



# Mémoire

A L'UNIVERSITÉ DE TLEMCCEN

FACULTÉ DE TECHNOLOGIE

DÉPARTEMENT DE GÉNIE ÉLECTRIQUE ET D'ELECTRONIQUE

Pour l'obtention du diplôme de

**MASTER**

Spécialité : " Réseaux Mobile et Service"

Présenté par : **BELGACEM Nassima**

**CONCEPTION DES ANTENNES PIFA MONO-BANDE ET MULTI-BANDES GSM, DCS,  
PCS, UMTS ET WIFI**

**POUR TELEPHONES MOBILES**

Soutenu en Juin 2013 devant le Jury :

F. T. BENDIMERAD	Professeur à l'Université de Tlemcen	Président
S. M. MERIAH	Professeur à l'Université de Tlemcen	Examineur
A. BOUACHA	Maitre de conférences (B) à l'université de Tlemcen	Examineur
M. ABRI	Maitre de conférences (A) à l'université de Tlemcen	Encadreur

## Dédicaces

*Je dédie ce travail à la source de tendresse que sont ma très cher ma mère et à la mémoire de mon père.*

*Tout en étant convaincue que mon succès est une récompense pour tous leurs sacrifices, qu'ils trouvent ici l'expression de ma plus profonde gratitude.*

*À mes frères et sœurs Ismail, Mohammed. Z, Wahiba et Samira.*

*À toute la famille Belgacem.*

*À tous mes amis.*

*À tous ceux qui m'aiment Belgacem.*

## Remerciements

Ce travail a été réalisé au sein du laboratoire de télécommunication à la faculté des sciences de l'ingénieur de l'université Abou Bakr- Belkaid Tlemcen.

Nous remercions ALLAH le tout puissant de nous avoir donné les courages et la volonté de mener à terme ce modeste travail.

J'exprime toute ma gratitude à Monsieur M. ABRI, Maitre de conférences (A) à l'université Abou-Bakr Belkaid Tlemcen, de m'avoir dirigé et guider tout le long de ce travail. Je lui remercie pour m'avoir bénéficié de ses grandes connaissances scientifiques et la patience qu'elle m'a accordé et les précieux conseils qu'il m'a généreusement prodigué.

Je remercie très sincèrement Monsieur M. FEHAM, professeur à l'université de Tlemcen, pour son soutien permanent, ses conseils judicieux et ses remarques constructives qui ont fait avancer mes études.

Je remercie Monsieur F. T. BENDIMRAD, professeur à l'université de Abou-Bakr Belkaid Tlemcen, pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail en acceptant de faire partie de jury et de nous honorer par sa présidence.

Des vifs remerciements sont également adresser à Monsieur S. M. MERIAH professeur à l'université Abou-Bakr Belkaid Tlemcen et Monsieur A. BOUACHA Maitre de conférence classe (B) à l'université Abou-Bakr Belkaid de Tlemcen, d'être membres de jury et accepter d'expertiser ce modeste travail. Leurs remarques constructives vont contribuer à combler les carences probables dans ce manuscrit.

J'adresse mes remerciements à tous mes collègues, particulièrement ma promotion de Master, spécialité : Réseau Mobile et Service durant l'année 2013.

Enfin, j'adresse mes remerciements à toutes les personnes qui de près ou de loin m'ont aidé et soutenu durant cette période.

# Sommaire

Remerciements .....	II
Résumé .....	III
Sommaire.. .....	V
Liste des figures .....	IX
Liste des tableaux .....	X
I. Introduction Générale .....	1
<b>Chapitre I : Généralités sur les antennes PIFA</b>	
I. 1. Introduction.....	3
I. 2. Les antennes miniatures .....	4
I. 2. 1. Introduction.....	4
I. 2. 2. La définition d'une antenne miniature .....	4
I. 2. 3. Une antenne est dit miniature.....	4
I. 3. Les techniques de miniaturisation.....	5
I. 3. 1. Modification de l'élément rayonnant .....	6
I. 3. 2. Ajoutant de court-circuit .....	7
I. 3. 3. Les types de court-circuit.....	8
I. 3. 3. 1. 1. Court-circuit plan .....	9
I. 3. 3. 1. 2. Court-circuit languette .....	9
I. 3. 3. L'insertion des fenêtres dans l'élément rayonnant .....	9
I. 3. 3. 1. Fente demi –onde (non débouchantes).....	9
I. 3. 3. 2. Fente quart d'onde (débouchantes).....	10
I. 3. 4. Allongement des longueurs électriques .....	10
I. 3. 5. Création de nouveau résonateur .....	11
I. 3. 6. L'utilisation de chargement capacitif.....	12
I. 3. 6. 1. Insérés en bout l'élément .....	12
I. 3. 6. 2. Insérés dans l'élément.....	12
I. 3. 7. La juxtaposition .....	13
I. 3. 8. Repléments.....	13
I. 3. 8. 1. Repliement des éléments rayonnants .....	14
I. 4. Les caractéristiques d'une antenne miniature .....	14
I. 4. 1. Les éléments d'électrique .....	15
I. 4. 2. L'intégration d'une antenne .....	15

I. 4. 3. Utilisation d'un plan de masse .....	15
I. 4. 4. L'antenne doit présenter une sensibilité.....	15
I. 5. Exemple sur les antennes miniatures .....	16
I. 6. Les antennes PIFA (Planar Inverted F Antenna) .....	16
I. 6. 1. Introduction.....	16
I. 6. 2. Définition des antennes PIFA .....	17
I. 6. 3. La configuration typique d'antenne PIFA .....	17
I. 6. 4. Les variation de conception pour cette antenne.....	17
I. 6. 5. Des exemples d'antennes PIFA présentés dans des téléphones portables.....	18
I. 6. 6. Les antennes ILA (antenne L inverse) .....	19
I. 6. 7. Les types des antennes PIFA .....	20
I. 6. 7. 1. Les antennes PIFA Multi -Bande.....	20
I. 6. 7. 1. 1. Avantages et inconvénients.....	20
I. 6. 7. 2. Les antennes PIFA bi –bande.....	21
I. 6. 7. 3. Avantages et inconvénients.....	21
I. 7. Caractéristiques radioélectriques d'antenne PIFA .....	22
I. 7. 1. Distribution de champ électrique .....	22
I. 7. 2. Distribution du courant .....	22
I. 7. 3. L'effet des paramètres de substrat .....	23
I. 8. Les performances de l'antenne PIFA.....	23
I. 9. L'influence des paramètres géométrique de l'antenne PIFA .....	23
I. 10. L'influence de plan de masse sur l'antenne .....	24
I. 10. 1. La forme .....	24
I. 10. 2. La taille .....	24
I. 10. 3. L'influence du plan de court- circuit.....	24
I. 10. 3.1. Le plan de court -circuit.....	25
I. 11. Géométrie d'une antenne PIFA élémentaire pour le GSM et le DCS .....	25
I. 12. L'évolution des standards de communication.....	26
I. 13. Les effets des composants sur les caractéristiques de l'antenne.....	27
I. 14. Conception d'une antenne PIFA bi –bande .....	27
I. 15. Différent domaines d'applications .....	28
I. 15. 1. GSM.....	29
I. 15. 2. UMTS .....	29

I. 15. 3. GPRS.....	29
I. 15. 4. EDGE.....	29
I. 16. Conclusion .....	30

## **Chapitre II : Présentations du logiciel de simulation CST**

II. 1. Introduction .....	31
II. 2. Description du logiciel de simulation .....	32
II. 2. 1. Modules de CST .....	32
a) Un solveur transitoire .....	33
b)Un solveur fréquentiel.....	33
c)Un Solveur intégral .....	33
d)Un Solveur modal .....	33
II. 2. 2. La méthode FIT utilisée par le logiciel CST .....	34
II. 2. 3. Les modules d'exécution .....	36
II. 2. 4. Principales caractéristiques de logiciel CST.....	37
II. 2. 5. Quelle est la méthode qui décrit la structure .....	38
II. 2. 6. Quelle est l'aperçu des concepts clés de la CST.....	39
II. 2. 7. Les flux de simulation pour le module solveur .....	39
II. 2. 8. Les éléments nécessaires pour une analyse de domaine de fréquence à l'aide le solveur équation intégrale .....	40
II. 2. 9. Les données nécessaires pour l'analyse de domaine de fréquence .....	40
II. 2. 10. La conséquence de débit de simulation typique .....	41
II. 2. 11. La procédure de simulation typique .....	41
II. 2. 11. 1. Les étapes suivantes doivent être remplies pour qu'une simulation réussie .....	41
II. 3. Validation de l'outil simulation .....	42
II. 3. 1. Antenne PIFA bi-bande .....	42
II. 3. 2. Réseaux d'antennes .....	44
II. 4. Conclusion .....	50

## **Chapitre III : Résultat de simulation**

III. 1. Introduction .....	51
III. 2 . Logiciel de simulation .....	51
III. 3 . Antenne PIFA mono-bande.....	51
III. 3. 1 . Antenne mono-bande fonctionnant à 900 MHz pour GSM.....	52

III. 3. 2. Antenne mono-bande fonctionnant à 1800 MHz pour DCS.....	53
III. 3. 3. Antenne mono-bande fonctionnant à 1900 MHz pour PCS .....	54
III. 3. 4. Antenne mono-bande fonctionnant à 2100 MHz.....	56
III. 3. 5 . Antenne mono-bande fonctionnant à 2400 MHz pour WIFI.....	58
III. 3. 6 . Antenne mono-bande fonctionnant à 900 MHz pour GSM.....	60
III. 3. 7. Antenne mono-bande fonctionnant à 1800 MHz pour DCS.....	61
III. 3. 8. Antenne mono-bande fonctionnant à 1900 MHz pour PCS .....	63
III. 3. 10 . Antenne mono-bande fonctionnant à 2400 MHz pour application WIFI...	66
III. 4. Antennes PIFA bi-bandes.....	67
III. 4. 1. Antenne bi-bande fonctionnant à 900 MHz et 1800 MHz .....	68
III. 4. 2. Antenne bi-bande fonctionnant à 900 MHz et 1900 MHz.....	69
III. 4. 3. Antenne bi-bande fonctionnant à 900 MHz et 2100 MHz.....	73
III. 5. Conclusion.....	75
Conclusion Générale .....	76
Bibliographies .....	77

# Liste des figures

## Chapitre I : Généralités sur les antennes PIFA

Figure I. 1 : Les méandres latéraux .....	7
Figure I. 2 : Les méandres latéraux et verticaux .....	7
Figure I. 3 : Cartographie du champ E dans la cavité d'une antenne micro ruban .....	7
Figure I. 4 : Un court-circuit plan .....	8
Figure I. 5 : Un court-circuit plain .....	9
Figure I. 6 : Un court circuit de type languette .....	9
Figure I. 6 : Fente demi –onde (non débouchantes).....	10
Figure I. 8 : Fente demi–onde (débouchantes).....	10
Figure I. 9 : Allongement des longueurs électriques par fentes débouchant ou non Débouchantes .....	10
Figure I. 10 : Allongement du trajet des courants par ajout de fentes .....	11
Figure I.11 : Antenne PIFA avec fentes .....	11
Figure I. 12 : Les types des charges capacitives en bout d'élément.....	12
Figure I. 13 : Les types des charges capacitives dans l'élément .....	13
Figure I. 14 : Résonateur parasite juxtaposé .....	13
Figure I. 15 : Résonateur parasite superposé.....	13
Figure I. 16 : (a) : Illustration d'une antenne repliée .....	14
Figure I. 17 : Repliection vertical.....	14
Figure I. 18 : Géométrie de l'antenne fil-plaque à fente.....	16
Figure I. 19 : Toit de l'antenne fil plaque à fente. ....	16
Figure I. 20 : Configuration de l'antenne PIFA (pavé rayonnant suspendu dans l'air.....	18
Figure I. 21 : Exemples d'antennes PIFA présentés dans des téléphones portables.....	19
Figure I. 22 : Structure d'une antenne IFA .....	20
Figure I. 23 : Trajet de courants surfaciques d'une pifa avec un plan de court circuit .....	24



Figure I. 24 : Antenne PIFA élément .....	26
Figure I. 25 : Les bandes de fréquences allouées pour les téléphones mobiles. ....	28
Figure I. 26 : Les différentes catégories de réseaux suivant leur étendu.....	30

## **Chapitre II : Présentations du logiciel de simulation CST**

II. 1. Introduction .....	31
Figure II. 1: Illustration de l’outil CST : modélisation de l’environnement électromagnétique .....	34
Figure II. 2 : Différents maillages et approximations .....	35
Figure II. 3 : Les modules d’exécution de logiciel CST .....	35
Figure II. 4 : Antenne PIFA (a) vue de dessus. (b) vue latérale.....	43
Figure II. 5 : Paramètres S11 mesurés et simulés par le CST .....	43
Figure II. 6 : Systèmes à double patches réalisés.....	44
Figure II. 7 : Résultat de simulation et de la réalisation de Coefficients de réflexion. ....	45
et de transmission d'une des voies de l'antenne à double patches [24]. ....	45
Figure II. 8: Planar Inverted-F Antenna (PIFA) [23]. ....	45
Figure II. 9 : Le paramètre (S) mesuré [24]. ....	46
Figure II. 10 : Le paramètre (S) simulé.....	46
Figure II. 11 : Géométrie de l'antenne projetée [25]. ....	47
Figure II. 12 : Le coefficient de réflexion en (dB) [26]. ....	48
Figure II. 13 : Géométrie de l'antenne PIFA [24]. ....	48
Figure II. 14 : Paramètres S11 simulés par le CST [27].....	49
Figure II. 15 : Paramètres S11 mesurés et simulés par CST [27]. ....	49

## **Chapitre III : Résultat de simulation**

Figure III. 1 : Géométrie de l’antenne PIFA. ....	51
Figure III. 2 : Coefficient de réflexion $S_{11}$ et les paramètres de l’antenne simulée. ....	52
Figure III. 3 : Diagramme de rayonnement en 3D. ....	52
Figure III. 4 : Diagramme de rayonnement en polaire. (a) $\phi=90^\circ$ , (b) $\phi=0^\circ$ .....	53
Figure III. 5 : Coefficient de réflexion $S_{11}$ et les paramètres de l’antenne simulée. ....	53
Figure III. 6 : Diagramme de rayonnement en 3D. ....	54
Figure III. 7 : Diagramme de rayonnement en polaire. (a) $\phi=90^\circ$ , (b) $\phi=0^\circ$ .....	54
Figure III. 8 : Coefficient de réflexion $S_{11}$ et les paramètres de l’antenne simulée. ....	55

Figure III. 9 : Diagramme de rayonnement en 3D. ....	55
Figure III. 10 : Diagramme de rayonnement en polaire. (a) $\phi=90^\circ$ , (b) $\phi=0^\circ$ .....	56
Figure III. 11 : Coefficient de réflexion $S_{11}$ et les paramètres de l'antenne simulée. ....	56
Figure III. 12 : Diagramme de rayonnement en 3D. ....	57
Figure III. 13 : Diagramme de rayonnement en polaire. (a) $\phi=90^\circ$ , (b) $\phi=0^\circ$ .....	57
Figure III. 14 : Coefficient de réflexion $S_{11}$ et les paramètres de l'antenne simulée. ....	58
Figure III. 15 : Diagramme de rayonnement en 3D. ....	59
Figure III. 16 : Diagramme de rayonnement en polaire. (a) $\phi=90^\circ$ , (b) $\phi=0^\circ$ .....	59
Figure. III. 17 : Géométrie de l'antenne PIFA. ....	60
Figure III. 18 : Coefficient de réflexion $S_{11}$ et les paramètres de l'antenne simulée. ....	60
Figure III. 19 : Diagramme de rayonnement en 3D. ....	61
Figure III. 20 : Diagramme de rayonnement en polaire. (a) $\phi=90^\circ$ , (b) $\phi=0^\circ$ .....	61
Figure III. 21 : Coefficient de réflexion $S_{11}$ et les paramètres de l'antenne simulée. ....	62
Figure III. 23 : Diagramme de rayonnement en polaire. (a) $\phi=90^\circ$ , (b) $\phi=0^\circ$ .....	63
Figure III. 24 : Coefficient de réflexion $S_{11}$ et les paramètres de l'antenne simulée. ....	63
Figure III. 25 : Diagramme de rayonnement en 3D. ....	64
Figure III. 26 : Diagramme de rayonnement en polaire. (a) $\phi=90^\circ$ , (b) $\phi=0^\circ$ .....	64
Figure III. 27 : Coefficient de réflexion $S_{11}$ et les paramètres de l'antenne simulée.....	65
Figure III. 28 : Diagramme de rayonnement en 3D. ....	65
Figure III. 29 : Diagramme de rayonnement en polaire. (a) $\phi=90^\circ$ , (b) $\phi=0^\circ$ .....	66
Figure III. 30 : Coefficient de réflexion $S_{11}$ et les paramètres de l'antenne simulée. ....	66
Figure III. 31 : Diagramme de rayonnement en 3D. ....	67
Figure III. 32 : Diagramme de rayonnement en polaire. (a) $\phi=90^\circ$ , (b) $\phi=0^\circ$ .....	67
Figure. III. 33 : Géométrie de l'antenne PIFA bi-bandes.....	68
Figure III. 34 : Coefficient de réflexion $S_{11}$ et les paramètres de l'antenne simulée. ....	68
Figure III. 35 : Diagramme de rayonnement en 3D. ....	69
Figure III. 36 : Diagramme de rayonnement en polaire. (a) $\phi=90^\circ$ , (b) $\phi=0^\circ$ .....	69
Figure III. 37 : Diagramme de rayonnement en 3D. ....	70
Figure III. 38 : Diagramme de rayonnement en polaire. (a) $\phi=90^\circ$ , (b) $\phi=0^\circ$ .....	70
Figure III. 39 : Coefficient de réflexion $S_{11}$ et les paramètres de l'antenne simulée. ....	71
Figure III. 40 : Diagramme de rayonnement en 3D. ....	71
Figure III. 41 : Diagramme de rayonnement en polaire. (a) $\phi=90^\circ$ , (b) $\phi=0^\circ$ .....	72
Figure III. 42 : Diagramme de rayonnement en 3D. ....	72

Figure III. 43 : Diagramme de rayonnement en polaire. (a) $\phi=90^\circ$ , (b) $\phi=0^\circ$ .....	73
Figure III. 44 : Coefficient de réflexion $S_{11}$ et les paramètres de l'antenne simulée. ....	73
Figure III. 45 : Diagramme de rayonnement en 3D. ....	74
Figure III. 46 : Diagramme de rayonnement en polaire. (a) $\phi=90^\circ$ , (b) $\phi=0^\circ$ .....	74
Figure III. 47 : Diagramme de rayonnement en 3D. ....	75
Figure III. 48 : Diagramme de rayonnement en polaire. (a) $\phi=90^\circ$ , (b) $\phi=0^\circ$ .....	75

# Liste des tableaux

## Chapitre I : Généralités sur les antennes PIFA

<b>Tableau I.1 :</b> Les techniques de la miniaturisation.....	5
<b>Tableau I.2:</b> Points forts et faibles des antennes de type PIFA.....	18
<b>Tableau I. 3 :</b> Points forts et faibles des antennes de type PIFA bi - bande.....	19
<b>Tableau I. 4 :</b> Résumé de l'évolution des standards de communication.....	23
<b>Tableau I. 5 :</b> Bandes de fréquence de transmission et de réception des différentes normes...	25

## Chapitre II : Présentations du logiciel de simulation CST.

<b>Tableau II. 1.</b> Les module d'exécution de logiciel CST.....	7
---	---

## Liste des abbreviations

**PIFA:** Planar Inverted Folded Antenna.

**GSM:** Global System for Mobile Communications.

**DCS:** Digital Cellular System.

**PCS:** Personal Communications Services/System.

**UMTS:** Universal Mobile Telecommunication System.

**WIFI:** Wireless- Fidelity.

**GPRS:** General Packet Radio System.

**EDGE:** Enhanced Data Rates for Global Evolution.

**FIT:** Finite Integration Technique.

**FHSS:** Frequency Hopping Spread Spectrum.

**WLAN:** Wireless Local Area Network.

**IEEE:** Institute of Electrical and Electronics Engineers.

**DVB-T:** Digital Video Broad casting-Terres trial.

**PBA :** Perfect Boundary Approximation

## **Introduction générale**

La première génération de téléphonie mobile a fait son apparition dans les années soixante-dix. Les premiers appareils mobiles avaient un fonctionnement analogique, ils étaient volumineux et leur couverture territoriale était très limitée. Ce n'est qu'au début des années 1990 que la téléphonie mobile se démocratise avec la mise en place de la norme européenne GSM. Dès lors, la téléphonie mobile se voit comme un objet du quotidien qui a vu ses fonctionnalités croître au cours des dix dernières années. En effet, des services supplémentaires se sont développés et ont été intégrés au sein des téléphones mobiles tels que DCS, PCS, l'UMTS et WIFI.

Le principal objectif à atteindre est d'offrir de nouveaux services avec une meilleure qualité de service aux abonnés. De plus, la tendance du marché est d'offrir ces services par l'intermédiaire de terminaux mobiles de moins en moins volumineux et surtout toujours moins épais. La diminution de la taille de l'antenne et l'amélioration des performances de liaison deviennent alors des enjeux primordiaux.

La miniaturisation des dispositifs qui assure ces applications étant très bénéfique d'où la nécessité de réduire la taille des antennes actuelles.

Les besoins de ces services qui ne cessent de s'accroître ont imposé une implémentation de plusieurs fonctions sur un même dispositif d'où la notion des antennes multi-bande.

Ce mémoire est scindé en trois chapitres :

Dans le premier chapitre, nous allons discuter en général sur les antennes miniatures. Ensuite nous allons intéresser par la suite sur la présentation des antennes PIFA qui représentent un type spécifique des antennes miniatures et qui sont adéquates pour les diverses applications en communication sans fil.

Le deuxième chapitre sera réservé à la présentation du logiciel de simulation, il s'agit de CST Microwave Studio.

Le troisième chapitre sera consacré aux antennes mono-bande et multi-bandes qui assurent une capacité et un confort aux utilisateurs. Des recherches sont menées et couronnées par des différentes techniques assurant ce fonctionnement, qui font l'objet de notre étude.

L'influence des paramètres de la structure sur l'adaptation de l'antenne à son système d'alimentation en vue de la fréquence de résonance adéquate pour servir des applications prédéfinies, ont été démontré à travers la simulation. Cette dernière va être effectuée par le logiciel CST Microwave Studio.

Des études paramétriques nous ont permis d'établir l'influence de la languette sur le fonctionnement des antennes PIFA ce qui va faciliter la conception de ce type d'antenne.

Une référence bibliographique sera rajoutée à la fin de ce mémoire pour bien s'en servir le lecteur.

## **I. 1. Introduction**

Les téléphones sont de plus en plus indispensables dans notre vie quotidienne. Aujourd'hui ce ne sont plus de simples dispositifs de communication vocale. Leurs fonctionnalités deviennent nombreuses. Pour les plus évolués, ce sont de véritables substituts Miniatures d'ordinateurs grâce aux évolutions technologiques de la téléphonie mobile. Pour l'antenne, de nombreuses bandes opérationnelles sont couvrir en raison de l'évolution des standards de communication. Dans un système de communication, les antennes sont des composants à part entière nécessitant une étude particulière tout en cherchant à améliorer les performances d'une Antenne, on doit l'adapter aux applications les plus récentes. On assiste à un véritable phénomène de miniaturisation des systèmes qui touche également le secteur automobile, Face à la croissance des divers standards tels que le GSM, DCS les nouvelles antennes doivent être capable de couvrir le maximum des bandes de fréquences correspondant à ces différents services en un minimum d'encombrement.

Le marché de la téléphonie mobile s'est considérablement développé, avec une tendance qui est de réduire nettement la taille et le poids du terminal. Cette remarquable réduction a entraîné une évolution rapide des antennes pour ces téléphones. En concevant des antennes pour les téléphones mobiles, les caractéristiques suivantes doivent toujours être prises en compte la structure compacte, faible poids, robustesse et faible coût.

Il y a quelques années, la plupart des antennes utilisées pour les téléphones portables étaient des monopoles. Avec le développement de nouveaux standards et de contraintes de design, les fabricants de téléphone préfèrent aujourd'hui des antennes intégrées. Ainsi, celles qui répondent le plus à cette nouvelle exigence sont les éléments de type PIFA [1].

Le but de ce chapitre est de dresser un état de l'art de la conception d'antenne de téléphone mobile. L'évolution des standards de communication est d'abord présentée. Ensuite, les paramètres caractérisant les performances d'antenne sont définis, et les outils et méthodes de simulation et mesure de leurs principaux paramètres sont présentés. Enfin, nous nous concentrons sur la conception d'antennes miniatures multi- bande intégrées pour se conformer aux standards et à la tendance du marché [2].



## **I. 2. Les antennes miniatures**

### **I. 2. 1. Introduction**

De nos jours, les antennes peuvent être retrouvées dans des objets usuels de toutes sortes. Maintes applications qui s'étendent des télécommunications aux moyens de transport en passant par la médecine (Implant auditif par exemple) ont vu ou voient le jour.

Dans un contexte de généralisation des Systèmes de communication sans fil, le besoin de miniaturiser les antennes va en augmentant afin de permettre leur intégration sur de petits objets aux fréquences de résonance. A ces fréquences, l'antenne est le composant le plus volumineux et sa miniaturisation constitue un des défis actuels les plus importants des concepteurs d'objets communicant.

La multiplication des standards de communication renforcé également ces besoins d'intégration et de miniaturisation puisqu'aujourd'hui près d'une dizaine d'antennes peuvent être amenées à cohabiter sur un même terminal mobile. Nous allons définir en premier lieu ce qu'est une antenne miniature et présenterons ses caractéristiques, et en second lieu nous détaillerons les techniques de miniaturisation qui existe dans la littérature.

La miniaturisation d'une antenne s'apparente donc à un compromis entre ses dimensions et ses performances [3].

### **I. 2. 2. La définition d'une antenne miniature**

Par définition, une antenne électriquement petite est un élément rayonnant contenue dans une sphère de rayon inférieur à  $\frac{\lambda}{2\pi}$  cette valeur correspond à la distance de transition entre les champs proche ou l'énergie électromagnétique et stocke l'antenne et le champs lointain ou l'énergie électromagnétique est rayonnée .une antenne miniature n'est pas nécessairement une antenne électriquement petite .mis généralement définit comme ayant ,on considère que une « d'étroitesse » en termes de dimension inférieure au quart de la longueur d'onde[4].

### **I. 2. 3. Une antenne est dit miniature**

Une Antenne dont l'élément rayonnant est renfermé dans une sphère de rayon  $\frac{\lambda_0}{2}$  avec  $\lambda_0$  est la longueur d'onde fonctionnelle de cette antenne et vérifier les conditions suivant :

- Si ses dimensions sont le plus petite que le quart de la longueur d'onde opérationnel.
- Sa plus grande taille est inférieur au quart d'onde [5].

$$L_{max} < \frac{\lambda_0}{\pi}$$

Le facteur de qualité  $Q_r$  est lié à la bande passante et à l'efficacité.

$$\frac{1}{Q_r} = n \times \frac{\Delta f}{f}$$

Pour une antenne miniature omnidirectionnelle, on montre que le facteur de qualité  $Q_r$  admet une limite inférieure fonction de son diamètre :

$$Q_{r \min} = \frac{1}{2(ka)^3} + \frac{1}{ka}$$

Avec  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  le nombre d'onde.

$a$  : le rayon de la petite sphère contenant l'antenne

Lorsque la taille de l'antenne diminue, le produit  $n \times B_p$ .

