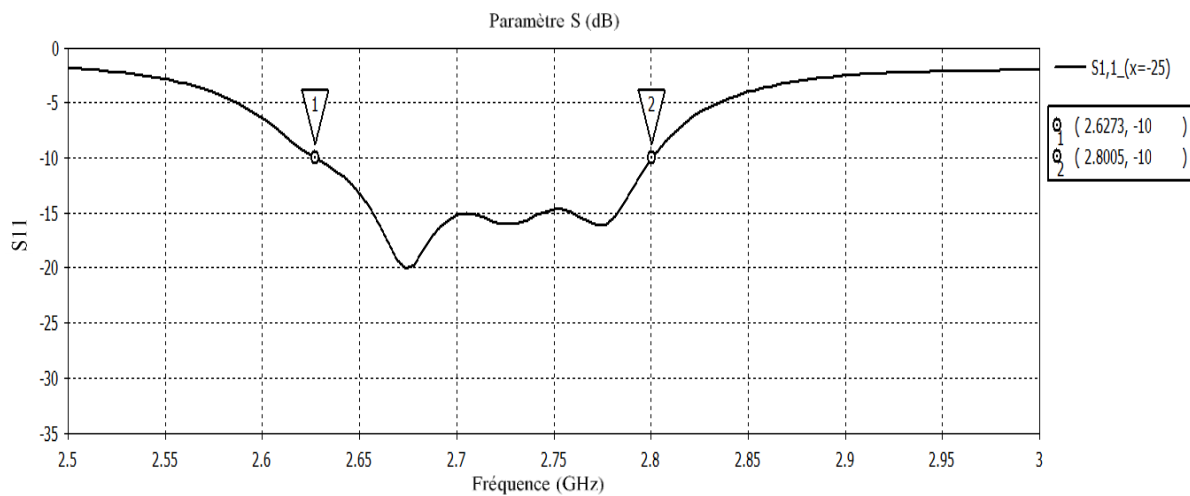


Figure II.9 : le coefficient S_{11} pour la meilleure position x .

II.3.4 Effet de l'introduction des stubs dans la ligne d'alimentation

- *Variation de longueur du stub*

On va ajouter des stubs sur la ligne d'alimentation, afin de voir son effet sur les différentes caractéristiques de l'antenne patch. La taille du stub, sa forme et ses dimensions sont illustrés dans la figure suivantes

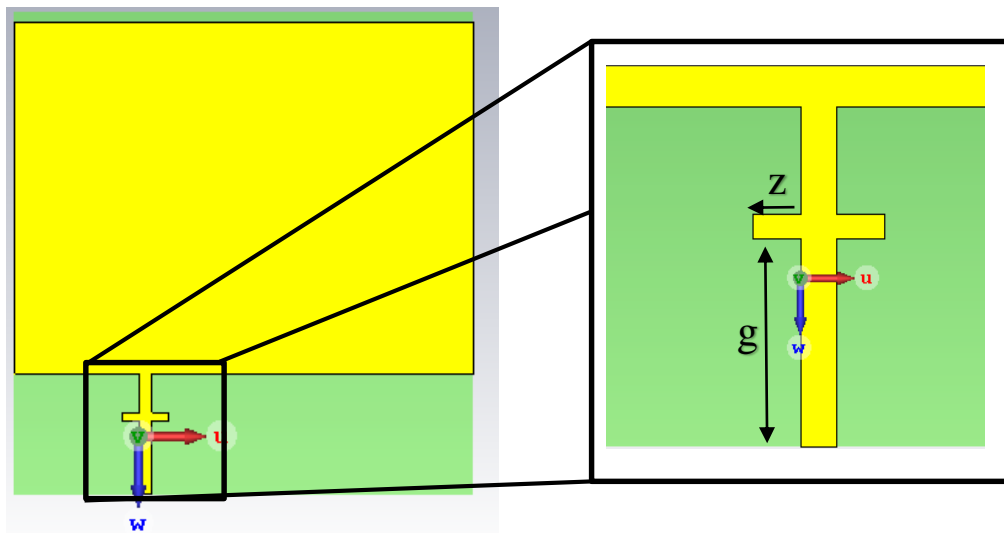


Figure II.10 : une antenne patch avec des stubs sur la ligne d'alimentation.

Initialement, on suppose que le stub de largeur fixe ($W_{stub}=2$ mm), le paramètre Z sera varié de 2 mm jusqu'à 5 mm avec un pas de 1mm (4 cas possibles), tandis que $g = L_f/2 = 13.69$ mm.

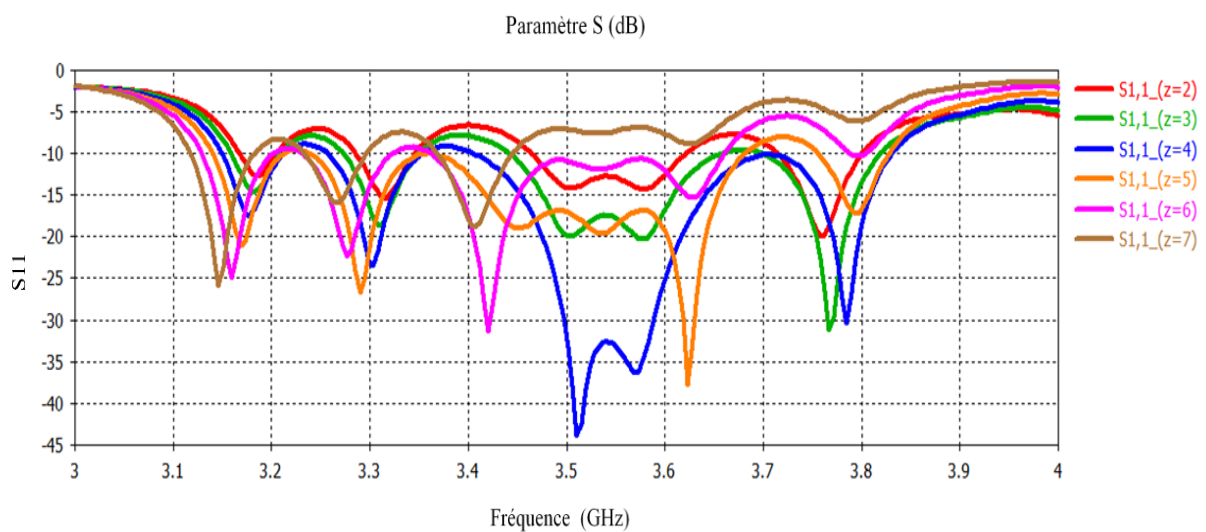


Figure II.11 : le coefficient $S11$ pour différentes longueurs du stub en mm.

La figure II.11 montre la variation de coefficient de réflexion S_{11} pour différentes valeurs de longueur du stub Z . Lorsque Z varie de 2mm à 4mm, le coefficient de réflexion S_{11} diminue par l'augmentation dans la valeur de Z . par contre, lorsque Z varie de 4mm à 7 mm ce coefficient S_{11} est augmenté.

- *Variation de la position du stub*

Dans ce cas, on a fixé la valeur de Z à 4 mm qui représente la meilleure valeur en termes de coefficient de réflexion le plus bas dans l'étude paramétrique précédente. La position du stub prend 3 valeurs $g=0, 10$ et -10 mm. Les autres dimensions sont fixées comme celles indiquées dans le tableau II.1.

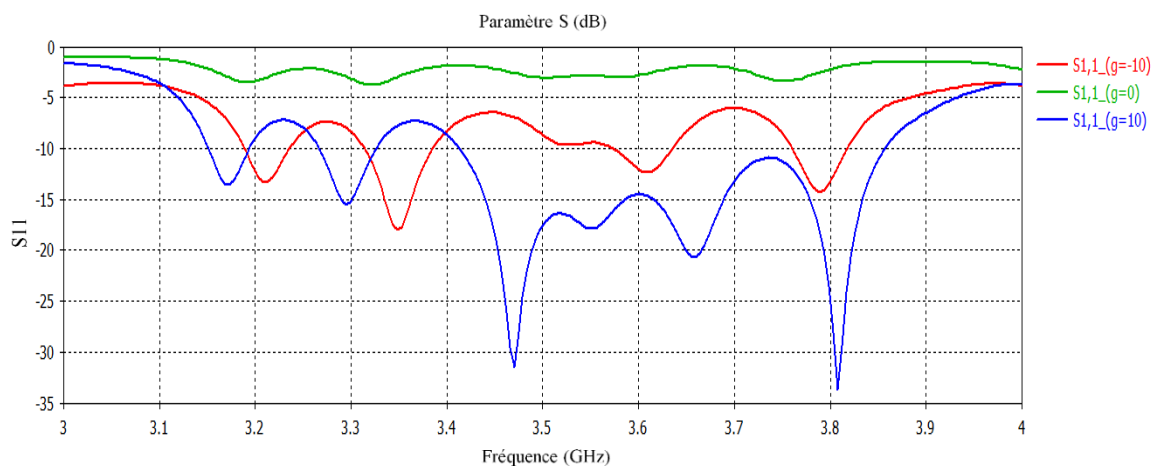


Figure II.12 : le coefficient S_{11} pour différentes positions de la tige en mm.

D'après les trois courbes illustrées dans la figure II.12, on voit que le coefficient de réflexion S_{11} diminue lorsque on s'éloigne du patch en terme de position du stub. Le résultat trouvé pour $g=10$ mm permet d'avoir une antenne patch dédiée à la bande LTE 22 (3.4-3.85 GHz).

II.3.5 Effet de la distribution du courant surfacique

Le prélèvement de la distribution du courant surfacique doit être pris à une fréquence donnée. Dans ce cas, la fréquence est fixée à 3.5 GHz.

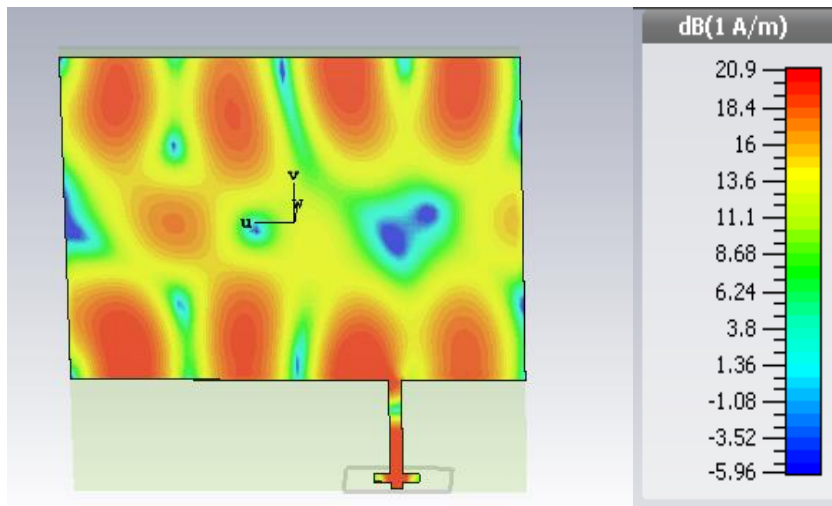


Figure II.13 : la distribution du courant surfacique sur le patch à la fréquence 3.5 GHz

Les régions en rouge sur le patch sont des positions où le courant surfacique est très élevé pour la fréquence mentionnée au-dessus par contre les régions en bleu ont des courants surfaciques très faibles.

Pour créer une fréquence de résonance ou améliorer l'adaptation à une fréquence donnée, on doit créer des trous sur les régions où le courant surfacique est élevé.

- **Exemple**

On va créer un trou sur une région où le courant surfacique est élevé sur le patch. Ce trou permet d'engendrer une fréquence de résonance à la valeur 1.5 GHz.

