

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
– جامعة أبي بكر بلقايد– تلمسان –
Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen –



THESE

Présentée pour l'obtention du **grade de DOCTEUR** 3^{ème} cycle LMD

En : Télécommunications

Spécialité : Signaux et Systèmes de Télécommunication

Par : BELGACEM Nassima

Sujet

**Contribution à l'Optimisation, la Conception et la Réalisation des Nouvelles Topologies
d'Antennes d'Emission et de Réception Multi-bandes pour les Communications Sans fil
Modernes**

Soutenue publiquement en Juin 2019 devant le jury composé de:

BENADDA Belkacem	Professeur	Univ. Tlemcen	Président
ABRI Mehadji	Professeur	Univ. Tlemcen	Directeur
CHAKER Hicham	Maitre de conférences (A)	Univ. Sidi Bel Abbas	Examineur
FASSI Benattou	Maitre de conférences (A)	Univ. Sidi Bel Abbas	Examineur

Remerciements

Avant tout, je remercie ALLAH pour m'avoir aidé à réaliser ce présent travail.

Ce travail a été effectué au laboratoire de Télécommunications LTT de la faculté de Technologie de l'Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen sous la direction du Professeur ABRI Mehadji.

J'exprime toute ma gratitude à mon promoteur le professeur ABRI Mehadji de l'Université de Tlemcen de m'avoir dirigé et guidé dans la mise en œuvre de cette thèse. Ses critiques constructives, remarques et précieux conseils ont contribué à faire progresser mes recherches dans le domaine de télécommunications et notamment d'avoir des idées sur les différents travaux de recherche qu'ils effectuent, ainsi que pour sa disponibilité tout au long de mon travail de thèse.

J'exprime ma profonde reconnaissance au Professeur BENADDA Belkacem d'avoir accepté de présider le jury de cette thèse de doctorat et de nous honorer par sa présidence.

Je remercie également monsieur CHAKER Hicham, Maître de conférences classe (A) de l'Université Sidi Bel Abbes, pour avoir voulu examiner notre travail et à l'intérêt qu'ils ont bien voulu porter à cette thèse de doctorat.

J'exprime mes vifs remerciements à monsieur FASSI Benattou, Maître de conférences classe (A) à l'Université de Sidi Bel Abbes, pour l'honneur qu'il nous a fait d'accepter de juger ce modeste travail.

J'adresse mes sincères remerciements à Madame ABRI née BADAOUI Hadjira Maître de conférences Classe (A) d'Université de Tlemcen ainsi à Monsieur HABIBES Lotfi pour le temps qui ont consacré à l'amélioration de ce document.

Mes remerciements s'adressent également au professeur GHASALLAH Ali de l'Université de Tunis El Manar 1 de m'avoir accueilli dans son laboratoire de recherche scientifique. La qualité supérieure de formation dont le contact continu avec les professeurs et les chercheurs dans le domaine, nous ont permis d'acquérir le maximum de connaissance et d'expérience supplémentaires dans le domaine de télécommunications. Un élément très important aussi est celui du contact avec tout ce

qui est apporté par de nouveaux exposés dans différentes occasions, telles que les conférences ou d'autres activités scientifiques.

Afin de ne pas oublier toutes les personnes qui m'ont soutenu, aidé et encouragé pendant la préparation de cette thèse doctorat : je pense notamment à ma mère, à mes sœurs et frères, à ma famille, à tous mes copines et à tous mes collègues.

Enfin, un merci tout spécial à toute personne ayant contribué d'une manière ou d'une autre à l'aboutissement de ce travail de thèse de doctorat.

Dédicaces

Je dédie ce travail à ma très chère mère et à la mémoire
de mon père.

À mes sœurs Wahiba, Samira.

À mes frères Ismail, Mohammed.

À la famille Belgacem.

À mes copines.

À mes collègues.

À tous ceux qui aiment Belgacem.

Résumé

Cette thèse porte sur l'étude, la conception, la fabrication et la mesure des nouvelles topologies des antennes dotées de nombreuses fonctionnalités qui sont dédiées aux applications sans fil. Il est devenu impératif de concevoir des antennes multibandes pour les terminaux de communication sans fil personnels actuels nécessaires à la prise en charge de divers standards et services de communication mondiaux. Ces dispositifs d'antennes de communication modernes devraient pouvoir fonctionner dans les bandes de fréquences maximales possibles avec un coefficient de réflexion et des performances de rayonnement acceptables. Afin de servir plusieurs applications de communications cellulaires et non cellulaires. Les performances multibandes pour nos antennes doivent comporter des structures compactes, robustes, faciles à fabriquer, faible coût et flexibles. L'avancement rapide de la communication sans fil résultant de la nouvelle demande des antennes imprimées doivent être développées et miniaturisées pour fournir des applications multibandes. Son profil simple et sa taille compacte sont parfaitement adaptés aux normes de communication sans fil actuel. Les résultats de mesures des paramètres S fournis par le logiciel CST (Microwave Studio) sont comparés à ceux obtenus par le logiciel HFSS (High Frequency Structure Simulator). Les antennes conçues présentent un bon rayonnement, gain et efficacité. Les résultats fournis confirment le succès de la conception des antennes proposées.

Mots clés: Antennes multibandes, PIFA, plan de masse partiel, WIMAX, Wi-Fi, WLAN, conception, CST, HFSS.

Abstract:

This thesis deals with the study and design, manufacture and measurement of new antenna topology with many features that are dedicated to wireless applications. It has become imperative to design Multi-band antennas for the current personal wireless communication terminals required to support various global communication standards and services. The antennas of these modern communication devices should be able to operate in the maximum possible frequency bands with acceptable reflectance and radiation performance, in order to serve several cellular and non-cellular communications applications the Multi-band performance for our antennas must include compact structures, robust, easy to manufacture, low cost and flexible. The rapid development of wireless communication resulting from the new demand for printed antennas such as PIFA, partial-plane antennas and antennas powered by a CPW line must be developed and miniaturized to provide Multi-band applications. Its simple profile and compact size are perfectly adapted to current wireless communication standards. The measurement results of the S parameters provided by the CST microwave Studio software are compared with those obtained by the HFSS software. The designed antennas have good radiation, gain and efficiency. The results provided confirm the success of the proposed antenna design.

Key words: multiband antennas, partial ground plane, WIMAX, Wi-Fi, WLAN, design, CST, HFSS.

ملخص:

تتناول هذه الأطروحة دراسة وتصميم وتصنيع وقياس طوبولوجيا الهوائي الجديدة مع العديد من الميزات المخصصة للتطبيقات اللاسلكية فأصبح من الضروري تصميم هوائيات متعددة النطاقات لمحطات الاتصالات اللاسلكية الحالية المطلوبة لدعم مختلف معايير وخدمات الاتصالات العالمية. يجب أن تكون الهوائيات أجهزة الاتصال الحديثة قادرة على العمل في أقصى نطاقات تردد ممكنة مع أداء انعكاس وإشعاعي مقبول من أجل خدمة العديد من تطبيقات الاتصالات الخلوية وغير الخلوية التي تتوافق مع المتطلبات المطلوبة، الهوائيات المقترحة يجب أن تكون سهلة الصنع، منخفضة التكلفة ومرنة. يعمل التطور السريع للاتصالات اللاسلكية في زيادة الطلب على الهوائيات المطبوعة مثل الهوائيات PIFA والهوائيات ذات المستوى الجزئي والهوائيات المدعومة بخط CPW ، وذلك من أجل توفير تطبيقات متعددة النطاقات وفقاً لمعايير الاتصالات اللاسلكية الحالية. تتم مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها بواسطة برنامج HFSS , CST. تؤكد النتائج المقدمة نجاح تصميم الهوائي. الهوائيات المصممة لها إشعاع جيد وكسب وكفاءة.

الكلمات المفتاحية:

الهوائيات متعددة النطاقات, تصميم, WLAN , Wi-Fi , WIMAX , HFSS , CST.

Sommaire

Remerciments	i
Dédicace.....	iii
Résumé.....	iv
Abstract	v
ملخص	vi
Sommaire.....	vii
Liste des figures	xi
Liste des tableaux	xv
Liste des acronymes.....	xvi
Introduction générale	1
Références	4

Chapitre I: Généralités sur les antennes miniatures

I.1 Introduction.....	5
I.2 Historique de la téléphonie mobile.....	5
I.3 Le marché de la téléphonie mobile.....	9
I.4 Définition d'antenne.....	9
I.5 Les antennes miniatures pour les applications mobiles.....	10
I.5.1 Antenne dipôle externe.....	10
I.5.2 Antenne hélice.....	11
I.5.3 Antenne monopole.....	12
I.5.4 Antennes internes.....	12
I.5.5 Antenne fractale.....	12
I.5.5.1 Antenne triangle de Sierpinski.....	13
I.5.6 Antenne PIFA.....	14
I.5.7 Antenne Vivaldi.....	16
I.5.8 Antenne imprimée.....	17
I.5.8.1 Éléments rayonnants.....	17
I.6 Techniques d'alimentation des antennes imprimés.....	18
I.6.1 Alimentation par ligne micro-ruban dans le plan de l'élément rayonnant.....	18

I.6.2	Alimentation par sonde coaxiale.....	18
I.6.3	Alimentation par ouverture (ou par fente).....	19
I.6.4	Alimentation par proximité.....	20
I.6.5	Alimentation par guide d'onde coplanaire.....	20
I.7	Domaine d'application d'antennes miniatures.....	21
I.7.1	Les télécommunications spatiales.....	21
I.7.2	Les applications médicales.....	22
I.7.3	La téléphonie mobile.....	23
I.7.3.1	Types d'appareils utilisés.....	23
I.7.4	Les radars.....	28
I.7.5	Les applications RFID et NFC.....	29
I.7.6	Les automobiles.....	30
I.7.7	La sécurité.....	32
I.7.8	Les maisons intelligentes.....	33
I.8	Standardisation pour les applications de la téléphonie mobile.....	34
I.8.1	Présentation de la norme UMTS.....	34
I.8.2	Présentation de la norme LTE.....	35
I.8.3	Présentation de la norme WIMAX.....	35
I.8.4	Présentation de la norme WI-FI.....	36
I.9	Les antennes multibandes.....	36
I.10	Les techniques de miniaturisation des antennes imprimées.....	37
I.10.1	Modification de l'élément rayonnant.....	38
I.10.2	Ajout de court-circuit.....	39
I.10.2.1	les types de court-circuit.....	39
I.10.2.1.1	Court-circuit plan.....	39
I.10.2.1.2	Court-circuit languette	40
I.10.3	Ajout de fentes.....	40
I.10.3.1	Fente demi –onde (non débouchante).....	41
I.10.3.2	Fente quart d'onde (débouchante).....	42
I.10.4	Création de nouveaux résonateurs.....	42
I.10.5	Chargement capacitif.....	43
I.10.5.1	Insérés en bout l'élément.....	43
I.10.5.2	Dans l'élément.....	43

I.10.6 Allongement des longueurs électriques.....	44
I.10.7 Replie ment.....	44
I.11 Les avantages et les inconvénients des antennes imprimées.....	45
I.11.1 Les avantages.....	45
I.11.2 Les inconvénients.....	45
I.12 Conclusion.....	45
Références.....	49

Chapitre II: Conception des antennes PIFA multibandes

II.1 Introduction.....	50
II.2 Les applications sans fil.....	51
II.3 Méthodologie de conception d'antennes PIFA.....	52
II.4 Conception d'antenne proposée.....	53
II.5 Résultats de simulations.....	54
II.5.1 Etude paramétrique.....	54
II.5.2 Le gain de l'antenne.....	58
II.6 Antenne PIFA fractale et méandre.....	58
II.7 Résultats et discussions.....	59
II.7.1 Coefficient de réflexion.....	59
II.7.2 Le gain de l'antenne.....	64
II.8 Conception d'antenne PIFA multibandes.....	64
II.9 Résultats et discussions.....	65
II.9.1 Coefficient de réflexion.....	65
II.9.2 Le gain de l'antenne.....	70
II.10 Conclusion.....	71
Références.....	73

Chapitre III: Conception et réalisation des antennes à plan de masse partiel

III.1 Introduction.....	74
III.2 Alimentation par ligne microruban.....	75
III.3 Conception d'antenne.....	76
III.4 Résultats de simulations.....	78
III.4.1 Coefficient de réflexion S_{11}	78
III.4.2 Etude paramétrique.....	79

III.5 Résultats de mesures et discussions.....	80
III.5.1 Coefficient de réflexion S_{11}	81
III.5.2 Comparaison des résultats de simulation.....	82
III.5.3 Le gain de l'antenne.....	83
III.6 Antenne bibande avec fentes de formes U.....	84
III.7 Résultats de simulation.....	86
III.7.1 Etude paramétrique.....	86
III.7.2 Comparaison entre les résultats simulée et mesurée.....	88
III.7.3 Le gain de l'antenne.....	90
III.8 Distribution des courants.....	91
III.9 Conclusion.....	93
Références	96

Chapitre IV: Conception d'antenne alimentée par une ligne coplanaire CPW

IV.1 Introduction.....	97
IV.2 La ligne de transmission coplanaire CPW.....	98
IV.3 Etude paramétrique de la ligne d'alimentation.....	98
IV.4 Conception d'antenne.....	100
IV.5 Résultats et discussions.....	101
IV.5.1 Étude paramétrique.....	101
IV.5.2 Coefficient de réflexion.....	102
IV.5.3 Le gain.....	105
IV.6 Distribution du courant.....	106
IV.7 Antenne bibande.....	108
IV.8 Résultats de simulations.....	109
IV.8.1 paramétrique.....	109
IV.8.2 Coefficient de réflexion.....	110
IV.8.3 Le gain de l'antenne	113
IV.9 Conclusion.....	114
IV.10 Références.....	116
Conclusion générale.....	117
Annexe	119
Les travaux scientifiques	125

Liste des figures

Chapitre I: Généralités sur les antennes miniatures

Figure I. 1: Évolution des terminaux mobiles de communication.....	8
Figure I.2: Évolution des terminaux mobiles de communication 5G.....	8
Figure I.3: Ventes de Smartphone dans le monde en 2012.....	9
Figure I.4: Principe de transmission par onde électromagnétique.....	10
Figure I.5: Antenne dipôle.....	10
Figure I.6: Motorola dyna TAC 8000X, premier téléphone mobile commercial.....	11
Figure I.7: Exemples d'antenne hélice.....	11
Figure I.8: Exemple d'antenne monopole.....	12
Figure I.9: Différents types d'antennes fractales.....	13
Figure I.10: Exemple d'une antenne de Sierpinski.....	13
Figure I.11: Structure d'antenne PIFA.....	14
Figure I.12: Exemple d'antenne PIFA intégré dans un appareil mobile.....	15
Figure I. 13: Exemple d'une antenne miniature IFA et monopoles repliés.....	16
Figure I.14: Les types d'antennes Vivaldi.....	16
Figure I.15: Structure d'une antenne imprimée.....	17
Figure I.16: Divers types d'éléments rayonnants.....	17
Figure I.17: Une alimentation par ligne microbande.....	18
Figure I.18: Une alimentation par sonde coaxiale.....	19
Figure I.19: Une alimentation par fente.....	19
Figure I.20: Une alimentation par proximité.....	20
Figure I.21: Une alimentation par guide d'onde coplanaire (CPW).....	20
Figure I.22: Antenne de réception pour les applications spatiales.....	22
Figure I.23: Exemple des antennes pour les applications spatiales.....	22
Figure I.24: Exemples d'antennes dans des applications médicales.....	23
Figure I.25: Exemples de terminaux mobiles: (a) téléphone à écran tactile, (b) tablette, (c) dongle USB 3G.....	24
Figure I.26: exemple sur les différents produits Wireless USB.....	24
Figure I. 27: Antennes intégrées dans un smartphone.....	25
Figure I.28: Exemples d'antennes réalisées en tôle pliée: (a) antenne d'amphenol airwave, (b) antenne PIFA de Sagem, (c) antenne b bande du Nokia 8210.....	25
Figure I.29: Exemples d'antennes réalisées sur PCB: (a) antenne méandre simple accès, (b) antenne méandree double accès, (c) antenne simple accès avec parasite.....	26
Figure I.30: Exemples d'antennes en céramique: (a) antenne pour wifi /bluetooth, (b) antenne monopole de panasonic.....	26

Figure I.31: Exemples d'antenne MID: (a) pour applications mobiles, (b) GSM produite par Tyco....	27
Figure I.32: Détail de l'intérieur du HTC desire S.....	27
Figure I.33: Exemple d'antenne de réception dans les applications Radar.....	28
Figure I.34: Exemple d'antenne d'émission dans les applications Radar.....	28
Figure I.35: Quelques exemples de dispositifs réalisés au laboratoire: Antenne RFID (a), (b) Lignes coplanaires imprimées sur support souple, (c) Résistances multiniveaux	29
Figure I.36: Exemples sur l'application d'antennes dans la technologie NFC.....	30
Figure I.37: Exemple d'antennes dans les automobiles.....	31
Figure I.38: Exemple d'antennes pour la détection de personnes ensevelies sous la neige.....	32
Figure I.39: Détection de personnes derrière un mur.....	32
Figure I.40: Des exemples des maisons intelligentes	33
Figure I.41: Les réseaux sans fil.....	34
Figure I.42: Evolution des réseaux sans fil.....	35
Figure I.43 : Illustration montrant comment et ou la technologie sans fil remplace la technologie avec fil.....	36
Figure I.44: Prototypé d'antenne pour un fonctionnement sur trois bandes: (a) vue dessus, (b) vue dessous.....	37
Figure I.45 : Les méandres latéraux.....	38
Figure I.46: Les méandres latéraux et verticaux.....	38
Figure I.47 : Cartographie du champ E dans la cavité d'une antenne micro ruban.....	39
Figure I.48 : Un court-circuit plan.....	40
Figure I.49 : Un court-circuit de type languette.....	40
Figure I.50 : Allongement du trajet des courants par ajout de fentes.....	41
Figure I.51: Antenne avec fente non débouchante.....	41
Figure I.52: Antenne avec fente débouchante.....	42
Figure I.53: Antenne PIFA avec fentes.....	42
Figure I.54: Différents types de charment capacitifs inséré en bout d'élément.....	43
Figure I.55: Chargement capacitif inséré dans l'élément.....	43
Figure I.56: Allongement des longueurs électriques par fentes débouchant ou non débouchant.....	44
Figure I.57: (a) Illustration d'une antenne repliée (b) repliement vertical.....	44

Chapitre II: Conception des antennes PIFA multibandes

Figure II.1: La méthodologie de conception des antennes PIFA.....	52
Figure II.2: La géométrie de l'antenne proposée.....	53
Figure II.3: Coefficient de réflexion S_{11} de l'antenne simulée.....	54
Figure II.4: Diagramme de rayonnement en coordonnées polaires calculé à la fréquence: (a) 1.81 GHz, (b) 2.53 GHz.....	55

Figure II.5: Diagramme de rayonnement en coordonnées polaires à la fréquence: (a) 5.26 GHz, (b) 5.50 GHz.....	56
Figure II.6: Coefficient de réflexion de l'antenne PIFA multibande.....	57
Figure II.7: Le gain en fonction de la fréquence de l'antenne simulée.....	58
Figure II.8: La géométrie de l'antenne proposée.....	59
Figure II.9: Coefficient de réflexion S_{11} à l'entrée de l'antenne PIFA.....	60
Figure II.10: Diagramme de rayonnement en coordonnées polaires à la fréquence: (a) 2.17 GHz, (b) 3.40 GHz, (c) 3.97 GHz.....	61
Figure II.11: Diagramme de rayonnement en coordonnées polaires à la fréquence: (a) 5.3 GHz, (b) 5.10 GHz.....	62
Figure II.12: Diagramme de rayonnement en coordonnées polaires simulée à la fréquence: (a) 5.65 GHz, (b) 6.45 GHz.....	63
Figure II.13: La variation de gain en fonction de la fréquence.....	64
Figure II.14: La géométrie de l'antenne proposée.....	65
Figure II.15: Coefficient de réflexion de l'antenne PIFA multibande.....	66
Figure II.16: Diagrammes de rayonnement de l'antenne proposée à différentes fréquences a 2.07 GHz, (b) 4.8 GHz, (c) 5.05 GHz, (d) 5.35 GHz, (e) 5.75 GHz, (f) 6.13 GHz, (g) 7.83 GHz.....	70
Figure II.17: Le gain en fonction de la fréquence.....	70

Chapitre III: Conception et réalisation des antennes à plan de masse partiel

Figure III.1: Alimentation par ligne microruban.....	75
Figure III.2: Antenne à quatre coins tronqués imprimée. (a) Vue de face, (b) Vue arrière.....	77
Figure III.3: Coefficient de réflexion simulée pour l'antenne bi-bande.....	79
Figure III.4: Coefficient de réflexion simulées pour différentes valeurs.....	79
Figure III.5: Antenne de base fabriquée: (a) Vue de face, (b) Vue arrière.....	80
Figure III.6: Comparaison de coefficient de réflexion S_{11} mesuré et simulé à l'entré de l'antenne bibande.....	81
Figure III.7: Diagrammes de rayonnement simulés pour l'antenne proposée à 3.52 GHz, 5.74 GHz...	83
Figure III.8: Le gain en fonction de la fréquence de résonance.....	83
Figure III.9: Antenne à géométrie de base: (a) vue de dessus, (b) vue de dessous.....	85
Figure III.10: Coefficient de réflexion avec variation de (s).....	86
Figure III.11: Prototype réalisé de l'antenne a plans de masse partielle. (a) Vue de face, (b) Vue de dessous.....	87
Figure III.12: Comparaison entre les simulations fournies par CST Microwave Studio et les mesures.	88
Figure III.13: Diagrammes de rayonnement simulés pour l'antenne bi-bande à 3.70 GHz, 5.79 GHz.	90
Figure III.14: Le gain en fonction de la fréquence de visionnage.....	91
Figure III.15: Distributions du courant de l'antenne proposée à 3.7 GHz.....	91

Figure III.16: Distribution du courant de surface de l'antenne proposée à 3.7 GHz.....	92
Figure III.17: Distributions du courant de l'antenne proposée à 5.79 GHz.....	92
Figure III.18: Distribution du courant de surface de l'antenne proposée à 5.79 GHz.....	93

Chapitre IV: Conception d'antenne alimentée par une ligne coplanaire CPW

Figure IV.1: Ligne de guide d'ondes coplanaire.....	98
Figure IV.2: Paramètres géométriques de la ligne coplanaire.....	99
Figure IV.3: Prototype d'antenne de base.....	100
Figure IV.4: Coefficient de réflexion simulée pour différentes valeurs.....	102
Figure IV.5: Coefficient de réflexion de l'antenne simulée.....	102
Figure. IV.6: Diagrammes de rayonnement simulés pour une antenne bibande à 2.47 GHz, 5.32 GHz pour le plan E ($\Phi = 0$) et le plan H ($\Phi = 90$).....	105
Figure IV.7: La variation du gain en fonction de la fréquence.....	105
Figure IV.8: Distribution du courant de l'antenne proposée à 2.47 GHz.....	106
Figure IV.9: Distribution du courant de surface de l'antenne proposée 2.47 GHz.....	107
Figure IV.10: Distribution du courant de l'antenne proposée à 5.32 GHz.....	107
Figure IV.11: Distribution du courant de surface de l'antenne proposée à 5.32 GHz.....	107
Figure IV.12: Prototype d'antenne de base simulé.....	108
Figure IV.13: Coefficient de réflexion avec variation de (S1).....	109
Figure IV.14: Coefficient de réflexion de l'antenne simulée.....	110
Figure IV.15: Diagrammes de rayonnement simulés pour l'antenne bibande à 2.56 GHz, 5.73 GHz	112
Figure IV.16: La variation de gain en fonction de la fréquence.....	113

Liste des tableaux

Chapitre I: Généralités sur les antennes miniatures

Tableau I.1: Historique de la téléphonie mobile.....	8
Tableau I.2: Points forts et faibles de la technique fractale.....	14
Tableau I.3: Les différents points forts et faibles d'antennes PIFA.....	15
Tableau I.4: Comparaison entre les différentes techniques d'alimentations.....	21

Chapitre II: Conception des antennes PIFA multibandes

Tableau II.1: Applications sans fil	51
Tableau II.2 : Paramètres géométriques de l'antenne proposée.....	54
Tableau II.3: Les fréquences de l'antenne simulée.....	54
Tableau II.4 : Variation du gain de l'antenne simulée.....	58
Tableau II.5: Paramètres géométriques de l'antenne proposée.....	59
Tableau II.6: Variation du gain de l'antenne simulée.....	65
Tableau II.7: Dimensions de l'antenne.....	66
Tableau II.8: Les fréquences de l'antenne simulée.....	67
Tableau II.9: Variation du gain d'antenne simulée.....	71

Chapitre III: Conception et réalisation des antennes à plan de masse partiel

Tableau III.1: Paramètres géométriques de l'antenne de base.....	78
Tableau III.2: Comparaison entre le logiciel CST, HFSS et le résultat de mesure.....	82
Tableau III.3: Gain de l'antenne proposée aux différentes fréquences.....	84
Tableau III.4: Un tableau comparatif avec les travaux existants.....	84
Tableau III.5: Résultats de l'antenne simulée pour différentes valeurs de S.....	86
Tableau III.6: Paramètres géométriques de l'antenne de base.....	88

Chapitre IV: Conception d'antenne alimentée par une ligne coplanaire CPW

Tableau IV.1: Paramètres géométriques de l'antenne de base.....	101
Tableau IV.2: Résultats de l'antenne simulé pour différentes valeurs de S.....	101
Tableau IV.3: Variation du gain de l'antenne proposée.....	106
Tableau IV.4: Résultats de l'antenne simulée pour différentes valeurs de S_1	109
Tableau IV.5: Variation du gain de l'antenne simulée.....	113

Liste des acronymes

WIMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access.

LTE: Long Term Evolution

CPW: Coplanar Waveguide.

CST: Computer Simulation Technology.

HFSS: High Frequency Structure Simulator.

PIFA: Planar Inverted-F Antenna.

IFA: Inverted-F Antenna.

GSM: Global System for Mobile Communications.

DCS: Digital Cellular System.

PCS: Personal Communications Services/System.

UMTS: Universal Mobile Telecommunication System.

WIFI: Wireless- Fidelity.

FIT: Finite Integration Technique.

WLAN: Wireless Local Area Network.

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

NFC: Near Field Technology.

MID: Molded Interconnect Devices.

EDGE: Evolutionary Distinct and Globally Endangered.

GPRS: General Packet Radio Service.

AMPS: Advanced Mobile Phone System.

FDMA: Frequency Division Multiple Access.

CDMA: Code division multiple access.

TD-SCDMA: Time Division Synchronous Code Division Multiple Access.

MMS: Message Multimédia.

DVB: Diffusion Vidéo Numérique.

WWW: World Wide Web.

Introduction générale

Introduction générale

Les technologies sans fil ont fait des progrès spectaculaires ces dernières années, ce qui a permis de faire des applications nombreuses: des smart phones, laptops, tablettes,...etc. Aujourd'hui, ces applications sont devenues de plus en plus indispensables dans notre vie quotidienne et par conséquent une augmentation très forte de communications à travers des réseaux téléphoniques mobiles ou d'internet. Nous avons besoin donc de trouver des nouvelles solutions qui répondent à des exigences comme l'amélioration de débit de communication sur le réseau [1].

Dans le domaine de la téléphonie mobile, l'antenne joue un rôle très important pour l'amélioration des communications sans fil. Nous avons besoin de trouver des nouveaux prototypes des antennes qui répondent à des nouvelles exigences. L'antenne est alors un composant qui nécessite une étude particulière où l'amélioration de ses performances et de l'adapter aussi aux applications les plus récentes est de plus en plus nécessaire. L'antenne doit répondre aux contraintes de multiplication des bandes de résonance et de l'intégration dans des terminaux mobiles [2]. Par exemple, il y a quelques années, la plupart des antennes utilisées pour des téléphones portables étaient monopoles, par contre maintenant leurs fonctionnalités deviennent de plus en plus nombreuses, ce qui exige le développement des nouveaux systèmes de télécommunications ou des nouvelles antennes capables d'inclure un grand nombre de fonctionnalités comme par exemple faire cohabiter plusieurs standards (DCS, LTE, UMTS, Wi-Fi, WIMAX, WLAN...etc.), diminuer les interférences avec d'autres utilisateurs, améliorer le débit des transmissions, éviter les phénomènes d'évanouissement, assurer l'efficacité de réception des signaux....etc [1], [2].

L'objectif de cette thèse de doctorat est la conception, l'optimisation et la réalisation des antennes multibandes compatibles avec des applications de la téléphonie mobile, par exemple: des smart phones, des tablettes,...etc.

Lors de l'opération de la conception et la miniaturisation de ces antennes, plusieurs préoccupations ont été prises en compte comme l'amélioration des performances de l'adaptation, l'amélioration de la qualité du diagramme de rayonnement et du gain. Deux

logiciels ont été employés dans ce travail CST Microwave Studio et HFSS (Hopping Frequency Spread Spectrum).

Cette thèse est répartie dans quatre chapitres, après cette introduction générale, nous introduisons dans le premier chapitre une étude théorique sur les antennes miniatures. Nous présentons leur principe de fonctionnement, les différentes techniques d'alimentation et de la miniaturisation, les différentes méthodes d'analyse. Ensuite, nous établissons les différentes bandes de fréquences qui peuvent être ciblées par ces antennes. Enfin, on présente une vision sur les différentes techniques que nous pouvons les utiliser pour obtenir des antennes multibandes pour des applications mobiles.

Dans le deuxième chapitre, nous proposons trois structures d'antennes Planar Inverted-F Antenna (PIFA). Les antennes PIFA sont utilisées dans des différentes applications de communication sans fil. Nous faisons au début la conception et l'optimisation des structures d'antennes proposée. Nous avons obtenu des meilleures performances en termes d'adaptation, de coefficient de réflexion S_{11} , de gain, et des diagrammes de rayonnement dans les deux plans orthogonaux: E pour $\varphi=0^\circ$ et H pour $\varphi=90^\circ$.

Dans le troisième chapitre, nous proposons en respectant des spécifications demandées une nouvelle géométrie d'une antenne bibande à plan de masse partiel. Cette antenne est obtenue à partir d'une antenne de base en introduisant aussi certaines modifications au niveau de l'élément rayonnant. Les différentes caractéristiques de l'antenne telle que le coefficient de réflexion, diagrammes de rayonnement et le gain seront présentées et commentées. Les résultats de simulation en utilisant les deux logiciels CST et HFSS présentent de très bonnes performances de cette antenne bibande à plan de masse partiel que l'on a proposé. Une réalisation pratique de cette antenne a été faite, les mesures pratiques présentent aussi de bonne performance. Nous comparons et nous discutons à la fin de ce chapitre les résultats de simulation avec les mesures.

Dans le dernier chapitre, nous proposons des structures d'antennes imprimées alimentées par une ligne coplanaire CPW (Coplanar Waveguide). Nous présentons la nécessité pour impliquer une alimentations par une ligne coplanaire CPW dans les antennes

imprimées dans le cas des applications de communication mobile. À la fin de ce chapitre, nous présentons et nous discutons les résultats de simulation obtenus.

Nous terminons ce travail de thèse par une conclusion générale, une annexe et les travaux réalisés tout au long de notre travail.

Références

- [1] A. Rabah, “Contribution à la Conception et à la Réalisation des Composants Micro-ondes Compacts en Technologie Guides d’Ondes Intégrés aux Substrats: Modélisation par la Méthode des Eléments Finis 2D”, Université de Tlemcen, thèse soutenue en février 2017.
- [2] S. Hebib, “Nouvelle topologie d'antennes multi-bandes pour applications spatiales”, Université de Toulouse III - Paul Sabatier, thèse soutenue le 24 Novembre 2008.

Chapitre I: Généralités
sur les Antennes
Miniatures

I.1 Introduction

Aujourd'hui, les systèmes de communication sans fil revêtent une importance considérable dans de nombreux domaines et représentent un point de convergence des recherches scientifiques au niveau mondial [1-3]. Les communications sans fil sont l'un des domaines de développement technologique les plus actifs de notre époque. Ce développement est principalement motivé par la transformation de ce qui était en grande partie un support pour la téléphonie vocale en un support pour d'autres services, tels que la transmission de vidéos, d'images, de textes et de données. Ainsi, à la demande de nouvelles capacités sans fil a commencé à croître à un rythme très rapide. Des efforts de recherche considérables ont été déployés ces dernières années pour développer de nouvelles capacités sans fil grâce au déploiement d'une intelligence accrue dans les réseaux sans fil [2-9].

Dans ces dernières années, le téléphone mobile a connu une diffusion très rapide opérant dans les générations 3G, 4G, destinées aux normes standardisées telles que: WIMAX, Wi-Fi et UMTS qui répond au besoin de marché demandé [10-14].

Ce premier chapitre sera consacré à l'état de l'art sur les différents types des antennes qui s'appliquent dans le domaine des télécommunications, on rappellera certaines généralités sur les notions de base théorique et leur caractéristique principale. Nous avons présenté par la suite les différentes bandes de fréquences qui répondent à notre cahier de charges, les techniques d'alimentation les plus couramment utilisées et les principales techniques qui permettent de miniaturiser les antennes imprimées.

I.2 Historique de la téléphonie mobile

Le téléphone portable est devenu un objet du quotidien. D'ailleurs, certains n'imaginent plus leurs vies sans Smartphone. L'émergence de la téléphonie dite « mobile » a été une véritable révolution technologique et une évolution majeure dans la vie des consommateurs. Aujourd'hui, les communications mobiles jouent un rôle central dans le réseau de transmission de voix et de données. Avec le développement des besoins des consommateurs et la nécessaire gestion du spectre, différentes normes ont vu le jour ces dernières années. Dans le tableau suivant, nous nous intéressons plus particulièrement à l'évolution des systèmes de communication mobile, depuis la première génération (1G), jusqu'à la 5G. Le tableau suivant à décrire l'historique du téléphone portable à chaque décennie de sa génération [15].

Historique	
La première génération (1G)	<p>1G ce sont les premiers téléphones mobiles à avoir été introduits en 1982 et achevés au début de 1990. Ils étaient utilisés pour les services vocaux et reposaient sur une technologie appelée système de téléphonie mobile avancé (AMPS). Le système AMPS était modulé en fréquence et utilisé en fréquence accès multiple par division (FDMA) avec une capacité de canal de 30 KHz et une bande de fréquences de 824 à 894 MHz. Ses caractéristiques de base sont: Capacité limitée, fiabilité du transfert médiocre, sécurité médiocre, efficacité de spectre très faible [16].</p>
La deuxième génération (2G)	<p>La 2G fait référence à la deuxième génération basée sur le GSM et a vu le jour à la fin des années 1980. Il utilise des signaux numériques pour la transmission vocale. Cette technologie était principalement axée sur les signaux numériques et fournissait des services permettant d'envoyer des messages texte et image à faible vitesse (en kbps). Elle utilisait une bande passante de 30 à 200 KHz. Le système 2,5G utilise le domaine de la commutation de paquets et de la commutation de circuits et fournit un débit de données pouvant atteindre 144 kbps. par exemple. GPRS, CDMA et EDGE. Les principales caractéristiques de la 2G et de la 2.5G sont les suivantes:</p> <p>Dans la deuxième génération 2G, la vitesse des données est de 64 kbps, utiliser des signaux numériques, permettent des services tels que les messages texte, les messages image et MMS (message multimédia), fournit une qualité et une capacité supérieures, impossible de gérer des données complexes tels que des vidéos, s'il n'y a pas de couverture réseau dans une zone spécifique [16].</p> <p>2,5G: La technologie GSM a été constamment améliorée pour offrir de meilleurs services, ce qui a conduit au développement de technologies avancées entre 2G et 3G. Fournit des appels téléphoniques, Envoi/réception de messages électroniques, vitesse est de 64 à 144 kbps.</p>

<p>La troisième génération (3G)</p>	<p>3G est basée sur le GSM et a été lancée en 2000. Cette technologie visait à offrir des données à haute vitesse. La technologie d'origine a été améliorée pour permettre des données allant jusqu'à 14 Mbps et utilisant la commutation par paquets. Il utilise un réseau sans fil large bande avec lequel la clarté est accrue. Il propose également des services de données, un accès à la télévision/vidéo, il fonctionne sur une plage de 2100 MHz et a une bande passante de 15 à 20 MHz utilisée pour le service Internet à haut débit. Les principales caractéristiques de la 3G sont: Vitesse 2 Mbps, augmentation de la bande passante et des taux de transfert de données afin de prendre en charge les applications Web et des fichiers vidéo, fournit une communication plus rapide, envoyer et recevoir des e-mails volumineux.</p> <p>Le système mobile 3G s'appelait UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) en Europe, CDMA2000 est le nom de la variante 3G américaine. Les IMT2000 (International Mobile Telecommunications) ont également accepté un nouveau réseau 3G. Norme en provenance de Chine, à savoir TD-SCDMA, WCDMA est la technologie d'interface air pour UMTS [16].</p>
<p>La quatrième génération (4G)</p>	<p>La 4G offre une vitesse de téléchargement de 100 Mbps. La 4G offre les mêmes fonctionnalités que la 3G et des services supplémentaires comme les journaux multimédias, pour regarder des programmes TV avec plus de clarté et envoyer des données beaucoup plus rapidement que les générations précédentes. LTE (Long Term Evolution) est considérée comme une technologie 4G. 4G est en cours de développement pour répondre aux exigences de qualité de service et de tarif définies par les applications à venir accès haut débit sans fil, service de messagerie multimédia (MMS), télévision mobile, diffusion vidéo numérique (DVB), services minimaux tels que voix et données et autres services qui utilisent la bande passante. Les principales caractéristiques de la 4G sont: capables de fournir une vitesse de 10 Mbps à 1 Gbps, services multimédias étendus, faible coût, équipement coûteux nécessaire à la mise en œuvre du réseau de prochaine génération [16].</p>

La cinquième génération (5G)

La 5G fait référence à la cinquième génération qui a été lancée à partir de la fin des années 2010. Installations pouvant être vues avec la 5G la technologie inclut des niveaux de connectivité et de couverture bien meilleurs. La 5G sera principalement axée sur world-Wireless. Le World Wide Web c'est une communication sans fil complète sans aucune limite. Les principales caractéristiques de la 5G sont: il est hautement compatible avec WWW (World Wide Web sans fil), haute vitesse, grande capacité, fournit une large diffusion de données en Gbps, transmission de données plus rapide que celle de la génération précédente, grande mémoire du téléphone, vitesse de numérotation, clarté audio/vidéo [16].



Figure I.1: Evolution des terminaux mobiles de communication [16].

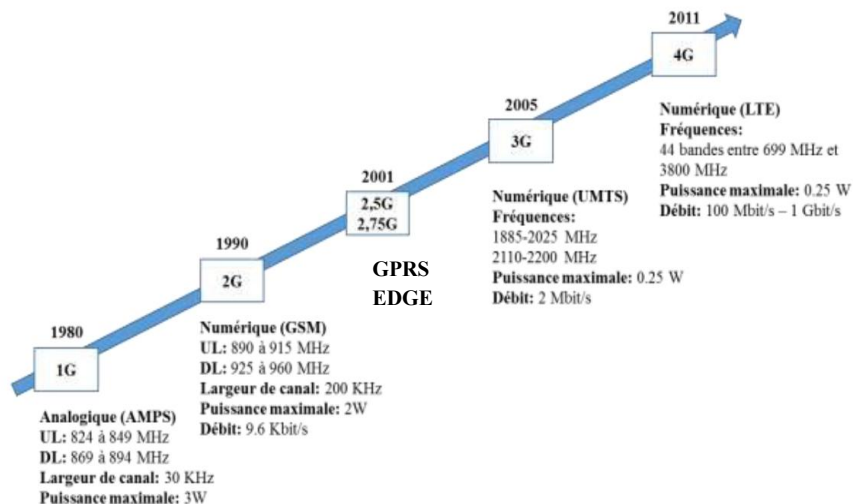


Figure I.2: Évolution chronologique des standards de communications [16].

Tableau I.1: Historique de la téléphonie mobile [16].

I.3 Le marché de la téléphonie mobile

Le marché de la téléphonie mobile est dominé par quatre grands opérateurs mobiles par Apple, Samsung, Nokia et HTC. Ces quatre sociétés faisaient partie des 5 meilleurs vendeurs de téléphones au deuxième trimestre 2012, ces chiffres ont évolué, puisque au premier trimestre 2013, LG, Huawei et ZTE ont détrôné Nokia et HTC dans ce classement [17].

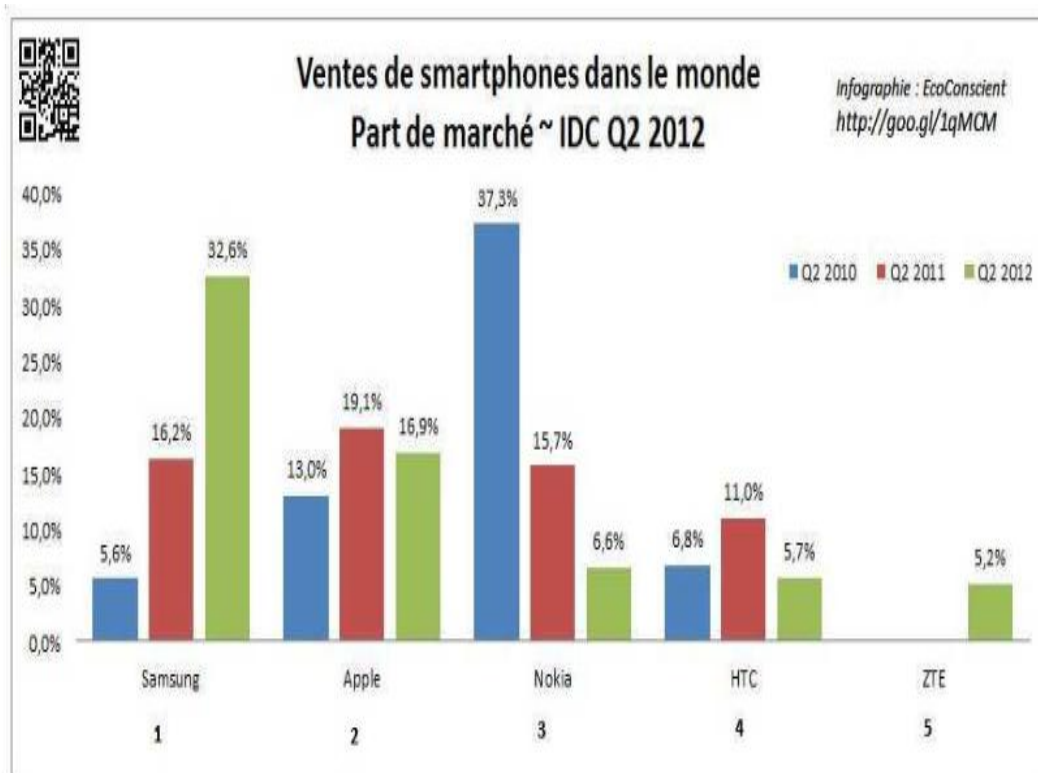


Figure I.3: Ventes de Smartphone dans le monde en 2012 [17].

I.4 Définition d'antenne

On appelle antenne, tout dispositif permettant de transformer l'énergie électrique en énergie électromagnétique en émission ou en réception. Il existe plusieurs types d'antennes qui diffèrent par leur fonctionnement, leur géométrie, et leur technique. Il est possible d'identifier cinq familles à l'origine de l'ensemble des structures rayonnantes : les antennes filaires (comme le dipôle, le monopole, l'antenne Yagi), les antennes à fentes, les antennes patches (antennes à structures planaires), les antennes à ouverture (comme le cornet), et les antennes à réflecteurs (comme les paraboles) [18-25].

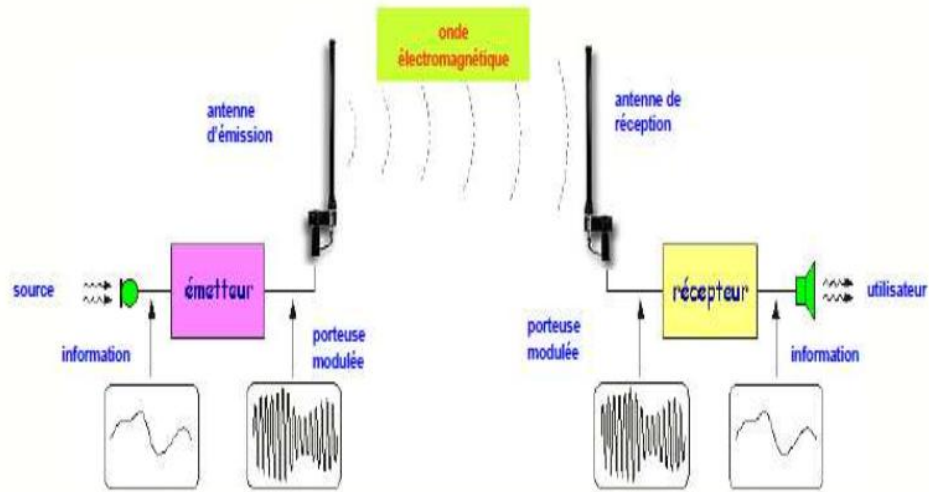


Figure I.4: Principe de transmission par onde électromagnétique [19].

I.5 Les antennes miniatures pour les applications mobiles

L'utilisation des antennes miniatures est très importante en raison de sa variété en terme de la taille et la forme géométrique qui les rendent applicables aux différentes situations d'intégration à un appareil mobile permettant une meilleure discrétion et robustesse. Plusieurs types d'antennes ont été utilisés dans les téléphones par exemple on peut citer [22-26]:

I.5.1 Antenne dipôle externe

Un dipôle est constitué d'un plan réflecteur et d'un diélectrique séparant le dipôle et le plan de masse [29].

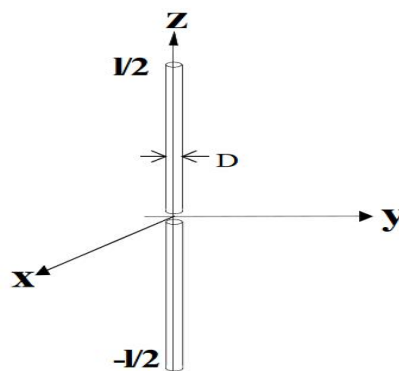


Figure I.5: Antenne dipôle [29].

C'est en 1983 le premier téléphone mobile fut disponible commercialement. Il s'agissait d'un modèle proposé par Motorola : le DynaTAC 8000X, illustré dans la figure I.6. Celui-ci avait pour dimensions (sans l'antenne) : 330 x 44 x 89 mm. L'antenne utilisée était un sleeve dipôle (ce type d'antenne est défini dans le brevet et comprend une antenne fouet,

un contre poids et un câble coaxial) . Afin de fonctionner à 850 MHz, l'antenne mesurait donc 176 mm, ce qui semblait acceptable étant donné la taille du terminal [45].



Figure I.6: Motorola dyna TAC 8000X ,premier téléphone mobile commercial [45].

I.5.2 Antenne hélice

Une antenne hélice est constituée d'un conducteur connecté à un plan de masse, est enroulé dans une forme hélicoïdale. La figure I.7 illustre une antenne hélice. L'antenne peut fonctionner dans un nombre de modes, cependant les deux modes principaux sont le mode normal (rayonnement de côté) et le mode axial (rayonnement final). Lorsque le diamètre de l'hélice est très petit par rapport au diamètre de la longueur d'onde, l'antenne fonctionne dans le mode normal. Cependant, lorsque la circonférence de l'hélice est de l'ordre de la longueur d'onde, on dit alors que l'antenne hélicoïdale fonctionne dans le mode axial. Les principaux avantages d'être plus petite et plus robuste avec la facilité de réalisation [25].

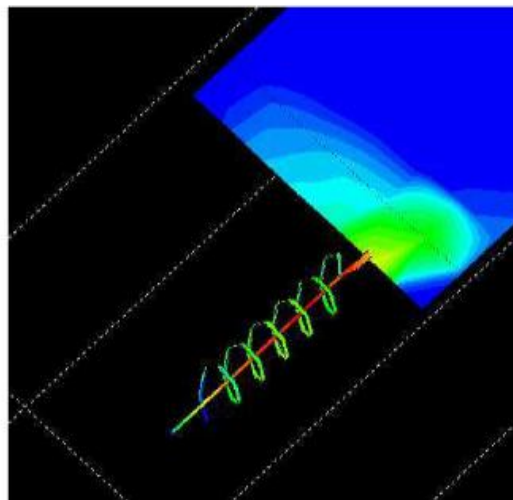


Figure I.7: Exemples d'antenne hélice [45].

I.5.3 Antenne Monopole

Une antenne monopole est une antenne radio composée d'un conducteur droit en forme de tige, souvent monté perpendiculairement sur un type de surface conductrice appelé plan de masse. Cette antenne est la moitié d'une antenne dipôle [45].

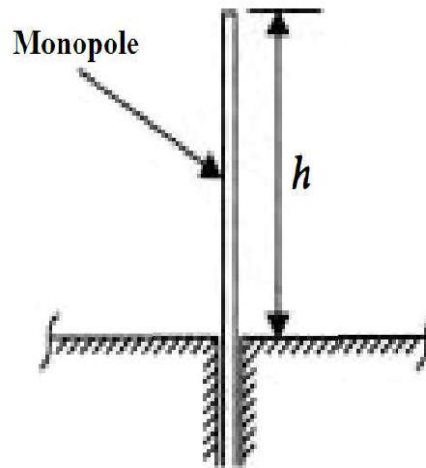


Figure I.8: Exemple d'antenne monopole [48].

I.5.4 Antennes internes

L'antenne interne est un dispositif passif conçu pour capter le rayonnement parasite dans le téléphone et émettre le signal afin d'améliorer les performances du téléphone. En effet, au fil des années, la taille des téléphones a peu à peu diminué, et une antenne de 88 mm n'était plus adaptée. La volonté de proposer des terminaux robustes, compacts, esthétiques, faciles à produire et peu chers a guidé les développements antennaires vers des antennes internes, non visibles par l'utilisateur. Nokia fut ainsi la première entreprise à proposer des téléphones avec des antennes internes, comme par exemple le Nokia 3210, mis sur le marché en 1999 et vendu à plus de 300 millions d'exemplaires [45].