Donc la miniaturisation de l'antenne est trouvée le meilleur compromis entre la taille, la bande passante, l'efficacité.

### **I. 3. Les techniques de miniaturisation**

Une antenne miniature peut être obtenue par diverses techniques, nous voyons que l'objectif de miniaturisation c'est la miniaturisation de la bande. Les techniques de miniaturisation utilisées par le concepteur d'antenne sont résumées dans le tableau suivant.

	La miniaturisation
<b>Modification de la forme de l'élément rayonnant :</b>	
-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 de courts –circuits verticaux entre l'élément rayonnant et le plan de masse	✓
<b>Ajout de résonateurs parasites :</b>	
-juxtaposés	
-juxtaposés avec ajout de courts –circuits	✓
-superposés	
-superposés avec ajout de courts –circuits	✓
<b>Insertion de fentes dans l'élément rayonnant pour :</b>	
-la création de nouvelles résonances	✓
-l'allongement des longueurs électriques	✓
- la création de nouveaux résonateurs	✓
<b>Insertion d'une charge capacitive insérée</b>	
-En bout d'élément	✓
-Dans l'élément	✓
<b>Utilisation des charge capacitif et ou inductif réalisé par des composante localisés.</b>	✓

**Tableau I.1 :** Les techniques de la miniaturisation [6].

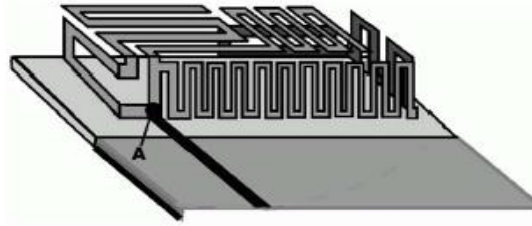
### I. 3. 1. Modification de l'élément rayonnant

En peut trouve en forme de triangles, méandres soit latéraux ou verticaux.



**Figure I. 1 :** Les méandres latéraux [14].

La réalisation des méandres latéraux et verticaux.

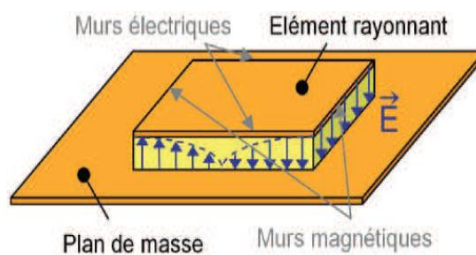


**Figure I. 2 :** Les méandres latéraux et verticaux [6].

### I. 2. 2. Ajoutant de court-circuit

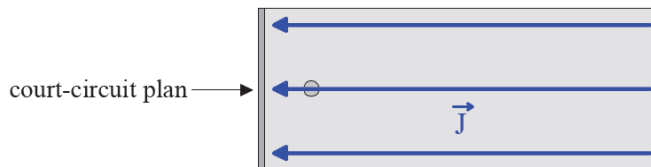
Une des méthodes les plus utilisées dans le domaine des antennes imprimées consiste à introduire un ou plusieurs courts-circuits entre l'élément rayonnant et le plan de masse. En observant la distribution du champ électrique du premier mode résonant ou mode Fondamental  $TM_{100}$ , dans la cavité virtuellement délimitée par des murs électriques et magnétiques, on constate que le champ électrique s'annule au milieu de la longueur résonante.

Cela signifie qu'en positionnant un mur électrique parfait dans ce plan vertical, la distribution des lignes équipotentielles ne sont nullement affectées. Ainsi, les dimensions de la structure peuvent être réduites de moitié tout en conservant la même fréquence de résonance [6].



**Figure I. 3 :** Cartographie du champ E dans la cavité d'une antenne micro ruban [6].

Les type de court- circuit soit de type filaire, plain ou langette ils sont utilisé pour réduire les dimontion de l'antenne .alours que les antennes utilisé en téléphone mobile son de plus en plus amener à être multistandard, le principe inconvénient des court circuits est malheureusement d'éliminer certaine mode de cavité [7].



**Figure I. 4 :** un court-circuit plan [7].

L'ajoute d'un court-circuit entraîne l'addition d'une inductance, dont la valeur est directement liée aux dimensions de celui-ci. L'inductance différente créée par chaque type de court-circuit et la position de celui-ci par rapport à l'alimentation permet de contrôler à la fois l'impédance d'entrée de l'antenne et sa fréquence de résonance.

Au niveau de rayonnement, les antennes possédant des court-circuits présentent une sensibilité aussi bien à la polarisation verticale et la polarisation horizontale car elles sont composées d'éléments (le pavé et les court-circuits) rayonnant suivant les deux types de polarisation coexistants milieu urbain [8].

Les principales applications de l'insertion de court-circuits sont les antennes PIFA et les antennes fils plaques. Les premières présentent un rayonnement quasi-omnidirectionnel avec un niveau assez élevé de polarisation croisée, les deuxièmes, présentent un diagramme de rayonnement de type dipolaire à symétrie de révolution (champ rayonné à grande distance nul dans l'axe d'antenne) [9].

### **I. 3. 3. Les types de court-circuit**

Il est possible de court-circuiter l'antenne en son centre avec un mur métallique vertical qui le relie au plan de masse. Il en résulte une antenne ayant une  $\lambda_g/4$  dite antenne quart d'onde (réduction de dimension de 50 %). Elle porte le nom de Planar Inverted-F Antenna ou PIFA.

### I. 3. 2. 1. 1. Court-circuit plan

Sa largeur est égale à la largeur de l'élément rayonnant.

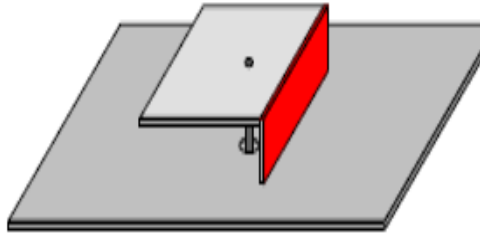


Figure I. 5 : Un court-circuit plan [11].

### I. 3. 2. 1. 2. Court-circuit languette

Sa largeur est inférieure à sa longueur de l'élément rayonnant.

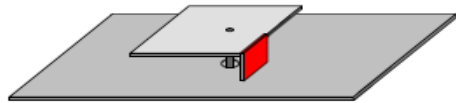


Figure I. 6 : Un court circuit de type languette [11].

### I. 3. 3. L'insertion des fenêtres dans l'élément rayonnant

L'une des techniques mises en œuvre pour allonger le chemin électrique des courants est l'introduction de fentes dans la structure rayonnante. Le principe utilisé est non seulement de forcer les courants à contourner les fentes inscrites et donc allonger leur trajet.

#### I. 3. 3. 1. Fente demi-onde (non débouchantes)

La fréquence de résonance d'une telle fente est donnée par :

$$f_r = \frac{c}{2l}$$

Avec :

- C : la vitesse de la lumière .
- L : la longueur de fente .



**Figure I. 6 :** Fente demi –onde (non débouchantes) [11].

### I. 3. 3. 2. Fente quart d’onde (débouchantes)

La fréquence de résonance d’une telle fente est donnée par :

$$fr = \frac{c}{2l}$$

Avec :

- C : la vitesse de la lumière
- L :la longueur de fente



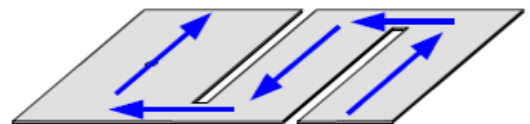
**Figure I. 8 :** Fente demi–onde (débouchantes) [11].

### I. 3. 4. Allongement des longueurs électriques

L’allongement des longueurs est fait grâce à la fente débouchant ou non débouchant.



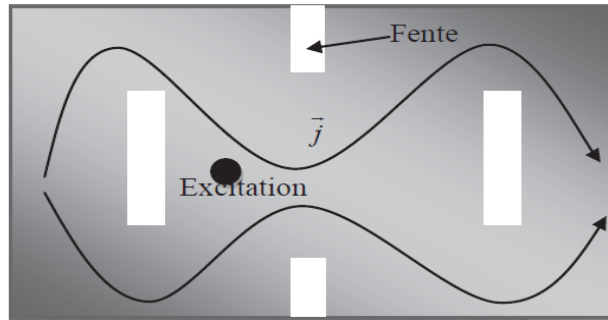
Non débouchantes



débouchantes

**Figure I. 9 :** Allongement des longueurs électriques par fentes débouchant ou non Débouchantes [11].

Il existe aussi des fentes pliées en forme : U, en H, en papillon mais aussi de forme Curviligne.

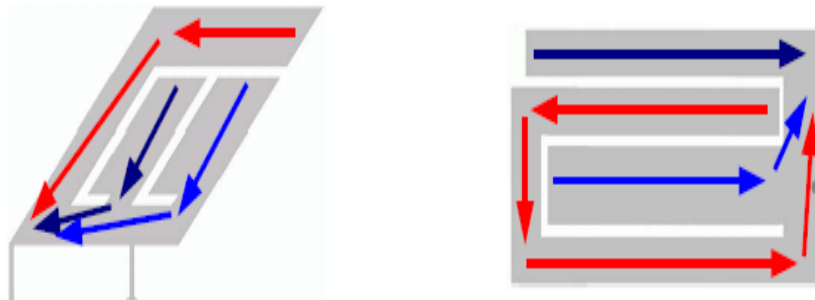


**Figure I. 10** : Allongement du trajet des courants par ajout de fentes [12].

### I. 3. 5. Création de nouveau résonateur

La découpe des fentes dans certaines parties d'un élément rayonnant peut émettre l'émergence de nouveau résonateur nous pouvant par exemple citer l'utilisation des fentes débouchantes ou non débouchantes de la forme quelconque. Grâce a cette procède et aux effets capacitifs crée, des antennes a la fois miniature. Dans certaine structures la découpe de l'élément rayonnant peut créer un nouveau résonateur .et voila par exemple sur cette figure(I.11) :

#### Emergence de nouveau résonateurs



**Figure I.11** : Antenne PIFA avec fentes [14].

### I. 3. 6. L'utilisation de chargement capacitif

Une technique la plus utilisé dans la miniaturisation des antennes et le chargement capacitif inséré ou bout de l'élément rayonnant .différents configurations sont présentées sur la figure (I.12).



### I. 3. 6. 1. Insérés en bout l'élément

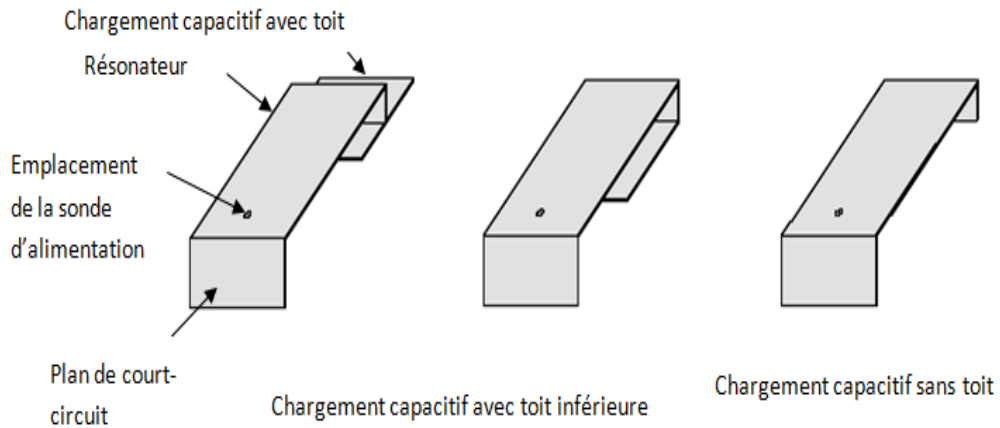


Figure I. 12 : Les types des charges capacitives en bout d'élément [13].

### I. 3. 6. 2. Insérés dans l'élément

Une n'autre technique de chargement capacitif consiste a insérer la capacité dans l'élément rayonnant.

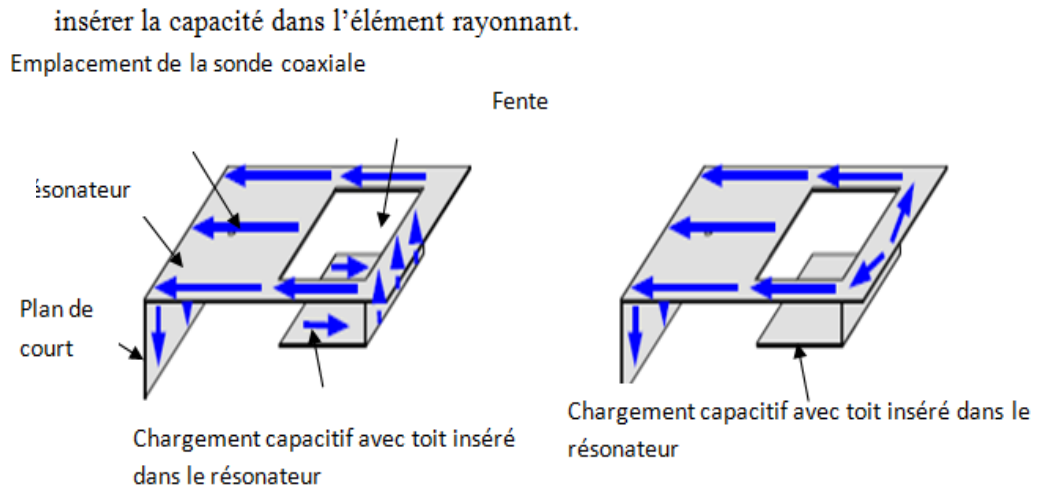


Figure I. 13 : les types des charges capacitives dans l'élément [13].

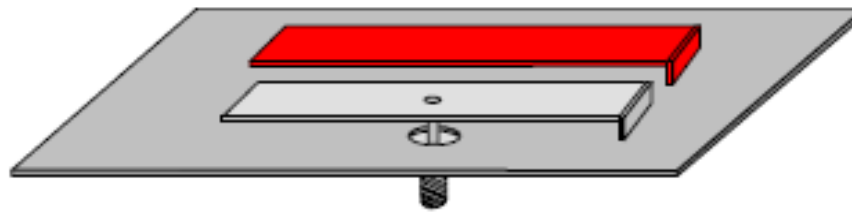
Le principale inconvénient de l'utilisation de ces chargements capacitifs est une augmentation de facteur de la qualité de l'antenne, les que séquencés sur le fonctionnement de celle -ci se traduisant par une adaptation délicats, une réduction de la bande passante et une diminution de son efficacité de rayonnement.

### I. 3. 7. La juxtaposition

Une technique permet de d'obtenir un fonctionnement multi-bande est de réaliser une antenne constituée de plusieurs résonateurs.

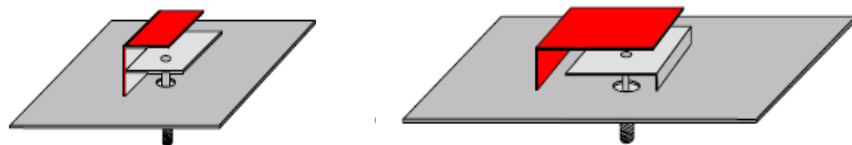
L'association de plusieurs éléments rayonnants peut se faire de deux façons différentes :

- Les pavés sont juxtaposés dans les mêmes plans.
- ils sont empilés les uns sur les autres (superposés).



**Figure I. 14 :** Résonateur parasite juxtaposé [14].

Ajoutant des résonateurs parasites



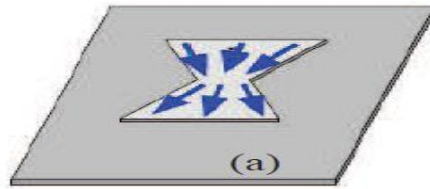
**Figure I. 15 :** Résonateur parasite superposé [14].

### I. 3. 8. Repliements

Par cette technique, on modifie la forme de l'élément rayonnant ou bien on le replie sur lui-même. Cette opération conduit naturellement à un élément qui occupe physiquement moins d'espace qu'une structure non repliée.

-En forme de nœud-papillon :

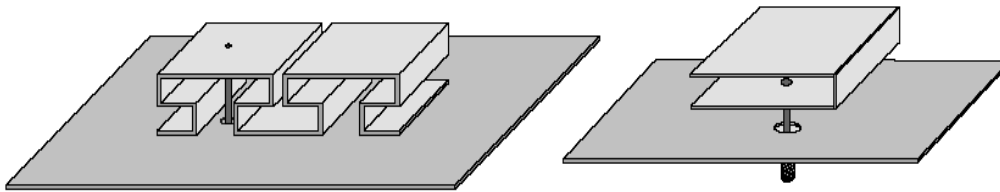
Cette technique concerne une modification de la forme de l'élément rayonnant, le principe de base de cette technique est l'allongement des trajets en courant à la surface du pavé afin de diminuer les fréquences de résonance du mode fondamentale et des modes supérieures. De cet élément, ainsi qu'une modification de la forme de l'élément rayonnant faisant appel à ce seul principe est l'obtention d'antennes en forme de nœud papillon [15].



**Figure I. 16 :** (a) : Illustration d'une antenne repliée [15].

### **I. 3. 8. 1. Repliement des éléments rayonnants**

La Figure (I.16) montre un exemple de repliement vertical, Il arrive que certaines réalisations conduisent à la concentration des courants électriques dans des zones où l'élément rayonnant comporte des métallisations de faible largeur.



**Figure I. 17 :** repliement vertical [14].

La principale contrepartie de ce type d'opération réside dans l'augmentation des pertes ohmiques qui engendre alors une diminution de l'efficacité et du gain [15].

### **I. 4. Les caractéristiques d'une antenne miniature**

Les antennes miniatures ont cependant la particularité de présenter des performances très médiocres qui se dégradent en même temps que leurs démontions se réduisant, en fait la réduction de la taille d'une antenne se traduit généralement par une adaptation délicate une réduction de la taille d'une antenne se traduit généralement par une adaptation délicate une réduction importante de la bande passante et d'une diminution de son efficacité en rayonnement.

L'explication physique de ce phénomène est que la réduction des démontions du dispositif rayonnant entraîne une augmentation de champs électromagnétique au voisinage de la structure, les phynomaine de résonance qui synproduisant présentent alors un fort coefficient de qualité qui rend délicat l'adaptation de l'aérien et interdit l'obtention de multi-bande de fonctionnement.

L'intégration de l'antenne dans les terminales de téléphone mobile la rend sensible aux des éléments constituant son environnement proche, les matériaux métallique et d'électrique et les éléments corporels de l'utilisateur de manière générale.

Les éléments métalliques tels que la batterie vont d'une part participer au rayonnement global de l'antenne et d'autre part créer des effets capacitifs susceptibles de perturber son impédance d'entrée [16].

#### I. 4. 1. Les éléments d'électrique

Les éléments d'électrique tel que le boîtier plastique constituant le terminale portatif et recouvrant complètement l'antenne, ou tels que les éléments corporels de l'utilisateur le rendement de l'antenne en sera réduit et les conséquences sur son impédance d'entrée seront de même type que précédemment [16].

#### I. 4. 2. L'intégration d'une antenne

Dans un boîtier de terminale mobile la réduction des démontions globale de la structure rayonnant s'accompagne obligatoirement d'une diminution de la taille de plan de masse.

#### I. 4. 3. Utilisation d'un plan de masse

Réduit dans les applications en téléphone mobile parente tous les avantages, la réduction des démontions de plan de masse vis-à-vis de la longueur d'onde rendre le diagramme de rayonnement de la structure omnidirectionnel.

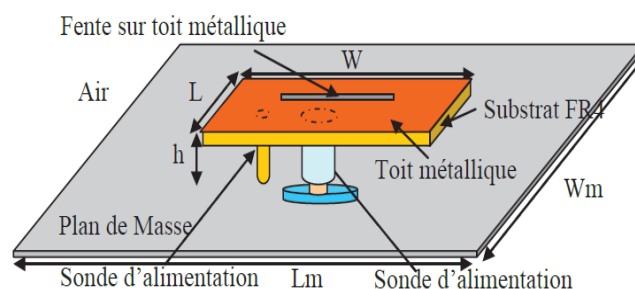
Les performances d'une antenne en termes de la bande passante sont largement définies par le fonctionnement combiné de l'antenne et de plan de masse et aussi la longueur de ce plan.

#### I. 4. 4. L'antenne doit présenter une sensibilité

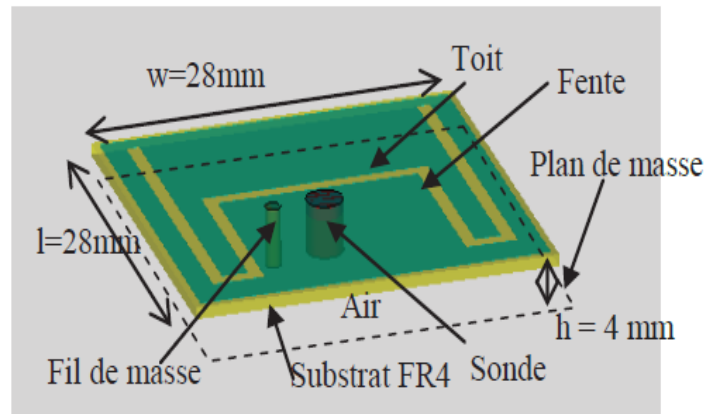
Aussi bien a la polarisation verticale et horizontale des ondes électromagnétiques ces deux type de polarisation devant toujours pris en conte dans le bilan de puissance.

#### I. 5. Exemple sur les antennes miniatures

Le système de télécommunication sans fil est appliqué largement les antennes miniature par exemple : les antennes quart d'onde court circuits baptisé antenne PIFA présentés par les figures ci dessous.



**Figure I. 18 :** Géométrie de l'antenne fil-plaque à fente [15].



**Figure I. 19 :** Toit de l'antenne fil plaque à fente [15].

## **I. 6. Les antennes PIFA (Planar Inverted F Antenna)**

### **I. 6. 1. Introduction**

Les communications mobiles et les communications sans fil constituaient actuellement les deux domaines les plus porteurs du secteur des télécommunications. Ce domaine connaît un essor considérable, aussi bien dans le nombre des services offerts que dans le nombre des systèmes proposés. Il permet à un large public d'accéder aux nouvelles technologies.

IL est raisonnable de prévoir une future condition d'une antenne simple couvrant les différentes bandes des normes pour des communications cellulaires globales dans la plupart des recherches sur l'antenne PIFA.

### **I. 6. 2. Définition des antennes PIFA**

L'antenne quart d'onde présente des dimensions réduites par rapport à l'antenne demi-onde. La diminution de la taille est réalisée par un court-circuit placé le long de la ligne ou le champ électrique entre le pavé rayonnant et le plan de masse est nul pour le mode fondamental de l'antenne imprimée.

L'antenne PIFA est obtenue par une réduction de la largeur du court-circuit plan de l'antenne quart d'onde. Cette antenne présente donc des dimensions inférieures à celles de l'antenne quart d'onde. La largeur du pavé rayonnant permet d'ajuster la fréquence de résonance ainsi que la forme du diagramme de rayonnement.

Dans les applications telles que les systèmes mobiles, le plan de masse de ce type d'antenne est considérablement réduit ce qui pour effet de rendre le diagramme de rayonnement plus omnidirectionnel [16].

### I. 6. 3. La configuration typique d'antenne pifa

L'antenne quart d'onde présente des dimensions réduites par rapport à l'antenne demi-onde. La diminution de la taille est réalisée par un court-circuit placé le long de la ligne ou le champ électrique entre le pavé rayonnant et le plan de masse est nul pour le mode fondamental de l'antenne imprimée.

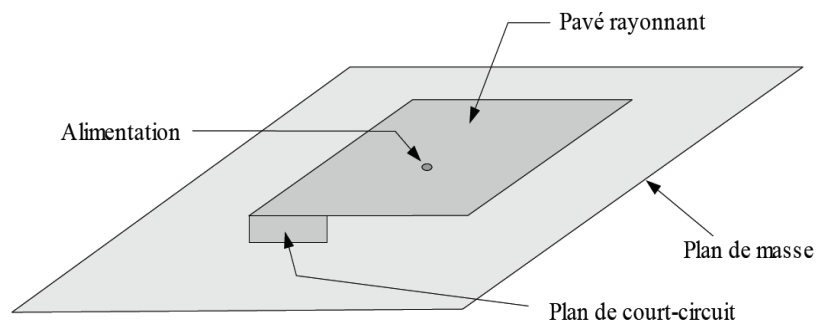
L'antenne PIFA est obtenue par une réduction de la largeur du court-circuit plan de l'antenne quart d'onde. Cette antenne présente donc des dimensions inférieures à celles de l'antenne quart d'onde. La largeur du pavé rayonnant permet d'ajuster la fréquence de résonance ainsi que la forme du diagramme de rayonnement.

Dans les applications telles que les systèmes mobiles, le plan de masse de ce type d'antenne est considérablement réduit ce qui pour effet de rendre le diagramme de Rayonnement plus omnidirectionnel [16].

### I. 6. 4. Les variations de conception pour cette antenne

Les variations de conception pour l'antenne pifa sont : la taille, la longueur, la longueur du plat supérieur, la longueur et l'endroit du plat de court-circuit, la position de fil d'alimentation.

Le plan de court-circuit des types habituels de PIFA est une bonne méthode pour réduire la taille d'antenne, mais à comme conséquence une réduction de la largeur de bande d'impédance.



**Figure I. 20 :** Configuration de l'antenne PIFA (pavé rayonnant suspendu dans l'air) [14].

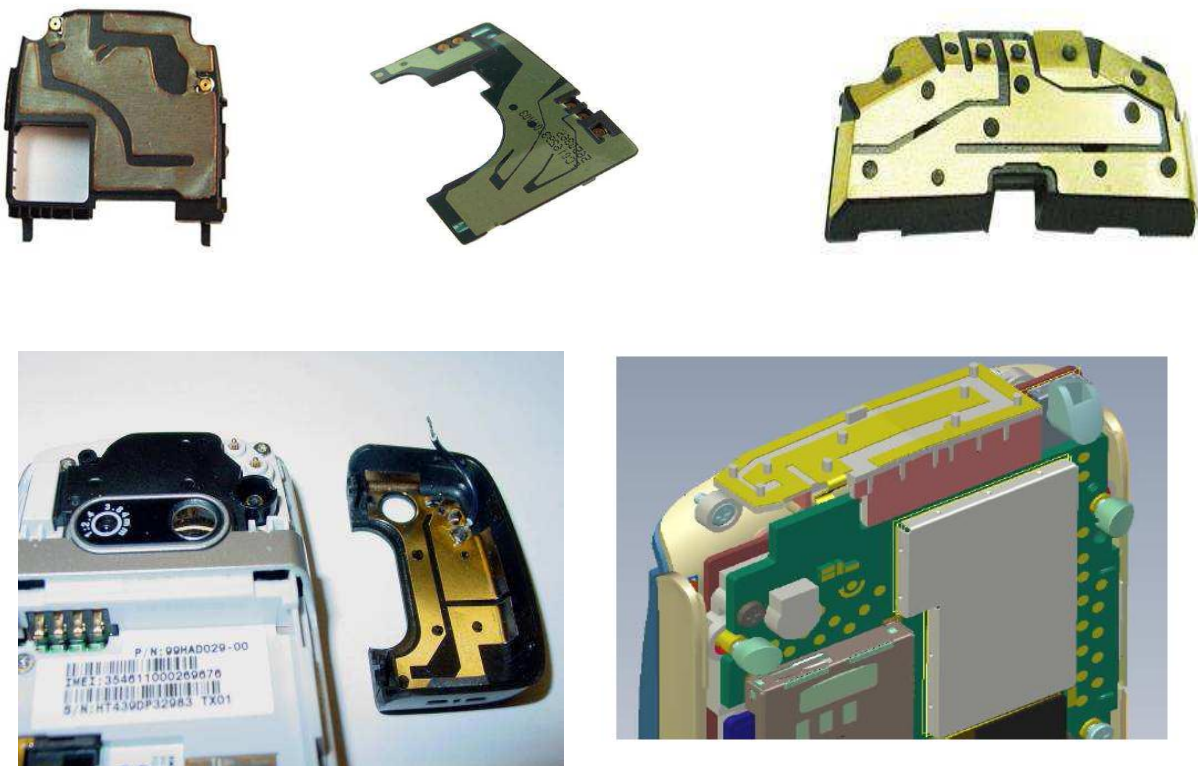
Les antennes PIFA sont constituées d'un Plan de masse, Plan de court-circuit, Pavé rayonnant et l'alimentation.