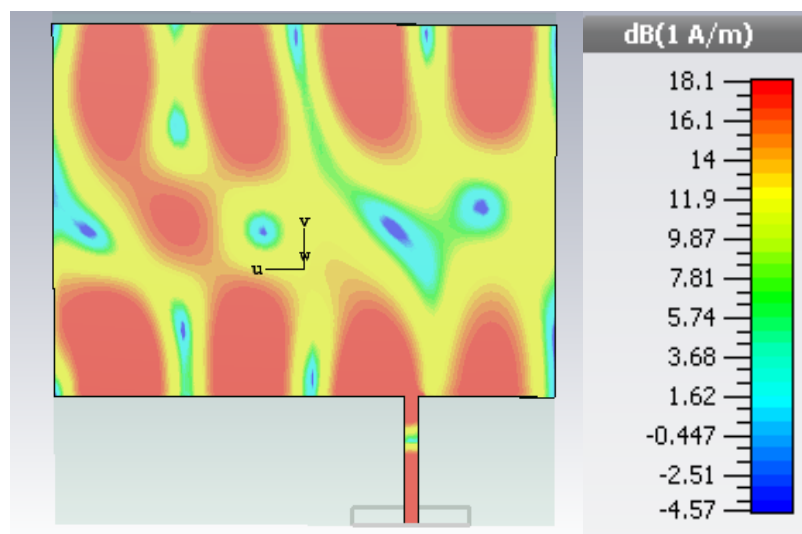


Figure II.14 : la distribution du courant surfacique sur le patch à la fréquence 1.5 GHz

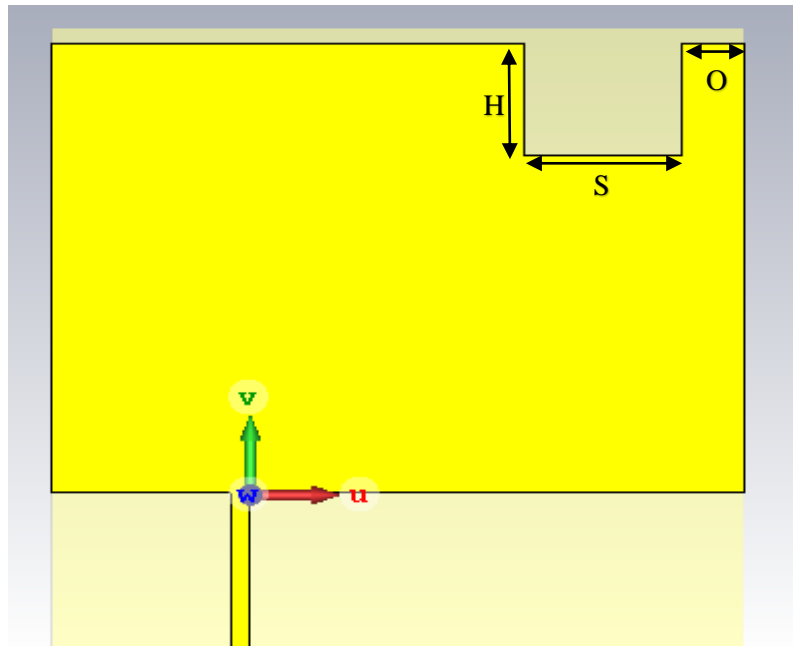


Figure II.15 : Une antenne patch avec un trou rectangulaire sur le patch.

Tableau II.2: Les dimensions du trou sur le patch en mm.

| H | S | O |
|------|------|------|
| 20mm | 25mm | 10mm |

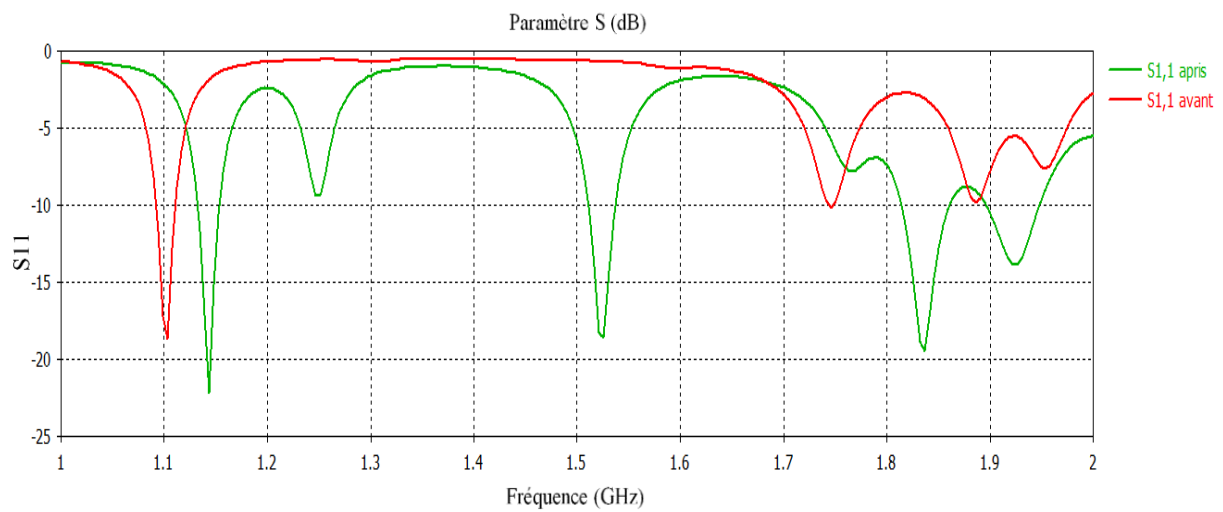


Figure II.16 : le coefficient S_{11} avec et sans trou sur le patch.

II.4. Conclusion

Dans ce chapitre, on a fait une étude paramétrique sur une antenne imprimée de forme rectangulaire. Cette étude nous a permis de voir le rôle important des différents paramètres physiques sur les caractéristiques de rayonnement telles que le coefficient de réflexion et le diagramme de rayonnement. Dans le même sens, une étude paramétrique d'une antenne MIMO dédiée aux applications LTE peut englober un sujet de chapitre suivant.

Chapitre III :

Etude paramétrique sur les antennes LTE

III.1 Introduction

Dans le chapitre précédent, on a fait une étude paramétrique visant à concevoir une antenne patch de forme rectangulaire avec une taille réduite et bonnes performances en agissant sur les paramètres physiques et géométriques de l'antenne patch afin d'avoir des caractéristiques optimales en termes de S_{11} inférieur à -10 dB sur la bande LTE 22 (3.4-3.85 GHz). L'utilisation d'autres diversités que celle de l'espace peut être une solution intéressante. Cette diversité est aboutie en utilisant une antenne MIMO. L'objectif principal est d'obtenir une antenne MIMO performante et couvre deux bandes LTE, sans tenter une forte intégration. D'abord, le système proposé est conçu pour couvrir les deux bandes LTE : 38 (2.57-2.62 GHz) et la bande 22 (3.41-3.8 GHz) avec un coefficient de réflexion inférieur à -10 dB sur les deux bandes. Après la description de la géométrie de l'antenne, on va étudier l'influence des différents paramètres géométriques qui gouvernent le coefficient de réflexion et le coefficient d'isolation entre les deux antennes S_{21} . Pour pallier le problème du couplage mutuel, des techniques de découplage consistant à agir sur la géométrie du plan de masse sont utilisées. L'antenne MIMO optimal est conçue en utilisant le logiciel CST puis réalisée au niveau de laboratoire de notre université. Malheureusement, l'analyseur de réseau n'est pas disponible ce qui nous empêche de faire une comparaison entre nos résultats avec celle de pratiques.

III.2 Géométrie de l'antenne

L'antenne proposée dans ce chapitre, est présentée dans la figure III.1. A cause de sa simplicité, on a choisi la forme rectangulaire. Cette antenne est formée de deux patchs symétriques de formes rectangulaires de dimensions $16.7 \times 24.8 \text{ mm}^2$. Les deux patchs sont imposés sur un substrat de dimensions $L_a \times W_a = 50 \times 65 \text{ mm}^2$. Les positions de ces rectangles sont déterminées par $d_1 = 4.2 \text{ mm}$ et $d_2 = 2.7 \text{ mm}$. L'espace entre ces deux rectangles est donnée par $d = 10 \text{ mm}$.

Le substrat utilisé est de type FR-Epoxy de permittivité ϵ_r de 4.4 avec un épaisseur de $h = 1.6 \text{ mm}$. Les dimensions du plan de masse sont similaires que celle du substrat ($L_a \times W_a = 50 \times 65 \text{ mm}^2$). Afin d'éloigner les connecteurs des éléments rayonnants, la technique d'alimentation utilisée dans ce prototype est l'alimentation par câble coaxiale d'impédance d'entrée de 50 ohm. Le choix de cette technique permet d'éviter le couplage mutuel entre les deux antennes patch ce qui permet d'augmenter l'isolation entre ces deux patchs rayonnants.

Pour agir sur la distribution des courants surfaciques afin d'altérer sur les fréquences de résonances, on va faire des slots (fentes) sur les surfaces rayonnantes, comme illustré dans la figure suivante.

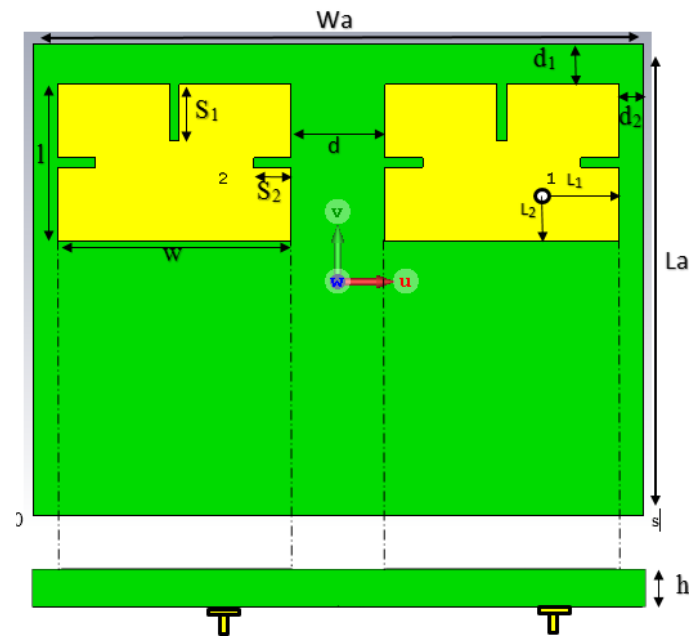


Figure III.1 : Antenne MIMO proposée de forme rectangulaire.

Tableau III.1: Les dimensions de l'antenne MIMO en mm.

| | | | | | | | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| Paramètres | L_a | W_a | l | w | L_1 | L_2 | d |
| Valeur (mm) | 50 | 65 | 16.7 | 24.8 | 5 | 8.8 | 10 |
| Paramètres | t | S_1 | S_2 | d_1 | d_2 | h | - |
| Valeur (mm) | 1 | 6 | 4 | 4.2 | 2.7 | 1.6 | - |

Le tableau III.1 montre les dimensions optimales après une étude paramétrique longue, précise et fastidieuse. Dans notre étude paramétrique, on va varier les paramètres géométriques de l'antenne patch afin de voir l'effet de chaque paramètre sur les caractéristiques de cette antenne MIMO telles que les paramètres S (le coefficient de réflexion S_{11} et l'isolation S_{21}), le diagramme de rayonnement et la directivité. Parmi les paramètres géométriques à modifier, on peut citer la longueur et la largeur du patch, la taille du plan de masse, la position du point d'alimentation et la création des slots sur chaque antenne patch.

En utilisant le simulateur CST studio version 2017, l'antenne MIMO que nous avons adoptée est structurée d'un plan de masse, d'un substrat de type FR-Epoxy de permittivité ϵ_r de 4.4, les deux patches rectangulaire sont symétrique et alimentées par des câble coaxiaux.

III.3 Etude paramétrique des différents paramètres de l'antenne MIMO

Durant cette étude paramétrique, on va varier un seul paramètre où les autres paramètres doivent être fixes, ce qui permet de faire une isolation de dépendance entre les paramètres physiques, puis on va observer l'influence de la variation de ce paramètre sur les caractéristiques de l'antenne MIMO conçue telles que la fréquence de résonance, le coefficient de réflexion et le diagramme de rayonnement.