I.5.5 Antenne fractale

Une antenne fractale est une antenne utilisant une forme fractale pour obtenir un fonctionnement multibande et une forme très miniaturisée. Ces antennes fractales sont également appelées courbes de remplissage à plusieurs niveaux et à espace, mais l'aspect essentiel réside dans la répétition d'un motif sur deux échelles ou plus, ou "itérations". Pour cette raison, les antennes fractales sont très compactes, multibandes ou à large bande, et ont

des applications utiles dans les communications par téléphone cellulaire et par micro-ondes. La réponse d'une antenne fractale diffère nettement des conceptions d'antenne traditionnelles en ce qu'elle est capable de fonctionner simultanément avec des bonnes performances à de nombreuses fréquences différentes. Notamment, les antennes standard doivent être "coupées" pour la fréquence pour laquelle elles doivent être utilisées et donc les antennes standard ne fonctionnent bien qu'à cette fréquence. La figure I.9 présente quelques types d'antennes fractales [19].

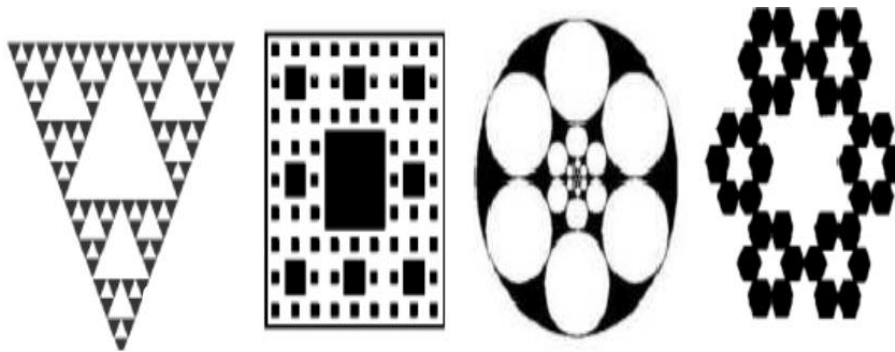


Figure I.9: Différents types d'antennes fractales [19].

I.5.5.1 Antenne triangle de Sierpinski

Une antenne de Sierpinski, se présente sous la forme d'un triangle équilatéral dans lequel on enlève itérativement des triangles équilatéraux de plus petite taille. Cela fait de l'antenne fractale un excellent choix pour les applications large bande et multibandes. De plus, la nature fractale de l'antenne réduit sa taille sans l'utilisation de composants tels que des inductances ou des condensateurs. La figure I.10 montre un exemple d'une antenne de Sierpinski [6-19].

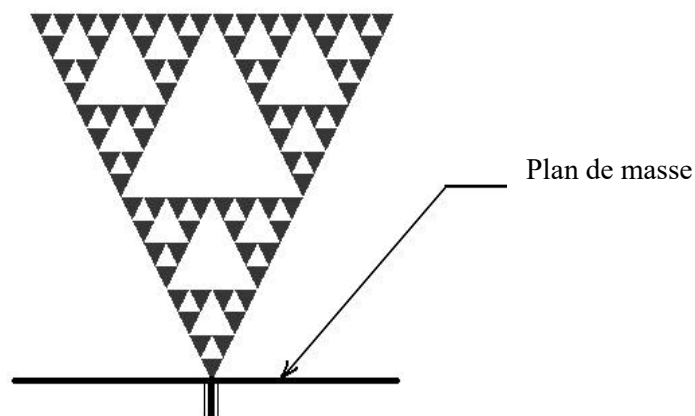


Figure I.10: Exemple d'une antenne de Sierpinski [6].

Le tableau I.2 regroupe les principaux avantages et inconvénients des antennes fractales.

Points forts	Points faibles
1-Occupe une surface très réduite.	1-Une difficulté de réalisation.
2- Des formes fractales.	2-Faibles bande passante.
3-Résonances multiples.	3-Très difficiles de contrôler la polarisation.
4-Représente un caractère multibandes.	4-Faibles gain.

Tableau I.2: Points forts et faibles de la technique fractale [27].

I.5.6 Antenne PIFA

Les antennes PIFA (Planar Inverted-F antenna) sont des structures potentielles pour la réalisation d'antennes multi-bandes. Elles trouvent principalement leurs applications dans les dispositifs de communication sans fil comme les téléphones portables. Par rapport à une antenne demi-onde, une antenne PIFA ou antenne quart d'onde présente des dimensions réduites. L'antenne PIFA est obtenue en plaçant le court-circuit (plan, filaire ou de type languette) entre le résonateur demi-onde et le plan de masse, à l'endroit précis où le champ électrique s'annule pour le mode fondamental. Ceci permet donc de s'affranchir d'une moitié du résonateur et d'avoir ainsi une résonance en $\lambda/4$. Ce type d'antenne possède un court-circuit entre une sonde et le plan de masse commune de l'antenne. La position de ce court-circuit permet de modifier la fréquence de l'antenne. La figure I.11 présente, un exemple d'une antenne PIFA [23-40].

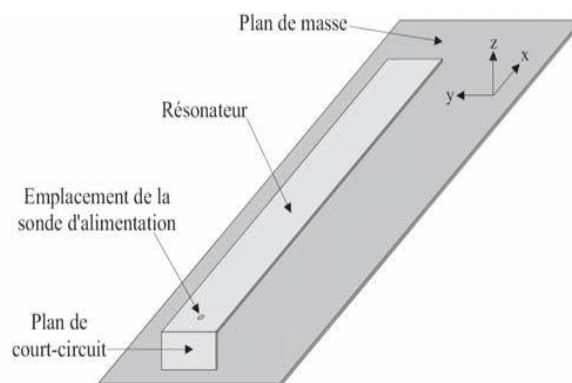


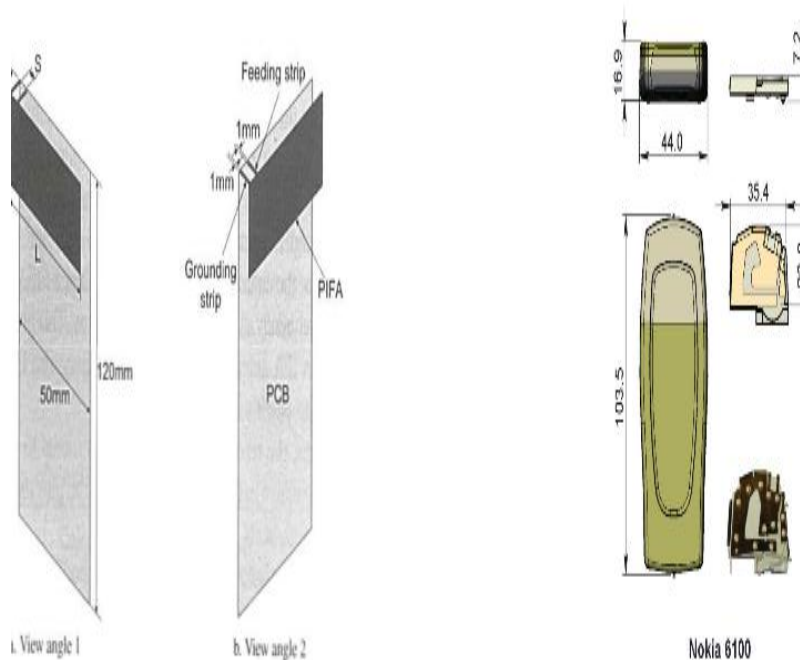
Figure I.11: Structure de l'antenne PIFA [40].

Les avantages et les inconvénients d’antenne PIFA sont montrés par le tableau I.3.

Points forts	Points faibles
1-Des structures très simples. 2-Compactes et miniatures.	1-Faible bandes passantes. 2- Fabrication difficile et coûteuse. 3-Très sensible aux erreurs de fabrication.

Tableau I.3: Les différents points forts et faibles d’antennes PIFA [6].

Les antennes PIFA comportant l’avantage d’être à l’intérieur du téléphone, ce qui offrent plus de libertés de conception. La figure suivante montre deux exemples des antennes PIFA dans un téléphone portable [45].

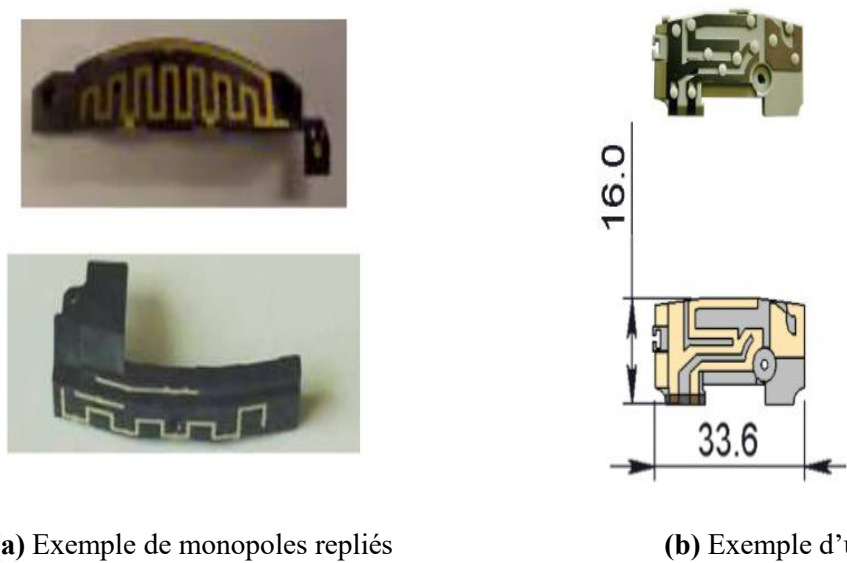


(a) Exemple de l’antenne PIFA.

(b) Exemple de l’antenne PIFA avec parasite.

Figure I.12: Exemple de l’antenne PIFA intégrée dans un appareil mobile [45].

La figure I.13 illustre un exemple des antennes miniatures IFA et monopoles repliés.



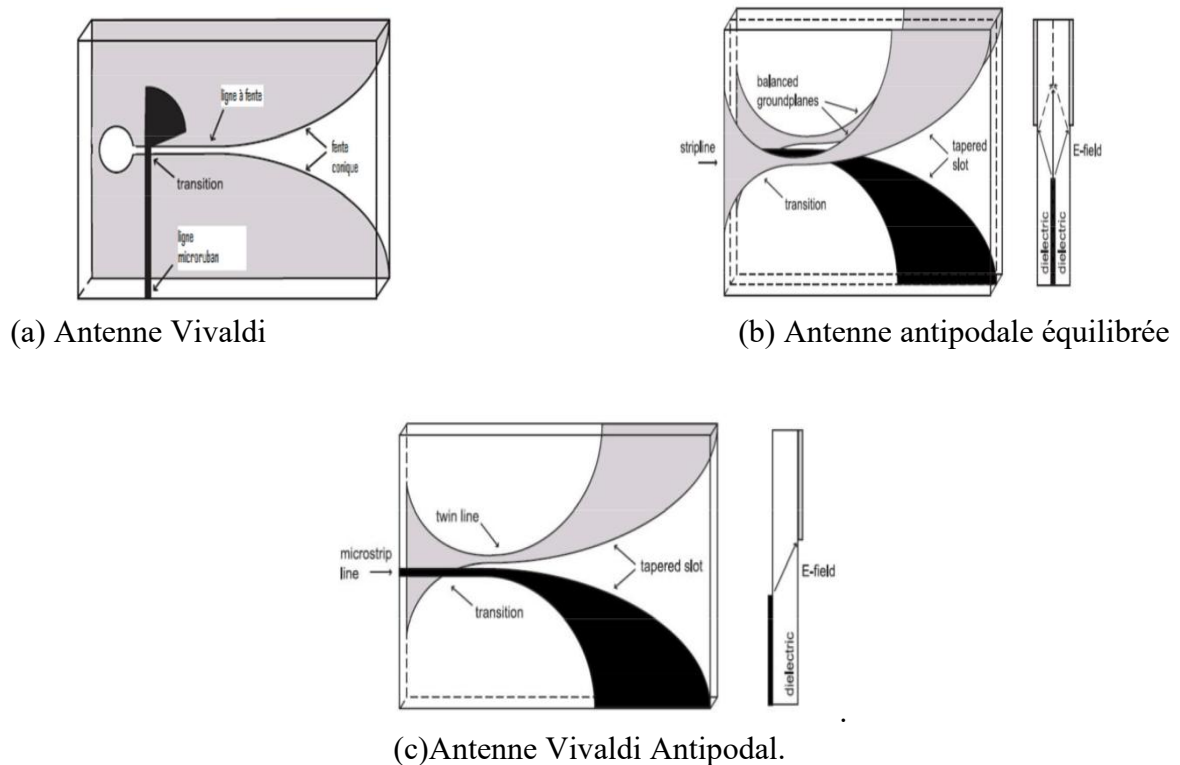
(a) Exemple de monopoles repliés

(b) Exemple d'une IFA

Figure I.13: Exemple des antennes miniatures IFA et monopoles repliés [45].

I.5.7 Antenne Vivaldi

Les antennes Vivaldi sont des structures planaires qui contiennent trois types fondamentaux de l'antenne Vivaldi, peut être utilisés pour concevoir la structure rayonnante. Ces types sont: antenne Vivaldi à fente conique (Tapered slot Vivaldi antenna), antenne Vivaldi Antipode (Antipodal Vivaldi Antenna), antenne Vivaldi antipodale équilibrée (Balanced Antipodal Vivaldi Antenna) (figure I.14) [42].



(a) Antenne Vivaldi

(b) Antenne antipodale équilibrée

(c) Antenne Vivaldi Antipodal.

Figure I.14: Des exemples sur les antennes Vivaldi [42].

I.5.8 Antenne imprimée

L'antenne imprimée est une antenne miniature en technologie planaire qui constituée d'un : L'élément rayonnant métallisé est positionnée sur une diélectrique appelée substrat sur sa face inférieure un plan de masse. La figure I.15 représente la topologie d'une structure d'antenne imprimée [37].

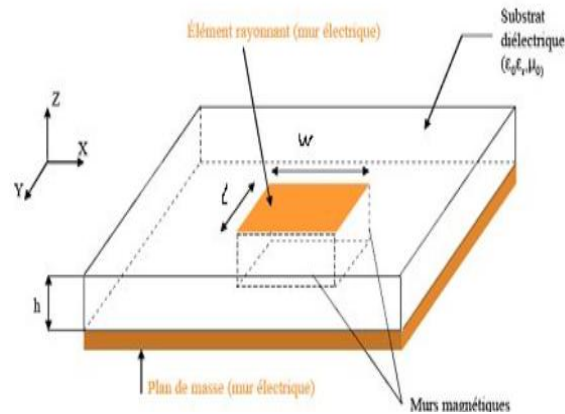


Figure I.15: Structure d'une antenne imprimée [37].

I.5.8.1 Éléments rayonnants

En général, les éléments rayonnants utilisés ont des formes assez simples. Cependant les formes les plus complexes permettent de répondre à des contraintes particulières comme la polarisation circulaire. Dans la plupart des cas, le patch est localisé dans l'air (ϵ_0 , μ_0). Dans notre étude, nous avons étudié les antennes imprimées les plus utilisées, qui sont respectivement : rectangulaires, circulaire et annulaire [27].

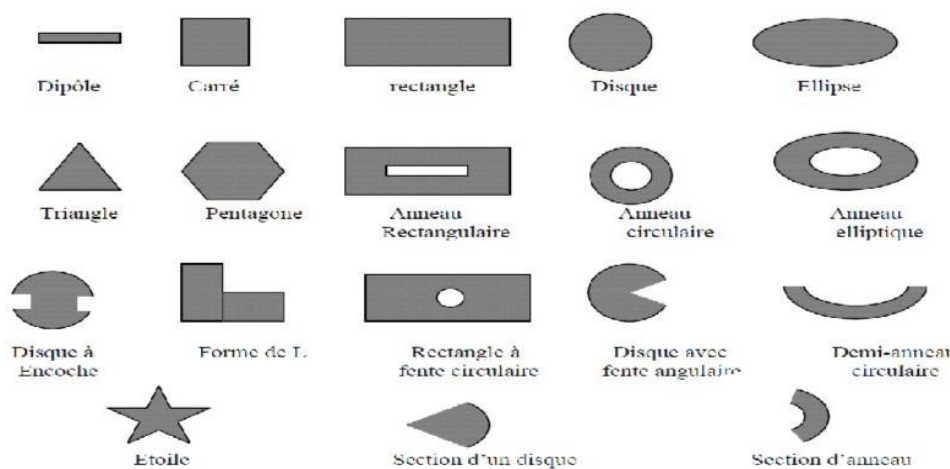


Figure I.16: Divers types d'éléments rayonnants [27].

I.6 Techniques d'alimentation des antennes imprimées

Un point important dans la conception des antennes imprimées est leur alimentation. Elle détermine les modes excités ainsi que l'adaptation. L'excitation des éléments rayonnants se fait soit par contact direct soit par couplage. Les quatre techniques d'alimentation les plus courantes utilisées sont la ligne microruban, alimentation par sonde coaxiale, alimentation par ouverture et alimentation par proximité. On présente ici les différents types d'alimentations utilisés [29].

I.6.1 Alimentation par ligne micro-ruban dans le plan de l'élément rayonnant

Dans ce type de technique d'alimentation, un ruban conducteur est connecté directement au bord du patch rayonnant comme il est montré sur la figure I.17. La longueur de la bande conductrice est plus petite par rapport au Patch et ce genre d'alimentation a l'avantage qu'elle peut être gravée sur le même substrat pour fournir une structure planaire. Le but de l'encart couplé dans le patch est d'adapter l'impédance de la ligne d'alimentation au patch sans avoir besoin d'un élément d'adaptation supplémentaire. Ceci est achevé par un contrôle correct de la position de l'encart. Par conséquent, c'est une technique d'alimentation facile, puisqu'elle fournit la facilité de fabrication et la simplicité de modélisation, ainsi que l'adaptation d'impédance. Cependant, certaines applications nécessitent un substrat épais, ce qui engendre l'augmentation des ondes de surface et le rayonnement parasite, entraînant une dégradation de la bande passante [22-28].

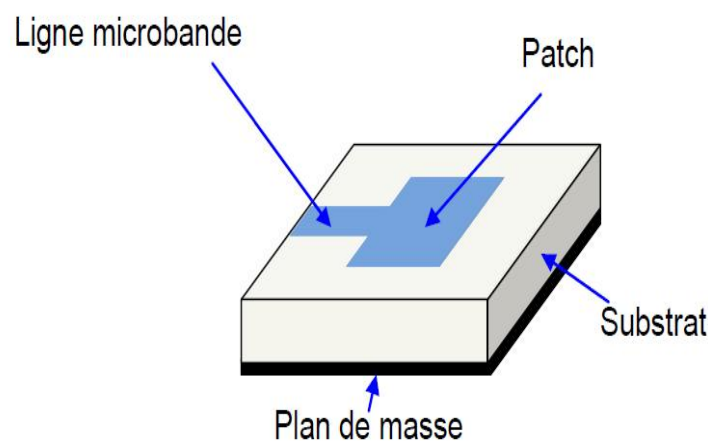


Figure I.17: Une alimentation par ligne microbande [36].

I.6.2 Alimentation par sonde coaxiale

L'alimentation coaxiale est une technique très utilisée pour alimenter les antennes microrubans comme montre la figure I.18. Le conducteur central du câble coaxial est soudé

sur l'élément rayonnant après avoir traversé le plan de masse et le diélectrique. Le conducteur extérieur est quant à lui soudé au plan de masse.

Ce type d'alimentation a beaucoup été étudié dans la littérature. Elle a l'avantage de positionner l'alimentation sous l'élément rayonnant et à utiliser une ligne non rayonnante (coaxiale), ce qui diminue fortement le rayonnement parasite [29-32].

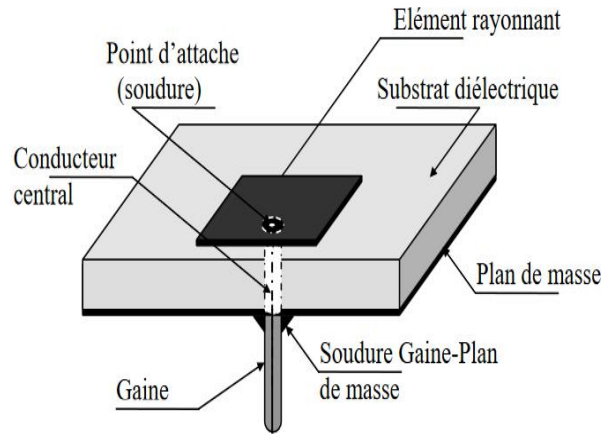


Figure I.18: Une alimentation par sonde coaxiale [36].

I.6.3 Alimentation par ouverture (ou par fente)

Dans ce type d'alimentation, le patch rayonnant et la ligne d'alimentation sont situés de part et d'autre du plan de masse (figure I.19). Le couplage entre le patch et la ligne d'alimentation est assuré par une fente ou une ouverture dans le plan de masse. L'ouverture de couplage est habituellement centrée sous le patch. La quantité de couplage à partir de la ligne d'alimentation au patch est déterminée par la forme, la taille et l'emplacement de l'ouverture. Puisque le plan de masse sépare le patch et la ligne d'alimentation, le rayonnement parasite est minimisé [32].

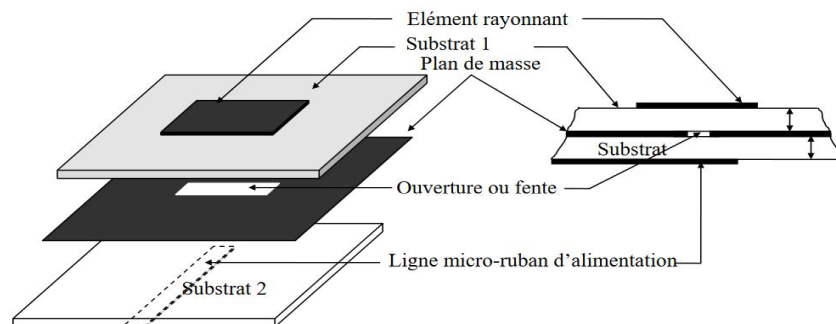


Figure I.19: Une alimentation par fente [36].

I.6.4 Alimentation par proximité

L'antenne est constituée de deux substrats diélectriques entre lesquels est située la ligne d'alimentation. L'élément rayonnant est imprimé sur le substrat supérieur. L'excitation se fait par couplage électromagnétique. Cette technique permet d'améliorer la bande passante mais elle est difficile à réaliser. La figure suivante représente une antenne imprimée alimentée par proximité [29].

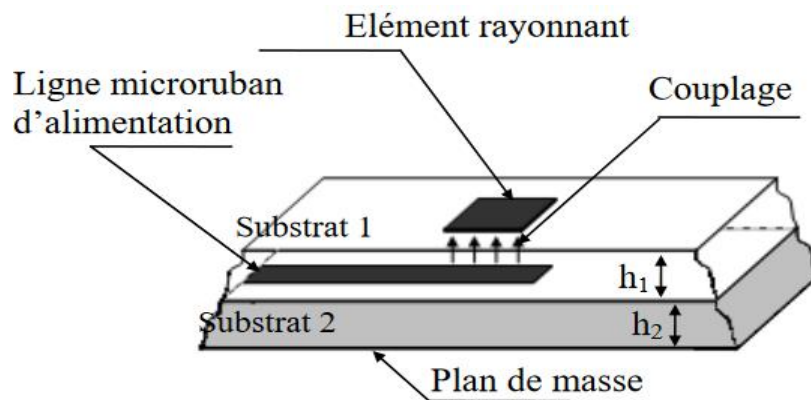


Figure I.20: Une alimentation par proximité [36].

I.6.5 Alimentation par guide d'onde coplanaire

Le guide d'ondes coplanaire, plus couramment désigné par CPW (Coplanar Wave Guide), est une ligne de transmission efficace largement utilisée qui présente l'avantage de placer la ligne d'alimentation au même niveau que le plan de masse. Il est constitué d'un ruban central métallique placé entre deux plans de masse parallèles entre eux, déposé sur la même face d'un substrat diélectrique [30].

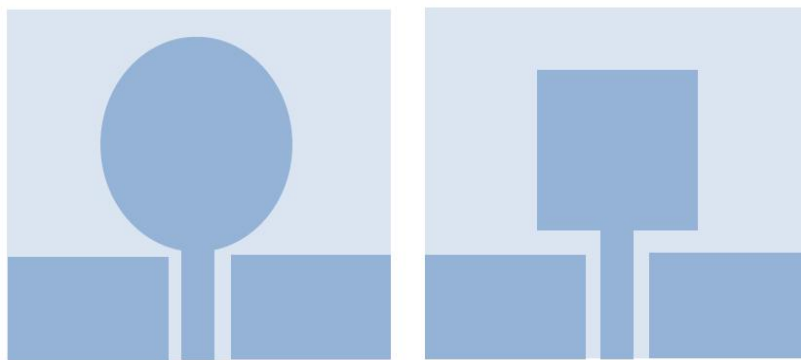


Figure I.21: Une alimentation par guide d'onde coplanaire (CPW) [30].

Le tableau I.4 permet de donner une comparaison entre les différentes techniques d'alimentations en fonction des certaines caractéristiques telles que l'adaptation d'impédance, bande passante, techniques de fabrication, fiabilité et les rayonnements parasites [35].

Caractéristiques	Alimentation par Ligne micro ruban	Alimentation coaxiale	Alimentation couplée par ouverture	Alimentation couplée par proximité
rayonnement parasite de l'alimentation	Plus	Plus	Moins	Minimum
Fiabilité	Meilleur	Pauvres à cause de soudure	Bon	Bon
Facilité de fabrication	Facile	Soudure et forage requis	Alignement requis	Alignement requis
Adaptation d'Impédance	Facile	Facile	Facile	Facile
Bande passante	2-5%	2-5%	2-5%	13%

Tableau I.4: Comparaison entre les différentes techniques d'alimentations [35].

I.7 Domaines d'application des antennes miniatures

Les domaines d'application des antennes miniatures offrent un large champ d'application qui n'a pas de limite par exemple on peut citer les principales applications qui sont:

I.7.1 Les télécommunications spatiales

Les domaines d'utilisation privilégiés des antennes sont les communications en hautes fréquences tels que les communications spatiales.





Figure I.22: Antenne de réception pour les applications spatiales [43].



FIGURE 2.28 - Antenne Novatel sans son radôme.

Figure I.23: Exemple des antennes pour les applications spatiales [52].

I.7.2 Les applications médicales

Les progrès rapides de la technologie se sont accompagnés d'une application croissante de la technologie aux soins de santé. L'interaction croissante des scientifiques et des ingénieurs avec le personnel médical a permis d'améliorer considérablement les soins de santé au moyen d'équipements extrêmement sophistiqués. En conséquence, l'utilisation d'antennes d'un type ou d'un autre dans l'exercice de la médecine a augmenté. La plupart des applications médicales des antennes impliquent le couplage d'énergie électromagnétique dans le corps humain ou dans d'autres systèmes biologiques, tels que les animaux. Nous pouvons

organiser les applications hospitalières en cinq catégories le traçage, l'identification et la vérification, la détection, les interventions, alertes et déclenchements [54].

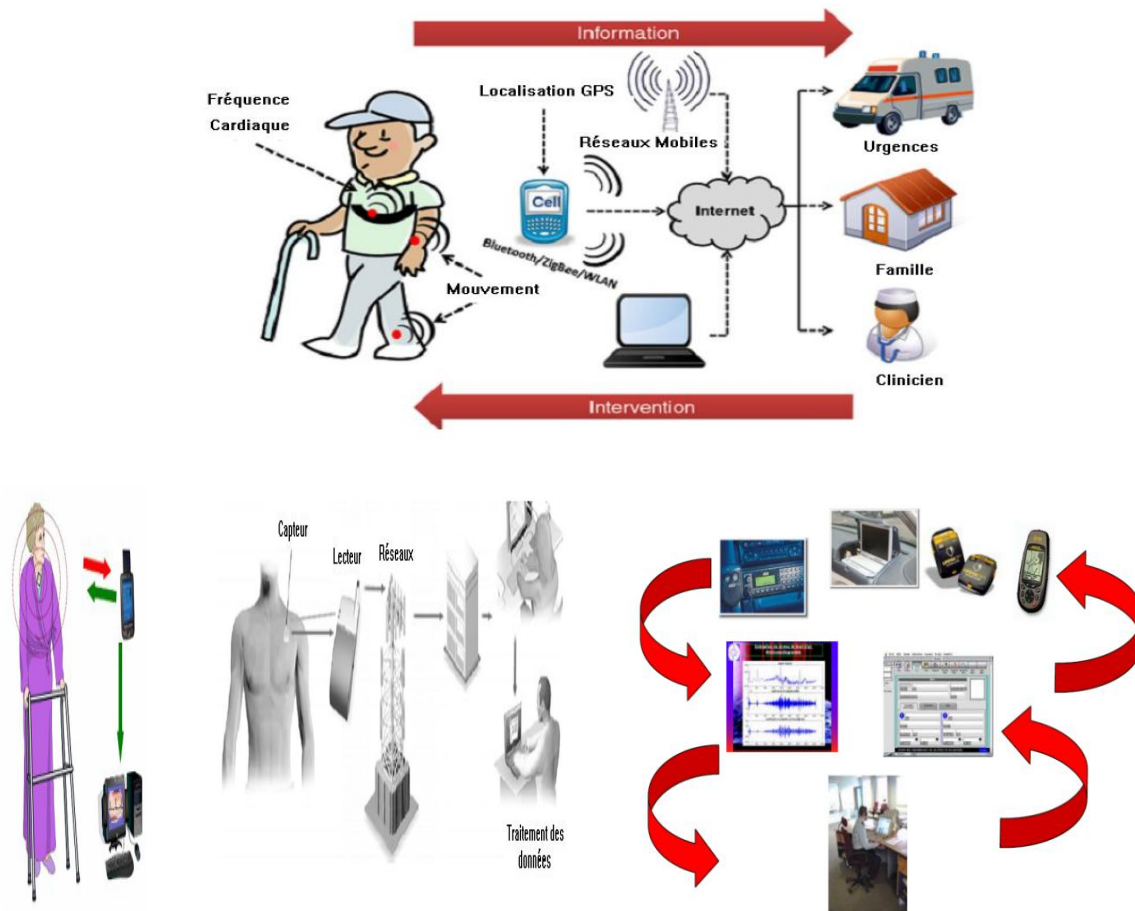


Figure I.24: Exemples des antennes dans des applications médicales [54].

I.7.3 La téléphonie mobile

La conception d'une antenne pour les appareils mobiles consiste à déterminer dans quels types d'appareils elles seront utilisées.

I.7.3.1 Types d'appareils utilisés

- 1- Les téléphones mobiles, qui sont les appareils les plus utilisés par le grand public, et dont la dimension d'écran maximale est (15.24 cm), dans le cas des téléphones à écran tactile.
- 2- Les tablettes tactiles 3G/4G, qui ont une taille plus grande que les téléphones (à partir de 7'', c'est-à-dire avec une diagonale d'écran supérieur à 17,8 cm), et une carte mère similaire à celle d'un PC, même si elle est spécifique aux tablettes.

3- Les dongles USB (Universal Serial Bus) 3G/4G, qui sont des clés USB dans lesquelles se trouvent un modem et une carte SIM (Subscriber Identity Module). Ils permettent d'accéder à Internet en utilisant le réseau cellulaire et impliquent une forte miniaturisation des antennes [45].



Figure I.25: Exemples des terminaux mobiles: (a) téléphone à écran tactile, (b) tablette, (c) dongle USB 3G [45].



Figure I.26: Exemples sur les différents produits Wireless USB [53].



Figure I.27: Antennes intégrées dans un Smartphone [34].

La figure I.28 illustre des antennes internes intégrées dans les téléphones mobiles. Il s'agissait d'un modèle proposé par Sagem et Nokia 8210 [45].

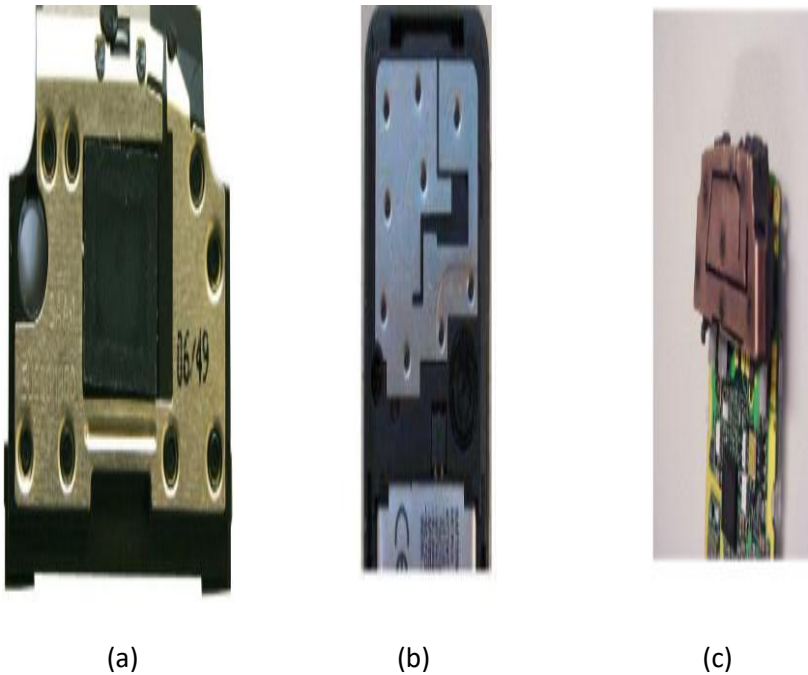


Figure I.28: Exemples des antennes réalisées en tôle pliée: (a) antenne d'amphenol airwave, (b) antenne PIFA de Sagem, (c) antenne b bande du Nokia 8210 [45].

Les antennes se réalisent sur un circuit imprimé PCB (Printed Circuit Board) représenté par la figure I.29.

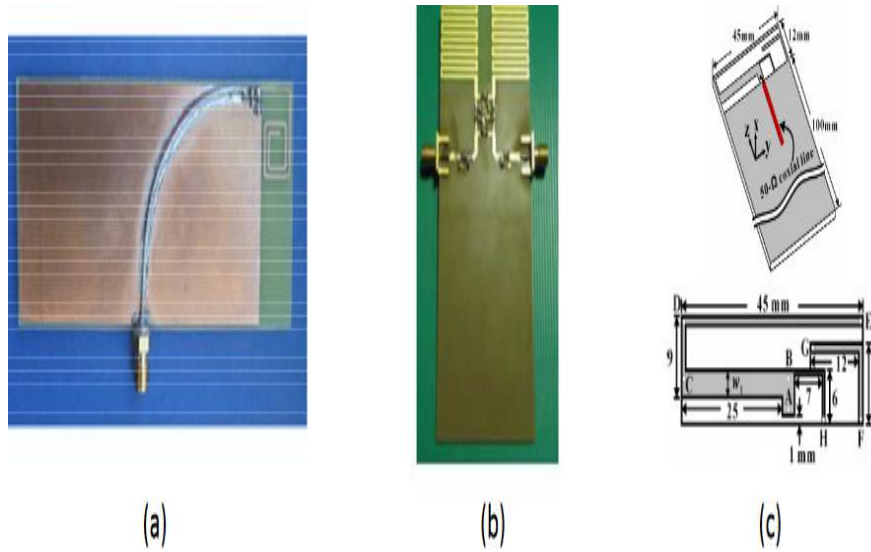


Figure I.29: Exemples des antennes réalisées sur PCB, (a) antenne méandre simple accès, (b) antenne méandre double accès, (c) antenne simple accès avec parasite [45].

L'antenne en céramique a l'avantage d'être plus petite, avec de faibles pertes diélectriques et faible coût. Ces types de matériaux sont donc souvent utilisés pour les antennes secondaires : GPS (Global Positioning System), Wi-Fi et Bluetooth [45].

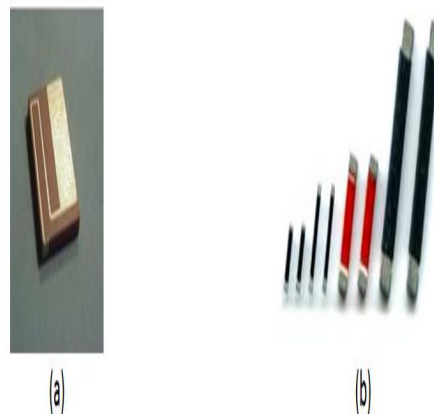


Figure I.30: Exemples des antennes en céramique, (a) antenne pour Wi-Fi /Bluetooth, (b) antenne monopole de Panasonic [45].

Les dispositifs d'interconnexion moulés MID (Molded Interconnect Devices) sont des substrats en matière plastique avec des infrastructures électriques sur les surfaces. La

miniaturisation des MID pose des défis en termes de matériaux, de chaînes de processus, de précision géométrique...etc [44].

La figure I.31 représente des antennes en technologie MID (Molded Interconnect Devices) pour les applications mobiles.

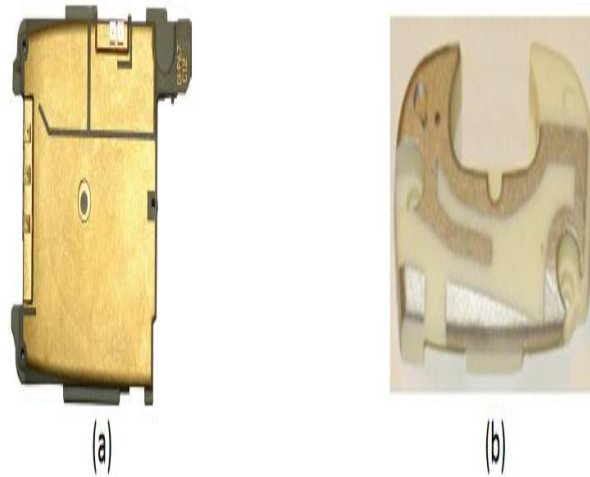


Figure I.31: Exemple des antennes MID (a) pour applications mobiles, (b) GSM produite par Tyco [45].

Ce téléphone comporte également trois antennes: l'antenne pentabande principale, l'antenne GPS et l'antenne Bluetooth/Wi-Fi (figure I.32) [45].

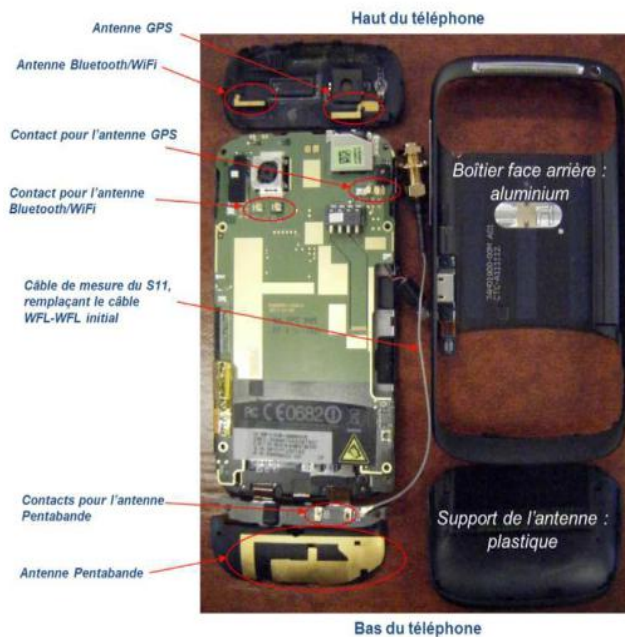


Figure I.32: Détail de l'intérieur du HTC desire S [45].

I.7.4 Les radars

De nos jours, l'armée utilise principalement les antennes dans la conception des radars pour la réception et l'émission. Ces antennes permettant le contrôler l'orientation du faisceau. La figure I.33 montre un récepteur radar utilisant un réseau d'antennes encastré dans le nez d'un avion [43].



Figure I.33: Exemple d'antenne de réception dans les applications Radar [43].

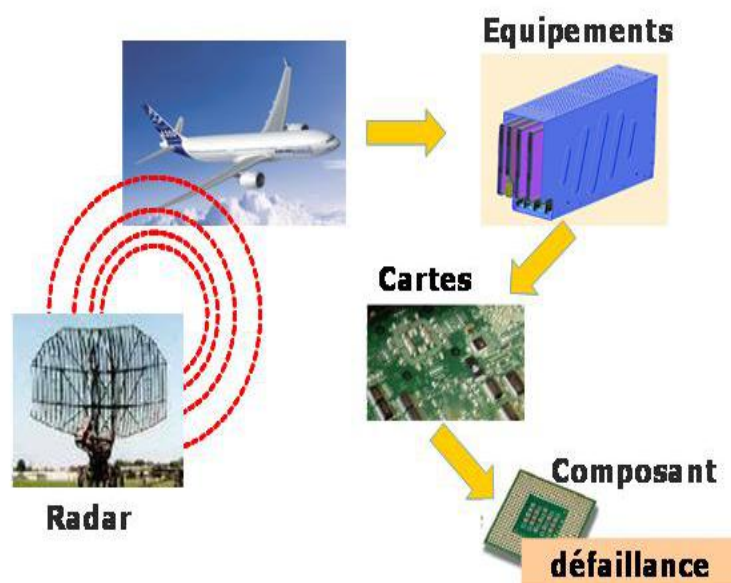


Figure I.34: Exemple de l'antenne d'émission dans les applications Radar [56].

I.7.5 Les applications RFID et NFC

RFID est une technologie qui permet le transfert de données sans contact sans contact pour l'identification à l'aide de radiofréquence (RF). Le principe fondamental de cette technologie consiste à utiliser un spectre de fréquences radioélectriques pour transmettre des informations d'identification entre deux dispositifs [55].

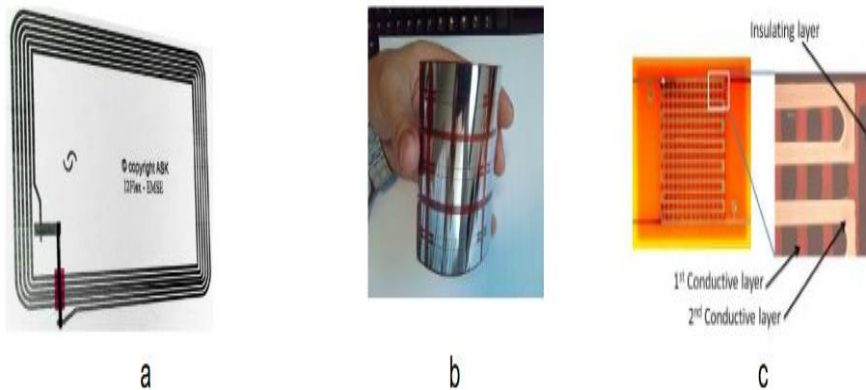


Figure I.35: Quelques exemples des dispositifs réalisés au laboratoire: (a) antenne RFID, (b) lignes coplanaires imprimées sur support souple, (c) résistances multi niveaux [55].

La technologie NFC (Near Field Technology) est un transmetteur sans fil qui peut transmettre des données à des vitesses élevées pouvant atteindre 424 kbps sur très courtes distances jusqu'à 10 cm. NFC est couramment utilisé pour établir des connexions avec d'autres technologies sans fil telles que Bluetooth ou Wi-Fi [55].

La figure I.36 donne une liste d'objets du quotidien pouvant être des tags RFID ou NFC. Chacun de ces objets contient une antenne intégrée [55].

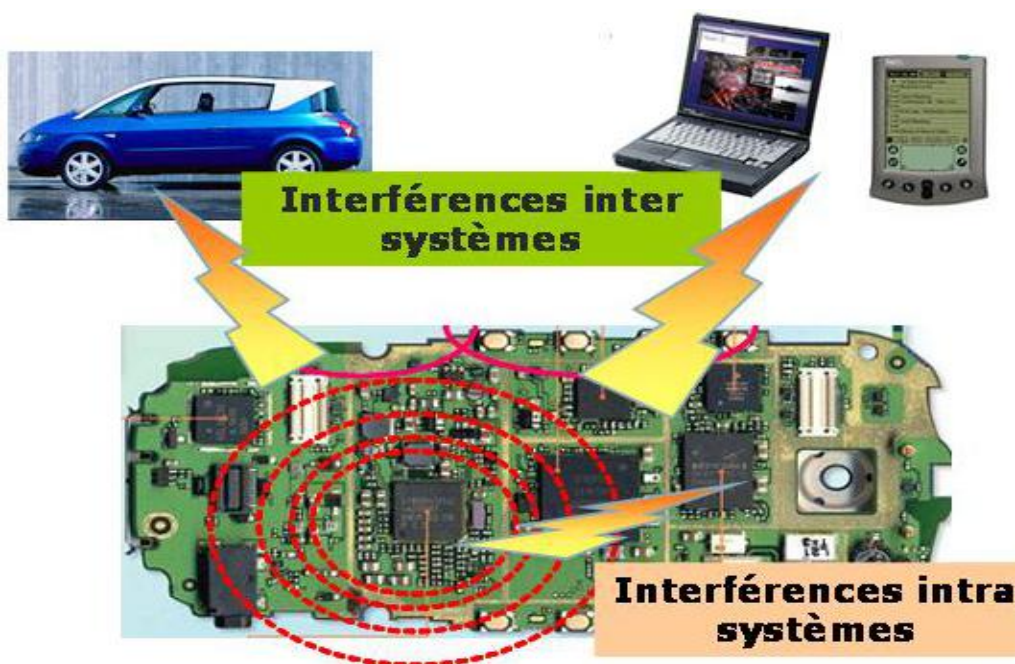




Figure I.36: Exemples sur l’application des antennes dans la technologie NFC [55].

I.7.6 Les automobiles

L’application des antennes miniatures touche le secteur d’automobile pour faciliter la vie quotidienne des gens. Les véhicules, présentés sous la forme d’une antenne émetteur-récepteur dans plusieurs applications [56].



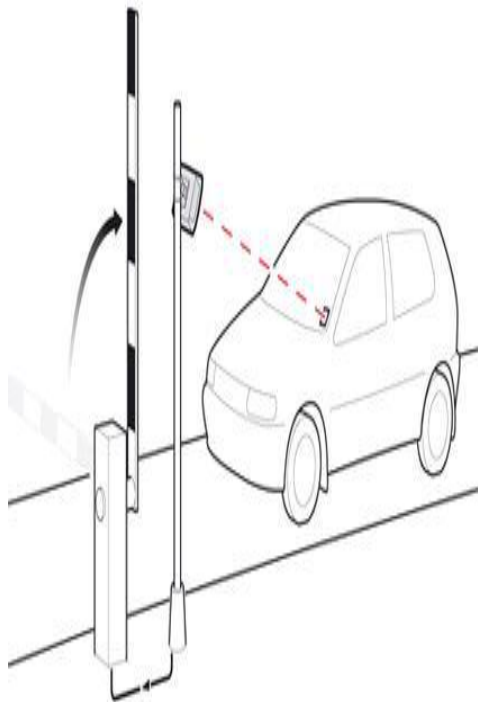
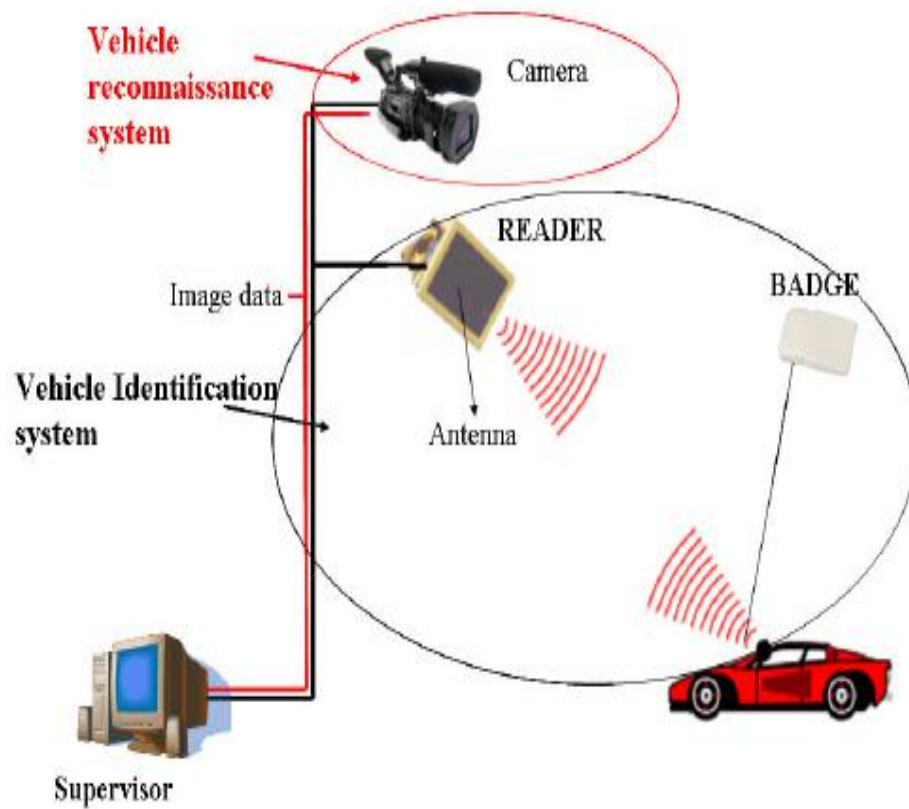


Figure I.37: Exemple des antennes dans les automobiles [56].

I.7.7 La sécurité

Des antennes pour une large gamme d'application de sécurité, notamment: la surveillance à distance de vidéosurveillance, sécurité vidéo et réseau, protection de mouvement et périmètre, surveillance à distance et systèmes cachés [57].



Figure I.38: Exemple des antennes pour la détection de personnes ensevelies sous la neige [57].



Figure I.39: Détection des personnes derrière un mur [57].

I.7.8 Les maisons intelligentes

La technologie des maisons intelligentes vise à aider les personnes à avoir une meilleure qualité de vie et permettre aux personnes âgées de vivre confortablement et indépendamment. La technologie SH (Smart Home) est considérée comme un moyen pour améliorer la qualité de la vie des personnes atteintes besoins de soins. Il a été appliqué à plusieurs fins comme les économies d'énergie, la sécurité et la sûreté, gestion de l'éclairage, détection de chute, détection de fumée et d'incendie [41].



Figure I.40: Des exemples des maisons intelligentes [41].

I.8 Standardisations pour les applications de la téléphonie mobile

Une application mobile est un type de logiciel d'application conçu pour s'exécuter sur un appareil mobile. Un terminal mobile capable de transmettre et recevoir des signaux de plusieurs standards par exemple GSM, UMTS, LTE et Wi-Fi. Chacun de ces systèmes possède au minimum de bande de fréquences qui diffère des autres bandes attribuées aux autres systèmes [49].