Dans les applications telles que les systèmes mobiles, le plan de masse de ce type d'antenne est considérablement réduit, ce qui pour effet de rendre le diagramme de rayonnement plus omnidirectionnel.

L'antenne PIFA est sensible aux polarisations horizontale et verticale, ce qui peut être exploité avantageusement dans un récepteur portable, notamment en milieu urbain, où le couplage en polarisation croisée est important. En pratique, la bande passante d'une antenne PIFA montée sur un récepteur portable est plus large que celle de la même antenne sur un plan de masse et un substrat plus étendu.

### **I. 6. 5. Des exemples d'antennes PIFA présentés dans des téléphones portables**

Une antenne miniature pouvant être intégrée à un terminal de téléphonie mobile et couvrant les normes GSM, DCS, PCS et UMTS est présentée. Cette antenne quart-d'onde combine plusieurs techniques, à savoir l'utilisation de fentes, d'éléments parasites, court-circuités et de chargements capacitifs .



**Figure I. 21** : Exemples d'antennes PIFA présentés dans des téléphones portables [14].

Les antennes PIFA à évaluer graduellement à partir de deux antenne **ILA** et **IFA** qui comportent certaine limitation dans leur rayonnement.

### I. 6. 6. Les antennes ILA (antenne L inverse)

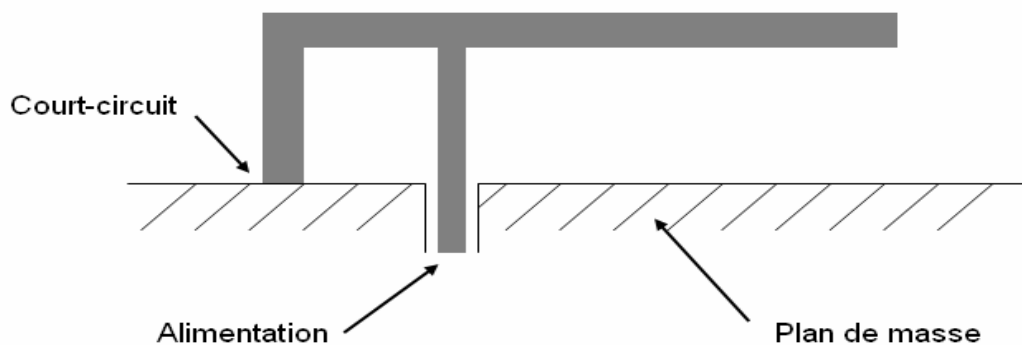
Se compose d'un monopole vertical court avec l'addition d'un long bras horizontale au dessus .l'impudence d'autre est presque équivalant a celle de monopole court avec l'addition de la résonance provoqué par le fil horizontale place au dessus de plans de masse.

La structure ILA est généralement modifier en ajoutant un n'autre élément de inversé à l'extrémité du segment verticale pour la forme de l'antenne IFA.

L'antenne PIFA possède une variante planaire appelée IFA pour Inverted F Antenna réalisable Sur circuit imprimé .

Le principe reste le même que pour la PIFA mais en deux dimensions. Il y a un brin rayonnant alimenté auquel on applique une condition de court circuit à l'une de ces Extrémité.

L'antenne PIFA (Planar d'Inverted F Antenna) apparaît comme un bon compromis entre l'antenne imprimée quart d'onde et l'antenne IFA.



**Figure I. 22 :** Structure d'une antenne IFA [1].

L'adition supplémentaire de l'élément l'inverse derrière l'alimentation accorde l'impédance d'entrée de l'antenne, un incovinion d'une antenne IFA construit a partir de fils menaces est la longueur de la bande d'impédance la plus faible.IFA est un élément simple qui a une largeur de bande d'impédance moine de 2% de la fréquence de résonance.

### I. 6. 7. Les types des antennes PIFA

Il existe deux types des antennes PIFA sont

#### I. 6. 7. 1. Les antennes PIFA Multi -Bande

C'est une antenne qui fonctionne dans deux ou plusieurs bandes de fréquence, qui se traduit par une adaptation de l'antenne pour toutes les fréquences. Cette adaptation est définit par le coefficient de réflexion ou un taux de réflexion stationnaire à l'entrée de l'antenne



inferieur à une valeur fixée. Leur intérêt c'est l'utilisation des éléments rayonnants indépendants pour chaque bande.

### **I. 6. 7. 1. 1. Avantages et inconvénients**

Les avantages ainsi que les inconvénients de l'utilisation du concept d'antennes PIFA avec les techniques d'obtention du comportement multi-bande pour l'obtention d'antennes multi-bandes sont donnés dans le tableau(I.2).

<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>-forte sélectivité.</li> <li>-Porte de traitement simplifier.</li> <li>-Profils simples.</li> <li>-Miniature (compacte).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Manque de règle de conception ou dimensionnement pour l'aspect multi bande.</li> <li>-Faible bandes passantes.</li> <li>-Fabrication relativement difficile et coûteuse.</li> <li>-Polarisation des ondes et rayonnement difficilement maitrisables.</li> <li>-faible maitrise des rapports de fréquence de fonctionnement.</li> <li>-nombre de bande à couvrir limité.</li> <li>-plus sensible aux erreurs de fabrication.</li> </ul>

**Tableau I.2:** Points forts et faibles des antennes de type PIFA.

### **I. 6. 7. 2. Les antennes PIFA bi –bande**

C'est une antenne qui assure un bon fonctionnement au coin de plan de masse. Elles sont mise en œuvre dans le but de satisfaire l'utilisateur qui demande une combinaison d'application sur le même appareil [2].

### **I. 6. 7. 3. Avantages et inconvénients**

Les avantages ainsi que les inconvénients de l'utilisation du concept d'antennes PIFA avec les techniques d'obtention du comportement large bande sont données dans le tableau I.3:

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Conception relativement facile</li> <li>-Moins sensible aux erreurs de fabrication</li> <li>-L'antenne peut être également utilisée pour d'autres applications contenues dans la bi-bande</li> <li>-Couverte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Adaptation d'impédance souvent délicate dans toute la largeur de la bande</li> <li>-Post traitement nécessaire pour séparer les bandes</li> <li>-Bi- bande limitée</li> <li>-Faible directivité</li> </ul>

**Tableau I. 3 :** Points forts et faibles des antennes de type PIFA bi -bande.

## **I. 7. Caractéristiques radioélectriques d'antenne PIFA**

### **I. 7. 1. Distribution de champ électrique**

La composante dominante du champ électrique  $E_z$  est égale à zéro au plat de court-circuit tandis que l'intensité de ce champ au bord opposé de l'élément planaire est sensiblement grande.

Pour les champs  $E_x$  et  $E_y$  l'élément pointue, qui correspond à la source d'alimentation. Signifie que la ligne électrique de la force est dirigée de la source d'alimentation vers le plan de masse.

Quand la largeur du plat de court-circuit est plus étroite que l'élément planaire, le début de champ électrique  $E_x$  et  $E_y$  se produisant à tous les bords de l'élément planaire.

Ces champs marginaux sont les sources de rayonnement dans PIFA.

### **I. 7. 2. Distribution du courant**

PIFA a des écoulements de courant très grands sur la face inférieure de l'élément planaire et du plan de masse comparés au champ sur la surface supérieur de l'élément. EN raison de ce comportement, PIFA est le meilleur candidat quand on parle de l'influence des objets externes qui affectent les Caractéristiques d'antenne.

La distribution de courant de PIFA change pour les différentes largeurs des plat de court-circuit .la distribution de courant est maximal près du fil de court-circuit et diminue loin de lui [40].

### **I. 7. 3. L'effet des paramètres de substrat**

La largeur de bande d'impédance de PIFA est inversement proportionnelle au facteur de qualité Q qui est défini pour un résonateur par :

$$Q = \frac{\text{Energie stockée}}{\text{puissance perdue}}$$

Le substrat avec la constante diélectrique  $\epsilon_r$  élevée tendent à stocker plus d'énergie que le rayonnement.C'est équivalent en modélisant le PIFA comme condensateur avec  $\epsilon_r$  élevé.de ce fait la valeur de Q augmente et la largeur de bande diminue.de même quand l'épaisseur de substrat est augmentée, la capacité diminue l'énergie stockée dans le PIFA et également le facteur de Q.ce qui augment la largeur de bande.

En résumé, l'augmentation de la taille et la diminution de  $\epsilon_r$  peuvent être employées pour augmenter la largeur de bande de PIFA.

### **I. 8. Les performances de l'antenne PIFA**

Elles sont exprimées en fonction des paramètres suivants , La forme géométrique du plateau rayonnant l et w, la hauteur du plateau rayonnant H, l'enlacement et la structure du système d'alimentation, l'enlacement et la taille du plan de court circuit (w) ,H le matériau utilisé comme support pour l'élément rayonnant et introduire des charges passives (R, L, C).

### **I. 9. L'influence des paramètres géométrique de l'antenne PIFA**

L'influence des paramètres géométriques sur les performances de l'antenne PIFA est primordiale afin de l'optimiser pour une application .donc ils s'intéressent essentiellement aux effets de la géométrie de l'antenne sur la bande passante et sur la fréquence de résonance, le diagramme de rayonnement, l'impédance d'entrée et le gain et la taille :

Plus la hauteur H est plus élève et plus la bande passante n'est large pour une fréquence De résonance plus faible.

Plus le rapport  $(w/W) < 1$  est élevé, plus la fréquence de résonance est élevée pour une bande passant plus large.

Plus le rapport  $w/L$  est grande et plus fréquence de résonance est faible avec une bande passante plus large.

L'enlacement des points d'alimentation, des fils du court circuit ainsi que la largeur de plan de court circuit contrôlant les caractéristiques de rayonnement et de polarisation [21].

## I. 10. L'influence de plan de masse sur l'antenne

La forme, la taille et les caractéristiques de plan de la masse se sont des facteurs très importants qui influent sur les performances de l'antenne.

### I. 10. 1. La forme

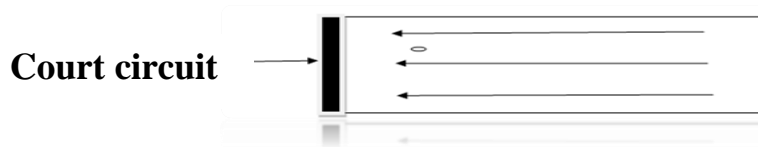
La forme du plan de masse où est installé une antenne pifa doit être prise en compte. Étant utilisée dans le système sans fils, une antenne pifa peut avoir des formes courbées ce qui affecte considérablement l'impédance d'entrée et le rayonnement.

### I. 10. 2. La taille

La taille de plan de masse a une grande influence sur la fréquence de résonance et sur le diagramme de rayonnement notamment pour une antenne pifa implémentée dans des appareils portables tels que les combinés et les assistants numériques personnels où le plan de masse est inférieur ou comparable à la longueur d'onde.

### I. 10. 3. L'influence du plan de court-circuit

Au niveau de rayonnement, les antennes possédant des court-circuits présentant une sensibilité aussi bien à la polarisation verticale et la polarisation horizontale car celle sont composées d'élément (le pavé et les court-circuits) rayonnant suivant les deux types de polarisation coexistant milieu urbain.



**Figure I. 23 :** trajet de courants surfaciques d'une pifa avec un plan de court circuit [3].

### I.10.3.1. Le plan de court -circuit

Lorsque la longueur du plan de court circuit est égale à la largeur du résonateur, le trajet des courants à surface de l'élément rayonnant s'effectue de façon rectiligne et donc, la fréquence de résonance fondamentale d'une telle antenne c'est :

$$f_r = \frac{c}{4(h + l)}$$

Avec :

- $f_r$  : la fréquence approximée de fonctionnement de l'antenne
- $C$  : la vitesse de la lumière en espace libre
- $l$  : la longueur de l'antenne
- $h$  : la hauteur de l'antenne.

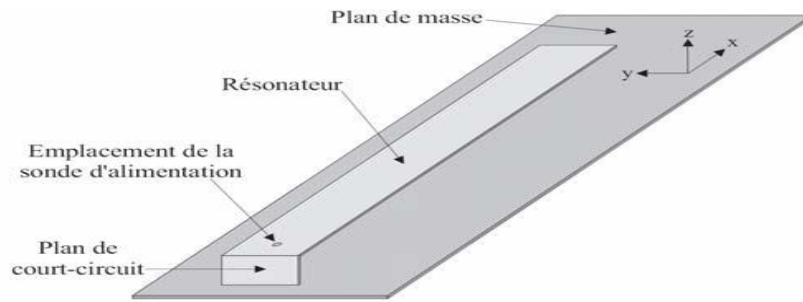
Si le plans de court circuit est placé dans le coin du résonateur et sa largeur tend vers zéro les trajets des courant sont incurvés et légèrement plus longs que dans le cas précédent. Dans ce cas la fréquence de résonance d'une antenne est donne est donne par :

$$f_r = \frac{c}{4(h + w + l)}$$

- $f_r$  : la fréquence approximée de fonctionnement de l'antenne
- $c$  : la vitesse de la lumière en espace libre
- $l$  : la longueur de l'antenne
- $h$  : la hauteur de l'antenne
- $w$  : la fréquence de résonateur.

## I. 11. Géométrie d'une antenne PIFA élémentaire pour le GSM et le DCS

Pour rendre ce type d'antenne multistandard et ainsi répondre aux nouvelles exigences de la téléphonie mobile, plusieurs techniques ont été mises au point en ajoutant un court -circuit entre l'addition d'une inductance, dont la valeur est directement liée aux dimensions de celui-ci.



**Figure I. 24 :** Antenne PIFA élément [3].

Pour que une antenne PIFA ait un fonctionnement multi bande, plusieurs techniques peuvent être utilisées à savoir la modification de l'élément rayonnant (en forme de triangles), Ajoutant de courts-circuits, Ajoutant des résonateurs parasites, L'insertion de fenêtres dans l'élément rayonnant, L'utilisation de chargement capacitif, Utilisation d'une inductifs soit Localisés ou répartis et La juxtaposition.

## I. 12. L'évolution des standards de communication

L'évolution des standards de communication (GSM, GPRS, EDGE, ETACS) est leur caractéristiques sont résumé dans le tableau suivant :

Génération	Norme européenne	Caractéristiques
1G	ETACS	Analogique. premier téléphone sans fil, voix unique
2G	GSM	Permet le transfère de voix ou de données numérique de faible volume
2.5G	GPRS	Permet le transfère de voix ou de données numérique de volume modéré
2.75G	EDGE	Permet le transfère simulation de voix et de données numérique

**Tableau I. 4 :** résumé de l'évolution des standards de communication.

### **I. 13. Les effets des composants sur les caractéristiques de l'antenne**

Les effets des composants sur les caractéristiques de l'antenne basée sur l'influence de la hauteur, l'influence de la longueur de la sonde coaxiale, l'influence de plan de court circuit et l'influence de la fente.

### **I. 14. Conception d'une antenne PIFA bi –bande**

Les antennes pifa ont prouvé leurs fiabilité dans la téléphonie mobile, elles sont adéquate aussi bien pour les applications mono- bande que multi bande.

Afin d'avoir un fonctionnement bi bande dans les antennes pifa, les techniques qu'on vient de citer sont applicable.

Pour réaliser un fonctionnement bi –bande une méthode simple serait d'associer deux antenne PIFA ensemble .cette technique reste limitée car elle présente un cout élève un espace plus important et une complexité.

Une autre technique qui assure le fonctionnement bi bande est l'insertion des fenêtres au niveau des résonances et permettre un fonctionnement a deux fréquence a partir d'une seule antenne si les deux fréquences de résonance sont très proche on obtient un fonctionnement bi –bande.

La figure I. 8 représente les antennes PIFA les plus utilisées en bi –bande de il existe deux grande conception, la première utilise deux élément rayonnant pour générer deux fréquence opérationnelle et la seconde utilise les deux premières fréquences de résonance avec un seul élément rayonnant avec fente au sans.

Dans le premier cas, les technique de conception utilisent des plateaux avec un l inséré, ayant une fente de forme l plié ou une fenêtre de forme u.

On peut également insérer une inductance et un condensateur (L C) ,une inductance de chargement pour séparer l'élément rayonnant principal a deux sous résonateur de différentes tailles qui fournissent deux élément rayonnant principal a deux sous résonateur d'onde différent pour attendre les application particulière ,le principale soucis est de régler l'antenne sur deux fréquence de résonance .

La première fréquence obtenue dans le cas ou on a une fente est du au mode fondamentale de l'antenne l'autre provient du courant circulaire sur les borde de la fente ce qui présente une autre résonance.

## I. 15. Différent domaines d'applications

La téléphonie mobile est actuellement fortement demandeuse de solutions en ce qui concerne les antennes PIFA qui ont attiré l'attention sur tout qu'on peut leur attribuer quelques modifications afin d'avoir des antennes multi bande ; se sont très convenable dans les systèmes de communication sans fil tels que : GSM (900MHZ), DCS (1800MHZ).

Les conférences mondiales des radiocommunications ont désigné au plan mondial les bandes de fréquence pour GSM 900, DCS 1800, PCS 1900 et UMTS [44].

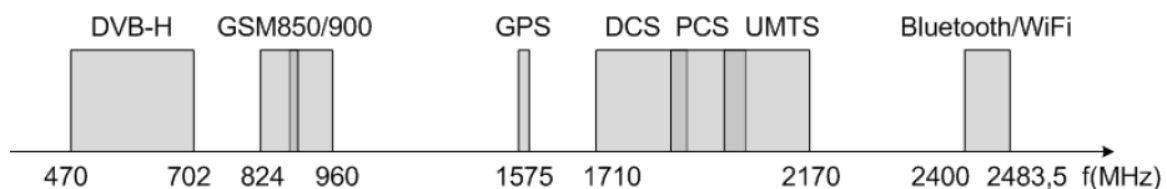
Il y a trois catégories d'opérateurs qui pourront exister après l'attribution des Autorisations UMTS :

- les opérateurs avec une autorisation GSM (GSM 900 et/ou DCS 1800) et UMTS
- les opérateurs avec une autorisation GSM uniquement
- les opérateurs avec une autorisation UMTS uniquement

La Bandes de fréquence de transmission et de réception des différentes normes sont résumé dans le suivant :

	GSM 900	DCS	PCS	UMTS	
Bande Tx (MHz)	880-915	1710-1785	1850-1910	1920-1980	1900-1920
Bande Rx (MHz)	925-960	1805-1880	1930-1990	2110-2170	2010-2025

**Tableau I. 5 :** Bandes de fréquence de transmission et de réception des différentes normes.



**Figure I. 25 :** les bandes de fréquences allouées pour les téléphones mobiles.

Le réseau sans fil est une technologie qui occupe une bande passante qui s'étale de 4 GHz à 6 GHz. La majorité de ces applications font parties de la troisième génération.



### **I. 15. 1. GSM**

Le GSM est une base sur une norme élaborée en 1982, il appartient à la seconde génération de la téléphonie mobile et leur fonctionnement en deux bandes, la bande de fréquence autour de 900MHz et 1800 MHz appelé DCS.

### **I. 15. 2. UMTS**

L'UMTS est un système cellulaire de la troisième génération qui a été conçue pour une transmission simultanée de la voix et des données avec des débits beaucoup plus importants que ceux des générations précédant allant à 384 kbit/s pour un utilisateur mobile et de 2 Mbit/s pour un utilisateur fixe. La bande de fréquence allouée à L'UMTS est différente à celle du GSM, s'étalant de 1900MHz à 2200MHz.

### **I. 15. 3. GPRS**

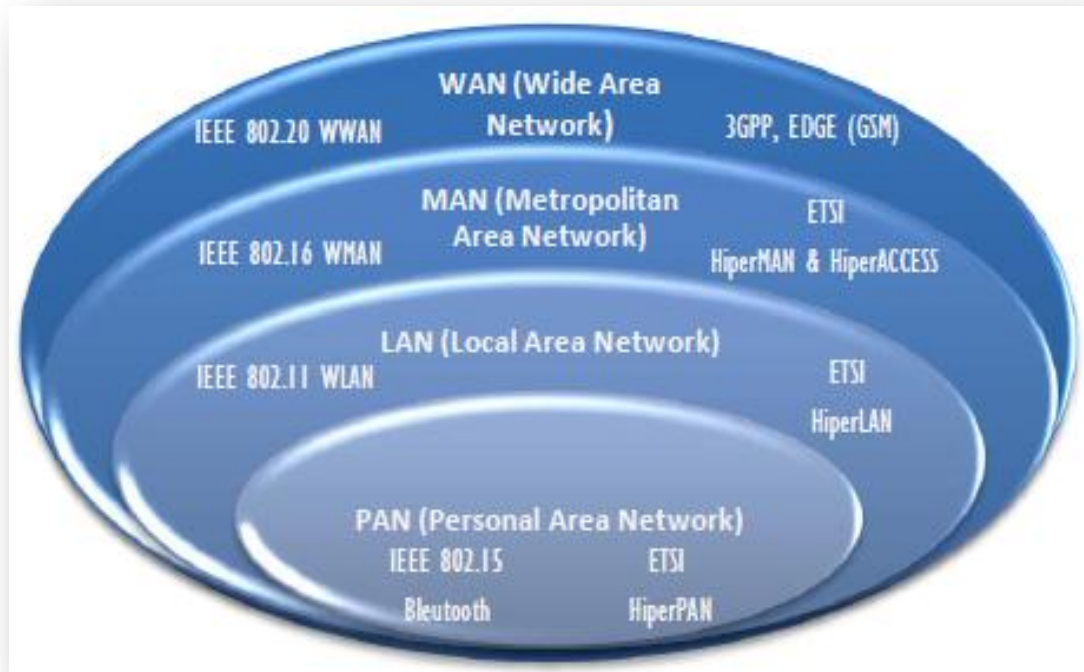
Le GPRS Ne constitue qu'une couche supplémentaire rajoutée au réseau GSM, il fait partit de la deuxième génération. Il permet de transfert des données par paquet avec débit théorique de 171.2 Kbit/s et le transport de GSM.

Le GPRS utilise les bandes de fréquence attribuées au GSM : 900MHz à 1900 MHz.

### **I. 15. 4. EDGE**

L'EDGE est une norme améliorée par rapport à celle du GSM, qui ne demande pas l'investissement lourd dans l'infrastructure mais qui offre aux utilisateurs la possibilité de transmettre des vidéos, les photos, des sons avec un débit théorique de 473Kbit/s.

Son avantage majeur est qu'elle peut être intégrer à la norme GSM très facilement puisqu'elle occupe la même bande des fréquences celle du 900 MHz.



**Figure I. 26 :** Les différentes catégories de réseaux suivant leur étendu [17].

## I. 16. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une définition des antennes miniatures et les Limites fondamentales physiques de ce type d'antenne. Un des paramètres clés des antennes Miniatures. De plus, nous avons présenté les différentes techniques de miniaturisation des antennes.

En règle générale, la miniaturisation des antennes entraîne une diminution de la bande passante et de l'efficacité du rayonnant. Nous avons donc présenté une nouvelle antenne bi-bande dont la géométrie est basée sur celle de l'antenne PIFA.

Nous intéresserons dans le prochain chapitre sur l'outil de simulation et la validation de CST.

## II. 1. Introduction

Durant ces dernières années, le développement de techniques rigoureuses permettant de résoudre les équations de Maxwell a introduit et imposé des outils informatiques en électromagnétisme. Ces outils sont de plus en plus utilisés dans l'analyse et la conception de dispositifs hyperfréquences utilisés dans les applications micro-ondes et de communications sans fil.

Les outils numériques de calcul électromagnétique deviennent donc un élément indispensable à la conception de l'antenne d'un téléphone mobile grâce à la croissance rapide de la puissance de calcul de l'ordinateur. Parmi les méthodes numériques, il y en a qui sont apparues il y a bien longtemps mais elle ne pouvait être pleinement exploitée compte tenu de la faible puissance de calcul qui existait à l'époque cependant l'arrivée d'ordinateurs suffisamment puissants a permis un large développement des méthodes numériques [18].

Des logiciels de simulation disponibles dans le commerce utilisent différentes méthodes numériques. Le choix de logiciel de simulation dépend donc du problème à résoudre par exemple la taille, le type et le matériau de la structure, la complexité de la géométrie.

Voici quelques exemples de logiciels de simulation commerciaux CST Microwave Studio (avec la méthode FIT finit intégration technique, HFSS, Momentum).

Les logiciels de simulation sont très largement utilisés aujourd'hui dans la conception d'antenne. On peut concevoir ou importer directement dans le logiciel de simulation un modèle d'un système rayonnant complexe et rigoureux en tenant compte des matériaux constituant les téléphones avec la présence des dispositifs électroniques, électriques et métalliques il permet de disposer d'une idée assez précise du comportement du système rayonnant et réduire éventuellement le temps de développement [18].

## II. 2. Description du logiciel de simulation

Fondé en 1992, le logiciel de simulation électromagnétique CST STUDIO SUITE est l'aboutissement de nombreuses années de recherche et de développement dans les solutions les plus efficaces et précises de calcul pour la conception électromagnétique.

Basé sur la résolution des équations de Maxwell suivant la technique des équations intégrales (Finite Intégration Technique) [18].

CST Microwave Studio est un logiciel de simulation électromagnétique de structure passives en 3 Dimensions basée sur la résolution des équations de Maxwell suivant la technique des équations intégrales (Finite Intégration Technique) . Cette méthode numérique offre une discrétisation de l'espace permettant la description directement en 3-Dimensions de tous les composants des systèmes décrits, ce qui lui permet d'être appliqué à de nombreux problèmes électromagnétiques allant de la statique aux hyperfréquences en analyses temporelle et fréquentielle. De plus, contrairement à la plupart des logiciels de simulation électromagnétique, CST, d'une par sa méthode, discrétise la forme intégrale des équations de Maxwell plutôt que leurs formes différentielles. La méthode est une caractéristique clé de CST Microwave qui approche est donne le choix de type de simulateur ou un treillis qui est le mieux adapté à un problème particulier [19].

CST Microwave Studio est vu par un nombre croissant d'ingénieurs comme un outil de développement standard de l'industrie qui offre à ses clients le choix de six modules solveur puissants. En plus de son marché et dans le domaine temporel des technologies de pointe mettant en vedette le solveur approximation frontière.

CST Microwave Studio fait partie de la CST DESIGN STUDIO suite, et offre un certain nombre de solveurs différents pour différents types d'application. Étant donné aucune méthode ne fonctionne aussi bien dans tous les domaines d'application.

## **II. 2. 1. Modules de CST**

L'outil CST est constitué d'un certain nombre de modules appelés « solveurs ».

### **a) Un solveur transitoire**

Il s'agit d'un module 3D général qui permet d'obtenir des simulations en temps réel, ce qui peut être intéressant pour étudier la propagation du champ dans un composant électronique en fonction du temps [20].