III.3.1 Effet de la largeur du plan de masse

Dans cette étude, la largeur du plan de masse (W_g) sera variée de 50 mm jusqu'à 65 mm par un pas de 5 mm. Tous les autres paramètres sont fixes (voir tableau III.1). Les résultats de simulation sont présentés en termes de coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence.

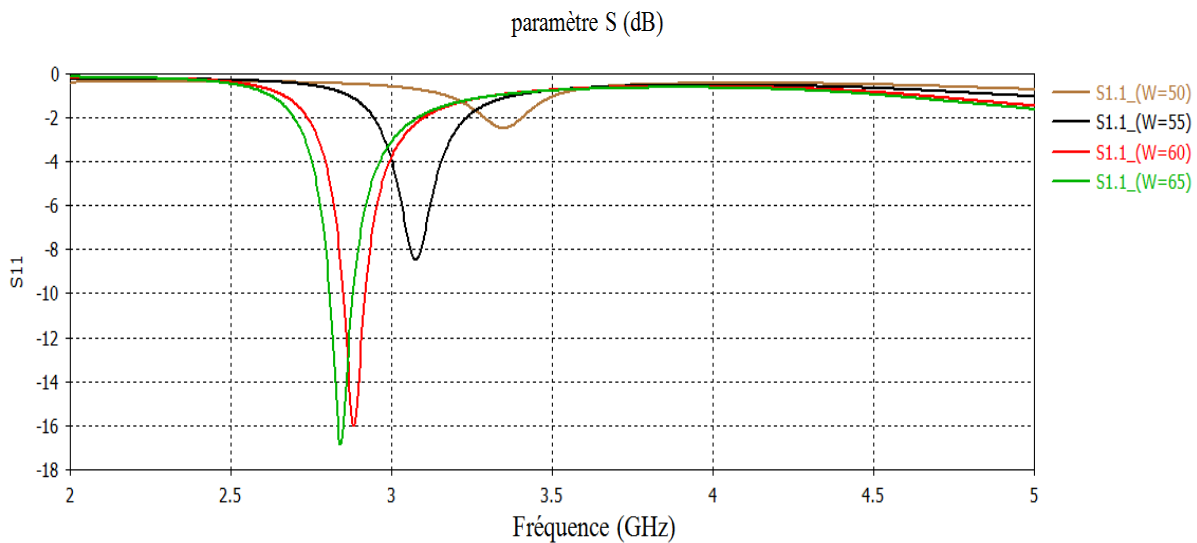


Figure III.2 : Le coefficient S_{11} pour différentes largeurs du plan de masse.

A partir des courbes de coefficient de réflexion dans la figure III.2, on voit que l'augmentation dans la largeur du plan de masse W_g de 50 mm jusqu'à 65 mm va diminuer la fréquence de résonance de 3.4 GHz jusqu'à 2.6 GHz ce qui nous a permis de balayer la fréquence vers la bande LTE désirée, en agissant sur cette largeur W_g . Aussi on voit que lorsqu'on augmente la valeur de W_g , les deux patches seront plus adaptées en termes de la profondeur de S_{11} à la fréquence de résonance comme nous l'indique sur la figure III.2.

A cause de la symétrie des deux antennes, les coefficients de réflexion (S_{11} et S_{22}) sont les mêmes. Pour cela, on va afficher seulement l'évolution du coefficient S_{11} .

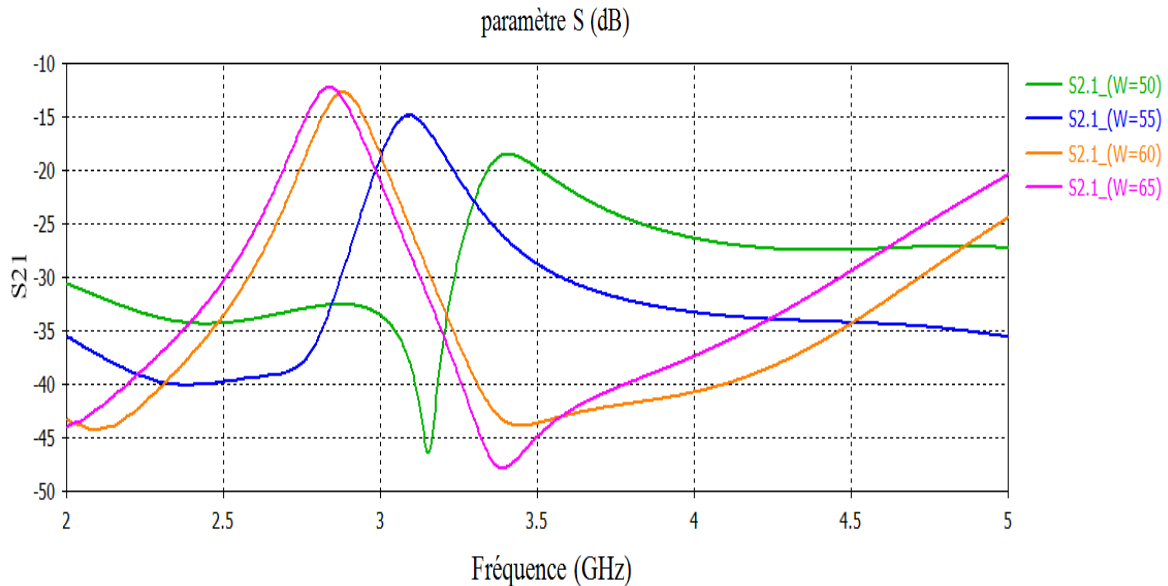


Figure III.3 : Le coefficient S_{21} pour différentes largeurs du plan de masse.

A partir des courbes de coefficient de réflexion S_{21} dans la figure III.3, qui représente l'isolation entre les deux antennes patches pour les différentes largeurs. Dans la bande étudiée (2-5 GHz), l'isolation est autour de -30dB dans la gamme -12dB-45dB, pour les différentes largeurs. Sur la fréquence de résonance 2.6GHz qui correspond à une largeur de 65mm, on a une isolation de -13 dB.

Dans le même sens que celle précédente, on note que les deux coefficients de réflexion sont identiques (S_{12} et S_{21}).

III.3.2 Effet de la longueur du plan de masse

Maintenant, on va varier la longueur du plan de masse (L_g) de 35 mm jusqu'à 50 mm par un pas de 5 mm. Tous les autres paramètres sont fixes comme nous avons les mentionnés dans tableau III.1.

Dans ce cas, la largeur du plan de masse W_g est fixée à 65mm, puis on va varier la longueur (W_g) de 35 mm jusqu'à 50 mm par un pas de 5 mm ce qui nous permet d'avoir quatre cas possibles (voir figure III.4).

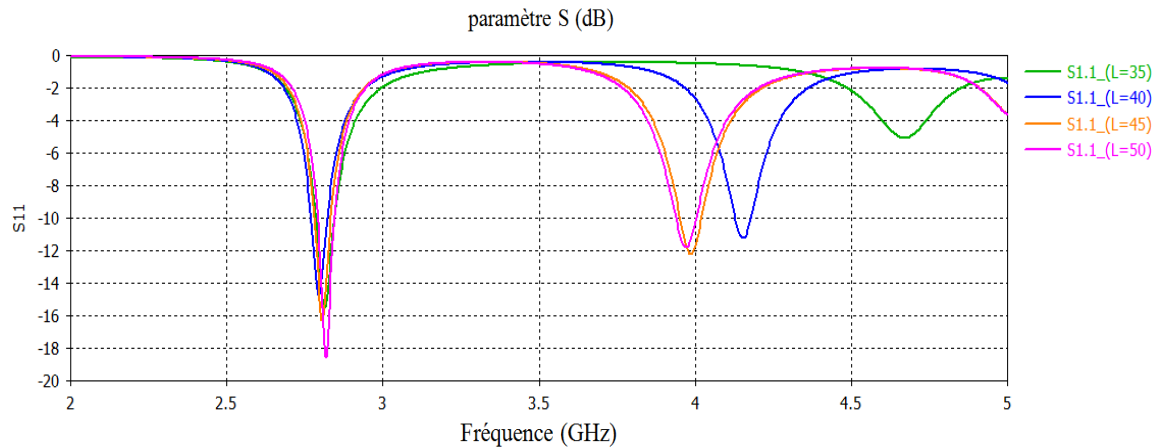


Figure III.4 : Le coefficient S_{11} pour différentes longueurs du plan de masse.

A partir des courbes de coefficient de réflexion dans la figure III.4, on voit que l'augmentation dans la valeur de L_g altère seulement sur l'adaptation à la première fréquence de résonance (-17dB jusqu'à -19dB), alors que, à la deuxième fréquence de résonance, ce paramètre altère sur le décalage de cette fréquence (4.55 GHz jusqu'à 4 GHz) et l'adaptation des antennes à cette fréquence (-7dB jusqu'à -12dB). De même, les deux bandes passantes seront plus étroites lorsqu'on augmente la largeur L_g .

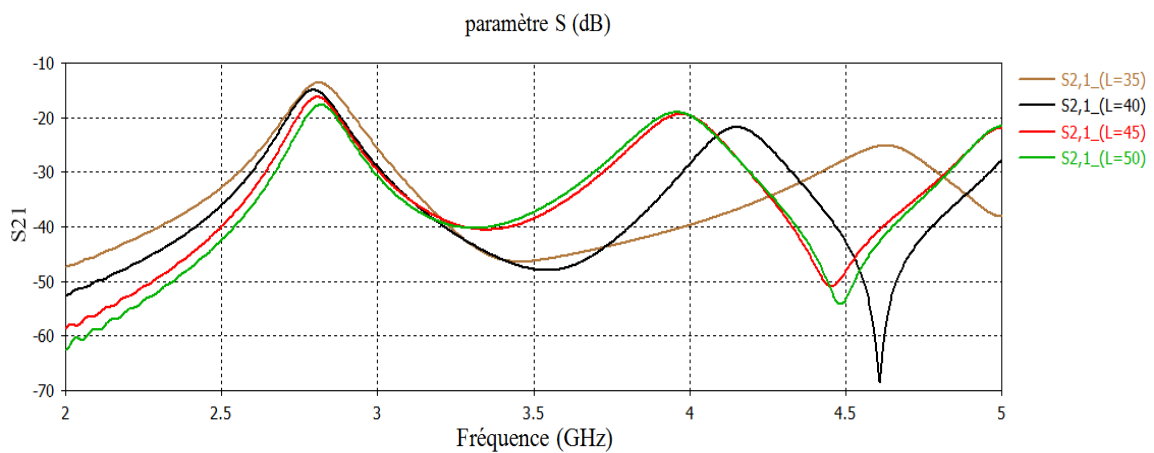


Figure III.5 : Le coefficient S_{21} pour différentes longueurs du plan de masse.

Dans la figure III.5, on présente les coefficients d'isolation S_{21} entre les deux patches. Ces courbes présentent une bonne isolation entre les deux antennes (-15 dB à la fréquence 2.6 GHz et -20 GHz à la fréquence 4GHz).

III.3.3 Effet de la position de point d'alimentation

Dans cette partie, une étude paramétrique très lord et lente était faite pour extraire la meilleure position d'alimentation pour chaque antenne patch. Dans cette étude, on va varier les

coordonnées L_1 et L_2 afin de trouver une combinaison optimale (L_1, L_2) en terme d'une grande adaptation à la fréquence de résonance $f=2.6$ GHz dédiée à la bande LTE 2570-2620.

