

UNIVERSITE ZIANE ACHOUR DE DJELFA

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département des Sciences et Technologie



# Mémoire

Présenté par

**ABDELKRIM Amal**

Pour obtenir le Diplôme de

**Magister** en Electronique

Option

**Micro-ondes**

**Thème**

**Performances des antennes IFA dans les systèmes de communication  
sans fil**

Soutenu le : 25/04/2011.

Devant le jury composé de :

MM :	K. GUESMI	M.C.A.	Univ. Djelfa	Président
	D. CHIKOUCHE	Prof.	Univ. M'sila	Examineur
	F. BOUTTOUT	M.C.A-	Univ. M'sila	Rapporteur
	A. MAYOUF	M.C.A-	Univ. Djelfa	Examineur
	Z. MESSALI	M.C.A-	Univ. M'sila	Examineur

## Remerciements

*Je tiens à remercier tout d'abord ALLAH le tout puissant pour la volonté, la santé, la patience qu'il nous a donné durant toutes ces années, et la foi en nous même pour arriver à ce jour*

*J'exprime ma gratitude à Mr. Dr. F. BOUTTOUT qui a suivi de près ce travail et a accepté d'en être le rapporteur.*

*Je lui dois vraiment beaucoup de respect.*

*Je tiens aussi à exprimer mes vifs remerciements à Mr. Dr. A. Mayouf pour ses encouragements, son aide et son dévouement et surtout pour sa disponibilité à chaque fois que je lui fais appel.*

*J'adresse mon remerciements aussi à tous les membres du jury d'avoir accepté de juger ce travail, et tous les enseignants de la post-graduation option micro-onde et plus particulièrement: Dr CHIKOUCHE, Dr BRAHIMI, Dr ZOUACH et Dr DJOUDI sans oublier mon collègue HATHAT*

*Je tiens enfin à remercier aussi tous les enseignants et les responsables du département Electronique pour leurs gentillesse et leurs disponibilités.*

## *Dédicaces*

*En témoignage de tout mon amour, Je dédie ce  
mémoire :*

*A ma très chère mère qui m'a donnée toute  
l'affection et l'amour durant toute ma vie,  
Que DIEU le tout puissant me la garde!*

*A mon très cher père qui à tout donné pour que ce  
jour arrive,*

*Que DIEU me le garde aussi!*

*A mes chers frères et mes chères sœurs*

*A mon professeur "CHAFAA KHIRREDDINE" qui  
est un exemple pour moi*

*A tous mes collègues et mes amis*

## Liste des acronymes

### A

**AMP:** Advanced Mobile Phone System

### B

**BSC :** Base Station Controller

**BSS :** Base Station Subsystem

### C

**CDMA :** Code Division Multiple Access

### D

**DCS:** Digital Communication System

### E

**EDGE:** Enhanced Data Rates for GSM Evolution

**ETACS:** Extended Total Access Communication System

### F

**FDD:** Frequency Division Duplex

**FDMA:** Frequency Division Multiple Access

### G

**GGSN:** Gateway GPRS Support Node

**GMSK:** Gaussian Minimum Shift Keying

**GPRS:** General Packet Radio Service

**GPS:** Global Positioning System

**GSM:** Global System for Mobile Communications

**GSN:** GPRS Support Node

### H

**HFSS:** High Frequency Structure Simulator

**HSDPA:** High-Speed Downlink Packet Access

### I

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

**IFA:** Inverted-F Antenna

**IIFA:** Integer Inverted-F Antenna

**ILA:** Inverted-L Antenna

**IMEI:** International Mobile Equipment Identity

**IMSI:** International Mobile Subscriber Identity

**IMT-2000:** International Mobile Telecommunications-2000

**IP:** Internet Protocol

**ISM: Industrial Scientific Medical**

**ITU: International Telecommunications Union**

**M**

**MIMO: Multiple Input Multiple Output**

**MMS: Multimedia Message Service**

**MSC: Mobile Switching Center**

**P**

**PCB: Printed Circuit Board**

**PCS: Personal Communication System**

**PEC: Perfect Electric Conductor**

**PIFA: Planar Inverted-F Antenna**

**PIN: Personal Identity Number**

**PTMP: Point à MultiPoint**

**PTP: Point à Point**

**Q**

**QoS: Quality of Service**

**QPSK: Quadrature Phase Shift Keying**

**R**

**Rx: Réception**

**S**

**SGSN: Serving GPRS Support Node**

**SIM: Subscriber Identity Mobile**

**SIMO: Simple Input Multiple Output**

**SISO: Simple Input Simple Output**

**SMS: Short Message Service**

**T**

**TACS: Total Access Communication System**

**TD-CDMA Time Division-Code Duplex Multiple Access**

**TDD: Time Division Duplex**

**TD-SCDMA: Time Division-Synchronous Code Duplex Multiple Access**

**TDMA: Time Division Multiple Access**

**Tx: Transmission**

**U**

**UMTS: Universal Mobile Telecommunications System**

**W**

**W-CDMA: Wide Code Division Multiple Access**

**WLAN: Wireless Local Area Network**

**8PSK:8** Quadrature Phase Shift Keying

**16QAM:16** Quadrature Amplitude Modulation

## Liste des Figures et des Tableaux

Figure 1. Chaîne d'un système de communication mobile	6
Figure 2. Structure d'une cellule	6
Figure 3. Architecture du réseau GSM	9
Figure 4. Antenne de type IFAs	18
Figure 5. Antenne IFA	18
Figure 6. Antenne multibande	21
Figure 7. Fenêtre de HFSS	24
Figure 8. Structure de l'antenne IFA_2.53GHz	27
Figure 9. Coefficient de réflexion $S_{11}$ en fonction de la fréquence	
Figure 10. Diagramme polaire 3D (en fonction de $\theta$ et $\phi$ ) pour le Gain total G	29
Figure 11. Champ E, H et J surfacique	30
Figure 12. Rapport d'onde stationnaire	31
Figure 13. Impédance d'entrée Z	31
Figure 14. Structure de l'antenne PIFA à bande unique	32
Figure 15. Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence	33
Figure 16. Diagramme polaire 3D (en fonction de $\theta$ et $\phi$ ) pour le Gain total G	34
Figure 17. Rapport d'onde stationnaire	34
Figure 18. Champ E, H et J	35
Figure 19. Impédance d'entrée Z	36
Figure 20. Structure de l'antenne PIFA à double bande	37
Figure 21. Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence	38

Figure 22. Impédance d'entrée $Z$	38
Figure 23. Diagramme polaire 3D (en fonction de $\theta$ et $\varnothing$ ) pour le Gain total $G$	39
Figure 24. Rapport d'onde stationnaire	39
Figure 25. Distribution du Champ $E, H$	40
Figure 26. Structure de l'antenne PIFA à duelle bande	41
Figure 27. Coefficient de réflexion $S_{11}$ en fonction de la fréquence	42
Figure 28. Diagramme polaire 3D (en fonction de $\theta$ et $\varnothing$ ) pour le Gain total $G$	42
Figure 29. Impédance d'entré $Z$ en fonction de la fréquence	43
Figure 30. Rapport d'onde stationnaire	43
Figure 31. Distribution de champ $E, H$ et $J$ surfacique	44
Figure 32. Structure de l'antenne IIFA à duelle bande	45
Figure 33. Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence	46
Figure 34. Impédance d'entrée $Z$ en fonction de la fréquence	
Figure 35. Rapport d'onde stationnaire	47
Figure 37. Diagramme polaire 3D (en fonction de $\theta$ et $\varnothing$ ) pour le Gain total $G$	48
Figure 38. Structure de l'antenne IIFA à bande unique	49
Figure 39. Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence	50
Figure 40. Diagramme polaire 3D (en fonction de $\theta$ et $\varnothing$ ) pour le Gain total $G$	51
Figure 41. Impédance d'entrée $Z$	51
Figure 42. Rapport d'onde stationnaire	52
Figure 43. Distribution de champ $E, H$ et $J$ surfacique	
Tableau 1. Caractéristiques de la norme GSM et ses évolutions	11



Tableau 2. Caractéristique des composantes de la norme UMTS	12
Tableau 3. Evolution des systèmes de téléphonie mobile	14
Tableau 4. Comparaison Des Antennes IFA	51
Tableau 5. Comparaison Des Antennes PIFA	52
Tableau 6. Comparaison Des Antennes PIFA_Jslot	52
Tableau 7. Comparaison Des Antennes PIFA_Uslot	52
Tableau 8. Comparaison Des Antennes IIFA	52
Tableau 9. Comparaison des antennes IIFA	52

# Table des Matières

<b>Introduction générale</b> .....	1
<b>Chapitre I : Evolution des systèmes de communication sans fil</b> .....	4
Introduction .....	5
1. Différents composants d'un système de communication mobile .....	5
2. Evolution des systèmes de système de communication sans fil .....	7
2.1 Réseaux cellulaire .....	7
2.1.1 Première génération.....	7
2.1.2 GSM (2G) .....	7
✓ <i>Standard GSM</i> .....	7
✓ <i>Architecture de réseau GSM</i> .....	8
2.1.3 GPRS (2.5).....	10
✓ <i>Standard GPRS</i> .....	10
✓ <i>Architecture de réseau GPRS</i> .....	10
2.1.4 EDGE (2.75G).....	11
2.1.5 UMTS (3G).....	11
2.1.6 HSDPA (3.5G).....	12
2.2 Réseaux WLANs/PAN (4G).....	13
2.2.1 Bluetooth (IEEE 802.15.1).....	13
2.2.2 ZigBee (802.15.4).....	14
2.2.3 WiFi (IEEE 802.11x).....	14
2.2.4 WiMax (IEEE 802.16).....	14
Conclusion.....	15
<b>Chapitre II : Les antennes IFA</b> .....	16
Introduction.....	17

1. Structure des antennes IFA.....	17
2. Différents types d'antenne IFA .....	19
2.3 IFA filaire.....	19
2.4 IFA planaire.....	19
2.5 IIFA intégrée.....	20
3. Caractéristiques général des antennes imprimées .....	22
4. Présentation du logiciel HFSS.....	24
Conclusion.....	25
<b>Chapitre III : Résultats et discussion.....</b>	<b>26</b>
Introduction .....	27
1. Antenne IFA 2.53G.....	27
2. Antenne PIFA 920Mhz.....	30
3. Antenne PIFA dual bande (J slot) 1.8Ghz, 2.45Ghz .....	35
4. Antenne PIFA a dual bande (U slot) 920Mhz, 1.775Ghz.....	39
5. Antenne IFA intégré dual bande.....	43
6. Antenne IFA Intégré .....	47
7. Tableaux comparatives .....	51
Conclusion.....	53
<b>Conclusion Générale.....</b>	<b>54</b>
<b>Référence .....</b>	<b>57</b>

## Introduction générale

## **Introduction Générale**

Malgré qu'elle ait une histoire de plus d'un siècle, la transmission sans fil a trouvé une large utilisation dans les systèmes de communication seulement dans les 20 dernières années.

Actuellement, le domaine des communications sans fil est l'un des segments les plus rapidement évolués de l'industrie des télécommunications.

Les systèmes de communication sans fil, tels que les cellulaires; sans câble et les satellites ainsi que les réseaux locaux sans fil (WLANs) ont trouvé une large utilisation et sont devenus un outil essentiel dans la vie quotidienne de plusieurs personnes, tant sur le plan professionnel que sur le plan personnel [1].

Les systèmes cellulaires de première génération, purement analogiques, ont fait leur apparition à la fin des années 1970 avec les normes AMPS aux Etats-Unis et TACS en Europe. En 1991, une nouvelle norme internationale nommée GSM entièrement numérique correspondant à la deuxième génération de téléphonie mobile est lancée. Ce système permet de dialoguer, d'envoyer des messages et des données dans la zone de couverture avec un débit maximal autorisé de 14.4 Kbits/s. Dans une version améliorée du GSM (2G+), les systèmes de téléphonie sans fil proposent des débits plus élevés et une connectivité internet avec notamment GPRS et EDGE, qui peuvent atteindre des débits théoriques respectifs de 171.2 Kbits/s et 384 Kbits/s. Cette évolution mène ainsi vers un système cellulaire de troisième génération (3G) nommé UMTS proposant des débits théoriques maximum de 2 Mbits/s. Cependant, des débits plus importants permettant de transférer simultanément des photos et des vidéos, ou de proposer les services des réseaux locaux ou internet font toujours l'objet d'une demande croissante [3].

La demande pour des systèmes et des services innovants a créé des nouveaux et des défis pour les portables. Les portables doivent être de plus en plus petits, robustes, esthétiques, multibandes et avec batterie longue-vie [2].

Cependant, des antennes internes sont essentiellement utilisées. Plusieurs types d'antennes portables ont été créés [2], mais pourquoi les antennes de type IFAs demeure l'une des plus populaires ?

Les antennes F inversée (IFAs) possèdent un faible volume, sont de faible poids et sont facile à intégrer dans les appareils de communication personnelles [2].

Dans ce travail, nous allons étudier les antennes **IFA** (Inverted-F Antenna) car ce type d'antenne est le plus utilisée dans l'industrie de la téléphonie mobile. Cette étude sera réalisée par le biais d'un simulateur électromagnétique dit « **HFSS**, qui signifie High Frequency Structure Simulator ». Dans le cadre de cette étude, l'effet de la variation de géométrie d'antenne ainsi que les matériaux utilisés sur ces performances seront explorés.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres.

Dans le premier chapitre, les différents composants des chaînes de traitement utilisées par les systèmes de communication mobiles sont présentés. Ensuite, nous faisons le tour d'horizons de l'évolution que ces systèmes ont connu.

Dans le deuxième chapitre, la géométrie des différents types de l'antenne IFA est présentée.

Le troisième chapitre est consacré à la simulation proprement dite des antennes IFAs et à l'interprétation des résultats obtenus.

A la fin de ce mémoire, une conclusion générale est donnée.

*Chapitre I :*

Evolution des systèmes de communication sans fil

## Introduction

Dans ce premier chapitre, nous allons présenter brièvement les différentes composantes d'une chaîne de télécommunication mobile, puis nous allons donner un bref historique des différents types des standards utilisés dans les systèmes de communications mobiles.

### 1. Composants d'un système de communication mobile

Tous les systèmes de communication ont fondamentalement le même but : transmettre le maximum d'informations avec un minimum d'erreurs. Les systèmes de communications modernes sans fil numériques ne font pas exception à cette règle. Ces systèmes peuvent être séparés en plusieurs éléments comme indiqué sur la Figure 1. Les données numériques envoyées à l'entrée du système sont traitées par l'encodeur de source qui élimine toute la redondance existante. L'encodeur de canal y incorpore ensuite des codes correcteurs d'erreurs pour réduire au minimum la probabilité d'erreur par transmission et maximiser ainsi la quantité d'information utile. La sortie de l'encodeur de canal est traitée par l'unité de traitement de signal numérique, afin de permettre la communication simultanée de plusieurs utilisateurs. Un exemple concret est le "beamforming" numérique, lequel, en employant les propriétés géométriques et électromagnétiques des réseaux d'antennes, permet de concentrer les signaux d'utilisateurs multiples dans différentes directions désirées, permettant ainsi à plusieurs utilisateurs d'être "servis" par le système. Le flux de données produit est alors traité par le modulateur qui est chargé de décaler le signal de bande de base à son entrée dans la bande passante désirée à la sortie. L'information produite à la sortie du modulateur est alors transmise à l'antenne et rayonnée dans le canal de propagation [3].