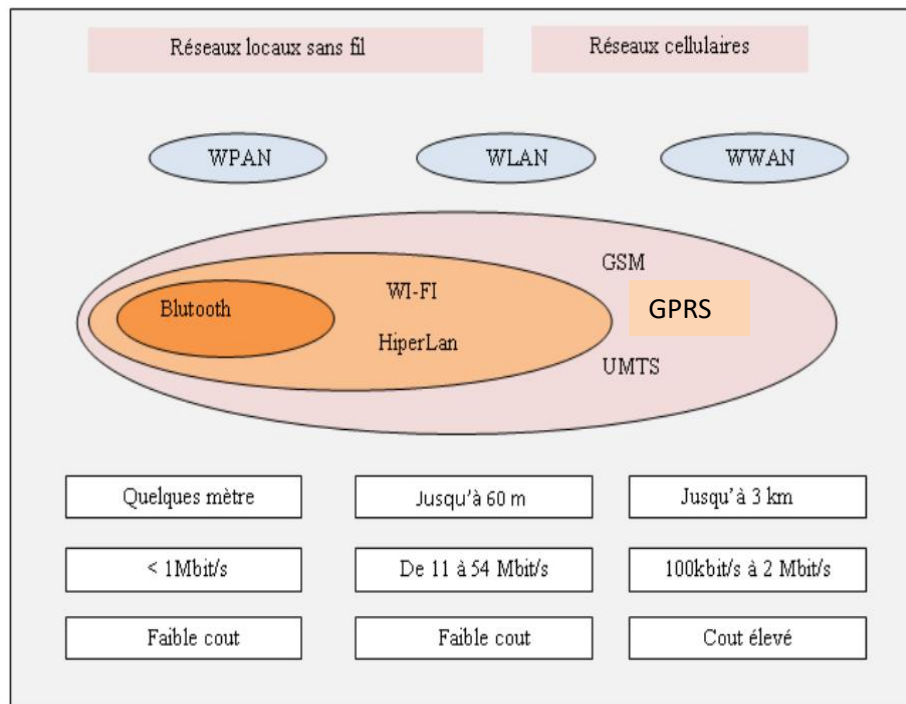


Figure I.41: Les réseaux sans fil [49].

I.8.1 Présentation de la norme UMTS

L'UMTS est un réseau mobile de troisième génération capable d'offrir des bénéfices significatifs à l'utilisateur en terme de services à valeur ajoutée, tels que l'accès Internet à haute vitesse, le téléchargement de fichiers (audio et vidéo) ou alors la visiophonie. L'UMTS se base principalement sur la technique d'accès multiple large bande WCDMA pour offrir ce type de service. Le système universel UMTS a été choisi dans le but de faire une distinction avec les systèmes de première et de deuxième génération [46].

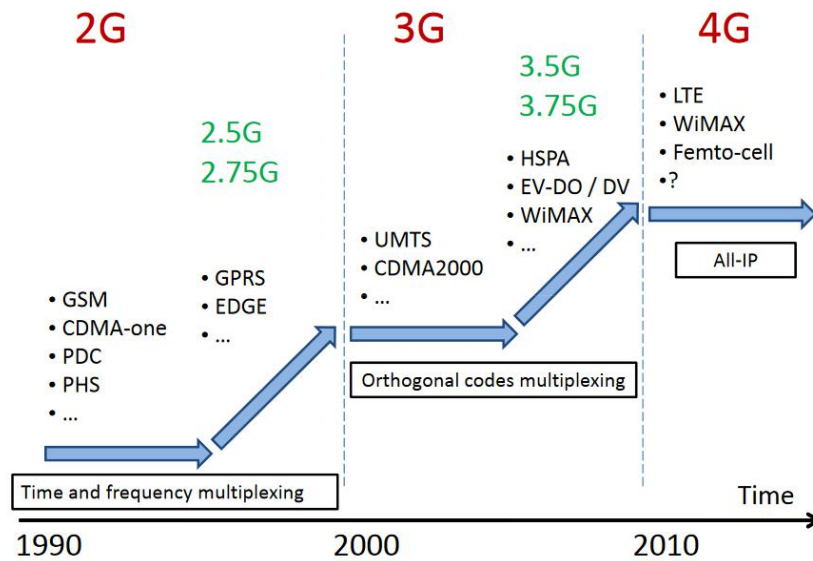


Figure I.42: Evolution des réseaux sans fil [46].

I.8.2 Présentation de la norme LTE

Le LTE (Long Term Evolution) a été envisagé dès novembre 2004 comme l'évolution à long terme de l'UMTS. Les bandes de fréquences LTE allouées au niveau mondial sont: 450-470 MHz, 790-960 MHz, 1.71-2.025 GHz, 2.11-2.2 GHz, 2.3-2.4 GHz, 2.5-2.69 GHz. Au niveau européen, ce sont les bandes 790-862 MHz et 2.5-2.69 GHz qui ont été identifiées. Autour de 2020, une grande partie de la couverture sans fil disponible continuera d'être fournie par le réseau actuel 4G, et il est important que les opérateurs qui ont déployé ce réseau aient la possibilité de passer une partie - ou la totalité - de leurs bandes de fréquences vers la 5G. En parallèle, la technologie 4G continuera d'évoluer en tant que membre à part entière de la famille 5G. Le réseau 5G permettra la double connectivité entre la 4G fonctionnant dans les bandes inférieures à 6 GHz et la 5G qui pourra aussi allouer les bandes de 6 GHz à 100 GHz [31-46].

I.8.3 Présentation de la norme WIMAX

Le WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) est le nom commercial relatif à la norme IEEE 802.16. Le standard 802.16a était validé à la fin 2002 et qui permet d'émettre et de recevoir des données dans les bandes de fréquences radio de 2 à 11 GHz avec un débit maximum de 70Mbits/s sur une portée de 50 km. En pratique, cela permet d'atteindre 12 Mbits/s sur une portée de 20 km. Le WiMAX fonctionne en mode point

multipoint, c'est-à-dire le mode infrastructure que l'on connaît pour le Wi-Fi ou encore le même fonctionnement que les technologies 2G, 3G de téléphonie mobile [38].

I.8.4 Présentation de la norme Wi-Fi

Le réseau local sans fil (WLAN ou Wireless Local Area Network) 802.11 est un système de transmission des données standardisé par l'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Il fonctionne dans les bandes de fréquences 2.4, 3.6 et 5 GHz avec des débits variant entre 11 et 108 Mbit/s. Il permet d'assurer une liaison indépendante de l'emplacement des périphériques informatiques qui composent le réseau et utilisent les liens sans fil plutôt qu'une infrastructure câblée [7-39].

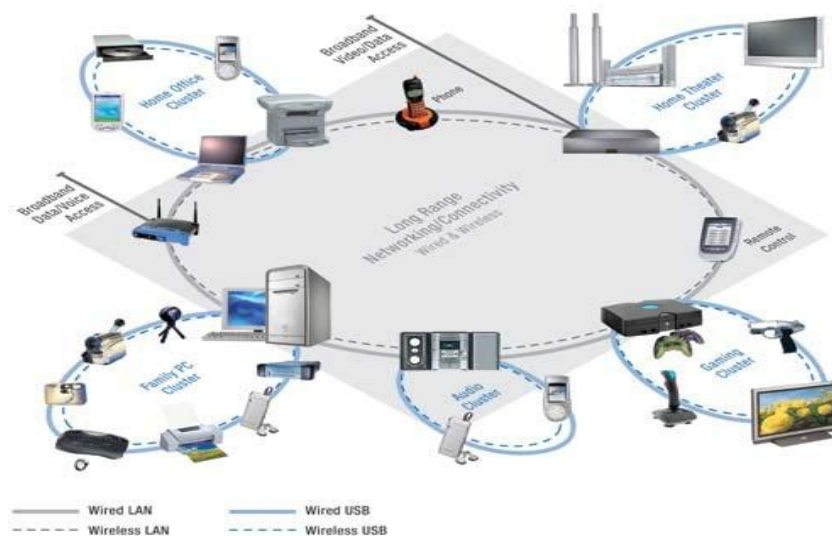


Figure I.43 : Illustration montrant comment et où la technologie sans fil remplace la technologie avec fil [53].

I.9 Les antennes multibandes

Parmi les besoins de téléphones mobiles à ce moment, est l'utilisation d'une antenne multibande qui fonctionne à plusieurs fréquences de résonance en même temps avec les mêmes exigences (adaptation, coefficient de réflexion, gain). Les solutions existantes pour réaliser ces antennes sont l'utilisation des nouvelles techniques qui permet de poursuivre la miniaturisation des dispositifs électroniques. En plus d'être petits et mobiles, ces appareils électroniques comme les téléphones portables, les tablettes, laptop ont l'avantage de pouvoir communiquer sans fil. Ainsi, ils ont tous besoin d'un élément indispensable qui est une antenne. En marge des autres composants électroniques, l'antenne est un élément qui occupe encore de nos jours un grand encombrement d'où le challenge de la réduire autant que possible [17-45].

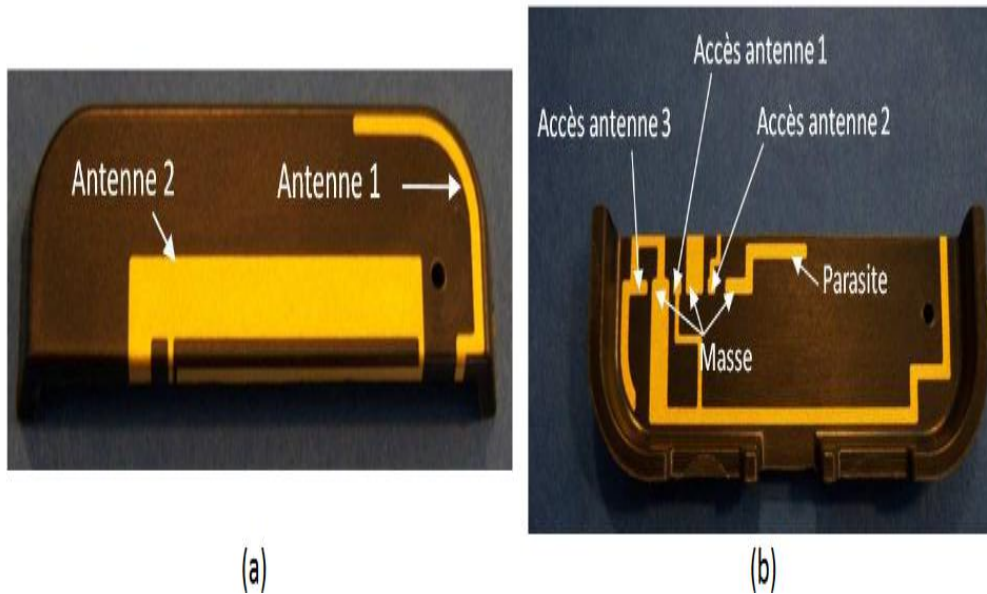


Figure I.44: Prototype d'antenne pour un fonctionnement sur trois bandes: (a) vue dessus, (b) vue dessous [45].

I.10 Les techniques de miniaturisation des antennes imprimées

Les techniques de miniaturisation d'une antenne imprimée consistent dans la réduction de l'encombrement qu'elle occupe afin de répondre à des exigences surfaciques ou volumiques d'intégration. L'étude de la technique de miniaturisation a conduit à la mise au point des nouvelles géométries d'antennes imprimées capables d'intégrer un appareil mobile afin d'avoir plusieurs fréquences de résonance opérant un fonctionnement multibandes, d'optimisation de la bande passante et du niveau d'adaptation de coefficient de réflexion S_{11} et le gain [1].

Ces techniques de miniaturisation utilisées pour faire résonner une antenne imprimée à plusieurs fréquences sont très variées telles que [6]:

- La modification de la forme de l'élément rayonnant, méandres verticaux [8] et méandres latéraux [9].
- L'ajout de court-circuit [10]
- L'ajout de résonateurs parasites juxtaposés et superposés [11].
- Insertion de fentes dans l'élément rayonnant en bout d'élément ou dans l'élément [12].
- Utilisation de chargements capacitifs inductifs soit localisée [13] ou répartis [14].

On distingue en général la miniaturisation par structuration ou modification de la géométrie qui consiste à changer le concept ou la forme de l'antenne. Cette technique a pour but d'allonger artificiellement les dimensions du dispositif résonnant. Parmi ces techniques, celles caractérisées principalement par une modification de la géométrie de l'antenne, l'intégration d'éléments localisés, le rajout de courts circuits. La miniaturisation d'une antenne s'apparente donc à un compromis entre ses dimensions et ses performances. Nous détaillerons dans la suite les différentes techniques utilisées pour la miniaturisation des antennes présentées dans la littérature [20].

I.10.1 Modification de l'élément rayonnant

Une technique simple pour miniaturiser une antenne est la création de méandres. La modification de la forme de l'élément rayonnant réalisé par méandres verticaux ou méandres latéraux [33].

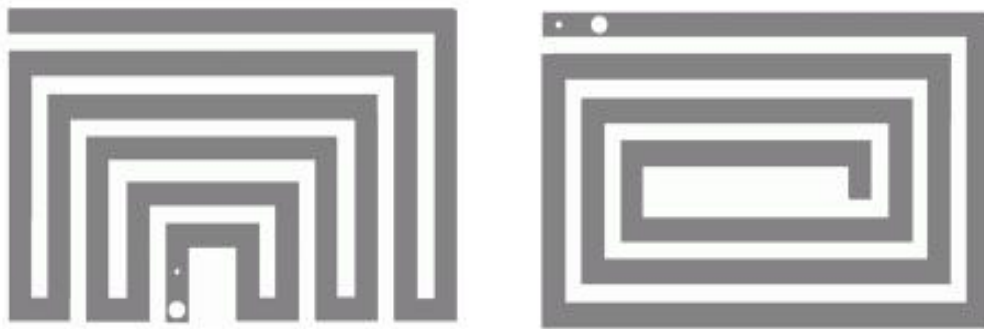


Figure I.45 : Les méandres latéraux [33].

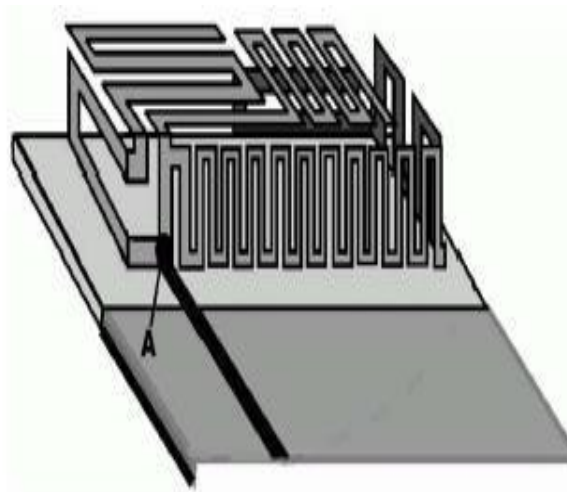


Figure I.46: Les méandres latéraux et verticaux [33].

I.10.2 Ajout 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 TM₁₀₀, 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 équipotentielle ne sont nullement affectés. Ainsi, les dimensions de la structure peuvent être réduites de moitié tout en conservant la même fréquence de résonance [20-47].

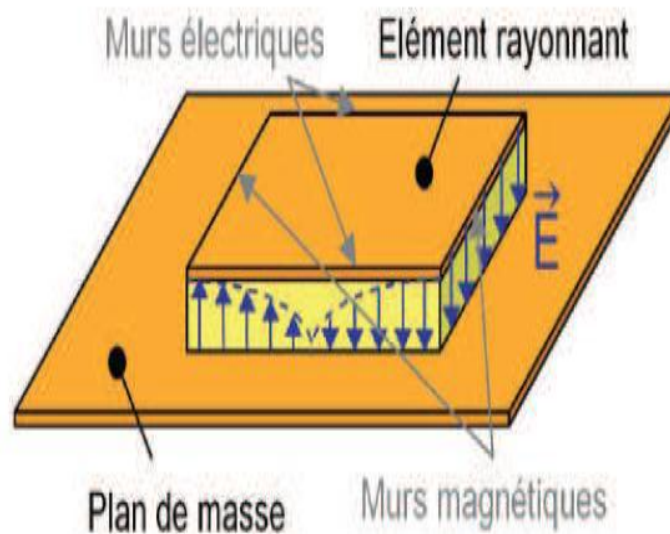


Figure I.47: Cartographie du champ E dans la cavité d'une antenne micro ruban [47].

I.10.2.1 Les types de court-circuit

En pratique, il est possible de court-circuiter l'antenne dans son centre avec un mur métallique vertical qui le relie au plan de masse. Il en résulte une antenne ayant une $\lambda/4$ dite antenne quart d'onde. Elle porte le nom de Planar Inverted-F Antenna ou PIFA. De façon générale, cette technique de miniaturisation peut s'appliquer à toutes les formes d'antennes si l'on positionne un court-circuit à l'endroit où le potentiel du mode considéré s'annule [35-47].

I.10.2.1.1 Court-circuit plan

Dans ce cas la largeur de court-circuit est égale à la largeur de l'élément rayonnant comme présente la figure I.48.

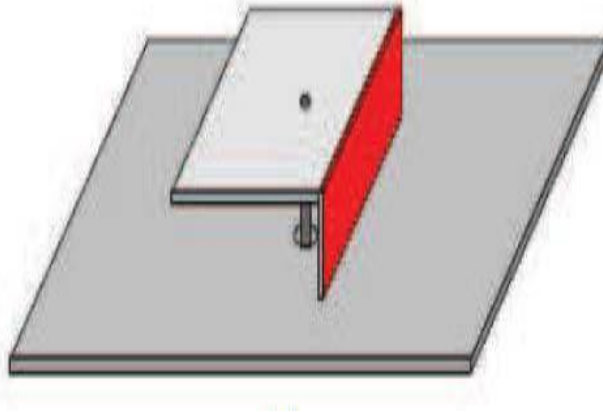


Figure I.48: Un court-circuit plan [47].

I.10.2.1.2 Court-circuit languette

Dans le second cas la largeur de court-circuit est inférieure de la longueur de l'élément rayonnant.

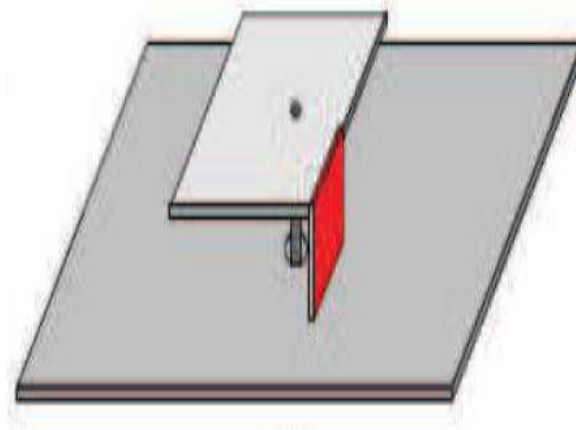


Figure I.49: Un court-circuit de type languette [47].

I.10.3 Ajout de fentes

L'insertion de fentes dans l'élément rayonnant implique une augmentation du trajet des courants surfaciques. En effet, les courants qui circulent d'un bout à l'autre de cette partie métallique seront obligés de contourner ces fentes et devront donc emprunter un chemin plus long que le chemin emprunté sur la structure sans fente comme se montre sur la figure I.50, la longueur électrique sera ainsi augmentée [7-35].

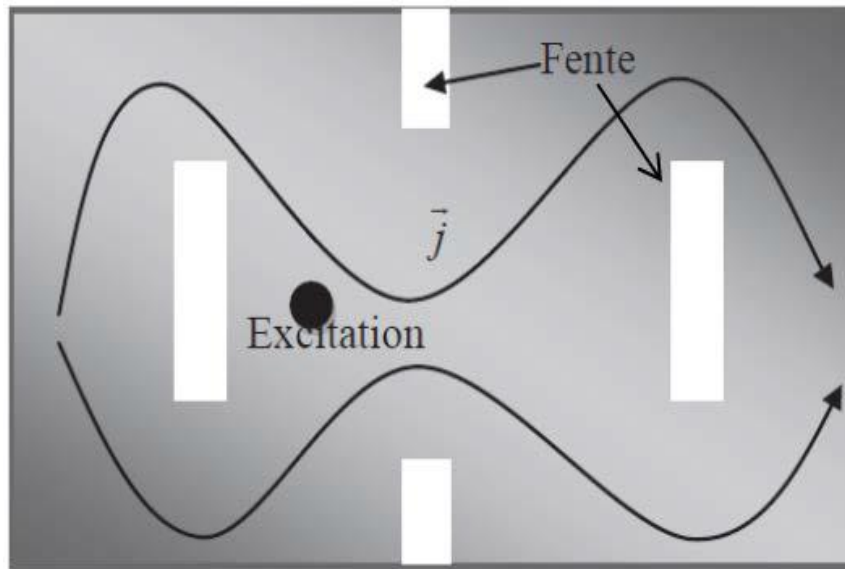


Figure I.50: Allongement du trajet des courants par ajout de fentes [7].

À la figure I.50, en changeant les caractéristiques de la fente, la fréquence de résonance est modifiée. Il existe aussi des fentes repliées en forme : U, H, papillon mais aussi de forme curviligne [7].

I.10.3.1 Fente demi-onde (non débouchante)

Nous définissons une fente comme une ouverture découpée dans une surface conductrice métallique obligeant les courants de surface d'allonger leur trajet pour la contourner. Ainsi l'insertion d'une fente dite débouchante ou non débouchante (figure I.51) permet de diminuer les fréquences de résonances pour un volume d'antenne constant.

L'insertion de fentes est une étape fondamentale vers la miniaturisation des prototypes antennaires [21].

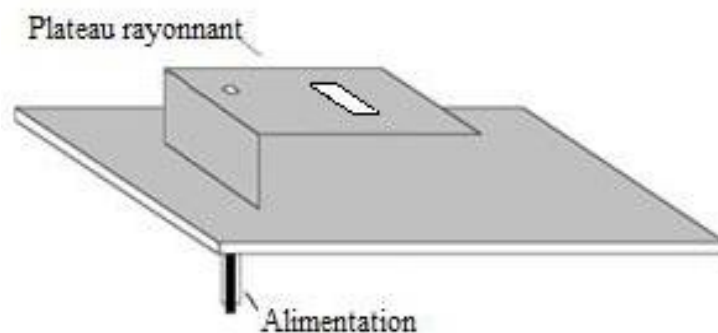


Figure I.51: Antenne avec fente non débouchante [21].

I.10.3.2 Fente quart d'onde (débouchante)

Les fentes débouchantes sont souvent utilisées lorsqu'on veut élargir les bandes passantes d'une antenne (figure I.52). La longueur ainsi que la largeur et le nombre de fentes influenceront sur la fréquence de résonance de l'antenne [21-35].

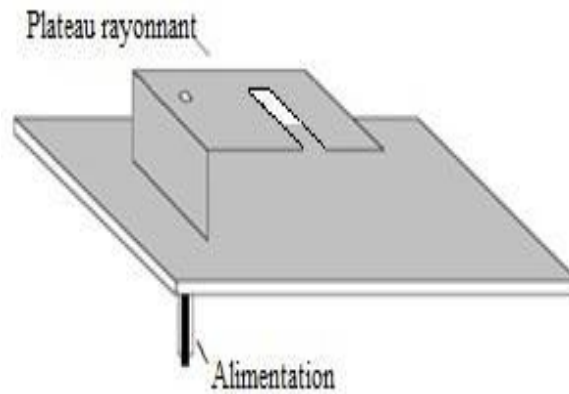


Figure I.52: Antenne avec fente débouchante [21] .

I.10.4 Création de nouveaux résonateurs

La découpe de fentes dans certaines parties d'un élément rayonnant peut permettre l'émergence de nouveaux résonateurs (figure I.53). Nous pouvons par exemple citer l'utilisation d'une fente non débouchante en forme de U ou l'utilisation de fentes débouchantes de formes quelconques. Grâce à ce procédé et aux effets capacitifs créés, des antennes à la fois miniatures, larges bandes et multibandes peuvent être conçues [21-23].

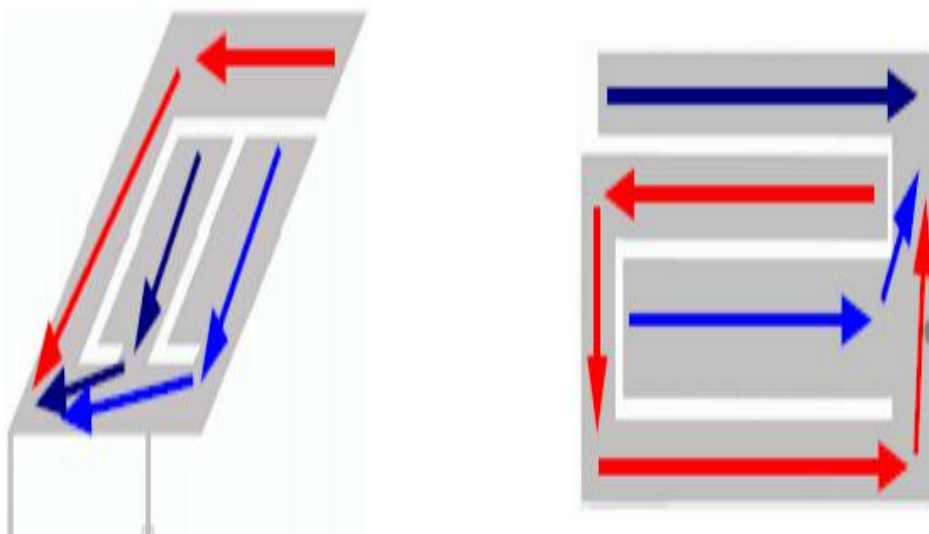


Figure I.53: Antenne PIFA avec fentes [23].

I.10.5 Chargement capacitif

I.10.5.1 Insérés en bout l'élément

Une des techniques utilisée dans la miniaturisation des antennes est le chargement capacitif inséré en bout d'élément rayonnant. Différentes configurations sont présentées sur la figure I.54 [23].

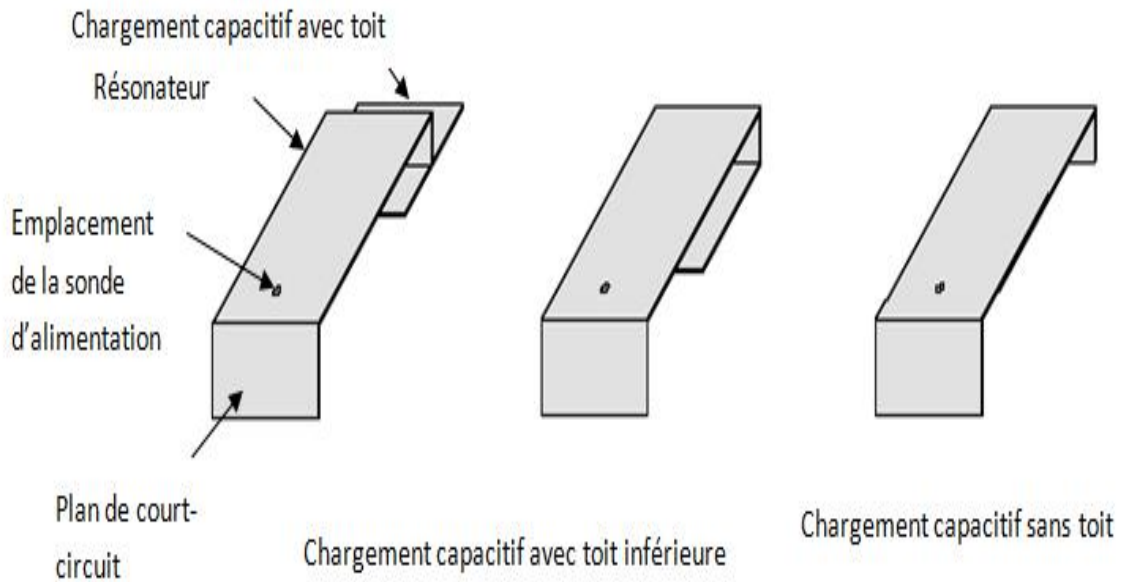


Figure I.54: Différents types de chargement capacitif inséré en bout d'élément [23].

I.10.5.2 Dans l'élément

Une autre technique d'insertion de chargement capacitif consiste à insérer la capacité dans l'élément rayonnant (figure I.55) [23-44].

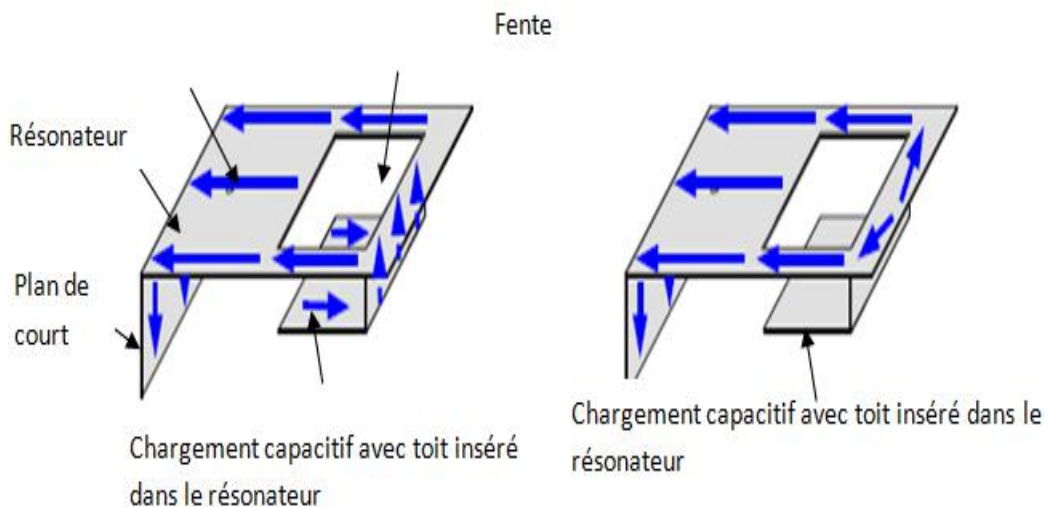


Figure I.55: Chargement capacitif inséré dans l'élément [44].

I.10.6 Allongement des longueurs électriques

La figure I.56 illustre l'allongement de longueur électrique de l'élément rayonnant est fait grâce à la fente quart d'onde débouchante ou demi-onde non débouchante. En effet, les flèches bleues, représentant le chemin parcouru par le courant surfacique, les fentes ainsi pratiquées sur l'élément rayonnant vont induire des effets capacitifs et selfique modifiant l'impédance d'entrée de l'antenne [35-44].

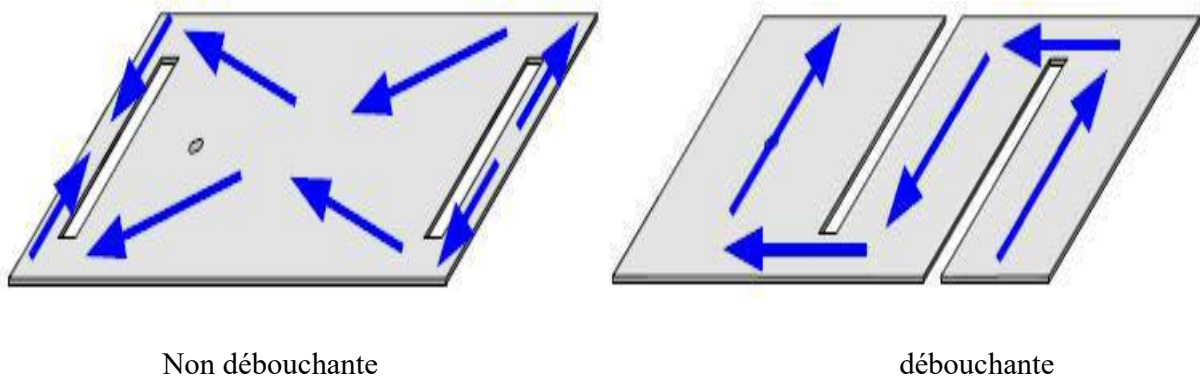


Figure I.56: Allongement des longueurs électriques par fentes débouchant ou non débouchant [35].

I.10.7 Repliement

Cette technique a pour but de replier ou bien de changer la forme de l'élément rayonnant (figure I.57). Cette méthode conduit généralement à un élément qui occupe moins d'espace physique qu'un autre non replié. Deux configurations sont représentées sur la figure I.58 [19-34-69].

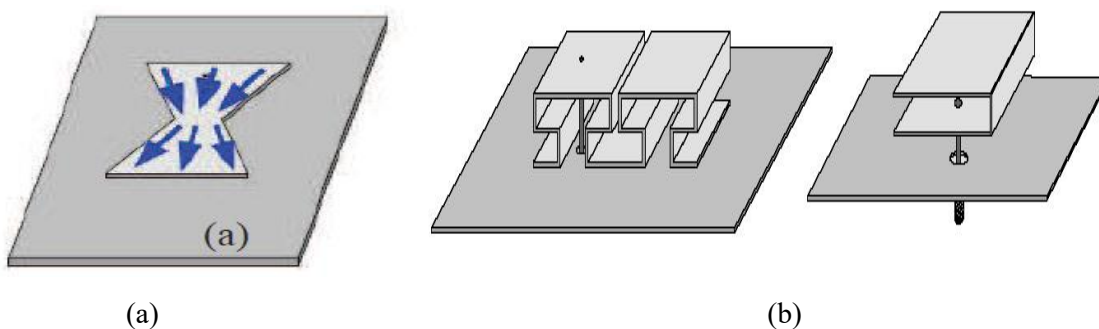


Figure I.57: (a) Illustration d'une antenne repliée (b) repliement vertical [44].

Le cas présenté dans la figure I.58 (a) a également pour vocation d'élargir la bande passante. Dans le second cas de repliement dans la figure I.57 (b), le désagrément de cette technique réside dans l'augmentation non négligeable de la hauteur de l'antenne [44].

I.11 Les avantages et les inconvénients des antennes imprimées

I.11.1 Les avantages

D'une façon générale, les avantages des antennes imprimées sont [19]:

- 1- Simples,
- 2- Robustes.
- 3- Non encombrantes.
- 4- Adaptées aux surfaces planes et non planes.
- 5- faible coût.
- 6- Forte sélectivité.

I.11.2 Les inconvénients

On peut citer différents inconvénients pour les antennes imprimées tels que [19]:

- 1- Faible efficacité.
- 2- Faible puissance.
- 3- Impureté de la polarisation.
- 4- Bande relativement étroite.

Donc, la conception des antennes doit répondre à des compromis en termes de performances et de complexité de réalisation.

I.12 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une généralité sur les antennes imprimées, leurs techniques d'alimentation les plus utilisées ainsi que leurs emplois dans différents services et secteurs de communication. Les différentes caractéristiques exploitées dans la conception de ces antennes seront également présentées. Nous avons examiné ensuite le type et l'endroit de l'alimentation qui jouent un rôle important dans l'étude. Enfin, nous avons présenté la description et le mécanisme de rayonnement et la mise des antennes imprimées. Donc elles sont extrêmement compatibles pour les incorporer dans les dispositifs sans fil portatif tels que les téléphones cellulaires ... etc.

Références

- [1] M. Rammal, “Développement d’antennes agiles en fréquence intégrant un condensateur ferro électrique”, Université de Limoges, thèse soutenue le 13 décembre 2017.
- [2] T. Taga, K. Tsunekawa, “Performance analysis of a built-in planar inverted-F antenna for 800 MHz band radio units,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol.5, N°. 15, Jun. 2002.
- [3] P. Ciaï, “Antennes multistandards pour communications mobiles,” Université de Nice-Sophia Antipolis, thèse soutenue le 13 décembre 2004.
- [4] P.Thuc, “Antennes imprimées miniatures pour systèmes de télécommunications.Applications aux communications mobiles,” Université de Nice-Sophia Antipolis, thèse soutenue le 16/06/2003.
- [5] C. R. Rowell, R. D. Murcha, “A compact PIFA suitable dual-frequency 900/1800 MHz operation,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 46, N°.4, pp. 596-598, Apr. 1998.
- [6] S. Hebib, “Nouvelle topologie d'antennes multi-bandes pour applications spatiales”, Université de Toulouse III - Paul Sabatier, thèse soutenue le 24 Novembre 2008.
- [7] A. Berkat, “Conception et Réalisation D’antennes Miniatures Isotropes dans les bandes C et ISM”, Université de Tlemcen, thèse soutenue en Mai 2014.
- [8] J.S. Row, “Dual-frequency triangular planar inverted-F antenna,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 53, N°. 2, pp. 874-876, Feb. 2005.
- [9] K.L. Wong, K.P. Yang, “Modified planar inverted-F antenna,” *Electronics Letters*, vol. 34, pp. 7-8, Jan. 1998.
- [10] Z.D. Liu, P. S. Hall, D. Wake, “Dual frequency planar inverted-F antenna,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 45, N°. 10, pp. 1451-1458, Oct. 1997.
- [11] L. Zaid, G. Kossiavas, J.Y. Dauvignac, J. Cazajous, A. Papiernik, “Dual-frequency and broad-band antennas with stacked quarter wavelength elements,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 47, N°. 4, pp. 654-660, Apr. 1999.
- [12] C.W. Chiu, F.L. Lin, “Compact dual-band PIFA with multi-résonators,” *Electronics Letters*, vol. 38, N°. 12, pp. 538-540, Jun. 2002.
- [13] G.K.H. Lui, R. D. Murch, “Compact dual-frequency PIFA designs using LC resonators,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 49, N°. 7, pp.1016-1019, Jul. 2001.
- [14] C.R. Rowell, R. D. Murcha, “A compact PIFA suitable dual-frequency 900/1800 MHz operation,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 46, N°. 4, pp. 596-598, Apr. 1998.
- [15] M. Biyun, “Contribution à l’optimisation des performances des systèmes de communication par contrôle conjoint du filtrage et du rayonnement”, Université de Nantes, Thèse soutenue en 2010.
- [16] E. Ben Abdallah, “Conception conjointe d’antenne active pour futurs modules de transmission RF miniatures et faible pertes”, Université de Grenoble Alpes, thèse soutenue le 12 Décembre 2016.
- [17] J. Neverly, “Design of Vivaldi antenna”, University in Prague Faculty of Electrical Engineering, thèse soutenue en 2007.

-
- [18] A. Agouzoul, "Conception et réalisation d'une antenne à résonateur diélectrique à 60 GHz pour les applications souterraines, Université du Québec à Chicoutimi, thèse soutenue en août 2013.
- [19] S. Azzaz Rahmani, "Analyse et conception des antennes imprimées multi-bandes en anneaux concentriques pour les réseaux de télécommunications", Université de Tlemcen, thèse soutenue en Juillet 2013.
- [20] S. Dakhli, "Augmentation de la performance des antennes miniatures inspirées par méta matériaux", Université de Rennes 1, thèse soutenue le 15 Juin 2015.
- [21] G. Kossiavas, "Antennes quasi-auto-complémentaires pour terminaux mobiles multistandards", Université de Nice-Sophia Antipolis, thèse soutenue le 18 décembre 2013.
- [22] O. Ripoché, "Miniaturisation D'antennes en bande VHF pour applications Spatiales", Université de Toulouse, soutenue le mercredi 6 novembre 2013.
- [23] Y. Belhadef, "Conception d'antennes PIFAS Large Bande et Multi bandes pour Différents Standards de Télécommunications Mobiles", Université de Tlemcen, thèse soutenue le 20-11-2012.
- [24] M. Tabaa, "Conception d'un système de transmission ultra-large bande par impulsions orthogonales", Université de Lorraine, thèse soutenue le 21 Novembre 2014.
- [25] T.D Nguyen, "Conception d'antenne intelligente reconfigurable pour la radio cognitive", Université de Grenoble, thèse soutenue le 7 août 2006.
- [26] O. Barkat, "Etude et Synthèse des Caractéristiques de Réseaux d'antennes Imprimées Supraconductrices dans la Bande Millimétrique", Université de Constantine, thèse soutenue le 09 Décembre 2009.
- [27] H. Ben Ibrahim Gaha, "Analyse et Conception des Antennes Fractales Applications aux Télécommunications Large Bande", Université de Tunisie, thèse soutenue le 18 Juillet 2007.
- [28] K. Chemachema, "Etude des structures microbandes par la technique des réseaux de neurones application a différentes excitations", Université Constantine 1, thèse soutenue en Juin 2013.
- [29] M. Bousahla, "Analyse et synthèse de réseaux plans ou conformés d'antennes imprimées par méta-heuristiques floues", Université de Tlemcen, thèse soutenue en 2012.
- [30] T. Bougoutaia, "Analyse et conception des antennes micros trip à base de méta matériaux", Université Mohamed Boudiaf - M'sila, soutenue le 24/05/2018.
- [31] L. Mouffok, "Conception de systèmes multi-antennes multi-bandes pour terminaux mobiles LTE", Université de Paris Tech, thèse soutenue le 22 février 2013.
- [32] O. Kaid, "Conception et modélisation d'une antenne pour les communications Ultra Large Bande", Université de science de la technologie Oran, thèse soutenue en Avril 2013.
- [33] F. Grange, "Matériaux composites pour antenne miniature intégrée", Université de Rennes, Thèse soutenue le 23 novembre 2010.
- [34] N. Kristou, "Étude et conception de méta matériaux accordables pour la miniaturisation d'antennes aux fréquences microondes", Université de Rennes1, thèse soutenue le 8 Juin 2018.

- [35] C. Luxey, “Solutions antennaires pour petits objets communicants et techniques de caractérisation associées”, Université de Nice Sophia Antipolis, Thèse soutenue le 21 Novembre 2008.
- [36] H. Chaker, “Conception et optimisation de réseaux d’antennes imprimées a faisceaux multiples application des réseaux de neurones”, Université de Tlemcen, thèse soutenue en Mars 2012.
- [37] F. Daout, S. Jacquet, X. Durocher et G. Holtzmer “Conception, Simulation, Réalisation et mesure d’une antenne imprimée rectangulaire 2.4 GHz”, Journal sur l’enseignement des sciences et technologies de l’information et des systèmes, vol. 8, N°.13. 10, 14 Mars 2009.
- [38] H. Zerrouki, “Cross-layer design et accès multiple dans les réseaux sans fil MIMO”, Université de Tlemcen, thèse soutenue en Juillet 2013.
- [39] F. Nivor, “Architecture de Communication pour les Applications Multimédia Interactives dans les Réseaux Sans Fil”, Université de Toulouse, thèse soutenue Le 15 Juillet 2009
- [40] S. Loizeau, “Conception et optimisation d’antennes reconfigurables multifonctionnelles et ultra large bande”, Université de Paris Sud, thèse soutenue le 18 décembre 2009.
- [41] P.C. Quispe, “Contrôle intelligent de la domotique à partir d’informations temporelles multi sources imprécises et incertaines”, Université de Grenoble, thèse soutenue le 27 mars 2013.
- [42] T. Chaben Bennai, “Analyse et conception d’antennes Vivaldi”, Université de Tlemcen, thèse soutenue en 2013.
- [43] B. Moret, “Amplificateur de puissance autonome pour applications OFDM et beamforming de la 5G aux fréquences millimétriques en technologie CMOS avancée”, thèse soutenue le 5 octobre 2017.
- [44] Y. Dia, “Optimisation par conception conjointe de dispositifs multifonctions filtre-antenne compacts et agiles”, Université de Limoges, thèse soutenue le 11 juillet 2016.
- [45] F. Sonnerat, “Développement d’antennes innovantes pour les terminaux mobiles 4G tenant compte de l’interaction avec l’utilisateur: solutions circuits et antennes envisageables”, Université de européenne de Bretagne, thèse soutenue le 3 octobre 2013.
- [46] K. Ibrahimi, “Gestion des ressources des réseaux mobiles de nouvelle génération par rapport à la mobilité des utilisateurs”, Université Mohammed V-Agdal Rabat - Maroc, thèse soutenue le 20 novembre 2009.
- [47] S. Sufyar, “Contribution à l’étude d’Antennes Miniatures Reconfigurables en Fréquence par association d’éléments actifs”, Laboratoire SAP du CEA/LETI dans l’École Doctorale EEATS, thèse soutenue le 14 décembre 2011.
- [48] A. Kazemi, “Contribution à l’étude du couplage entre antennes, application à la compatibilité électromagnétique et à la conception d’antennes et de réseaux d’antennes”, école nationale supérieure des télécommunications, thèse soutenue le 12 Décembre 2002.
- [49] M. Adnan Addou, “Filtrage actif intégré reconfigurable pour la téléphonie sans fil”, Université de Limoges, thèse soutenue 2016.
- [50] Sylvain Blayac, “Surfaces 3D sensibles imprimées: de l’interaction ondes-matière à l’interface homme-machine”, Télécom Sud Paris propose automne, thèse soutenue en 2013.

-
- [51] E. Drahi, S. Blayac, P. Benaben, "Silicon Thin-films from Nanoparticles Dispersion: Tailoring Morphological, Electrical and Optical Characteristics", Materials Research Society Spring Meeting, San Francisco, thèse soutenue en avril 2011.
- [52] M. Pigeon, "Etude et réalisation d'antennes ultra-compactes à base de métamatériaux Application à la réalisation d'une antenne GNSS miniature", Université de Toulouse, thèse soutenue le 28 novembre 2011.
- [53] A. Chami, "Miniaturisation et intégration d'antennes imprimées pour systèmes de communicants ULB pulsés", Université Nice Sophia Antipolis, Thèse soutenue en 2011.
- [54] F.Z. Marouf, "Etude et conception d'antenne imprimé identification radio fréquence RFID UHF", Université de Tlemcen, thèse soutenue en 2013.
- [55] A. Tornambé, "Modélisation système et développement d'antennes multistandards pour objets de paiement sans contact et de communication NFC", Université d'Aix Marseille, thèse soutenue le 30/11/2016.
- [56] D. Hamzaoui, "Modélisation et caractérisation de méta matériaux en hyperfréquences. Application à la réalisation des composants passifs", Université de Sétif 1, thèse soutenue octobre 2017.
- [57] S.M. Chouiti, "Détection et Reconstruction de forme d'Objets par les Techniques d'Imagerie Micro-ondes", Université de Tlemcen, thèse soutenue le 4 avril 2017.

**Chapitre II: Conception
des Antennes PIFA
Multibandes**

II.1 Introduction

La téléphonie mobile est un portail de connaissances et de communication. Les téléphones sont de plus en plus essentiels et cela a changé la vie quotidienne de millions de personnes grâce à leur diversité. Maintenant, il existe de nombreuses applications de la téléphonie mobile dans tous les domaines telles que la santé, la sécurité, l'armée.....etc [1-10]. L'utilisation du téléphone mobile est considérablement augmentée. Cela nécessite une réduction de la taille et du poids du terminal ou des antennes téléphoniques. Les communications sans fil moderne nécessitent une structure compacte d'antennes. La conception des antennes doit également respecter certaines caractéristiques, telles que le faible poids, la robustesse, le faible coût et l'utilisation de fréquences multibande, ce qui signifie qu'elles peuvent fonctionner simultanément avec différents standards de communication [9]. L'antenne F inversée plane (PIFA) est l'une des solutions qui répondent à cette demande et fournit les caractéristiques demandées. Les antennes PIFA sont de profil simple, de poids léger et de structures variées. Elles fournissent des diagrammes de rayonnement appropriés et une bonne adaptation d'impédance d'entrée [3-8]. Dans les conceptions d'antenne est de combiné, certaines études proposent d'appliquer plusieurs modes de résonance pour obtenir des performances multibandes. Il est devenu impératif de concevoir des antennes multibandes pour les terminaux de communication sans fil personnels actuels nécessaires à la prise en charge de divers standards et services de communication mondiaux. Les antennes de ces dispositifs de communication modernes devraient pouvoir fonctionner dans les bandes de fréquences maximales possibles avec de coefficient de réflexion et des performances de rayonnement acceptables, les performances multibandes des antennes pour des terminaux de communication sans fil portable doivent comporter des structures compactes, robustes, légères, faciles à fabriquer et flexibles [18-21]. Les développements rapides de la communication sans fil résultant de la nouvelle demande des antennes PIFA (Planar Inverted-F Antenna) doivent être développés et miniaturisés pour fournir des applications multibandes. Son profil de base et sa taille compacte sont parfaitement adaptés aux normes de communication sans fil actuel [11-17].

Dans ce chapitre, nous allons proposer une nouvelle conception des antennes PIFA multibandes destinée à une exploitation dans les fréquences 5.26 GHz pour les réseaux locaux sans fil est de 2.53 GHz pour les réseaux LTE est de 1.81 GHz pour les systèmes DCS. L'antenne PIFA multibande fonctionne dans les normes DCS (1.71-1.81 GHz), UMTS (1.92-

2.17 GHz), LTE (2.50-2.69 GHz), WIMAX (5.2-5.8 GHz) et WLAN (5.15-5.35 et 5.72-5.87GHz).

II.2 Les applications sans fil

Les systèmes de télécommunications mobiles évoluent très rapidement. L'avancée des technologies et la modification radicale des demandes et des exigences des clients ont abouti à une diversification et à une croissance indéniable dans les services de communication sans fil. Il devient désormais courant, pour les téléphones portables dernière génération, de présenter des fonctionnalités comme: Bluetooth, GPS, Wi-Fi en plus des fonctions servant à la téléphonie mobile telle que le GSM, LTE, UMTS, WIMAX et WLAN. Un terminal mobile multistandard est compatible comme son nom l'indique avec plusieurs standards. Ce terminal mobile doit répondre aux spécifications fixées par chacun de ces standards. Le tableau suivant représente les applications sans fil [23].

Application	Bande de fréquence
IEEE 802.16 WiMax (bande inférieure)	[2.5 - 2.8 GHz]
IEEE 802.16 WiMax (bande centrale)	[3.2 - 3.8 GHz]
IEEE 802.16 WiMax (bande supérieure)	[5.2 - 5.8 GHz]
IEEE 802.11 WLAN	2.4 GHz [2.4 - 2.484 GHz]
IEEE 802.11 WLAN	5.2 GHz [5.15 - 5.35 GHz]
IEEE 802.11 WLAN	5.8-GHz [5.725 - 5.875 GHz]
IEEE 802.11 b/g/j/a/h in WLAN	[2.4 - 2.4835 GHz]
IEEE 802.11 b/g/j/a/h in WLAN	[4.9 - 5.1 GHz]
IEEE 802.11 b/g/j/a/h in WLAN	[5.15 - 5.35 GHz]
IEEE 802.11 b/g/j/a/h in WLAN	[5.7 - 5.9 GHz]
Wi-Fi (802.11.b)	[2.4000 - 2.4835 GHz]
LTE	[2.500-2.690 GHz]
Bluetooth	2.4 GHz
UMTS	[1920 - 2170 MHz]
DCS	[1710 -1810 MHz]

Tableau II.1: Applications sans fil [22].