### **b) Un solveur fréquentiel**

Comme le solveur transitoire, il est constitué d'un solveur général basé sur une méthode fréquentielle. Selon la structure étudiée, le maillage peut être cartésien ou tétraédral [20].

### **c) Un Solveur intégral**

Ce solveur est dédié aux plus grandes structures électriques. Il se fonde sur la Méthode des moments avec une formulation intégrale des champs électriques et magnétiques. Afin de réduire la complexité numérique l'approche MLFMM (Multi level Fast Multipole Method) est utilisée [20].

### **d) Un Solveur modal**

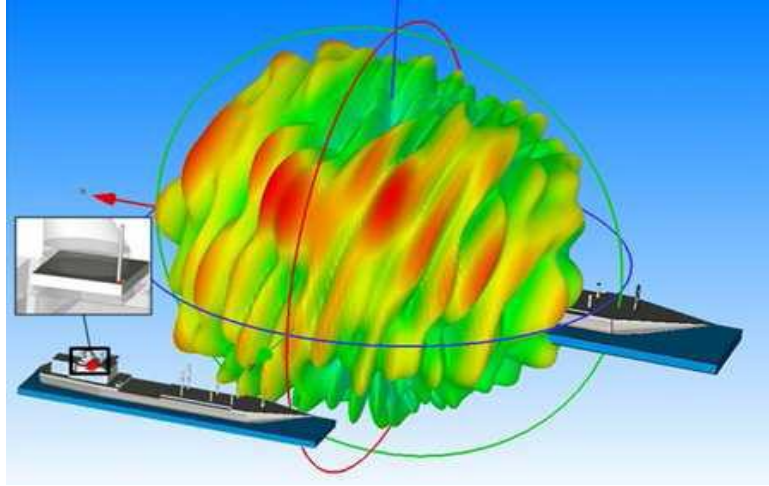
Ce solveur est dédié à des simulations de structures fermées résonantes. Les résultats qui peuvent être obtenus sont par exemple la distribution des modes ainsi que les fréquences de résonance de la structure [20].

L'outil le plus flexible est le solveur transitoire, qui peut obtenir le haut débit tout comportement en fréquence du dispositif simulé d'un seul terme de calcul. Ce solveur est efficace pour la plupart des types d'applications à haute fréquence tels que des connecteurs, lignes de transmission, filtres, antennes et plus encore.

CST nous permet donc de décrire nos dispositifs hyperfréquences à contrôler tels qu'ils sont réalisés en pratique par un empilement de couches de matériaux ayant pour caractéristique soit la permittivité et la tangente de pertes, dans le cas d'un semi-conducteur, soit la conductivité électrique dans le cas d'un métal à pertes, pour ne citer que les deux matériaux dont sont composés nos dispositifs.

Dans Microwave Studio, chaque cellule du maillage est cubique. L'outil de résolution temporelle remplace les dérivées partielles  $\frac{\partial}{\partial t}$  par des différentielles  $\Delta t$ . Nous avons choisi ce logiciel car l'utilisation d'un outil de résolution dans le domaine temporel est très avantageuse en termes de temps de calcul pour la simulation d'antenne à bi- bande passante.

Notre projet est basé sur une série de simulations de structures rayonnantes à l'aide d'un logiciel de simulation CST Microwave Studio.



**Figure II. 1:** Illustration de l'outil CST : modélisation de l'environnement électromagnétique [20].

## II. 2. 2. La méthode FIT utilisée par le logiciel CST

CST Microwave Studio est un code de calcul basé sur le schéma FIT. Il utilise un maillage cubique pour limiter les couts de calcul.

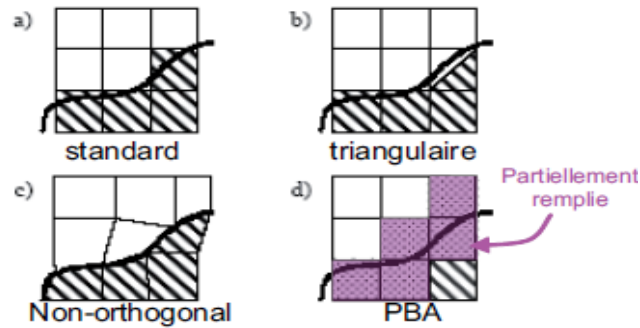
La FIT est utilisée par le logiciel d'analyse électromagnétique 3D Microwave Studio de CST qui présente de nombreuses optimisations de calcul et une interface graphique conviviale, elle est appliquée dans le domaine Temporel. La discrétisation des dérivées temporelles est faite par le schéma leap-frog utilisé aussi en FDTD. A la différence de la FDTD, l'utilisation ici de la forme intégrale locale permet d'appliquer la technique des PBA.

Cette technique découpe une cellule élémentaire en deux et assigne à chacune des parties un matériau différent. La frontière entre les deux matériaux peut être une surface de forme quelconque. Pour des structures relativement complexes géométriquement ou contenant des singularités, les PBA diminuent significativement le nombre de mailles nécessaires. Grace à cette technique de maillage, Microwave Studio peut prendre par exemple en compte les épaisseurs des feuilles métalliques sans avoir besoin de les mailler directement.

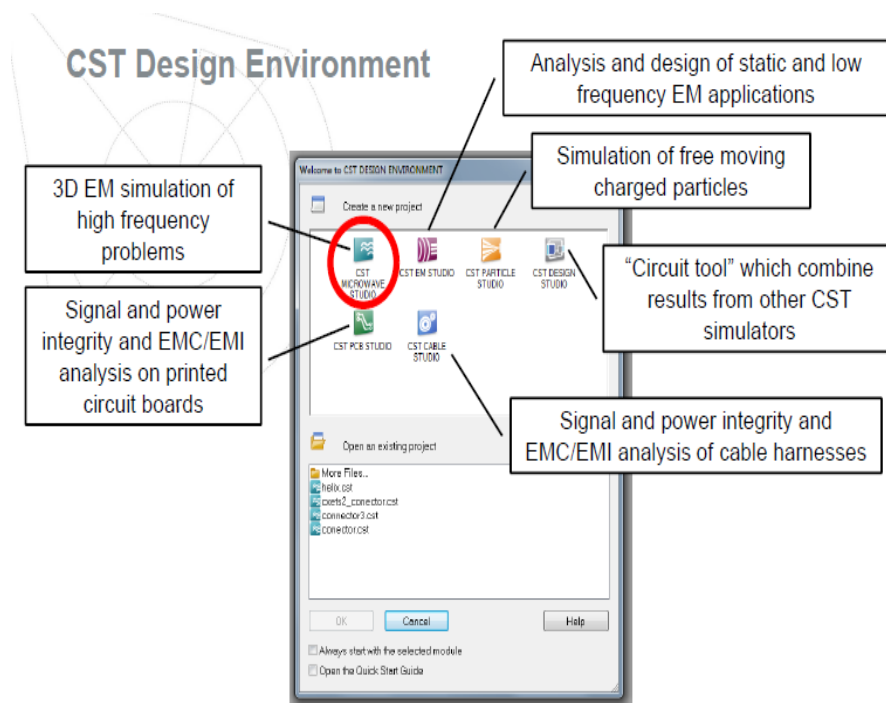
Le principe de la technique d'intégration finie FIT repose sur la discrétisation des équations de Maxwell sous leurs formes intégrales :

- $\oint_c E \cdot d\vec{L} = - \iint_s \frac{\partial B}{\partial t} \cdot ds.$
- $\oint_c H \cdot d\vec{L} = \iint_s (\frac{\partial B}{\partial t} + \vec{j}) \cdot ds.$

- $\oint_S D \cdot d\vec{s} = \iiint_V \rho \cdot dv.$
- $\oint_S B \cdot d\vec{s} = 0.$








**Figure II. 2 :** Différents maillages et approximations [21].




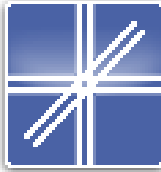

**Figure II. 3 :** Les modules d'exécution de logiciel CST [20].

## II. 2. 3. Les modules d'exécution

Le tableau suivant résume les modules d'exécution de logiciel CST :

<p>- CST EM Studio</p> 	<p>- CST EM STUDIO est un outil facile à utiliser pour l'analyse et la conception des structures statiques et basses fréquences.</p> <p>-Les applications incluent: les actionneurs, les freins, EMC, énérateurs, de mesure, moteurs, capteurs et le blindage.</p>
<p>-CST particule studio</p> 	<p>- PARTICULES CST STUDIO est un outil spécialisé pour la conception rapide et précise. Il inclut l'analyse des canons à électrons 3D, les tubes cathodiques.</p>
<p>-CST Mphysics Studio</p> 	<p>- CST MPHYSICS STUDIO est un outil d'analyse pour les contraintes thermique et structurale, et des problèmes de mécanique.</p>
<p>-CST Design Studio</p> 	<p>-CST DESIGN STUDIO est une plate-forme universelle pour gérer les processus de conception d'un système complexe. En construisant des sous-systèmes élémentaires, l'utilisateur peut analyser le comportement du système complet en petits segments.</p>
<p>-CST PCB Studio</p> 	<p>- CST PCB STUDIO est un outil pour l'étude des signaux et la simulation des effets EMC et EMI (Electromagnétique Compatibility/ Electromagnétique Interférence) sur cartes de circuits imprimés (PCB).</p>



<p>-CST Câble Studio</p> 	<p>- CST CABLE STUDIO est un outil pour l'analyse des effets dans les systèmes de câble, y compris les fils unique, paires torsadées ainsi que des faisceaux de câbles complexes.</p>
<p>-CST Micros Tripes</p> 	<p>-CST Micro Stripes analyse les structures de rayonnement d'antennes complexes, et résous les problèmes EMC/EMI.</p>
<p>-CST Microwave Studio</p> 	<p>-CST MWS est un outil de simulation 3D spécialisé pour le traitement rapide et précis des problèmes à haute fréquence avec un large champ d'application.</p>

**Tableau II. 1.** Les modules d'exécution de logiciel CST [18].

CST Microwave Studio offre des avantages considérables de produits au prix du marché les cycles de développement plus courts, le prototypage virtuel, avant les essais physiques optimisations, au lieu d'expérimentation.

#### **II. 2. 4. Principales caractéristiques de logiciel CST**

Les principales caractéristiques de logiciel CST Microwave Studio sont :

- Rapide et de la mémoire technique efficace d'intégration finie.
- Très bonne performance en raison de rapprochement frontière Perfect (PBA). fonctionnalité pour les unités à l'aide d'une grille hexaédrique. Les solveurs transitoires et mode propre également en charge la technique Tôle mince (TST).
- La structure peut être vue soit comme un modèle 3D ou un schéma. Ce dernier permet un raccordement facile de l'EM de simulation avec la simulation de circuit modélisation de la structure.
- Avancée basée sur ACIS1, paramétrique fin solide devant la modélisation avec une excellente la visualisation de structures.

- Caractéristique hybride à base de modélisation permet rapides changements structurels.
- L'importation de données CAO 3D par la SAT (par exemple Auto CAD).
- L'importation de données CAO 2D par DXF, Gerber RS274X GDSII et, fichiers RS274D.
- Importation de données EDA de la conception, y compris les flux Cadence Allegro / APD / SIP, Mentor Graphics Expedition, Mentor Graphics PADS.
- L'importation de conceptions de PCB provenant de SimLab PCBMod / CST PCB Studio.
- Interface utilisateur graphique basée sur Windows XP, Windows Vista, Windows 7 et Linux.
- L'importation de modèles 2D et 3D.
- Importer de l'ADS d'Agilent.
- Importation de modèles Sonnet EM.
- Importation d'un ensemble de données modèle humain visible ou d'autres ensembles de données.
- Export des données de CAO par SAT, IGES, STEP, NASTRAN, STL, DXF, Gerber, la RDC ou fichiers POV.
- Paramétrage des fichiers de CAO importés.
- Base de données des matériaux.
- Modèles de structure pour la description du problème simplifié.

## **II. 2. 5. Quelle est la méthode qui décrit la structure ?**

Les méthodes qui décrivent la structure sont :

- Modéliser la diélectrique antenne.
- Modéliser le conducteur interne à l'intérieur de la partie diélectrique et début CST Microwave Studio.

Après le démarrage de CST environnement de conception et le choix de créer une nouvelle CST Microwave Studio projet, vous serez invité à sélectionner un modèle pour une structure qui est le plus proche de votre appareil d'intérêt [18].

## **II. 2. 6. Quelle est l'aperçu des concepts clés de la CST ?**

On peut distinguer plusieurs étapes pour choisir l'aperçu des concepts clés de logiciel CST Microwave Studio selon le classement suivant :

- Structures du modèle en utilisant le solide modelleur.
- Spécifiez les paramètres du solveur, consultez le maillage et de commencer la simulation.
- Utilisez la fonction de raffinement de maillage adaptatif.
- Visualisez les modes de port.
- Visualisez les signaux horaires et des paramètres S.
- Définir les moniteurs sur le terrain à des fréquences différentes.
- Visualisez les distributions des champs électromagnétiques.
- Définir la structure en utilisant les paramètres de structure.
- Utilisez l'outil de balayage de paramètre et de visualiser les résultats paramétriques.
- Utilisez les modèles de résultats pour le post-traitement personnalisé.
- Effectuer des optimisations automatiques.
- Comparer les résultats du solveur transitoire et le solveur domaine fréquentiel.

## **II. 2. 7. Les flux de simulation pour le module solveur**

Il existe plusieurs flux de simulation pour le module solveur sont expliqués par les étapes suivantes [20] :

- Sélectionnez un modèle de projet approprié pour les structures filter (en option).
- Unités garniture (optionnel).
- Réglez documentation (facultatif).
- Définir la structure.
- Régler la gamme de fréquence.
- Définir les conditions aux limites fermées (en option).
- Définir les ports d'excitation.
- Début résonance rapide S-paramètre solveur domaine fréquentiel.
- Analyser les résultats (paramètres S, modèles de résultat).

## **II. 2. 8. Les éléments nécessaires pour une analyse de domaine de fréquence à l'aide le solveur équation intégrale**

La liste suivante résume les éléments qui sont très nécessaire pour l'analyse fréquentiel [20].

- Sélectionnez un modèle de projet approprié (en option).
- Unités garniture (optionnel).
- Réglez documentation (facultatif).
- Définir la structure.
- Réglez la gamme de fréquences.
- Définir les conditions aux limites (en option).
- Définir l'excitation.
- Définissez les moniteurs (en option).
- Démarrez le solveur équation intégrale.
- Analyser les résultats (des paramètres S, les modèles sur le terrain, des modèles de résultats, etc.).

## **II. 2. 9. Les données nécessaires pour l'analyse de domaine de fréquence**

Il y a plusieurs données qui sont très important pour faire une analyse dans le domaine fréquentiel [20].

- Les calculs se font en utilisant le solveur multicouche.
- Sélectionnez un modèle de projet approprié (en option).
- Unités garniture (optionnel).
- Réglez documentation et de la couche stackup (en option).
- Définir la structure.
- Réglez la gamme de fréquences.
- Définir les conditions aux limites (en option).
- Définir l'excitation.
- Définissez les moniteurs (en option).
- Démarrez le solveur multicouche.

## **II. 2. 10. La conséquence de débit de simulation typique**

Pour avoir des meilleurs résultats de débit de simulation typique il faut suivi les étapes suivant [20] :

- Sélectionnez un modèle de projet approprié pour les structures filter (en option).

- Unités garniture (optionnel).
- Réglez documentation (facultatif).
- Définir la structure.
- Régler la gamme de fréquence.
- Définir les conditions aux limites fermées.
- Définir les ports d'excitation.
- Définir les moniteurs (en option).
- Début résonance: S-paramètre, les champs solveur domaine fréquentiel.
- Analyser les résultats (paramètres S, modèles de résultats, les champs, etc.).

## **II. 2. 11. La procédure de simulation typique**

Selon le nombre des modes, de choisir la méthode appropriée solveur:

- Pour la solution directe des problèmes avec perte choisir JDM.
- Pour les problèmes de perte de libre-échange avec un petit nombre de modes choisir JDM.
- Si votre mémoire disponible s'avère trop faible lors de l'exécution du JDM.
- Pour les problèmes de perte de libre-échange avec de nombreux modes (par exemple> 5) choisir AKS [20].

### **II. 2. 11. 1. Les étapes suivantes doivent être remplies pour qu'une simulation réussie**

On a résumé Les étapes nécessaire pour la réussite d'une simulation.

- Définir les unités.
- Définir le matériau de base.
- Modèle de la structure.
- Définir la gamme de fréquences.
- Définir les ports.
- Définir les conditions aux limites et Symétrie.
- Régler les moniteurs sur le terrain.
- Début de la simulation.

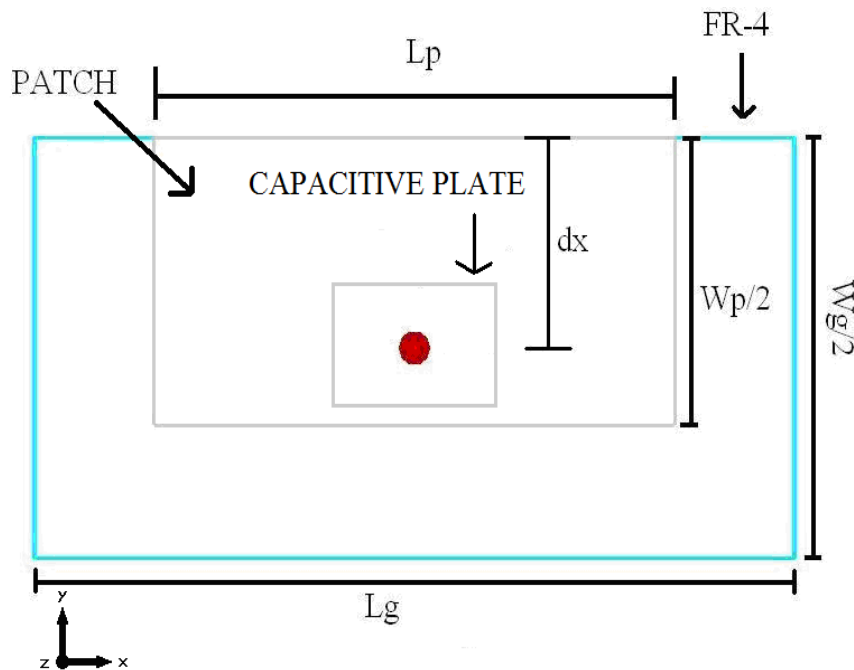
Après avoir défini tous les paramètres nécessaires, vous êtes prêt à commencer votre première simulation [20].

## II. 3. Validation de l'outil simulation

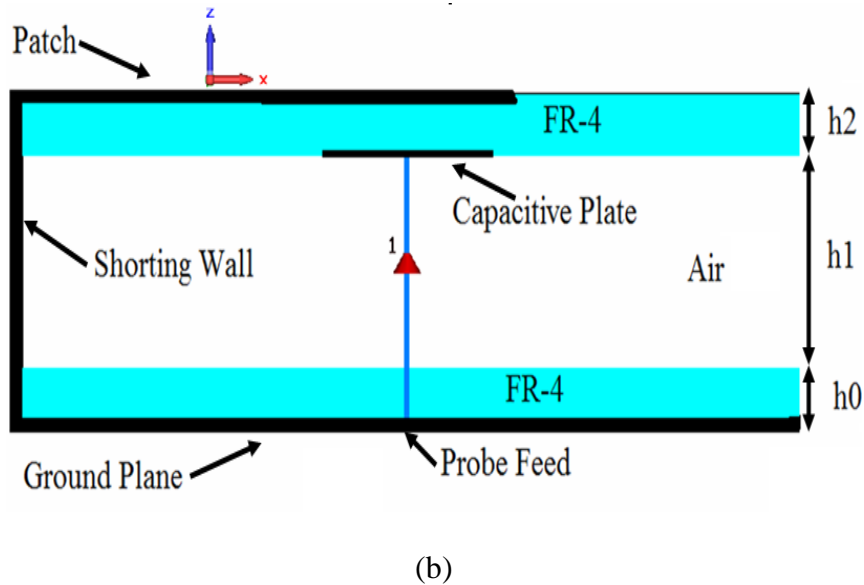
Pour mettre en valeur le logiciel de simulation CST Microwave Studio, nous avons comparés les résultats de la littérature des structure d'antenne PIFA et le résultat obtenus avec le logiciel CST.

### II. 3. 1. Antenne PIFA bi-bande

La base d'une antenne PIFA est constituée d'un plan de masse, un élément de plaque supérieure, un fil d'alimentation alimentant la plaque de résonance supérieure, et un court-circuit C-plaque qui relie la masse et la plaque supérieure à une extrémité de l'antenne Patch résonance. Nous ajoutons une alimentation capacitive. Cela se fait simplement en ajoutant une nouvelle plaque sous le timbre résonne et connectez le câble d'alimentation à cette nouvelle plaque, au lieu de le branchant directement sur le patch rayonnant. La conception initiale PIFA est montré dans la figure II. 4 L'antenne est composée de trois couches, la première est une couche diélectrique FR-4 en contact avec la masse, la seconde est une couche d'air, et le troisième une couche diélectrique est une FR-4 en contact avec la pastille rayonnante et la plaque capacitive, la simulation de l'antenne pifa fait avec le logiciel CST [27].

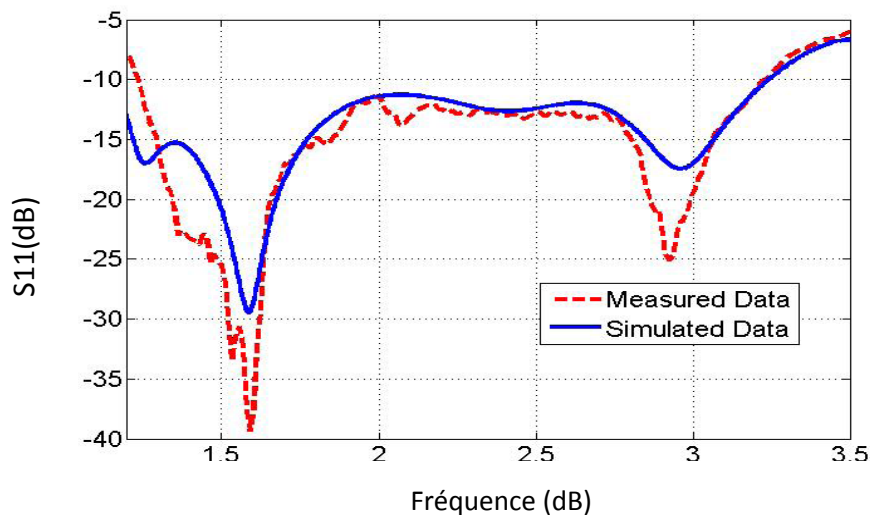


(a)



**Figure II. 4 :** Antenne PIFA (a) vue de dessus. (b) vue latérale [26].

D'après ce qui précède, on remarque que les résultats obtenus par CST Microwave studio par la méthode des intégrales finies FIT, Ce qui implique que cet outil est performant pour la simulation de nos antennes.

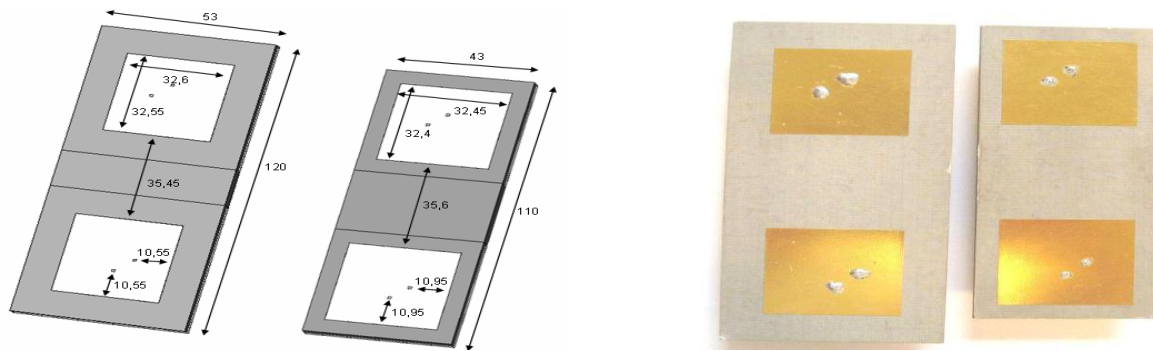


**Figure II. 5 :** Paramètres S11 mesurés et simulés par le CST [26].

### II. 3. 2. Réseaux d'antennes

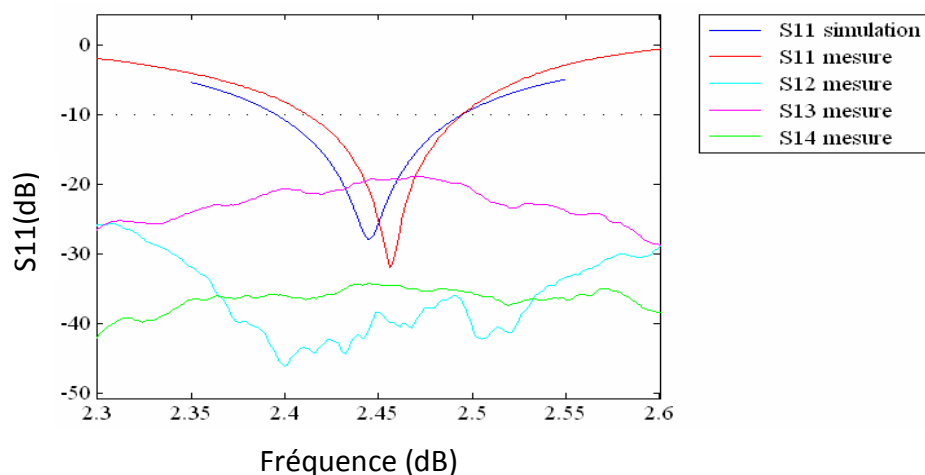
Un système d'antennes à quatre voies présentant de la diversité et répondant à un cahier des charges défini le système qui est composé de deux antennes patch à double polarisation. Les antennes patchs sont carrées et disposent de deux ports qui permettent de récupérer à la fois les composantes des ondes polarisées verticalement et celles polarisées

horizontalement. Avec ce système, il est ainsi possible de comparer et d'évaluer la diversité spatiale et de polarisation. En effet, les quatre voies permettent d'avoir soit de la diversité spatiale avec les deux voies polarisées verticalement ou les deux voies polarisées horizontalement, soit de la diversité de polarisation en utilisant les deux voies d'une même antenne patch, soit de la diversité spatiale et de polarisation ensemble en utilisant des voies sur chaque antenne qui présentent des polarisations orthogonales [25].



**Figure II. 6 :** Systèmes à double patches réalisés [25].

D'après ce qui précède, on remarque que les résultats obtenus par CST Microwave Studio (la méthode des intégrales finies) sont en accord avec ceux obtenus par la réalisation de ces exemples. Ce qui implique que cet outil est très performant pour la simulation de nos antennes.