A l'autre extrémité du canal radio, la procédure inverse est répétée. Le démodulateur convertit les signaux rassemblés par l'antenne réceptrice dans leur bande de base équivalente. Le processeur de signal numérique sépare alors les différents signaux qui viennent de différents utilisateurs.

Le décodeur de canal détecte et corrige, si possible, les erreurs qui sont causées en raison de la propagation dans le canal physique. Suivant cela, le décodeur de source reconstitue l'ordre réel des données dans sa version comprimée. Le procédé entier vise à récupérer l'information transmise sur l'autre extrémité du canal physique de propagation, avec la quantité d'erreurs la plus faible possible [3].



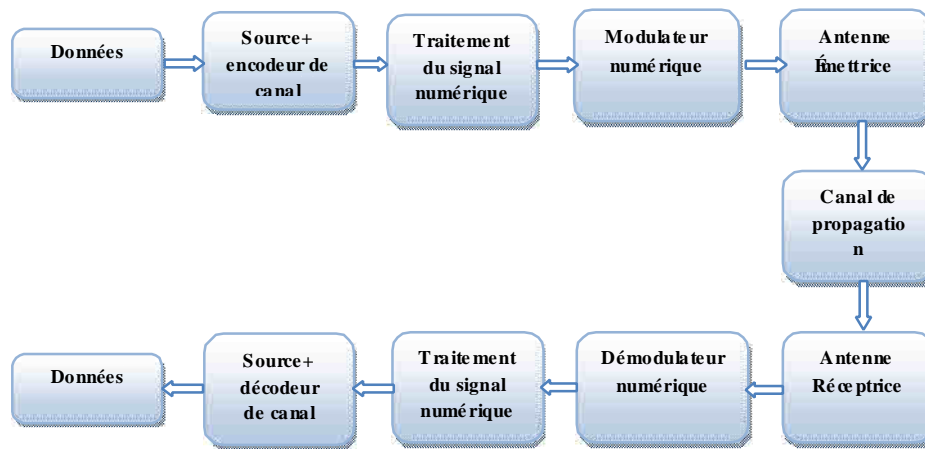


Figure 1. Chaîne d'un système de communication mobile

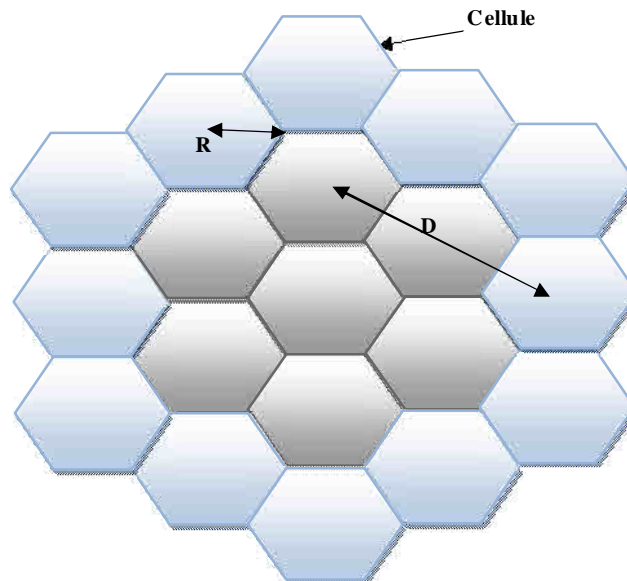


Figure 2. Structure du réseau cellulaire d'un système de communication

## 2. Evolution des systèmes de téléphonie mobile

### 2.1 Réseaux cellulaire

Les réseaux de téléphonie mobile sont basés sur la notion de cellule, qui sont des zones circulaires se chevauchant afin de couvrir une zone géographique. Dans un réseau cellulaire, chaque cellule est entourée de 6 cellules voisines (c'est la raison pour laquelle on représente généralement une cellule par un hexagone) (Figure 2). Les réseaux cellulaires reposent sur l'utilisation d'un émetteur-récepteur central au niveau de chaque cellule, appelé "station de base" (plus le rayon d'une cellule est petit, plus la bande passante disponible est élevée) [3].

#### 2.1.1 Première génération (1 G)

La première génération de téléphonie mobile (1G) possède un fonctionnement analogique. Il s'agissait principalement des standards suivants :

- **AMPS** (Advanced Mobile Phone System), apparu en 1976 aux Etats-Unis, constitue le premier standard de réseau cellulaire. Utilisé principalement Outre-Atlantique, en Russie et en Asie, ce réseau analogique de première génération possédait de faibles mécanismes de sécurité rendant possible le piratage de lignes téléphoniques.
- **TACS** (Total Access Communication System) est la version européenne du modèle AMPS. Utilisant la bande de fréquence des 900 MHz, ce système fut également largement utilisé en Angleterre, puis en Asie (Hong-Kong et Japon).
- **ETACS** (Extended Total Access Communication System) est une version améliorée du standard TACS qui fut développé au Royaume-Uni avec un nombre plus important des canaux de communication [3].

Les systèmes 1G utilisent un mode de transmission de l'information analogique (signal modulant et traitement sont analogiques) et sont incompatibles entre eux. Ils offrent une gamme de services très réduite pour les communications vocales. Les capacités de réseau étant très faibles, les opérateurs sont vite saturés et ont recours à de nouvelles techniques qui ouvrent la voie aux systèmes "2G" : le traitement numérique de l'information et le multiplexage temporel [4].

#### 2.1.2 GSM (2 G)

##### 2.1.2.1 Standard GSM

Le système GSM (Global System for Mobile communications) qui devient majoritaire dans les années 90. Les systèmes numériques offrent des avantages par rapport aux systèmes "1G" : meilleure résistance au bruit, utilisation des techniques d'accès multiple, meilleure

qualité (pour la transmission et la restitution de la voix) [4]. En Europe, le standard GSM utilise les bandes de fréquence de 900 MHz pour le GSM 900 et 1800 MHz pour le DCS (Digital Communication System). Aux Etats-Unis, la bande de fréquence utilisée est la bande 1900 MHz : le standard est appelé PCS (Personal Communication System). Ainsi, on qualifie de tri-bande, les téléphones portables pouvant fonctionner en Europe et aux Etats-Unis et de bi-bande ceux fonctionnant uniquement en Europe. La norme GSM autorise un débit maximal de 9,6 Kbits/s, ce qui permet de transmettre la *voix* ainsi que des *données numériques* de faible volume, par exemple des messages textes (**SMS**, pour Short Message Service) ou des messages multimédias (**MMS**, pour Multimedia Message Service). Les techniques de multiplexage associées au GSM sont :

- **FDMA** (Frequency Division Multiple Access) qui repose sur un multiplexage en fréquences. La bande de fréquence est divisée en plusieurs sous-bandes. Chacune est placée sur une fréquence dite *porteuse*, qui est la fréquence spécifique du canal. Chaque porteuse ne peut transporter le signal que d'un seul utilisateur.
- **TDMA** (Time Division Multiple Access), utilise une technique de découpage temporel des canaux de communication disponibles, afin d'augmenter le volume de données transmises simultanément. La technologie TDMA est principalement utilisée sur le continent américain, en Nouvelle Zélande et en Asie. Le réseau GSM constitue au début du 21ème, le standard de téléphonie mobile le plus utilisé en Europe [3].

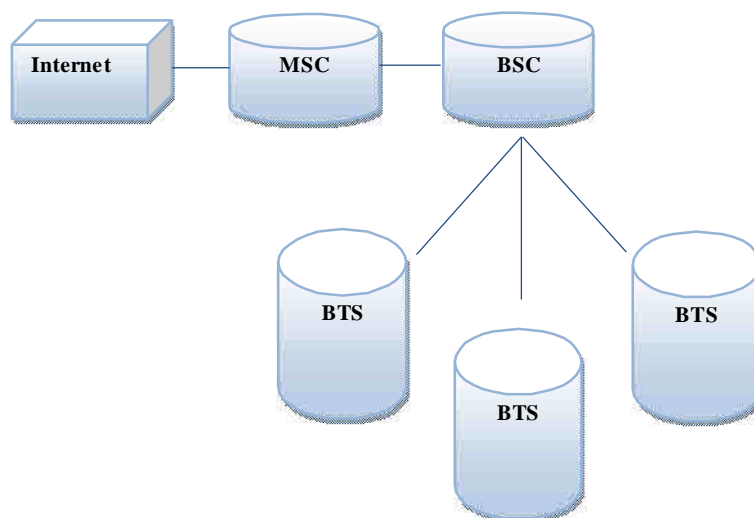
### 2.1.2.2 Architecture du réseau GSM

Dans un réseau GSM, le terminal de l'utilisateur est composé notamment d'une carte SIM (Subscriber Identity Mobile), permettant d'identifier l'usager de façon unique et d'un téléphone portable. L'ensemble est appelé station mobile.

Les terminaux sont identifiés par un numéro d'identification unique de 15 chiffres appelé IMEI (International Mobile Equipment Identity). Chaque carte SIM possède également un numéro d'identification unique (et secret) appelé IMSI (International Mobile Subscriber Identity). Ce code peut être protégé à l'aide d'une clé de 4 chiffres appelée code PIN. La carte SIM permet ainsi d'identifier chaque utilisateur, indépendamment du terminal utilisé lors de la communication avec une station de base.

La communication entre une station mobile et une station de base se fait par l'intermédiaire de la propagation des ondes électromagnétiques à travers une interface air qui est le plus souvent un environnement multi-trajet [3].

L'ensemble des stations de base d'un réseau cellulaire est lié à un contrôleur de station de base (en anglais Base Station Controller, noté BSC) (Figure 3), qui est la partie intelligente du lien radio : c'est lui qui décide de l'activation ou désactivation vers une station mobile, qui décide de la puissance d'émission des stations de base et des stations mobiles et qui gère les changements de cellules. Les contrôleurs de stations de base connectés, forment le sous-système radio (en anglais BSS pour Base Station Subsystem). Enfin, les contrôleurs de stations sont eux mêmes reliés physiquement au centre de commutation du service mobile (En anglais MSC pour Mobile Switching Center), géré par l'opérateur téléphonique, qui les relie ainsi au réseau téléphonique public et à internet. Le MSC appartient à un ensemble appelé sous-système réseau chargé de gérer les identités des utilisateurs, leur localisation et l'établissement de la communication avec les autres abonnés. Des évolutions de la norme GSM ont été mises au point afin d'en améliorer le débit. C'est le cas notamment du standard GPRS et de la norme EDGE [3].



**Figure 3.** Architecture du réseau GSM

### 2.1.3 GPRS (2.5 G)

#### 2.1.3.1 Introduction au standard GPRS

Le standard GPRS (General Packet Radio Service) est une évolution de la norme GSM, ce qui lui vaut parfois l'appellation GSM++ (ou GSM 2+). Etant donné qu'il s'agit d'une norme de téléphonie de seconde génération permettant une transition vers la troisième génération (3G), on parle généralement de 2.5G. Le GPRS permet d'étendre l'architecture du standard GSM, afin d'autoriser le transfert de données par *paquets*, et des débits théoriques maximums de l'ordre 171.2 kbits/s (en pratique jusqu'à 114 kbit/s). Grâce au mode de transfert par paquets, les transmissions des données n'utilisent le réseau que lorsque cela est nécessaire. Le standard GPRS permet donc aux opérateurs de facturer l'utilisateur en volume échangé plutôt qu'à la durée de connexion, ce qui signifie notamment qu'il peut rester connecté sans surcoût. Ainsi, le standard GPRS utilise l'architecture du réseau GSM pour le transport de la voix, et propose d'accéder à des réseaux de données (notamment internet) utilisant le protocole IP ou le protocole X.25. Le GPRS permet de nouveaux usages que ne permettait pas la norme GSM, répertoriés par les services suivants:

- Services point à point (PTP), c'est-à-dire la capacité à se connecter en mode client-serveur à une machine d'un réseau IP.
- Services point à multipoint (PTMP), c'est-à-dire la possibilité d'envoyer la même donnée simultanément à un groupe de destinataires.
- Services de messages courts (SMS) [3].

#### 2.1.3.2 Architecture du réseau GPRS

L'intégration du GPRS dans une architecture GSM nécessite l'adjonction des nœuds "nœuds réseaux" appelés GSN (GPRS Support Nodes) situés sur un réseau fédérateur (backbone) :

- SGSN (Serving GPRS Support Node) soit en français Nœud de Support GPRS de Service, routeur permettant de gérer les coordonnées des terminaux de la zone et de réaliser l'interface de transit des paquets avec la passerelle GGSN.
- GGSN (Gateway GPRS Support Node) en français Nœud de support GPRS passerelle, Passerelle s'interfaçant avec les autres réseaux de données (internet). Le GGSN est notamment chargé de fournir une adresse IP aux terminaux mobiles pendant toute la durée de la connexion [3].

### 2.1.4 EDGE (2.75 G)

Le standard EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) est une évolution de la norme GSM par modification du type de modulation. Tout comme la norme GPRS, le standard EDGE est utilisé comme transition vers la troisième génération de téléphonie mobile (3G). On parle ainsi de 2.75G pour désigner le standard EDGE. La norme EDGE quadruple les améliorations du débit de la norme GPRS en annonçant un débit théorique de 384 kbits/s, ouvrant ainsi la porte aux applications multimédias. En réalité, la norme EDGE permet d'atteindre des débits maximum théoriques de 473 kbits/s, mais elle a été limitée afin de se conformer aux spécifications IMT-2000 (International Mobile Telecommunications-2000) de l'UITU (International Telecommunications Union). EDGE utilise une modulation (8-PSK) ce qui implique une modification des stations de base et des terminaux mobiles [3]

Technologie	GSM	GPRS	EDGE
Génération	2G	2.5G	2.75G
Fréquences (MHz)	<b>GSM 450</b>	<b>GSM 900</b>	<b>GSM 1900 (PCS)</b>
Tx : Transmission	450.4 – 457.6 (Tx)	880 – 915 (Tx)	1850 – 1910 (Tx)
Rx : Réception	460.4 – 467.6 (Rx)	925 – 960 (Rx)	1930 – 1990 (Rx)
	<b>GSM 480</b>	<b>GSM 1800 (DCS)</b>	
	478.8 – 486 (Tx)	1710 – 1785 (Tx)	
	488.8 – 496 (Rx)	1805 – 1880 (Rx)	
Mode de duplexage	FDD		
Méthode d'accès	TDMA/FDMA		
Largeur d'un canal	200KHz		
Type de modulation	GMSK	GMSK	GMSK, 8PSK
Débit maximum théorique	14.4kbits/s	171.2kbits/s	384kbit/s
Type de commutation	circuit	paquet	paquet
Débit généralement constaté	-	35 à 40 Kbits/s	110 à 130 Kbits/s

**Tableau 1.** Caractéristiques de la norme GSM et ses évolutions

### 2.1.5 UMTS (3 G)

Les spécifications IMT-2000 (International Mobile Telecommunications for the year 2000) de l'union internationale des télécommunications (ITU), définissent les caractéristiques de la 3G. Ces caractéristiques sont notamment les suivantes :

- un haut débit de transmission
- une compatibilité mondiale
- une compatibilité des services mobiles de 3<sup>ème</sup> génération avec les réseaux de seconde génération, Les réseaux 3G utilisent des bandes de fréquences différentes des réseaux précédents : 1885-2025 MHz et 2110-2200 MHz. La principale norme 3G employée en Europe est l'UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) [3].