II.3 Méthodologie de conception d'antennes

La conception des antennes a pour but d'atteindre des caractéristiques de fonctionnement multibande pour une fréquence désignée, nous allons concevoir des antennes capables de fonctionner dans différentes normes de communications sans fil. Dans le cadre de notre travail nous sommes intéressés par des standards tels que DCS, WLAN, LTE, UMTS et Wi-Fi...etc. La méthodologie de la conception mise en œuvre est illustrée par la figure II.1.

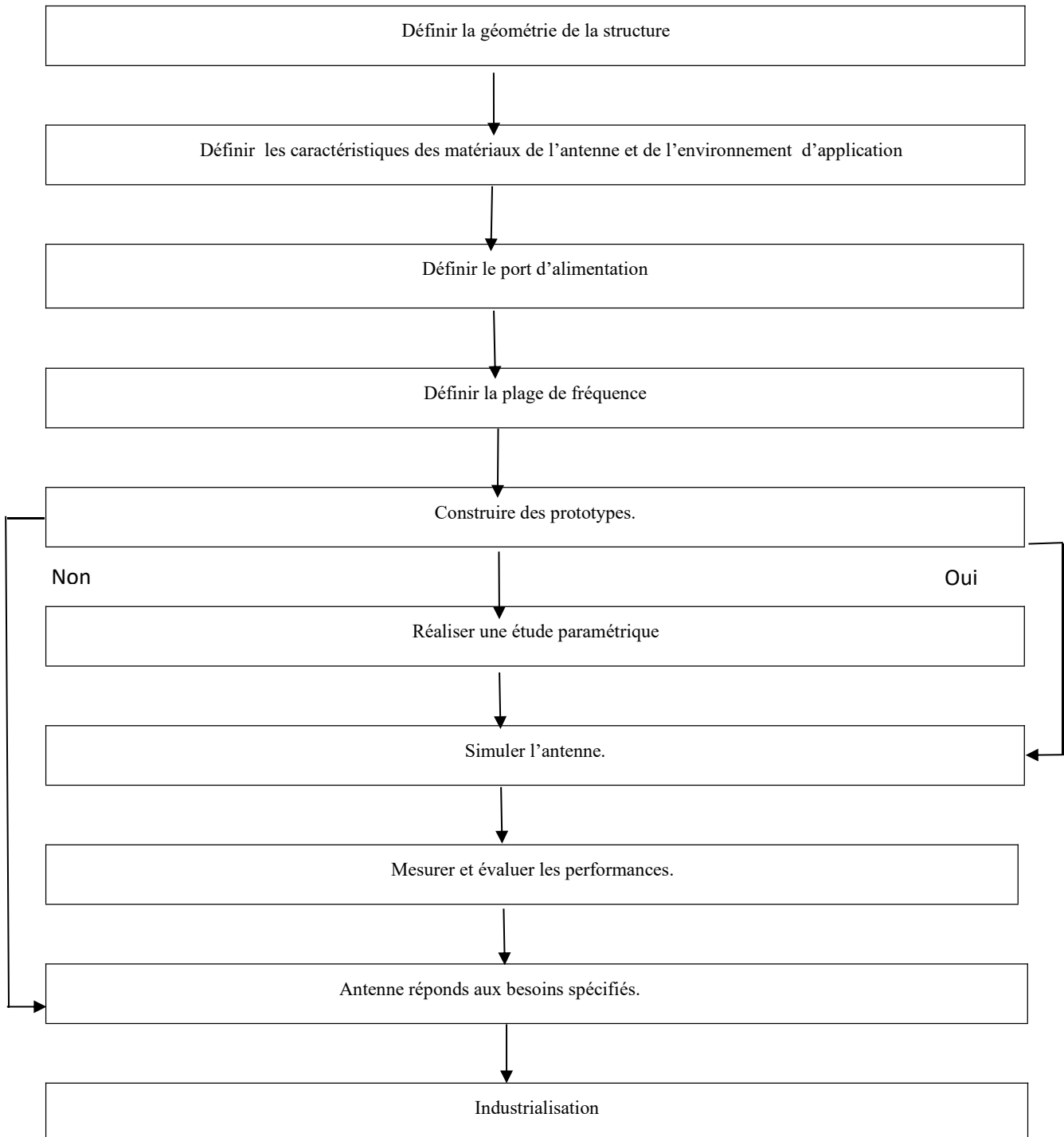


Figure II.1: La méthodologie de conception des antennes PIFA [26].

II.4 Conception d'antenne proposée

La géométrie d'antenne de base PIFA multibande proposée répond aux besoins des systèmes de réseau moderne dédié aux applications de la téléphonie mobile tel que: DCS, LTE et WLAN. La figure II.2 présente une antenne PIFA multibandes composée: d'un plan de masse métallique est de $(90 \times 38 \text{ mm}^2)$, deux résonateurs qui contiennent deux fentes parallèles permettant une résonance multiple et une languette de court-circuit utilisé pour court-circuiter le patch sur le plan de masse. La largeur et la hauteur de la languette de court-circuit sont de 1 mm et de 8 mm respectivement relié à l'alimentation microruban.

Les bonnes performances peuvent être obtenues pour une antenne F plane inversée en modifiant le type de fentes. La fréquence de résonance d'une telle antenne est [6]:

$$f_r = \frac{c}{4(h + L)} \quad (\text{II.1})$$

f_r : La fréquence de résonance.

C: Vitesse de la lumière dans l'espace libre.

L: La longueur de l'antenne.

h: La hauteur de l'antenne.

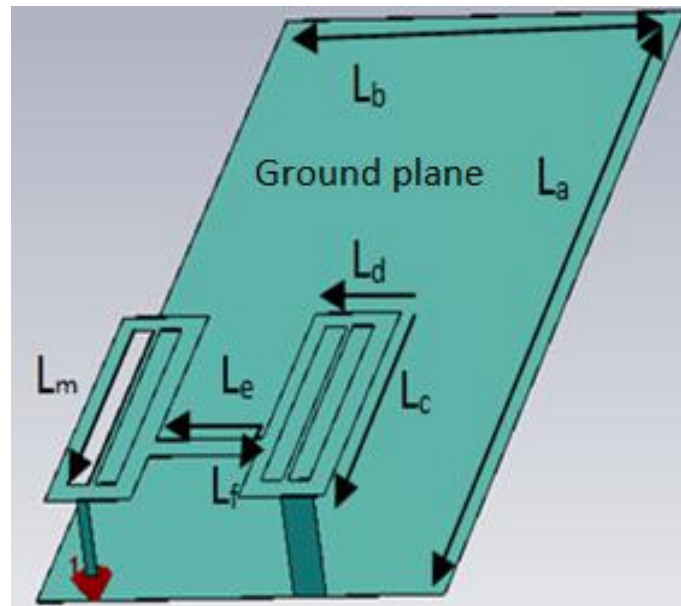


Figure II.2: La géométrie de l'antenne proposée [25].

Les paramètres géométriques de l'antenne simulée sont regroupés dans le tableau II.2 :

Paramètres	L_a	L_b	L_c	L_d	L_e	L_f	L_m
valeurs [mm]	90	38	28	8	10	2.5	23.5

Tableau II. 2 : Paramètres géométriques de l'antenne proposée.

II.5 Résultats de simulation

II.5.1 Étude paramétrique

Une étude paramétrique de l'antenne PIFA proposée, afin de mieux analyser l'influence des différents paramètres géométriques sur les performances de l'antenne et en particulier sur l'adaptation. Cette étude nous a permis de mieux comprendre l'effet de chaque paramètre sur les caractéristiques de l'antenne, nous avons suivi une démarche d'étude basée sur le changement de la largeur de court-circuit et les résultats de de simulations trouvés sont montrés sur la figure II.3.

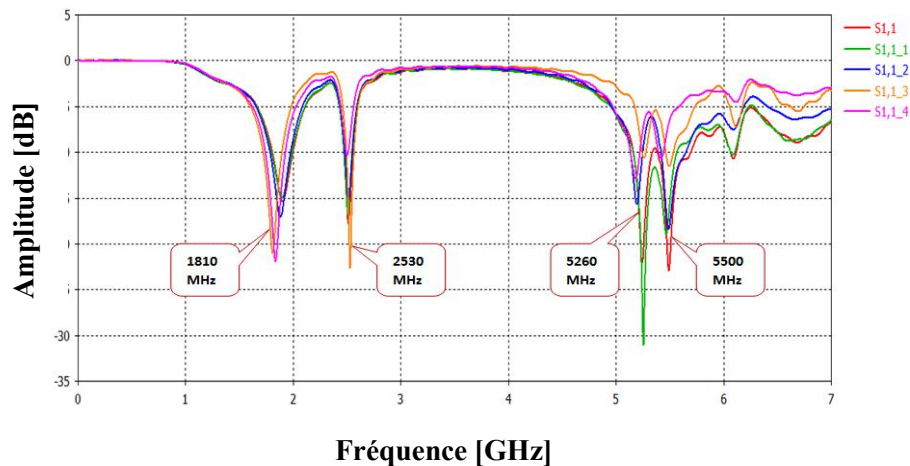


Figure II.3: Coefficient de réflexion de l'antenne PIFA multibande.

Après l'application de cette technique de miniaturisation, nous avons pu améliorer l'amplitude de coefficient de réflexion qui est montrée dans le tableau II.3:

Largeur de court-circuit [mm]	Fréquence [GHz]				Amplitude [dB]			
	1.81	2.53	5.26	5.50	-21.05	-22.7	-10.65	-11.6
W=1	1.81	2.53	5.26	5.50	-21.05	-22.7	-10.65	-11.6
W=3.5	1.88	2.52	5.20	5.48	-17.1	-15.4	-15.7	-18.4
W=4	1.90	2.51	5.24	5.47	-15.4	-17.76	-22.18	-22.94
W=5	1.88	2.51	5.26	5.51	-15	-16.8	-31	-18.9
W=5.5	1.87	2.87	5.48	5.58	-15	-18	-20	-12

Tableau II.3: Les fréquences de l'antenne simulée.

En utilisant le logiciel CST, nous avons simulé une nouvelle antenne PIFA à quatre bandes de fréquences pour les normes DCS, LTE, WIMAX et WLAN fonctionnant dans les fréquences de résonance $f_1 = 1810$ MHz, $f_2 = 2530$ MHz, $f_3 = 5260$ MHz et $f_4 = 5500$ MHz. La figure II.4 présente le coefficient de réflexion S_{11} qui s'étale dans la bande de fréquences [0-7 GHz].

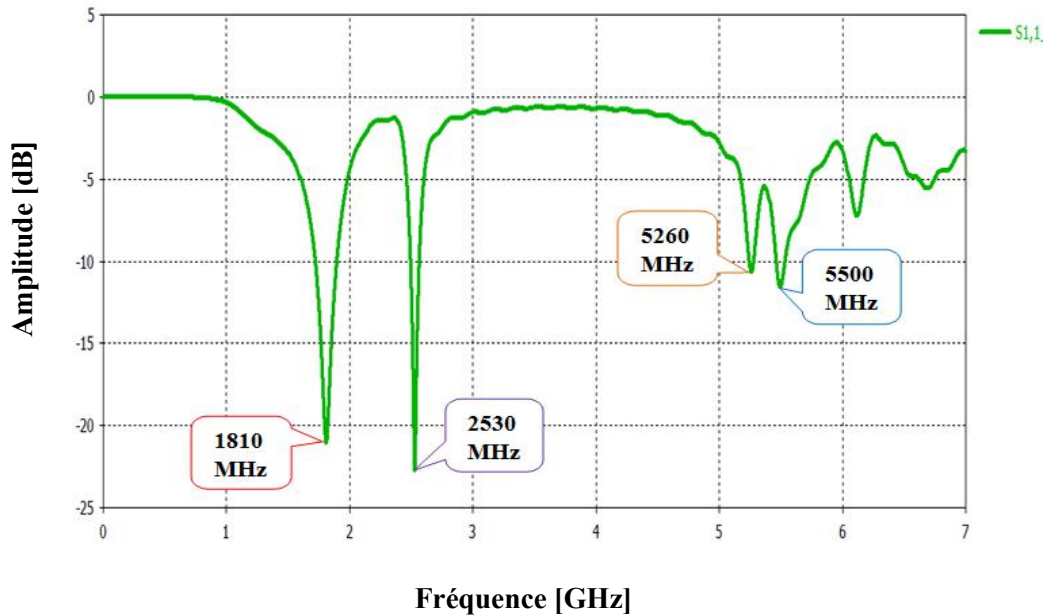


Figure II.4: Coefficient de réflexion S_{11} de l'antenne simulée.

Le coefficient de réflexion montré par la figure II.4 représente un caractère multibande des antennes utilisées ce qui reflète une bonne adaptation à la fréquence de résonance de chaque pic. Le simulateur CST a donné des pics à 1.81 GHz, 2.53 GHz, 5.26 GHz, 5.50 GHz avec des atténuations de -21 dB, -22.7 dB, -10.65 dB, -11.6 dB, respectivement.

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 dans l'espace où le champ électrique rayonné est contenu dans le plan.

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

Les figures II.5 (a), (b) montrent les diagrammes de rayonnement pour une fréquence de 1.81 GHz et 2.53 GHz. De même, les diagrammes de rayonnements obtenus sont des diagrammes omnidirectionnels.

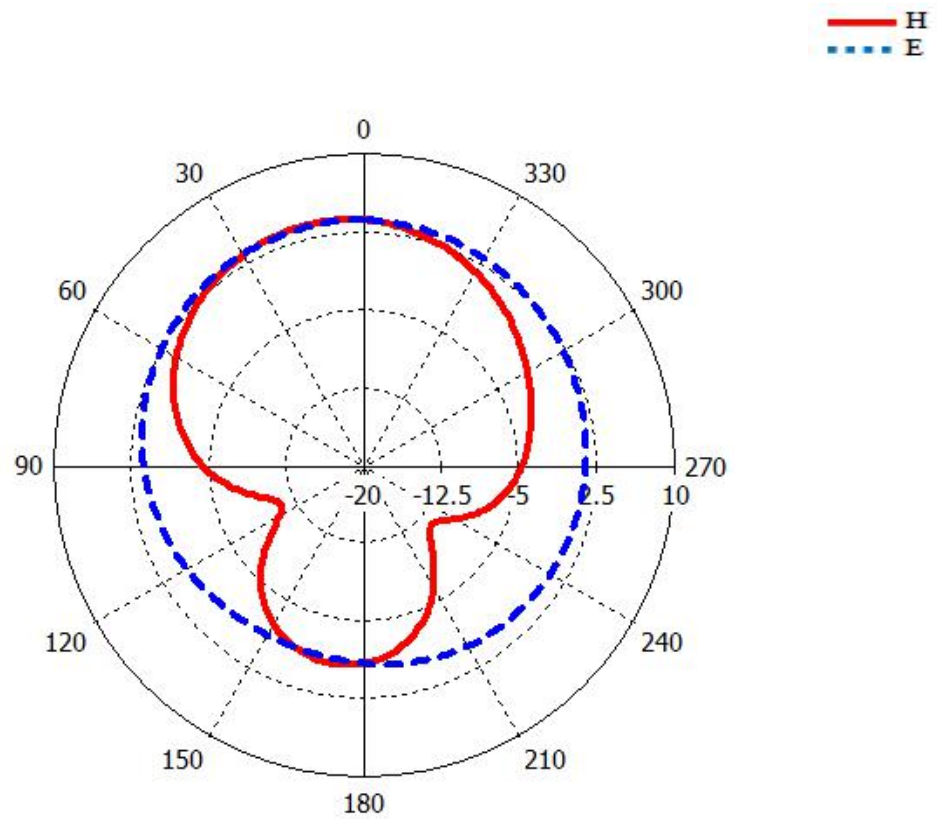
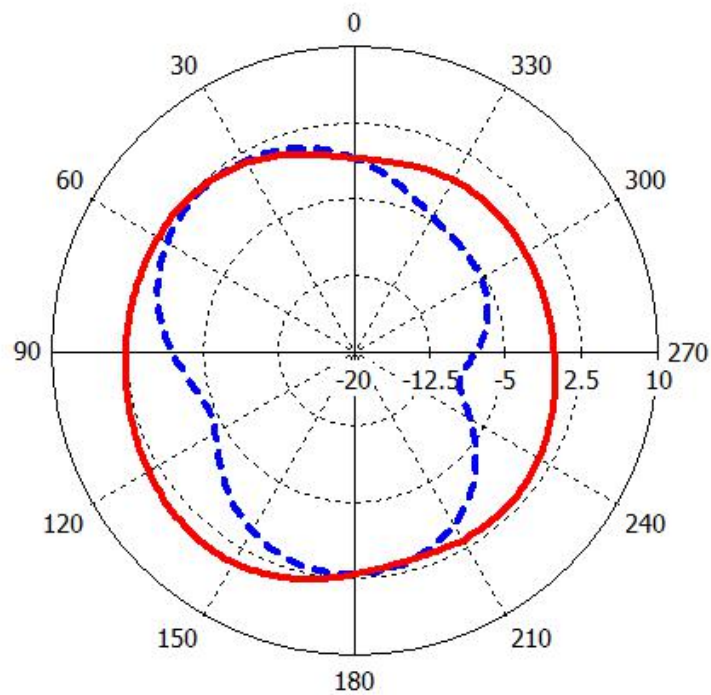
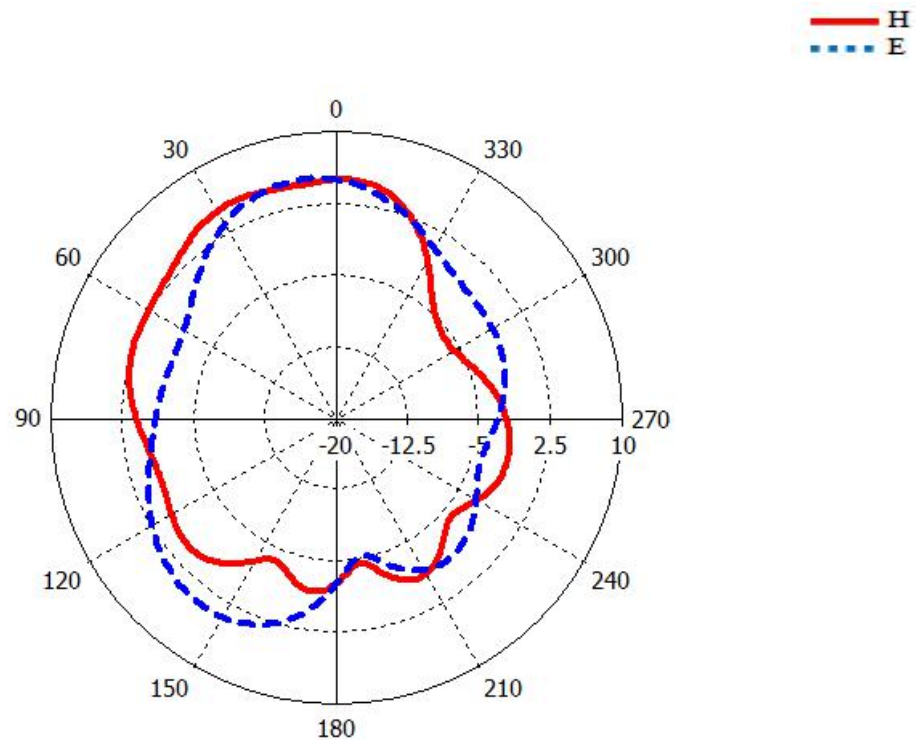
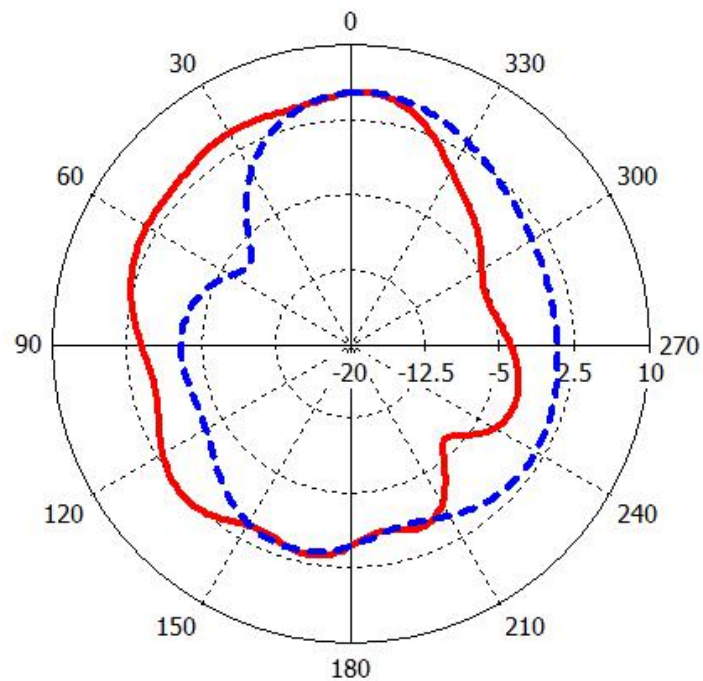
(a) $f=1.81$ GHz.(b) $f=2.53$ GHz.

Figure II.5: Diagrammes de rayonnement en coordonnées polaires calculé à la fréquence: (a) 1.81 GHz, (b) 2.53 GHz.

Les diagrammes de rayonnement en coordonnées polaires dans les plans E et H sont illustrés par la figure II.6.



(a) $f=5.26$ GHz.



(b) $f=5.50$ GHz.

Figure II.6: Diagrammes de rayonnement en coordonnées polaires à la fréquence: (a) 5.26 GHz, (b) 5.50 GHz.

II.5.2 Le gain de l'antenne

La figure II.7 montre une meilleure précision des résultats de notre simulation avec un gain maximum est de 5.3 dB pour $f=5.5$ GHz. Nous pouvons toutefois noter que le gain de l'antenne est positif sur toute la plage de fréquences allant de 1.5 GHz jusqu'à 5.5 GHz.

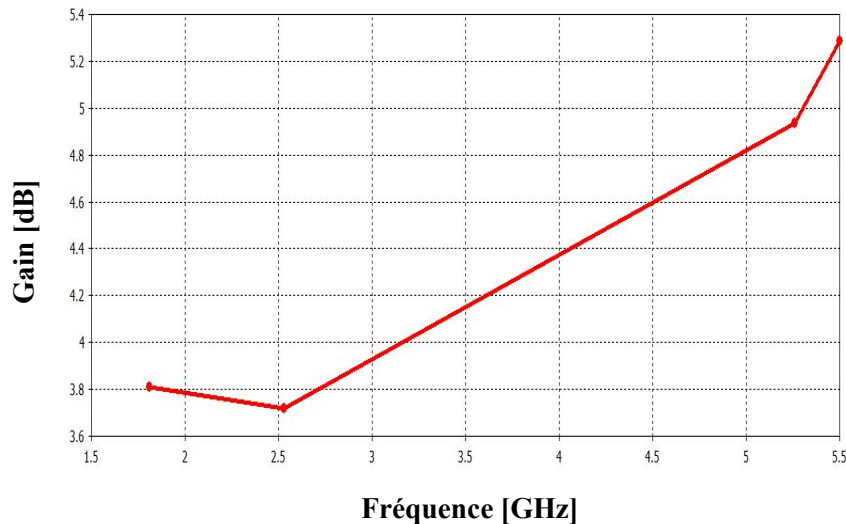


Figure II.7: Le gain en fonction de la fréquence de l'antenne simulée.

Les résultats de la variation de gain en fonction de la fréquence de l'antenne simulée sont donnés par le tableau II.4 suivant.

Fréquence [GHz]	1.81	2.53	5.26	5.50
Gain [dB]	3.80	3.71	4.94	5.28

Tableau II.4 : Variation du gain de l'antenne simulée.

II.6 Antenne PIFA fractale et méandre

Nous avons simulé une autre géométrie d'antenne PIFA multibande. Après l'application des nouvelles techniques de miniaturisation, nous sommes arrivées à obtenir plusieurs bandes de fréquences fonctionnant en même temps pour les communications sans fil. L'antenne est mise en œuvre avec une ligne de méandre et un triangle de Sierpinski. Les simulations montrent une bonne performance de l'antenne sur toutes les bandes de fréquences. La dimension globale de la largeur de plan de masse ($38 \times 30 \text{ mm}^2$) avec une épaisseur $h=0.05$ mm.

La simulation montre que cette antenne peut parfaitement fonctionner aux différentes normes de la téléphonie mobile.

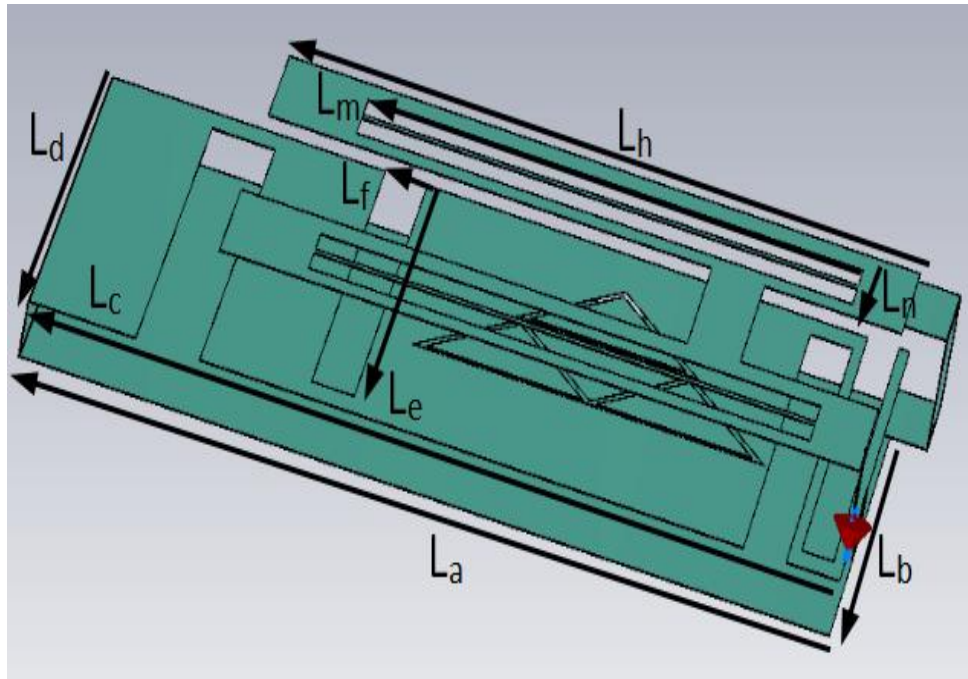


Figure II.8: La géométrie de l'antenne proposée [25].

Les dimensions de l'antenne sont les suivantes:

Paramètres	L_a	L_b	L_c	L_d	L_e	L_f	L_m	L_n	L_h
Valeurs [mm]	38	30	38	30	28	1.5	23.5	2	28.1

Tableau II.5: Paramètres géométriques de l'antenne proposée.

II.7 Résultats et discussions

II.7.1 Coefficient de réflexion

Les résultats obtenus avec logiciel CST montrent une meilleure précision sur l'adaptation de l'antenne avec un pic de -16 dB à 2.17 GHz, -28 dB à 3.40 GHz, -23 dB à 3.97 GHz, -25 dB à 5.10 GHz, -22.2 dB à 5.30 GHz, 5.65 GHz à -22 dB et -35 dB pour 6.45 GHz. Parmi ces fréquences nous nous intéressons à quatre fréquences 2.17 GHz, 3.40 GHz, 5.10 GHz et 5.30 GHz pour les normes UMTS, WIMAX et WLAN dédiées aux applications du téléphone mobile. Nous présentons dans la figure II.9, le coefficient de réflexion S_{11} dans la bande de fréquences [0-7 GHz].

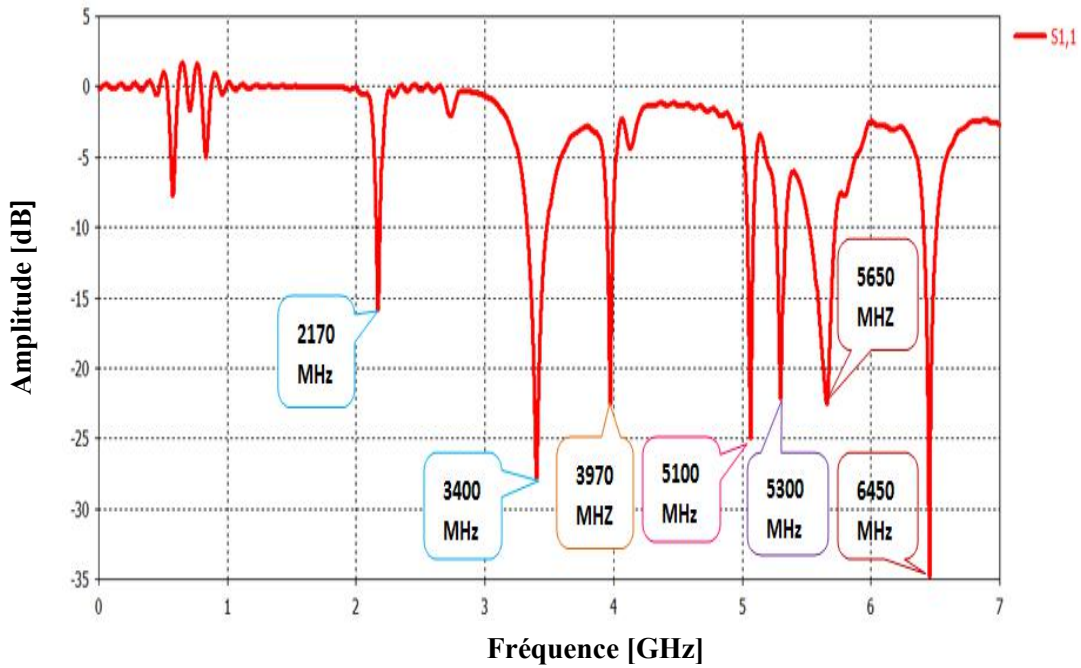
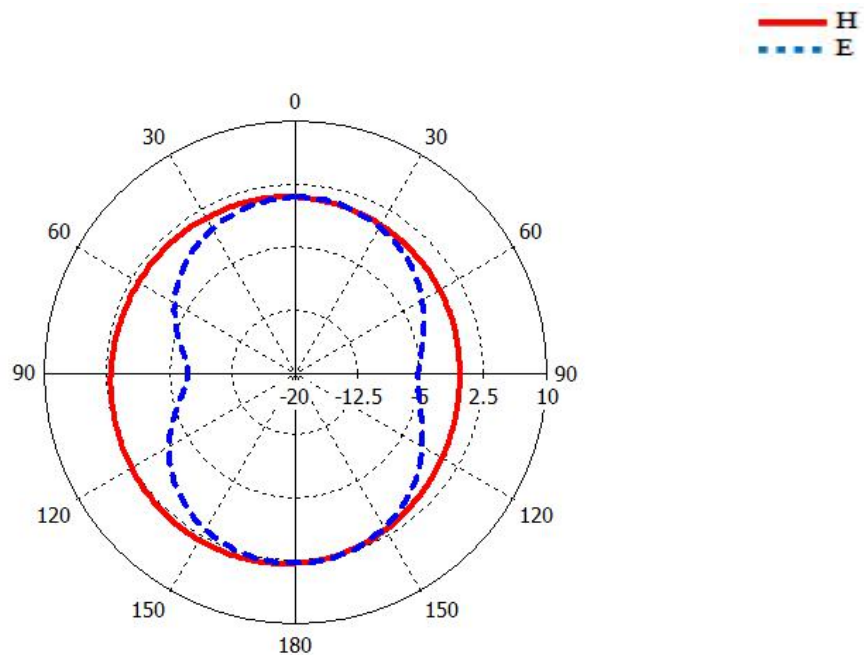


Figure II.9: Coefficient de réflexion S_{11} de l’antenne PIFA.

La figure II.9 illustre le coefficient de réflexion de notre antenne en fonction de la fréquence. Ce résultat montre que l’antenne résonne aux fréquences $f_1=2.17$ GHz, $f_2= 3.40$ GHz, $f_3=3.97$ GHz, $f_4= 5.10$ GHz, $f_5=5.30$ GHz, $f_6=5.65$ GHz, $f_7=6.45$ GHz avec un pic de -16 dB, -28 dB,-23 dB, -25 dB, -22.2, -22 dB et -35 dB respectivement. La figure II.10 montre le diagramme de rayonnement dans deux plans E et H pour différentes fréquences 2.17 GHz, 3.40 GHz et 3.97 GHz.



(a) $f=2.17$ GHz.

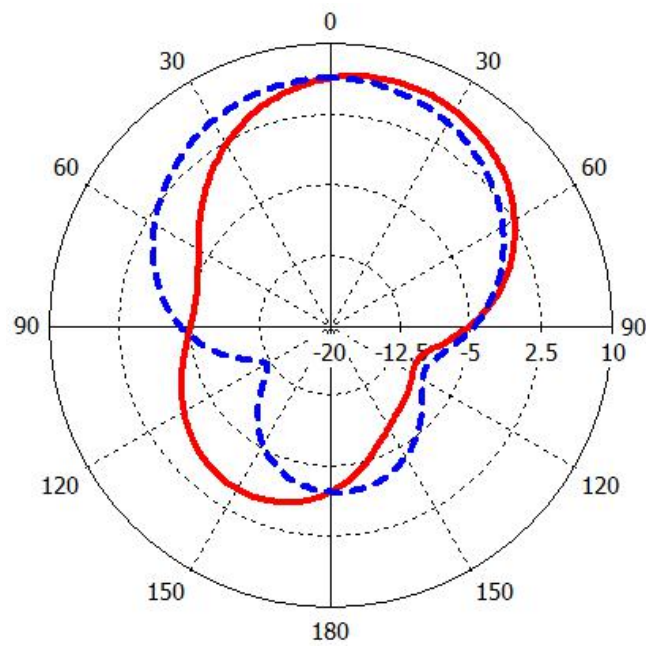
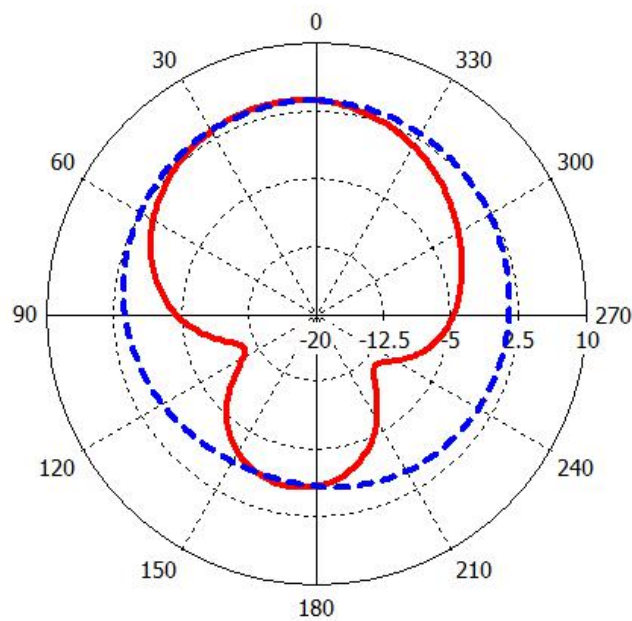
(b) $f=3.40$ GHz.(c) $f=3.97$ GHz.

Figure II.10: Diagrammes de rayonnement en coordonnées polaires à la fréquence: (a) 2.17 GHz, (b) 3.40 GHz, (c) 3.97 GHz.

Dans les figures II.11 (a) et (b), nous avons présenté les diagrammes de rayonnement en coordonnées polaires calculés aux fréquences 5.10 GHz, 5.30 GHz dans le plan E et le plan H respectivement.

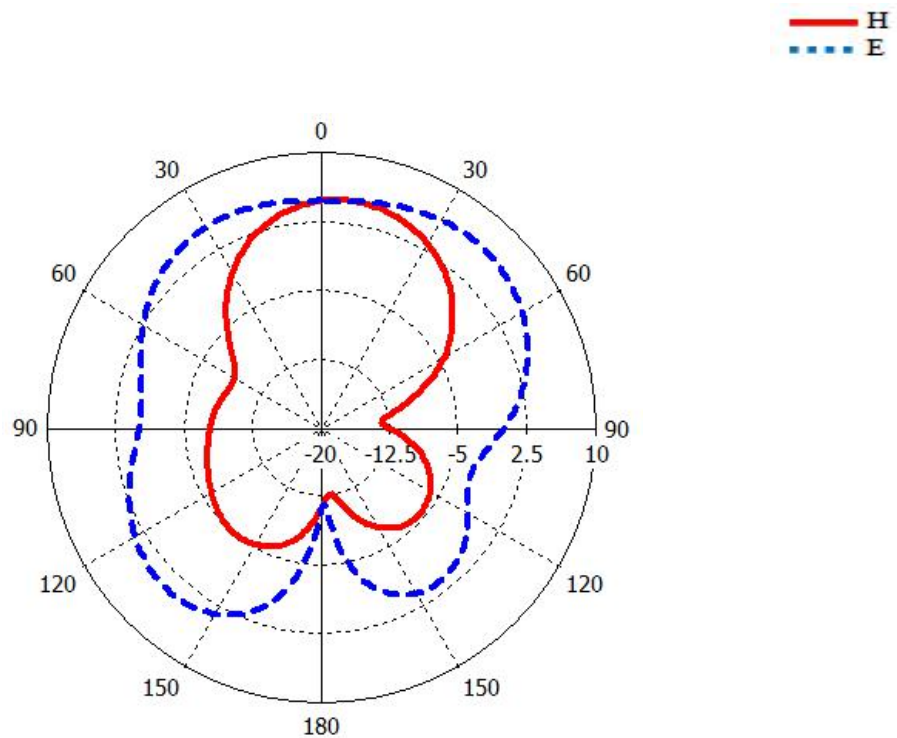
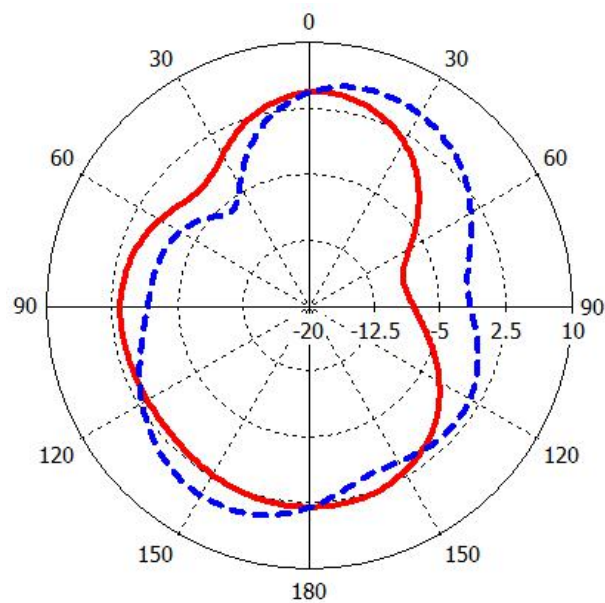
(a) $f=5.10$ GHz.(b) $f=5.30$ GHz.

Figure II.11: Diagrammes de rayonnement en coordonnées polaires calculé à la fréquence: (a) 5. 10 GHz, (b) 5.30 GHz.

Le diagramme de rayonnement d'antenne pour les différents plans (E, H) est représenté par les figures II.12.

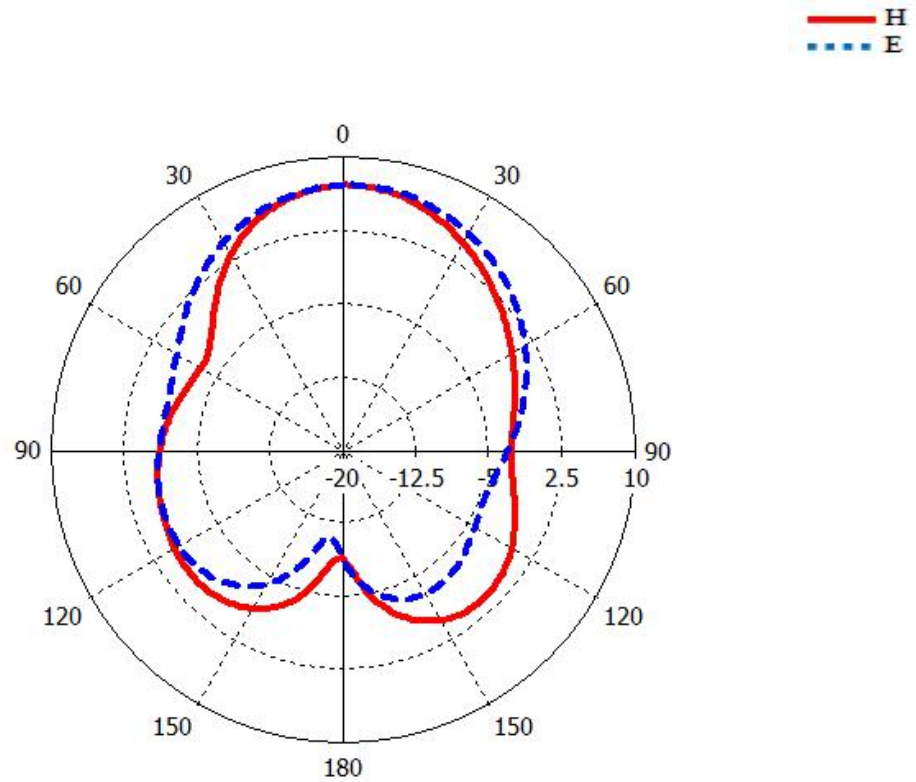
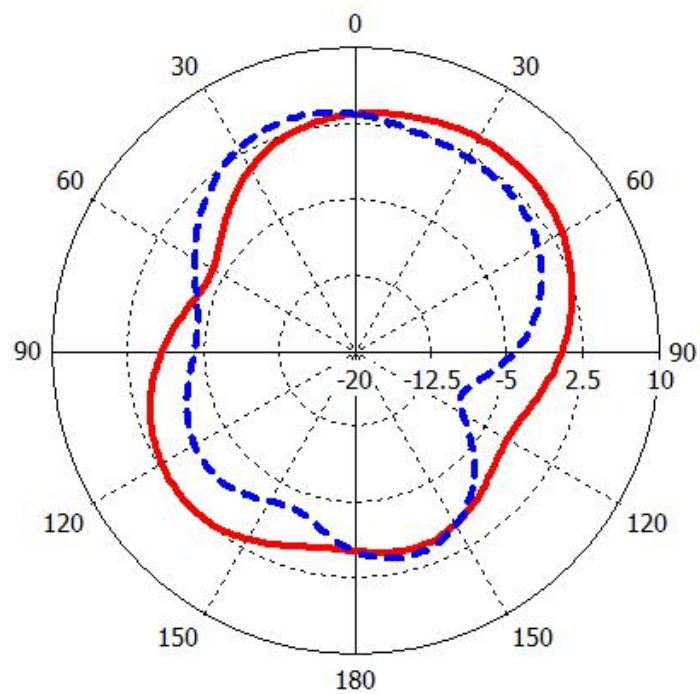
(a) $f=5.65$ GHz.(b) $f=6.45$ GHz.

Figure II.12: Diagrammes de rayonnement en coordonnées polaires simulée à la fréquence: (a) 5.65 GHz, (b) 6.45 GHz.

II.7.2 Le gain de l'antenne

La variation de gain de l'antenne en fonction de la fréquence est donnée par la figure III.13.

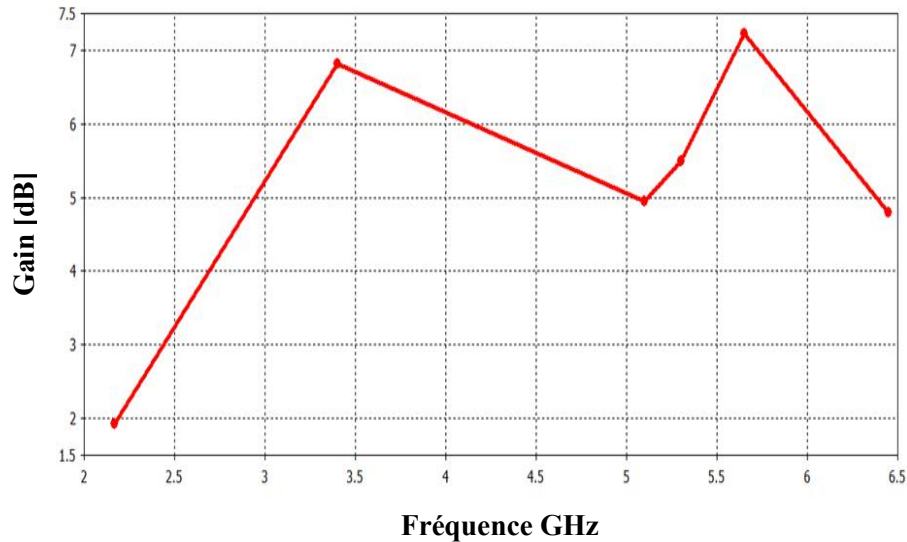


Figure II.13: La variation du gain en fonction de la fréquence.

Le tableau II.6 suivant montre la variation du gain de l'antenne en fonction de la fréquence.

Fréquence [GHz]	2.17	3.40	5.10	5.30	5.65	6.45
Gain [dB]	2	6.81	5	5.51	7.20	4.80

Tableau II.6: Variation du gain de l'antenne simulée.

II.8 Conception d'antenne PIFA multibandes

Nous avons proposé une troisième structure d'antenne PIFA multibande qui se compose d'un plan de masse en métal est de $(90 \times 38 \text{ mm}^2)$ et de deux résonateurs contenant deux fentes parallèles avec une alimentation microruban dans de l'élément rayonnant.

En garde la même structure de base avec application d'une nouvelle technique de fractalisation qui est le tapie de Sierpinski. Ce prototype est compatible avec le système de réseau moderne. La géométrie de l'antenne obtenu est montrée dans la figure II.14.

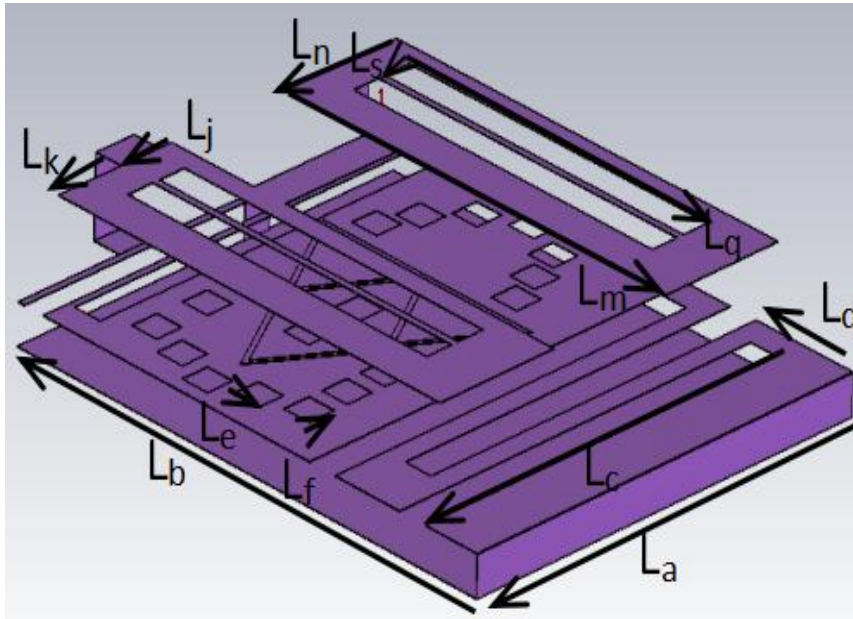


Figure II.14: La géométrie de l'antenne proposée [25].

Les paramètres géométriques de l'antenne sont donnés par le tableau II.7 suivant.

Paramètres	L_a	L_b	L_c	L_d	L_e	L_f	L_m	L_n	L_k	L_j	L_s	L_q
Valeurs [mm]	30	36	28	1.5	2	2	30	9	2	4	2	23.5

Tableau II.7: Dimensions de l'antenne.

Pour obtenir la fréquence de fonctionnement de l'application du téléphone mobile, on a utilisé la technique de miniaturisation de l'antenne PIFA qui est réalisée à l'aide de la technique de la ligne de méandre et la technique de fractalisation.

II.9 Résultats et discussions

II.9.1 Coefficient de réflexion

La figure II.15 illustre le coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de résonance. Nous constatons que les performances de l'antenne sont bonnes, à savoir que nous avons une bonne adaptation.

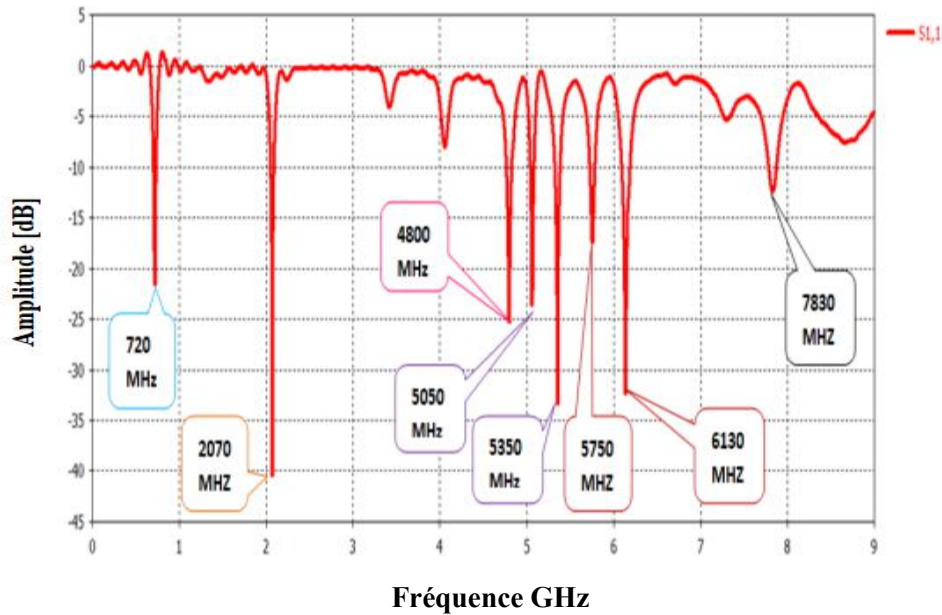


Figure II.15: Coefficient de réflexion de l'antenne PIFA multibande.