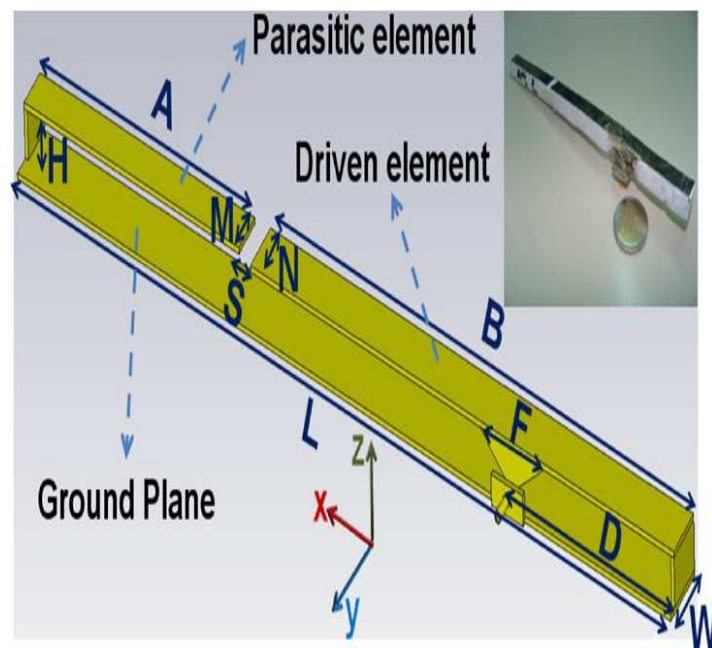


**Figure II. 7 :** Résultat de simulation et de la réalisation de Coefficients de réflexion. et de transmission d'une des voies de l'antenne à double patches [24].

Le compact à double bande Planar Inverted-F Antenna travaillé à la fois dans la norme DVB- T et le WLAN (IEEE 802.11b).



Il est destiné à être intégré dans un moniteur équipé périphériques et des expositions de réduire la taille électrique par rapport à PIFA similaire configurations. Un coefficient de réflexion inférieur à 6 dB et 10 dB a été obtenu dans les bandes 470-862 DVB-T et les 2400-2484 MHz des bandes WLAN, respectivement. Un gain d'antenne de presque 3 dBi et 4,5 dBi, avec plus de rendement de rayonnement 95%, a été obtenu dans les deux bandes de fréquences d'intérêt. Le PIFA remplit un volume global de 217x12x8mm<sup>3</sup> et peut être réalisé par une seule tôle métallique convenablement découpe et de pliage. Mesures sur des prototypes ont montré que la disposition proposée est robuste en termes de le désaccord d'adaptation d'impédance qui peut être causé par la présence de pièces métalliques à proximité de l'antenne. Index Termes-bi-bande antenne, antenne DVB-T, antenne intégrée, Planar Inverted-F Antenna, antenne large bande, antenne WLAN.



**Figure II. 8:** Planar Inverted-F Antenna (PIFA) [23].

D'après ce qui précède, on remarque que les résultats obtenus par CST Microwave studio (la méthode des intégrales finies FIT) sont en accord avec ceux obtenus par la réalisation de ces exemples. Ce qui implique que cet outil est très performant pour la simulation de nos antennes [23].

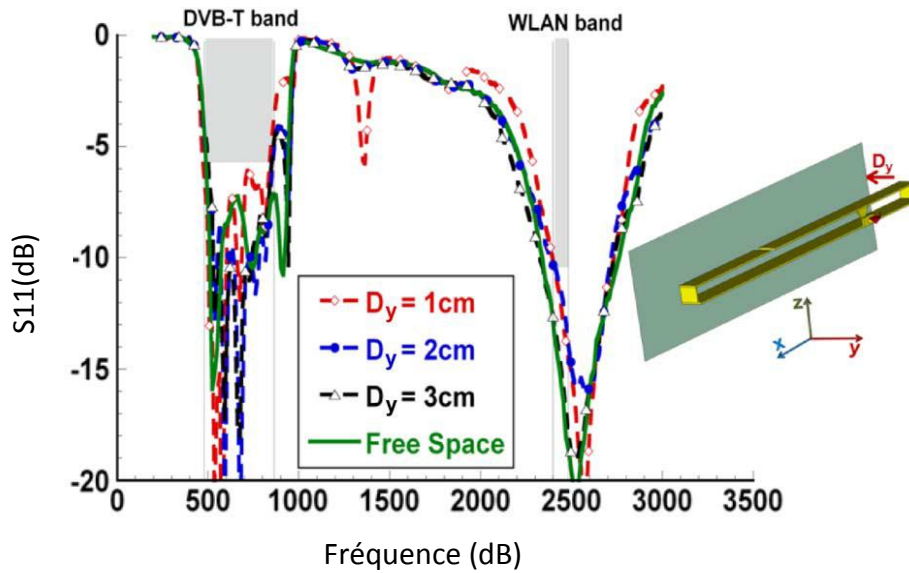


Figure II. 9 : Le paramètre (S) mesuré [24].

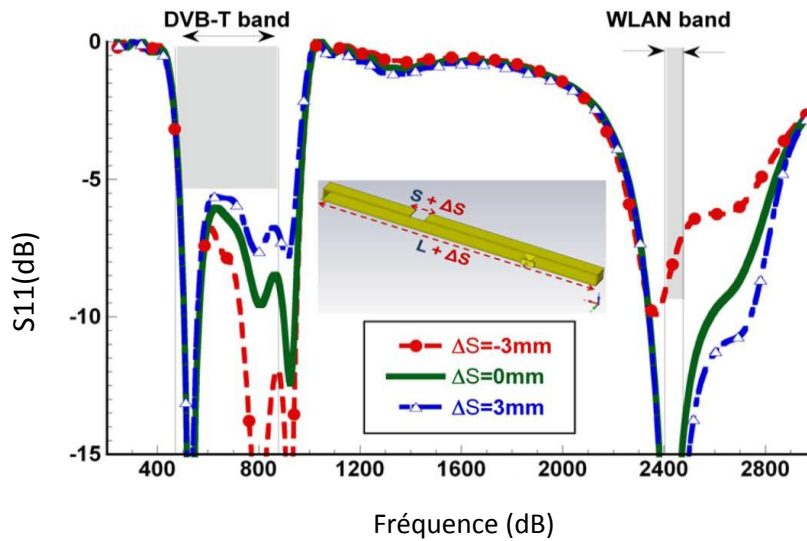


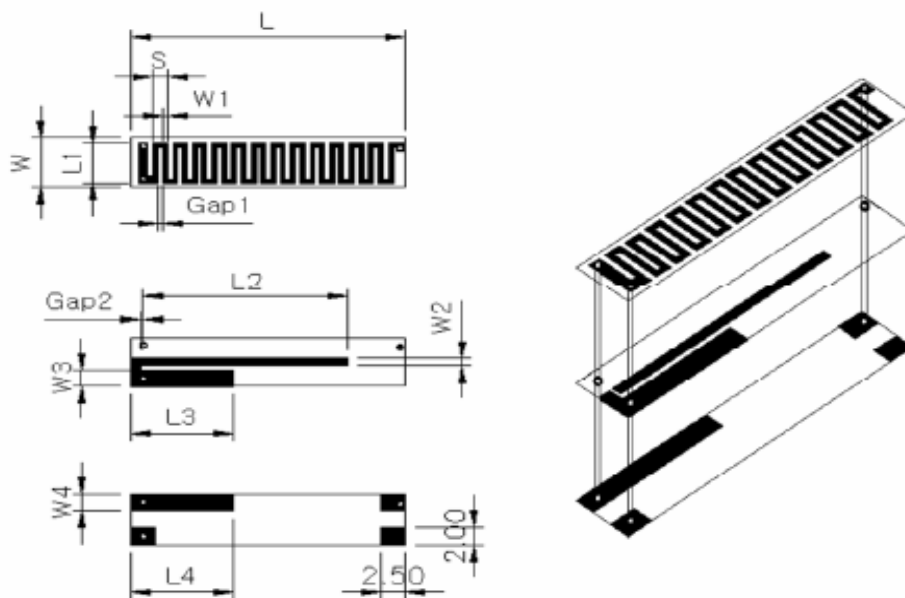
Figure II. 10 : Le parametre (S) simulé [25].

Dans un nouveau type de plan antenne en F inversé (PIFA) est démontré dans ce travail en' utilisé la surface plane souple pour réduire le couplage mutuel. L'antenne proposée est bi-bande, un port et très compact, en particulier pour la basse fréquence de fonctionnement. A cette bande de fréquences le couplage mutuel est plus critique. Dans le but est de diminuer ce couplage, une solution basée sur une surface en simples bandes imprimées avec des vias est mis à la masse présentés, que d'une réduction simultanée du couplage mutuel [24].

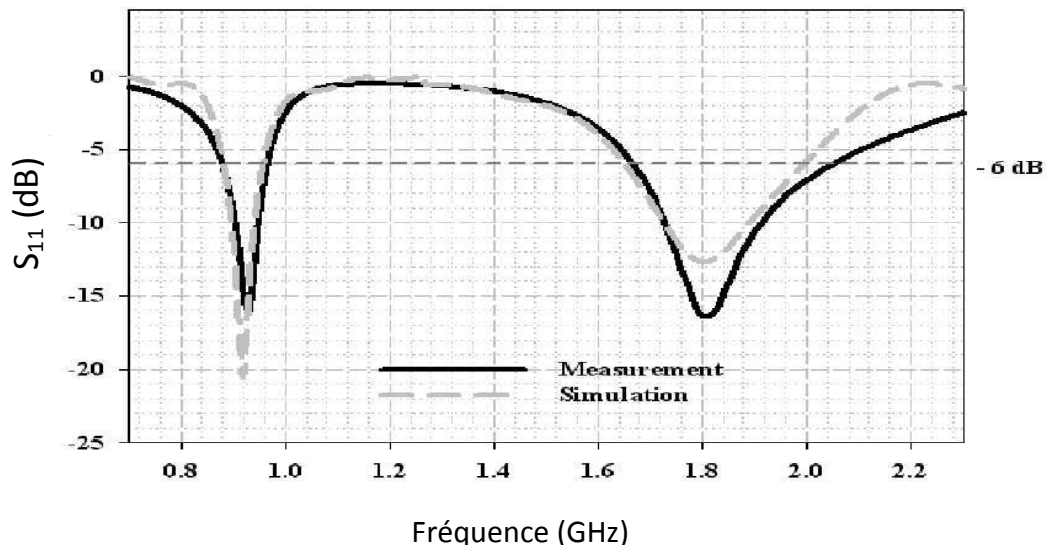
Au niveau des deux bandes de fonctionnement de l'antenne. Dans cet exemple particulier, seuls deux bandes sont utilisés et une diminution de couplage de plus de 6 dB est vérifiée expérimentalement pour les deux groupes et pour différentes distances entre les éléments. L'utilisation d'un substrat multicouche est un élément clé dans la conception proposée.

Mobile multi-bande antenne puce basée sur méandre ligne PIFA structure. L'antenne proposée utilise un substrat FR-4 et a démontré la capacité d'ajuster l'impédance caractéristique en ajoutant parasite Patch à la masse et par couplage avec le radiateur de base. L'antenne fabriqué avec une dimension de hauteur 4 mm, 6 mm largeur et longueur 28 mm. Le plan de masse d'une dimension de  $90 \times 40$  [mm], conçu par un simulateur CST logiciel commercial. Le résultat expérimentaux montrent que la bande passante d'impédance pour ( $ROS < 3$ ) est de 90 (875 ~ 965) MHz dans la bande GSM 900 fonctionnement et 380 (1.670 ~ 2.050) MHz dans DCS, le fonctionnement bande PCS. Le maximum de gains d'antenne est de 0,25 dBi, 2,21 dBi et 2,71 dBi à fréquences de résonance et il a omnidirectionnel modèle pratique.

La recherche sur multi résonant antenne à l'aide en ligne méandre a déjà proposé diverses méthodes telles que l'utilisation de la fente l'espacement des lignes de méandres, l'installation de fentes sur les éléments rayonnants.

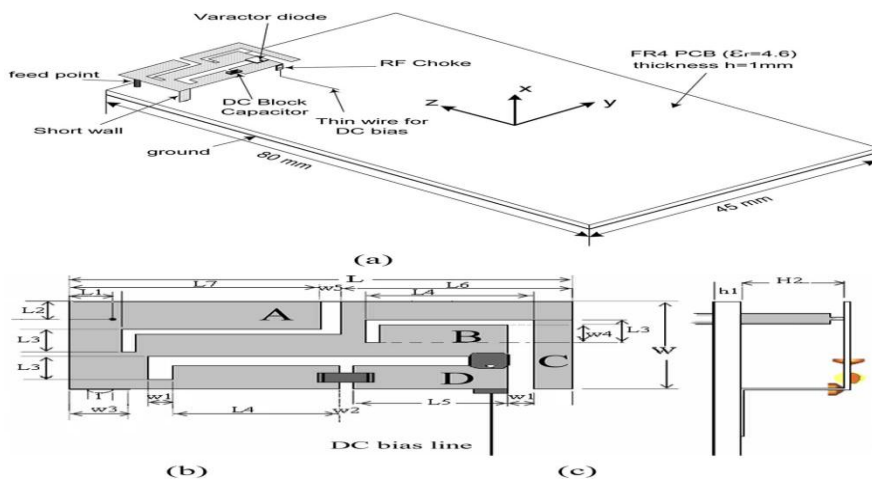


**Figure II. 11** : Géométrie de l'antenne projetée [25].



**Figure II. 12 :** Le coefficient de réflexion en (dB) [26].

Une simple planaire en F inversé antenne (PIFA)-en fonction accordable antenne interne est proposé pour la communication personnelle applications de combinés. L'antenne peut couvrir suivant les bandes de fréquences DCS: (1710-1880 MHz), PCS (1880-1990 MHz),UMTS (1900-2170 MHz), WLAN (5,2 et 5,8 GHz), Bluetooth (2400-2480 MHz), et ISM bande (2500-2700 MHz). Diode est utilisée pour obtenir sur la large bande de fréquences. La taille globale de l'antenne est 19,5 mm 9,5 mm, 4 mm (0,741 cm) le rend apte à 4 G combinés et peut être facilement intégré à l'intérieur de mobile commercial combinés. L'antenne à été conçue et optimisée à l'aide de CST micro-ondes studio [24].



**Figure II. 13 :** Géométrie de l'antenne PIFA [24].

Les paramètres mesuré et simuler dans le premier temps les paramètres S de l'antenne ont été mesuré, ils sont représentés et comparés avec ceux obtenus en simulation.

On remarque que les résultats obtenus par CST Microwave studio (la méthode des intégrales finies FIT) sont en accord avec ceux obtenus par la réalisation de ces exemples. Ce qui implique que cet outil est très performant pour la simulation de nos antennes.

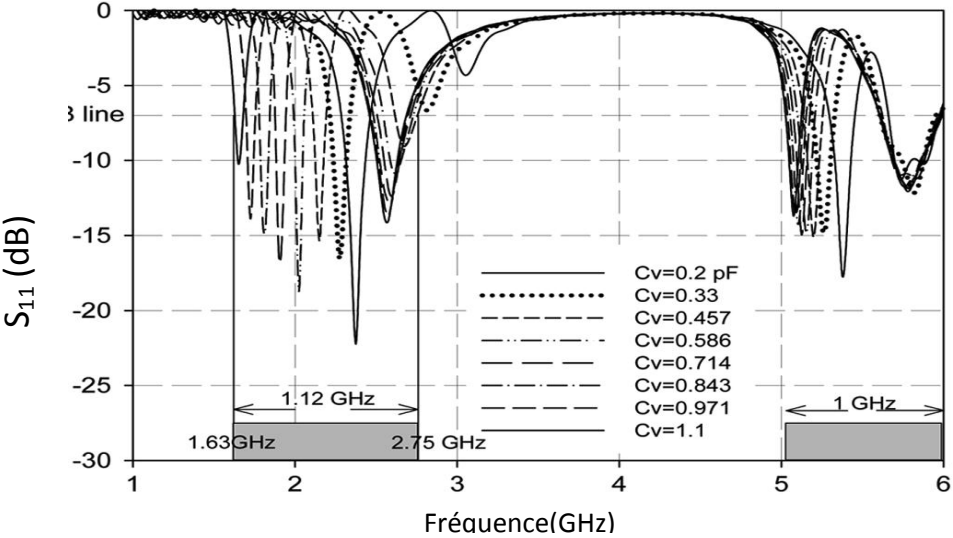


Figure II. 14 : Paramètres S11 simulés par le CST [27].

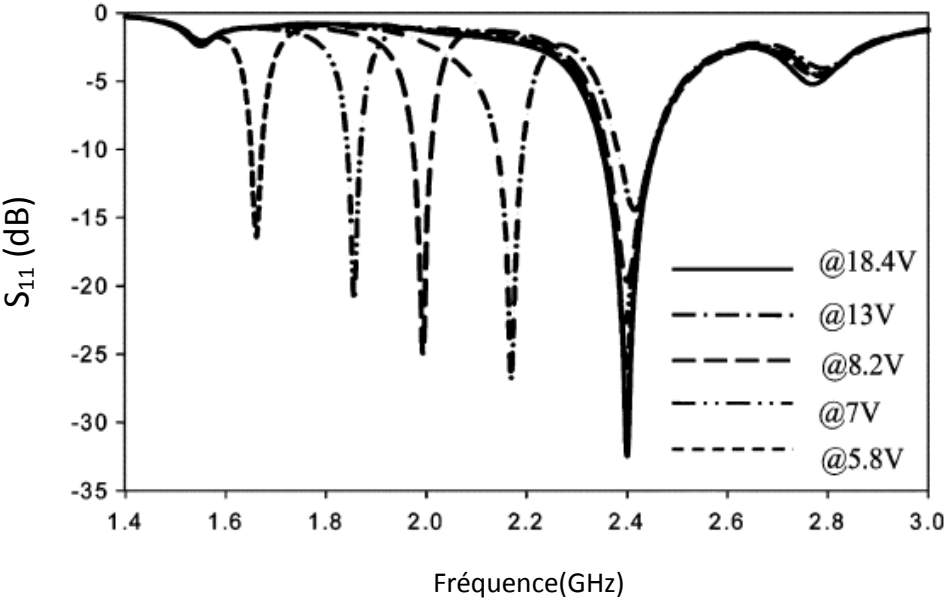


Figure II. 15 : Paramètres S11 mesurés et simulés par CST [27].

D'après ce qui précède, on remarque que les résultats obtenus par CST Microwave studio (la méthode des intégrales finies FIT) sont en accord avec ceux obtenus par la réalisation de ces exemples. Ce qui implique que cet outil est très performant pour la simulation de nos antennes [27].

## **II. 4. Conclusion**

Ce chapitre a été consacré à une présentation globale de l'outil de simulation, cet outil très puissant et disponible au niveau de laboratoire de télécommunication est capable de simuler pas mal de structures électromagnétiques y compris les antennes planaires dites PIFA.

Afin de valider ces dernières, nous avons comparé plusieurs antennes avec celles de la littérature, nous avons confirmé qu'il y a un accord en termes de résultats entre elles.

Le chapitre suivant sera dédié à la conception des antennes mono-bande, bi-bandes PIFA destinées aux normes GSM, DCS, PCS, UMTS et WIFI.

### III. 1. Introduction

Les antennes PIFA avec leur compacité, leur rendement et leur faible cout ont assuré une efficacité et une fiabilité souhaitable pour telles applications.

Dans ce chapitre nous allons présenter une antenne pifa mono-bande, bi-bandes utilisées dans différentes applications sans fils par le logiciel CST Microwave Studio.

Nous intéressons particulièrement à la matrice S, par ce qu'elle nous permet de visualiser les fréquences de résonance et le niveau d'adaptation à chaque fréquence.

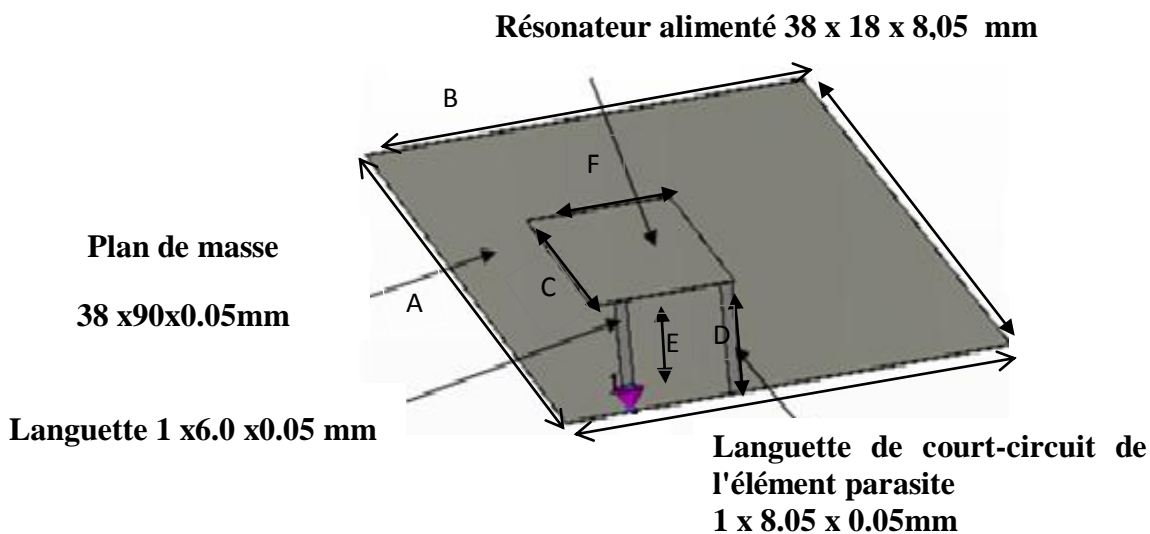
### III. 2 . Logiciel de simulation

On a utilisé le logiciel de simulation CST Microwave Studio pour simuler la structure étudiée.

### III. 3 . Antenne PIFA mono-bande

La structure est une antenne PIFA mono- bande dédiée aux applications GSM (0.9 GHz), DCS (1.8 GHz), PCS(1.9 GHz), UMTS (2.1 GHz) et WIFI (2.4 GHz ) placés dans une terminal portable, son plan de masse est un rectangle de(90mm×38mm), au dessus en trouve un résonateur.

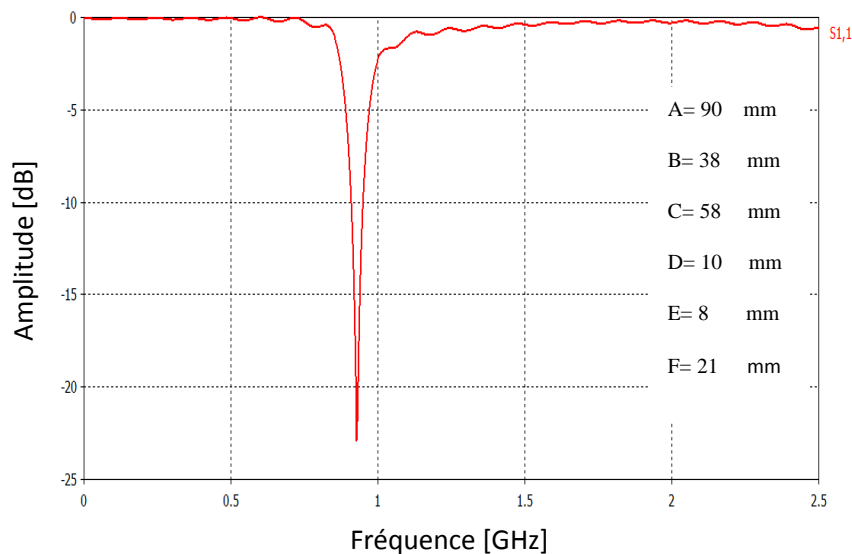
L' alimentation de la structure est réalisée par une langette de 1 mm située d'un pin de court circuit. La géométrie de cette structure est représenté par la figure (III.1).



**Figure III. 1 :** Géométrie de l'antenne PIFA.

### III. 3. 1 . Antenne mono-bande fonctionnant à 900 MHz pour GSM

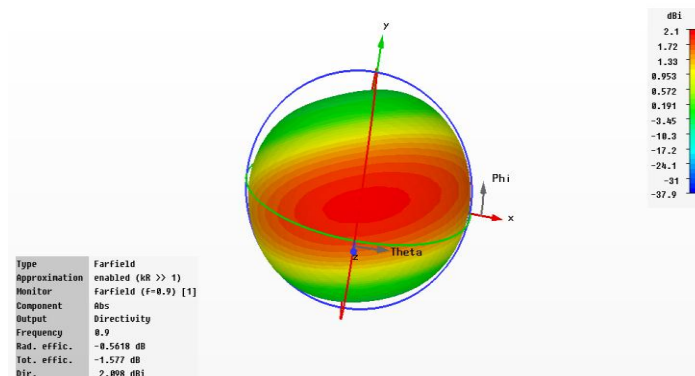
On présente sur la figure suivante le coefficient de réflexion à l'entrée de l'antenne dans la gamme de fréquence [0-2.5 GHz].



**Figure III. 2 :** Coefficient de réflexion  $S_{11}$  de l'antenne simulée.

D'après la figure III. 2 nous constatons que la résonance de l'antenne est correctement prédite à 0.9 GHz avec un pic de -23 dB.

Le diagramme de rayonnement de l'antenne tracé pour les différents plans à la fréquence de 900 MHz est représenté dans la figure III. 3, ce qui donne un rayonnement omnidirectionnel, ses résultats se sont bien visibles sur le tracé en 3D.



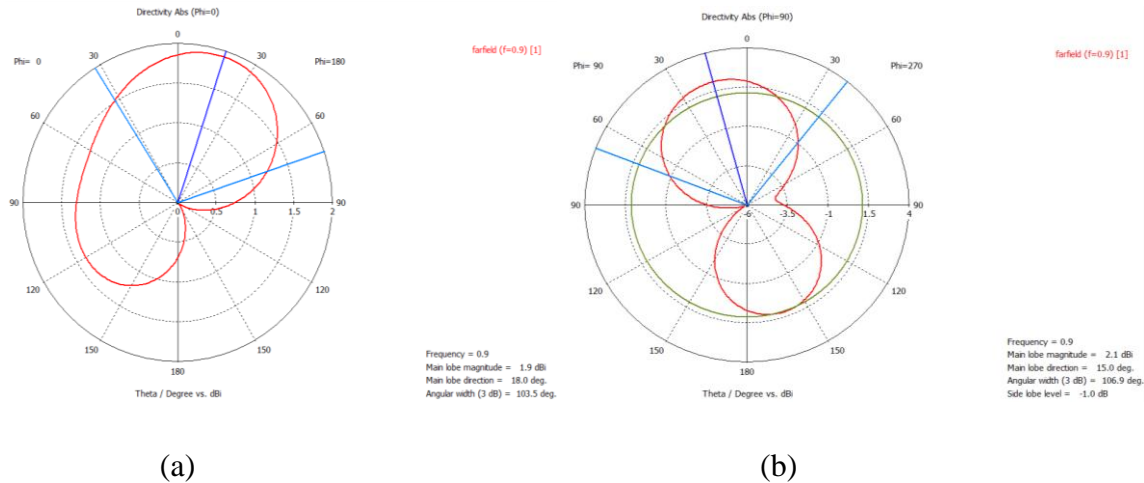
**Figure III. 3 :** Diagramme de rayonnement en 3D.

Les diagrammes de rayonnement sont généralement représentés dans deux plans orthogonaux "plan E et plan H", par rapport à la direction principale.



Plan E : lieu des points de l'espace où le champ électrique rayonné est contenu dans ce plan.

Plan H : lieu des points de l'espace où le champ magnétique rayonné est contenu dans ce plan.