- *Variation de L_1*

$$D_{L1} = 1 \text{ mm}$$

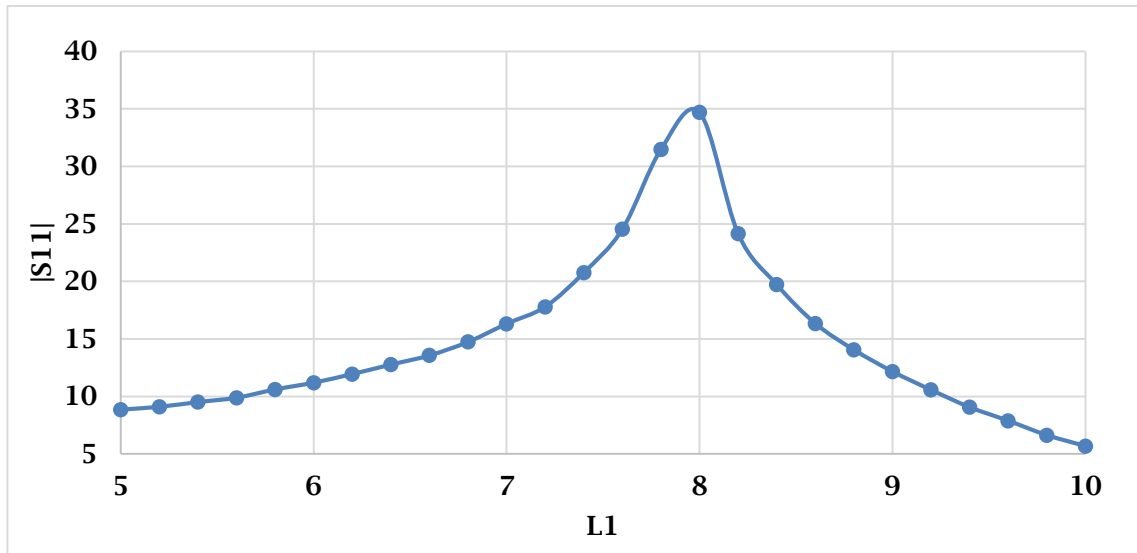


Figure III.6 : Le coefficient $|S11|$ pour différentes valeurs de L_1 .

A partir de ce courbe de coefficient de réflexion en fonction de L_1 (la figure III.6), on voit que l'antenne présente une grande adaptation, à la fréquence de résonance $f=2.6$ GHz, pour une valeur de $L_1 = 8$ mm

- *Variation de L_2*

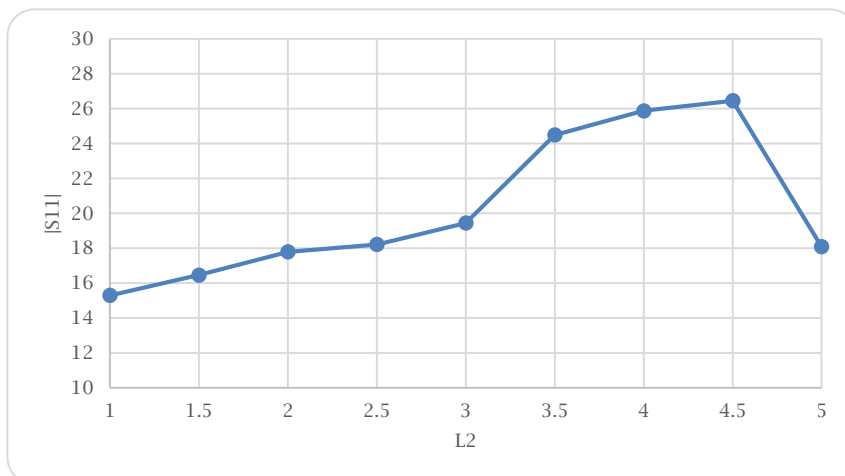


Figure III.7 : Le coefficient $|S11|$ pour différentes valeurs de L_2 .

Dans cette partie, on doit fixer la valeur de L_1 à sa valeur optimale, puis on va varier la valeur de L_2 . De même que celle précédente, on voit que l'antenne présente une grande adaptation, à la fréquence de résonance 2.6 GHz, pour une valeur de $L_2=4.5\text{mm}$.

Pour améliorer l'adaptation encore plus, des simulations supplémentaires et précises, avec les mêmes paramètres à optimiser, ont été effectuées en agissant sur la valeur de L_1 avec un pas très petit (0.5mm), la valeur de L_2 est fixée à sa valeur optimale précédente ($L_2=4.5\text{mm}$)

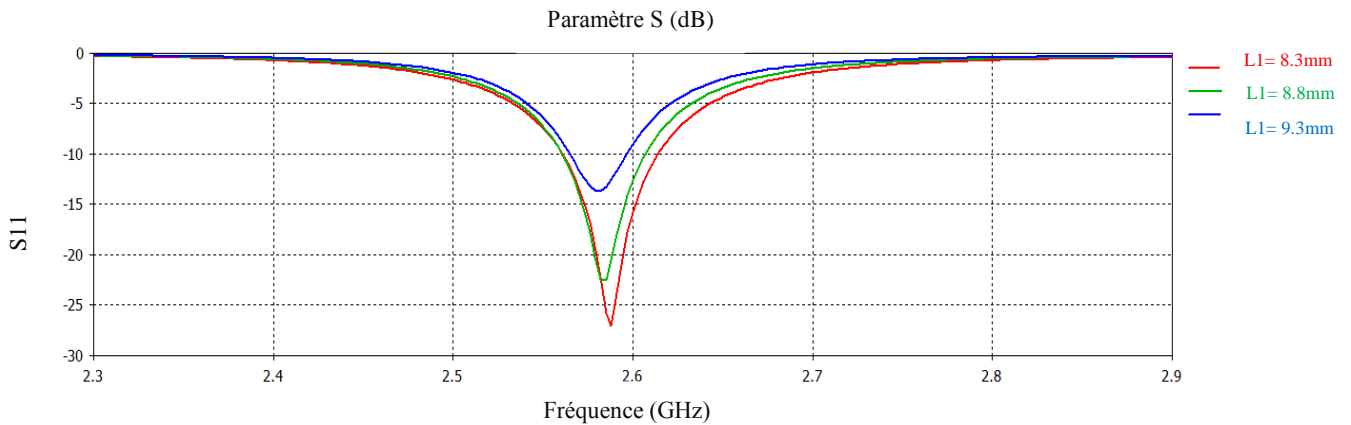


Figure III.8 : le coefficient $|S_{11}|$ pour quelques valeurs de L_1 .

A partir de cette courbe dans la figure III.8, on voit que la meilleure valeur de L_1 est près de 8.3mm qui correspond à une adaptation de moins de -28dB.

- Pour la deuxième fréquence de résonance, $f=3.7\text{ GHz}$ dédiée à la bande LTE 3500-3800 MHz. On doit faire une étude paramétrique longue (variation de L_1 et L_2 à la fois). La combinaison optimale en terme d'adaptation est présentée dans $(L_1, L_2) = (8.3\text{mm}, 4.5\text{mm})$. Cette adaptation atteint une valeur de -25dB à la fréquence de résonance.

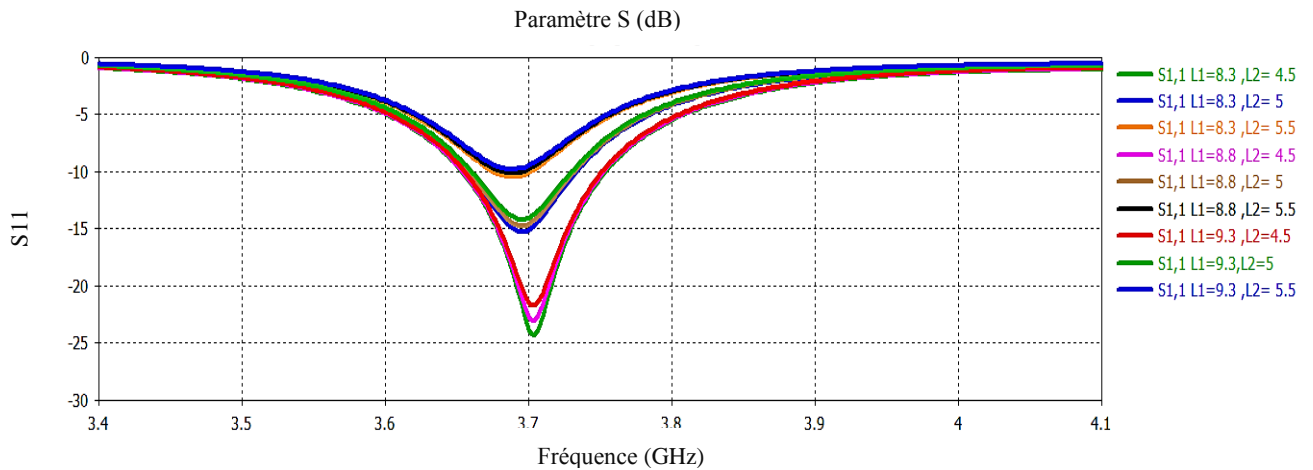


Figure III.9 : le coefficient $|S_{11}|$ pour différentes valeurs de L_1 et L_2 .

On note que cette combinaison garde une bonne adaptation pour la première fréquence de résonance.

Pour voir l'adaptation sur les deux bandes de fréquences, pour la combinaison optimale ($L_1=8.3\text{mm}$, $L_2=4.5\text{mm}$), le coefficient S_{11} est illustré dans la figure III.10.

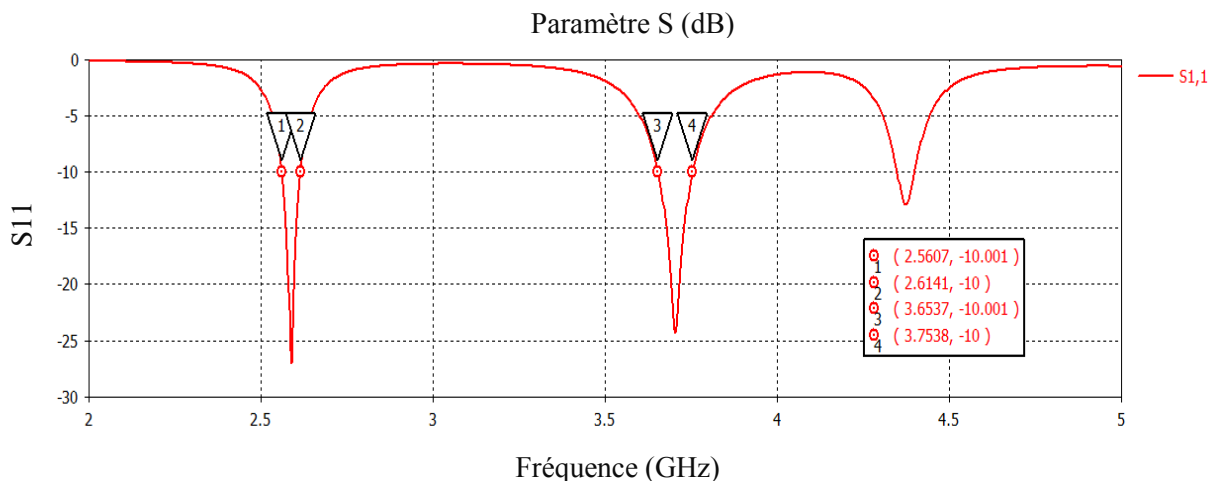


Figure III.10 : le coefficient $|S_{11}|$ pour la meilleure valeur de L_1 et L_2 .

On note sur la figure III.11 que pour la nouvelle combinaison optimale ($L_1=8.3\text{mm}$, $L_2=4.5\text{mm}$), l'isolation passe à -20 dB pour $f=2.6$ GHz au lieu de -18 dB comme sur la Figure III.5 et passe à -18 dB pour $f=3.7$ GHz au lieu de -19 dB. Généralement, le couplage mutuel ne semble pas être très sensible aux variations de la longueur du substrat, mais en augmentant sa largeur, l'isolation se détériore si les patches sont très proches et augmente quand on les éloigne l'un de l'autre.