Nous remarquons que l'antenne fournit huit fréquences de résonance sont donnés dans le tableau II.8.

Fréquence [GHz]	0.72	2.07	4.8	5.05	5.35	5.75	6.13	7.83
Amplitude [dB]	-23	-40.4	-25.3	-23	-33.4	-17.5	-32.3	-14.5

Tableau II.8: Les fréquences de l'antenne simulée.

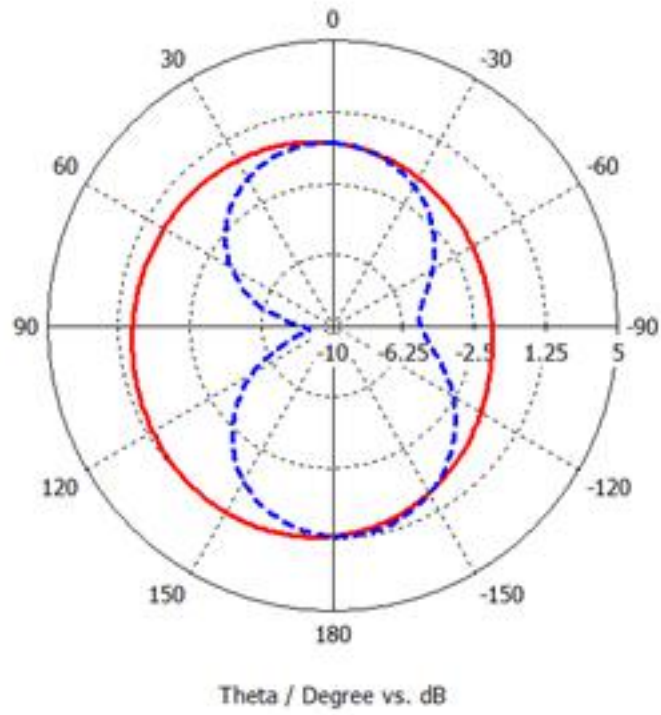
Les diagrammes de rayonnement sont généralement représenté dans deux plans orthogonaux comme suit:

- 1) - Plan E: lieu des points dans l'espace où le champ électrique rayonné est contenu dans le plan ($\phi=0^\circ$, direction azimutale).
- 2) - Plan H: lieu des points de l'espace où le champ magnétique rayonné est contenu dans le plan ($\phi=90^\circ$, direction azimutale).

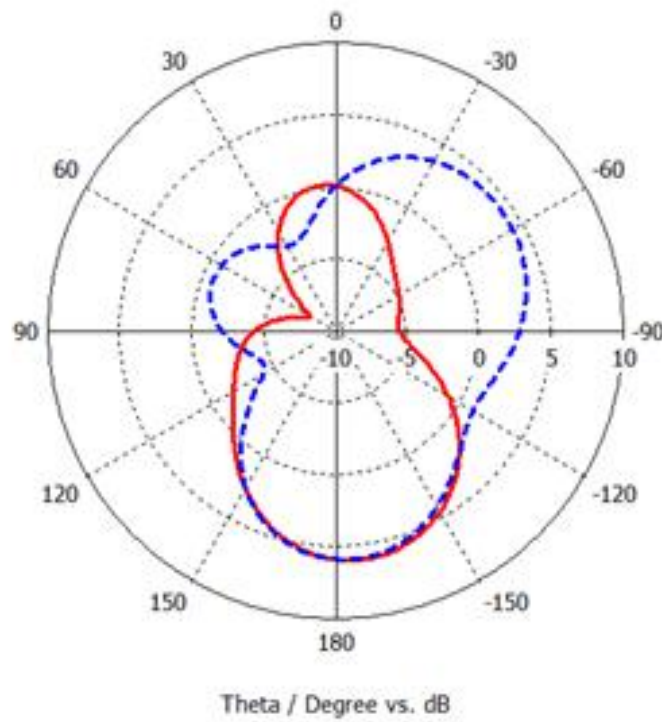
Nous montrons dans ce qui suit sur la figure II.16, le diagramme de rayonnement représentés dans deux plans E et H simulé à différentes fréquences: 2.07 GHz, 4.08 GHz, 5.05 GHz, 5.35 GHz, 5.75 GHz, 6.13 GHz et 7.83 GHz.

On a obtenu des caractéristiques des diagrammes de rayonnements différents pour chaque fréquence de résonance.

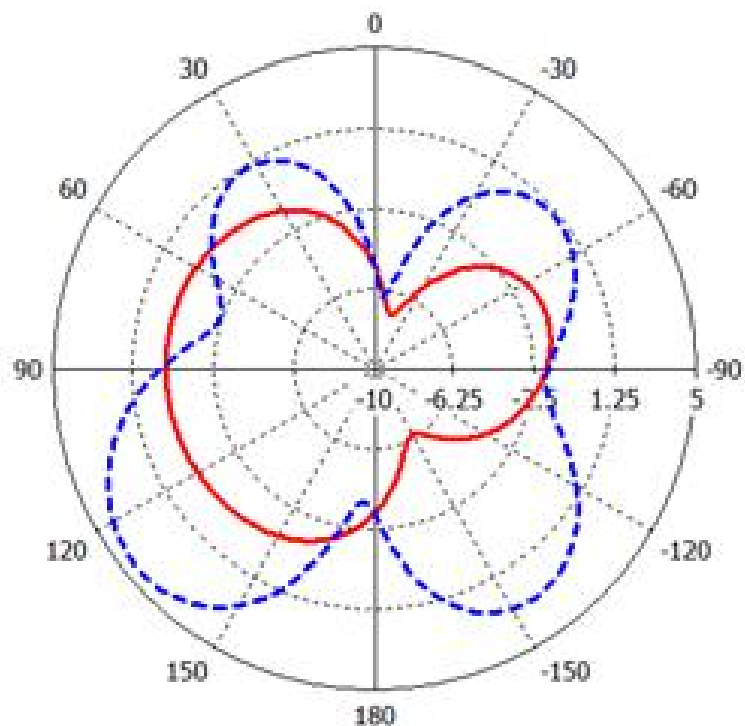
— H
 - - - E



(a) $f = 2.07$ GHz.

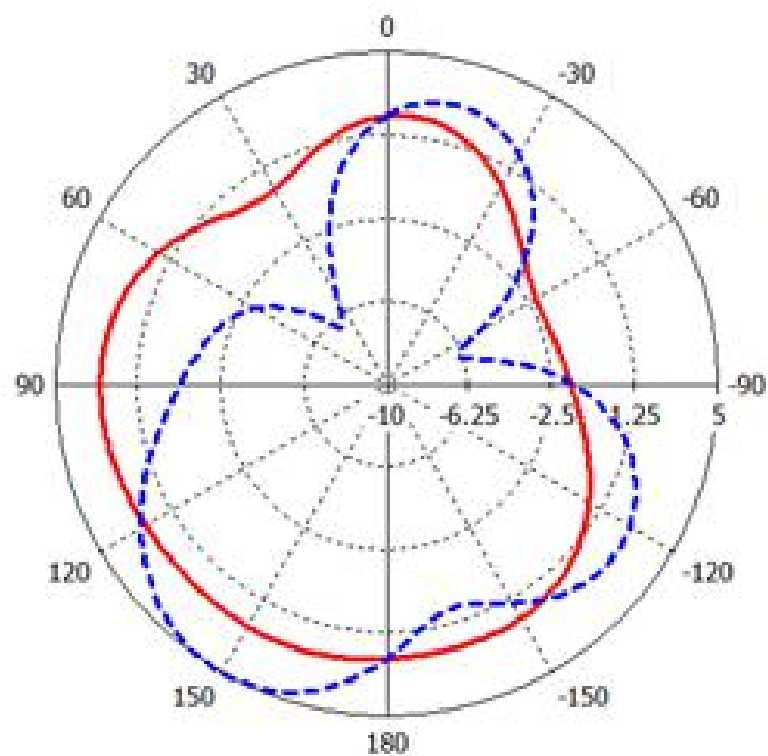


(b) $f = 4.08$ GHz.



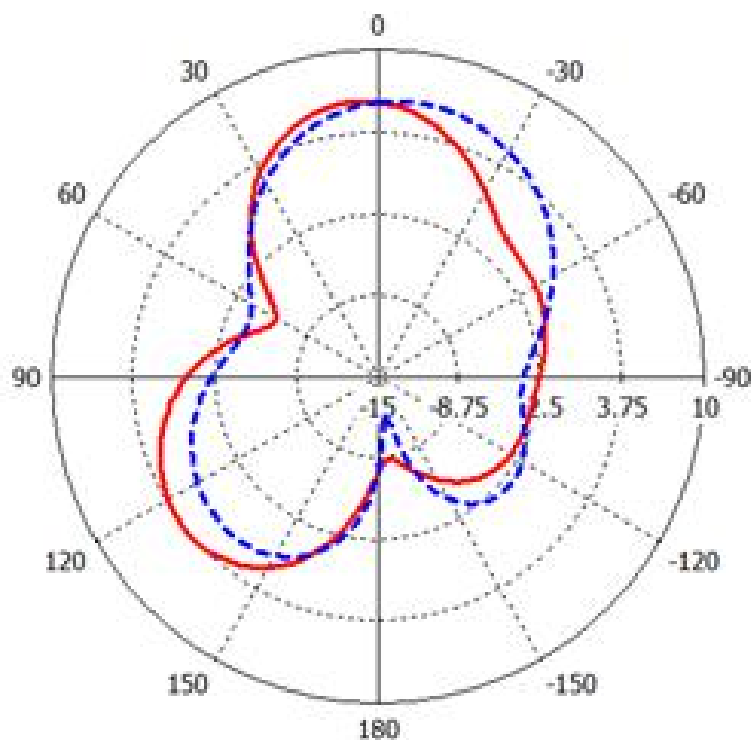
Theta / Degree vs. dB

(c) $f=5.05$ GHz.



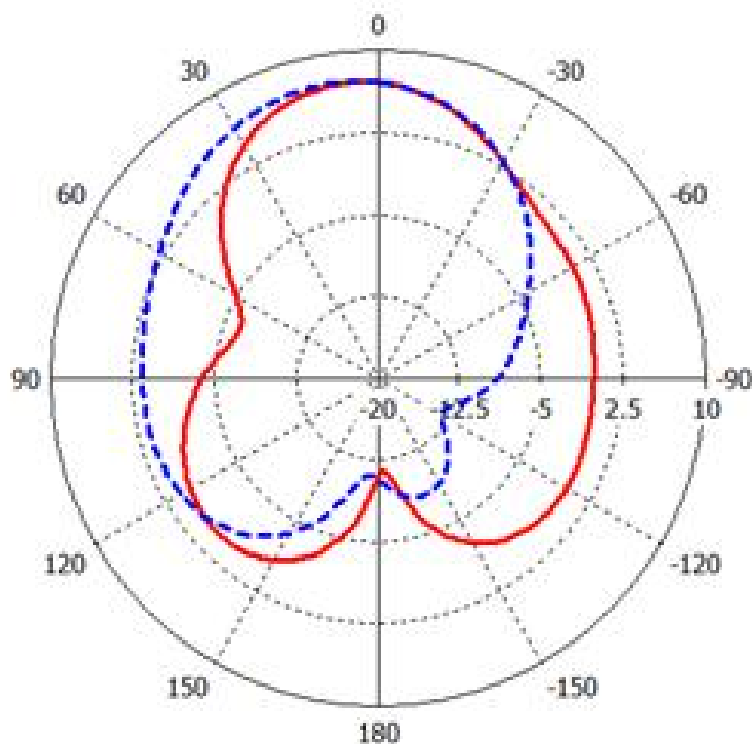
Theta / Degree vs. dB

(d) $f=5.35$ GHz.



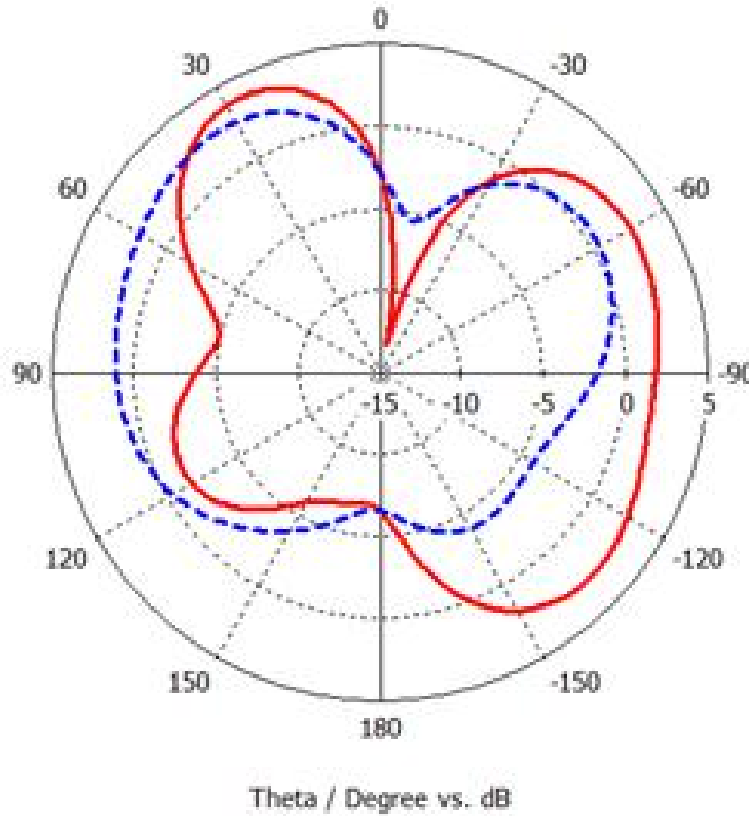
Theta / Degree vs. dB

(e) $f=5.75$ GHz.



Theta / Degree vs. dB

(f) $f=6.13$ GHz.



(g) $f=7.83$ GHz.

Figure II.16: Diagrammes de rayonnement de l'antenne proposée à différentes fréquences à 2.07 GHz, (b) 4.8 GHz, (c) 5.05 GHz, (d) 5.35 GHz, (e) 5.75 GHz, (f) 6.13 GHz, (g) 7.83 GHz.

II.9.2 Le gain de l'antenne

Nous représentons dans le tableau II.9 la variation du gain de l'antenne en fonction de la fréquence. Nous remarquons qu'il y a une augmentation de gain en fonction de la fréquence de résonance avec un pic de l'ordre de 7.39 dB (figure I.17).

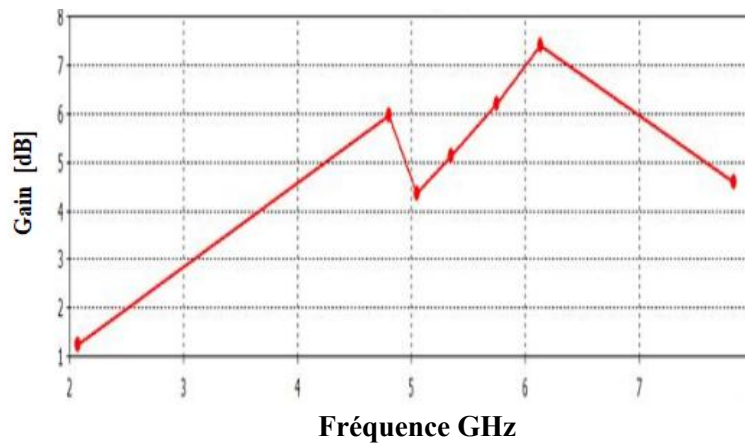


Figure II.17: Le gain en fonction de la fréquence.

Fréquence[GHz]	2.07	4.8	5.05	5.35	5.75	6.13	7.83
Gain [dB]	1.25	5.93	4.39	5.13	6.19	7.39	4.84

Tableau II.9: Variation du gain d'antenne simulée.

II.10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons mis l'accent sur la conception d'antennes PIFA multibande. Nous sommes intéressés par la suite à la présentation des antennes PIFA qui représentent un type spécifique des antennes miniaturisées et qui sont adéquates pour les diverses applications en communication sans fil distribuées aux normes DCS, UMTS, LTE, WIMAX et WLAN. Ces antennes offrent une bonne adaptation de rayonnement et de gain. L'antenne PIFA peut être utilisée dans des terminaux personnels multifonctions sans fil avec des systèmes mobiles multimodes intégrés dans un réseau local sans fil.

Références

- [1] M. Abri, N. Belgacem and W. Belgacem, "New GSM, DCS and GSM/DCS PIFA Antennas Designs for Wireless Networks applications", *International Journal of Information & Network Security (IJINS)* Vol.2, N°. 4, August 2013, pp. 305~310 ISSN: 2089-3299, 2013.
- [2] N.A. Saidatul, A.A.H. Azremi, R.B. Ahmad, P.J. Soh, F. Malek, "A Development of Fractal PIFA (Planar Inverted F Antenna) with Bandwidth Enhancement for Mobile Phone Applications", 2009 Loughborough Antennas and Propagation Conference.
- [3] W. Kin-Lu, C. Chih-Hua, "Printed $\lambda/8$ -PIFA for internal penta-band mobile phone antenna", in *Proc. 3rd European Conf. Antennas and Propag. (Eu CAP 2009)*, pp. 533-537.
- [4] O.A. Saraereh, M. Jayawardene, P. McEvoy, and J. C. Vardaxoglou, "L and S shape PIFA antenna for triple-band (DCS/PCS/UMTS) mobile handset," in *Proc. IEEE Antennas and Propagation Soc. Symp.*, 2004, pp.3107-3110 Vol.3.
- [5] S. Yu-Lin, W. Bing-Hsiao, L. Yen-Ju, C. Jen-Chieh, C. Shih-Yuan, and H. Powen, "Capacitively-Loaded Loop Antenna for Multi-Band Mobile Handsets", in *Proc. Int. Workshop on Antenna Technology: Small Antennas and Novel Meta-materials (IWAT 2008)* 2008, pp. 239-242.
- [6] H. T. Chattha, Y. Huang, "An Empirical Equation for Predicting the Resonant Frequency of Planar Inverted-F Antennas", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, VOL. 8, pp. 856-860, February 2009.
- [7] R. Lelaratne and R. Langley, "Multiband PIFA vehicle telematics antennas," *IEEE Trans. Vehicular Technology*, Vol. 54, pp. 477-485, 2005.
- [8] W. Yu-Shin, L. Ming-Chou, C. Shyh-Jong, "Two PIFA-Related Miniaturized Dual-Band Antennas" *IEEE Trans. Antennas Propag.*, Vol. 55, pp. 805-811, 2007.
- [9] H. Morishita, "A study on compact antennas and antenna miniaturization for handsets", in *Proc. Int. Workshop on Antenna Technology: Small Antennas and Novel Metamaterials (iWAT 2008)*, Vol. 5, pp. 28-3, 2008.
- [10] K. Anil. Gautam, A. Bisht, B. Kanaujia, "A wideband antenna with defected ground plane for WLAN/WiMAX applications", Vol. 55, pp. 29-31 2015.
- [11] P.V. Naidu, Raj Kumar, "Design of a Compact ACS-Fed Dual Band Antenna for Bluetooth/WLAN and Application", Vol. 55, 63-72, 2014.
- [12] A.A.H. Azremi, N.A. Saidatul, R.B. Ahmad, P.J. Soh A "Parametric Study of roadband Planar Inverted F Antenna (PIFA) for WLAN Application", *International Conference on Electronic Design*, December 1-3, 2008, Penang, Malaysia.
- [13] L. Freytag, "Conception, Réalisation et Caractérisation d'Antennes Pour Stations de Base des Réseaux de Télécommunication sans Fil", thèse de doctorat université de Limoges, Novembre 2004.
- [14] Y.X. Yuan Wang, X. Chen, Y. Jun sheng, "Novel Diversity/MIMO PIFA Antenna With Broadband Circular Polarization for Multimode Satellite Navigation", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 11, pp. 65-68, 2012.
- [15] G.k. Lui. and R. D. Murch, "Compact dual-frequency PIFA design using LC resonators" *IEEE Trans. Antennas Propag.*, Vol. 49, N°. 7, 1016-1019, Jul. 2001.
- [16] N. Behdad, K. Sarabandi, "A varactor-tuned dual-band slot antenna", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, Vol. 54, N°. 2, 401-408, Feb. 2006.
- [17] K.L. Wong, W.Y. Chen and T.W. Kang, "On-board printed coupled-fed loop antenna in close proximity to the surrounding ground plane for penta-band WWAN mobile phone", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, Vol. 59, N°.3, 751-757, Mar. 2011.

- [18] H. Morishita, Y. Kim, K. Fujimoto, "Design concept of antennas for small mobile terminals and the future perspective," *IEEE Antennas Propag. Mag.*, Vol. 44, N°5, pp. 30-43, Oct. 2002.
- [19] S. Tourette, G. Collin, P. Thuc, C. Luxey, R. Staraj, "Small Meandered PIFA Associated with SAW Passive Sensor for Monitoring Inner Temperature of a Car Exhaust Header", 2009 IEEE.
- [20] R.A. Bhatti, I. Yun-Taek, S. Park, "Compact PIFA for Mobile Terminals Supporting Multiple Cellular and Non-Cellular Standards", *IEEE Transaction on antennas and propagation*, Vol. 57, N° 9, Septembre 2009.
- [21] K.R. Boyle and P. G. Steeneken, "A Five-Band Reconfigurable PIFA for Mobile Phones", *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, Vol. 55, N° 11, Nov. 2007.
- [22] D.M. Nashaat, H.A. Elsadek, and H. Ghali, "Single feed compact quad-band PIFA antenna for wireless communication applications," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, Vol. 53, N° 8, pp.2631-2635, Aug.2005.
- [23] S. Brehab, "Modélisation Rigoureuse par une Méthode Itérative des Structures Imprimées de Type DGS pour les Applications sans Fil", thèse doctorat, Soutenue le 08 juillet 2017.
- [24] M.A. Addou, "Filtrage actif intégré reconfigurable pour la téléphonie sans fil", Université de Limoges, thèse soutenue le 15 décembre 2016.
- [25] Nassima Belgacem, Mehadji Abri, Hadjira Abri, Wahiba Belgacem, "Flexible PIFA Antenna Serves Multiple Wireless Bands", *Microwaves and RF*, Vol. 55, Issue 8, pp. 52-58, august 2016.
- [26] F.Z. Marouf, "Etude et conception d'antenne imprimé identification radio fréquence RFID UHF", Université de Tlemcen, thèse soutenue en 2013.

**Chapitre III:
Conception et
Réalisation des Antennes
à Plan de Masse Partiel**

III.1 Introduction

Récemment, certaines exigences pratiques telles que le fonctionnement bibandes et la taille miniaturisée de la conception d'antenne actuelle dans les systèmes de communication sans fil ont suscité un vif intérêt. Pour les applications à courte et longue portée, de nombreuses conceptions d'antenne adaptées aux réseaux locaux sans fil (WLAN: 2.4 à 2.483, 5.15 à 5.35 et 5.725 à 5.87 GHz) et à l'interopérabilité mondiale pour l'accès par micro-ondes (WIMAX: 3.40 à 3.80 GHz) ont été étudiés [1-8]. Ces normes devraient être appliquées simultanément dans les futurs systèmes de communication, ce qui accroît la demande de conceptions d'antennes compactes présentant des caractéristiques de rayonnement multibande. On a signalé plusieurs antennes imprimées à double bande [1].

Les applications des systèmes de communication sans fil ont été étendues, passant de simples services vocaux à l'intégration des services des données. Les systèmes de communication sans fil existant peuvent être classés dans les catégories réseaux cellulaires, réseaux locaux sans fil (WLAN) et réseaux personnels sans fil (WPAN). Ces systèmes de communication ont été normalisés et déployés [10-12]. WIMAX est déjà devenu une technologie populaire pour l'accès à large bande dans l'environnement de réseaux métropolitains sans fil (WMAN). Il offre un large éventail de fonctionnalités et de flexibilité en termes d'options de déploiement et prend en charge de nouvelles applications. La couche physique de WiMAX est basée sur le multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (OFDM), largement reconnu comme technique de modulation permettant d'atténuer les problèmes d'évanouissement par trajets multiples associés à tout système sans fil à large bande. WIMAX est capable de supporter des débits de données de pointe très élevés [9]. WIMAX et WLAN sont considérés comme les solutions d'accès large bande prometteurs pour les réseaux sans fil MAN et les réseaux locaux. Dans les travaux récents, WIMAX est approprié pour connecter plusieurs «hot spots» Wi-Fi dispersés. Ainsi, une nouvelle architecture intégrée WIMAX / WLAN a été proposée dans les littératures [13-16]. Les communications sans fil ont considérablement progressé au cours des dernières décennies et la demande de nouvelles technologies est toujours énorme. Parmi les systèmes de communication sans fil qui répondent à cette demande, les deux technologies principales sont WIMAX et WLAN. WIMAX fournit des débits de données à haut débit et un accès internet dans une zone de couverture plus étendue.

Il fonctionne dans trois bandes sous licence différentes à WIMAX (3.40- 3.80 GHz) et WLAN aux États-Unis (5.15-5.35 GHz, 5.725-5.875 GHz) [17-21]. Les normes WLAN et WIMAX spécifient de nombreuses bandes passantes et fréquences de fonctionnement à travers le monde. Une antenne multifonctionnelle est nécessaire pour le futur terminal de communication. Les antennes modernes doivent répondre à l'exigence de bibandes pour couvrir suffisamment les bandes de fonctionnement possibles. L'antenne doit également être suffisamment petite pour être placée à l'intérieur des systèmes de communication sans fil. [22-25].

Ce travail a été consacré au développement d'une nouvelle antenne imprimée avec un plan de masse partiel à deux bandes de fréquences. Cette antenne a été conçue dans le logiciel Microwave Studio CST et la même conception est comparée avec HFSS. Pour une mesure expérimentale, la géométrie d'une antenne est fabriquée et ses divers paramètres sont testés à l'aide d'un analyseur de réseau vectoriel. L'objectif de ce travail est consacré aux antennes bibandes pour les applications mobiles.

III.2 Alimentation par ligne microruban

Dans ce type d'alimentation, la ligne micro ruban est connectée directement à la plaque microruban (Figure III.1). L'alimentation peut être gravée sur le même substrat pour obtenir une structure planaire.

L'avantage d'une telle technique est la facilité de fabrication, aussi le prix est abordable. Cependant, son inconvénient majeur est le rayonnement parasite assez fort, ce qui les rend utilisable uniquement dans des applications qui n'exigent pas des performances élevées [26].

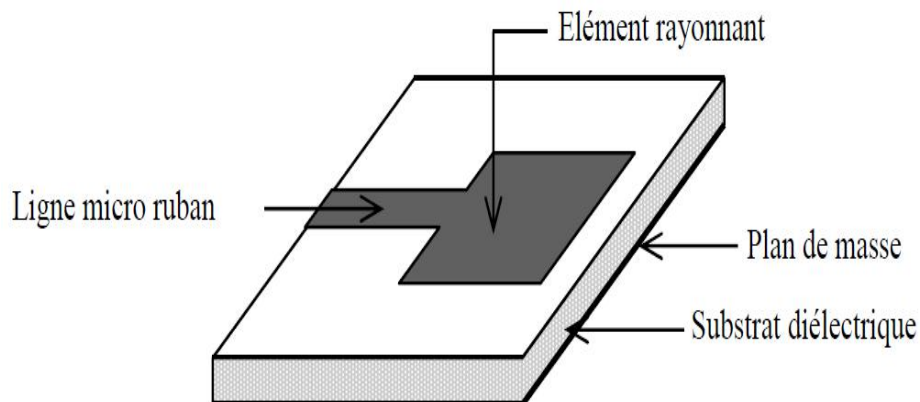


Figure III.1: Alimentation par ligne microruban [26].

Pour une antenne microruban, la fréquence de résonance est définie comme suit [14]:

$$f_0 = \frac{c}{2l_{eff}\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (III.1)$$

Où L_{eff} la longueur effective, ϵ_{eff} constante diélectrique effective

Pour une fréquence de résonance donnée f_0 , la longueur effective L_{eff} est donnée par l'équation suivante :

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (III.2)$$

Où f_0 la fréquence de résonance , h la hauteur de substrat , w la largeur , la permittivité relative ϵ_r .

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{-1/2} \quad (III.3)$$

$$\Delta l = 0.4 + 2h + \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) + (0.264 + \frac{w}{h})}{(\epsilon_{eff} - 0.258)(0.8 + \frac{w}{h})} \quad (III.4)$$

La longueur effective de la plaque L_{fc} devient maintenant:

$$l_{eff} = l + \Delta l \quad (III.5)$$

Où la longueur L , une distance Δl

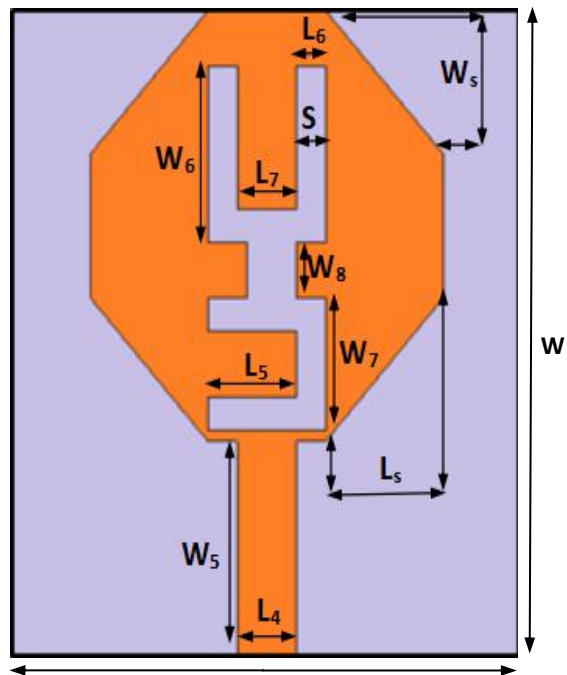
La largeur w doit satisfaire la relation suivante :

$$w = \frac{c}{2f_0\sqrt{\frac{(\epsilon_r + 1)}{2}}} \quad (III.6)$$

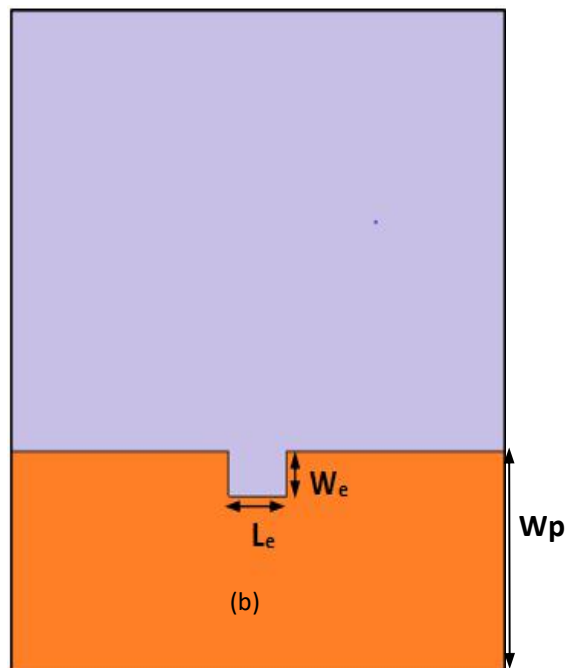
III.3 Conception d'antenne

Nous avons proposé un prototype d'antenne d'un patch rectangulaire de dimensions compactes à 4 coins tronqués dédiées aux applications de la téléphonie mobile. L'antenne conçue est imprimée sur un substrat du type FR-4 de permittivité 4.3, la tangente de perte est de 0.018 et l'épaisseur du substrat h est de 1.6 mm. Une alimentation simple à l'aide d'une ligne à microruban, de dimensions compactes, le choix du substrat est important en termes de performances de l'antenne. Les dimensions des coins tronqués sont (6.5×6) mm². Les dimensions du plan de masse

sont choisies comme étant $(26 \times 30) \text{ mm}^2$. Dans cette étude, l'antenne est conçue pour être destinée à l'application WIMAX et WLAN.



(a)



(b)

Figure III.2: Antenne imprimée à quatre coins tronqués. (a) Vue de face, (b) Vue arrière.

Les paramètres géométriques de l'antenne sont par le tableau ci-dessous.

Paramètres	Valeurs [mm]
L	26
L ₄	3
L ₅	6
L ₆	1
L ₇	5
W	30
W ₅	10
W ₆	6.5
W ₇	5.5
W ₈	2.5
W _s	6
L _s	6.5
L _e	3
W _e	2
W _p	10

Tableau III.1: Paramètres géométriques de l'antenne de base.

III.4 Résultats de simulations

III.4.1 Coefficient de réflexion S_{11}

La simulation est réalisée en faisant varier les paramètres S est enregistrée comme le montre la figure III.3. Les résultats montrent les divers paramètres dont dépend la performance de l'antenne. Nous simulons l'antenne à fonctionner à 3.52 GHz pour WIMAX et à 5.74 GHz pour les applications WLAN. Nous pouvons également constater que l'antenne fonctionne dans une large bande de (3.2 - 4 GHz et 5.5-6.78 GHz) à $S_{11} < -10$ dB. Les résultats obtenus avec le logiciel CST sont présentés à la figure III.3 dans la plage de fréquences de 0 à 9 GHz.

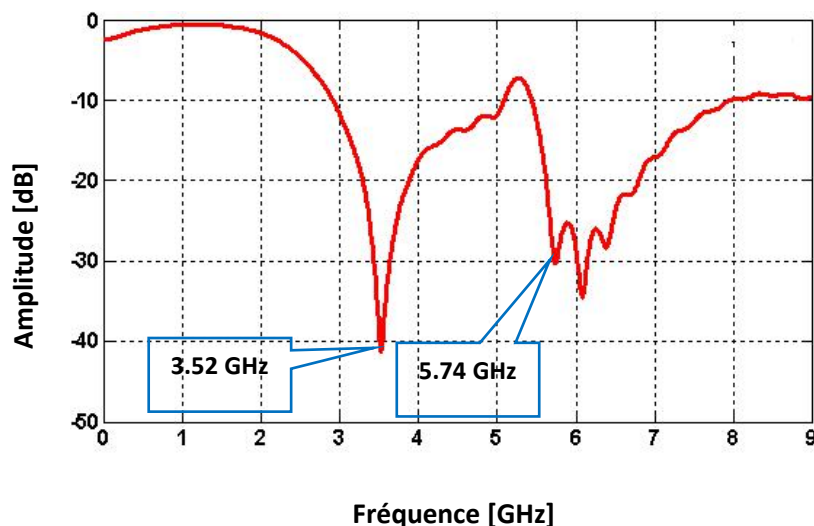


Figure III.3: Coefficient de réflexion simulé pour l'antenne b bande.

L'antenne proposée dédiée aux applications WLAN, WIMAX a une bonne adaptation avec un coefficient de réflexion de - 41 dB à la fréquence de résonance 3.52 GHz et avec un maximum de -30 dB a la fréquence de résonance 5.74 GHz. On constate également que cette antenne a une meilleure adaptation par rapport à l'antenne de base dans la même bande de fréquence.

III.4.2 Étude paramétrique

L'étude paramétrique a été réalisée pour optimiser la conception de l'antenne. Cette étude est très intéressante avant la fabrication de l'antenne. Nous étudierons ici l'influence des différentes variations des paramètres S sur le coefficient de réflexion de l'antenne. La figure III.4 présente les cinq tracés du coefficient de réflexion simulé pour différentes valeurs de S de fente dans la plage de fréquences entre 0 et 9 GHz.

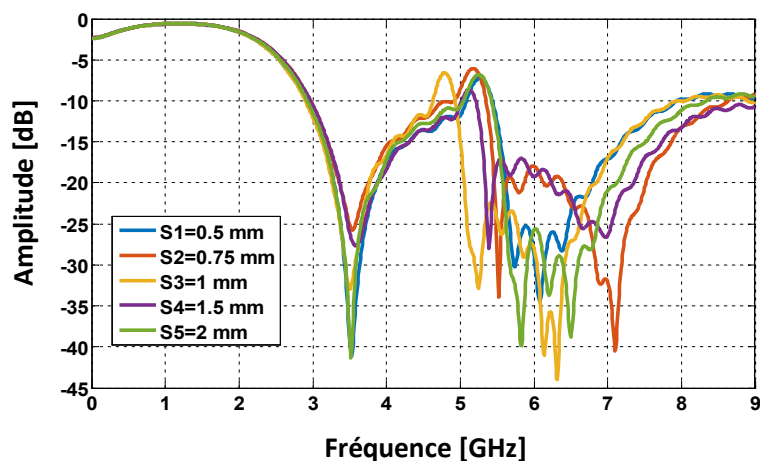


Figure III.4: Coefficient de réflexion simulé pour différentes valeurs de S.

III.5 Résultats de mesures et discussions

La géométrie de l'antenne patch tronquée est fabriquée et ses différents paramètres sont testés à l'aide d'un analyseur de réseau vectoriel. Les mesures sont effectuées au niveau du laboratoire de Laplace de Toulouse.



(a)



(b)

Figure III.5: Antenne de base fabriquée. (a) Vue de face, (b) Vue arrière.

III.5.1 Coefficient de réflexion S_{11}

L'antenne conçue est simulée à l'aide du logiciel CST basé sur la méthode FIT et HFSS qui utilise la méthode des éléments finis FEM. La figure III.6 montre la comparaison entre le coefficient de réflexion des résultats mesurés et simulés de l'antenne proposée.

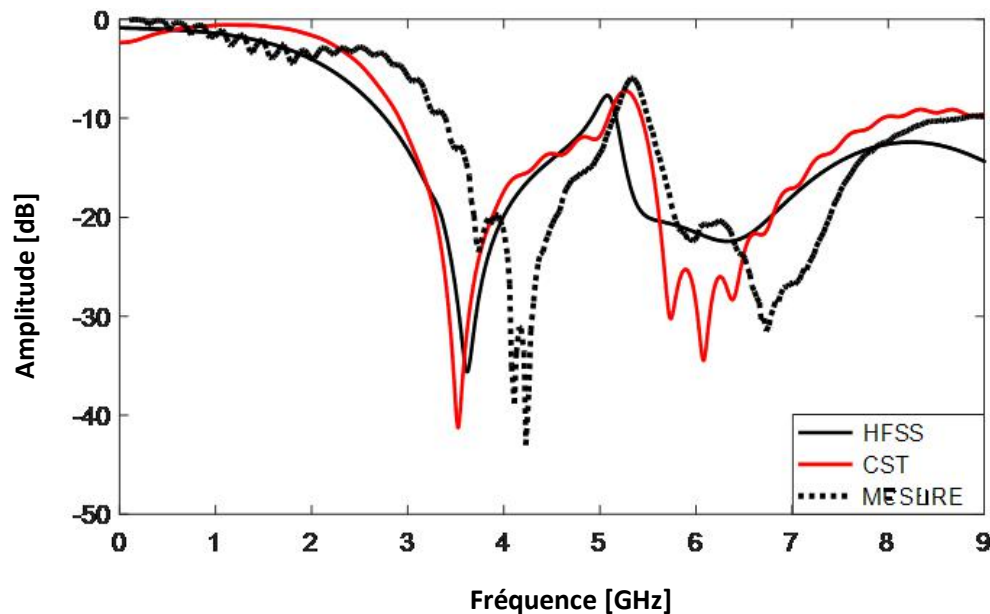


Figure III.6: Comparaison de coefficient de réflexion S_{11} mesuré et simulé à l'entrée de l'antenne b bande.

La comparaison entre la simulation et les résultats expérimentaux de l'antenne imprimée montre qu'il existe une bonne concordance entre les résultats de simulations et les mesures qui sont observées pour les deux fréquences en termes de coefficient de réflexion. Nous observons une bonne adaptation dans la bande de fréquences de [0-9 GHz], nous enregistrons un pic de l'ordre de -41 dB à 3.52 GHz, -30 dB pour 5.74 GHz délivré par CST, le simulateur HFSS a présenté un pic de -30 dB à 3.54 GHz ainsi qu'un pic de -20 dB à 5.72 GHz, les résultats de simulation mesurée avec un pic de -25 dB à la fréquence de 3.54 GHz et de -23 dB a la fréquence de 5.75 Ghz. Un faible décalage de fréquence est enregistré entre les trois courbes. Ces résultats répondent correctement aux applications de la téléphonie mobile dans les bandes WIMAX (3.400 - 3.700 GHz) et WLAN (5.15 - 5.35 GHz, 5.725- 5.875 GHz). Selon les courbes de la figure III.6, il existe une très bonne corrélation entre les résultats simulés et mesurés.

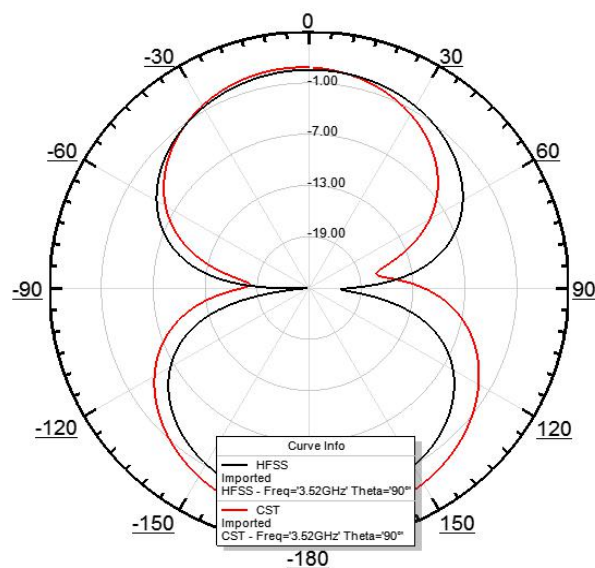
III.5.2 Comparaison des résultats de simulation

Le tableau III.2 regroupe les valeurs des fréquences obtenus par mesure et par simulation. Nous pouvons noter un bon accord entre les résultats de mesures et de simulation avec un léger écart de l'adaptation en raison des erreurs de fabrication.

Bande de fréquence	Logiciel	Pics de fréquence de résonances	S ₁₁ [dB]
Wimax [3.40- 3.80 GHz]	CST	3.52	-41
	HFSS	3.54	-36
	Mesure	3.54	-25
WLAN [5.15 - 5.35 GHz] et [5.72 - 5.87 GHz]	CST	5.74	-30
	HFSS	5.72	-20
	Mesure	5.75	-23

Tableau III.2: Comparaison entre le logiciel CST, HFSS et le résultat de mesure.

Les diagrammes de rayonnement simulés obtenus par les logiciels CST et HFSS pour cette antenne pour 3.52 GHz et 5.74 GHz est présenté à la figure III.7. Les bons accords entre deux logiciels de simulation ont révélé d'excellentes images. Les résultats démontrent une excellente performance de l'application pour notre antenne proposée dédiée aux applications de la téléphonie mobile. Pics de fréquence de résonances



(a)

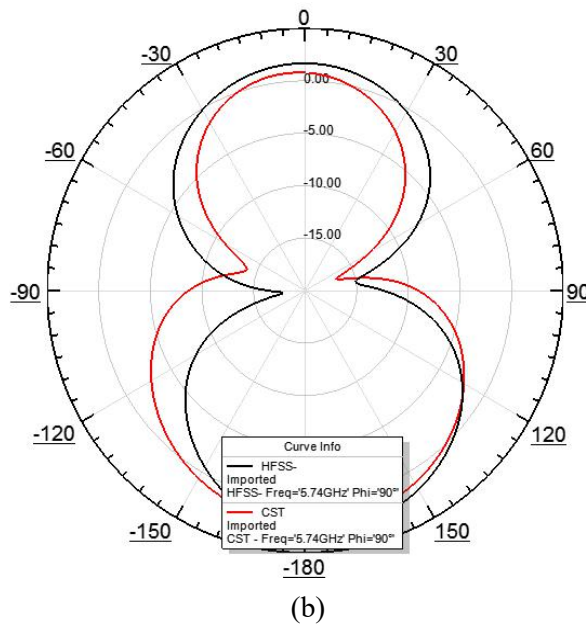


Figure III.7: Diagrammes de rayonnement simulés pour l'antenne proposée à (a) 3.52 GHz, (b) 5.74 GHz.

III.5.3 Le gain de l'antenne

Le gain de l'antenne proposée aux différentes valeurs de fréquence est détaillé dans le tableau III.3. La figure III.8 indique les tendances maximales et minimales dans la bande de fréquences de travail. La valeur maximale de gain de l'antenne proposée est égale à 2.8 dB pour la fréquence 6 GHz et un gain minimal de 0.8 dB à la fréquence 2 GHz. Les performances de l'antenne ont été étudiées et son gain simulé est présenté à la figure III.8.

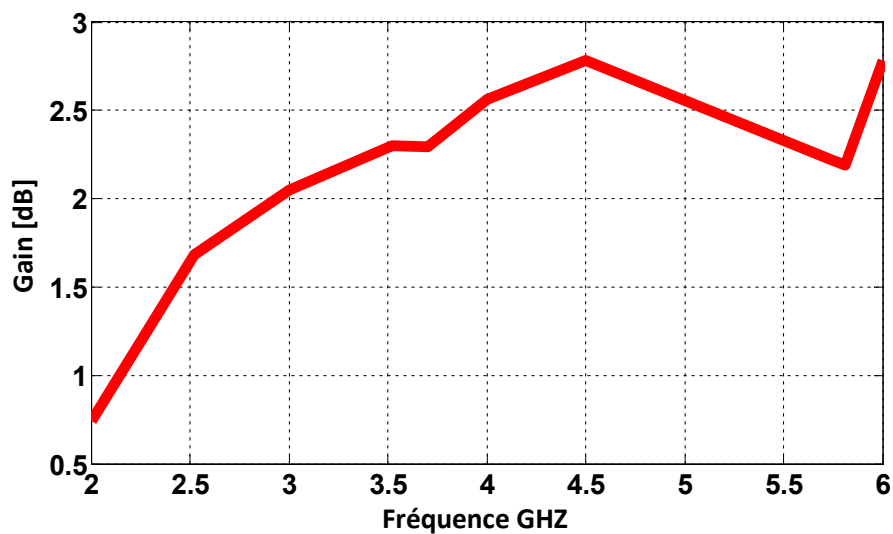


Figure III.8: Le gain en fonction de la fréquence de résonance.

Les résultats obtenus figurent dans le tableau suivant:

Fréquence [GHz]	Gain [dB]
2	0.8
2.5	1.7
3	2.3
4	2.6
4.5	2.8
5.74	2.2
6	2.8

Tableau III.3: Gain de l'antenne proposée aux différentes fréquences.

Le gain est plus grand et le résultat démontre la justesse de notre approche pour les applications de téléphonie mobile. Le gain calculé atteint 2.8 dB a la fréquence de résonance 4.5 GHz.

Le tableau III.4 présente une étude comparative avec les travaux existants.

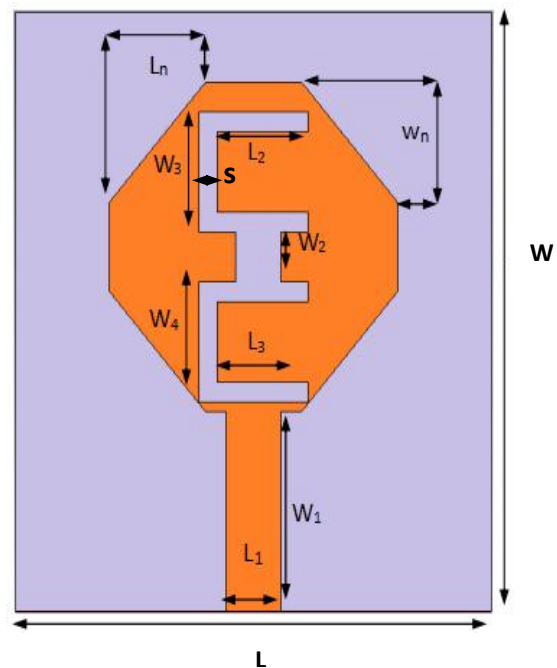
Références	Pics	La gamme de Fréquence [GHz]	La taille de la structure [mm]
[35]	3.5 GHz,-12.8 dB 5 GHz, -29.37 dB	3.41-3.57 GHz 4.75-5.53 GHz	26 ×30
[36]	3.5 Ghz,-20 dB 10.2 Ghz,-14 dB	2.5-4.3 GHz 9-11 GHz	26 ×40
[37]	2.33GHz,-19.79 dB 5.24GHz,-28.97 dB	2.16-2.38 GHz 5.13-5.36 GHz	16 ×25
Notre travail	3.52 Ghz,-41 dB 5.74 Ghz,-30 dB	2.9-4 GHz 5.5-8 GHz	26 ×30

Tableau III.4: Un tableau comparatif avec les travaux existants.

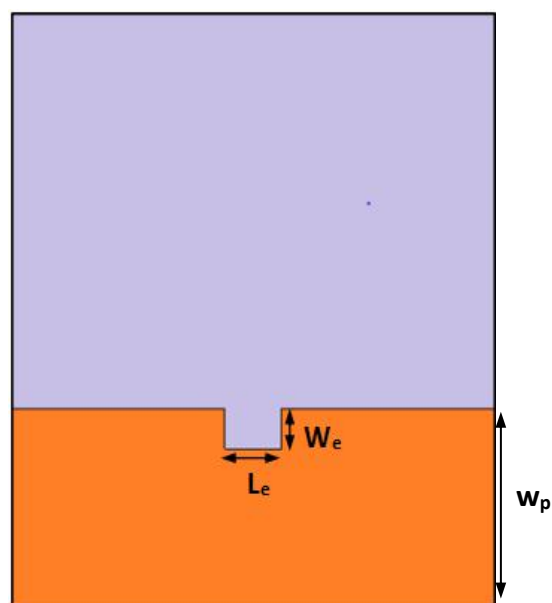
III.6 Antenne bi-bandes avec fentes de formes U

Nous avons proposé un prototype de l'antenne imprimée consistant en un patch rectangulaire à quatre coins tronqués, imprimé sur un substrat du type FR4 de permittivité relative 4.3 avec une tangente de pertes 0.018, d'épaisseur $h=1.6$ mm. Un plan de masse partiel imprimé sur la surface inférieure du substrat. Une encoche a été insérée dans le plan de masse partiel. La figure III.9 donne la géométrie du prototype

de l'antenne. Une étude paramétrique a été réalisée afin d'analyser l'effet de certains paramètres géométriques de l'antenne sur ces performances et en particulier sur les deux bandes de fréquences. Cette étude paramétrique nous a montrés comment ces paramètres peuvent modifier les performances de l'antenne et principalement leur effet sur les deux bandes de fréquences ainsi que l'effet sur son adaptation de l'antenne.