La technologie UMTS utilise des débits effectives : jusqu'à 384 Kbits/s en permanence, et jusqu'à 2Mbits/s dans des conditions favorables (mobilité réduite milieu urbain). Pour atteindre ces débits en toute situation, le développement d'une interface radio entièrement nouvelle a été nécessaire. En terme des services, les systèmes "3G" vont apporter des nouvelles possibilités orientées vers le multimédia. La visiophonie, la vidéoconférence, le jeu en réseau ou Internet seront utilisables de manière confortable. On parlera alors plus facilement de «terminal radiomobile » plutôt que de téléphone. Une évolution de l'UMTS, le HSDPA est déjà prévu pour pallier les lacunes de la première version du réseau 3<sup>ème</sup> génération [4].

### 2.1.6. HSDPA (3.5 G)

Comme nous l'avons vu, l'UMTS va apparaître progressivement pour remplacer les systèmes "2G". Mais les débits souhaités par les utilisateurs étant sans cesse croissant, le 3G<sup>++</sup> prévoit déjà l'apparition de système qu'on peut qualifier de "3.5G" (3.5<sup>ème</sup> génération). Cette évolution de l'UMTS s'appelle HSDPA (High- Speed Downlink Packet Access). Avec ce nouveau système les débits pourraient dépasser les 10 Mbits/s en lien descendant (on peut même espérer atteindre 20 Mbits/s en utilisant deux antennes et ainsi exploiter une forme de diversité spatiale). HSDPA est conçu pour offrir des services nécessitant des hauts débits mais peu sensibles au temps de transfert [4].

Technologie	W-CDMA	HSDPA	TD-CDMA	TD-SCDMA
Génération	3G	3.5G	3G	3G
Fréquence(MHz)	<b>IMT-2000</b> 1920 – 1980 (Tx) 2110 – 2170 (Rx) <b>Bande 1900</b> 1850 – 1910 (Tx) 1930 – 1990 (Rx)	<b>Bande 1800</b> 1710 – 1785 (Tx) 1805 – 1880 (Rx)	<b>IMT-2000</b> 1900 – 1920 2010 – 2025 2300 – 2400	1785 – 1850 1880 – 1900
Méthode de duplexage	FDD		TDD	
Méthode d'accès	CDMA			
Largeur d'un canal	5MHz		5MHz	1.6MHz
Type de modulation	QPSK	QPSK , 16QAM		QPSK
Type de commutation	Circuit et paquet	Paquet	Paquet	Circuit et paquet
Débit maximum théorique	384Kbits/s-2Mbits/s	14.4Mbits/s	12Mbits/s	128Kbits/s-2Mbits/s
Débit constaté	384Kbits/s	2Mbit/s	128Kbits/s-2Mbits/s	-

**Tableau 2.** Caractéristiques des composantes de la norme UMTS.

## 2.2 Réseaux WLANs/PAN (4G)

Les WLANs sont employés pour fournir des données à grande vitesse dans une région relativement petite, telle qu'un petit bâtiment ou campus. La croissance de WLAN débutée au milieu des années 80 et a été déclenchée par la décision de Commission Fédérale des Communications (FCC) des USA pour autoriser l'utilisation permis-libre des bandes (ISM) [1].

### 2.2.1 Bluetooth (IEEE 802.15.1)

Cette norme fonctionne dans la bande *ISM (Industrial Scientific Medical)* entre 2.4 et 2.48 GHz utilisable librement (sans Licence ni autorisation). Elle permet des débits pouvant atteindre 3 Mbits/s dans un rayon de moins de 100 mètres. La technologie Bluetooth est également de plus en plus utilisée dans les téléphones portables, afin de leur permettre de



communiquer avec des ordinateurs ou des assistants personnels et surtout avec des dispositifs mains-libres tels que des oreillettes Bluetooth [5].

### 2.2.2 ZigBee (802.15.4)

C'est une norme caractérisée par un faible débit et un faible coût avec pour atout majeur une faible consommation. Elle fonctionne dans la bande de fréquence située autour de 2.4GHz [5].

### 2.2.3 WiFi (IEEE 802.11x)

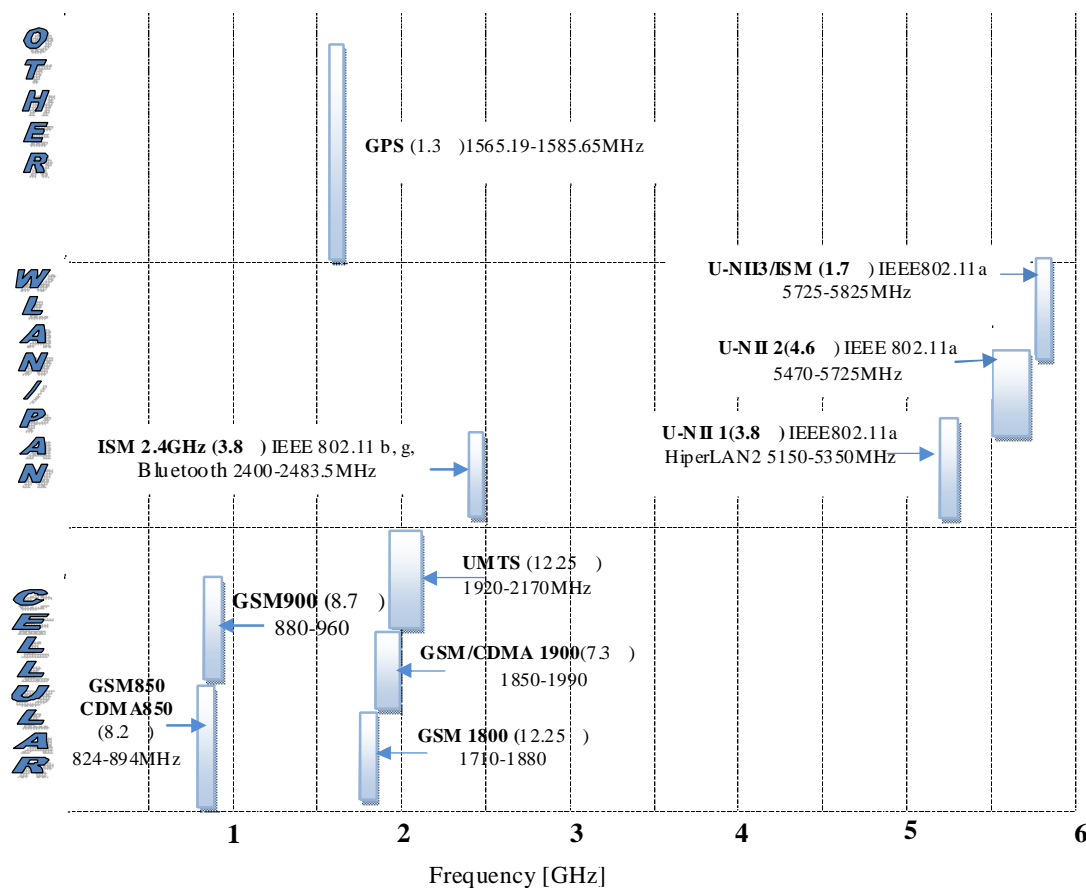
C'est un ensemble des normes concernant les réseaux locaux sans fil (WLAN) qui offrent des débits pouvant atteindre théoriquement 54 Mbits/s (de 11 Mbit/s en 802.11b à 54 Mbit/s en 802.11a/g) sur une bande de fréquence de 2.4 GHz (802.11b/g) et 5 GHz (802.11a). Son équivalent en Europe est le HiperLAN1 [5].

### 2.2.4 WiMax (IEEE 802.16)

Ce standard permet un débit théorique de 70 Mbits/s sur un rayon de 50 km maximum. La norme WiMax Mobile devrait permettre des services comme la communication en VoIP (Téléphonie sur Réseau IP) sur téléphone portable ou encore l'accès à des services mobiles en hauts débits. Son équivalent en Europe est le HiperLAN2. Ainsi, le développement rapide des communications sans fil et l'émergence des nouveaux standards sollicite la convergence vers la quatrième génération de communications mobiles, initialement prévue pour les années 2010, semblerait présenter ses toutes premières réalisations commerciales légèrement plus tôt. Cette avance par rapport aux prévisions est notamment due au fait que la quatrième génération ne sera pas l'issue d'une révolution dans les communications (comme l'ont été les seconde et troisième générations), mais plutôt la convergence de différents standards, applications et produits. En effet, il semble pertinent de considérer la 4G comme la convergence des standards et des technologies couverts par la 3G et. Le *but de la "4G"* est d'améliorer les performances de la troisième génération, sans changer fondamentalement le contenu ni les applications prévues au départ pour la 3G. C'est en fait la troisième génération qui n'a priori pas rempli les attentes. Par conséquent, au lieu d'un standard universel, de nombreux standards sont nés, incompatibles entre eux pour la plupart, et ce même sur un même continent [5].

L'émergence des réseaux sans fil et la téléphonie mobile ont causé une surcharge des bandes de fréquences allouées (surtout les bandes autour de 2.4 GHz et 5 GHz) à cela s'ajoute les perturbations et les interférences causées par des appareils industriels ce qui nécessite des

systèmes de plus en plus robustes ayant des architectures pouvant recevoir la majorité de ces standards [5].



**Tableau 3.** Les bandes sans fil employées couramment dans des communications sans fil [01].

**Conclusion**

Dans ce chapitre, les différents composants d'un système de communications mobiles ainsi que l'évolution de ces systèmes ont été présentés. Pour chaque systèmes, les caractéristiques en terme de : bande de fréquence et le débit sont présentées.

*Chapitre II :*

**Les Antennes IFA**

## Introduction

Dans ce chapitre, nous allons détailler les antennes IFA. Dans ce contexte, nous allons décrire les différents types de ces antennes puis leurs caractéristiques essentielles.

### 1. Structure de l'antenne IFA

Depuis quelques années, le marché de la téléphonie mobile s'est considérablement développé, avec une tendance qui est de réduire nettement la taille et le poids du terminal. Cette réduction remarquable a entraîné une évolution rapide des antennes pour ces téléphones.

La plupart des antennes utilisées pour les téléphones portables étaient des monopoles. Avec le développement des nouveaux standards et des contraintes de design, les fabricants de téléphone préfèrent aujourd'hui des antennes intégrées. Ainsi, celles qui répondent la plus à cette nouvelle exigence sont les éléments de type IFAs (Inverted-F Antenna) [3].

Les antennes F inversée (IFAs) possèdent un faible volume, sont de faible poids et sont facile à intégrer dans les appareils de communication personnelles. Elles présentent aussi des performances de polarisation croisée, résultant en une augmentation de la probabilité de l'annulation des signaux dus au fading multi-trajet. Il existe trois types d'antennes F inversée : l'IFA filaire conventionnelle, l'IFA Planaire et l'IFA Intégrées [2].

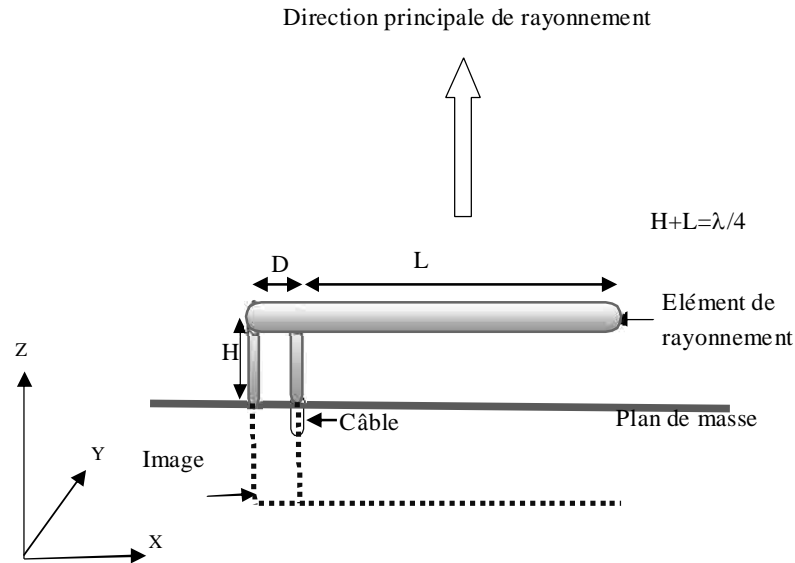
### 2. Différents types d'antenne IFA

Il existe trois types d'antenne inversée-F filaire conventionnel (IFA), antennes planaires F inversées (PIFAs) et antennes intégrées F inversées (IIFAs).

#### 2.1. IFA filaire

L'IFA à élément filaire conventionnelles a initialement évolué à partir de l'antenne L rempliée, avec une liberté additionnelle d'étaler l'entrée à travers le fil horizontal pour obtenir un certain contrôle de l'impédance d'entrée [2].

L'IFA peut être traitée d'une manière équivalente à une antenne composée de deux parties : une ILA avec son image (figure 4), et deux lignes de transmission à deux brins court circuits.les deux lignes de transmission à deux brins compensent l'impédance capacitive de l'ILA et au même temps augment l'impédance d'entrée tel que l'adaptation à une charge  $50\Omega$  devient faisable [2].



**Figure 4.** Antenne de type IFA

L'industrie des télécommunications porte un grand intérêt à la miniaturisation des antennes IFA. Les terminaux actuels doivent ainsi être capables de fonctionner dans les bandes traditionnelles utilisées en téléphonie mobile (GSM 850-900, DCS1800, PCS, UMTS), mais aussi dans les bandes ISM autour de 2,4 et 5 GHz, fréquences utilisées par les réseaux locaux sans fil WLAN [6].

Nous observons notamment l'influence de cette miniaturisation sur les performances radioélectriques de l'antenne (Figure 4).

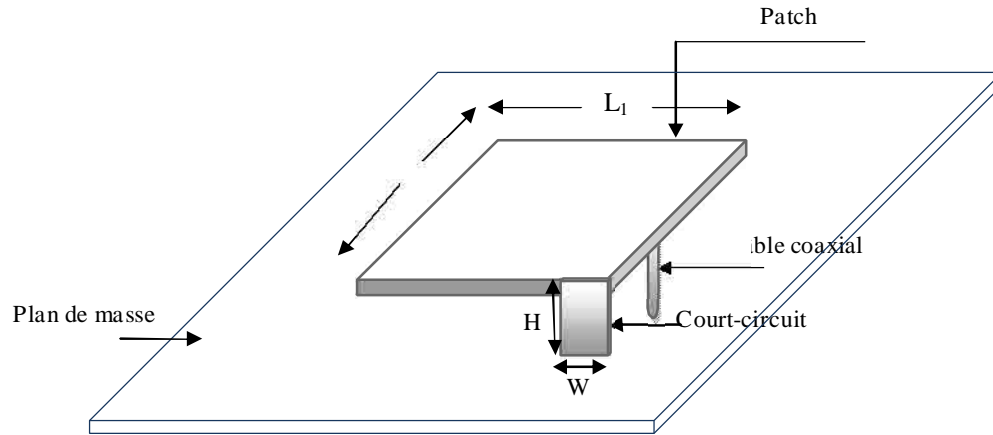
(1)

## 2.2. IFA planaire

À l'origine la PIFA appelé une antenne ouverte de microruban (James et autres), représentée sur La figure 5 [7].