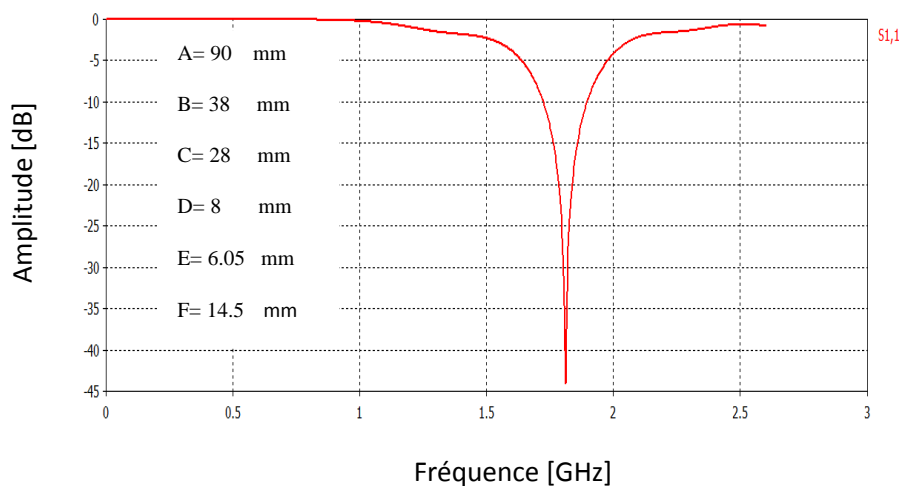


**Figure III. 4 :** Diagramme de rayonnement en polaire (a)  $\phi=90^\circ$ , (b)  $\phi=0^\circ$ .

### III. 3. 2. Antenne mono-bande fonctionnant à 1800 MHz pour DCS

Nous avons simulé l’antenne PIFA rectangulaire à l’aide du logiciel CST, Les résultats obtenues pour la norme DCS opérant dans la fréquence de résonance  $f=1800\text{MHz}$ .

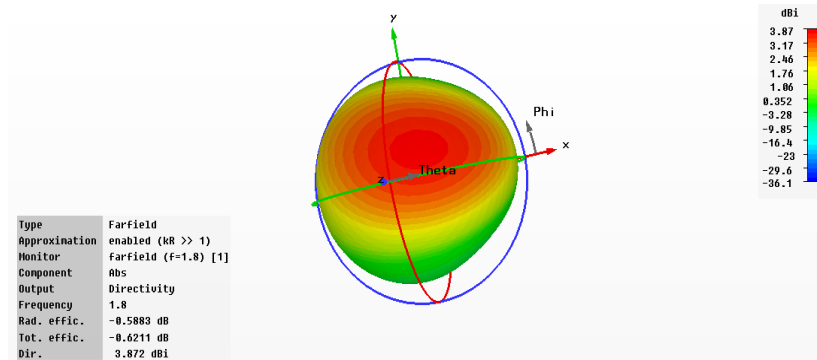
La réflexion sur la source et le diagramme de directivité sont représentés respectivement sur les figures suivantes dans la gamme de fréquence [ 0-3 GHz ].



**Figure III. 5 :** Coefficient de réflexion  $S_{11}$  de l’antenne simulée.

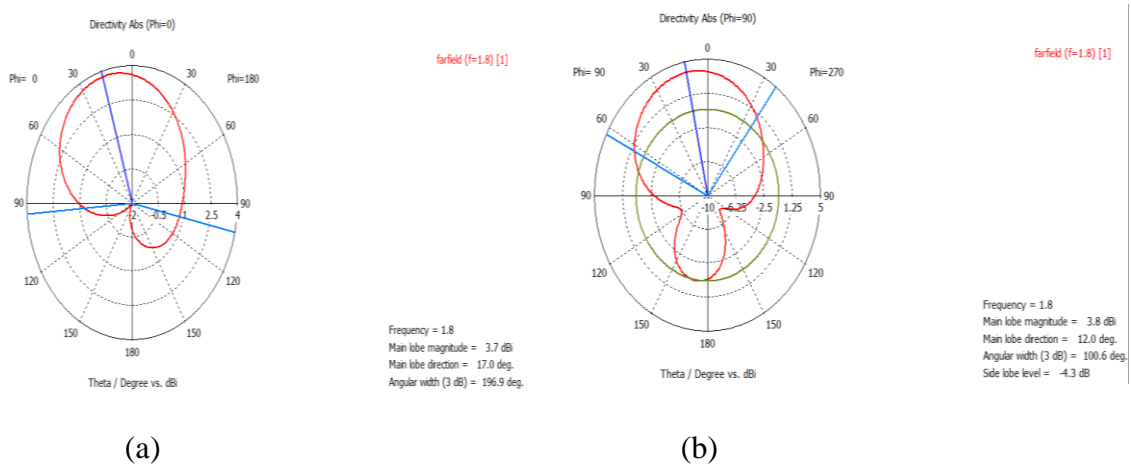
Les résultats obtenus avec logiciel CST montrent une meilleure précision sur l’adaptation de l’antenne avec un pic à -43 dB pour une fréquence de résonance de 1.8 GHz.

La figure.III.6 permet une visualisation en 3D du diagramme de rayonnement à la fréquence 1.8 GHz. Ce formalisme permet de rendre compte immédiatement de la capacité de l'antenne ce qui donne un rayonnement omnidirectionnel.



**Figure III. 6 :** Diagramme de rayonnement en 3D.

La figure III.7 illustre les diagrammes de rayonnement de l'antenne à la fréquence 1.8 GHz sur le plan E et H. Le Rayonnement est bidirectionnel, le lobe principal se dirige autour de 0° degrés.

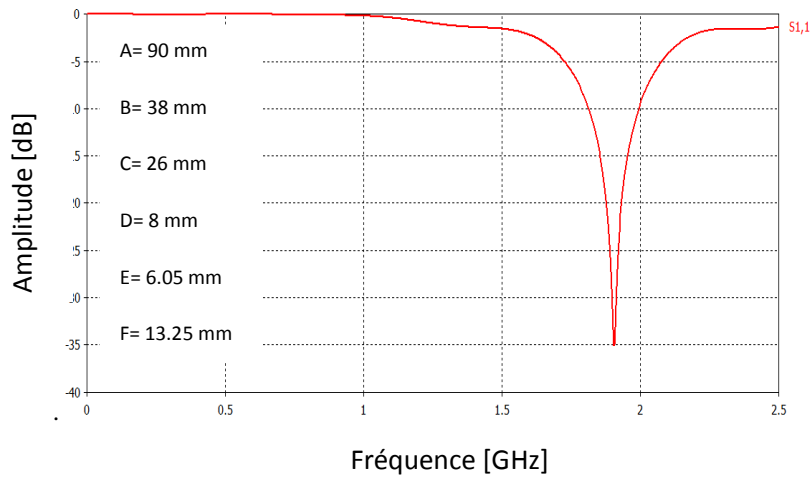


**Figure III. 7 :** Diagramme de rayonnement en polaire (a)  $\phi=90^\circ$ , (b)  $\phi=0^\circ$ .

### III. 3.3 . Antenne mono-bande fonctionnant à 1900 MHz pour PCS

Dans cette section, nous allons simuler une antenne fonctionnant à la fréquence 1.9 GHz pour la norme PCS.

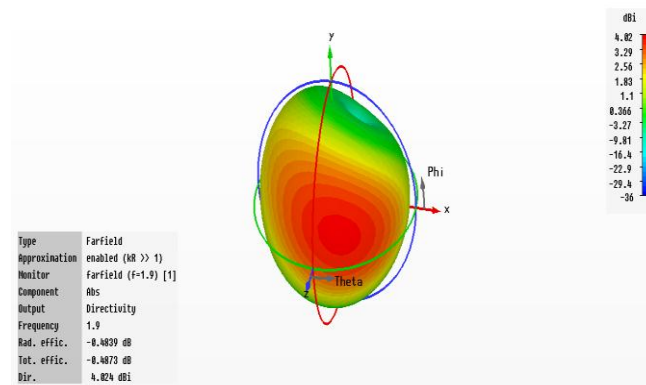
La figure III. 8 montre le coefficient de réflexion en dB simulé via le logiciel CST Microwave Studio dans la gamme de fréquence [0-2.5 GHz].



**Figure III. 8 :** Coefficient de réflexion  $S_{11}$  de l'antenne simulée.

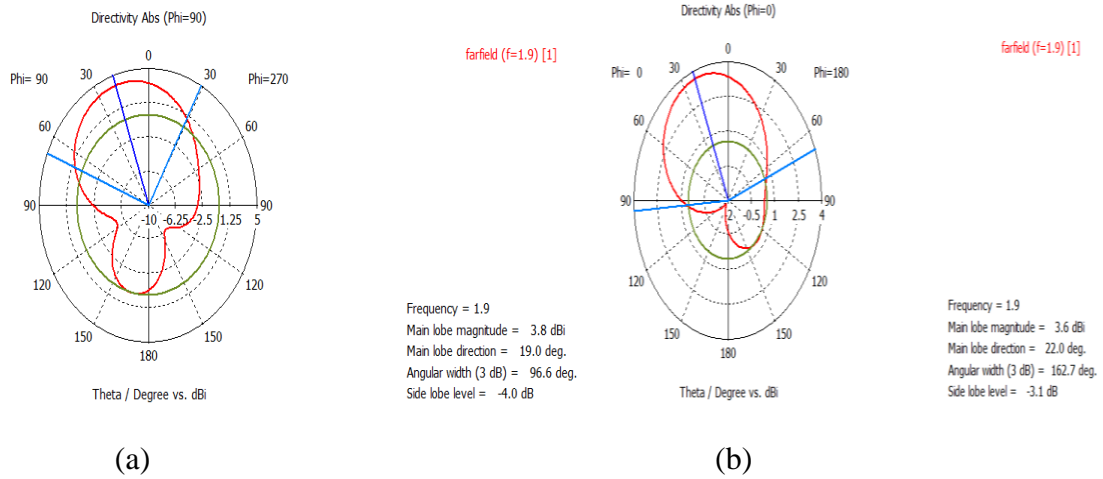
L'adaptation obtenue en simulation est de -35 dB à la fréquence 1.9 GHz.

Le diagramme de rayonnement de l'antenne tracé pour les différents plans à la fréquence 1900 MHz est représenté par la figure III. 9 ce qui donne un rayonnement omnidirectionnel, ses résultats se sont bien visibles sur le tracé en 3 D.



**Figure III. 9 :** Diagramme de rayonnement en 3D.

Les caractéristiques de rayonnement l'antenne PIFA en cordonner polaire prennent les même géométrie graphique sous forme de cercle ce qui indique que le rayonnement est omnidirectionnel.



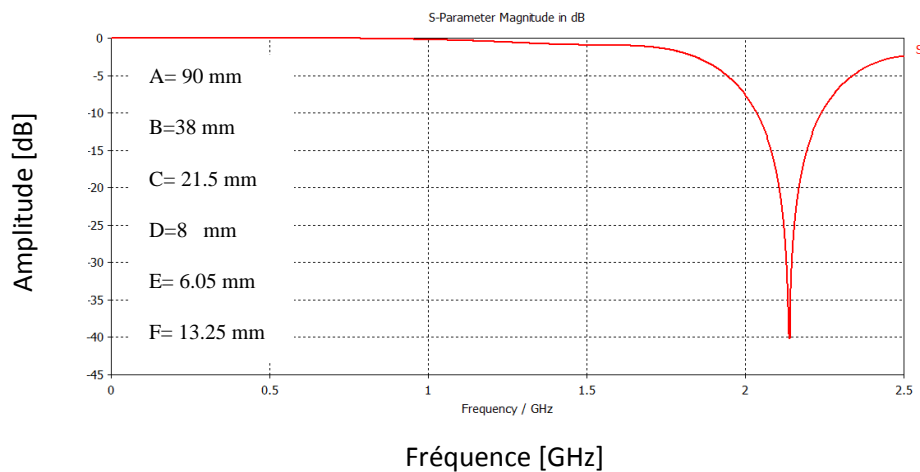
**Figure III. 10 :** Diagramme de rayonnement en polaire (a)  $\phi=90^\circ$ , (b)  $\phi=0^\circ$ .

Les résultats de simulation obtenu pour la norme UMTS sont représenté par les figures ci-dessous.

### III. 3. 4. Antenne mono-bande fonctionnant à 2100 MHz

Dans cette section , nous allons simuler une autre géométrie d'antenne PIFA destinée à la norme UMTS.

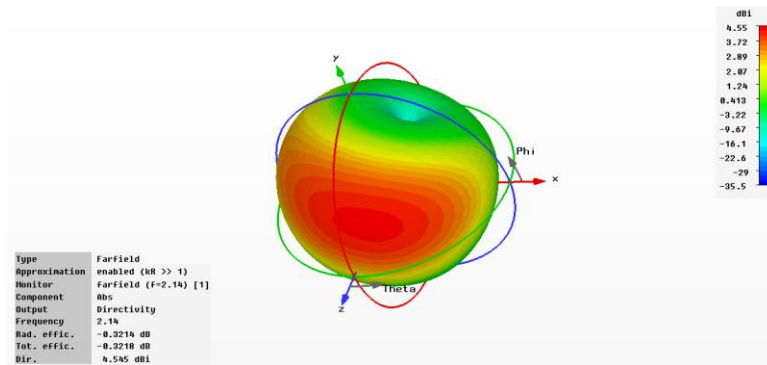
Le coefficient de réflexion en fonction de la fréquence est donné par la courbe suivante dans la gamme de fréquence [0-2.5 GHz].



**Figure III. 11 :** Coefficient de réflexion  $S_{11}$  de l'antenne simulée.

Le coefficient de réflexion montré par la figure III. 11 représente un caractère mono-bande. L'antenne utilisée reflète une bonne adaptation à la fréquence de résonance avec un pic de -40 dB.

Le diagramme de rayonnement de l'antenne tracé pour les différents plans à la fréquence 2100 MHz est représenté par la figure III. 12 ce qui donne un rayonnement omnidirectionnel, ses résultat se sont bien visible sur le tracé en 3 D.

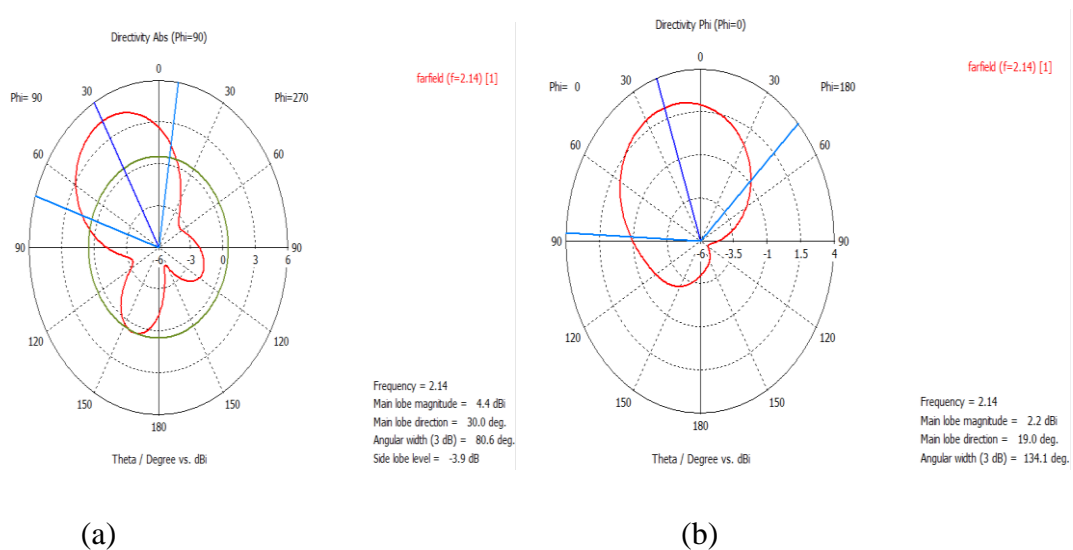


**Figure III. 12 :** Diagramme de rayonnement en 3D.

La figure III.13 montre que l'adaptation est réalisée puisque le coefficient de réflexion  $S_{11}$  atteint un niveau proche de -40 dB, la valeur de l'impédance d'entrée appliquée pour assurer le rayonnement du pavé est bien égale à 50  $\Omega$ .

Les tracés des diagrammes de rayonnement en coordonnées polaires en plan E et H sont présentés successivement sur la figure III.13 (a) et III.13 (b).

D'après ces figures, nous observons que les diagrammes sont d'érigés suivant 30°.

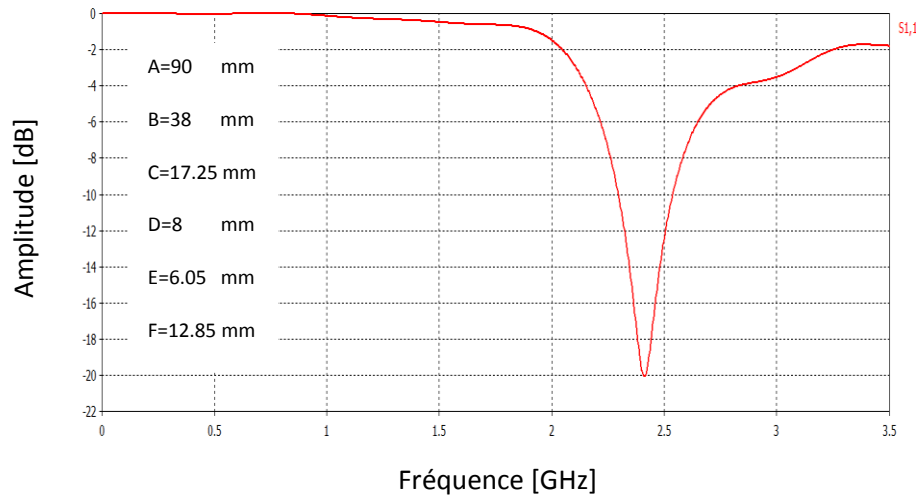


**Figure III. 13 :** Diagramme de rayonnement en polaire (a) phi=90°, (b) phi=0°.

### III. 3. 5 . Antenne mono-bande fonctionnant à 2400 MHz pour WIFI

Dans cette section , nous allons simuler une autre géométrie d'antenne PIFA destinée à la norme WIFI.

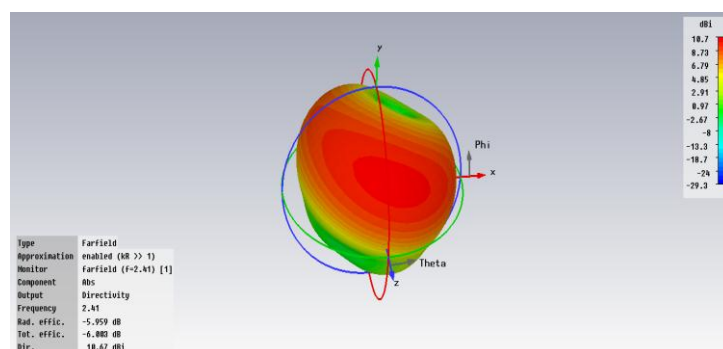
La figure III.14 présente le coefficient de réflexion de l'antenne PIFA dans la gamme de fréquence [0-3.5 GHz] .



**Figure III. 14 :** Coefficient de réflexion  $S_{11}$  de l'antenne simulée.

Nous observons une bonne adaptation qui varie autour de -20 dB pour une fréquence de 2400 MHz .

Le diagramme de rayonnement de l'antenne tracé pour les différents plans à la fréquence de 2400 MHz est représenté par la figure III. 15, ce dernier donne un rayonnement omnidirectionnel, ses résultat se sont bien visible sur le tracé en 3 D.

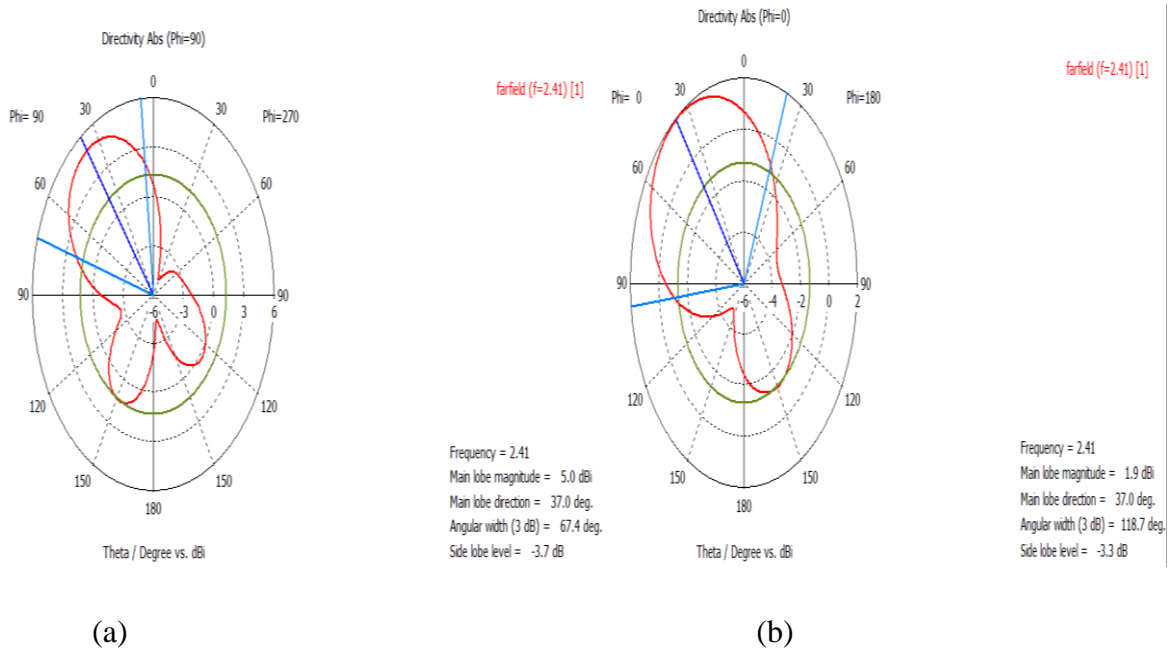


**Figure III. 15 :** Diagramme de rayonnement en 3D.

La figure III. 16 montre que l'adaptation est réalisée puisque le coefficient de réflexion  $S_{11}$  atteint un niveau proche de -40 dB, la valeur de l'impédance d'entrée appliquée pour assurer le rayonnement du pavé est bien égale à  $50 \Omega$ .

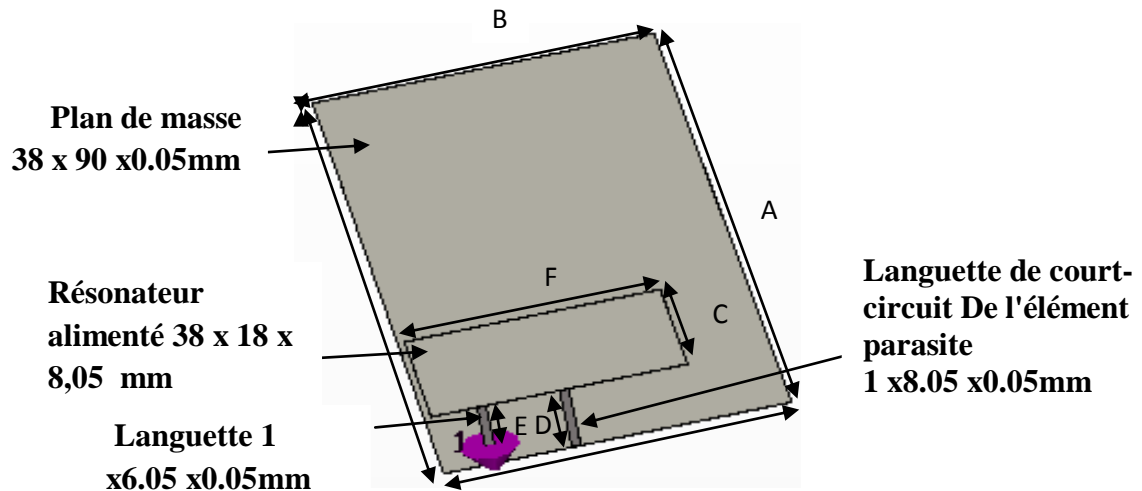
Les tracés des diagrammes de rayonnement en coordonnées polaires en plan E et H sont présentés successivement sur la figure III.16 (a) et III.16 (b).

D'après ces figures, nous observons que les diagrammes sont d'érigés suivant  $30^\circ$ .



**Figure III. 16 :** Diagramme de rayonnement en polaire (a)  $\phi=90^\circ$ , (b)  $\phi=0^\circ$ .

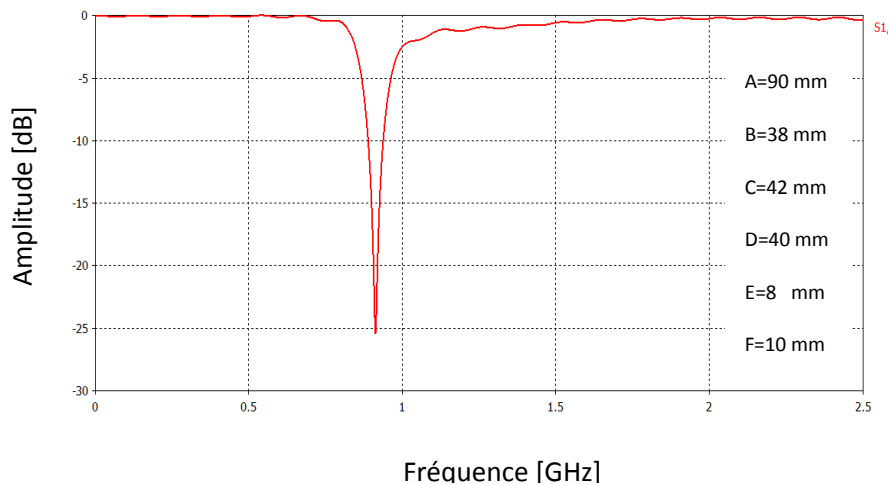
Afin de réduire l'encombrement de l'antenne ils nous ont paru utiles de changer la face supérieure de l'antenne de telle sorte que l'optimisation sera faite en changeant dimension E.



**Figure. III. 17 :** Géométrie de l'antenne PIFA.

### III. 3. 6 . Antenne mono-bande fonctionnant à 900 MHz pour GSM

La figure III. 18 représente la variation d'amplitude en fonction de la fréquence.

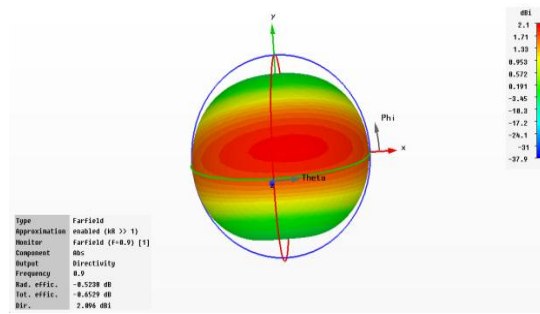


**Figure III. 18 :** Coefficient de réflexion  $S_{11}$  de l'antenne simulée.

L'adaptation de coefficient de réflexion à la fréquence 0.9 GHz est de -25 dB.

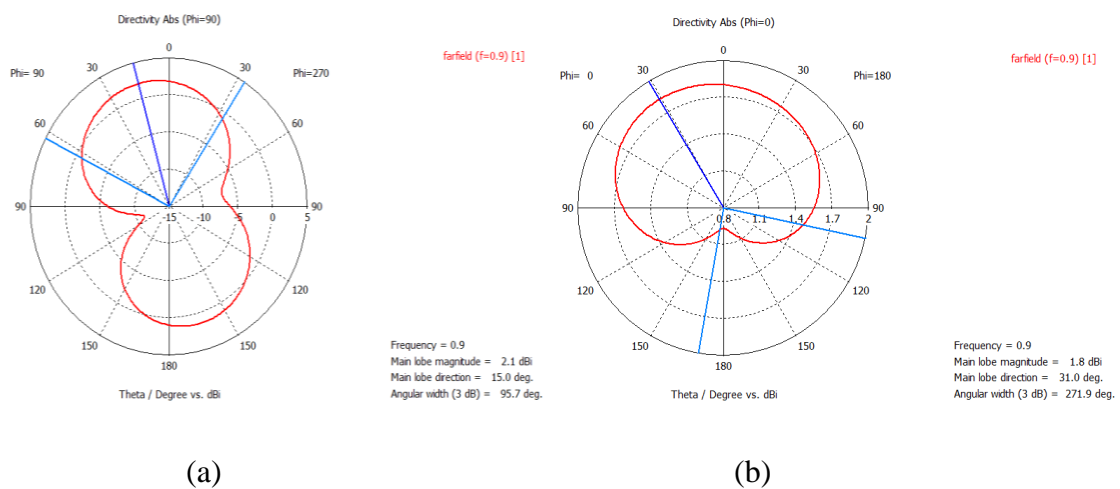
Le diagramme de rayonnement pour une fréquence de 0.9 GHz est représenté respectivement sur la Figure III.19.