(a)



(b)

Figure III.9: Antenne à géométrie de base. (a) vue de dessus, (b) vue de dessous.

Les valeurs de paramètres S simulées de l'antenne aux différentes fréquences de résonance sont données au tableau suivant.

S (mm)	Fréquence [GHz]		Amplitude [dB]	
S=0.2	3.67	6.52	-26	-36
S=0.5	3.7	5.79	-20	-25
S=1	3.6	5.67	-14	-26
S=1.5	3.74	5.64	-39	-20

Tableau III.5: Résultats de l'antenne simulée pour différentes valeurs de S.

III.7 Résultat de simulation

III.7.1 Étude paramétrique

La figure III.10 montre la variation du coefficient de réflexion simulé en fonction de la fréquence de résonance de l'antenne proposée. nous avons varié la largeur de fente dans le patch et les résultats de simulation sont illustrés à la figure III.10.

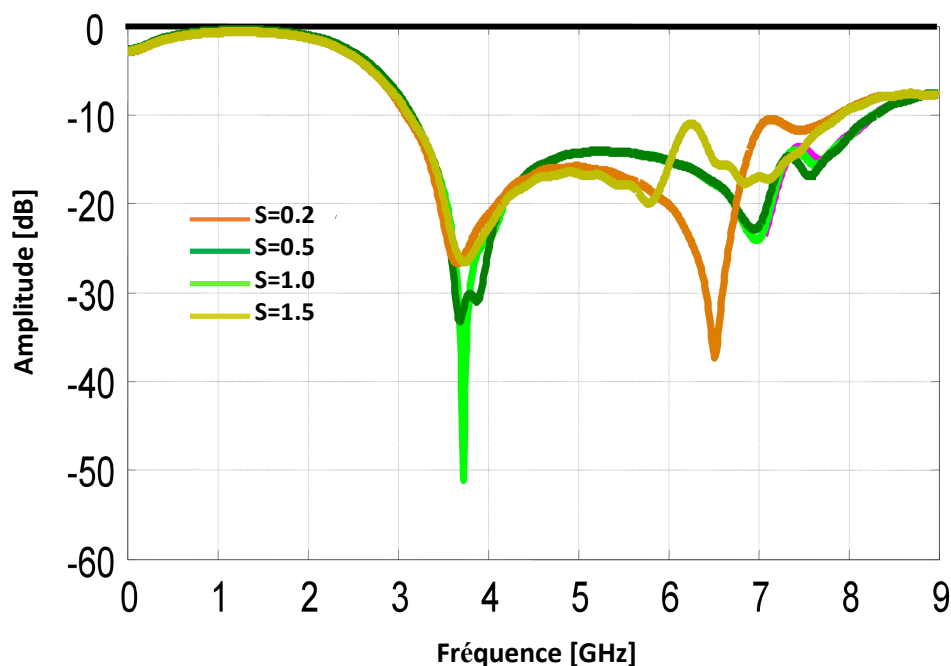


Figure III.10: Coefficient de réflexion avec variation de (S).

Dans cette partie d'étude, la largeur de fente S varie, tandis que les autres paramètres de l'antenne restent fixes. Cette étude paramétrique montre que la structure est parfaitement adaptée.

La figure III.11 montre le prototype de l'antenne fabriqué; ses détails et ses dimensions sont résumés dans le tableau III.6.



(a)



(b)

Figure III.11: Prototype réalisé de l'antenne à plan de masse partiel. (a) Vue de face, (b) Vue de dessous.

Paramètres	Valeurs [mm]
L	26
L ₁	3
L ₂	5
L ₃	5
W	30
W ₁	10
W ₂	2.5
W ₃	6
W ₄	6
L _n	5.25
W _n	6
W _e	2
W _p	10
L _e	3

Tableau III.6: Paramètres géométriques de l'antenne de base.

III.7.2 Comparaison entre les résultats simulée et mesurée

Les résultats sont simulées à l'aide du simulateur CST Microwave Studio et comparer aux résultats de mesures.

Nous présentons dans la figure III.12, les deux tracés du coefficient de réflexion S_{11} opérant dans la plage de fréquences comprise entre 0 et 9 GHz.

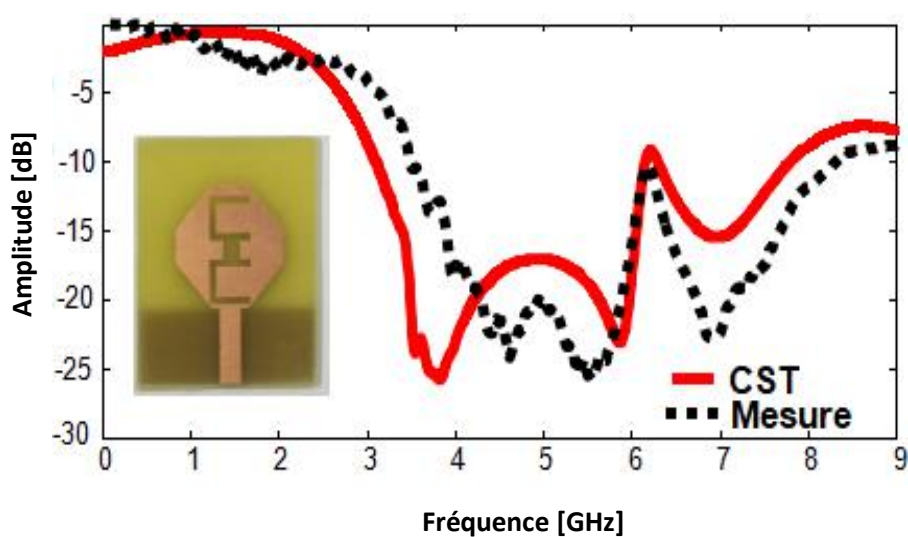
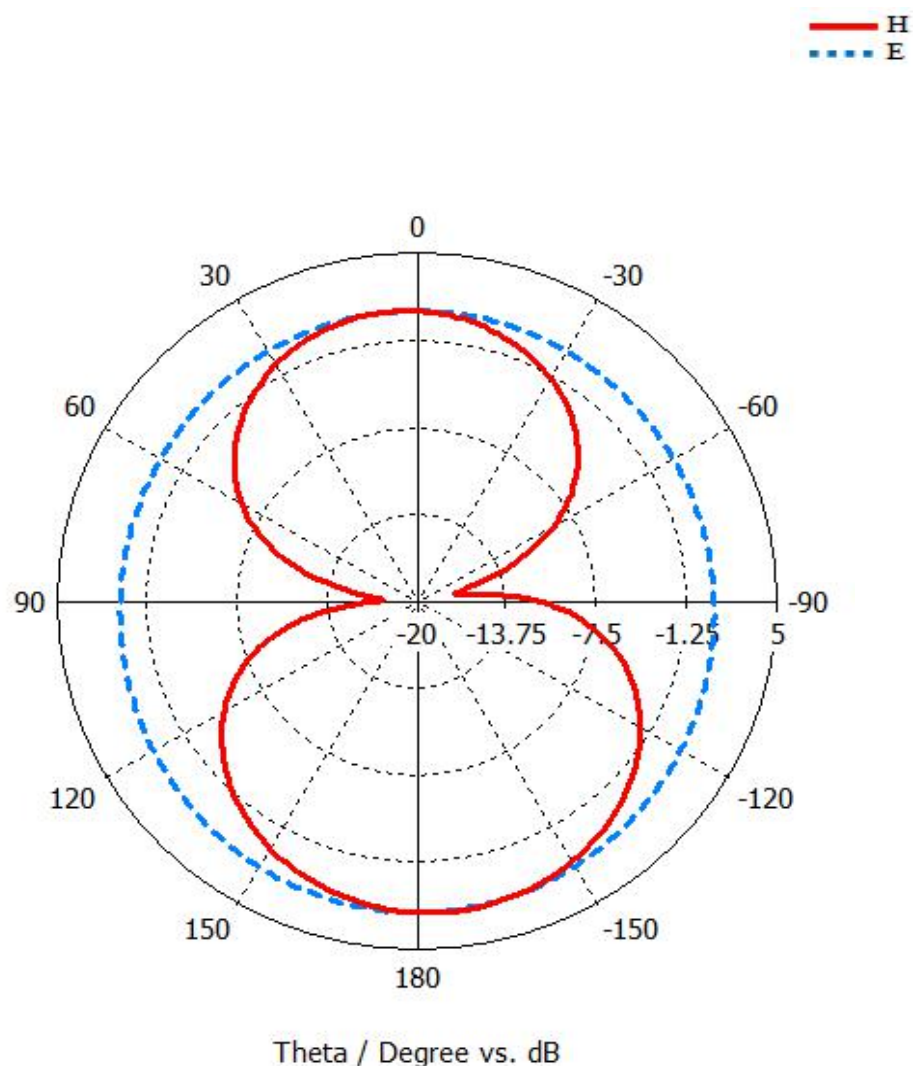


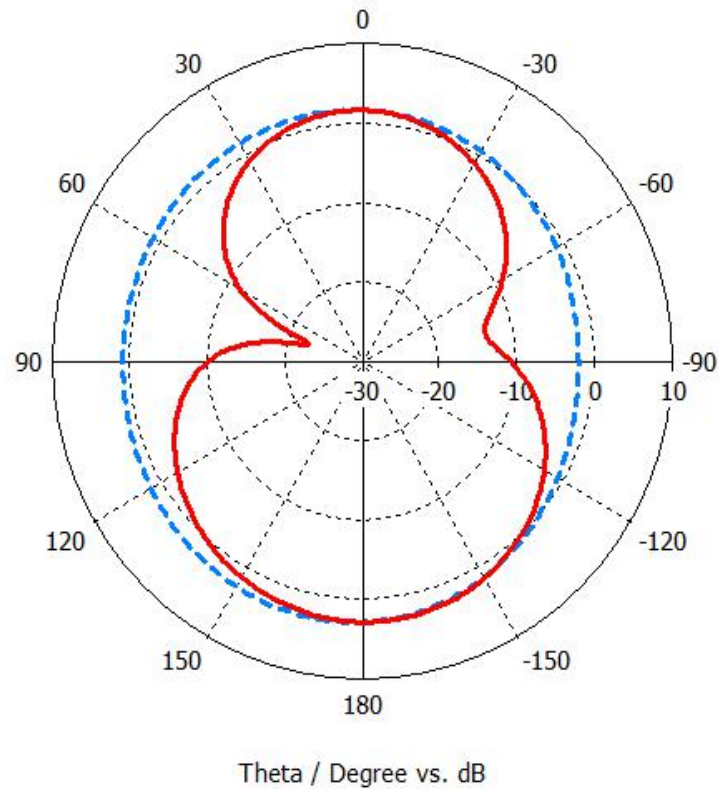
Figure III.12: Comparaison entre les simulations fournies par CST Microwave Studio et les mesures.

Nous enregistrons un pic de l'ordre de -26 dB à 3.7 GHz, -20 dB pour 5.79 GHz délivré par CST, la mesure a présenté un pic de -20 dB à 3.7 GHz ainsi qu'un pic de -25 dB à 5.7 GHz. À partir de résultat, nous observons un bon accord entre les résultats de simulation obtenus par CST et les résultats mesurés en termes de largeur de la bande et de coefficient de réflexion. Cependant, nous pouvons remarquer un décalage entre les valeurs d'adaptation qui est généralement dû aux tolérances de mesures.

Les diagrammes de rayonnement de l'antenne b bande dans les différents plans E et H respectivement pour les deux fréquences de résonances 3.7 GHz et 5.79 GHz, sont donnés par la figure III.13.



(a) $f=3.70$ GHz.



(b) $f=5.79$ GHz.

Figure III.13: Diagrammes de rayonnement simulés pour l'antenne bandede à (a) 3.70 GHz, (b) 5.79 GHz.

Le gain de l'antenne simulée à la fréquence de résonance 3.7 GHz est de 2.29 dB, avec un angle d'ouverture à 3 dB égal à 89.8° et l'angle de direction du lobe principal est de 173° . Le lobe arrière est de l'ordre de -1.4 dB pour la fréquence 5.79 GHz, la valeur du gain égale à 2.76 dB, avec un angle d'ouverture de 3 dB correspondant à 89.3° est l'angle du lobe principal égal à 177° .

III.7.3 Le gain de l'antenne

La variation de gain de l'antenne en fonction de la fréquence est donnée par la figure III.14.

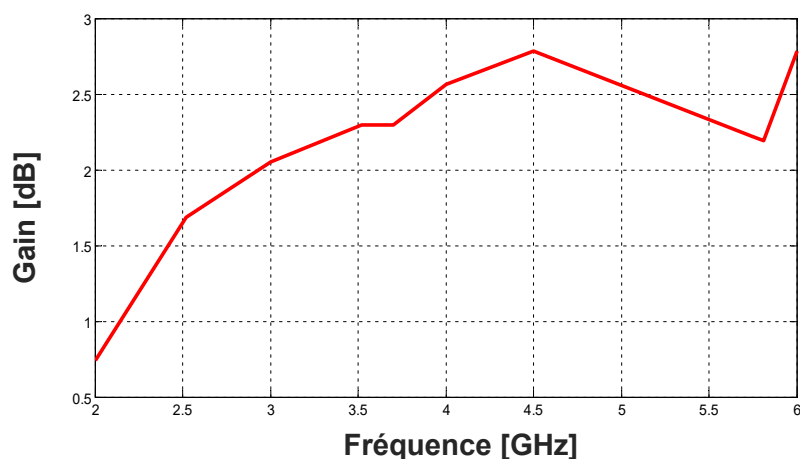


Figure III.14: Le gain en fonction de la fréquence.

Nous remarquons une légère variation du gain sur toute la bande de fréquences de [2 -6 GHz]. Cependant, le gain maximum est de 3.3 dB à 6 GHz et le gain minimum est de 0.5 dB à la fréquence de 2 GHz. Nous observons à la première fréquence de résonance 3.70 GHz un gain de 2.29 dB et 2.76 dB pour la deuxième fréquence de résonance 5.79 GHz.

III.8 Distribution des courants

Nous avons étudié la distribution des courants de surface sur la structure. Les figures suivantes représentent les courants surfaciques simulés aux fréquences de résonance f_1 et f_2 . Il est intéressant d'étudier la variation de la distribution de courant à 3.7 GHz et à 5.79 GHz.

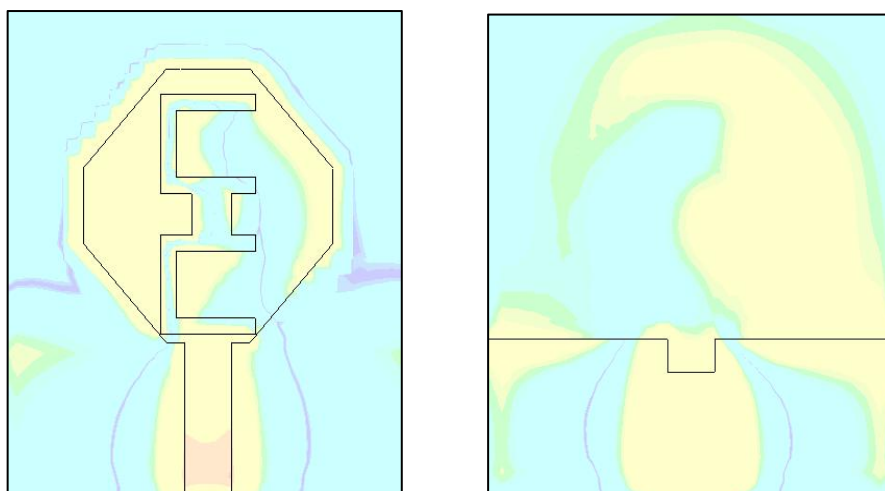


Figure III.15: Distributions du courant de l'antenne proposée à 3.7 GHz.

la valeur maximale de courant continu de l'antenne proposé est de 66.81 A/m^2 obtenus à la première fréquence de résonance 3.7 GHz , la distribution surfacique de courant de l'antenne proposée est représentée par la figure ci-dessous.

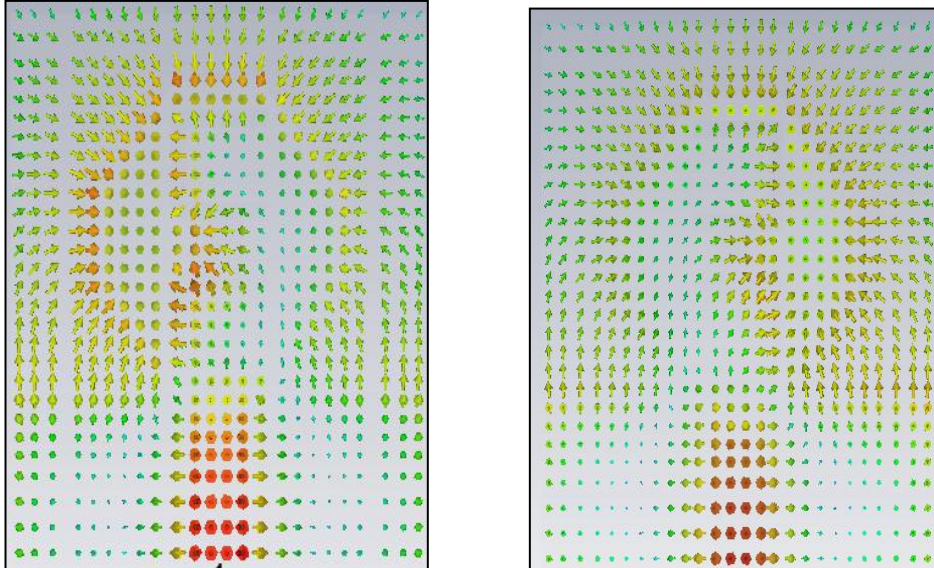


Figure III.16: Distribution du courant de surface de l'antenne proposée à 3.7 GHz .

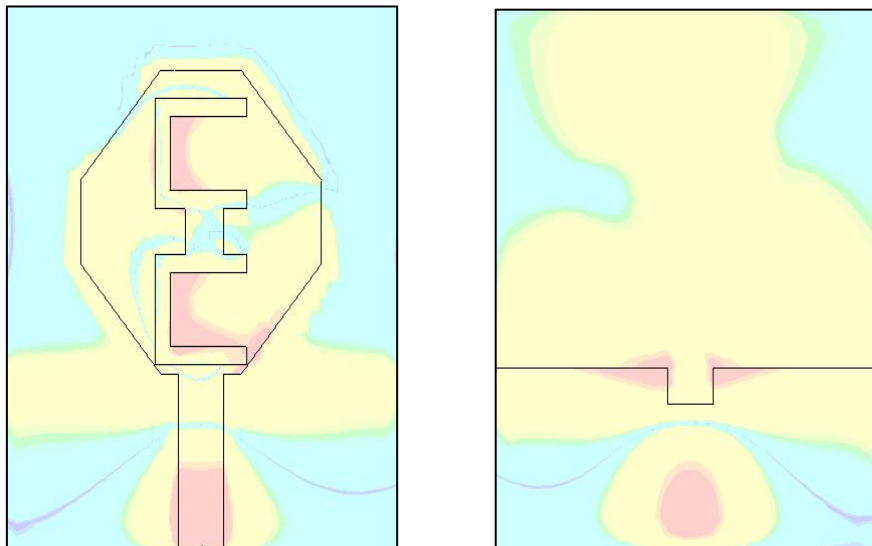


Figure III.17: Distributions du courant de l'antenne proposée à 5.79 GHz .

la valeur maximale du courant est égale à 206 A/m^2 pour la fréquence de résonance 5.79 GHz est illustré à la figure III.18.

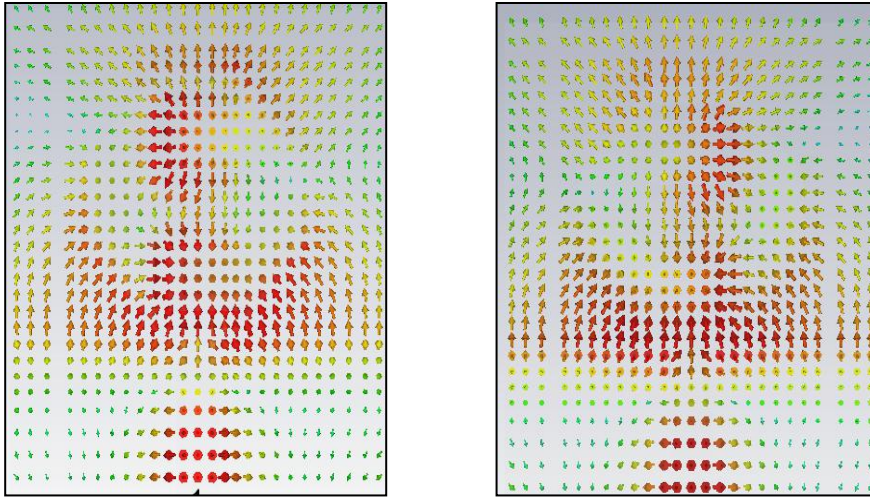


Figure III.18: Distribution du courant de surface de l'antenne proposée à 5.79 GHz.

III.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons proposé un nouveau modèle de l'antenne imprimée à quatre angles tronqués avec fente en forme U pour les opérations bibandes couvrant deux bandes de fréquences de (3.4 à 3.8 GHz) pour le WIMAX et (5.725 à 5.872 GHz) pour WLAN. L'antenne proposée est caractérisé par la simplicité de la forme et la facilité de construction. Cela peut réduire les coûts de fabrication et le volume requis de l'ensemble du système. On peut obtenir une bonne adaptation en terme de coefficient de réflexion correspondant aux bandes de fréquences souhaitées avec la variation de la taille de l'élément rayonnant. Les résultats obtenus sont comparés entre la simulation effectuée avec la technique d'intégration finie à l'aide du logiciel CST Microwave Studio et la méthode des éléments finis FEM fournies par le logiciel HFSS et les résultats mesurés. Les performances obtenus des antennes proposées répondent aux exigences des applications de la téléphonie mobile.

Références

- [1] Y.F. Liu, K.L. Lau, Q. Xue, and C.H. Chen, "Experimental studies of printed wide-slot antenna for wide-band applications", *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 3, pp. 273–275, 2004.
- [2] J.Y. Jan and J.W. Su, "Bandwidth enhancement of a printed wide-slot antenna with a rotated slot," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 53, N° 6, pp. 2111–2114, Jun. 2005.
- [3] W.S. Chen and K.Y. Ku, "Band-rejected design of the printed open slot antenna for WLAN/WiMAX operation," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 56, N° 4, pp. 1163–1169, Apr. 2008.
- [4] S. Chaimol and K.L. Chung, "CPW-fed mirrored-L monopole antenna with distinct triple bands for WiFi and WiMAX applications," *Electron. Lett.*, vol. 45, no. 18, pp. 928–929, Aug. 2009.
- [5] K.G. Thomas and M. Sreenivasan "Compact triple band antenna for WLAN/WiMAX applications," *Electron. Lett.*, vol. 45, N° 16, pp. 811–813, 2009.
- [6] T.H. Kim and D.C. Park, "Compact dual-band antenna with double L-slits for WLAN operations," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 4, pp. 249–252, 2005.
- [7] C.M. Wu, C.N. Chiu, and C.K. Hsu, "A new nonuniform meandered and fork-type grounded antenna for triple-band WLAN applications," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 5, pp. 346–348, 2006.
- [8] C.Y. Pan, T.-S. Horng, W.S. Chen, and C.H. Huang, "Dual wideband printed monopole antenna for WLAN/WiMax applications," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 6, pp. 149–151, 2007.
- [9] J.G. Andrews, Arunabha Ghosh, "Fundamentals of WiMAX Understanding Broadband Wireless Networking," First Edition, Prentice Hall.
- [10] IEEE Std 802.16-2004 "IEEE Standard for Local Metropolitan Area Networks- Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems", October 2004.
- [11] C. Eklund, "IEEE Standard 802.16: A technical Overview of the Wireless MAN Air Interface for Broadband Wireless Access", *IEEE Communication Magazine*, Vol. 40, No. 6, pp. 98–107, June 2002.
- [12] A. Gosh, "Broadband Wireless Access with WIMAX/802.16: Current Performance Benchmarks and Future Potential", *IEEE Communication Magazine*, Vol. 43, No. 2, pp. 129–136, February 2005.
- [13] M. Moulay, M. Abri, "Bowtie antennas design for bluetooth/wimax/wifi application" *International journal of Microwave and optical technology*, vol. 9, N.4, JULY 2011.
- [14] A. Zitouni, N. Boukli-Hacene, "A New four Truncated Corners Ultra-Wideband Antenna with two Crossed Slits in the Path" *International Journal of Microwave and optical technology*, Vol. 6, N° 4, July 2011.
- [15] M. Moulay, M. Abri, and H. Abri Badaoui, "Quad-Band Bowtie Antenna Design for Wireless Communication System Using an Accurate Equivalent Circuit Model", *International Journal of Microwave Science and Technology*, Article ID 637607, pp. 1–7, 2014.
- [16] H. Mustafa, B. Ucar and Y.E. Erdemli, "Microstripline-Coupled Printed Wide-Slot Antenna with Loop Loadings for Dual-Band WiMAX/WLAN

- Operations, " Electronics & Computer Education Department Kocaeli University, Kocaeli, Turkey, Vol. 9, P.47-51, 2012.
- [17] S.K. Gemnani, B.S. Chowdhry, "Wide Band Square Patch Microstrip Antenna Design for WLAN & WIMAX Applications " International Journal on " , Technical and Physical Problems of Engineering" (IJTPE) ,Vol. 8, N°.2, P.46-52, June. 2016.
- [18] N. Belgacem, M. Abri, W. Belgacem, "A Compact Multi-band PIFA Antenna for UMTS and WLAN Mobile Applications", ACM International Conference Proceedings Series of International Conference on Computing Wireless & Communication Systems, ICCWCS'17, November 14–16, 2017, Larache, Morocco.
- [19] M. Abri, N. Belgacem and W. Belgacem, "New GSM, DCS and GSM/DCS PIFA Antennas Designs for Wireless Networks applications", International Journal of Information & Network Security (IJINS), Vol.2, No.4, August 2013, pp. 305~310 ISSN: 2089-3299, 2013.
- [20] M. Abri, N. Boukli-hacene, F. T. Bendimerad, E. Cambiaggio "Design of a Dual Band Ring Printed Antennas Array" Microwave journal., Vol. 49, N°. 5, pp. 228-232, 2006.
- [21] S. Didouh, M. Abri, H. ABRI Badaoui, "A New C and Ku-band Logarithmically Periodic Linear Bowtie Antennas Array Design Using Lumped-element Equivalent Schematic Model AEU", International Journal of Electronics and Communications, 2015, 69, 12, pp. 1766–1772.
- [22] M. Moulay, M. Abri, H. Abri Badaoui, "Quad-Band Bowtie Antenna Design for Wireless Communication System Using an Accurate Equivalent Circuit Model", International Journal of Microwave Science and Technology, Article ID 637607, 2015
- [23] S. Berhab, M. Abri, R. Gharbi, "Rigorous iterative full wave method for the analysis of multi-band arbitrary U shaped antennas" Microwave and Optical Technology Letters, vol. 58, 10, pp. 2358-2364, 2016.
- [24] M. Abri, F.T. Bendimerad, N. Boukli-hacene and M. Bousahla, "Log Periodic Series-Fed Antennas Array Design Using a Simple Transmission Line Model", International Journal of Communication Engineering Vol. 2, N°. 3, pp. 161-169, 2009.
- [25] M. Abri, H. Abri Badaoui, S. Didouh and S. M. Bahloul, "Seven Bow-Tie Antennas Array Design For C Band Applications", congres mediterraneen des telecommunications et exposition, national Journal of Communication Engineering Vol. 1, 22, 23 & 24 Mars 2012, Fes, Maroc.
- [26] S. Didouh, M. Abri and F.T. Bendimerad, "Multilayered Bow-tie Antennas Design for RFID and Radar Applications Using a Simple Equivalent Transmission Line Model", International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC), Vol. 4, N°.3, pp. 121-131, May-June 2012.
- [27] S. Didouh, M. ABRI, and F.T. Bendimerad, "Corporate-Feed Multilayer Bow-Tie Antenna Array Design Using a Simple Transmission Line Model", Modeling and Simulation in Engineering, Vol. 4, pp. 1-8, November 2012.
- [28] Y. Tawk, K.Kabalan, A.El Haj, S.Sadek, M.Al-Husseini " A Modified Bowtie Antenna Design For Wi-Fi and WiMAX Applications", Vol. 49, N°. 3, 2008.
- [29] K.L. Wong, W.Y. Chen, T.W. Kang, "On-board printed coupled-fed loop antenna in close proximity to the surrounding ground plane for penta-band WWAN Mobile phone," IEEE Trans. Antennas Propag, Vol. 59, N°. 3, Mar. 2011.

- [30] S.V. Shynu, G. Augustin, C. K. Aanandan, P. Mohanan, and K. Vasudevan, "Design of compact reconfigurable dual frequency microstrip antennas using varactor diodes," *Progress In Electromagnetics Research*, Vol. 60, pp. 197-205, 2006.
- [31] A.A.H. Azremi, N.A. Saidatul, R.B. Ahmad, P.J. Soh A "Parametric Study of roadband Planar Inverted F Antenna (PIFA) for WLAN Application " 2008 International Conference on Electronic Design, Vol. 59, pp. 1-3, December 2008, Penang, Malaysia.
- [32] E. Yessar. M. Ali, A. Khalid, J. Sultan, "Design of Broadband Microstrip Patch Antenna for WLAN/WiMAX Applications", Vol. 23, N° 1, 2015.
- [33] R. Kebbab, "Conception d'antenne ultra large bande en technologie imprimé", Université de Tlemcen, Soutenue en 2010.
- [34] A. Belguessoum, "Conception et réalisation d'une antenne multibandes alimentée par un guide d'onde coplanaire CPW", Université de Canada, soutenue en 2008.
- [35] A. Kumar, S. Kumar and P.R. Chadha, "Design of a Dual-band microstrip patch antenna for GPS, WiMAX and WLAN", *Journal of Electronics and Communication Engineering*, Vol. 6, pp. 56-59, Jun. 2013.
- [36] H. Danish, "L-slotted microstrip patch antenna for WiMAX and WLAN applications", *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, Vol. 5, pp. 385-389, April. 2016.
- [37] H.M. Nagabhushana, C.R. Byrareddy and N. hangadurai, "Slotted and miniaturized patch antenna for WLAN and WIMAX applications", *International Journal of Advanced Information Science and technology*, Vol. 6, pp. 16-19, April. 2017.

Chapitre IV:
Conception d'Antenne
Alimentée par une
Ligne Coplanaire
CPW

IV.1 Introduction

Les systèmes de communication sans fil moderne sont très demandés pour les conceptions compactes ou les antennes bibandes et à faible coût pouvant fonctionner simultanément avec plusieurs normes de communication. Ces antennes peuvent permettre au concepteur d'intégrer un réseau local sans fil (WLAN) et une interopérabilité mondiale pour l'accès par micro ondes (WIMAX) dans un seul système. Les normes WLAN allant de WLAN aux États-Unis [5.15 - 5.35 GHz, 5.725 à 5.875 GHz] et les normes Wi-Fi allant de [2.4 à 2.48 GHz] [1].

La ligne de transmission coplanaire, également appelée guide coplanaire et CPW est un élément-clé de la conception de circuits intégrés. Elle a été proposée pour la première fois comme alternative pour la ligne à microbandes par Wen [2-3]. La ligne de transmission coplanaire présente plusieurs avantages par rapport à la ligne microbandes. Il permet de s'affranchir des processus utilisés pour la production de la ligne microbandes et ainsi de réduire les coûts de fabrication. Il présente également une flexibilité de conception et de réalisation. Il montre également que la facilité d'intégration avec d'autres circuits sans utiliser de métal est due à sa nature uniplanaire. De plus, cela facilite la réalisation de circuits complexes tels que des filtres et des isolants. C'est pour ces raisons que nous avons choisi d'utiliser une ligne coplanaire [4-8].

Ces antennes ont l'avantage d'avoir une double bande passante et permettent une intégration facile avec les dispositifs actifs. Le mécanisme d'alimentation CPW offre plusieurs avantages par rapport à l'alimentation par microbande, car il présente une dispersion et une perte de rayonnement réduite. En conséquence, les antennes alimentées par CPW sont de bons candidats pour une conception d'antenne courte [9-11]. La ligne d'alimentation, le plan de masse et l'élément rayonnant se trouvent sur la même face du substrat. De plus, l'impédance caractéristique d'une ligne CPW dépend peu de la hauteur du substrat et des dimensions de la surface conductrice [12-14].

Dans ce chapitre, nous proposons un nouveau prototype d'antenne bi-bande avec guide d'ondes coplanaire (CPW) pour les applications de Wi-Fi et WLAN. Cette antenne répond à la structure simple, à la facilité de production, au faible coût et aux exigences de la bande de fréquences dédiée aux applications de la téléphonie mobile.

IV.2 La ligne de transmission coplanaire CPW

La ligne de transmission coplanaire, communément appelée ligne CPW (Coplanar Wave Guide), est une ligne pour laquelle tous les conducteurs sont situés sur un même plan. Elle est constituée d'un conducteur central de largeur G localisé entre deux plans de masse via des fentes de dimension S , un substrat de permittivité relative ϵ_r et d'épaisseur h . La figure IV.1 montre une ligne coplanaire [19].

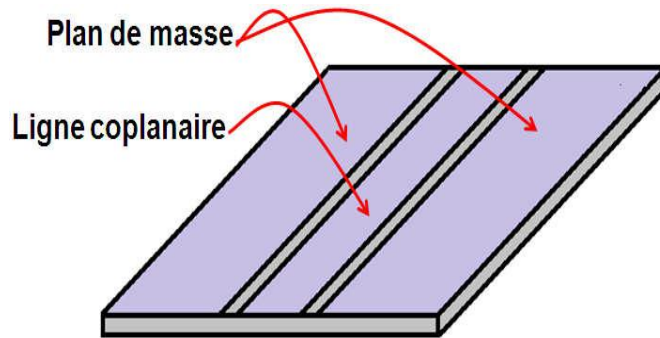


Figure IV.1: Ligne de guide d'ondes coplanaire [23].

Les avantages de cette structure sont: efficacité améliorée, bande passante élargie et meilleure isolation entre le circuit d'alimentation et l'élément rayonnant. La ligne de transmission coplanaire présente plusieurs avantages par rapport à la ligne microstrip. Elle permet de s'affranchir des procédés technologiques pour réduire le coût de fabrication [22].

IV.3 Étude paramétrique de la ligne d'alimentation

Avant de passer à la structure optimisée de l'antenne, il est indispensable d'étudier et d'adapter la ligne d'alimentation. Pour cela, on fait varier les différents paramètres qui constituent le guide d'ondes coplanaire. Les différents paramètres de la ligne coplanaire CPW sont [15]:

1. S , la distance entre la ligne et le plan de masse.
2. G , la largeur des plans de masse.
3. b , la distance intermasse égale à $W+2S$.
4. ds , la largeur totale de la ligne égale à $W+2S+2Wg$.
5. h , la hauteur du substrat.
6. ϵ_r , la permittivité relative du substrat [16].

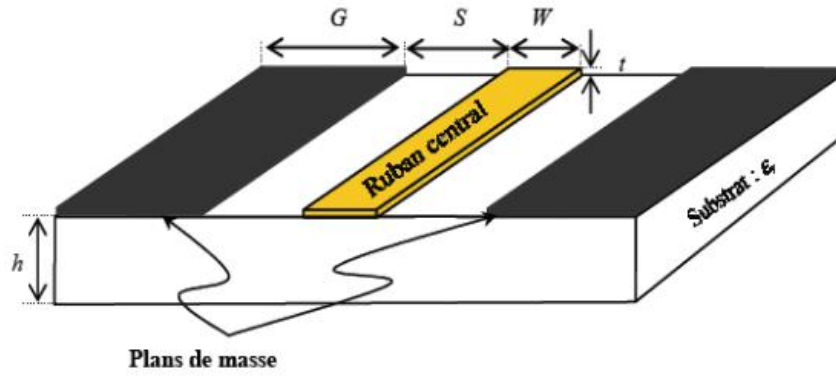


Figure IV.2: Paramètres géométriques de la ligne coplanaire [18].

L'impédance caractéristique est donnée par l'équation suivante [17]:

$$z_0 = \frac{30\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \frac{k(k_t')}{k(k_t)} \quad (IV.1)$$

Où Z_0 : Impedance caracteristique.

$K(k)$ est la fonction elliptique complète de première espèce et $K'(k)$ est son complément, $K'(k)=K(k')$, où $k'^2 = 1-k^2$.

$$\epsilon_{eff,t} = \epsilon_{eff} - \frac{\epsilon_{eff} - 1}{\frac{(a-b)/2}{0.7t} \times \frac{k(k)}{k'(k)} + 1} \quad (IV.2)$$

$$\epsilon_{eff} = 1 + \frac{\epsilon_r - k(k')k(k_1)}{2k(k)k(k_1')} \quad (IV.3)$$

Où ϵ_{eff} constante diélectrique effective du substrat, ϵ_r est la constante dielectrique.

$$k_t = \frac{a_t}{b_t}, k_t' = \sqrt{1-k_t^2} \quad (IV.4)$$

$$k = \frac{a}{b}, k' = \sqrt{1-k^2} \quad (IV.5)$$

$$k_1 = \frac{\sinh(\frac{\pi a_t}{4h})}{\sinh(\frac{\pi b_t}{4h})}, k_1' = \sqrt{1-k_1^2} \quad (IV.6)$$

$$a_t = a + \frac{1.25t}{\pi} [1 + \ln(\frac{4\pi a}{t})] \quad (IV.7)$$

$$b_t = b - \frac{1.25t}{\pi} [1 + \ln(\frac{4\pi a}{t})] \quad (IV.8)$$

$$b = W + 2S \quad (IV.9)$$

IV.4 Conception d'antenne

La géométrie de l'antenne proposée est représentée sur la figure IV.3. C'est une antenne alimentée par une ligne CPW conçue pour répondre au cahier des charges, elle peut être utilisée pour des applications du téléphone mobile tel que les normes Wi-Fi et WLAN. L'antenne proposée a été implémentée sur un substrat du type FR-4 de permittivité diélectrique $\epsilon_r = 4.3$, d'épaisseur $h=1.6$ mm, avec une tangente de pertes $tg\delta = 0.018$ et les différentes paramètres géométriques de l'antenne proposée sont données dans le tableau IV.1.

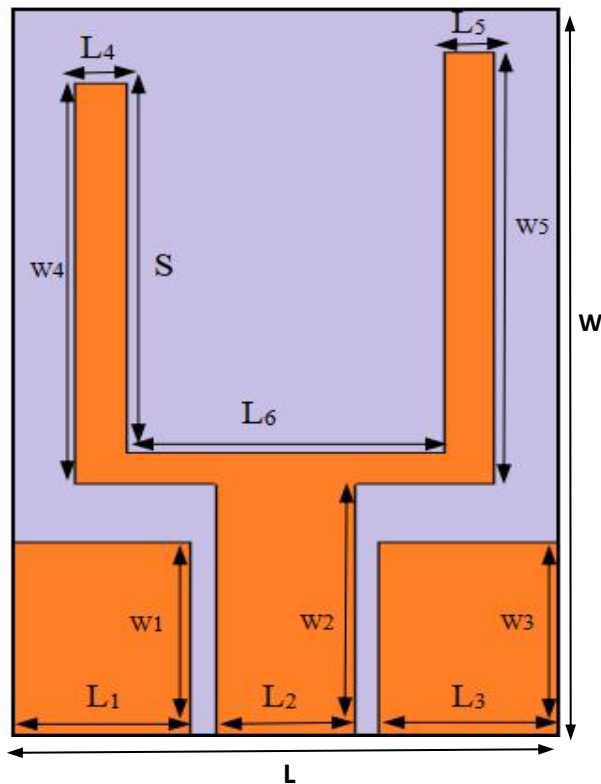


Figure IV.3: Prototype de l'antenne de base.

Le tableau IV.1 indique les paramètres géométriques de l'antenne simulée.

Paramètres	Valeur (mm)
L	25
L ₁	8.27
L ₂	6.26
L ₃	8.27
L ₄	2.25
L ₅	2.25
L ₆	14.3
W	47
W ₁	12.6
W ₂	18.32
W ₃	12.6
W ₄	24
W ₅	26

Tableau IV.1: Paramètres géométriques de l'antenne de base.

IV.5 Résultats et discussions

IV.5.1 Étude paramétrique

Sur la figure IV.4 à fin d'améliorer les performances de l'antenne, nous avons effectué une étude paramétrique sur certains paramètres S. Cette étude paramétrique nous a montrés comment ces paramètres peuvent modifier les performances de l'antenne et principalement leur effet sur les deux bandes de fréquences (bande passante) ainsi que leur effet sur l'adaptation de l'antenne. Ces propriétés rendent l'antenne adaptée aux applications Wi-Fi et WLAN. Les résultats de l'antenne simulée pour différentes valeurs de S sont montrés dans le tableau IV.2.

La largeur de S (mm)	Fréquence (GHz)		Amplitude (dB)	
19	2.66	5.14	-27	-19
20	2.61	5.89	-28	-53
21	2.57	5.74	-30	-40
22	2.53	5.58	-29	-36
23	2.50	5.41	-28	-42

Tableau IV.2: Résultats de l'antenne simulé pour différentes valeurs de S.

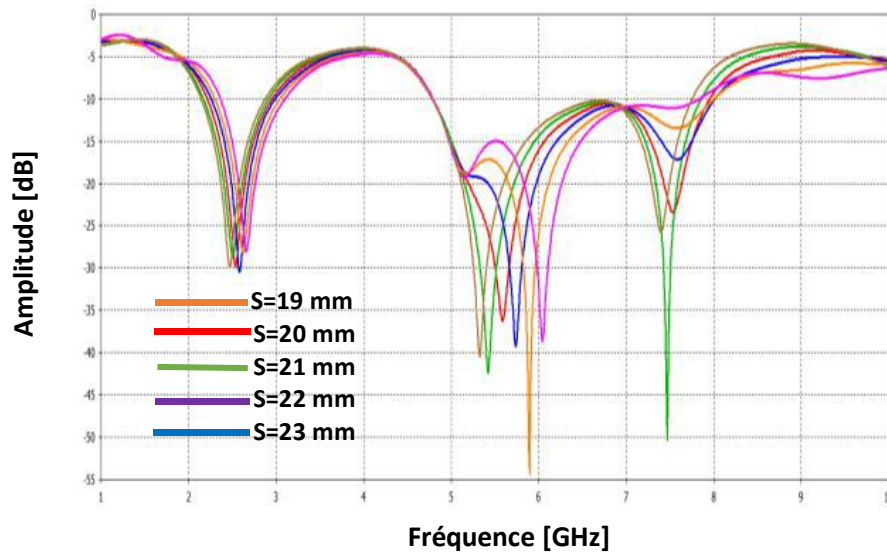


Figure IV.4: Coefficient de réflexion simulée pour différentes valeurs de S.

Nous avons simulé une antenne imprimée alimentée par un ligne coplanaire CPW pour les applications du téléphone mobile, qui est un type spécifique d'antenne miniature destinée aux normes Wi-Fi et WLAN fonctionnant respectivement à 2.47 GHz et 5.32 GHz est représentée dans la gamme de fréquences [1-10 GHz] sous l'outil de simulation CST.

IV.5.2 Coefficient de réflexion

Le résultat de simulation obtenu pour le coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence (GHz) est donné par la figure IV.5.

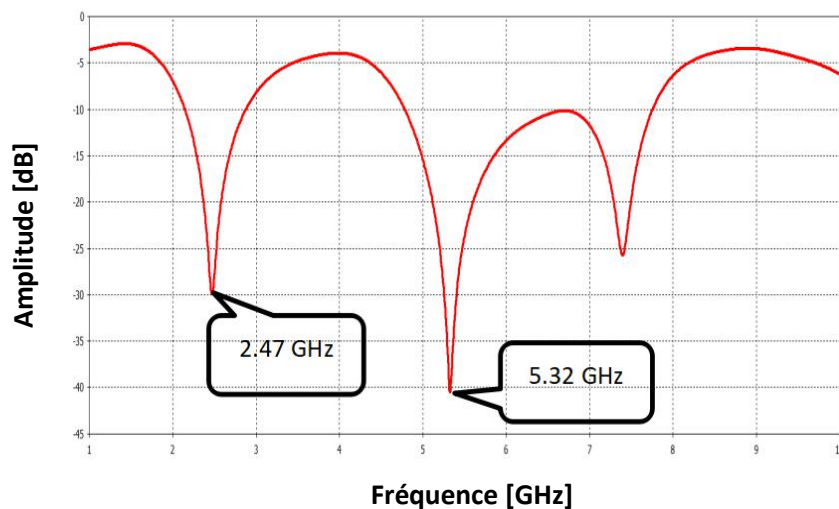
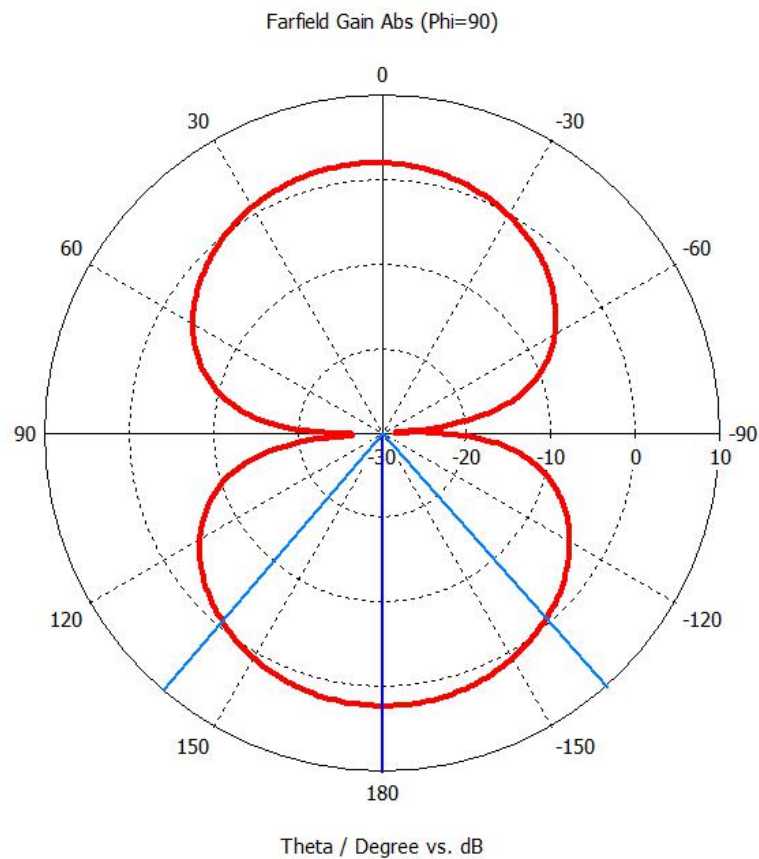


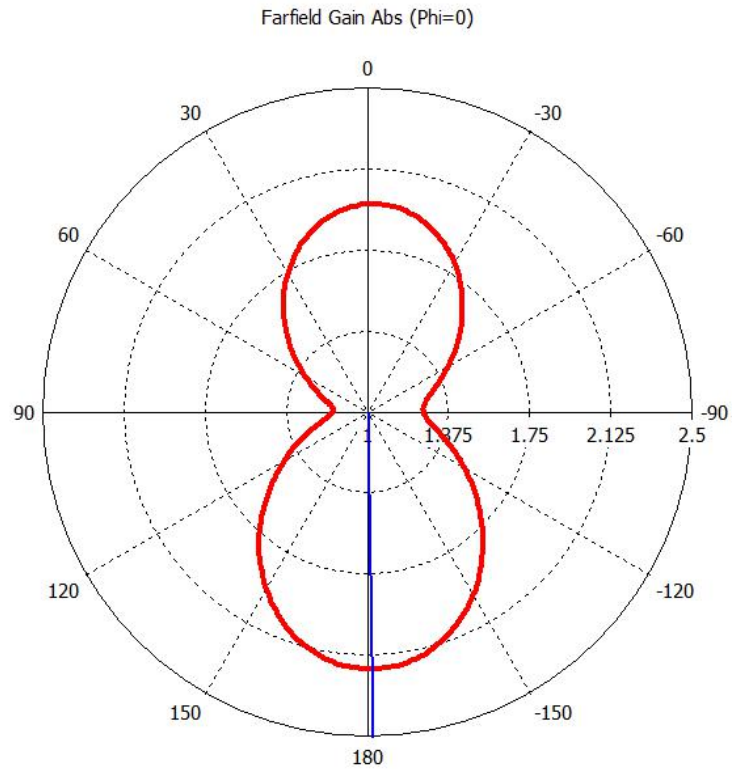
Figure IV.5: Coefficient de réflexion de l'antenne simulée.

La figure IV.5 montre qu'il existe deux bandes de fréquences de résonances dans la gamme de fréquences de 1 à 10 GHz. Une bonne adaptation est observée à la fréquence 5.32 GHz avec -41 dB et pour la deuxième fréquence 2.47 GHz le coefficient S_{11} égales à -30 dB.