La PIFA est devenue intéressante à cause de son utilisation dans les téléphones portables mobiles. En fait la PIFA en elle même est souvent considérée comme une antenne générique, mais du point de vue physique, elle est vue comme une dérivée d'antenne filaire et d'antenne plaque imprimée [8].





**Figure 5.** Antenne de type PIFA

L'antenne PIFA dans sa configuration de base (Figure 5), est constituée d'un élément rayonnant rectangulaire placé au dessus d'un plan de masse et court-circuité sur son côté de plus faible longueur. Réduire la largeur du court-circuit ( $W$ ) influence la longueur des lignes de courants surfaciques et leur direction sur l'élément rectangulaire. Ceci a pour effet d'augmenter la longueur électrique effective de l'antenne et donc de diminuer la fréquence de résonance. Nous pouvons ainsi, en réduisant  $W$ , opérer une réduction supplémentaire des dimensions. Le rapport  $L_1/W$  joue aussi sur la longueur électrique effective de l'antenne.

Suivant ces deux paramètres ( $W$  et  $L_1/W$ ), les lignes de courant peuvent passer d'une direction  $X$  à une direction  $Y$ , ce qui conduit à des polarisations d'ondes orthogonales, en passant par des états où la composante croisée est importante. Il est à noter qu'en réduisant  $W$  ou  $L_1/W$ , la bande passante diminue. Un compromis est donc à chercher entre la réduction des dimensions et la largeur de bande passante [3,9].

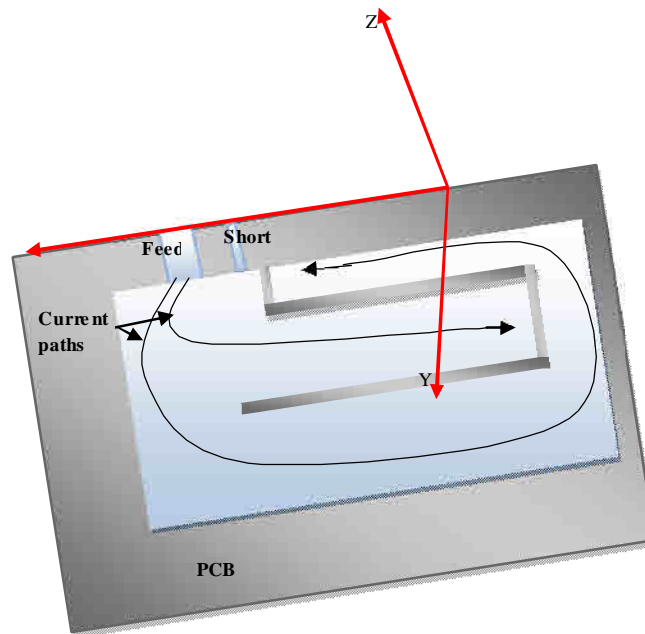
### 2.3. IFA Intégrée

Avec la demande en portables multistandards et avec des débits de transmission de plus en plus élevés, l'intégration d'antennes multiples est devenue un besoin. Différentes antennes peuvent être utilisées pour différents systèmes comme, pour le moment, la PIFA pour les communications mobile et IFA pour les GPS.

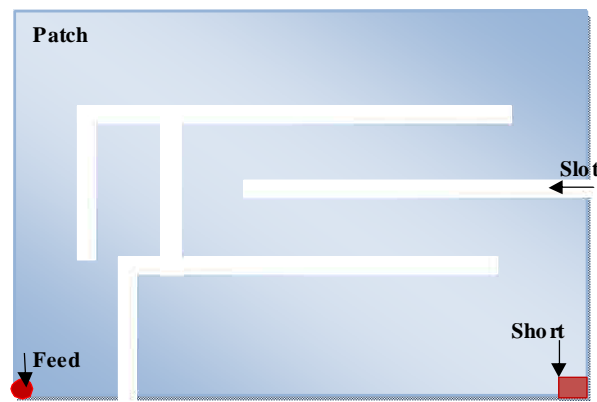
Cependant, plus d'une antenne similaire ou différente peuvent être utilisées dans le même système pour diversité ou optimisation de MIMO [2].

Le besoin en fonctionnement multibande sans un coût supplémentaire a inspiré la création de la PIFA multibande ; l'exemple de dual-band est montré dans la figure 6.a. la simplicité de cette antenne est remarquable et il semblerait qu'il existe un grand nombre de façons pour configurer les contours des courant sur la plaque supérieure de la PIFA. Le concept a été pour la version tri-bande montrée dans la figure 6.b [8].

La conception d'un ou plusieurs éléments d'antennes à intégrer dans un petit mobile doit être effectuée en tenant compte de l'effet de voisinage des différents composants du mobile [2].



(a)



(b)

**Figure 6.** Antenne multibande.

a) bi-bande, b) tri-bande



### 3. Caractéristiques générales d'antenne imprimé

En générale une antenne imprimé est caractérisée par :

- **Intensité de rayonnement** : l'intensité de rayonnement dans une direction donnée est définie comme la puissance rayonnée par une unité d'angle solide.

$$U(\theta, \varphi) = \frac{dP}{d\Omega} \quad (4)$$

Avec

$$d\Omega = \sin\theta d\theta d\varphi$$

- **Coefficient de réflexion  $S_{11}$**  : le coefficient de réflexion  $S_{11}$  met en évidence l'absorption de l'énergie par l'antenne. C'est sur ce paramètre que l'on se base lors de l'optimisation.
- **Directivité** : elle indique la concentration du rayonnement dans une direction donnée. Considérons deux antennes, la première est isotrope idéale et la deuxième est quelconque, caractérisées respectivement par  $U_0(\theta, \varphi)$  et  $U(\theta, \varphi)$ , les intensités de rayonnement pour la même puissance rayonnée. Alors la directivité de la deuxième antenne est :

$$(5)$$

Avec  $\theta, \varphi$  Les angles d'azimut et d'élévation des systèmes de coordonnées sphériques.

- **Rendement de l'antenne** : C'est le rapport entre la puissance rayonnée et la puissance fournie à l'antenne, soit :

$$(6)$$

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

- **Gain** : C'est le résultat de deux effets : la directivité et les pertes.

$$(7)$$

- **Ouverture 3dB** : dans un plan qui contient le rayonnement maximal l'angle entre les deux directions pour les quelles l'intensité de rayonnement est la moitié du maximum de l'intensité de rayonnement est appelée ouverture à 3dB.

- **Impédance d'entrée** : l'impédance d'entrée de l'antenne est l'impédance vue de la part ligne d'alimentation au niveau de l'antenne. Cette impédance est donnée par la formule :

(8)

- **Facteur de qualité** : est un paramètre qui représente les pertes de l'antenne. Ces pertes peuvent être ohmiques, diélectriques, par onde de surface ou par rayonnement.

$$\text{---} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad \text{---}$$

(9)

: Facteur de pertes total.

$\tilde{\epsilon}_{\text{rad}}$  : Facteur de pertes dues à la radiation

$\tilde{\epsilon}_o$  : Facteur de pertes ohmique

: Facteur de pertes diélectrique

: Facteur de pertes par ondes de surface (sw : Surface Wave)

- **Bande passante** : la bande passante de l'antenne correspond à l'intervalle de fréquence d'utilisation de l'antenne en émission ou en réception avec une efficacité de 50% et plus. On obtient une large bande passante lorsque le gain de l'antenne est important. C'est un paramètre exprimé en pourcentage (%) et qui est donné par

(10)

(Typiquement  $B\% = 10$  à  $20\%$ ) où :

- est la fréquence centrale d'utilisation pour laquelle l'antenne est conçue.
- et les fréquences limites supérieures et inférieures.

- **VSWR** : (Voltage Standing Wave Ratio)

$$\omega \quad \omega \quad \omega \quad (11)$$

## 4. Présentation du logiciel

Le logiciel **HFSS v11.0 (High Frequency Structure Simulator)** d'Ansoft corporation est un logiciel commercial basé sur la méthode des éléments finis **FEM**. Qui calcule les champs électromagnétiques dans le domaine fréquentiel en résolvant localement les équations de Maxwell. Pour cela, il faut construire des objets en trois dimensions (3D) et leur assigner des caractéristiques (type de matériau, taille, épaisseur,...). Il est ensuite nécessaire de spécifier le type des sources électromagnétiques. Il est possible de paramétrer le système et varier ces paramètres lors de la simulation. Les résultats sont visibles sous forme des graphes, un des intérêts de HFSS est sa capacité de donner directement les paramètres S en fonction de la fréquence. L'environnement de développement d'Ansoft HFSS fournit une interface intuitive et facile à utiliser pour développer les modèles passifs de circuits RF pour la conception. Celle-ci nécessite les étapes suivantes:

- *Génération paramétrique de modèle* : créer la géométrie, les Boundaries et les Excitations.
- *Analysis setup* : définir des domaines de fréquence et initialiser de la solution.
- *Results* : créer les rapports 3D, 2D et les tracés des champs.
- *Solve loop* : l'évolution de solution est complètement automatisée.

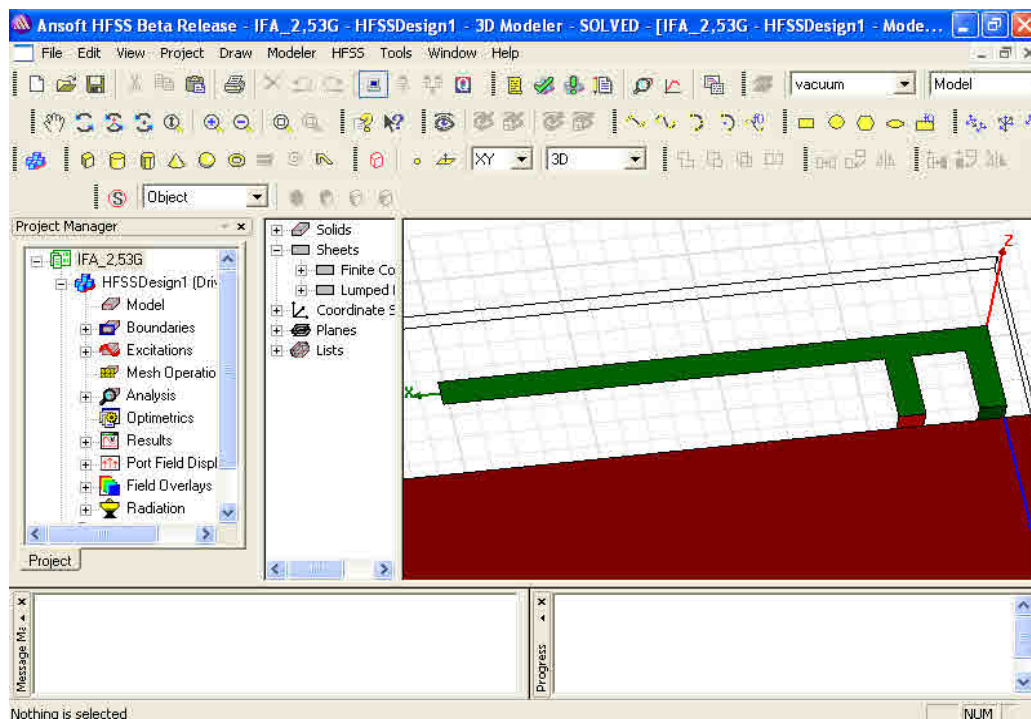


Figure 7. Fenêtre de HFSS

**Conclusion**

Dans ce chapitre, l'antenne IFA et ses différentes variantes ont été présentées et proposées comme des candidates dans les systèmes de communications mobiles, vu les caractéristiques intéressantes qu'elles présentent, en particulier l'opération multibande.

*Chapitre III :*

**Résultats et Discussions**

## Introduction

Dans ce chapitre, divers types d'antennes IFA à bande unique et à bande double seront étudiées. Les antennes étudiées sont utilisées dans les applications sans fil aux standards : GSM, GPRS, EDGE, UMTS, HSDPA, Bluetooth, ZigBee, WiFi, WiMax. Les paramètres caractéristiques de résonance et de rayonnement ont été estimés et optimisés par le logiciel à fin de correspondre aux bandes de fréquences des standards précédents.

### 1. Antenne IFA\_2.53GHz

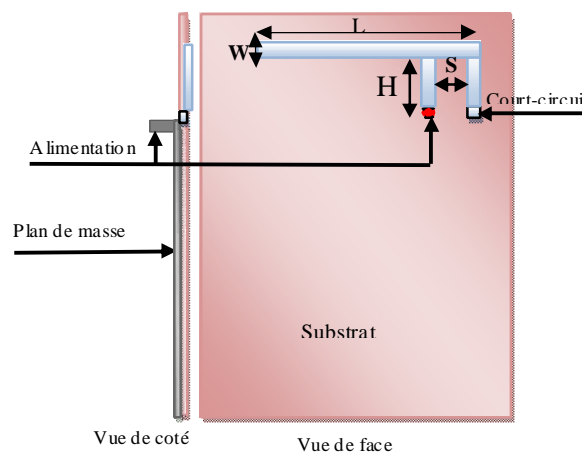
#### Conception

Diverses études paramétriques menées sur l'antenne IFA, ont permis de montrer que compte tenu de sa géométrie, il est impossible d'agir sur un seul paramètre à la fois sans que cela ne fasse varier les autres. Néanmoins, les paramètres prépondérants sont les suivants:

- La longueur  $L$ , la hauteur  $H$  et la largeur  $W$  du brin de l'antenne agissent de la même manière sur la fréquence de résonance: une augmentation de l'un de ces paramètres entraîne une diminution de celle-ci.

- L'écart  $S$  entre l'alimentation et le court-circuit quant à lui, agit directement sur l'adaptation de l'antenne. Cet écart peut donc être utilisé pour optimiser l'adaptation.

Les dimensions de l'antenne :  $L=20.4$  mm ( $\lambda/4$ ),  $W=1$  mm,  $H=3.6$  mm. Nous avons positionné l'antenne sur l'une des extrémités d'un plan de masse de dimensions  $88 \times 46$  mm<sup>2</sup>. L'antenne est imprimée sur un substrat de type époxy (FR4), d'épaisseur = 0.71 mm, de permittivité = 4.4 et de tangente de pertes 0.02. L'antenne est conçue pour fonctionner dans les bandes de fréquence utilisée par les réseaux locaux sans fil (WLAN) (bande ISM) [10].