**Figure III. 19 :** Diagramme de rayonnement en 3D.

Sur la Figure III. 20 on représente les diagrammes de rayonnements polaires pour une fréquence de résonances de 0.9 GHz ce ci dans les différents plans E et H.



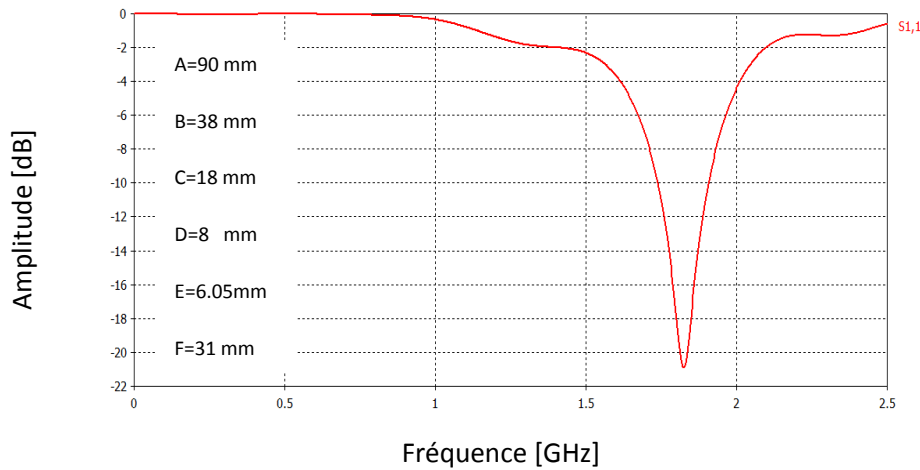
**Figure III. 20 :** Diagramme de rayonnement en polaire (a)  $\phi=90^\circ$ , (b)  $\phi=0^\circ$ .

### III. 3. 7. Antenne mono-bande fonctionnant à 1800 MHz pour DCS

Afin de terminer la simulation des différentes normes de téléphonie mobile, nous allons aborder la norme DCS.

Cette antenne a été optimisée afin d'opérer à la fréquence 1.8 GHz. Les dimensions de l'antenne sont reportées ci-dessous.

Le résultat de simulation réalisé par le logiciel CST qui est mis à notre disposition est représenté par la figure III. 21 dans la gamme de fréquence [0-2.5 GHz] .

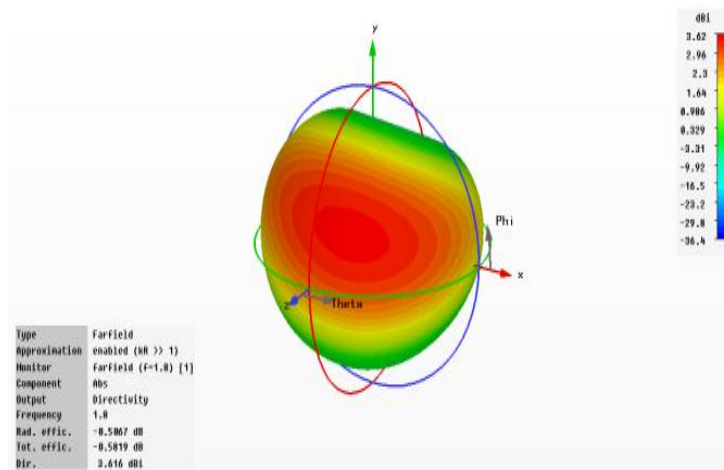


**Figure III. 21 :** Coefficient de réflexion  $S_{11}$  de l’antenne simulée.

La simulation de la structure par le logiciel CST (figure III.21) donne un coefficient de réflexion avec un pic en -21.8 dB pour une fréquence de 1800 MHz .

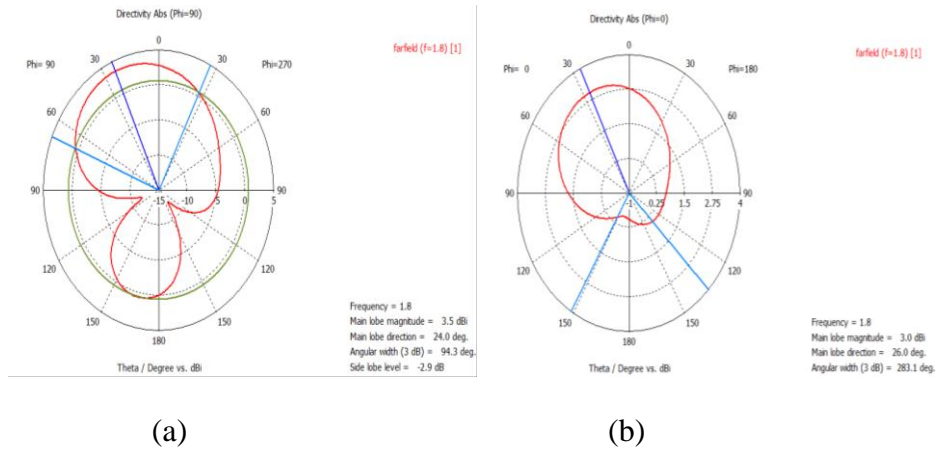
Les résultats obtenus avec logiciel CST montrent une meilleure précision sur l’adaptation de l’antenne à la fréquence 1.8 GHz.

Le diagramme de rayonnement de l’antenne tracé pour les différents plans à la fréquence de 1800 MHz est représenté par la figure III. 22. ce qui donne un rayonnement omnidirectionnel, ses résultat se sont bien visible sur le tracé en 3 D.



**Figure III. 22 :** Diagramme de rayonnement en 3D.

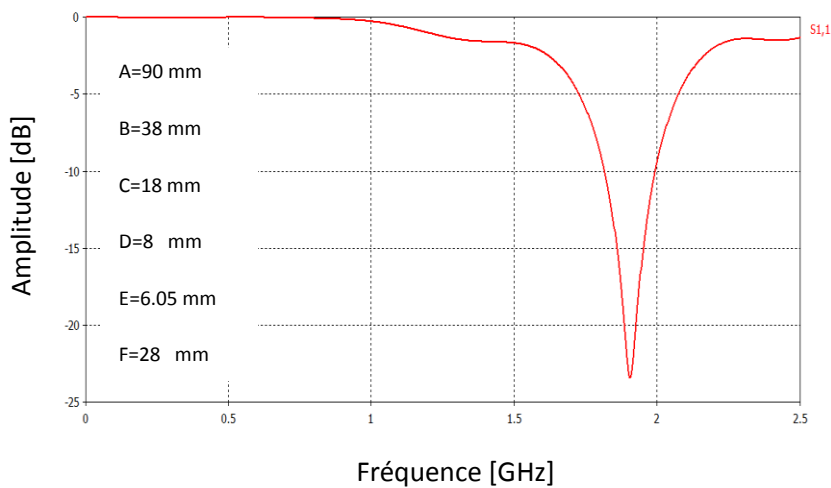
Les caractéristiques de rayonnement l’antenne PIFA en cordonner polaire prennent la même géométrie graphique sous forme de cercle ce qui indique que le rayonnement est omnidirectionnel.



**Figure III. 23 :** Diagramme de rayonnement en polaire (a)  $\phi=90^\circ$ , (b)  $\phi=0^\circ$ .

### III. 3. 8. Antenne mono-bande fonctionnant à 1900 MHz pour PCS

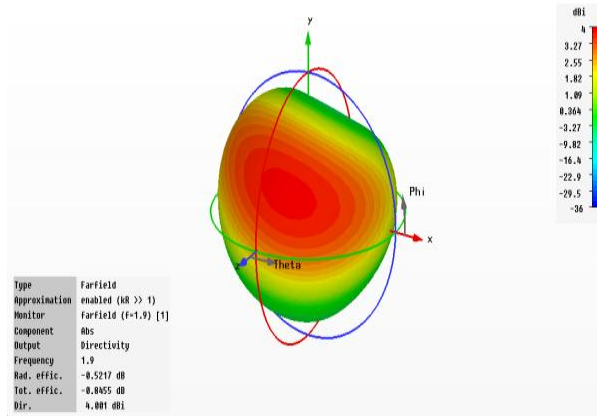
Le résultat de simulation réalisé par le logiciel CST qui est mis à notre disposition est représenté par la figure III. 24 dans la gamme de fréquence [0-2.5 GHz] .



**Figure III. 24 :** Coefficient de réflexion  $S_{11}$  de l’antenne simulée.

A la fréquence 1.9 GHz, On enregistre un pic de -24.7 dB par le logiciel CST Microwave Studio.

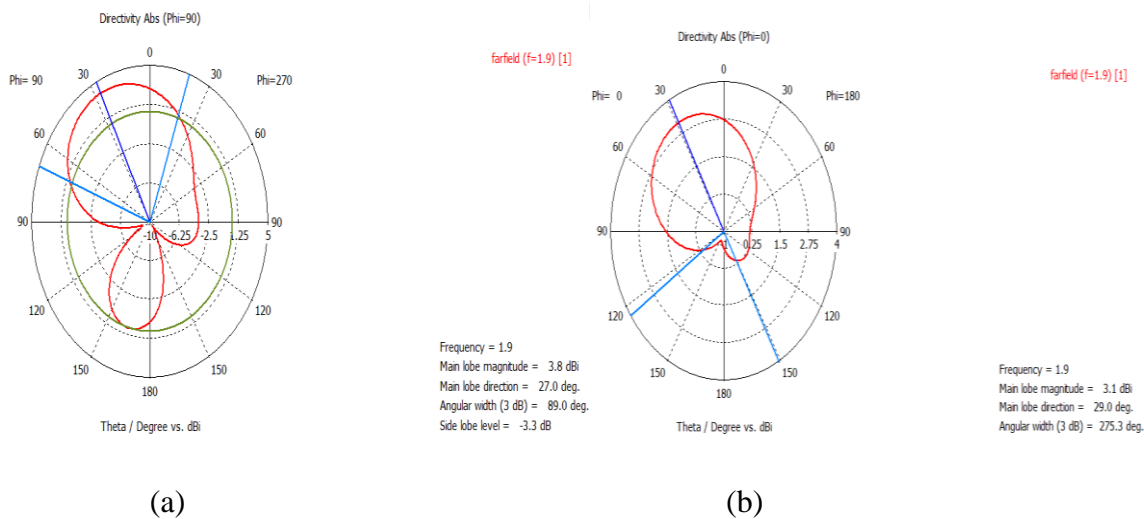
Le diagramme de rayonnement pour une fréquence de 1.9 GHz est représenté respectivement sur la Figure III. 25 nous constatons que l’antenne a un gain directif pour les différentes fréquences choisies.



**Figure III. 25 :** Diagramme de rayonnement en 3D.

La figure ci-dessous, montre les différents types de diagrammes de rayonnements pour une fréquence de résonance de 1.9 GHz.

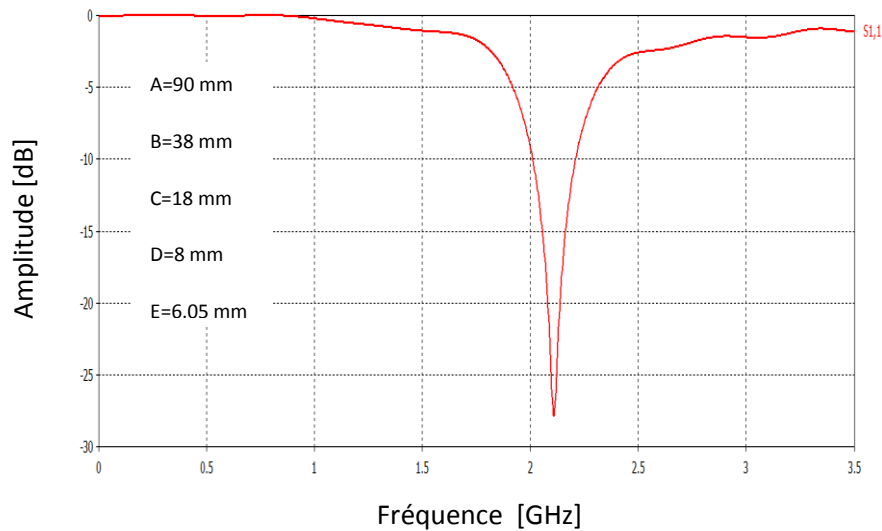
Les caractéristiques de rayonnement d'antenne PIFA en coordonnées polaire prennent les mêmes géométries graphique sous forme de cercle ce qui indique que le rayonnement est omnidirectionnel.



**Figure III. 26 :** Diagramme de rayonnement en polaire (a)  $\phi=90^\circ$ , (b)  $\phi=0^\circ$ .

### III. 3. 9. Antenne mono-bande fonctionnant à 2100 MHz pour l'UMTS

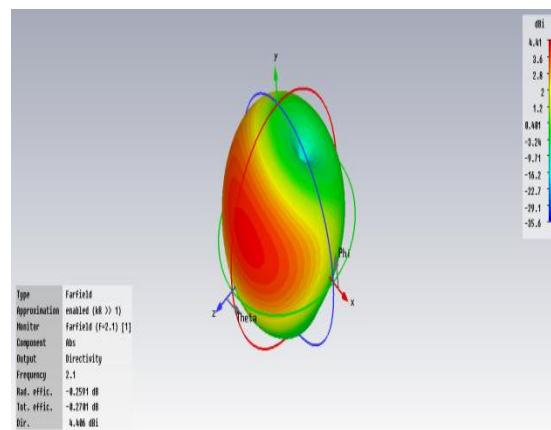
La simulation sera effectuée à l'aide de l'outil CST et les résultats sont dans la gamme De fréquence [0-3.5 GHz].



**Figure III. 27 :** Coefficient de réflexion  $S_{11}$  de l'antenne simulée.

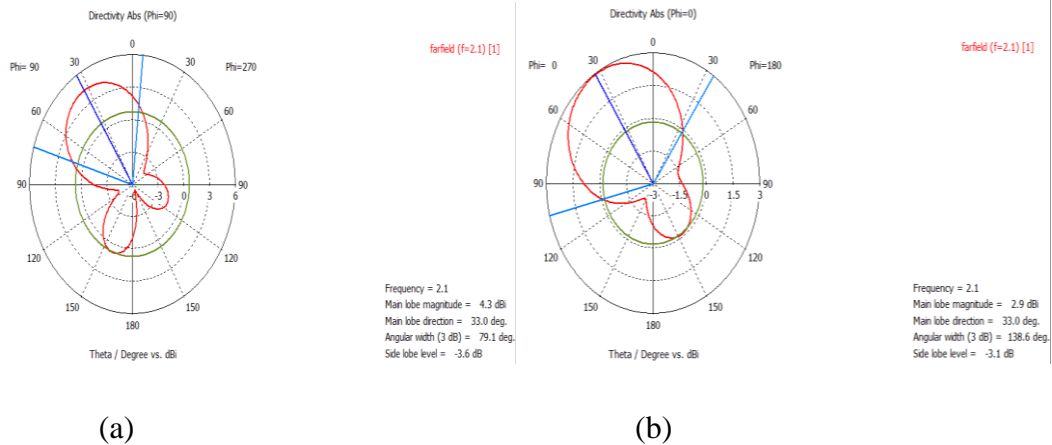
Nous pouvons en déduire de cette (figure III.27) que l'adaptation égale à -28 dB pour une fréquence de 2.1 GHz .

Le diagramme de rayonnement de l'antenne tracé pour les différents plans à la fréquence de 2.1GHz est représenté par la figure III.28 ce qui donne un rayonnement omnidirectionnel, ses résultat se sont bien visible sur le tracé en 3 D.



**Figure III. 28 :** Diagramme de rayonnement en 3D.

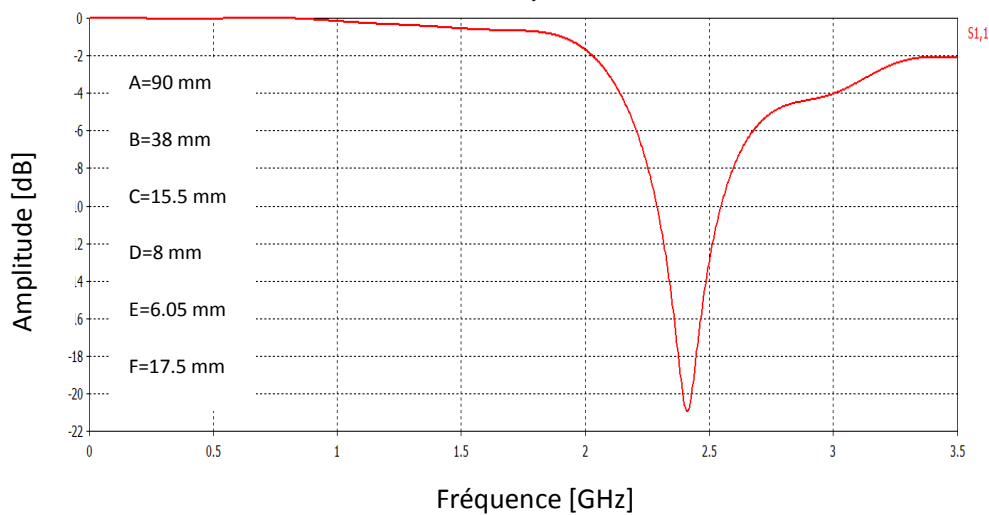
Les caractéristiques de rayonnement l'antenne PIFA en coordonnées polaire en plans E ( $\Phi=0^\circ$ ) et plan H ( $\Phi=0^\circ$ ) sont illustrés sur la figure III. 29.



**Figure III. 29 :** Diagramme de rayonnement en polaire (a)  $\phi=90^\circ$ , (b)  $\phi=0^\circ$ .

### III. 3. 10 . Antenne mono-bande fonctionnant à 2400 MHz pour application WIFI

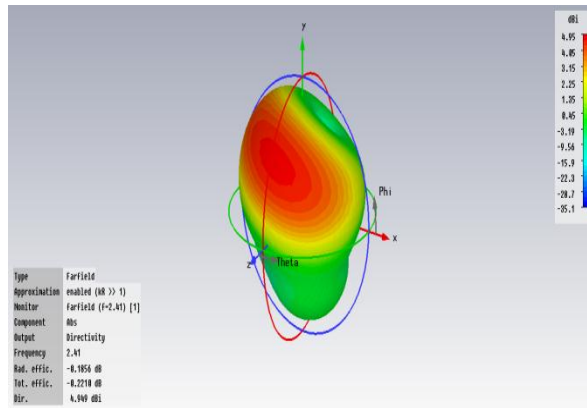
La simulation de l'antenne PIFA schématisée sur la figure III.30 en terme de puissance réfléchie est illustrée sur la figure ci- dessous.



**Figure III. 30 :** Coefficient de réflexion  $S_{11}$  de l'antenne simulée.

Les résultats obtenus avec logiciel CST montrent une meilleure précision sur l'adaptation de l'antenne avec un pic de l'ordre de -21 dB pour une fréquence de résonance de 2.4 GHz .

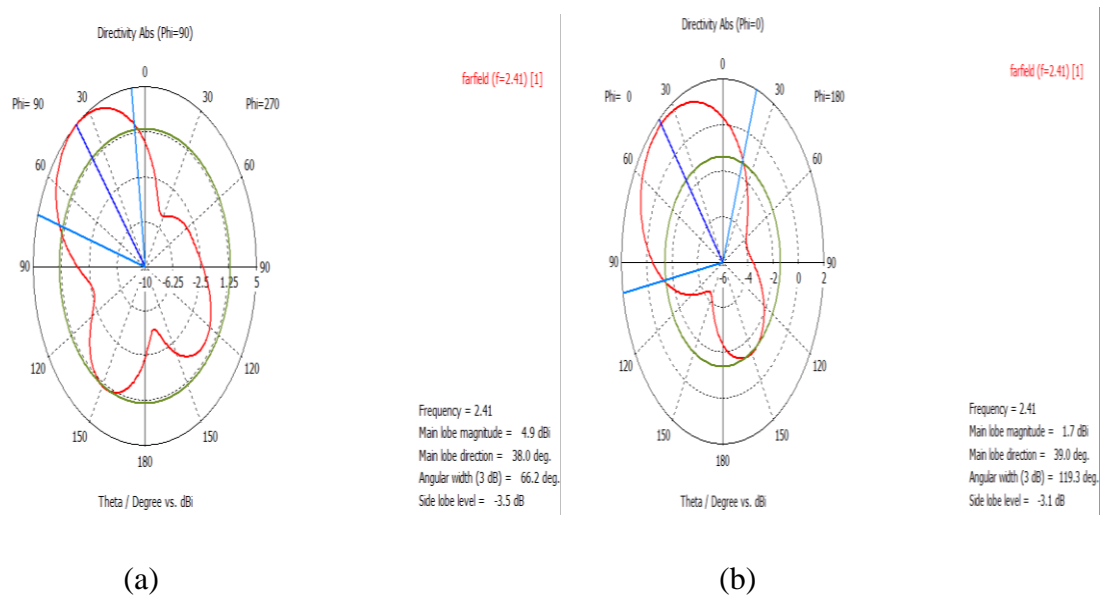
Le diagramme de rayonnement de l'antenne tracé pour les différents plans à la fréquence de 2400 MHz est représenté par la figure III.31



**Figure III. 31 :** Diagramme de rayonnement en 3D.

Les tracés des diagrammes de rayonnement en coordonnées polaires en plan E et H sont présentés successivement sur la figure III.16 (a) et III.16 (b).

D’après ces figures, nous observons que les diagrammes sont d’érigés suivant  $30^\circ$ .



**Figure III. 32 :** Diagramme de rayonnement en polaire (a)  $\phi=90^\circ$ , (b)  $\phi=0^\circ$ .

### III. 4. Antennes PIFA bi-bandes

Dans les nouvelles applications de télécommunications, l’antenne doit répondre à plusieurs standards de télécommunications GSM, DCS, PCS, UMTS, WIFI....etc. Afin de répondre à cet objectif, nous avons pensé à concevoir une antenne bi-bandes.

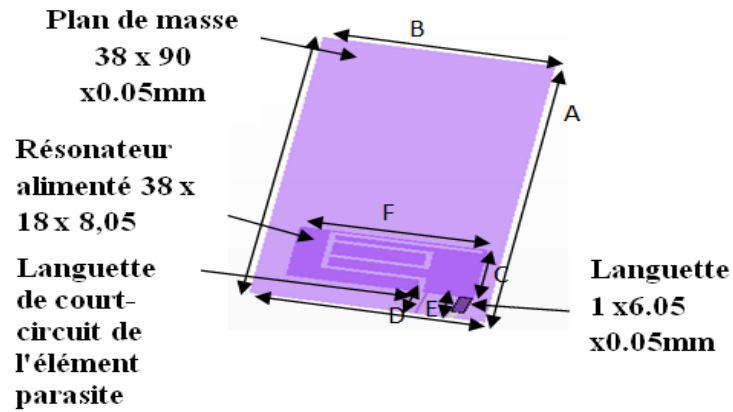


Figure. III. 33 : Géométrie de l'antenne PIFA bi-bandes.

### III. 4. 1. Antenne bi-bande fonctionnant à 900 MHz et 1800 MHz pour (GSM,DCS)

Les résultats des paramètres  $S_{11}$  de l'antenne PIFA bi-bande sont illustrés sur la Figure III. 34 dans une gamme de fréquence [0-3.5 GHz].

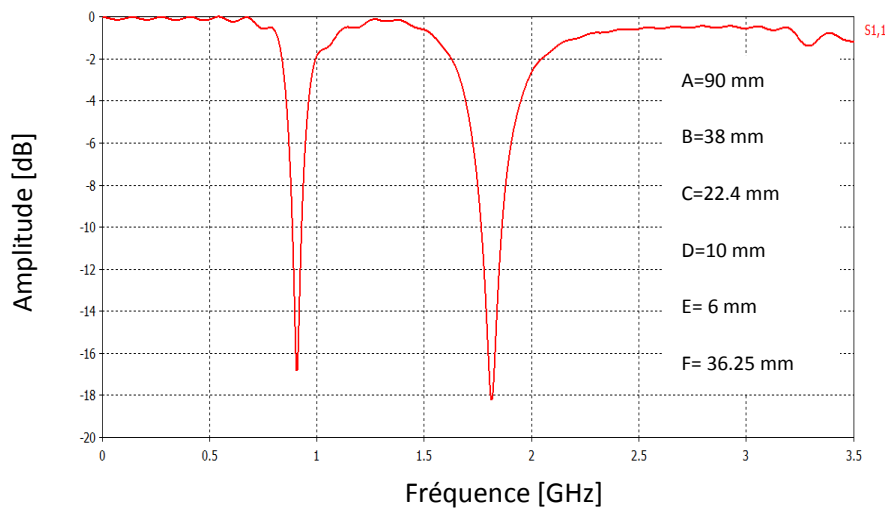
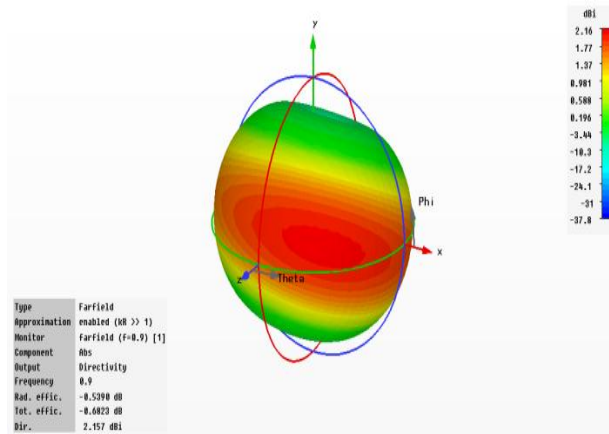


Figure III. 34 : Coefficient de réflexion  $S_{11}$  de l'antenne simulée.

D'après cette figure. III. 34, le pic correspond à la fréquence de résonance  $f=900$  MHz est de l'ordre de  $-16.8$  dB, et celui qui correspond à la fréquence de résonance  $f=1800$  MHz est de l'ordre de  $-18.5$  dB. Ceci confirme les bons résultats obtenus en termes d'adaptation.