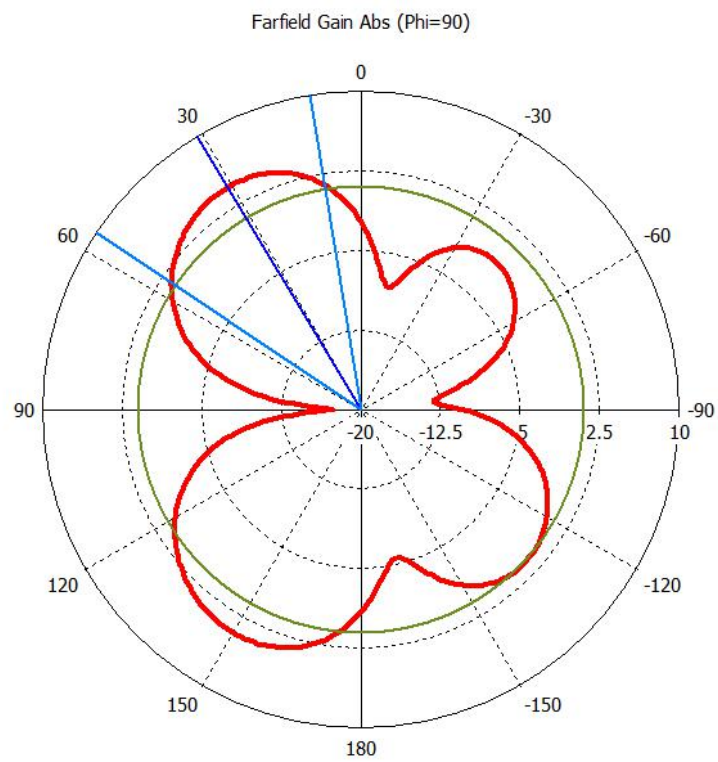
La figure IV.6 représente les diagrammes de rayonnement dans les plans H et E aux fréquences de résonance de 2.47 et 5.32 GHz, respectivement. On constate que l'antenne ayant un bon diagramme de rayonnement à toutes les fréquences dans les plans E et H. Le gain égal à 2.18 dB pour la fréquence 2.47 GHz avec un angle d'ouverture à -3 dB correspond à 180° et l'angle du lobe principal est égal à 177° , pour la fréquence 5.32 GHz, la valeur du gain égal de 4.45 dB, avec un angle d'ouverture à -3 dB correspondant à 47.1° , Le lobe est de l'ordre de -3.4 dB.



(a) $f=2.47$ GHz.



(b) $f=2.47$ GHz.



(c) $f=5.32$ GHz.

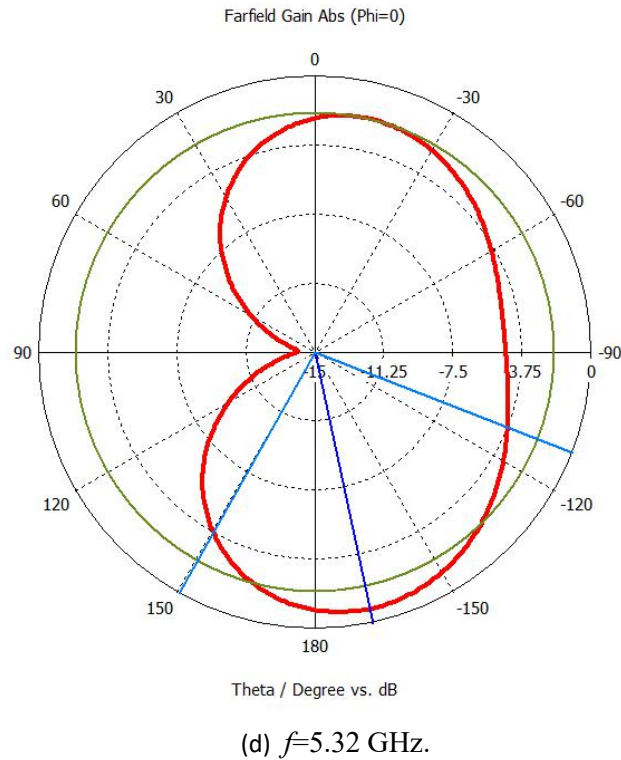


Figure. IV.6: Diagrammes de rayonnement simulée pour une antenne bibande (a), (b) 2.47 GHz, (c), (d) 5.32 GHz pour le plan E ($\Phi = 0^\circ$) et le plan H ($\Phi = 90^\circ$).

IV.5.3 Le gain de l'antenne

La figure IV.7 montre la variation de gain en fonction de la fréquence. On peut constater que l'antenne proposée a un gain minimum de 2 dB et un gain maximum de 5 dB. Le gain de l'antenne proposée satisfait aux exigences de certaines applications Wi-Fi et WLAN. Nous remarquons que le gain est positif et augmente avec la fréquence.

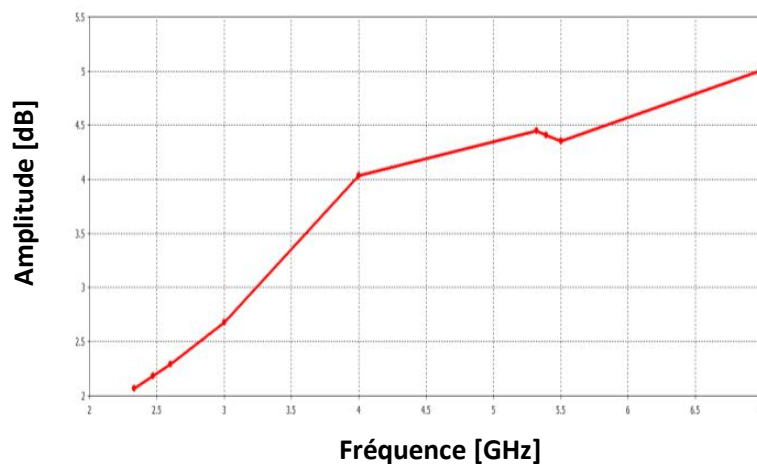


Figure IV.7: La variation du gain en fonction de la fréquence.

Le tableau IV.3 montre la variation du gain en fonction de la fréquence de résonance . Le gain de l'antenne a été calculé à l'aide du logiciel CST.

Fréquence (GHz)	le Gain (dB)
2.33	2
2.47	2.18
2.6	2.3
3	2.6
4	4
5.32	4.45
5.4	4.1
5.5	4.35
7	5

Tableau IV.3: Variation du gain de l'antenne proposée.

IV.6 Distribution du courant

Les figures (IV.8), (IV.9), (IV.10) et (IV.11) illustrent la distribution de courant pour $f_1 = 2.47$ GHz et $f_2 = 5.32$ GHz. La distribution du courant électrique a été choisie car elle facilite l'identification des caractéristiques de distribution des antennes b bande. On peut constater que la distribution de courant est concentrée au niveau de la ligne d'alimentation CPW et à la surface d'antenne imprimée.

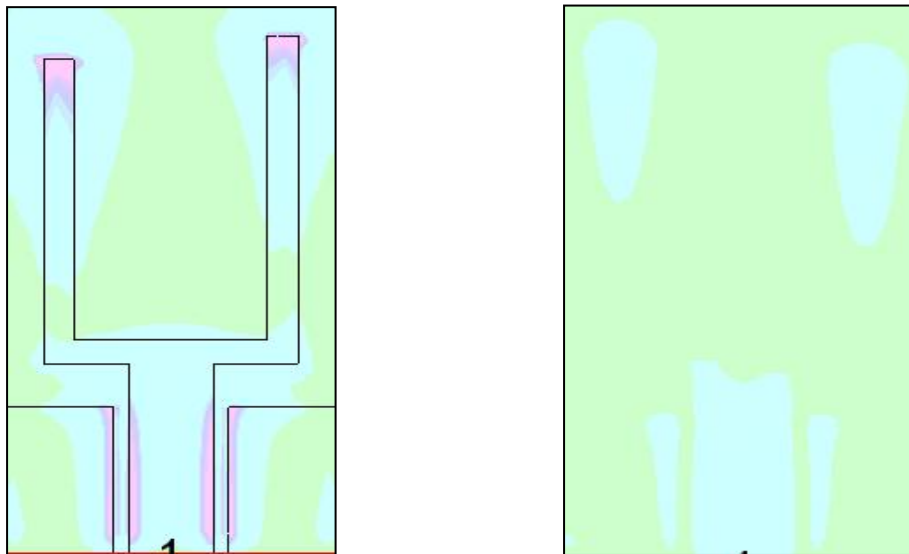


Figure IV.8: Distribution du courant de l'antenne proposée à 2.47 GHz.

La première fréquence de résonance se produit à 2.47 GHz et la valeur maximale de courant continu est de 80.1 A/m².

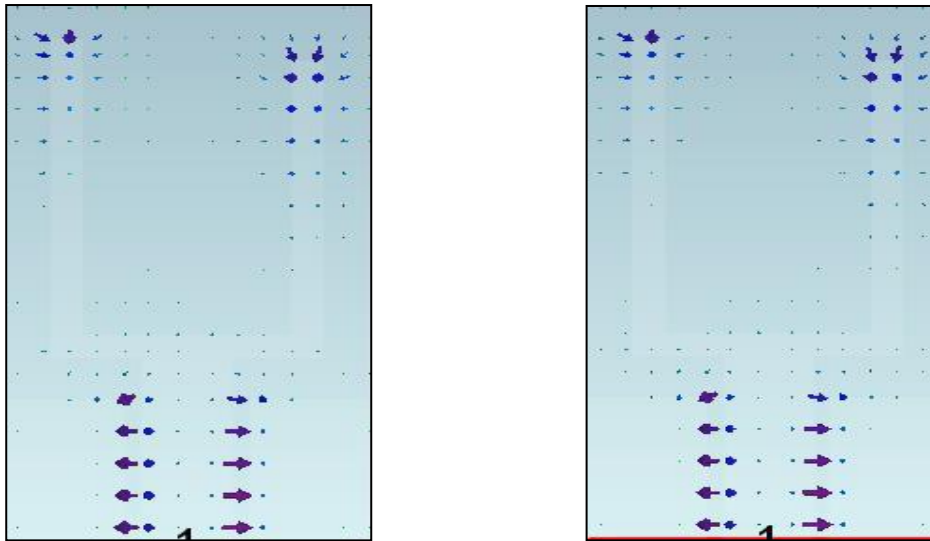


Figure IV.9: Distribution du courant de surface de l'antenne proposée 2.47 GHz.

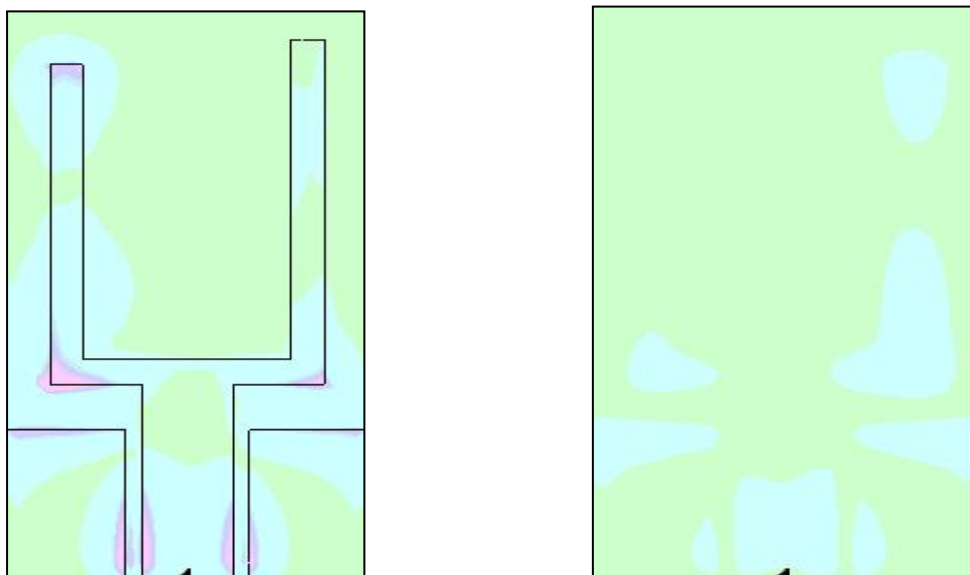


Figure IV.10: Distribution du courant de l'antenne proposée à 5.32 GHz.

La seconde fréquence de résonance se produit à 5.32 GHz et la valeur maximale de courant continu est de 181 A/m².

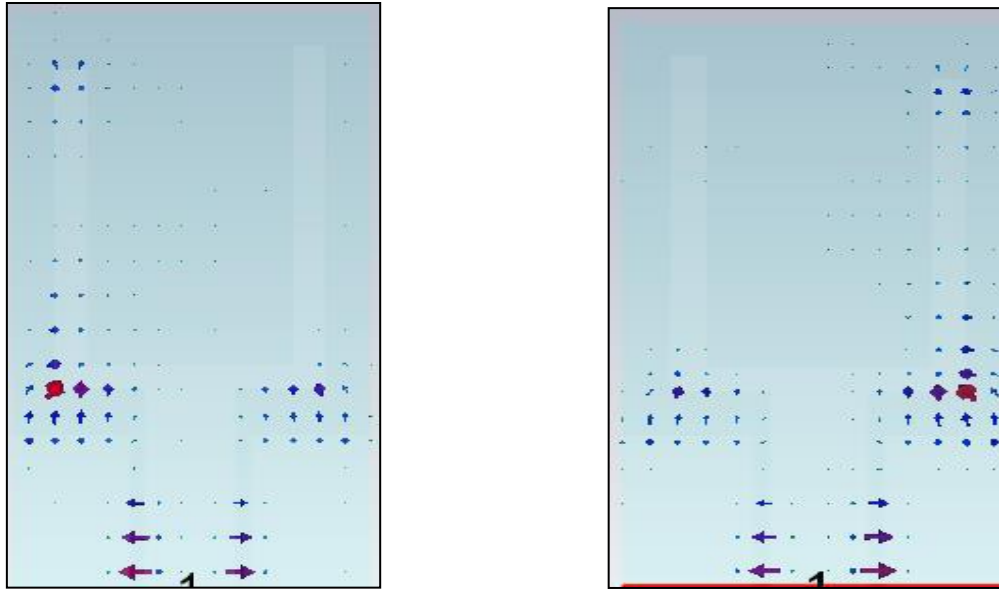


Figure IV.11: Distribution du courant de surface de l'antenne proposée à 5.32 GHz.

IV.7 Antenne bibande

Dans cette deuxième partie, la géométrie d'antenne étudiée est basée sur la structure précédente de la figure IV.3. Nous gardons les mêmes paramètres et les caractéristiques de la structure de base et nous avons changé quelques dimensions des paramètres de l'antenne comme la largeur de fente S_1 . La géométrie d'antenne étudiée est indiquée par la figure IV.12.

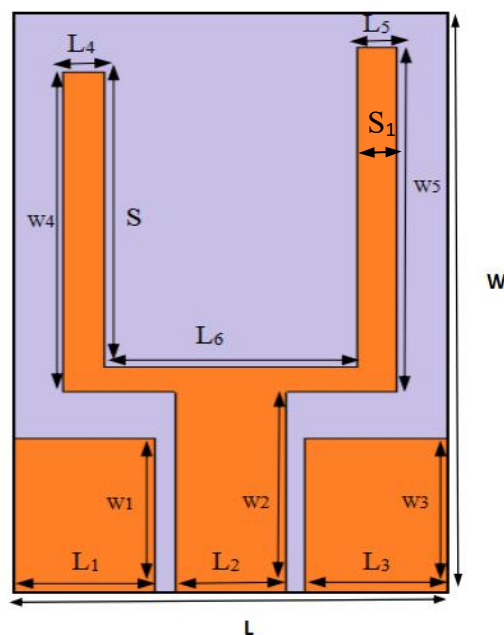


Figure IV.12: Prototype d'antenne de base simulée.

IV.8 Résultats de simulations

IV.8.1 Étude paramétrique

Une étude paramétrique a été réalisée sur notre antenne, certains paramètres géométriques de l'antenne ont été modifiés, on fait varier la largeur de fente S_1 et les autres paramètres de l'antenne restent fixes. Leurs effets sur les performances de l'antenne et en particulier l'adaptation du coefficient de réflexion. La largeur de fente est variée et donnée par le tableau IV.4. Les résultats de cette étude sont présentés dans la figure IV.13.

La largeur de S_1 (mm)	Fréquence (GHz)		Amplitude (dB)	
0.25	2.5	5.54	-20	-25
0.5	2.51	5.56	-39	-31
1	2.56	5.73	-25	-34
1.25	2.57	5.63	-42	-32
1.5	2.60	5.66	-30	-37
2	2.58	5.75	-21	-29

Tableau IV.4: Résultats de l'antenne simulée pour différentes valeurs de S_1 .

La figure IV.13 présente la variation de coefficient de réflexion en fonction de la largeur de fente S_1 . Le meilleur résultat en terme d'adaptation de coefficient de réflexion est obtenu pour les fréquences $f_1=2.56$ GHz et $f_2= 5.73$ GHz représentée par la courbe rouge.

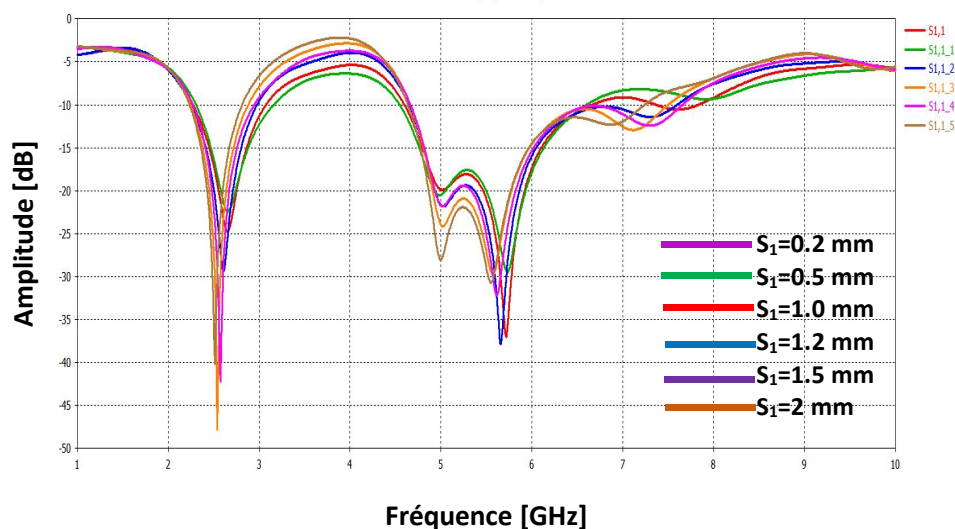


Figure IV.13: Coefficient de réflexion avec variation de S_1 .

IV.8.2 Coefficient de réflexion

Les résultats de simulation du coefficient de réflexion pour les bandes de fréquences $f_1=2.56$ GHz et $f_2=5.73$ GHz qui répondent aux exigences des applications LTE et WLAN sont illustrés à la figure IV.14.

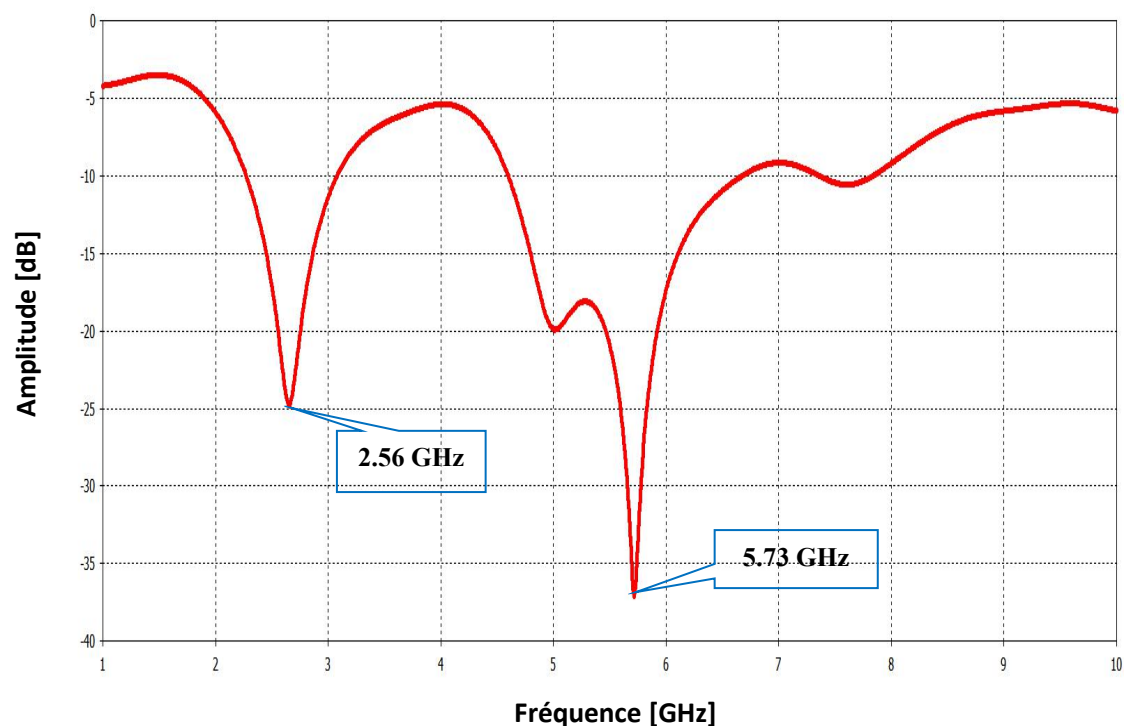
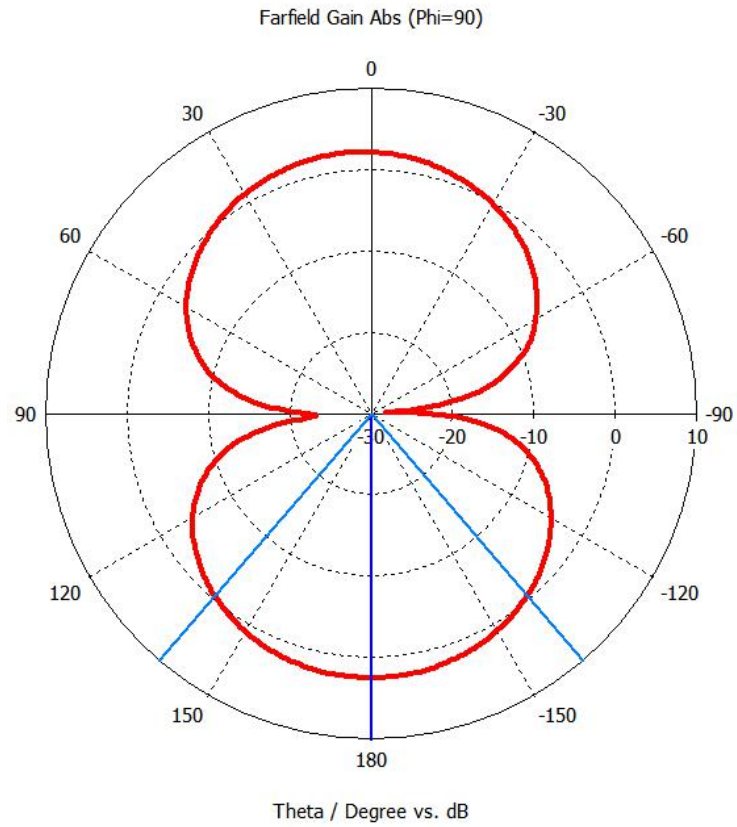


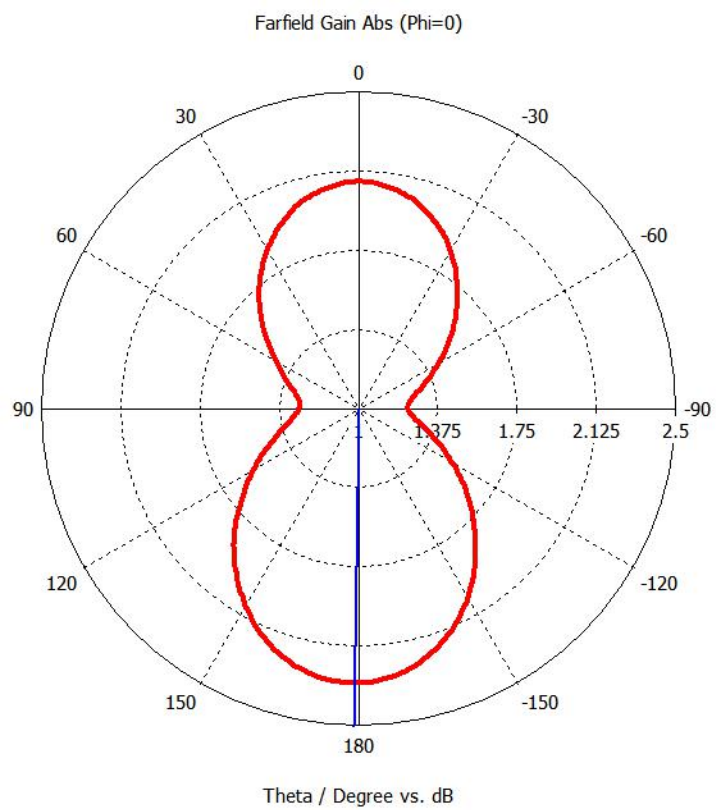
Figure IV.14: Coefficient de réflexion de l'antenne simulée.

Le tracé du module de coefficient de réflexion de notre antenne en dB en fonction de la fréquence est montré par la figure IV.14. Nous avons atteint une bonne adaptation à la fréquence 2.56 GHz avec un niveau de -25 dB et avec un pic de -34 dB pour la fréquence 5.73 GHz.

La figure IV.15 illustre le diagramme de rayonnement à la fréquence 2.56 GHz et 5.73 GHz. Nous représentons ce diagramme de rayonnement sur les deux plans orthogonaux plans E et plans H pour $\phi=0^\circ$ et $\phi=90^\circ$.



(a) $f=2.56$ GHz.



(b) $f=2.56$ GHz.

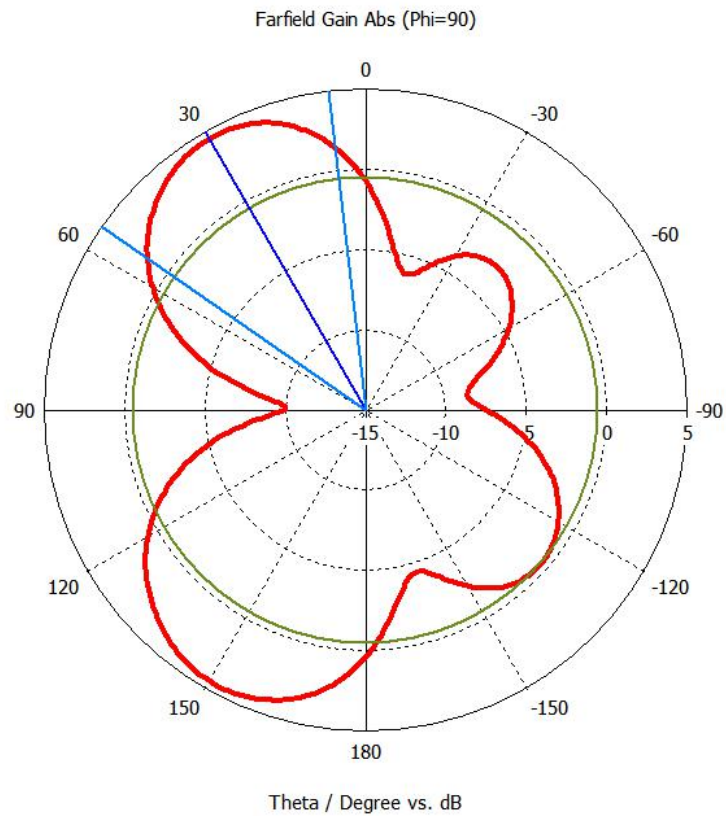
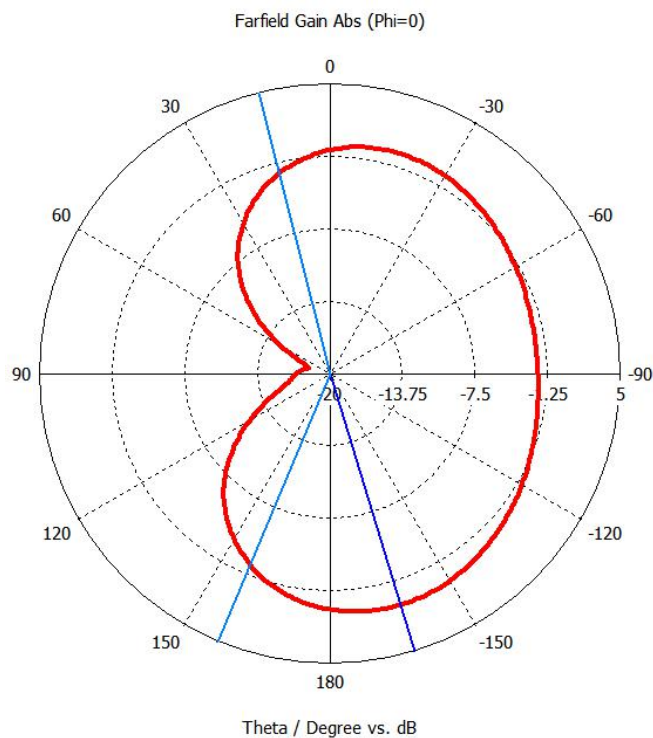
(c) $f=5.73$ GHz.(d) $f=5.73$ GHz.

Figure IV.15: Diagrammes de rayonnement simulée pour l'antenne bibandes à (a),(b) 2.56 GHz, (c), (d) 5.73 GHz pour le plan E (Phi = 0°) et le plan H (Phi = 90°).

IV.8.3 Le gain de l'antenne

Nous remarquons que notre antenne présente une double résonance. La première se situe à 2.56 GHz où le coefficient de réflexion $S_{11} = -25$ dB et la seconde est à 5.73 GHz avec $S_{11} = -29$ dB.

Le gain de cette antenne est représenté à la figure IV.16. Le gain est positif avec une valeur maximale de 5.4 dB à la fréquence 7 GHz et un gain minimal égal à 2 dB à la fréquence 2.33 GHz. La variation de gain en fonction de la fréquence est illustrée par le tableau IV.5.

Fréquence (GHz)	Gain (dB)
2.33	2
2.56	2.3
2.65	2.4
3.5	2.96
5.16	4
5.31	4.10
5.6	4.46
5.73	4.6
7	5.4

Tableau IV.5: Variation du gain de l'antenne simulée.

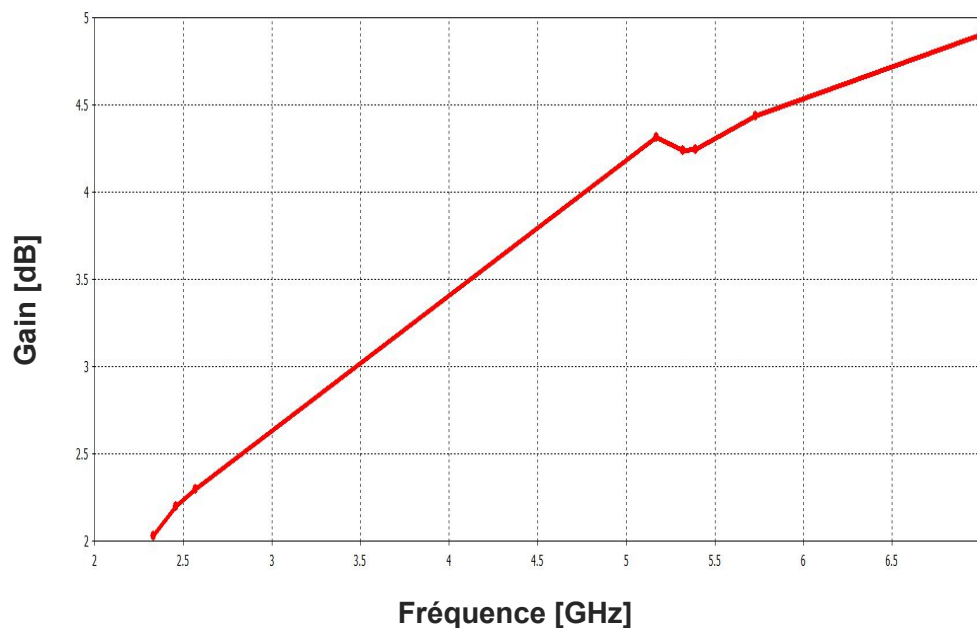


Figure IV.16: La variation de gain en fonction de la fréquence.

IV.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons conçu une antenne bibande à guide d'ondes coplanaire (CPW) qui fonctionne dans les bandes de 2.47 GHz, 5.32 GHz, 2.56 GHz et 5.73 GHz. L'antenne proposée présente plusieurs avantages, tels qu'une petite taille, d'excellents diagrammes de rayonnement et un gain élevé, répondant aux exigences des applications Wi-Fi, LTE et WLAN. Cette antenne a été conçue à l'aide de logiciel CST Microwave Studio.

Références

- [1] I. Wolff, "Coplanar Microwave Integrated Circuit", John Wiley & Sons, INC, 2006.
- [2] N. Dib, "Comprehensive study of CAD models of several coplanar waveguide (CPW) discontinuities", IEE Proc Microwave Antennas Propagation, Vol. 152, N°. 2, pp. 69-76, April 2005.
- [3] K. Gautam, A. Bisht, B.k Kanaujia, "A wideband antenna with defected ground plane for WLAN/WiMAX applications", International Journal of Electronics and Communications (AEÜ), International Journal Elsevier, Vol. 70, N°. 3, pp. 354-358, March 2016.
- [4] Y. Li, W. Yu, "A Miniaturized Triple Band Monopole Antenna for WLAN and WiMAX Applications", Hindawi Publishing Corporation International Journal of Antennas and Propagation, Vol. 2, pp. 1-5, April 2015.
- [5] M. Abri, M. N. Belgacem and W. Belgacem, "New GSM, DCS and GSM/DCS PIFA Antennas Designs for Wireless Networks applications", International Journal of Information & Network Security (IJINS), Vol. 2, N°.4, August 2013, pp. 305-310, 2013.
- [6] M. Abri, Boukli-hacene. N, Bendimerad. F. T, Cambiaggio. E, "Design of a Dual Band Ring Printed Antennas Array", Microwave journal, Vol. 49, N°. 5, pp. 228-232, 2006.
- [7] S. Freytag, "Design, Realization and Characterization of Antennas for Base Stations of Wireless Telecommunication Networks", Université de Limoges, thèse de doctorat soutenue le 18 November 2004.
- [8] M. Abri, F.T. Bendimerad, N. Boukli-hacene, M. Bousahla, "Log Periodic Series-Fed Antennas Array Design Using a Simple Transmission Line Model", International Journal of Communication Engineering Vol. 2, N°. 3, pp. 161-169, 2009.
- [9] M. Abri, H. Badaoui, S. Didouh and S.M. Bahloul, "Seven Bow-Tie Antennas Array Design For C Band Application", congrès mediterraneen des telecommunications et exposition, 22, 23 & 24 Mars 2012, Fes, Maroc.
- [10] S. Didouh, Abri. M and F. T. Bendimerad, "Multilayered Bowtie Antennas Design for RFID and Radar Applications Using a Simple Equivalent Transmission Line Model", International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC), Vol. 4, N°.3, pp. 121-131, May-June 2012.
- [11] Y. Tawk, K. Kaban, A. El Haj, S. Sadek, M. Al-Husseini, "A Modified Bowtie Antenna Design For Wi-Fi and WiMAX Applications", 978-1-4244-2202, 2008 IEEE.
- [12] K. Wong, L. Y. Chen, and T.W. Kang, "On-board printed coupled-fed loop antenna in close proximity to the surrounding ground plane for penta-band WWAN mobile phone", IEEE Trans. Antennas Propag., Vol. 59, N°.3, 751757, Mar. 2011.
- [13] S.V.S hynu, G. Augustin, C. K. Aanandan, P. Mohanan, and K. Vasudevan, "Design of compact reconfigurable dual frequency microstrip antennas using varactor diodes", Progress In Electromagnetics Research, Vol. 60, pp. 197-205, 2006.

- [14] A. Azremi, A.H. Saidatul, P.J. Soh “A Parametric Study of roadband Planar Inverted F Antenna (PIFA) for WLAN Application “, International Conference on Electronic Design, December 1-3,2008, Penang, Malaysia.
- [15] I. Messaouden, “Modélisation et réalisation de nouvelles antennes diélectriques larges bandes pour les communication sans fil”, Université Constantine 1, thèse de doctorat soutenue le 15 / 09 / 2014.
- [16] Y. Roelens, ”Etude et caractérisations microondes en basses températures de résonateurs coplanaires supraconducteurs et de transistors en vue de réaliser des dispositifs micro-électroniques”, Université de Lille, thèse de doctorat soutenue le 26 octobre 2000.
- [17] B. M. Ouagague, “Etude Théorique et Expérimentale des Métamatériaux et des Techniques d’Agilité (MEMS, BST) pour la Conception des Circuits RF Miniatures et Reconfigurables“, Université de toulouse, thèse de doctorat soutenue le 26/09/2014.
- [18] M.S. Pimenta, “Antennes souples à base de métamatériaux de type conducteurs magnétiques artificiels pour les standards de systèmes de géolocalisation”, Université de Nice-Sophia Antipolis, thèse de doctorat soutenue le 14 Novembre 2013.
- [19] A. Belguessoum, “Conception et realisation d'une antenne multibandes alimentée par un guide d'onde coplanaire CPW”, Université de canada, soutenue en 2008.
- [20] L. Damaj, “Antenne Versatile Intriquée”, Université de Paris Tech, thèse de doctorat soutenue le 13 mars 2013.
- [21] A. Attoui, “Contribution a L’étude Des Déphaseurs Micro Rubans Applications aux Réseaux D'antennes Imprimées”, Université 8 MAI 1945 Guelma, thèse de doctorat soutenue en 2018.
- [22] A. Benghalia, ”Etude des structures coplanaires à métamateriaux et à couche magnétique”, Université de constantine, thèse de doctorat soutenue le 30 novembre 2010.
- [23] F. Chetouah, “Etude et modélisation des antennes miniatures basées sur des matériaux diélectriques”, Université de Ferhat Abbas Setif, thèse de doctorat soutenue le 18 octobre 2018.

Conclusion générale

Conclusion générale

De nos jours, Il existe une forte demande de la part des opérateurs industriels pour l'utilisation des antennes miniatures multibandes générant aux communications sans fil.

Les travaux présentés dans ce manuscrit ont porté sur les antennes imprimés miniatures conçues et les différentes configurations des antennes.

La conception des nouvelles topologies d'antennes avec l'utilisation des techniques de miniaturisation permette d'obtenir des structures globales compactes, mise en jeu entre diverses antennes du type PIFA, à plan de masse partiel et antenne alimentée par une ligne coplanaire CPW consistant en une étude paramétrique a permis de prédimensionner la taille de notre d'antenne. Ainsi nous avons fait le choix d'imprimer ces antennes sur des substrats. Ceci a pour avantage de réduire la taille de l'antenne. Le logiciel CST Microwave Studio nous a permis de simuler les performances de l'antenne. Les caractéristiques obtenus pour l'antenne proposée telle que le coefficient de réflexion, bande passante, diagramme de rayonnement et gain, confirment son aptitude dans des systèmes de communication sans fil. Différentes comparaisons ont été présentées en employant des outils très puissants, il s'agit de CST Microwave Studio et HFSS.

L'objectif de ces travaux de thèse était de concevoir et de réaliser des antennes bibandes et multibandes minatures destinées à la téléphonie mobile, smart phones et tablettes.

Nous avons effectué dans un premier temps une revue de la théorie des antennes qui répondent aux nouvelles exigences technologiques, il est certain que de nombreuses études restent à mener dans le domaine des antennes. Une première partie est consacrée à l'état de l'art et aux caractéristiques fondamentales de ce type des antennes.

Le deuxième chapitre sera consacrée à l'étude des antennes PIFA qui sont les plus utilisées dans les technologies de communication actuelle et qui ont pour avantage d'être très compactes et qui peuvent être modifiés facilement pour être multibandes opérant dans les différentes fréquences de résonance destinées aux standards de télécommunication GSM, DCS, PCS, UMTS et Wi-Fi.

Nous allons commencer par l'antenne PIFA multibande qui résonne aux fréquences 1.81 GHz, 2.53 GHz, 5.26 GHz, 5.50 GHz. Par la suite, nous avons pu simuler une antenne PIFA multibande pour la téléphonie mobile opérant dans les fréquences de résonance 2.17 GHz, 3.40 GHz, 5.10 GHz, 5.30 GHz. Afin de terminer la simulation des différentes normes nous avons simulé une autre géométrie de l'antenne PIFA destinée aux normes UMTS et WLAN pour les fréquences 2.07 GHz, 5.35 GHz et 5.75 GHz.

D'autre part, nous proposons une nouvelle conception de l'antenne avec plan de masse partiel avec emplacement d'une fente en forme U couvrant deux bandes de fréquences de 3.7 GHz, 5.79 GHz et 3.52 GHz, 5.74 GHz respectivement pour les normes WIMAX ,WLAN et LTE.

Enfin, nous avons conçu des antennes alimentées par une ligne coplanaire CPW et convenons pour être intégré dans le téléphone mobile fonctionnant dans les bandes de fréquences suivantes 2.47 GHz, 5.32 GHz pour les standards Wi-Fi et WLAN et 2.56 GHz, 5.73 GHz pour les normes LTE et WLAN ont réalisé une bonne adaptation avec un bon rayonnement. Les antennes réalisées peuvent servir les applications sans fil moderne.

Annexe

Annexe

A.1 Introduction

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. 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 [1].

La méthode des intégrales finies 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. Grâce 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 [2].

Notre projet est basé sur une série de simulations de structures antennes rayonnantes à l'aide d'un logiciel de simulation CST Microwave Studio présente dans le chapitre 2,3 et le chapitre 4.

A. 2 Modules de CST

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

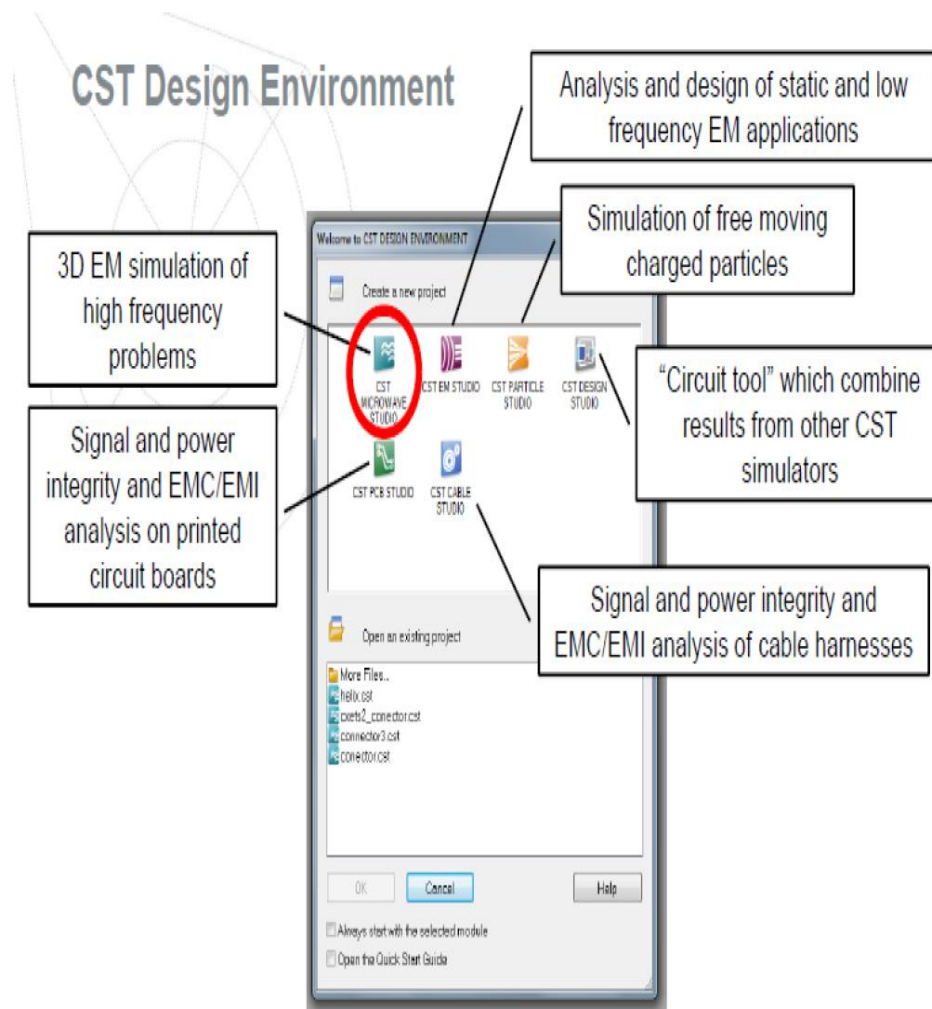


Figure 1: Les modules d'exécution de logiciel CST [4].

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 [4].

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 [4].

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 [3].

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. 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. 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 [3].

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 [4].

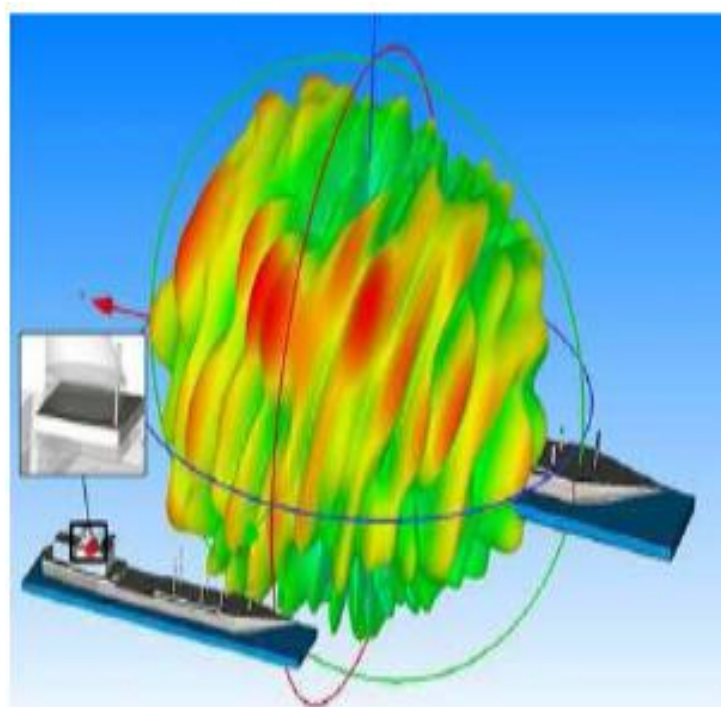







Figure 2: Illustration de l'outil CST : modélisation de l'environnement électromagnétique [4].

A.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 1: Les modules d'exécution de logiciel CST [4].

Références

- [1] F.Z. Marouf, "Etude et conception d'antenne imprimé identification radio fréquence RFID UHF", Université de Tlemcen, soutenue en 2013.
- [2] A. RABAH, "Contribution à la Conception et à la Réalisation des Composants Micro-ondes Compacts en Technologie Guides d'Ondes Intégrés aux Substrats :Modélisation par la Méthode des Eléments Finis 2D", Université de Tlemcen, soutenue en février 2017.
- [3] CST 1998-2010 CST – Computer Simulation Technology AG All rights reserved.
- [4] WWW.CST.com

Les travaux scientifiques

Les travaux scientifiques

Les Publications Internationales

Nassima Belgacem, Mehadji Abri, Hadjira Abri, and Wahiba Belgacem, "Flexible PIFA Antenna Serves Multiple Wireless Bands", *Microwaves and RF*, Vol. 55, Issue 8, pp. 52-58, august 2016.

<http://www.mwrf.com/components/flexible-pifa-antenna-serves-multiple-wireless-bands>.

N. Belgacem, M. ABRI, Tan-Hoa Vuong, Junwu Tao, H. Badaoui, F. Benzarga and W. Belgacem, "A New Design of Truncated Four-Cornered Printed Antenna for WIMAX and WLAN Applications", *International journal of Microwave and Optical Technology*, Vol. 14, N°. 2, pp.85-90, March 2019.

<http://ijmot.com/ijmot.com/VOL14NO2.ASPX>.

Les Communications Internationales

N. Belgacem, M. Abri, W. Belgacem, "A Compact Multi-band PIFA Antenna for UMTS and WLAN Mobile Applications", *ACM International Conference Proceedings Series of International Conference on Computing Wireless & Communication Systems, ICCWCS'17*, N°.37, November 14-16, 2017, Larache, Morocco.

N. BELGACEM, M. ABRI, "Antenna Powered by a Coplanar Waveguide CPW for Wi-Fi and WLAN Mobile Phone Applications", *International Conference on Electronics, Energy and Measurement IC2EM'2018*, Novembre 27-29, 2018, NLA, Algiers, Algeria.

Design Feature

NASSIMA BELGACEM | Ph.D. Student
Telecommunications Laboratory of Tlemcen

MEHADJI ABRI | Doctor
Telecommunications Laboratory of Tlemcen

HADJIRA ABRI | Doctor
STIC Laboratory of Tlemcen

WAHIBA BELGACEM | Engineer
Agence Spatiale Algérienne, Oran, Algeria

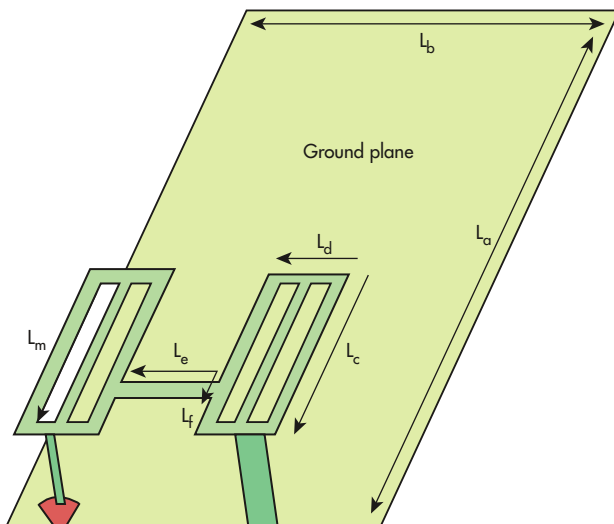
Telecommunications Department, Faculty of Technology,
University of Tlemcen, Tlemcen, Algeria

Flexible PIFA Antenna Serves Multiple Wireless Bands

Fabricated on flexible textile material, this planar inverted F antenna provides versatile wireless communications coverage by handling several frequency bands with a compact form factor.

Proliferation of wireless services makes an antenna capable of operation at multiple frequency bands very attractive. For that reason, a planar inverted F antenna (PIFA) was designed for wireless network applications at 1,810, 2,530, 5,260, and 5,500 MHz. A PIFA is a compact form of microstrip antenna (shaped like an inverted letter “f”) that is commonly used in wireless devices, such as cellular telephones. The goal of the design efforts was to reduce

1. This is the geometry of the proposed multiband PIFA antenna, where $L_a = 90$ mm; $L_b = 38$ mm; $L_c = 28$ mm; $L_d = 8$ mm; $L_e = 10$ mm; $L_f = 2.5$ mm; and $L_m = 23.5$ mm.