**Figure 8.** Structure de l'antenne IFA\_2.53 GHz à bande unique.

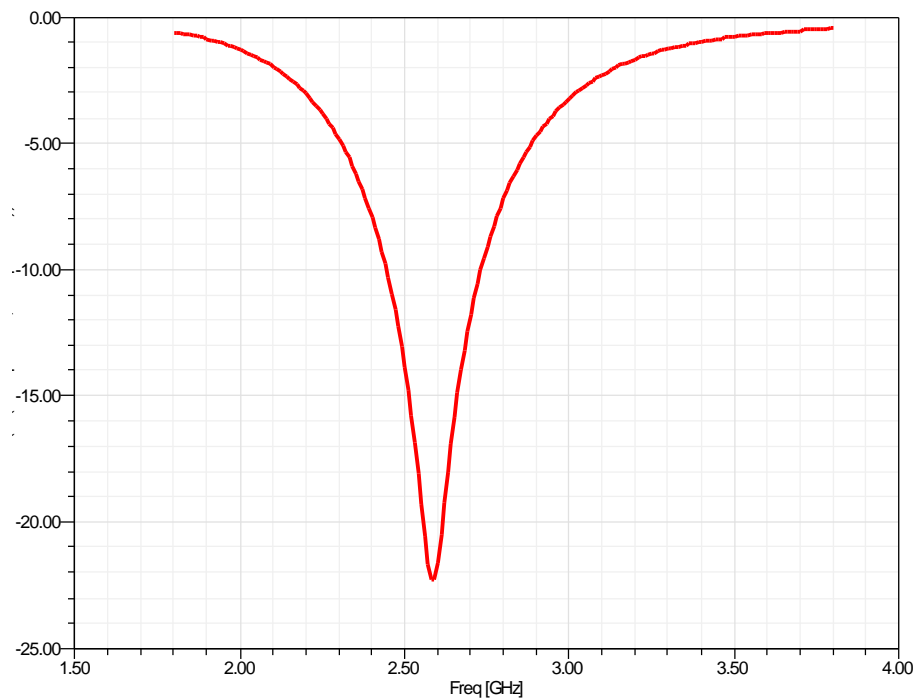
### Résultats de simulation

Les résultats de simulation par HFSS sont représentés dans les Figures suivantes.

#### ➤ Coefficient de réflexion en dB

En analysant le coefficient de réflexion de la Figure 9, on constate une résonance de l'antenne à la fréquence  $f_r = 2.58$  GHz avec une perte par retour RL inférieure à -22 dB.

Ce ci constitue un bon signe de performance d'une part, à cause de RL très faible et d'autre part on est très proche de la fréquence 2.53 GHz des WLANs.

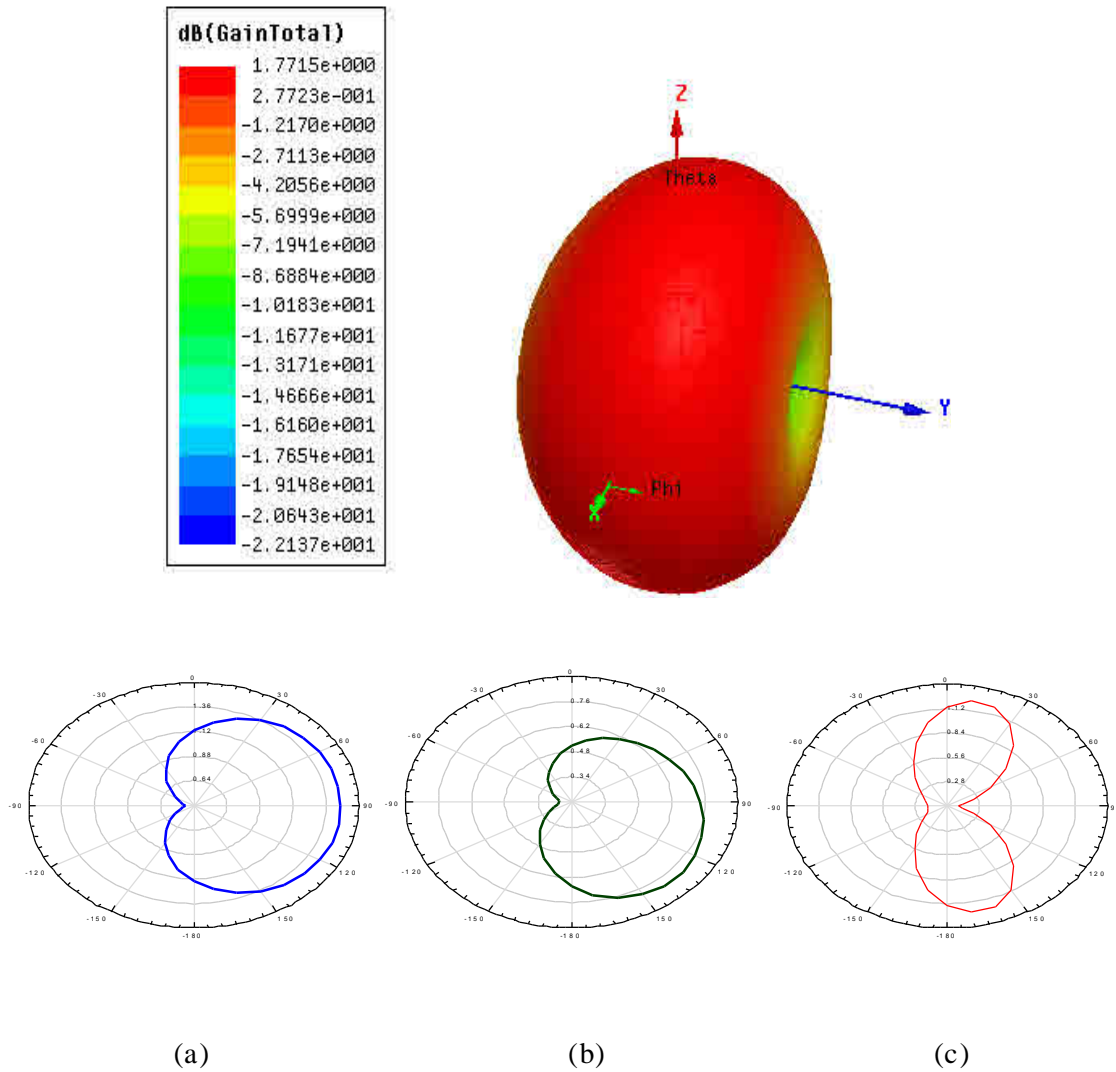


**Figure 9.** Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence

#### ➤ Gain total $G$ en dB

Le gain total de l'antenne en fonction des angles balayage  $\theta$  et  $\phi$  est représenté de l'antenne dans la Figure 10. Les diagrammes 2D polaires dans le plan horizontal (XOY), dans le plan E (XOZ) et dans le plan H (YOZ) sont représentés dans les Figures 10.a, b, c, respectivement.

Les diagrammes sont quasiment non directionnels sauf pour le premier et le dernier plan où on constate un zéro de rayonnement dans la direction longitudinale du brin principale (OY) c'est le plan qui fait face ou bord du PCB.



**Figure 10.** Diagramme polaire 3D (en fonction de  $\theta$  et  $\varnothing$ ) pour le Gain total G

- a) Diagramme polaire 2D dans le plan horizontal, b) Diagramme polaire 2D dans le plan E et
- c) Diagramme polaire 2D dans le plan H

➤ *Champ E, H et courant J surfacique*

La distribution des courants électriques surfacique est représentée dans la Figure 11. On constate bien que l’amplitude du courant est presque maximale au point d’excitation et nulle au segment de contact entre le brin et le plan de masse (court-circuit de la Figure 11). Aussi, la distribution des courants est quasiment uniforme le long du brin principal (ayant la longueur la plus grande) avec une variation sur les extrémités.



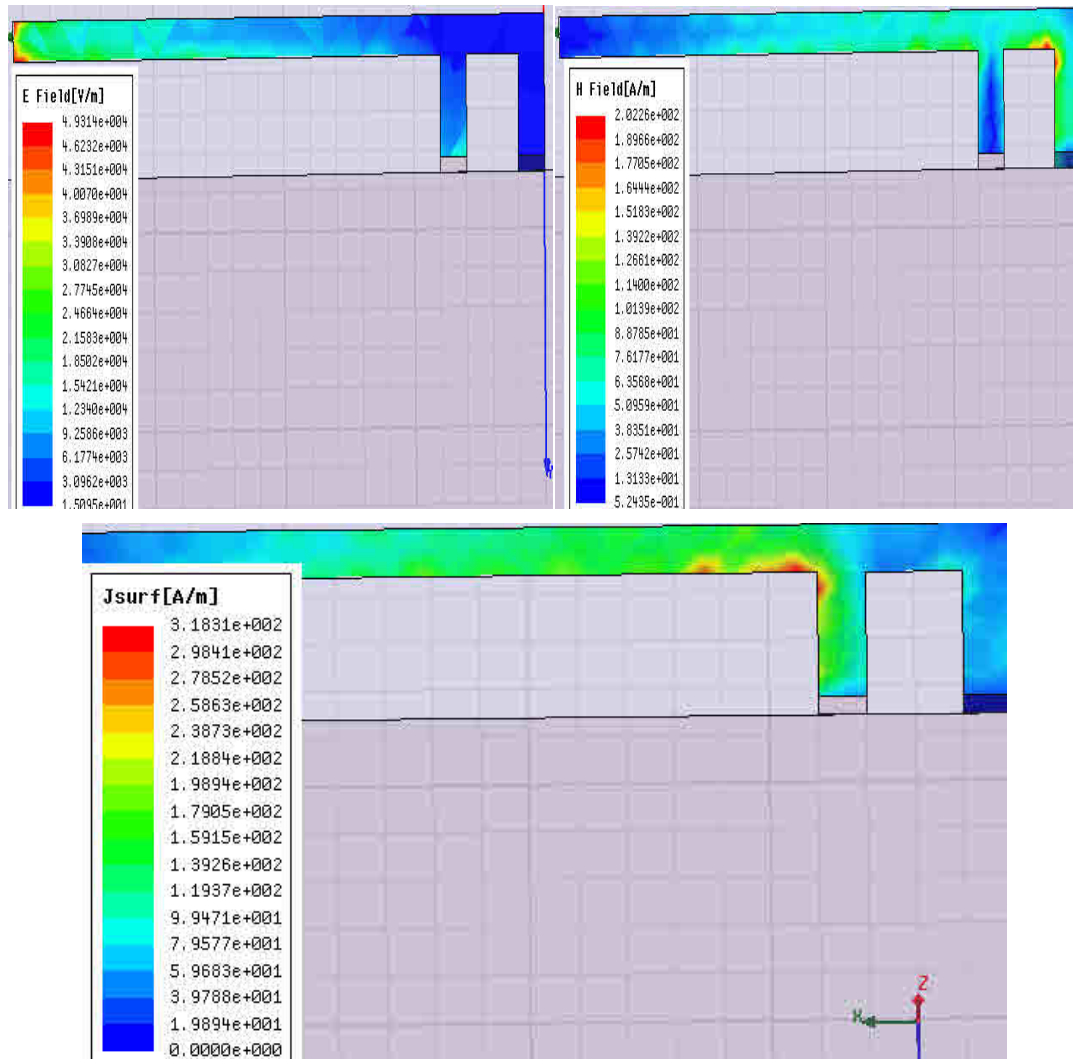


Figure 11. Distributions du Champ E, H et J surfacique

➤ Impédance Z

La Figure 12 représente l'impédance d'entrée (partie réelle  $R_{in}$  et imaginaire  $X_{in}$ ) de l'antenne IFA. A la fréquence 2.58 GHz, la valeur de  $R_{in}$  est environ  $46.38 \Omega$  ce qui rend l'antenne facile à adapter au système  $50\Omega$ .

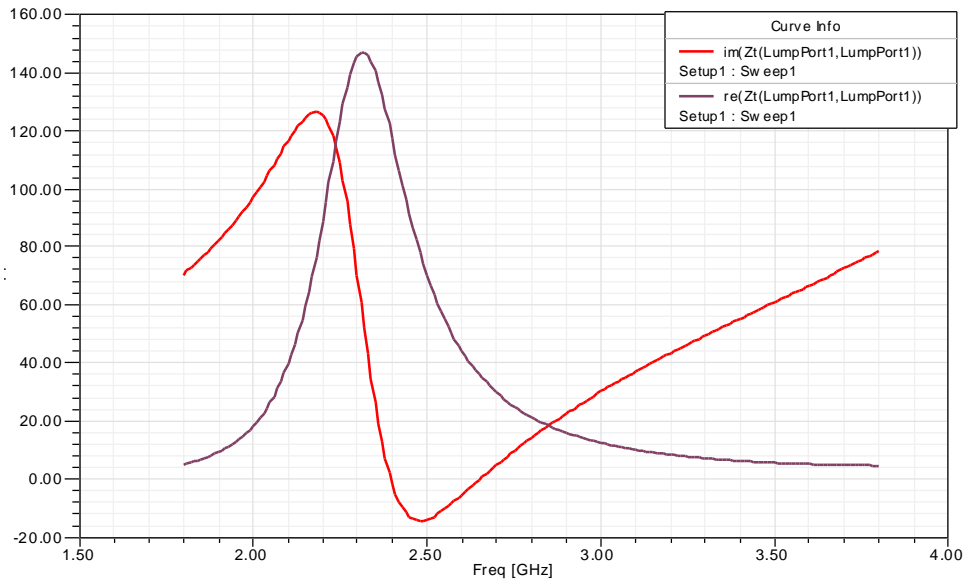


Figure 12. Impédance d’entrée  $Z_{in}$  de l’antenne en fonction de la fréquence

➤ VSWR

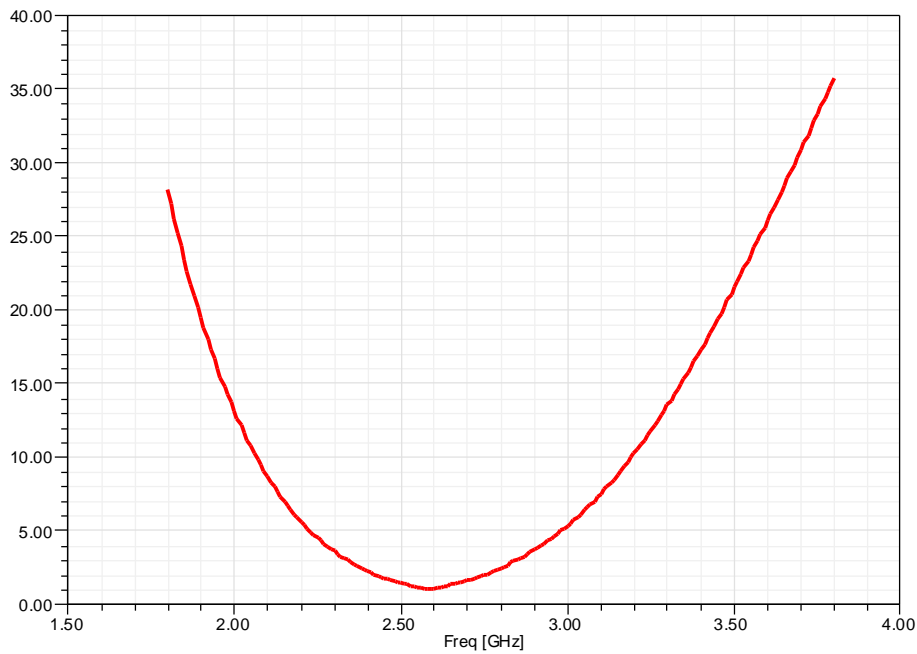


Figure 13. Rapport d’onde stationnaire

La bande passante de l’antenne est :

$$= 100|2.7255-2.4395|/2.58 \Leftrightarrow BP=11.08$$

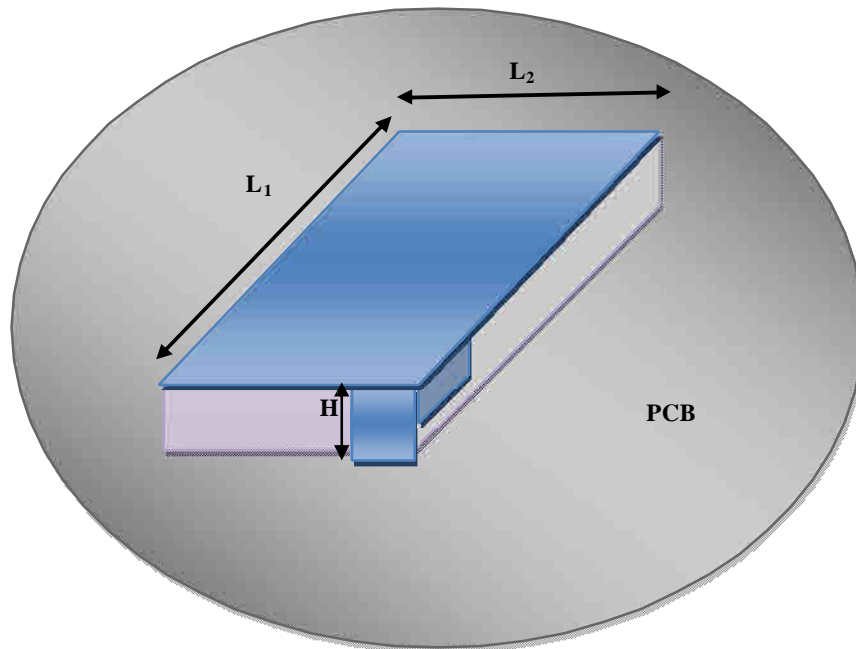
Ou  $f_s$  et  $f_r$  les fréquences supérieur et inférieur pour lesquelles  $|S_{11}| = -10$  dB. En général, cette valeur est acceptable pour les antennes planaires qui souffrent de l’inconvénient d’une bande passante étroite.