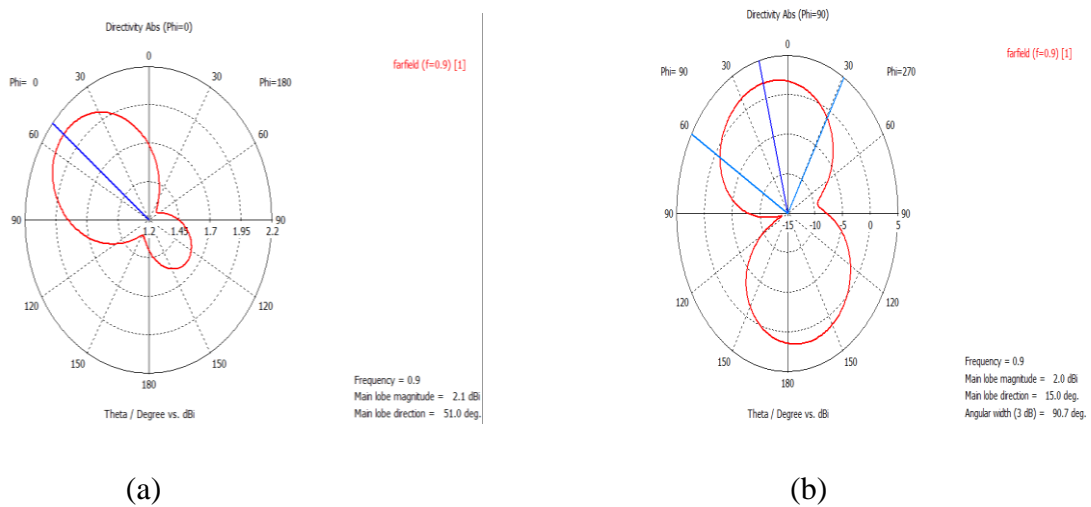
Le diagramme de rayonnement en 3D à la fréquence 900 MHz est illustré sur la figure III. 35.





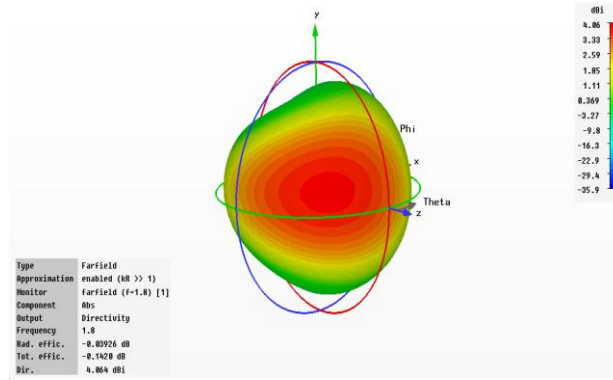
**Figure III. 35 :** Diagramme de rayonnement en 3D.

Le diagramme de rayonnement de l'antenne tracé pour les différents plans E et H à la fréquence de 0.9 GHz est représenté par la figure III. 36.



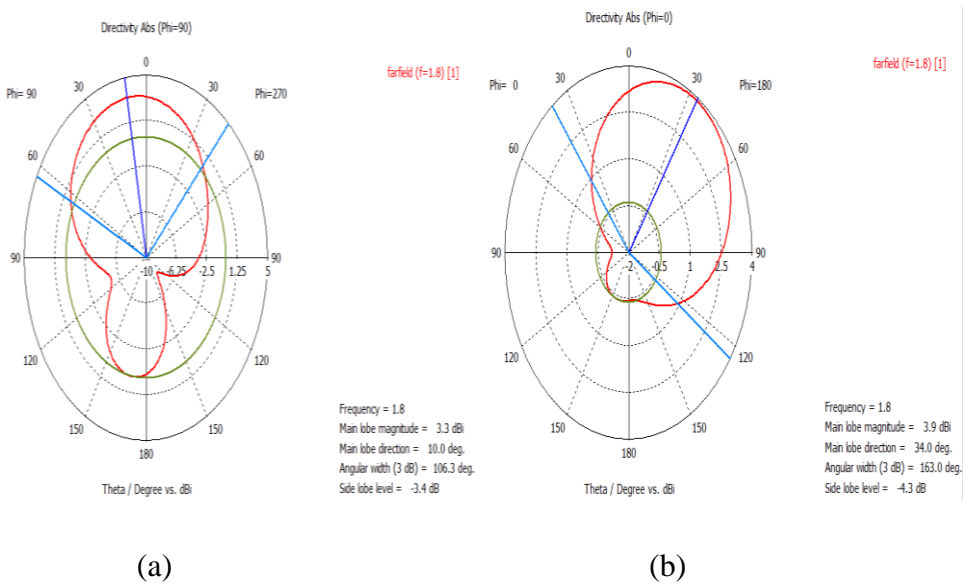
**Figure III. 36 :** Diagramme de rayonnement en polaire (a)  $\phi=90^\circ$ , (b)  $\phi=0^\circ$ .

Le diagramme de rayonnement en 3D à la fréquence 1800 MHz est illustré sur la figure III. 37.



**Figure III. 37 :** Diagramme de rayonnement en 3D.

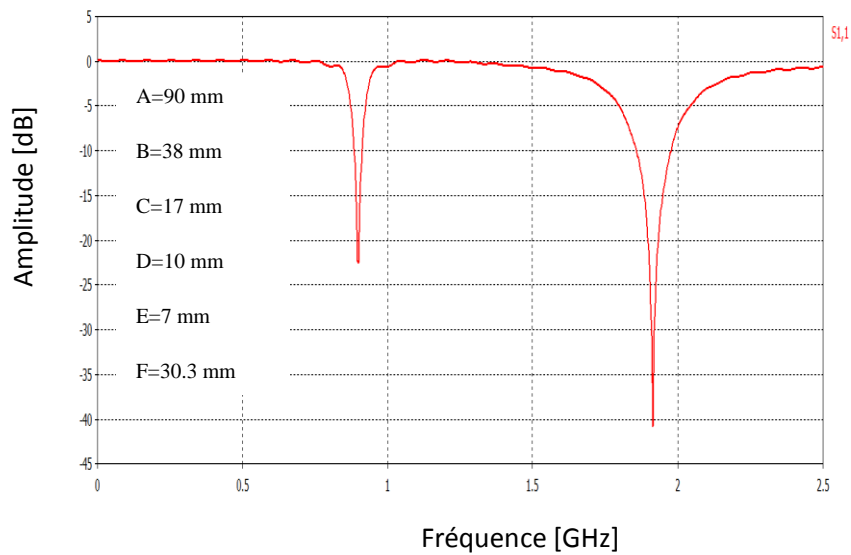
Le diagramme de rayonnement de l'antenne tracé pour les différents plans E et H à la fréquence de 1.8 GHz est représenté par la figure III. 38.



**Figure III. 38 :** Diagramme de rayonnement en polaire (a)  $\phi=90^\circ$ , (b)  $\phi=0^\circ$ .

### III. 4. 2. Antenne bi-bande fonctionnant à 900 MHz et 1900 MHz pour (GSM,PCS)

Les résultats des paramètres S de l'antenne PIFA bi-bande sont illustrés sur la figure III. 39 dans une gamme de fréquence [0-2.5 GHz].

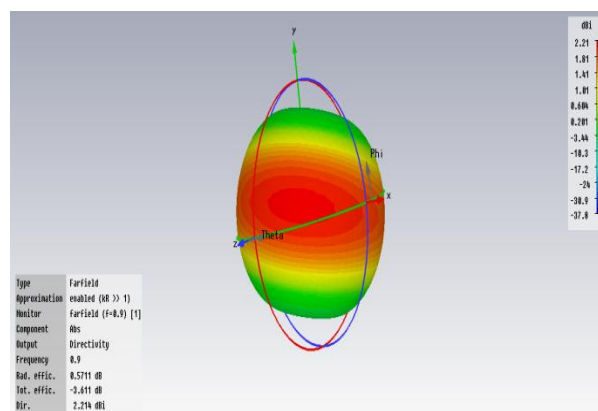


**Figure III. 39 :** Coefficient de réflexion  $S_{11}$  de l’antenne simulée.

Le coefficient de réflexion montré par la figure III. 39 représente un caractère bi-bande d’antennes utilisé ce qui reflète une bonne adaptation à la fréquence de résonance de chaque pic.

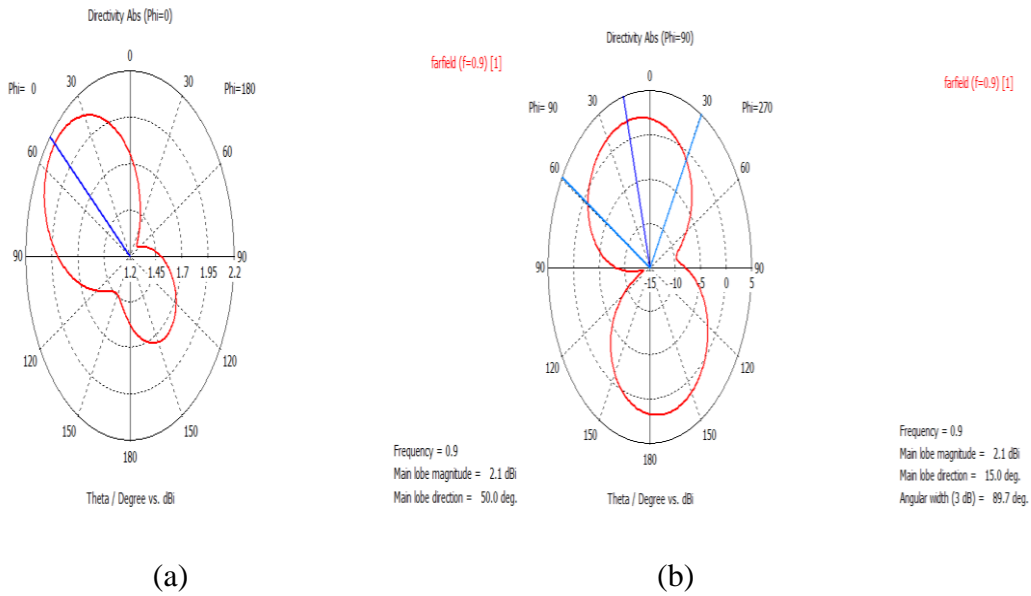
Pour la première fréquence de résonance  $f=900$  MHz donne un pic à  $-23$  dB et  $-40$  dB dont la deuxième fréquence  $f=1800$  MHz.

Le diagramme de rayonnement en 3D à la fréquence  $0.9$  GHz est illustré sur la figure III. 40.



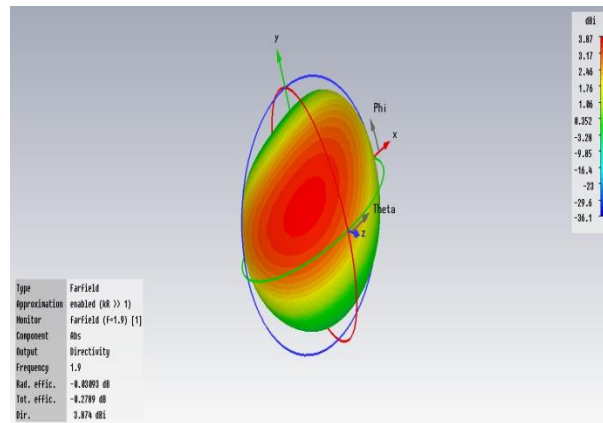
**Figure III. 40 :** Diagramme de rayonnement en 3D.

Le diagramme de rayonnement de l’antenne tracé pour les différents plans E et H aux fréquences  $0.9$  GHz est représenté par la figure III. 41.



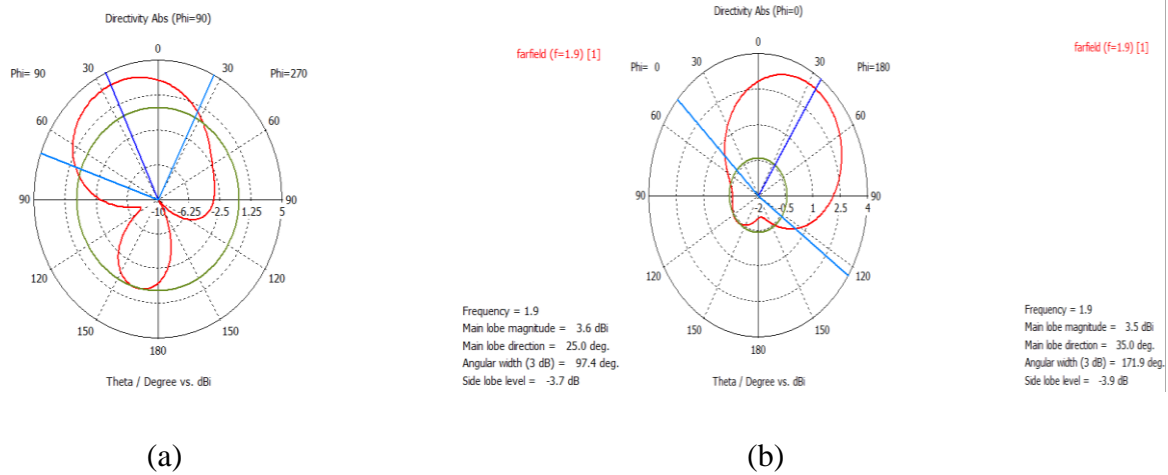
**Figure III. 41 :** Diagramme de rayonnement en polaire (a)  $\phi=90^\circ$ , (b)  $\phi=0^\circ$ .

Le diagramme de rayonnement en 3D à la fréquence 1.9 GHz est illustré sur la figure III. 42.



**Figure III. 42 :** Diagramme de rayonnement en 3D.

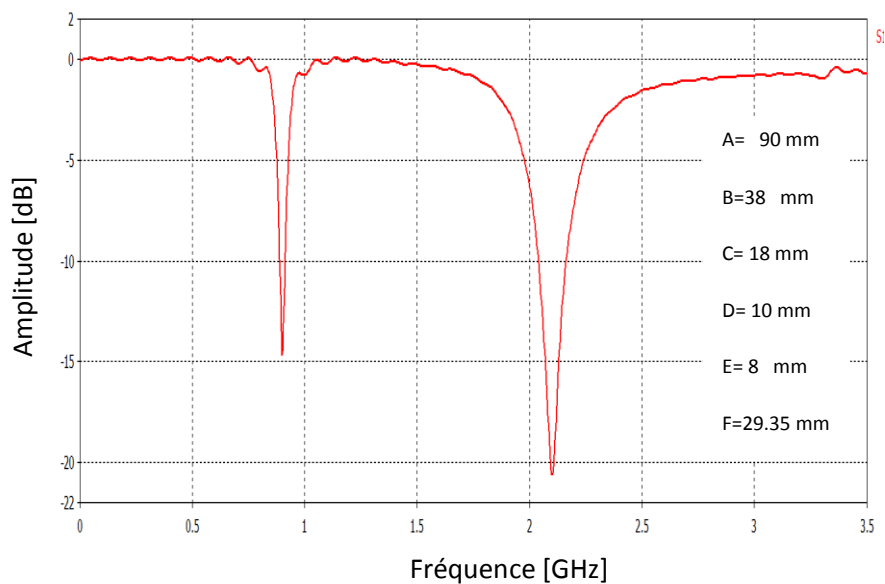
Le diagramme de rayonnement de l'antenne tracé pour les différents plans E et H à la fréquence 1.9 GHz est représenté par la figure III. 41.



**Figure III. 43 :** Diagramme de rayonnement en polaire (a)  $\phi=90^\circ$ , (b)  $\phi=0^\circ$ .

### III. 4. 3. Antenne bi-bande fonctionnant à 900 MHz et 2100 MHz pour (GSM,UMTS)

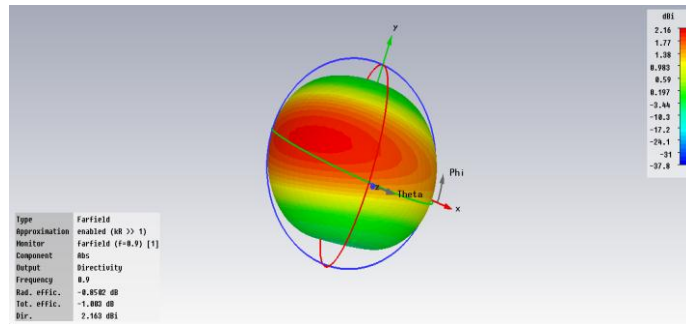
Sur la figure.III.44 on représente respectivement le coefficient de réflexion pour 900 MHz et 2100 MHz.



**Figure III. 44 :** Coefficient de refléxion  $S_{11}$  de l'antenne simulée.

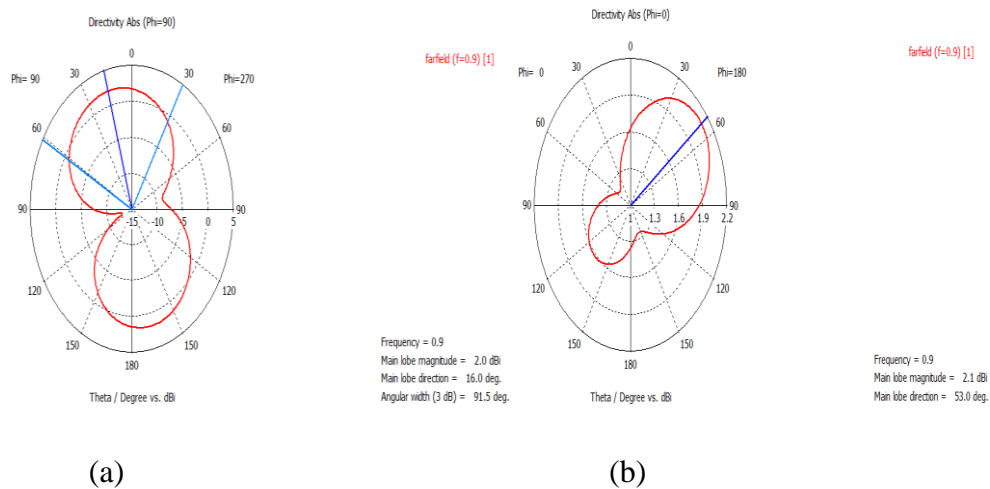
La figure III.44 illustre le coefficient de réflexion de notre antenne en fonction de la fréquence. Ce résultat nous montre la présence de résonances aux fréquences 900 MHz et 2100 MHz avec des niveaux du paramètre  $S_{11}$  de -14.9 dB et -22 dB respectivement.

La figure. III. 45 permet une visualisation 3D du diagramme de rayonnement à la fréquence 0.9 GHz.



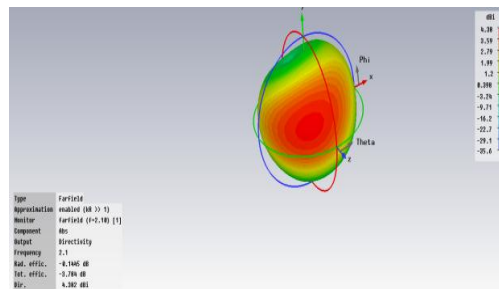
**Figure III. 45 :** Diagramme de rayonnement en 3D.

Le diagramme de rayonnement de l'antenne tracé pour les différents plans E et H à la fréquence 0.9 GHz est représenté par la figure III. 46.



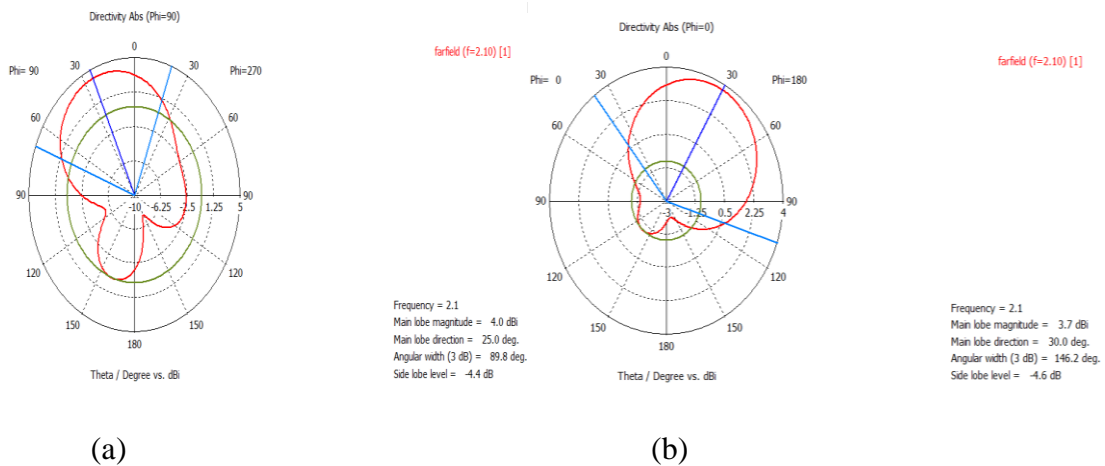
**Figure III. 46 :** Diagramme de rayonnement en polaire (a)  $\phi=90^\circ$ , (b)  $\phi=0^\circ$ .

Le diagramme de rayonnement en 3D à la fréquence 2.1 GHz est illustré sur la Figure III. 47.



**Figure III. 47 :** Diagramme de rayonnement en 3D.

Le diagramme de rayonnement de l'antenne tracé pour les différents plans à la fréquence 2.1 GHz est représenté par la figure III. 48.



**Figure III. 48 :** Diagramme de rayonnement en polaire (a)  $\phi=90^\circ$ , (b)  $\phi=0^\circ$ .

### III. 5. Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons fait la simulation des antennes PIFA mono-bandes distribuées aux normes GSM, DCS, PCS, UMTS et WIFI pour téléphonie mobile. Puisque l'antenne doit répondre à plusieurs standards à la fois, il était judicieux de penser à des antennes bi-bandes.

Les caractéristiques de rayonnement ont été également présentées en plus de l'adaptation.

Ces antennes développées peuvent servir pour la téléphonie mobile.

## Conclusion générale

Ce travail a été consacré à l'étude des antennes PIFA multi-bandes destinées aux standards de télécommunication GSM, DCS, PCS, l'UMTS, WIFI.

Dans le premier chapitre, nous sommes intéressés aux antennes PIFA qui représente un type spécifique des antennes miniatures et qui sont adéquates pour les diverses applications en communication sans fil.

Nous avons mis l'accent sur les type d'antennes PIFA multi-bande. Nous sommes intéressés par la suite sur la présentation des antennes PIFA qui représentent un type spécifique des antennes miniatures et qui sont adéquates pour les diverses applications en communication sans fil.

Le deuxième chapitre a été réservé à la présentation du logiciel de simulation CST Microwave studio.

Le troisième chapitre a été consacré aux antennes mono-bandes et multi-bandes qui assurent une capacité et un confort aux utilisateurs. Nous avons menu également une étude paramétrique.

Nous avons obtenu des meilleures performances en termes d'adaptation et rayonnement.

La recherche de technique de miniaturisation des antennes répondre aux nouvelles exigences technologique, il est certain que de nombreuse étude restent à mener dans le domaine des antennes.

L'antenne PIFA conçue peuvent être utilisé pour les systèmes GSM, DCS, PCS, l'UMTS et WIFI.



- [1] François Grange. «Matériaux composites pour antenne miniature intégrée » Thèse Doctorat de l'université rennes 1, novembre 2010.
- [2] Laure Huitema «Conception d'antennes miniatures à base de matériaux innovants pour systèmes de communications mobiles» : Thèse de doctorat de l'université de Limoges, 2011.
- [3] Grégory. BEDDELEEM. «Antennes multistandards combinées à polarisations Multiples pour les applications spatiales » : université de Nice-Sophia Antipolis avril 2008.
- [4] Marouf.F.Z. « Conception D'antennes pifa bi-bande » : mémoire de Master II université de Tlemcen 2009.
- [5] Miniaturisation des antennes UWB planaires) 25 octobre 2006 Université de Nice.
- [6] Aliou. Diallo «Systems Multi-Antennes pour diversités et Mimo» : Thèse de doctorat de l'université de Nice-Sophia Antipolis Novembre 2007.
- [7] Marouf.F.Z. « Conception D'antennes pifa bi-bande » : mémoire de Master II université de Tlemcen ,2009.
- [8] Chaib.M.A. « Conception D'antennes Large bande pour les terminaux téléphonique portable » : Mémoire d'ingénieur de l'université de Tlemcen ,2008.
- [9] Laboratoire d'Electronique, Antennes et Télécommunications «Antenne Miniature Quadri Bande GSM/DCS/PCS/UMTS» » Université de Nice-Sophia Antipolis.
- [10] Laboratoire d'électronique, Antennes et Télécommunications «Antenne PIFA Bi-Bande » Université de Nice-Sophia Antipolis/UMR-CNRS 6071 250 rue Albert Einstein, bât, Les Lucioles.
- [11] Thèse pour obtenir le grade de Docteur de l'Université de Limoges Discipline : « Electronique des Hautes Fréquences, Photonique et Systèmes »  
Présentée et soutenue par Adrien Godard le 27 octobre 2009
- [12] Laboratoire d'Electronique, Antennes et Télécommunications «Antenne Miniature Quadri bande GSM/DCS/PCS/UMTS» » Université de Nice-Sophia Antipolis.
- [13] Laboratoire d'Electronique, Antennes et Télécommunications «Antennes PIFA BI-Bande » Université de Nice-Sophia Antipolis/UMR-CNRS 6071 250 rue Albert Einstein, bât, Les Lucioles .
- [14] Université de limoges école doctorale Sciences et Ingénierie pour l'Information  
Faculté des Sciences et Techniques
- [15] C. Delaveaud CEA-LETI, Minatec Campus, Grenoble (Micro-antenne agile en bande UHF)
- [16] Docteur de L'Université de Grenoble délivré par l'Institut polytechnique de

Grenoble. Spécialité : «Optique et Radiofréquence» préparée au laboratoire France Télécom R&D et LCIS/INPG dans le cadre de l'Ecole Doctorale «Electronique, Electrotechnique, Automatique, télécommunications, Signal»

- [17] livre des réseaux sans fils.
- [18] Présentation du logiciel de simulation CST Studio Suite présente par : Mr. MERIAH S.M
- [19] CST 1998-2010 CST – Computer Simulation Technology AG All rights reserved.
- [20] Thèse pour l'obtention du Grade de docteur de l'université de Poitiers (Faculté des Sciences Fondamentales et Appliquées).
- [21] A Design of the Multi-band Chip Antenna Using Meander line PIFA Structure for Mobile Phone Handset Inho Cho, Cheonhee Lee, Yon ghee Lee, Jungkeun Oh, Jinwoo Jung, Hyeonjin Lee, Yeongseog Lim Dept. Electronics Engineering, Chonnam National University, Gwang-ju, Korea Dept. Electrical and Electronics, D. College, G.ju, Antenna R&D Division, ACE Antenna Corp, Incheon.
- [22] Soft Surfaces for Reducing Mutual Coupling Between Loaded PIFA Antennas Oscar Quevedo-Teruel, *Student Member, IEEE*, Luis Inclán-Sánchez, and Eva Rajo-Iglesias, *Senior Member, IEEE*
- [23] PIFA Bandwidth Optimization using Genetic Algorithm and Capacitive Feeding Giovani Bulla, Alvaro A. de Salles and Tan Phu Vuong, Electrical Engineering Department, Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS), Institut de Microélectronique Electromagnétisme et Photonique et le Laboratoire D'Hyperfréquences et de Caractérisation, Grenoble Institute of Technology (GINP).
- [24] A Compact Dual-Band PIFA for DVB-T and WLAN Applications Roberto Caso, Andrea D'Alessandro, Andrea A. Serra, Paolo Nepa, and Giuliano Manara T. Nakamura and K. Hatake, "Complex permeability of polycrystalline Hexagonal ferrites," *IEEE Trans. Magn.*
- [25] M. Pardavi-Horvath, "Microwave applications of soft ferrites," *J. Magn. Master.*
- [26] Thèse présentée à l'université Bordeaux Ecole Doctorale Des Science Physique

Et de l'ingénieur par Laurent oyh'Enart pour Obtenir le Grade de docteur Spécialité électronique modélisation ,Réalisation et Caractérisation De cristaux photonique tridimensionnels en vue d'applications à la Compatibilité électromagnétique .

- [27] Basic of measuring the dielectric properties of materials,” Agilent Application Note 5989-2589EN Apr. 28, 2005. H. A. Wheeler, “Fundamental limitations in antennas,” Proc. IEEE, vol.