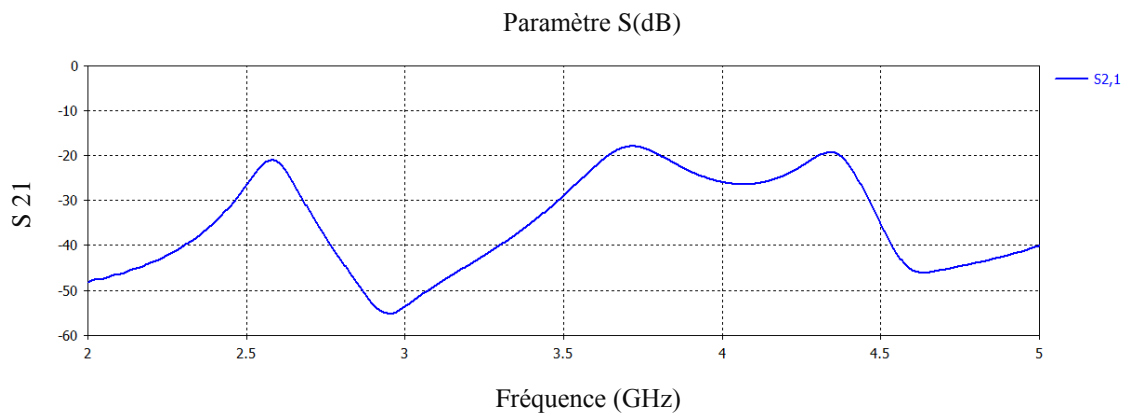


Figure III.11 : Le coefficient $|S_{21}|$ pour la meilleure valeur de L_1 et L_2 .

III.4- Effet de largeur et longueur du patch

III.4.1 Effet de la largeur du Patch (W)

Dans cette section, la largeur du patch (w) sera variée de 24.8 mm jusqu'à 29.8 mm par un pas de 5 mm. Tous les autres paramètres sont fixes (voir tableau III.1). Les résultats de simulation sont présentés en termes de coefficient de réflexion S_{11} et paramètre d'isolation S_{12} .

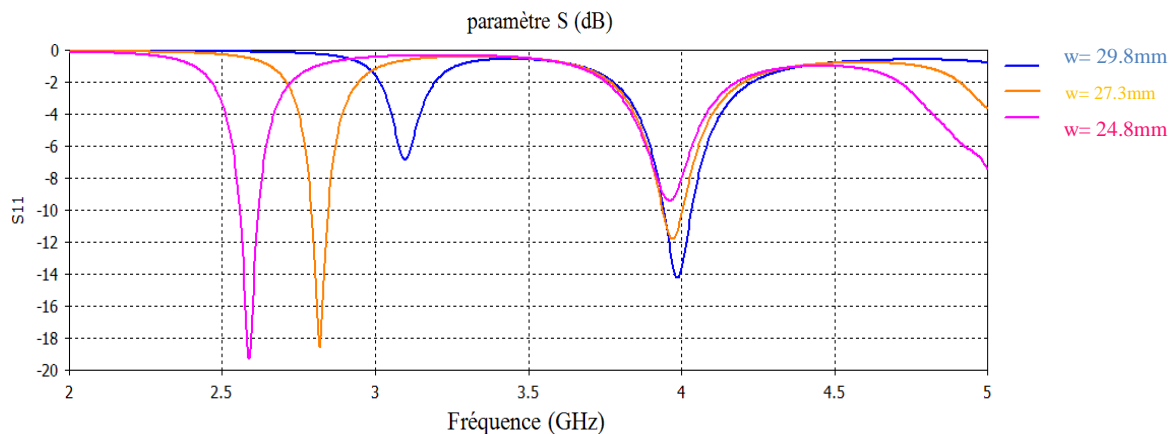


Figure III.12 : Le coefficient S_{11} pour différentes largeurs du patch.

Les résultats de simulation montrés dans la figure III.12 représentent l'évolution du coefficient de réflexion S_{11} pour différentes valeurs de w . A partir de ces courbes, on voit que l'augmentation dans la valeur de w est inversement proportionnelle à la première fréquence de résonance ce qui la diminue de 3.2 GHz jusqu'à 2.6 GHz. Par contre, cette augmentation dans

w influence l'adaptation au niveau de deuxième fréquence de résonance ce qui permet d'abaisser le S_{11} de -9 dB jusqu'à -14 dB.

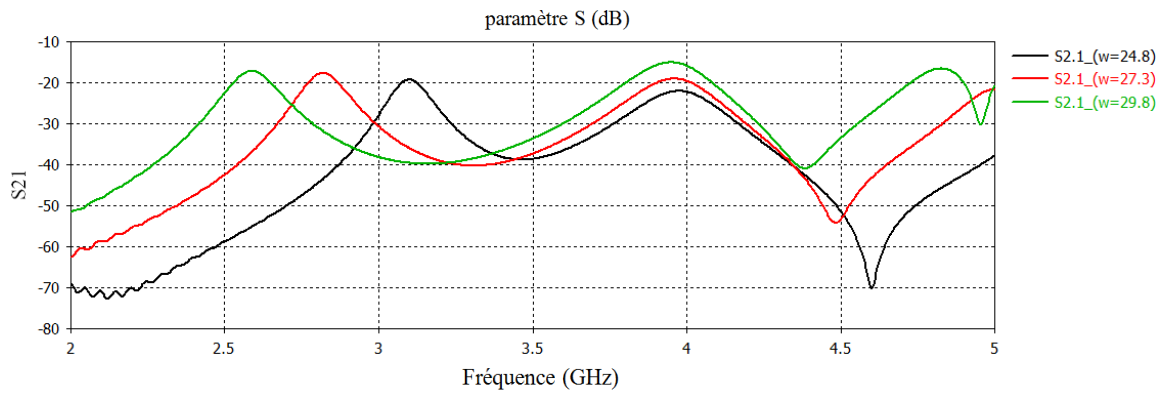


Figure III.13 : L'isolation S_{21} pour différentes largeurs du patch.

A partir des courbes de paramètre d'isolation S_{21} montrées dans la figure III.13, on voit que la largeur $w=24.8$ mm donne une isolation de -50 dB à la fréquence $f=2.6$ GHz et une isolation de moins de -30 dB pour la deuxième fréquence $f=3.7$ GHz. La meilleure valeur de l'isolation obtenue est très suffisante pour un système multi-antennes performant.

III.4.2 Effet de la longueur du Patch (l)

Dans ce cas, la largeur du patch w est fixée à 24.8 mm, puis on va varier la longueur (l) de 16.7 mm jusqu'à 20.7 mm avec un pas de 1 mm ce qui permet d'avoir quatre cas possibles, les autres paramètres sont fixes (voir tableau III.1).

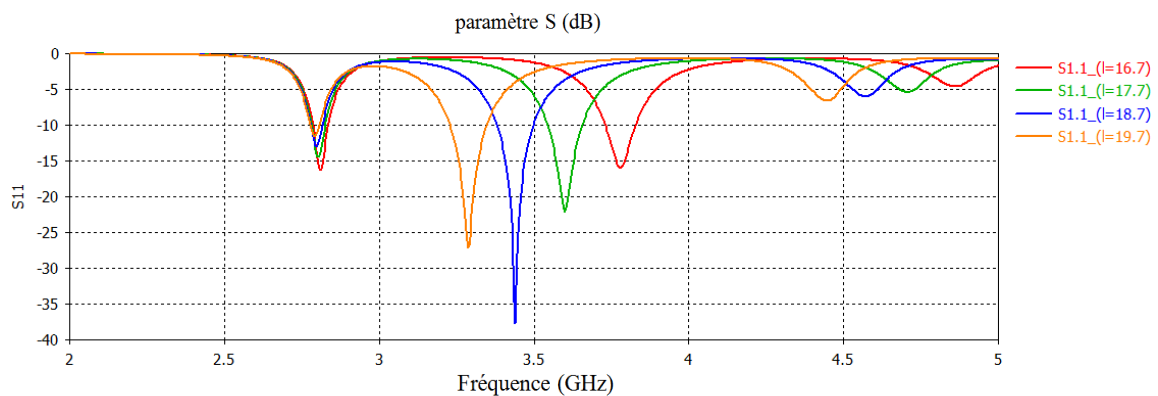


Figure III.14 : Le coefficient S_{11} pour différentes longueurs du patch.

Les résultats de simulation montrés dans la figure III.14 représentent l'évolution du coefficient de réflexion S_{11} pour différentes valeurs de l . Ces courbes montrent que l'augmentation dans la longueur (l) est inversement proportionnelle à la deuxième fréquence de

résonance (bande 38) ce qui la diminue de 3.8 GHz jusqu'à 3.2 GHz. Par contre, cette augmentation dans (l) influence l'adaptation au niveau de la première fréquence de résonance ce qui permet d'abaisser le S11 de -10 dB jusqu'à -15 dB.

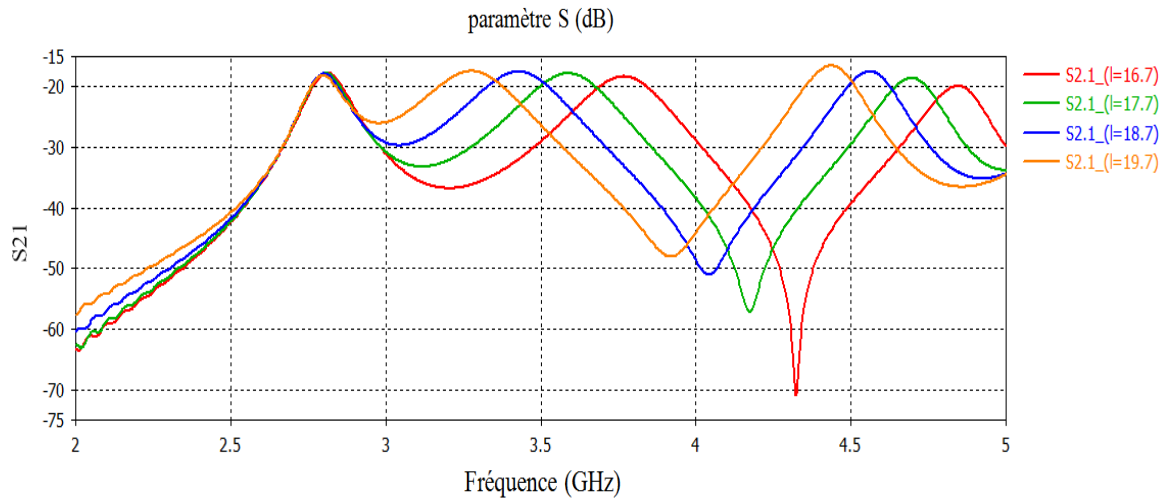


Figure III.15 : L'isolation S_{21} pour différentes longueurs du patch.

La figure III.15 montre l'isolation S_{21} pour différentes longueurs du patch où on voit que la longueur est proportionnelle à l'isolation pour la deuxième bande de fréquence $f=3.6$ GHz mais elle est similaire pour la première fréquence $f=2.6$ GHz.

III.5 Effet de la distribution du courant surfacique

La figure III.16 montre une antenne MIMO avant de faire des fentes (slots) sur la surface rayonnante. Les fentes ont pour but d'augmenter le trajet des courants surfaciques et de faire baisser les modes supérieurs du patch.

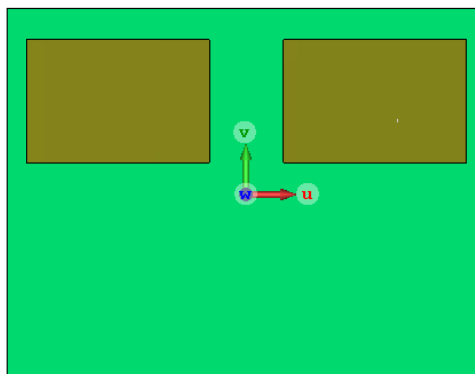


Figure III.16 : L'antenne MIMO sans trous.

Le prélèvement de la distribution du courant surfacique doit être pris à une fréquence donnée. Dans ce cas, la fréquence est fixée à 2.6 GHz.

La distribution du courant surfacique sur le patch à la fréquence de résonance est montrée dans la figure III.17. On voit que le courant est maximum au centre des deux frontières (bords), ce qui indique que l'antenne patch est proche de sa fréquence de résonance de premier mode (voir figure III.18).