## 2. Antenne PIFA\_920 Mhz

### Conception

L'antenne PIFA dans sa configuration de base, est constituée d'un élément rayonnant rectangulaire placé au dessus d'un plan de masse et court-circuité sur son côté de plus faible longueur.

Les dimensions d'antenne :  $L_1 = 44.4\text{mm}$ ,  $L_2 = 30\text{mm}$  et Le substrat de FR4 et  $H=7\text{mm}$  [12].



**Figure 14.** Structure de l'antenne PIFA\_0.89 GHz à bande unique.

### Résultats de simulation

Les résultats de simulation HFSS sont représentés dans les figures suivantes.

➤ *Coefficient de réflexion en dB*

En analysant le coefficient de réflexion de la Figure 15, on constate une résonance de l'antenne à la fréquence  $f_r = 0.89\text{ GHz}$  avec une perte par retour RL inférieure à -9 dB.

La fréquence de résonance est très proche de la fréquence 0.92 GHz des bandes GSM 900.

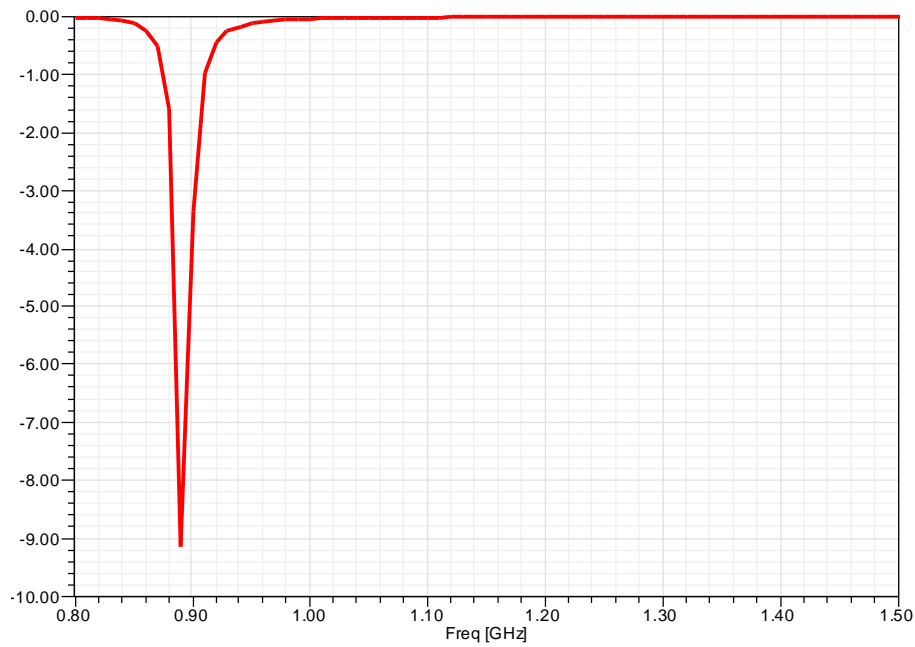
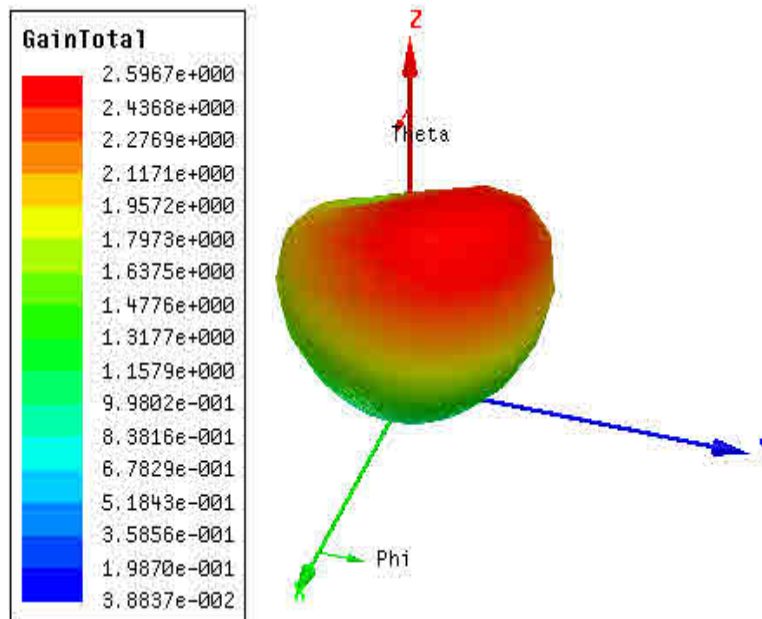
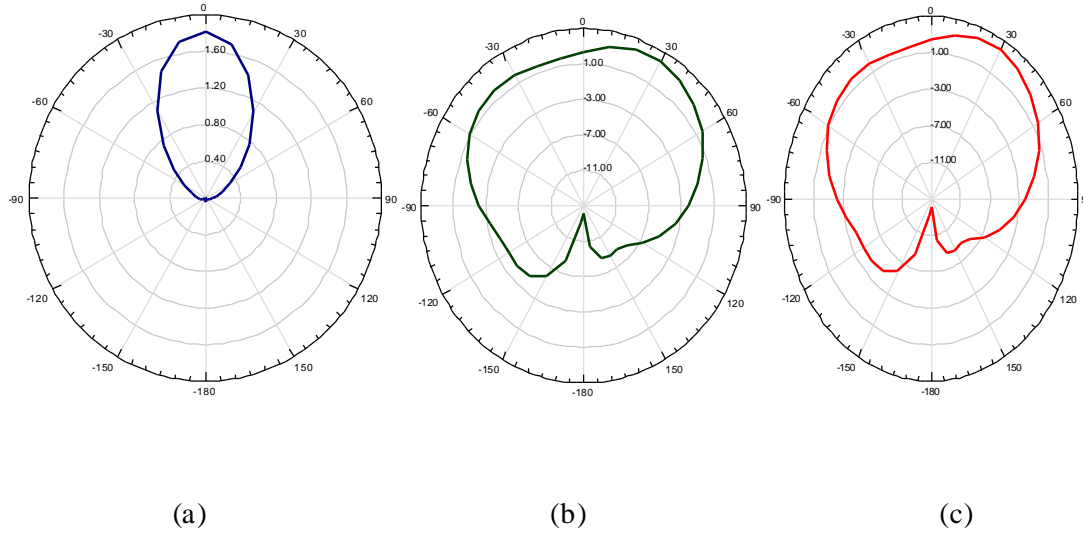


Figure 15. Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence

➤ Gain total en dB

Le gain total de l'antenne en fonction des angles balayage  $\theta$  et  $\phi$  est représenté de l'antenne dans la Figure 16. Les diagrammes 2D polaires dans le plan horizontal (XOY), dans le plan E (XOZ) et dans le plan H (YOZ) sont représentés dans les Figures 10.a, b, c, respectivement.



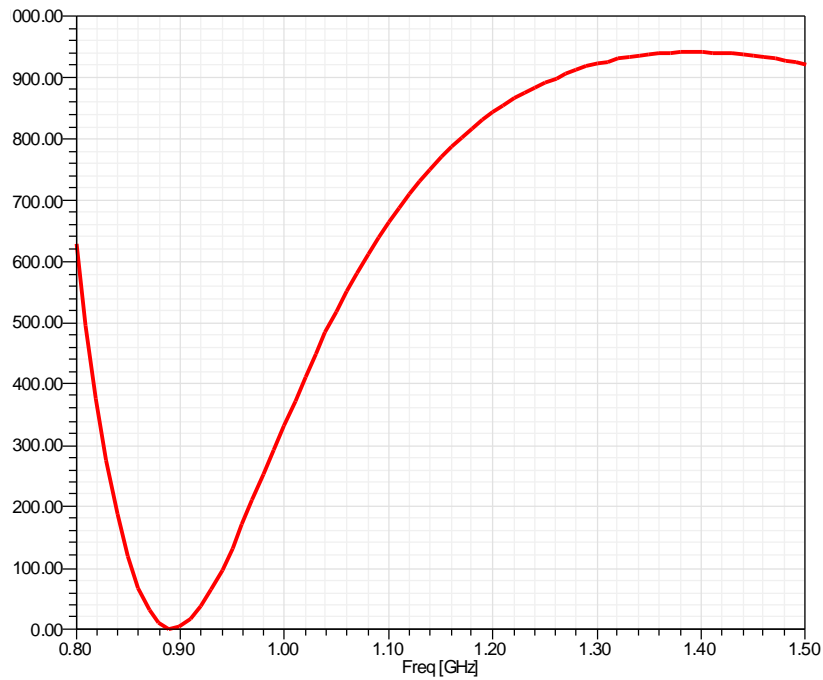


**Figure 16.** Diagramme polaire 3D (en fonction de  $\theta$  et  $\varphi$ ) pour le Gain total  $G_{dB}$

a) Diagramme polaire 2D dans le plan horizontal, b) Diagramme polaire 2D dans le plan E et

c) Diagramme polaire 2D dans le plan H

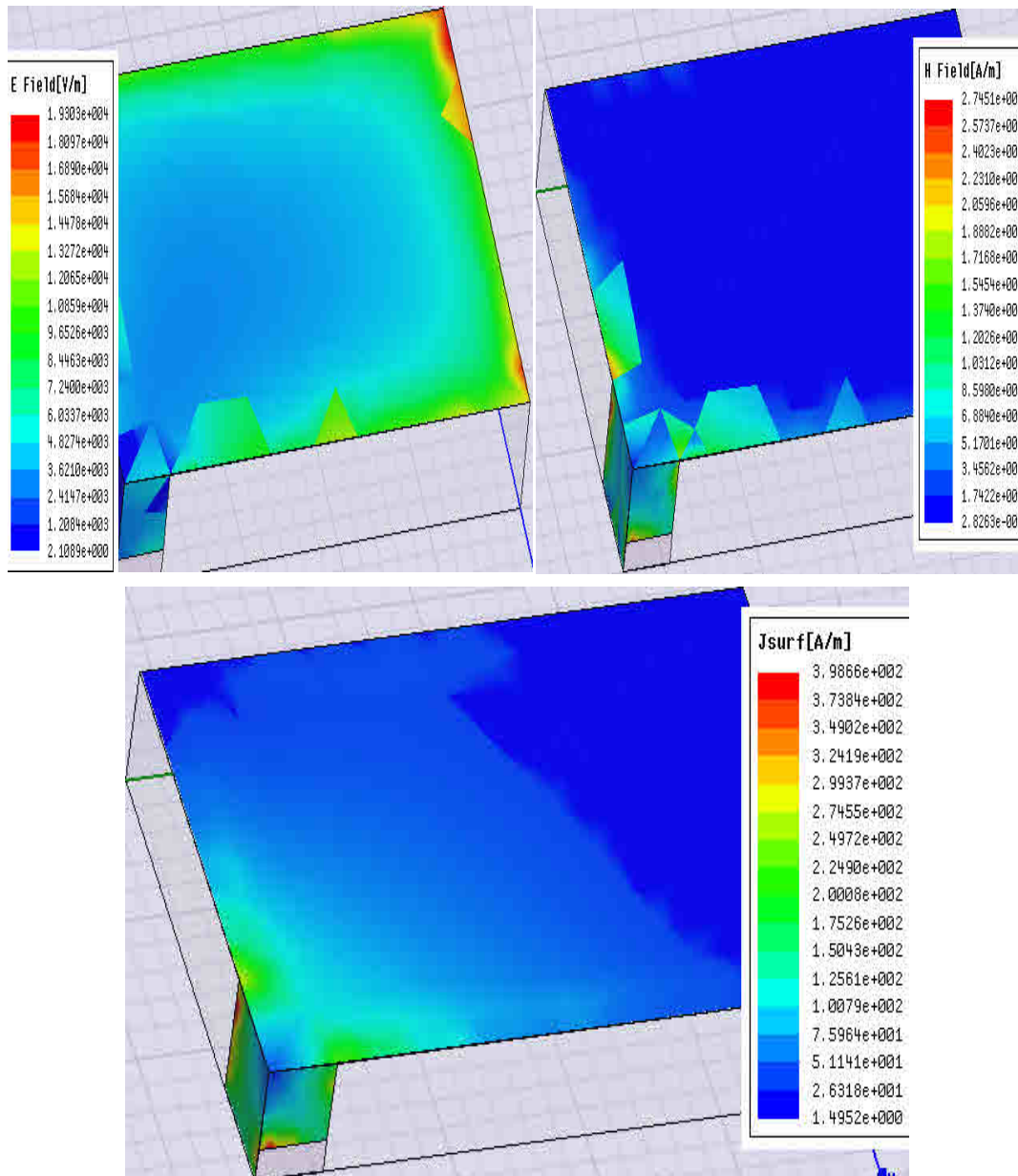
➤ VSWR



**Figure17.** Rapport d'onde stationnaire en fonction de la fréquence.

➤ *Champ E, H et courant J surfacique*

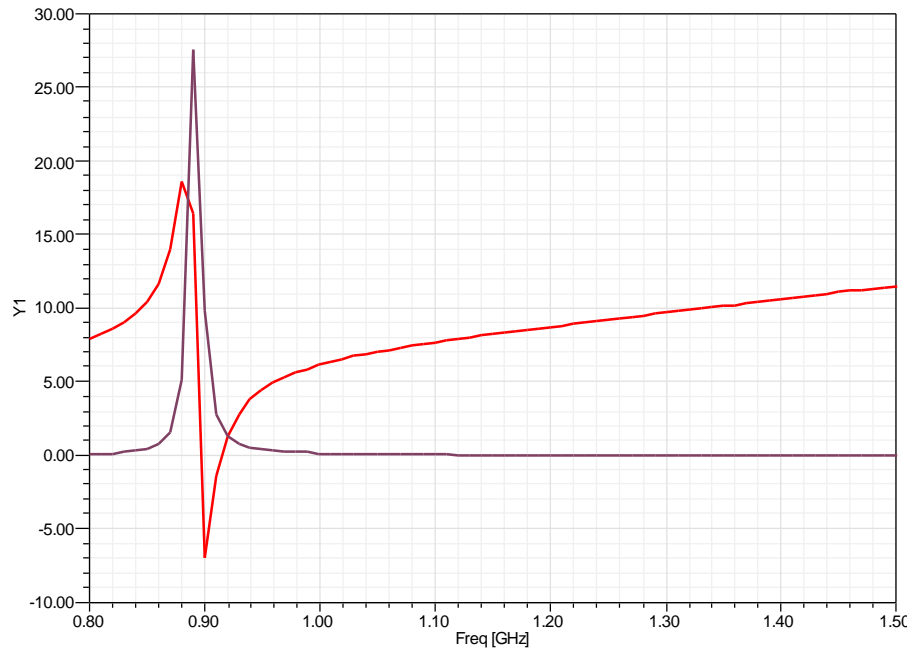
La distribution de champ électrique est représenté dans la Figure 18, on constate bien que l'amplitude est maximale aux les extrémités du patch et nulle au milieu et le point de court circuit, et l'inverse pour le champ magnétique c à d le maximal proche au point d'excitation. Pour la distribution du courant, on constate bien que l'amplitude du courant est presque maximale au point d'excitation.