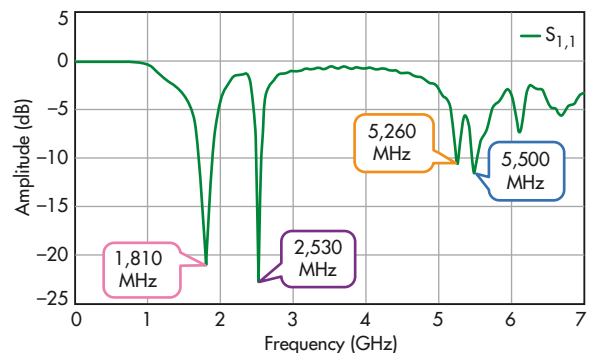


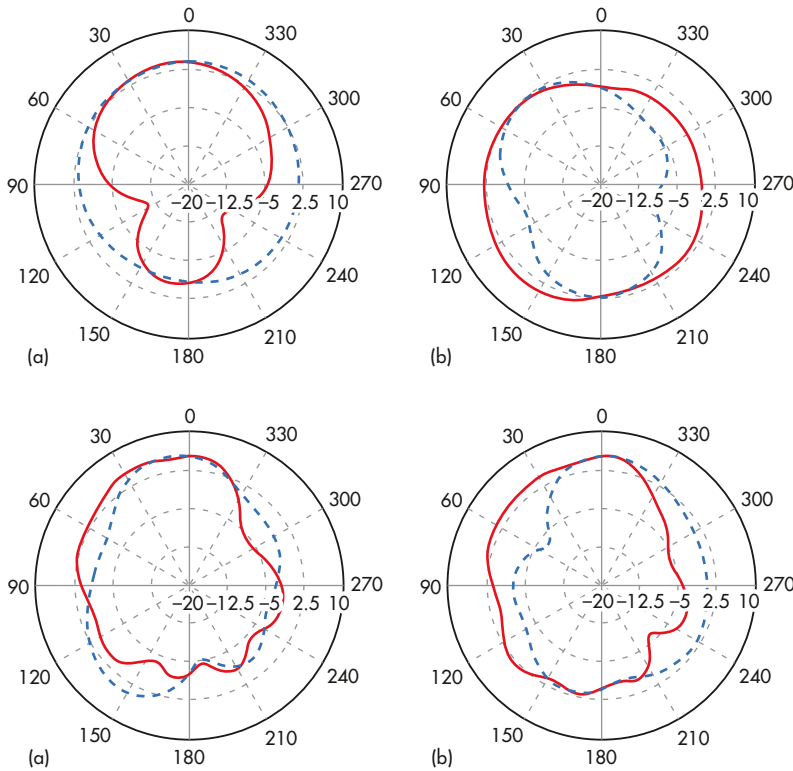
the size of the PIFA antenna structure while supporting multiple applications at commonly used frequencies, including for DCS, LTE, UMTS, WiMAX, and WLAN systems.

Since modern electronic communications products typically support several wireless standards, such as third-generation (3G) or fourth-generation (4G) cellular communications and Wi-Fi, availability of a compact antenna capable of operating at multiple wireless bands can mean a significant savings in volume within the final product design. By developing an antenna covering five different radio bands, a great deal of flexibility is provided with a relative small structure. The design was simulated with commercial computer-aided-engineering (CAE) software.

Antennas for modern communications devices must support a variety of global communication standards and services. The

2. The plot shows the computed return loss for the multiple-band PIFA antenna.





3. The polar coordinates represent the radiation patterns of the multiple-band PIFA antenna at (a) 1,810 MHz and (b) 2,530 MHz.

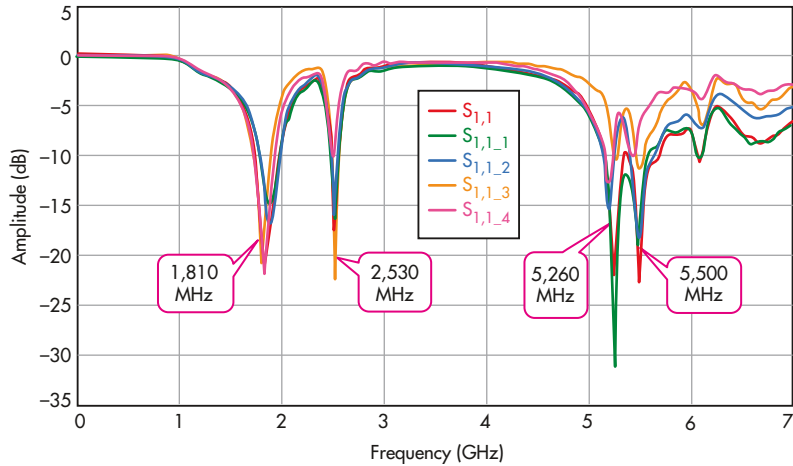
TABLE 1: A SUMMARY OF SIMULATION RESULTS FOR THE MULTIPLE-BAND PIFA				
Frequency (GHz)	1.81	2.53	5.26	5.50
Amplitude (dB)	-21.0	-22.7	-10.65	-11.6

antennas for these modern communication devices should be capable of operating within as many bands as possible with acceptable return loss and radiation patterns in order to serve multiple cellular and noncellular communication applications. In addition to good electrical performance, the antennas should have compact, low-profile structures that are robust, lightweight, flexible, and easy to manufacture.¹⁻¹⁰ The rapid expansion of wireless communications has created a strong demand for antennas that are small in size and can operate across multiple wireless frequency bands to meet the requirements of modern wireless electronic devices.²⁻⁸

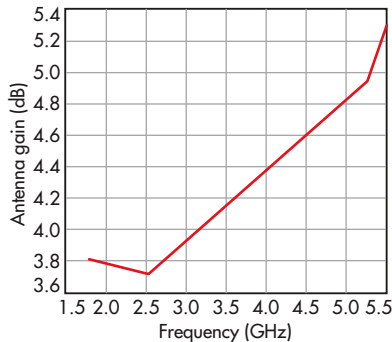
Through careful design and simulation, it was possible to develop a new PIFA covering three different wireless frequency bands: 5.26 GHz for WLANs, 2.53 GHz for Long-Term-Evolution (LTE) cellular communications, and 1.81 GHz for DCS. In spite of its multiple-band operation, the antenna achieves attractive beamwidth with good radiation efficiency in all three frequency bands.

The antenna consists of a metal ground plane with overall size of $90 \times 38 \times 8.05$ mm and two resonators using two parallel slots in support of multiple resonant frequencies (Fig. 1). A microstrip circuit connects the

4. These polar coordinates show the radiation patterns of the PIFA antenna at (a) 5,260 MHz and (b) 5,500 MHz.



5. This is the computed return loss for the multiple-band PIFA antenna.



6. The plots show the simulated gain of the PIFA antenna as a function of frequency.

resonators to the ground plane.

The fundamental resonant frequency, f_r , of such an antenna structure can be found from:

$$f_r = c/[4(h + L)]$$

where

f_r is the fundamental resonant frequency;

c is the velocity of light in free space;

L is the length of the antenna; and

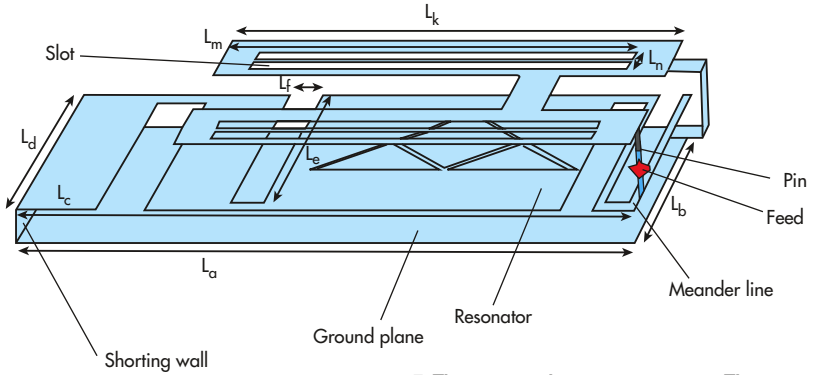
h is the height of the antenna.

The PIFA was simulated by means of Microwave Studio simulation software from Computer Simulation Technology (www.cst.com).

PIFA Antenna

cst.com). Simulation results were obtained for the antenna for DCS, LTE, and WLAN wireless frequency bands at resonant frequencies of 1,810, 2,530, 5,260, and 5,500 MHz (Fig. 2 and Table 1).

Antenna radiation patterns are usually presented in two orthogonal planes: the E- and H-plane radiation patterns relative to



7. The proposed antenna geometry. The dimensions of the antenna are set as: $L_a = 38$ mm, $L_b = 30$ mm, $L_c = 38$ mm, $L_d = 30$ mm, $L_e = 28$ mm, $L_f = 1.5$, $L_g = 23.5$ mm, $L_h = 2$ mm, $L_i = 9$ mm, and $L_k = 28.1$ mm.

KOAXIS, Inc. Coaxial RF Cable Assemblies

VITA 67 Cable Assemblies



Build It See It Buy It *visually build a cable assembly get a specification instantly online using eCommerce*

online at koaxis.com



Made in the USA

+1 (610) 222-0154

TABLE 2: GAIN VARIATIONS WITH FREQUENCY FOR THE MULTIPLE-BAND PIFA

Frequency (GHz)	1.81	2.53	5.26	5.50
Antenna gain (dBi)	3.80	3.71	4.94	5.28

the main direction of propagation. The E-plane plots show the locus of points in free space representing the radiated electric E field, while the H-plane shows the points in free space representing the radiated magnetic field (H).¹

Figures 3(a) and (b) show the polar radiation patterns for the PIFA for frequencies of 1.81 and 2.53 GHz, respectively, with resonances within the E and H planes. It can be seen that the radiation patterns are directed along the 0 deg., 0 deg. axis for 1.81 GHz and the 180 deg., 150 deg. axis for 2.53 GHz, resulting in an omnidirectional radiation pattern.

Figures 4(a) and (b) show the polar radiation patterns for the PIFA for frequencies of 5.26 and 5.50 GHz, respectively, with resonances within the E and H planes. It can be seen that the radiation patterns are directed along the 0 deg., 30 deg. axis for 5.26 GHz and the 0 deg., 0 deg. axis for 5.50 GHz. The width of the antenna was changed to study the effects of the mechanical change (Fig. 5).

Following application of the miniaturization technique, the PIFA's return loss shows improvement. The antenna design exhibited increasing gain with increasing resonance frequency (Fig. 6). Table 2 shows these gain variations vs. frequency.

TINY!
Ultra-Wideband
MMIC SPLITTER/COMBINERS



Single Unit Coverage as Wide as **2 to 26.5 GHz**

Models from **\$5⁵⁶**
ea. (qty.1000)



WIN AN iPad®
Visit Booth 215
at EDI CON to enter!

THE WIDEST BANDWIDTH IN THE INDUSTRY IN A SINGLE MODEL!

Our new EP-series ultra-wideband MMIC splitter/combiners are perfect for wide-band systems like defense, instrumentation, and all cellular bands through LTE and WiFi. These models deliver consistent performance across the whole range, so you can reduce component counts on your bill of materials by using one part instead of many! They utilize GaAs IPD technology to achieve industry-leading performance, high power handling capability and efficient heat dissipation in a tiny device size, giving you a new level of capability and the flexibility to use them almost anywhere on your PCB! They're available off the shelf, so place your order on minicircuits.com today, and have them in hand as soon as tomorrow!

- Series coverage from 0.5 to 26.5 GHz
- Power handling up to 2.5W
- Insertion loss, 1.1 dB typ.
- Isolation, 20 dB typ.
- Low phase and amplitude unbalance
- DC passing up to 1.2A

 EP2K-Series, 4x4x1mm

 EP2W-Series, 5x5x1mm



PIFA Antenna

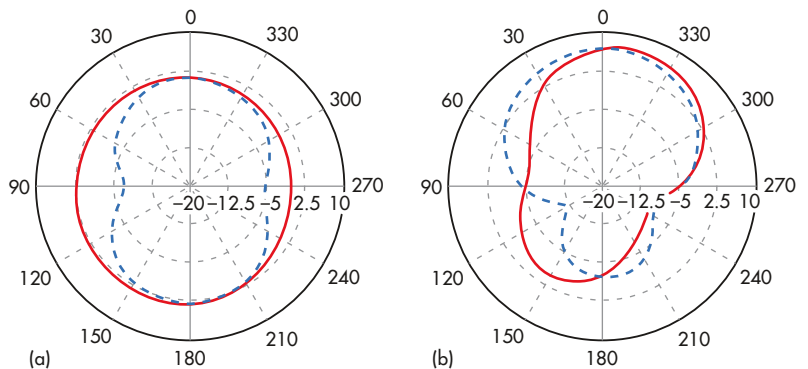
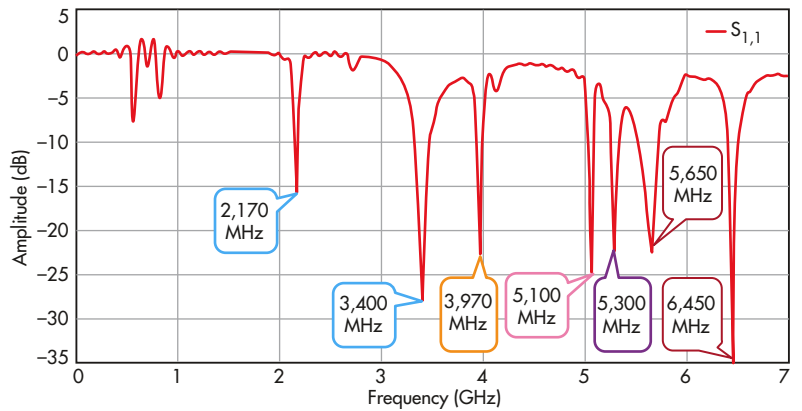
8. This is the computed return loss for the multi-band PIFA antenna.

The antenna was implemented to cover six frequency bands with far-field radiation patterns, using meander lines and Sierpenki textile material. Such flexible antennas are suitable for body-worn antenna designs, with multiple-band coverage for the one antenna minimizing the need for additional antennas. Simulations of the flexible PIFA antenna show acceptable performance for all proposed frequency bands. The overall dimensions of the ground plane widths are 38 mm to 30 mm to 0.05 mm (Fig. 7).

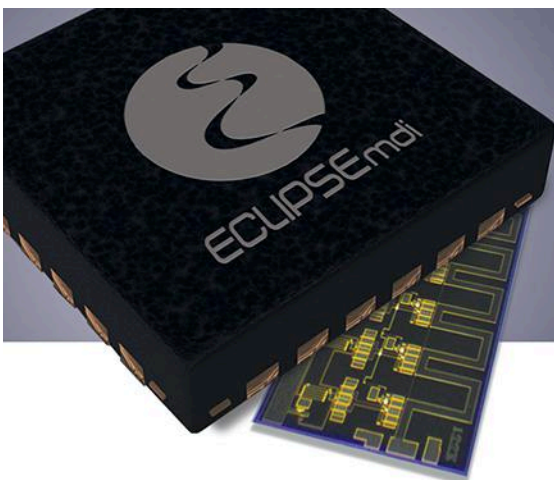
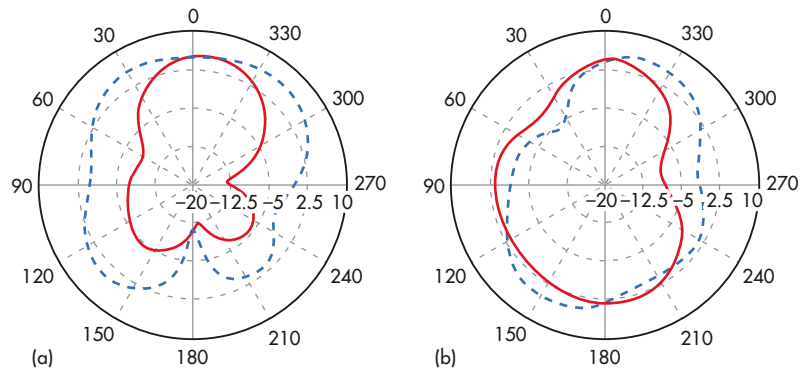
The authors simulated the performance of the multiple-band PIFA in six frequency bands for mobile-phone applications for UMTS (1,920 to 2,170 MHz); WiMAX (3,400 to 3,600 MHz); HiperLAN High Performance Radio LAN (HiperLAN; with frequency bands of 1,710 MHz to 2,170 MHz, as well as 4,800 to 5,800 MHz); 3G (1,885 to 2,200 MHz); and ultrawideband (UWB) applications (6500 MHz).¹³

Simulations performed with the CST software in Figs. 8 through 10 cover dc to 7 GHz. Results show that the PIFA provides amplitude peaks in the radiation patterns at many frequencies: -16 dB for 2.17 GHz, -28 dB for 3.40 GHz, -25 dB for 5.10 GHz, -22.2 dB for

10. The polar coordinates reveal the computed antenna radiation patterns at (a) 5,100 MHz and (b) 5,300 MHz.



9. The polar coordinates reveal the computed antenna radiation patterns at (a) 2,170 MHz and (b) 3,400 MHz.



ECLIPSE mdi
sales@eclipsemdi.com | www.eclipsemdi.com

Maximum power.

Minimal noise.

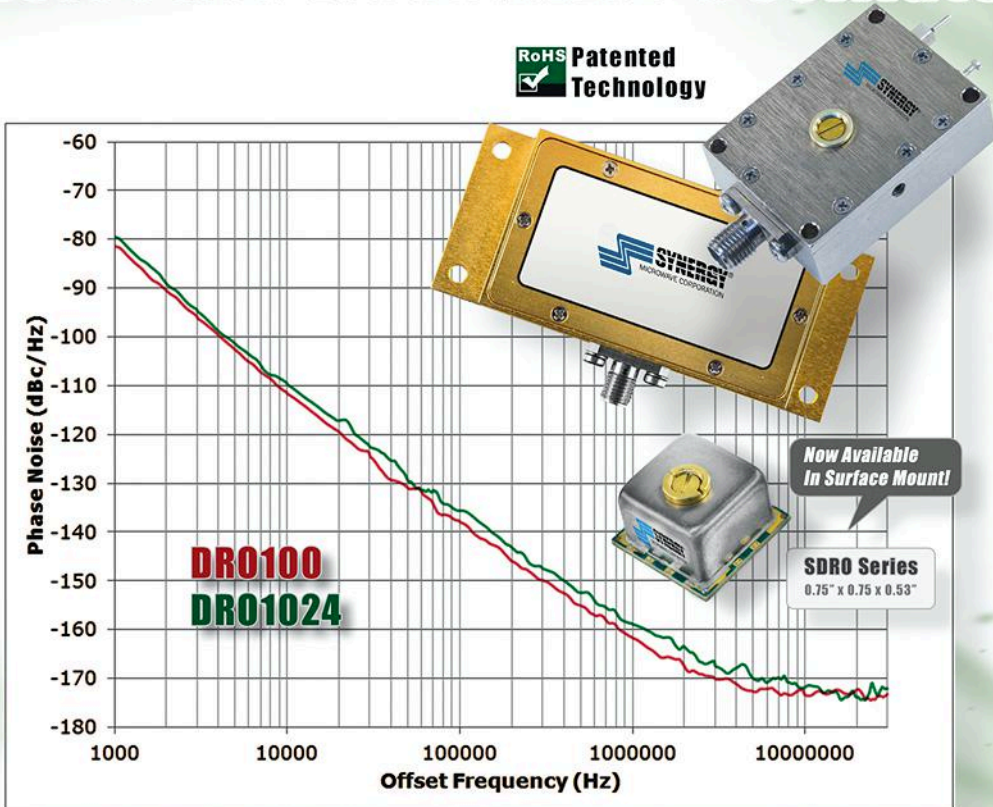
4mm Actual Size

Introducing the ultra small, super powerful low noise amplifier EMD1725D, DC-40 GHz.

Broadband performance ahead of its time.

Exceptional Phase Noise Performance Dielectric Resonator Oscillator

RoHS Patented
Technology



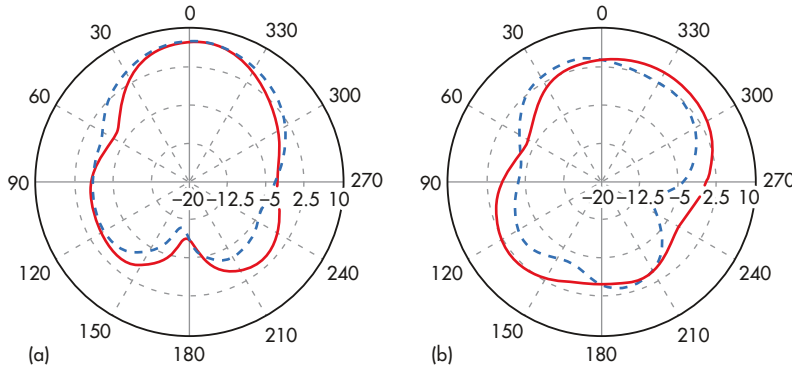
Model	Frequency (GHz)	Tuning Voltage (VDC)	DC Bias (VDC)	Typical Phase Noise @ 10 kHz (dBc/Hz)
Surface Mount Models				
SDRO1000-8	10	1 - 15	+8 @ 25 mA	-107
SDRO1024-8	10.24	1 - 15	+8 @ 25 mA	-111
SDRO1250-8	12.50	1 - 15	+8 @ 25 mA	-105
Connectorized Models				
DRO100	10	1 - 15	+7 - 10 @ 70 mA	-111
DRO1024	10.24	1 - 15	+7 - 10 @ 70 mA	-109

Model	Center Frequency (GHz)	Mechanical Tuning (MHz)	Supply Voltage (VDC / Current)	Typical Phase Noise @ 10 kHz (dBc/Hz)
Mechanical Tuning Connectorized Model				
KDRO145-15-411M	14.5	±4 MHz	7.5 V / 90 mA (Max.)	-88

Talk To Us About Your Custom Requirements.



Phone: (973) 881-8800 | Fax: (973) 881-8361
 E-mail: sales@synergymwave.com
 Web: WWW.SYNERGYMWAVE.COM
 Mail: 201 McLean Boulevard, Paterson, NJ 07504



11. The polar coordinates reveal the computed antenna radiation patterns at (a) 5,650 MHz and (b) 6,450 MHz.

and how the E-plane and H-plane patterns move, respectively, in the 30, 30 deg and 0, 0 deg. coordinate directions.⁸

The radiation patterns of the multiple-band PIFA change in the directions of the E and H planes for the different frequencies of operation, as shown in Figs. 11(a) and (b) for 5.65 and 6.45 GHz. The broad-

band trace in Fig. 12 shows that antenna gain increases with increasing frequency. **mw**

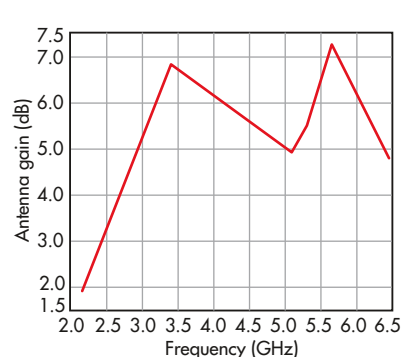
5.30 GHz, -22 dB for 5.65 GHz, and -35 dB for 6.45 GHz.¹ The radiation patterns in Figs. 9(a) and (b) demonstrate the dependence of return loss on frequency for the PIFA. The results show the presence of resonances at the frequencies 2.17, 3.40, 5.10, 5.30, 5.65, and 6.45 GHz, with S_{11} parameter levels of -16 dB, -28 dB, -25 dB, -22.2, -22 dB, and -35 dB, respectively. Figures 9(a) and (b) show the radiation patterns in polar (E, H) coordinates for 2.17 and 3.40 GHz, with the angular degrees the patterns are directed along (180, 150 deg.) for 2.17 GHz and (0, 0 deg.) for 3.40 GHz.

Figures 10 (a) and (b) shows E- and H-plane radiation patterns in polar coordinates computed for 5.10 and 5.30 GHz,

band trace in Fig. 12 shows that antenna gain increases with increasing frequency. **mw**

REFERENCES

1. M. Abri, N. Belgacem, and W. Belgacem, "New GSM, DCS, and GSM/DCS PIFA Antenna Designs for Wireless Networks Applications," International Journal of Information & Network Security (IJINS), Vol. 2, No. 4, August 2013, pp. 305-310; ISSN: 2,089-3,299, 2013.
2. A.A.H. Azremi, N.A. Saidatul, R.B. Ahmad, and P.J. Soh, "Parametric Study of Broadband Planar Inverted F Antenna (PIFA) for WLAN Application," 2008 International Conference on Electronic Design, December 1-3, 2008, Penang, Malaysia.
3. L. Freytag, "Conception, Réalisation, et Caractérisation d'Antennes Pour Stations de Base des Réseaux de Télécommunication Sans Fil," Thèse de doctorat université de Limoges, Limoges, France, Novembre 2004.
4. Y. Yuan, X. Wang, X. Chen, and Y. Jun sheng, "Novel Diversity/MIMO PIFA Antenna With Broadband Circular Polarization for Multimode Satellite Navigation," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 11, 2012, pp. 65-68.
5. G.K. H. Lui and R.D. Murch, "Compact dual-frequency PIFA design using LC resonators," IEEE Transactions on Antennas & Propagation, Vol. 49, No. 7, July 2001, pp. 1,016-1,019.
6. N. Behdad and K. Sarabandi, "A varactor-tuned dual-band slot antenna," IEEE Transactions on Antennas & Propagation, Vol. 54, No. 2, February 2006, pp. 401-408.
7. K.-L. Wong, W.-Y. Chen, and T-W. Kang, "On-board printed coupled-fed loop antenna in close proximity to the surrounding ground plane for penta-band WWAN mobile phone," IEEE Transactions on Antennas & Propagation, Vol. 59, No. 3, March 2011, pp. 751-757.
8. H. Morishita, Y. Kim, and K. Fujimoto, "Design concept of antennas for small mobile terminals and the future perspective," IEEE Antennas & Propagation Magazine, October 2002, Vol. 44, No. 5, October 2002, pp. 30-43.
9. S. Tourette, G. Collin, P. Le Thuc, C. Luxey, and R. Staraj, "Small Meandered PIFA Associated with SAW Passive Sensor for Monitoring Inner Temperature of a Car Exhaust Header," 2009 IEEE Transaction on Antennas & Propagation, Vol. 57, No. 9, September 2009.
10. Rashid Ahmad Bhatti, Yun-Taek Im, and Seong-Ook Park, "Compact PIFA for Mobile Terminals Supporting Multiple Cellular and Non-Cellular Standards," IEEE Transaction on Antennas and Propagation, Vol. 57, No. 9, September 2009.
11. K.R. Boyle and P.G. Steeneken, "A Five-Band Reconfigurable PIFA for Mobile Phones," IEEE Transactions on Antennas & Propagation, Vol. 55, No. 11, November 2007.



12. The simulated gain of the PIFA antenna is plotted here as a function of frequency.

12. D.M. Nashaat, H.A. Elsadek, and H. Ghali, "Single feed compact quad-band PIFA antenna for Wireless Communication Applications," IEEE Transactions on Antennas & Propagation, Vol. 53, No. 8, August 2005, pp. 2,631-2,635.
13. N.A. Saidatul, A.A.H. Azremi, R.B. Ahmad, P.J. Soh, and F. Malek "A Development of Fractal PIFA (Planar Inverted F Antenna) with Bandwidth Enhancement for Mobile Phone Applications," 2009 Loughborough Antennas and Propagation Conference.

The best Solution for RF Technology!

"LOWEST PRICE & HIGHEST QUALITY"

SR Technology SRTechnology Corporate
Components are designed for you to trust and use for many years. Please take a look at what SRT offer!
Our expert engineers have years of combined knowledge and can help you get the High Quality Termination for your applications!

TERMINATION
ATTENUATOR
CONNECTOR
CABLE ASSEMBLY
ADAPTOR

MALE 2WATT
18GHz
V.S.W.R. 1.18:1

· Frequency Range : DC~18GHz
· Impedance : 50 Ohm
· Power Rating : 2 Watt
· V.S.W.R.
DC~4GHz : 1.05:1
4~8GHz : 1.10:1
8~18GHz : 1.18:1

Warranty 3years
Payment Term
Within 30 days from B/L date.

sale@srtechnology.com +82-2-866-9003

www.srtechnology.com



A New Design of Truncated Four-Cornered Printed Antenna for WIMAX and WLAN Applications

N. Belgacem¹, M. ABRI^{2,*}, Tan-Hoa Vuong³, Junwu Tao³, H. Badaoui², F. Benzarga²,
and W. Belgacem¹

¹Laboratory of Telecommunication, Faculty of Technology, University of Tlemcen, Algeria.

²Stic laboratory, Faculty of Technology, University of Tlemcen, Algeria.

³Laplace laboratory, Enscheiht, University of Toulouse, France.

*abrim2002@yahoo.fr

Abstract-In this paper, we present a new shape of bi-band micro-strip antenna for WIMAX and WLAN applications. The proposed antenna consists of a rectangular patch that can be achieved by using U-shaped slot and 4-side truncated corners fabricated on the FR4 Substrate. The proposed antenna is designed to operate at WIMAX (3.40- 3.70 GHz) and WLAN in USA (5.15 - 5.35 GHz, 5.725 - 5.875 GHz) standards. We validated the simulation results obtained by the CST Microwave studio by comparison with HFSS software. The obtained results by the two softwares showed satisfaction in terms of return loss, radiation pattern and gain. Subsequently, we performed a parametric study of the U-shaped slots to analyze their influence on the performance of the patch antenna. This modification showed the effects of matching on the width of the two bands, two resonance frequencies. At the end of this numerical stud, we carried out the fabrication of the proposed antenna. Comparative discussions between the simulation results and measurement results show the importance of utility of the performances of this antenna in the WIMAX and WLAN applications.

Index Terms- Microstrip, truncated corners, Bi-band antenna, HFSS, CST, WIMAX and WLAN, fabrication.

I. INTRODUCTION

Wireless communication has been progressing extensively since last few decades and still demand for new technologies is enormous. Two major technologies among wireless communication systems that are serving this demand are WiMAX and WLAN. WiMAX provide high-speed data rates and internet access throughout wider coverage area. It operates at three different licensed bands at WIMAX from

3.40 to 3.70 GHz and WLAN in USA from 5.15 - 5.35 GHz to 5.725 - 5.875 GHz [1]. Today they are no longer simple communication devices. With the development of new standards and design constraints, phone manufacturers and new wireless devices now prefer integrated antennas. The needs of these services, which are constantly increasing, have imposed an implementation of several functions on the same device, hence the notion of multi-band antennas [2]. The new telecommunication systems must be able to include a large number of functionalities in order to meet the requirements to cohabit several standards on the same antenna (LTE, GSM, UMTS, GPS, WIFI, WiMAX, etc.) with other users, to improve the throughput of the transmissions, to avoid the phenomena of fading, to ensure a better efficiency in the reception of the signal. Because of this, extended antennas must be able to adapt to such an environment. The radiation pattern of wireless antennas is also a common preoccupation that must be taken into account during the optimization and design process [3]. The bi-band coverage antennas are operational due to the communication standard evolution [4-5]. WLAN and WiMAX standards specify many bandwidth and many operating frequencies around the world, so to satisfy this applications a multi band antennas are required for the future communication terminal. Modern antennas must meet the requirement of bi-band to sufficiently cover the possible operating bands. The antenna must also be small enough to be placed inside the minimizing wireless communication systems [6-16].

This work has been devoted to the development of a new printed antenna with a ground plane to

two frequency bands. This antenna was designed in CST microwave studio software and the same design is compared with HFSS. This simulation will be performed and the result will be taken with the best obtained result. For experimental measurement, the geometry of an antenna is fabricated and their various parameters are tested using a vector network analyzer. The goal of this paper devoted to bi-band antennas operating bands for mobile application.

II. ANTENNA DESIGN

In this paper, we have proposed a corner-truncated antenna prototype consisting of a rectangular patch with 4-truncated corners dedicated for mobile phone application. The designed antenna is printed at on a FR-4 substrate and simple feeding using a microstrip line feed, which has compact dimensions of $26 \times 30 \text{ mm}^2$, is printed in the front of substrate FR4 epoxy of thickness $h = 1.6 \text{ mm}$, relative permittivity 4.3 and loss tangent 0.018. The dimensions truncated corners are $6.5 \times 6 \text{ mm}^2$. The dimensions of the ground plane are chosen to be $26 \times 10 \text{ mm}^2$ in this study.

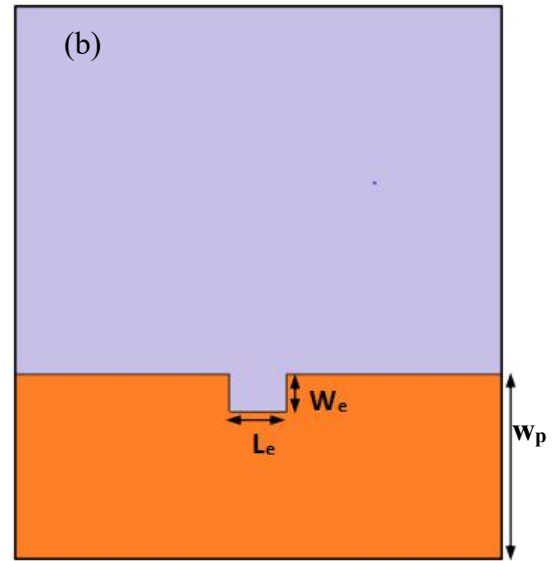
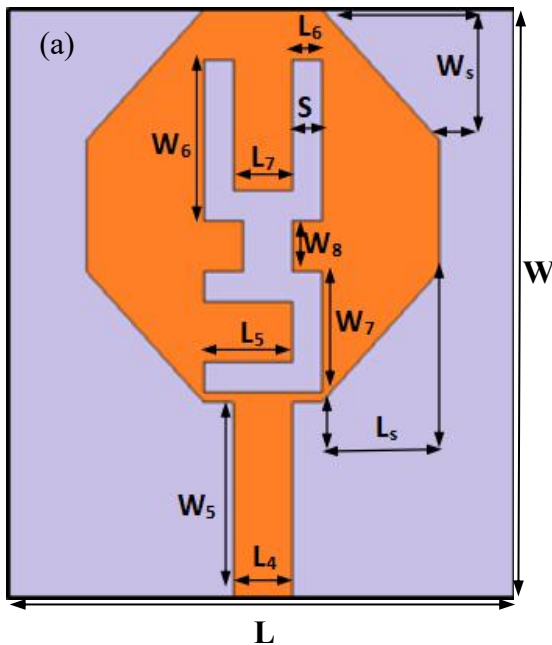


Fig. 1. Basic printed truncated four-cornered antenna.
(a) Front view, (b) Back view.

The geometrical parameters of the antenna are : $L = 26 \text{ mm}$; $L_4 = 3 \text{ mm}$; $L_5 = 6 \text{ mm}$; $L_6 = 1 \text{ mm}$; $L_7 = 5 \text{ mm}$; $W = 30 \text{ mm}$; $W_5 = 10 \text{ mm}$; $W_6 = 6.5 \text{ mm}$; $W_7 = 5.5 \text{ mm}$, $W_8 = 25 \text{ mm}$; $W_s = 6 \text{ mm}$; $L_s = 6.5 \text{ mm}$; $L_e = 3 \text{ mm}$; $W_e = 2 \text{ mm}$; $W_p = 10 \text{ mm}$.

III. SIMULATIONS AND RESULTS

The simulation is done by varying feeding positions and S-parameters are recorded. As it is given in Table I, the results show the various parameters on which the performance of the antenna depends. We simulate the antenna to operate at 3.52 GHz for WIMAX and 5.74 GHz for WLAN applications. Also, we can see that the antenna operates in a wide band of 2.9 - 8 GHz at $S_{11} < -10 \text{ dB}$. The CST software obtained results are presented in Fig. 2 in the frequency range from 0 to 9 GHz.

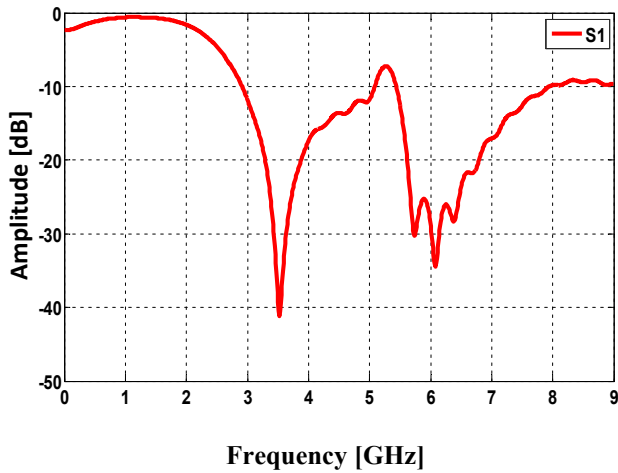


Fig. 2. Bi-band antenna computed return loss.

The proposed antenna is feasible for WLAN, WIMAX, has a good adaptation with a return loss of - 41 dB at the resonant frequency 3.52 GHz and with a peak of -30 dB at the resonant frequency 5.74 GHz. It is also found that this antenna has a better adaptation with respect to the base antenna in the same frequency band.

IV. MEASUREMENT RESULTS AND DISCUSSION

The parametric study was carried out to optimize the antenna design. This study is very interesting before the manufacture of antenna can be made. The Fig. 3 presents the simulated return losses for different values of S of the slot in the frequency range from 0 to 9 GHz.

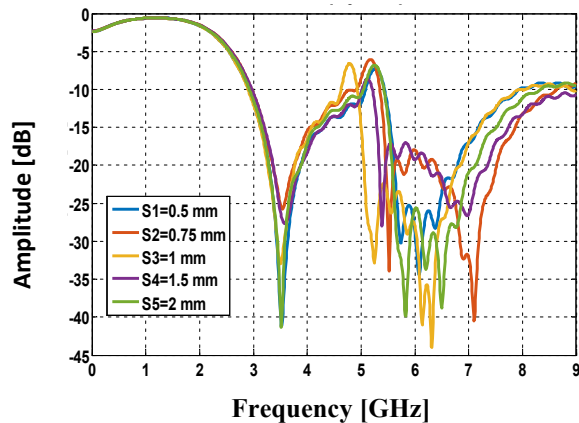


Fig. 3. Simulated return losses for different values.

The geometry of the truncated patch antenna is fabricated and their various parameters are tested using a vector network analyzer.



(a)



(b)

Fig. 4. The fabricated 4-cornered antenna. (a) Front view, (b) Back view.

The antenna is designed and simulated using CST software based on FIT method and Ansoft HFSS employs the Finite Element Method FEM. Comparison between the return loss of measured and simulated results of proposed antenna is shown in Fig.5.

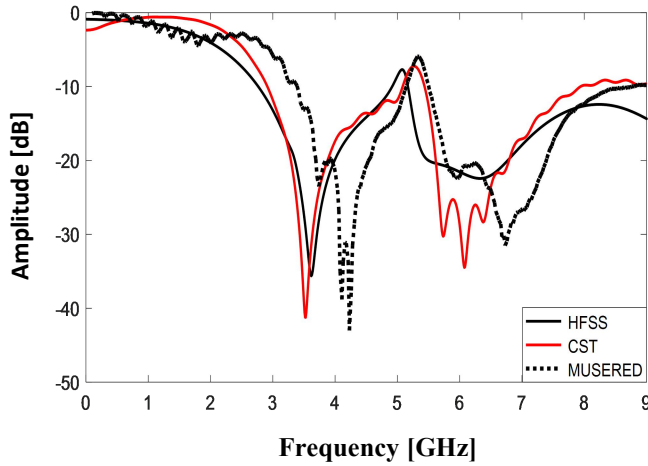


Fig. 5. Bi- band antenna computed return loss.

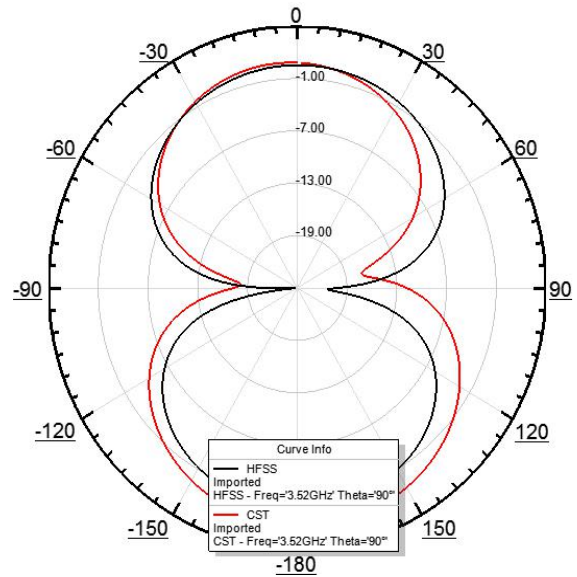
Comparison between simulation and experimental print antenna results shows that there is a good agreement between simulation results and measurements are observed for both frequencies in terms of reflective coefficient, we observe a good adaptation in the frequency band of [0-9 GHz], we record a peak of the order of -41 dB to 3.52 GHz, -30 dB to 5.74 GHz, the HFSS simulator showed a peak of -30 dB to 3.54 GHz and a peak of -20 dB to 5.72 GHz , the simulation results measured with a peak of -25 dB at the frequency of 3.54 GHz and -23 GHz frequency of 5.75 GHz. A small frequency shift is recorded between the three curves usually due to measurement errors. These results correctly respond to mobile phone applications in WIMAX from 3.400 to 3.700 GHz and WLAN from 5.15 - 5.35 GHz to 5.725- 5.875 GHz. According to the curves in Fig. 6, there is a very good correlation between simulated and measured results.

Table 1 presented a comparison between the results obtained by CST software, HFSS and measured results.

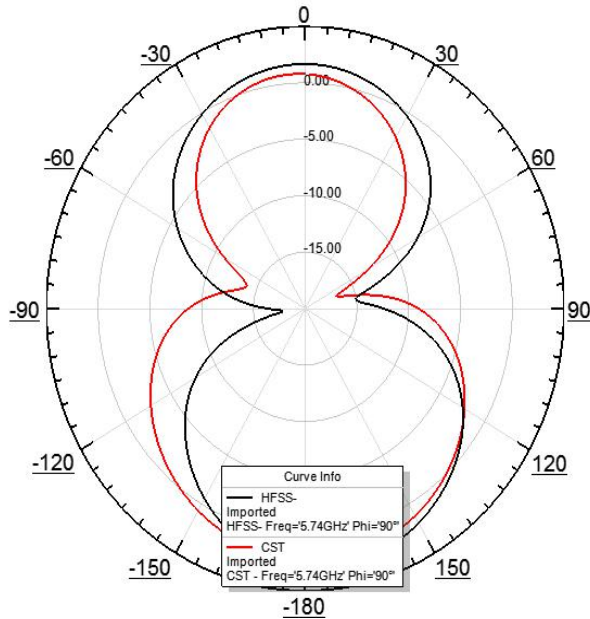
Table 1: Comparison between the FHSS software CST and measured result.

Frequency Band	software	Peaks [GHz]	S ₁₁ [dB]
Wimax [3.40- 3.70 GHz]	CST	3.52	-41
	HFSS	3.54	-36
	Measured	3.54	-25
WLAN [5.15 - 5.35 GHz, 5.725- 5.875 GHz]	CST	5.74	-30
	HFSS	5.72	-20
	Measured	5.75	-23

The simulated radiation pattern obtained by CST and HFSS software for this antenna for 3.52 GHz and 5.74 GHz are shown in Fig. 6. The good agreements between two simulation software have been found excellent peak. The results demonstrate an excellent performance of antenna proposed operating mobile phone application.



(a) $f=3.52$ GHz.



(b) $f=5.74$ GHz.

Fig. 6. Simulated radiation patterns for proposed antenna at : (a) 3.52 GHz, (b) 5.74 GHz.

V. ANTENNA GAIN

Gain of the proposed printed antenna at different frequency values is displayed in table 2. Fig. 8 indicates peak and minimum trend in the working frequency range. The peak gain was achieved at 6 GHz with a value of 2.8 dB and minimum value of gain is at 2 GHz with a gain of 0.8 dB. The performance of the antenna has been studied and its simulated gain is shown in Fig. 7.

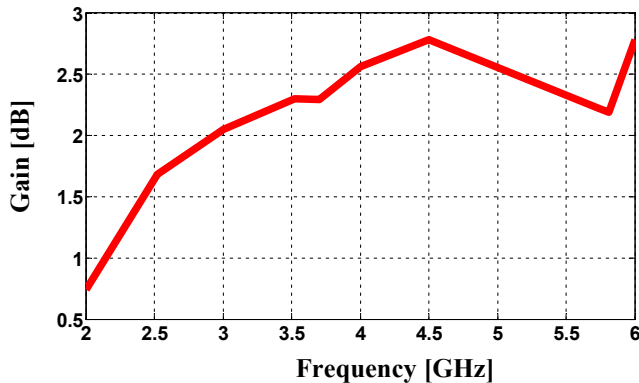


Fig. 7. The gain plot versus the frequency.

Table 2: Proposed antenna gain at different frequencies

Frequency [GHz]	Gain [dB]
2	0.8
2.5	1.7
3	2.3
4	2.6
4.5	2.8
5.74	2.2
6	2.8

To show the correct patch antenna operation in the desired band, we plotted the antenna gain versus the frequency. The gain is greater and the best result demonstrating the correctness of our approach for mobile phone application. The computed gain reaches 2.8 dB at the resonant frequency 4.5 GHz.

A comparison table with already existing work in terms of the size of the structure, peaks, bandwidth and gain is show in table 3.

Table 3: A comparative table with existing works

Ref	Peak at resonance	Frequency range GHz	Size mm
[12]	3.5 GHz, -12.8 dB 5 GHz, -29.37 dB	3.41-3.57 GHz 4.75-5.53 GHz	26 × 30
[13]	3.5 Ghz, -20 dB 10.2 Ghz, -14 dB	2.5-4.3 GHz 9-11 GHz	26 × 40
[14]	2.33GHz, -19.79 dB 5.24GHz, -28.97 dB	2.16-2.38 GHz 5.13-5.36 GHz	16 × 25
Our Work	3.52 Ghz, -41 dB 5.74 Ghz, -30 dB	2.9-4 GHz 5.5-8 GHz	26 × 30

The proposed antenna operates in the two frequency bands of 3.52 GHz and 5.74 GHz. We record a peak of the order of -41 dB to 3.52 GHz for the WIMAX standard, -30 dB to 5.74 GHz for the WLAN standard. The proposed antenna achieves miniaturization and achieves a higher gain and adaptation in frequencies. The obtained good performances of antennas satisfy the demands of mobile phone application on the other hand the antenna of existing works



[12][13][14] operates on two frequency bands for WIMAX and WLAN standards with a low adaptation.

VI. CONCLUSION

In this paper, we proposed a new promising design of printed truncated 4-cornered antenna with U slot for bi-band operations covering two frequency bands from 3.4 to 3.7 GHz for the WiMAX and from 5.725 to 5.872 GHz for WLAN system. A challenge in designing such multiple wireless communication protocol systems is to design, low cost and specific type of miniature antenna with small sizes. The results obtained are simulated using a finite integration technique using the CST MW Studio and compared with FEM method using HFSS software and compared with measured results. The obtained good performances of antennas satisfy the demands of mobile phone application.

REFERENCES

- [1] S.K. Gemnani and B.S. Chowdhry, "Wide band square patch microstrip antenna Design for WLAN and WIMAX Applications", *International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering.*, Vol. 8, pp. 46-52, June. 2016.
- [2] A. Zitouni and N. Boukli-Hacene, "A new four truncated corners ultra-wideband antenna with two crossed slits in the patch", *International Journal of Microwave and Optical Technology.*, Vol. 6, pp. 217-220, July. 2011.
- [3] M. Abri, N. Belgacem and W. Belgacem, "New GSM, DCS and GSM/DCS PIFA antennas designs for wireless networks applications", *International Journal of Information & Network Security.*, Vol. 2, pp. 305-310, August. 2013.
- [4] S. Berhab, M. Abri and R. Gharbi, "Rigorous iterative full wave method for the analysis of multi-band arbitrary U shaped antennas", *Microwave and Optical Technology Letters.*, Vol. 58, pp. 2358-2364, December. 2016.
- [5] M. Abri, F.T. Bendimerad, N. Boukli-hacene and M. Bousahla, "Log periodic series-fed antennas array design using a simple transmission line model", *International Journal of Communication Engineering.*, Vol. 2, pp. 161-169, Jan. 2009.
- [6] S. Tomar and A. Kumar, "Design of a triple band - notched UWB planar monopole antenna", *Journal of Microwaves Optoelectronics and Electromagnetic Applications.*, Vol. 14, pp. 184-195, December. 2012.
- [7] S. Didouh, M. Abri and F.T. Bendimerad, "multilayered bow-tie antennas design for RFID and radar applications using a simple equivalent transmission line model", *International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC).*, Vol. 4, pp. 121-131, May. 2012.
- [8] K.L. Wong, W.Y. Chen and T.W. Kang, "On-board printed coupled-fed loop antenna in close proximity to the surrounding ground plane for pentaband WWAN mobile phone", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, Vol. 59, pp. 751-757, Mar. 2011.
- [9] N. Belgacem, M. Abri, H. Abri, and W. Belgacem, "Flexible PIFA antenna serves multiple wireless bands", *Microwaves and RF.*, Vol. 55, pp. 52-58, August. 2016.
- [10] A.A.H. Azremi, N.A. Saidatul, R.B. Ahmad and P.J. Soh "A parametric study of roadband planar inverted F antenna PIFA for WLAN application", *International Conference on Electronic Design.*, Vol. 59, pp. 51-57, December. 2008.
- [11] E. Yessar, M. Ali, A. Khalid and J. Sultan, "Design of broadband microstrip patch antenna for WLAN/WiMAX applications", *AL Rafdain Engineering Journal.*, Vol. 23, pp. 154-163, Jun. 2015.
- [12] A. Kumar, S. Kumar and P.R. Chadha, "Design of a Dual-band microstrip patch antenna for GPS, WiMAX and WLAN", *Journal of Electronics and Communication Engineering.*, Vol. 6, pp. 56-59, Jun. 2013.
- [13] H. Danish, "L-slotted microstrip patch antenna for WiMAX and WLAN applications", *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering.*, Vol. 5, pp. 385-389, April. 2016.
- [14] H.M. Nagabhushana, C.R. Byrareddy and N. hangadurai, "Slotted and miniaturized patch antenna for WLAN and WIMAX applications", *International Journal of Advanced Information Science and technology.*, Vol. 6, pp. 16-19, April. 2017.