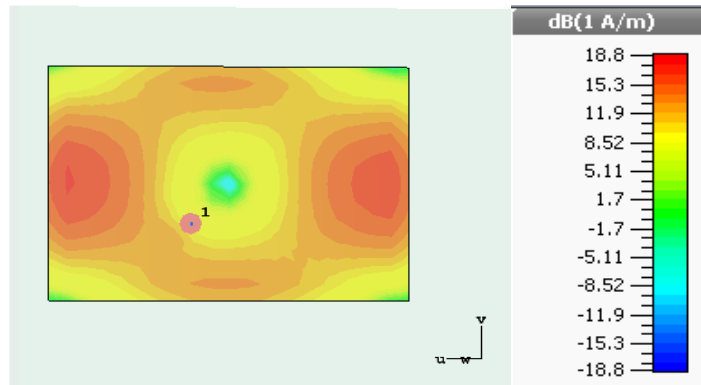


Figure III.17 : Distributions des courants de surface simulées des patches associées à 2.6 GHz.

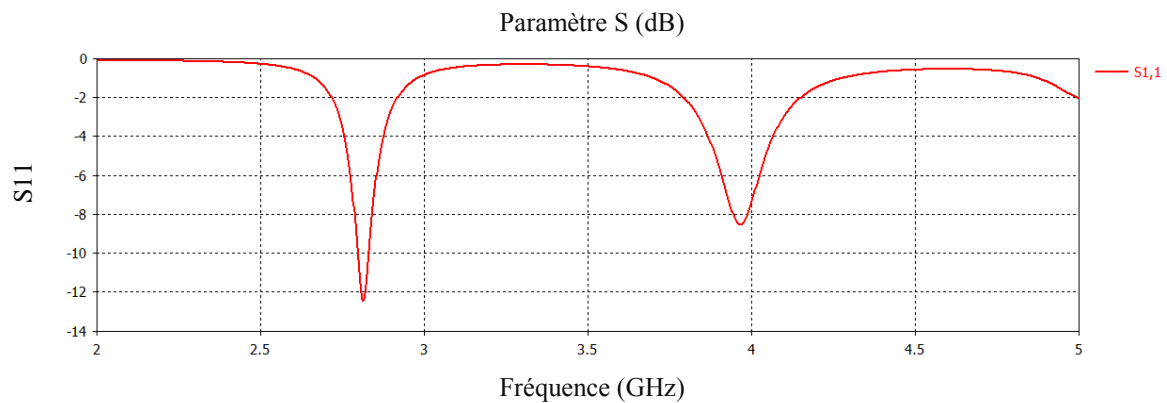


Figure III.18 : Le coefficient S_{11} de l'antenne sans trous.

Les régions en rouge sur le patch sont des positions où le courant surfacique est très élevé pour la fréquence mentionnée au-dessus par contre les régions en bleu ont des courants surfaciques très faibles.

Pour créer une fréquence de résonance ou améliorer l'adaptation à une fréquence donnée, on doit créer des fentes sur les régions du courant surfacique élevé. Le but de ces fentes est d'exciter quelques modes du patch,

Les bandes passantes sont respectivement à la fréquence $f = 2,6$ GHz et 3,6 GHz. A ces deux fréquences, nous présentons les diagrammes de rayonnement normalisés en champ lointain en 3D (figure III.19 pour $f = 2,6$ GHz et figure III.22 pour $f = 3,6$ GHz). Les gains réalisés totaux maximums sont de l'ordre respectivement de 5.66 dBi et 6,79 dBi à $f = 2,6$ GHz et 3,6 GHz. De même, on a représenté ces diagrammes de rayonnement en 2D dans les deux plan $\phi = 90^\circ$ et $\theta = 90^\circ$ comme nous les montre dans les figures III.20 et 21 pour la fréquence $f = 2.6$ GHz et dans les figures III.23 et 24 pour la fréquence $f = 3.6$ GHz.

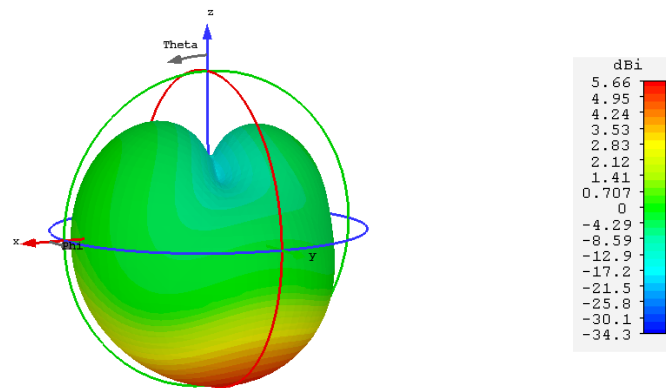


Figure III.19 : le diagramme de rayonnement pour la fréquence 2.6GHz (3D)

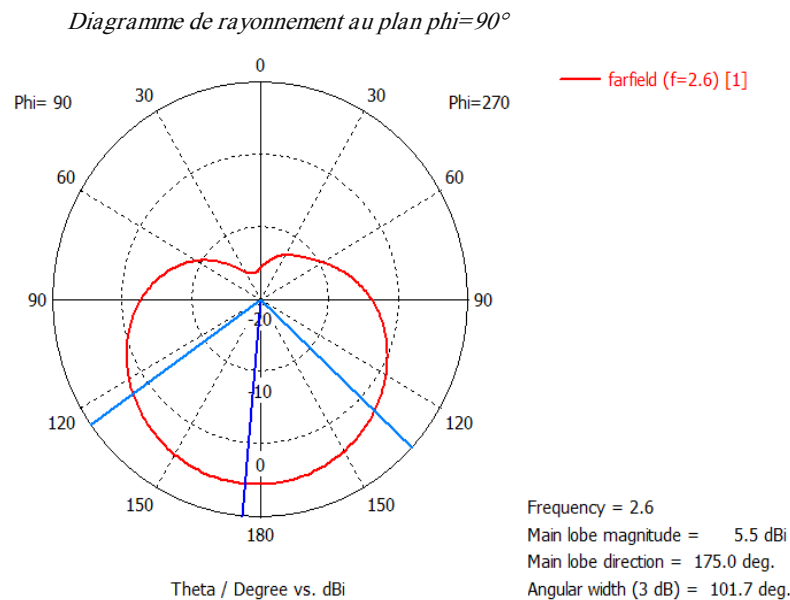


Figure III.20 : le diagramme de rayonnement pour la fréquence 2.6GHz au plan $\phi = 90^\circ$ (2D)

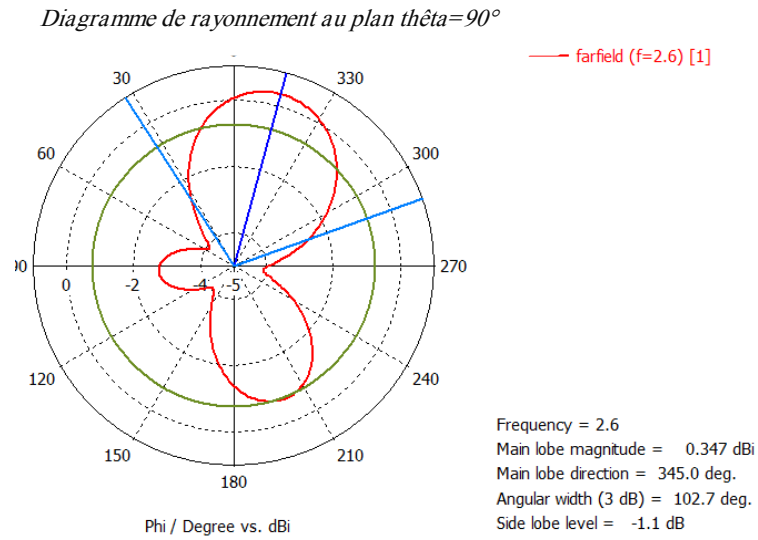


Figure III.21 : le diagramme de rayonnement pour la fréquence 2.6GHz au plan $\theta=90^\circ$ (2D)

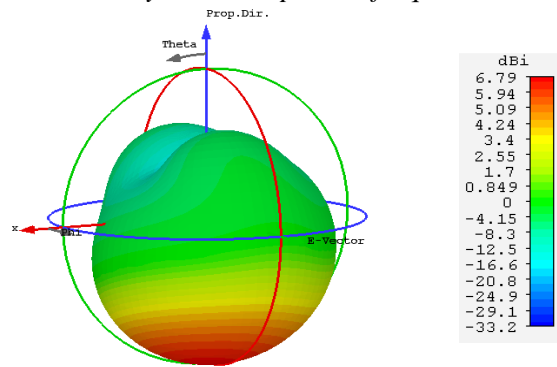


Figure III.22 : le diagramme de rayonnement pour la fréquence 3.6GHz (3D)

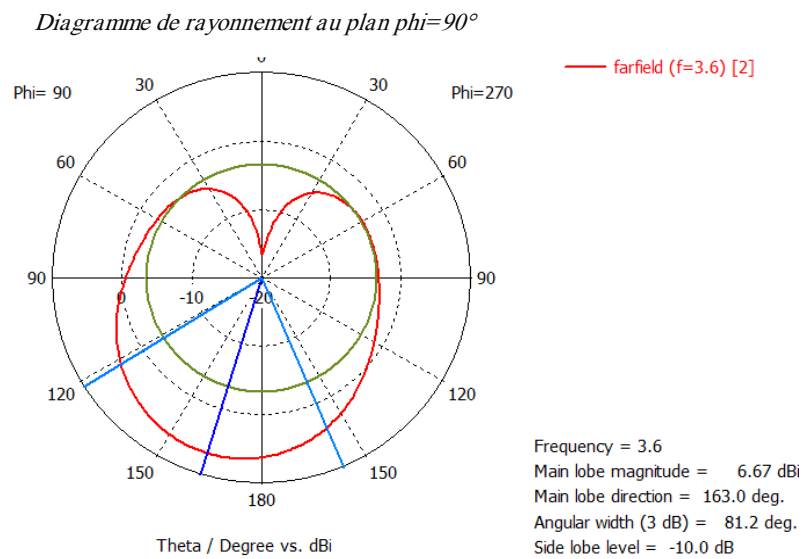


Figure III.23 : le diagramme de rayonnement pour la fréquence 3.6GHz au plan $\phi=90^\circ$ (2D)

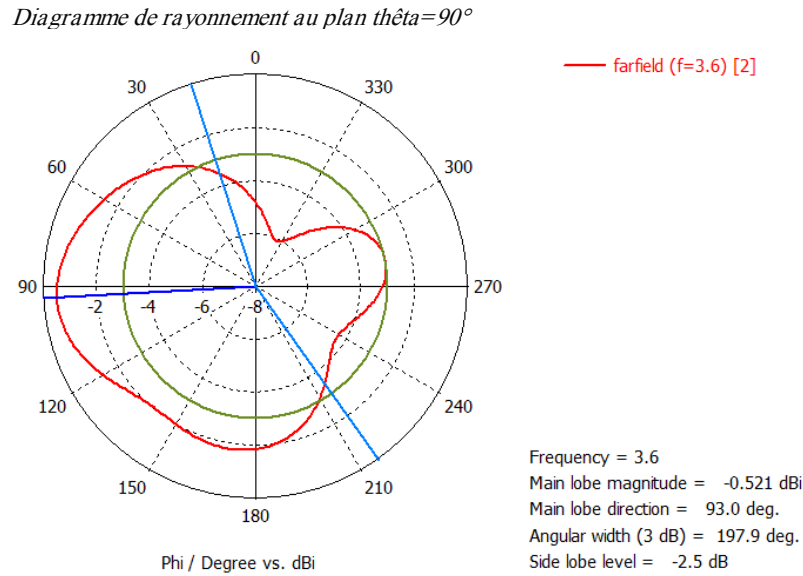


Figure III.24 : Le diagramme de rayonnement pour la fréquence 3.6GHz au plan $\theta=90^\circ$ (2D)

III.6. Conclusion

Dans ce chapitre, on a fait une étude paramétrique sur une antenne imprimée de forme rectangulaire. Ce qui nous a permis de voir le rôle important des différents paramètres physiques sur les caractéristiques de rayonnement telles que le coefficient de réflexion et le diagramme de rayonnement. Cette étude paramétrique nous a permis de déterminer les différents paramètres physiques et géométriques nécessaires pour répondre aux applications LTE (bandes passantes à 2,6 GHz et autre à 3,6 GHz respectivement).