**Figure18.** Distribution du Champ E.H et J surfacique

➤ Impédance  $Z$

La Figure 19 représente l'impédance d'entrée (partie réelle  $R_{in}$  et imaginaire  $X_{in}$ ) de l'antenne IFA. A la fréquence 0.89 GHz, la valeur de  $R_{in}$  est environ  $28\Omega$  et la valeur de  $X_{in}$  est environ  $19\Omega$ .



**Figure 19.** Impédance d'entrée  $Z_{in}$  en fonction de la fréquence

La bande passante de l'antenne est très étroite. Les autres paramètres de l'antenne estimés à la fréquence de résonance  $f_r = 0.89$  GHz sont reportés ainsi :

- Intensité de rayonnement :  $U=0.181$  w/sr
- Directivité :  $D=2.943$
- Rendement :  $\eta=G/D \Leftrightarrow \eta = 88.2$

➤ Erreur de simulation :  $\varepsilon_r=3.26$

**Validation**

L'erreur dans la fréquence entre nos valeurs simulées et ce de [12] et de 3.26 ce qui donne une confiance dans notre approche de simulation.

### 3. Antenne PIFA duelle bande (J slot) 1.8 GHz, 2.45 GHz

#### Conception

Un exemple typique de conception pour une antenne PIFA a fonctionné aux deux bandes de 1.8 et 2.45 GHz. Entre l'élément de rayonnement et le plan de masse est un substrat d'air d'épaisseur 9.6 mm. L'élément de rayonnement à des dimensions  $36 \times 16 \text{ mm}^2$ , une fente en forme de J de largeur 1mm et la longueur totale 40mm est coupée dans L'élément de rayonnement pour réaliser une bande additionnelle d'opération à 2.45GHz de bande [ISM] ; la bande inférieure d'opération à 1.8 GHz est principalement commandée par les dimensions du patch [13].

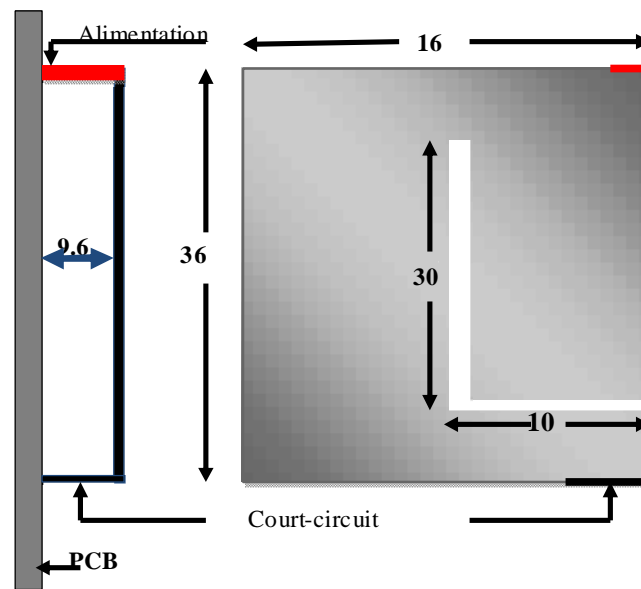


Figure 20. Structure de l'antenne PIFA\_0.98 GHz à duelle bande

#### Résultats de simulation

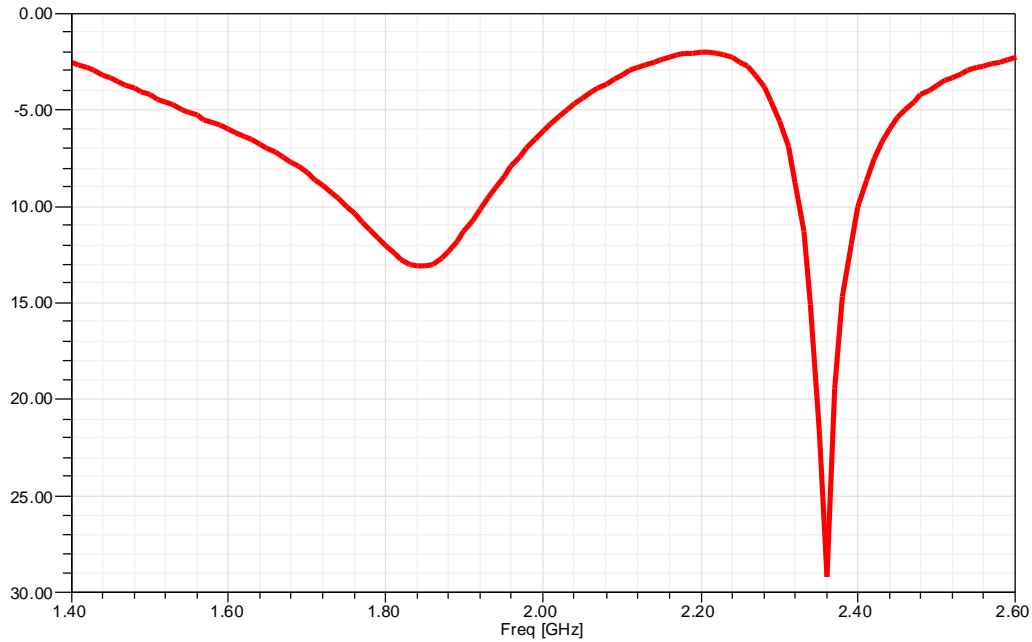
Les résultats de simulation HFSS sont représentés dans les Figures suivantes.

##### ➤ Coefficient de réflexion en dB

En analysant le coefficient de réflexion de la Figure 21, on constate deux résonances de l'antenne à la fréquence  $f_{r1} = 1.84 \text{ GHz}$  avec une perte par retour RL inférieure à -13 dB et  $f_{r2} = 2.36 \text{ GHz}$  avec une perte par retour RL inférieure à -29 dB.

Ce ci constitue un bon signe de performance d'une part, à cause de RL très faible et d'autre part on est très proche des fréquences 1.8 GHz de DCS et 2.45 GHz des WLANs.

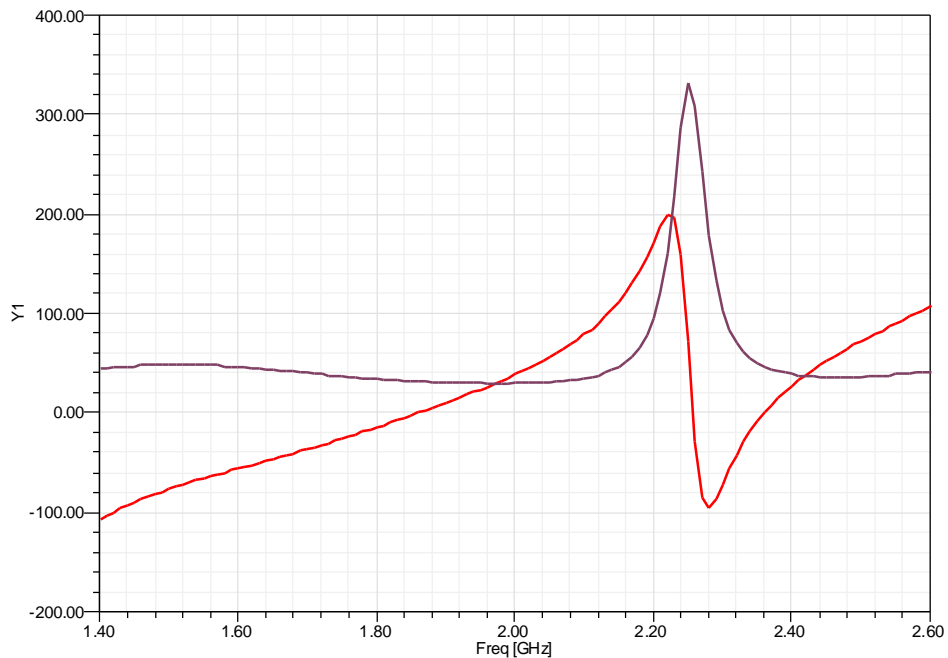




**Figure 21.** Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence

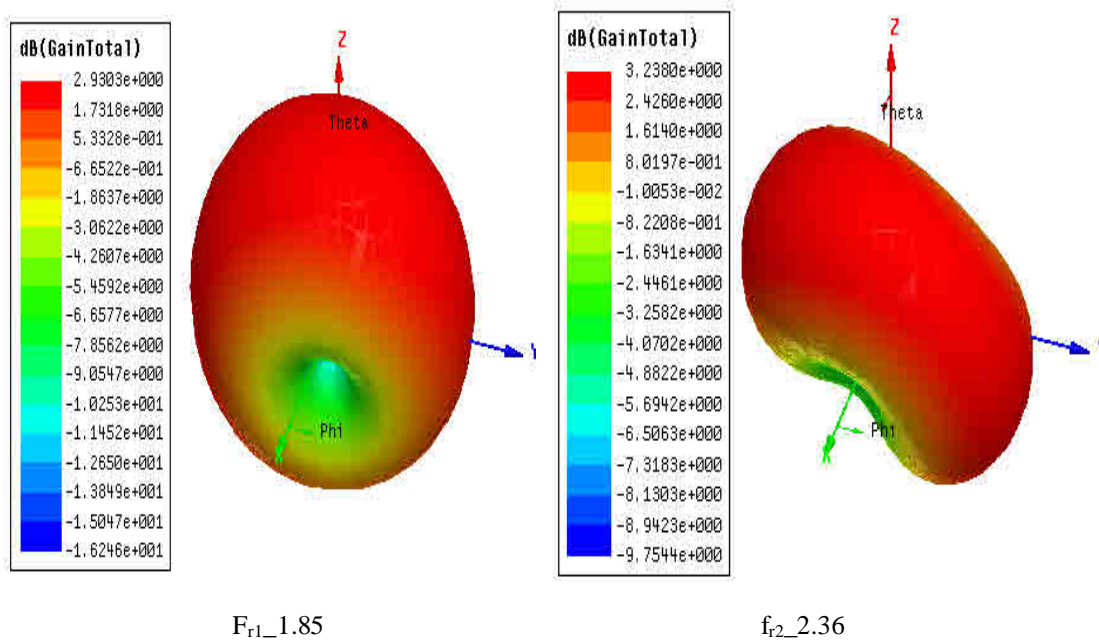
➤ *Impédance Z*

La Figure 22 représente l'impédance d'entrée (partie réelle  $R_{in}$  et imaginaire  $X_{in}$ ) de l'antenne PIFA. a la fréquence  $f_{r1}=1.84$  GHz la valeur de  $R_{in}$  est environ  $33 \Omega$  et a la fréquence  $f_{r2} = 2.36$  GHz la valeur de  $R_{in}$  est environ  $48\Omega$ . Ce qui rend l'antenne facile à adapter au système  $50\Omega$ .



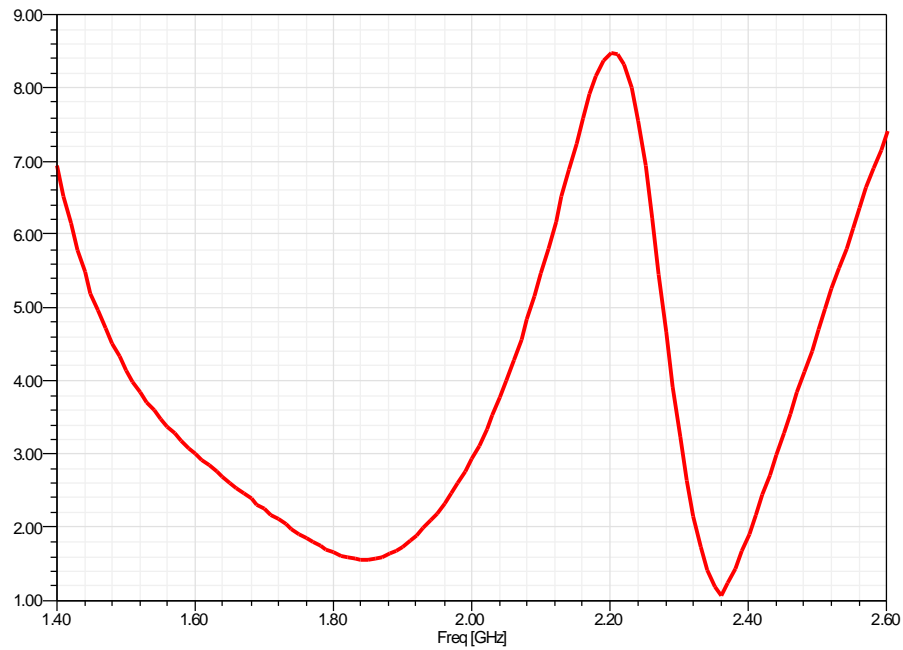
**Figure22.** Impédance d'entrée  $Z_{in}$  en fonction de la fréquence

➤ Gain

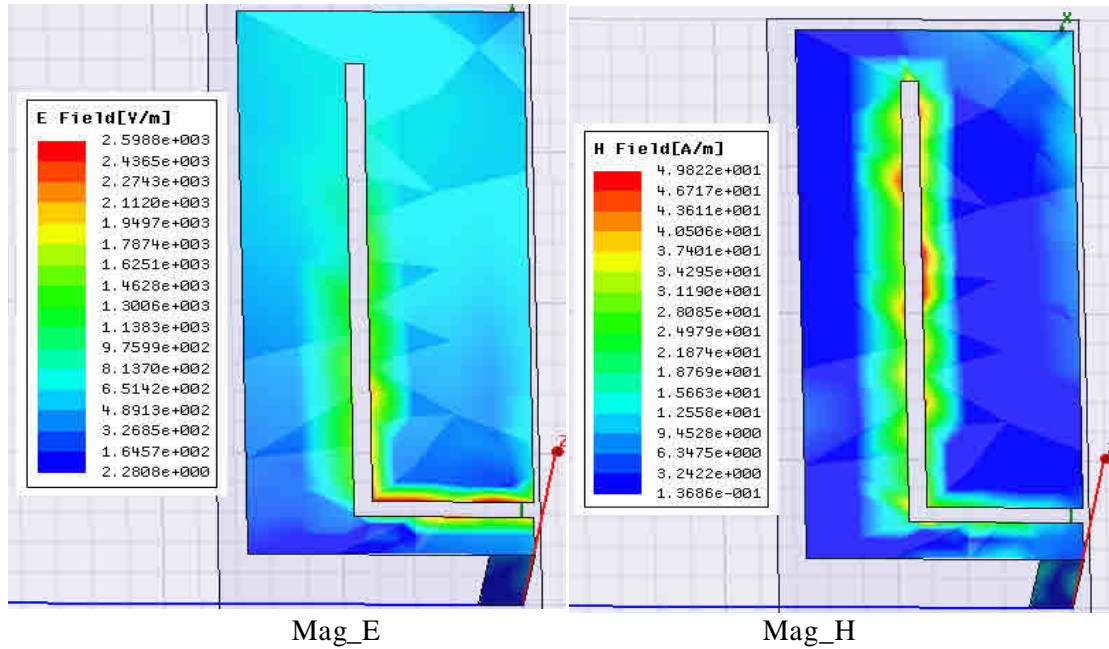


**Figure 23.** Diagramme polaire 3D (en fonction de  $\theta$  et  $\phi$ ) pour le Gain total G de deux points de résonance

➤ VSWR



**Figure 24.** Rapport d'onde stationnaire

➤ *Champ E et H*

**Figure 25.** Distribution du Champ E, H

La bande passante de l'antenne de la première résonance est  $BP = 9.35$  et de la deuxième résonance est  $BP = 3.28$  (*très étroite*). Ces valeurs sont acceptable pour les antennes planaires qui souffrent de l'inconvénient d'une bande passante étroite.