Chapitre IV :

Réalisation d'une antenne LTE bi-bandes

IV.1. Introduction

Nous avons vu dans le chapitre III que les résultats obtenus par simulation vérifient parfaitement l'idée pour la réalisation d'une antenne LTE, alors il ne reste que de réaliser cette antenne imprimée.

Pour atteindre cet objectif, il a fallu de passer directement à la réalisation pratique ; Dans ce chapitre, on va décrire les différentes étapes de la réalisation, en dépit de la différence constatée entre la simulation purement théorique et ses paramètres approximatifs et les paramètres effectifs de la réalisation.

Les antennes imprimées se réalisent toujours sur un circuit imprimé double face ou à une seule face, c'est-à-dire un support isolant sur lequel des pistes de cuivre réalisent le patch et la masse, Le matériau utilisé est presque toujours du verre époxy c'est-à-dire un isolant à base de fibres de verre compressées et imprégnées de résine époxy. Une pellicule de cuivre très fine ($< 100 \mu\text{m}$) est fortement collée sur le support.

IV.2. Préparation de Typon

Le traitement consiste à supprimer le cuivre là où il n'y a pas de patch. Le cuivre est supprimé par un attaque chimique, généralement en utilisant le perchlorure de fer. L'action de supprimer le cuivre par attaque chimique s'appelle la gravure. Toute la difficulté réside dans le fait qu'il faut protéger le cuivre là où il doit rester. On peut utiliser un feutre spécial avec une encre résistante mais il faut alors tracer le dessin de patch, ce qui ne peut pas convenir pour les circuits imprimés compliqués. De plus, le problème qui sera posé c'est la qualité de tracement de typon. Notre antenne est de dimension de m m, donc, on n'a pas le choix seulement de redésigné le patch en utilisant un logiciel de tracement graphique (Corel DRAW X4), la figure IV.1 représente la cause de cette utilisation de ce logiciel professionnel qui nous a permis d'avoir une bonne qualité d'image en termes de sa grande résolution, son nettement et sa précision.

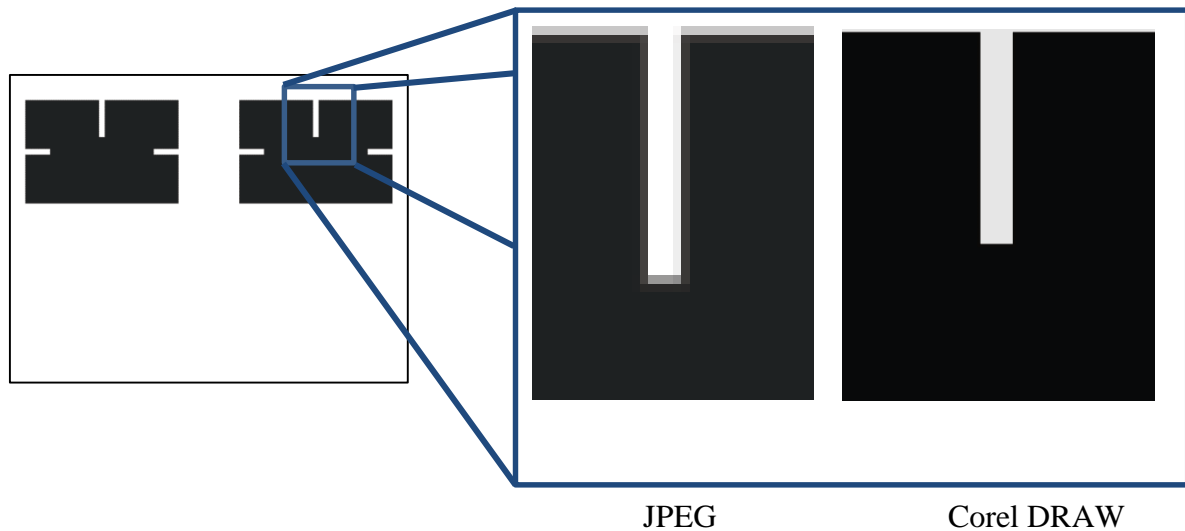


Figure.IV.1 : *Le typon de patch zoomer 1000%*

- Pour créer une antenne imprimée, on va supprimer le cuivre de toutes la surface métallique sauf la zone représentant le patch, en partant d'une plaque entièrement recouverte de cuivre à l'origine.
- Le produit chimique utilisé pour supprimer le cuivre est le perchlore de fer.
- L'action de supprimer le cuivre s'appelle la gravure, et s'effectue dans une graveuse.

Ce typon pourra être dessiné à la main sur une feuille de papier calque, ou tracé sur ordinateur avec un logiciel spécialisé puis imprimé sur un transparent. L'avantage d'utiliser un typon est double : on pourra facilement fabriquer plusieurs structures et il est possible de réaliser des antennes imprimées complexes, possédant beaucoup de difficulté design, et demandant une grande précision.

Pour « transférer » le tracé du typon sur la plaque de l'antenne imprimée, on utilise des plaques de cuivre photosensibles. Les plaques photosensibles sont recouvertes d'une couche protectrice photosensible dure et très adhérente, de couleur bleue-violet et d'une épaisseur de 2,5 microns. Cette couche protectrice protégera le cuivre lors de la gravure. La couche protectrice est photosensible, ce qui signifie qu'elle est détruite au contact des rayons ultraviolets. Pour protéger le cuivre seulement aux endroits contenant le patch, on va exposer la plaque photosensible aux rayons ultraviolets, après l'avoir recouverte avec le typon : ainsi, la couche protectrice photosensible sera brûlée et éliminée par les rayons ultra-violet à l'extérieur des pistes (là où le typon est transparent) et demeurera intacte sur les pistes (là où le typon est opaque).

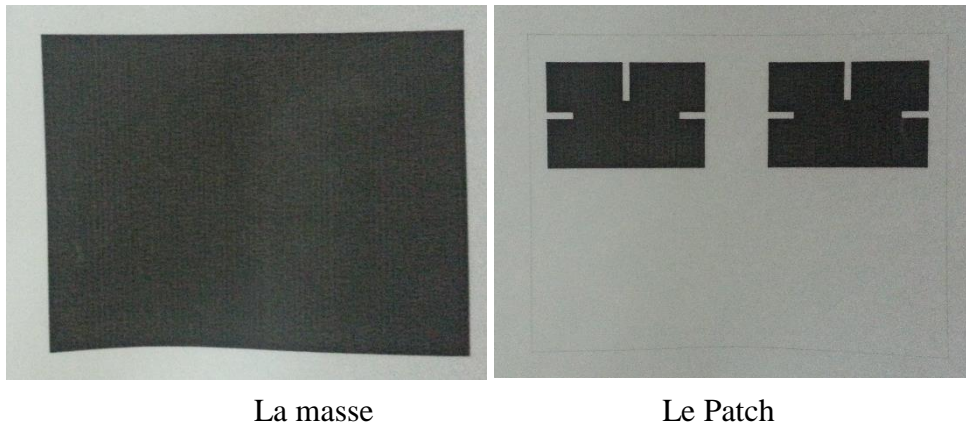


Figure IV.2 : *Le typon de patch et de la masse en utilisant le calque*

Pratiquement, l'utilisation du calque n'est pas la bonne solution par ce que ce calque a des fuites qui laisse l'ultra-violet passer vers la couche de cuivre protégée. Donc les résultats obtenus comme on a déjà vu dans la figure IV.3 n'est pas suffisante absolument.

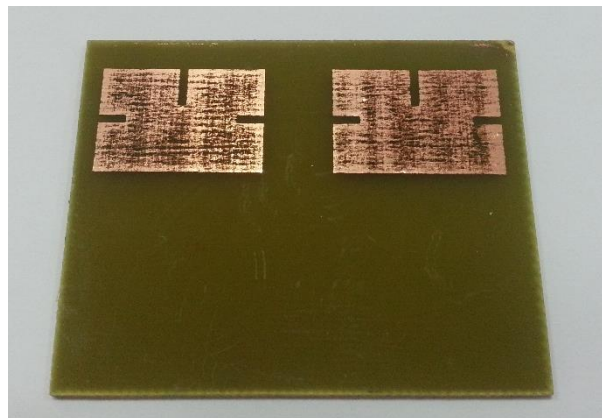


Figure IV.3 : *L'antenne réalisée avec le typon imprimée sur le calque.*

On voit que l'antenne patch est de mauvaise qualité à cause de passage des rayons UV à partir du calque (mauvaise protection contre UV). Une mauvaise protection du cuivre de patch donne des fentes aléatoires sur la surface rayonnante après l'utilisation des solvants chimiques.

Donc, on propose une solution fiable en utilisant une autre technique. on imprime le module de l'antenne sur un autocollant pour assurer que l'ultraviolet ne passe pas au patch avec une imprimante spéciale



Figure IV.4 : *Le typon de patch sur l'autocollant avec son imprimante.*

IV.3. Mode opératoire :

Le mode opératoire à suivre pour fabriquer une antenne imprimée en utilisant le typon :

- 1- Coupe : Découpez, à l'aide d'une cisaille, la plaque Epoxy/cuivre aux dimensions du futur de l'antenne.



Fig. IV.3 La cisaille

- 2- Préparation : Mettez le typon dans l'insolence en vérifiant bien son sens. Pour que l'insolation puisse s'effectuer, il faut retirer l'adhésif opaque qui protège la couche photosensible des rayons ultra-violets de la lumière ambiante. Une fois l'adhésif retiré, placez la plaque pré sensibilisée dans l'insolence, avec le typon côté cuivre.

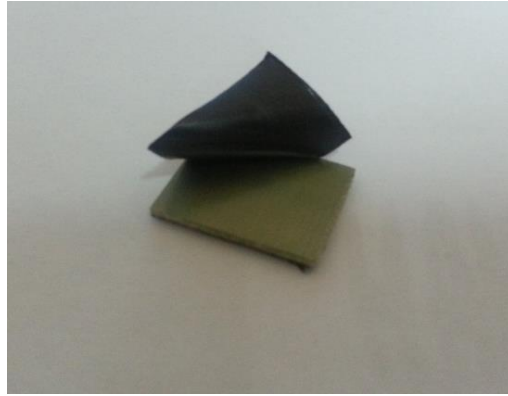


Figure IV.4 : *La préparation du patch en utilisant le typon*

- 3- **Insolation :** Fermez le capot protecteur de l'insoleuse et réglez la minuterie sur 3 min. Les ultra-violets émis par les tubes de l'insoleuse vont détruire la couche photosensible aux endroits non protégé par le tracé du typon. Lorsque la minuterie s'arrête, ouvrez le capot protecteur de l'insoleuse et sortez la plaque pré sensibilisée. Vous devez pouvoir observer le tracé des pistes imprimé sur la résine.



Figure IV.5 : *L'insoleuse par l'ultraviolet UV.*

- 4- **Révélation :** Trempez la plaque présensibilisée dans le bain révélateur en suivant bien les consignes de sécurité. Si le révélateur est récent ou très actif, l'opération risque d'être très court observez bien l'action du produit qui désagrège la couche photosensible brûlée par les ultra-violets, ne laissant que le tracé des futures pistes sur la couche de cuivre.



Figure IV.6 Maitre l'antenne au perchlorure de fer.

- 5- Rinçage : Rincez abondamment le circuit imprimé à l'eau. Le perchlorure est encore actif, toxique et salissant. Attention : le perchlorure de fer ronge et détruit le cuivre, il peut donc largement en faire autant avec vos mains ou vos vêtements.

Finalement, après ces différentes étapes, le modèle de l'antenne en taille réelle est illustré dans la figure IV.7. où on présente les deux faces (supérieure pour les patchs rayonnant et inférieure pour la masse et les connecteurs coaxiaux)

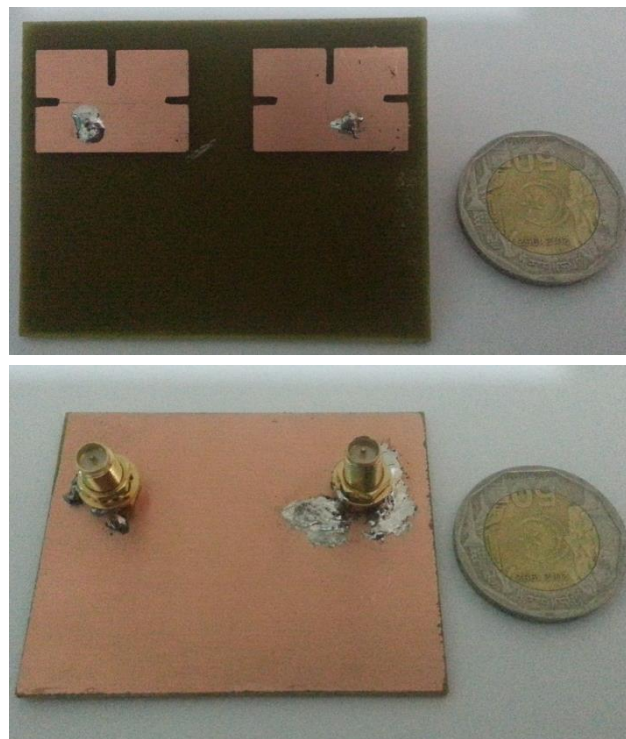


Figure IV.7 : L'antenne LTE en taille réelle (les deux cotés supérieure et inférieure).

On note ici que les deux antennes patches sont alimentées par des câbles coaxiaux d'impédance d'entrée $Z_e=50\Omega$.

IV.4. Détermination de permittivité

Pour déterminé la valeur de la permittivité de notre substrat nous allons faire couper un rectangle arbitraire ($20*20\text{ mm}^2$) et faire la soudure pour distinguer la capacité, figure IV.8

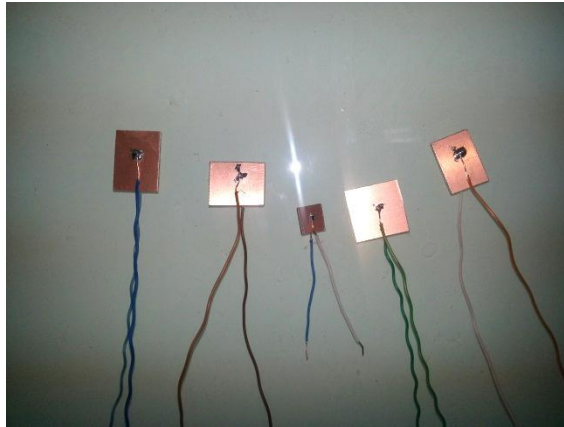


Figure IV.8 : *une technique pour déterminer la capacité du substrat.*

Pour calculer les capacités on a utilisé le capacimètre, comme nous le montre dans la figure IV.9.



Figure IV.9 : *L'appareille de mesure capacimètre*

On a $c = 12.57 \text{ pF} = 12.57 * 10^{-12} \text{ F}$, $\epsilon_0 = 8.85 * 10^{-12} (\text{F} * \text{m}^{-1})$

$$\epsilon_r = \frac{c}{\epsilon_0} \frac{d}{s} = 5.17$$

- d : l'épaisseur de la capacité.
- s : la surface de la capacité.
- c : la célérité de la lumière dans le vide.

IV.5 Conclusion

Finalement, la réalisation de l'antenne LTE était parfaitement faite, cette antenne bi-bandes est réalisée pour la première fois au sein du laboratoire de l'Université de M'sila. Ce qui nous donne une vue pratique sur les différentes difficultés dans la réalisation des antennes imprimées. Notre objectif était de faire une comparaison de l'antenne réelle avec celle simulée au chapitre précédent en utilisant le simulateur CST studio 2017. Malheureusement, à cause de l'absence d'un analyseur de réseau au niveau de notre université cette dernière tâche restera comme une perspective pour des travaux similaires au futur.

Conclusion

Générale

Conclusion Générale

L'objectif de notre travail était la conception d'une antenne LTE bi-bandes dédiée aux bandes 22 et 38 de la quatrième génération. Pour atteindre cet objectif, une étude paramétrique était faite en utilisant le simulateur électromagnétique en 3D CST studio 2017 dans le domaine fréquentiel. Ce simulateur *full-wave* est basé sur la résolution des équations de Maxwell en utilisant la méthode d'intégration finie.

Le logiciel EM CST II aide le concepteur à observer et analyser les diverses propriétés électromagnétiques de la structure telles que les caractéristiques de rayonnement et de dispersion. Il est important de comprendre chaque étape du processus de modélisation en détail afin d'obtenir des résultats fiables. Malgré qu'il existe plusieurs simulateurs, on a choisi dans notre étude le CST à cause de sa simplicité de mise en œuvre, le problème de l'air box et des autres.

Au cours de ce travail, nous avons développé une nouvelle antenne imprimée dédiée aux deux bandes LTE (bande 22 et bande 38) en utilisant le CST studio. Ce simulateur permet de modéliser et d'analyser cette antenne à partir d'une étude paramétrique performante. Dans l'étude paramétrique, on a varié quelques paramètres physiques et géométriques afin d'avoir une antenne MIMO qui doit fonctionner sur les deux bandes LTE (bande 22 et 38). Les résultats trouvés sont largement suffisants en termes des paramètres S (coefficient de réflexion S_{11} inférieur à -10dB avec une grande isolation entre les deux patches rayonnants). Les antennes développées fonctionnent dans les deux bandes LTE : 2.57-2.62 GHz et 3.6-3.8 GHz.

L'étude paramétrique nous a permis d'avoir une grande idée sur l'effet de chaque paramètre sur les caractéristiques des antennes telles que l'isolation S_{21} , coefficients de réflexion S_{11} , le diagramme de rayonnement en champ lointain et la bande passante. Par exemple, la longueur et la largeur du patch influence l'adaptation à la fréquence de résonance et de même sur le décalage de cette fréquence elle-même.

Une réalisation pratique de l'antenne MIMO était faite parfaitement. Mais à cause de l'absence d'un analyseur de réseau et la chambre anéchoïque, une comparaison avec des résultats simulés n'aura pas lieu. Cette tâche reste une perspective au futur.

Références

Références

- [1] K. BOUFELDJA " Modélisation et Synthèse de réseaux périodiques et non périodiques d'antennes microrubans par l'application d'un Algorithme Génétique-Flou
- [2] Boualam MEKIMAH, Etude du fonctionnement en mode bi fréquence des patches microbandes empilés et excentrés, Magister en Electronique, Kasdi MERBAH. OURGLA.
- [3] Fouad BENAMRANE, Conception d'une antenne Patch microstrip, Master telecoms hyper frequency, Université Sidi Mohamed Ben Abdallah (FES) MAROC, 2011
- [4] Sven Erik 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.
- [5] Selma BENABAD, et Chafika LALLAM, Conception et modélisation d'une antenne Microruban compacte pour une utilisation dans les terminaux mobile, Master télécommunications, composants et systèmes Electronique pour les télécommunications (CoSET), Université ABOU BEKER BELKAID TLEMEN, 2012.
- [6] Leila CHOUTI, Contribution à l'étude d'antennes imprimées rectangulaires double bande et multi bandes tenant compte de l'effet de couplage, Magister en Electronique, option : Micro-ondes, Université MENTOURI- CONSTANTINE, 2009.
- [7] Osman Nuri CAN YILMAZ, Self-Optimization of coverage and capacity in LTE using Adaptive Antenna Systemes, Master Thesis submitted in partial fulfilment of the degree of Master science in Technology, AALTO University, 19th February 2010.
- [8] Yicun LI, Contribution de à l'optimisation des performances d'antennes de téléphones mobiles à l'aide de techniques d'adaptation, thèse de doctorat, ECOLE DOCTORALE SCIENCE ET INGENIERIE, Soutenue le 5 Décembre 2005.
- [9]Jamel BEN NJIMA et Tarek RAHMANI, étude, conception et réalisation d'in réseau d'antennes patches , projet de fin d'étude, Institut Supérieur des Etudes Technologiques en communication de TUNIS, 2001-2002.
- [10] Christophe DALL'OMO, Contribution à l'étude d'antennes à pointage électronique en millimétrique. Conception et réalisation différentes topologies de Matrices de Butler, pour obtenir le grade de docteur de l'université de LIMOGES, Université de LIMOGES école doctorale Science- Technologie- Santé faculté des Science Techniques, le 13 Novembre 2003.

- [11] Lila MOUFFOK, Conception de systèmes multi-antennes multi-bandes pour terminaux mobiles LTE, pour obtenir le grade de docteur délivré par Télécom Paris Tech, INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES. Présentée et soutenue publiquement le 22 février 2013.
- [12] <http://www.telecomspourtous.fr/>. Date de visite : Mai 2016.
- [13] www.diaspotel.net. Date de visite : Mai 2016.
- [14] Samantha Caporal DEL BARRIO, Tunable Antennas to Address the LTE Bandwidth Challenge on Small Mobile Terminals: One World, Oie Radio, AALBORG University (DENMARK), Publication date:2013.
- [15] Aykut CIHANGIR, Antenna design using matching circuits for 4G communicating devices, pour l'obtention le grade de docteur en sciences de L'université de NICE-SOPHIA ANTIPOLIS, soutenance prévue le 6 Mars 2014.
- [16] Florence SONNERAT, Développement d'antennes innovantes pour les terminaux mobiles 4G tenant compte de l'interaction avec l'utilisateur : solutions circuits et antennes envisageables, l'Université européenne de Bretagne TELECOM BRETAGNE, Thèse de Doctorat, Soutenue le 3 octobre 2013.
- [17] Yannick BOUGEN, Éric HARDOUIN, François-Xavier WOLFF, LTE et les réseaux 4G, Sous la direction de Guy Pujolle, © Groupe Eyrolles, 2012, ISBN : 978-2-212-12990-8.
- [18] Konstantinos TRICHIAS, Modeling and Evaluation of LTE in Intelligent Transportation Systems, Master of Science Thesis, University of TWENTE NETHERLANDS, October 6. 2011.

Résumé

L'objectif principal de notre travail est la conception d'une antenne MIMO multi-bandes pour les terminaux mobile LTE. On a étudié l'influence des différents paramètres géométriques de l'antenne (la taille de patch, le point d'alimentation et la taille de la masse) sur les caractéristiques de rayonnement telles que la fréquence de résonance, le diagramme de rayonnement et la bande passante. Pour aboutir à notre objectif, une étude paramétrique a été faite en utilisant un outil de simulation électromagnétique robuste CST studio 2017. Après la conception de l'antenne, une réalisation pratique a été faite au niveau de laboratoire de l'université. A cause de l'absence d'un analyseur de réseau, une comparaison entre l'antenne réelle et celle simulée reste comme perspective.

Mots clés : antenne MIMO, antenne LTE, CST studio, simulation.

ABSTRACT

In this work, the main goal is to develop and design a printed MIMO antennas which can be used for dual bands LTE applications. The proposed antennas have rectangular patches which are laying on a same single substrate. A parametric study was done, using CST studio 2017, to show the influence of some antenna parameters (geometrical parameters) on the different characteristics such as resonant frequency, return loss, isolation and bandwidth. During the parametric study, one parameter will be varied at a time while the other parameters are fixed. The best designed antenna is then fabricated in the Lab of our university. A comparison between designed and fabricated antenna stay as a future task.

Keywords: MIMO antenna, LTE antenna, CST studio, design.

ملخص:

الهدف الرئيسي من عملنا هو تصميم هوائي متعدد المداخل متعدد المخارج MIMO موجة للاستعمال للجيل الرابع LTE. قمنا بدراسة تأثير المعايير الهندسية والكهربائية الأساسية للهوائي على التردد الرنان والاتجاهية، المعايير التي قمنا بدراستها هي: طول وعرض العنصر المشع، طول وعرض عنصر القاعدة، فاعلية التيار السطحي للعنصر المشع، احداثيات التغذية، وذلك باستعمال برنامج CST 2017 الذي يعتمد على طريقة التكاملات المنتهية.

كلمات مفتاحية: متعدد المداخل متعدد المخارج MIMO، هوائي الجيل الرابع LTE، محاكاة.