Les autres paramètres de l'antenne estimés à les deux fréquences de résonance  $f_{r1} = 1.85\text{GHz}$  et  $f_{r2} = 2.36\text{GHz}$  sont reportés ainsi :

- Intensité de rayonnement :  $F_{r1} : U_1 = 0.1486\text{W/sr}$  et  $F_{r2} : U_2 = 0.163\text{W/sr}$
- Directivité :  $F_r : D_1 = 1.9739$  et  $F_{r2} : D_2 = 2.0737$
- Rendement :  $F_{r1} : \eta_1 = 99.47$  et  $F_{r2} : \eta_2 = 98.9$

➤ *Erreur de simulation* :  $\epsilon_{r1} = 2.77$  et  $\epsilon_{r2} = 3.67$

### **Validation**

L'erreur dans la fréquence entre nos valeurs simulées et ce de [13] et de 2.77 pour la première résonance et 3.67 pour la deuxième résonance, ce qui donne une confiance dans notre approche de simulation.

#### 4. Antenne PIFA a dual bande (U slot) 920Mhz, 1.775Ghz

##### Conception

Pour une antenne F inversée, toute la longueur de l'antenne devrait être proche d'une quart-longueur d'onde. Dans notre cas, les deux fréquences centrales sont : 920 Mhz ( $\lambda = 326$  mm) et 1755 Mhz ( $\lambda = 171$  mm), nous devons donc créer deux chemins résonnants sur l'antenne : on est au sujet de  $L_1 = 81.5$  mm et l'autre est approximativement  $L_2 = 42.7$  mm. Ainsi, nous utilisons une PIFA des dimensions  $40 \times 22\text{mm}^2$ , avec une fente pour créer deux chemins courants qui sont proches de  $L_1$  et de  $L_2$  respectivement. La conception initiale détaillée est donnée dans la Figure 39. Le substrat d'air de hauteur 8 mm et La taille de plan de masse est de  $40 \times 100\text{mm}^2$  [14].

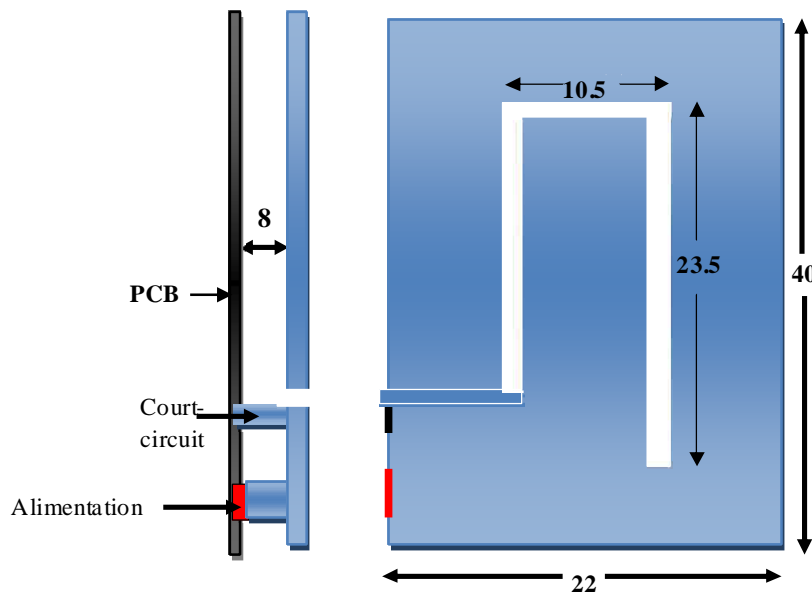


Figure 26. Structure de l'antenne PIFA à deux bandes

##### Résultats de simulation

###### ➤ Coefficient de réflexion en dB

En analysant le coefficient de réflexion de la figure 27, on constate deux résonances de l'antenne aux deux fréquences  $f_{r1} = 0.91\text{GHz}$  et  $f_{r2} = 1.77\text{ GHz}$  avec des pertes par  $RL_1 = -11$  dB et  $RL_2 = -21$  dB respectivement.

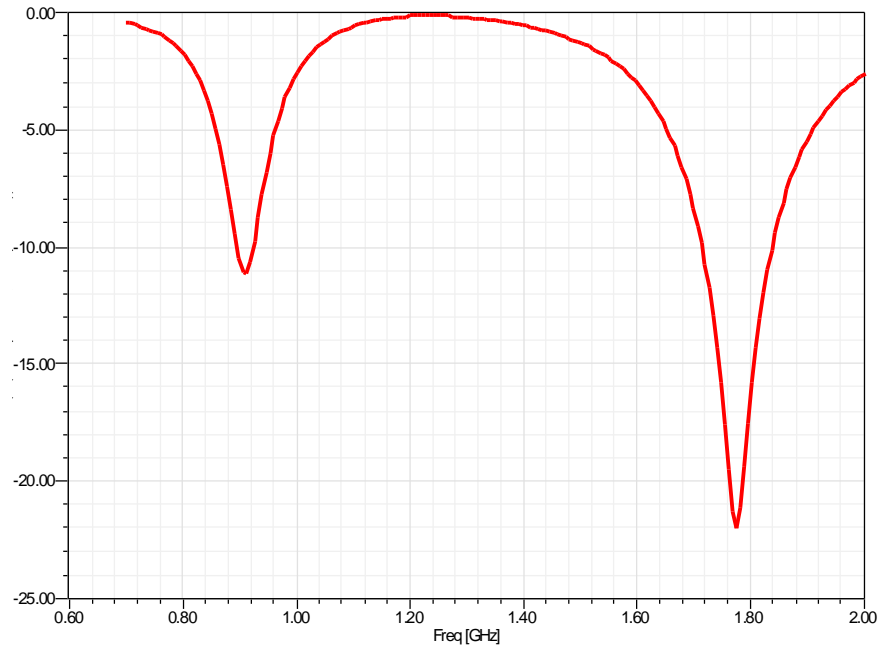


Figure 27. Coefficient de réflexion  $S_{11}$  en fonction de la fréquence

➤ Gain total

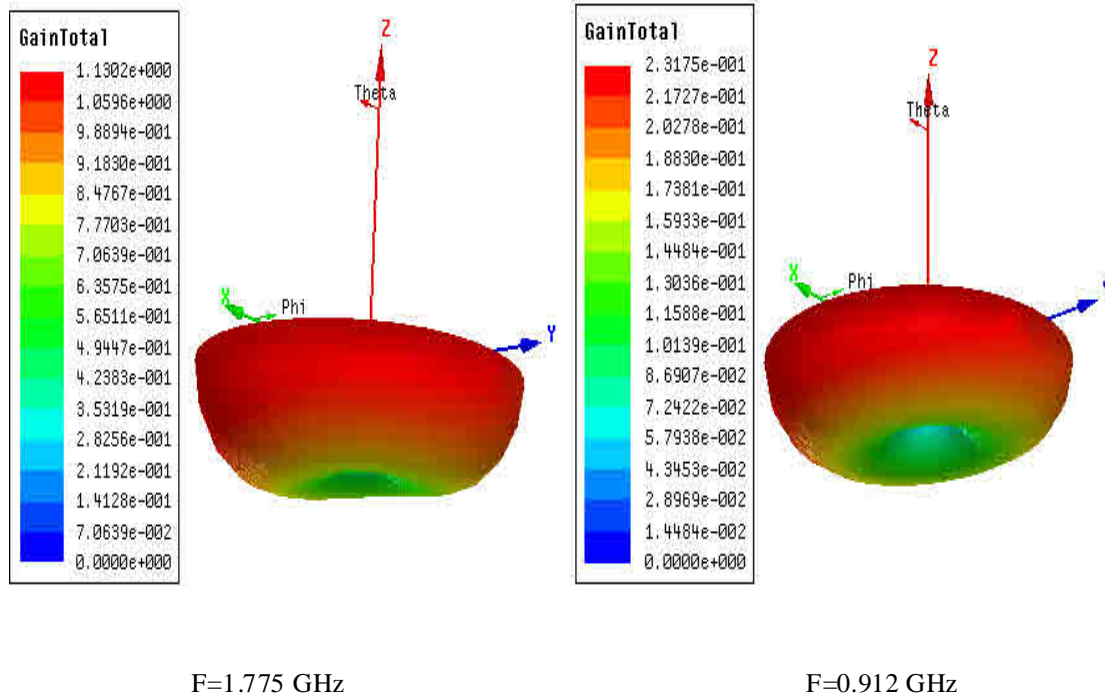
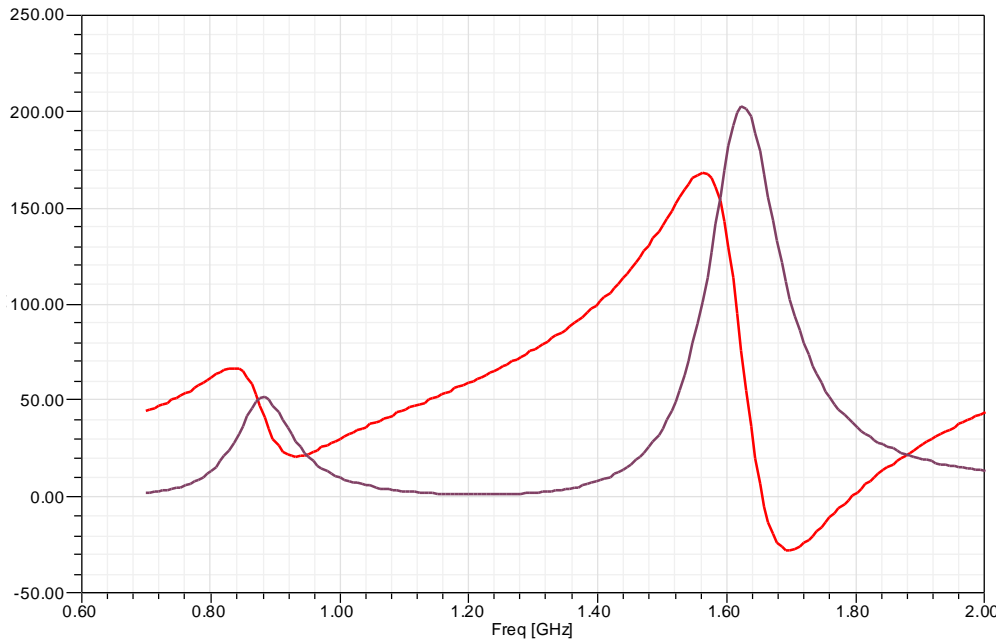


Figure 28. Diagramme polaire 3D (en fonction de  $\theta$  et  $\phi$ ) pour le Gain total G de deux points de résonances

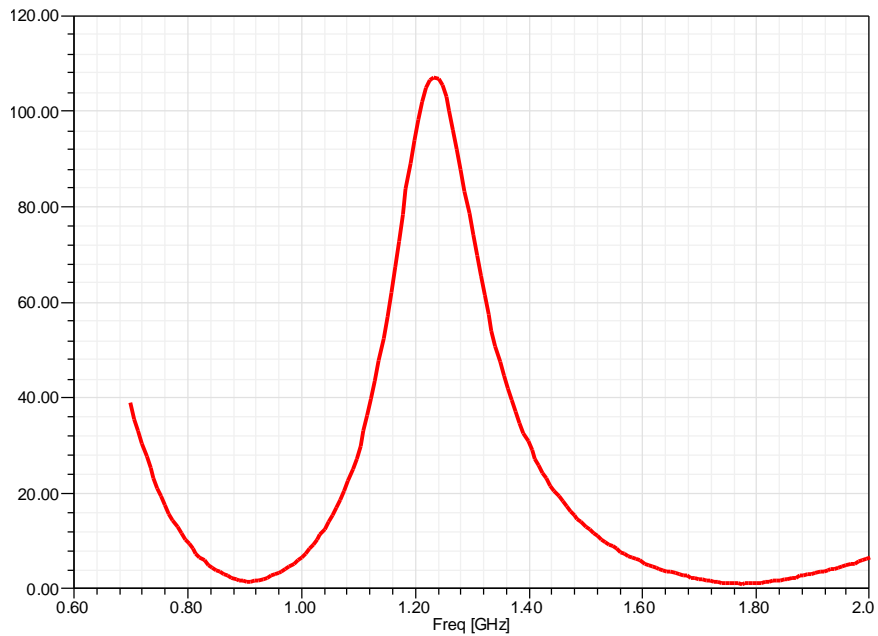
➤ Impédance  $Z$

La Figure 29 représente l'impédance d'entrée (partie réelle  $R_{in}$  et imaginaire  $X_{in}$ ) de l'antenne PIFA a duelle bande. A la fréquence  $f_{r1} = 0.912$  GHz la valeur de  $R_{in}$  est environ  $40 \Omega$  et a la fréquence  $f_{r2} = 1.774$  GHz la valeur de  $R_{in}$  est environ  $45 \Omega$ . Ce qui rend l'antenne facile à adapter au système  $50 \Omega$ .



**Figure 29.** Impédance d'entrée  $Z_{in}$  en fonction de la fréquence

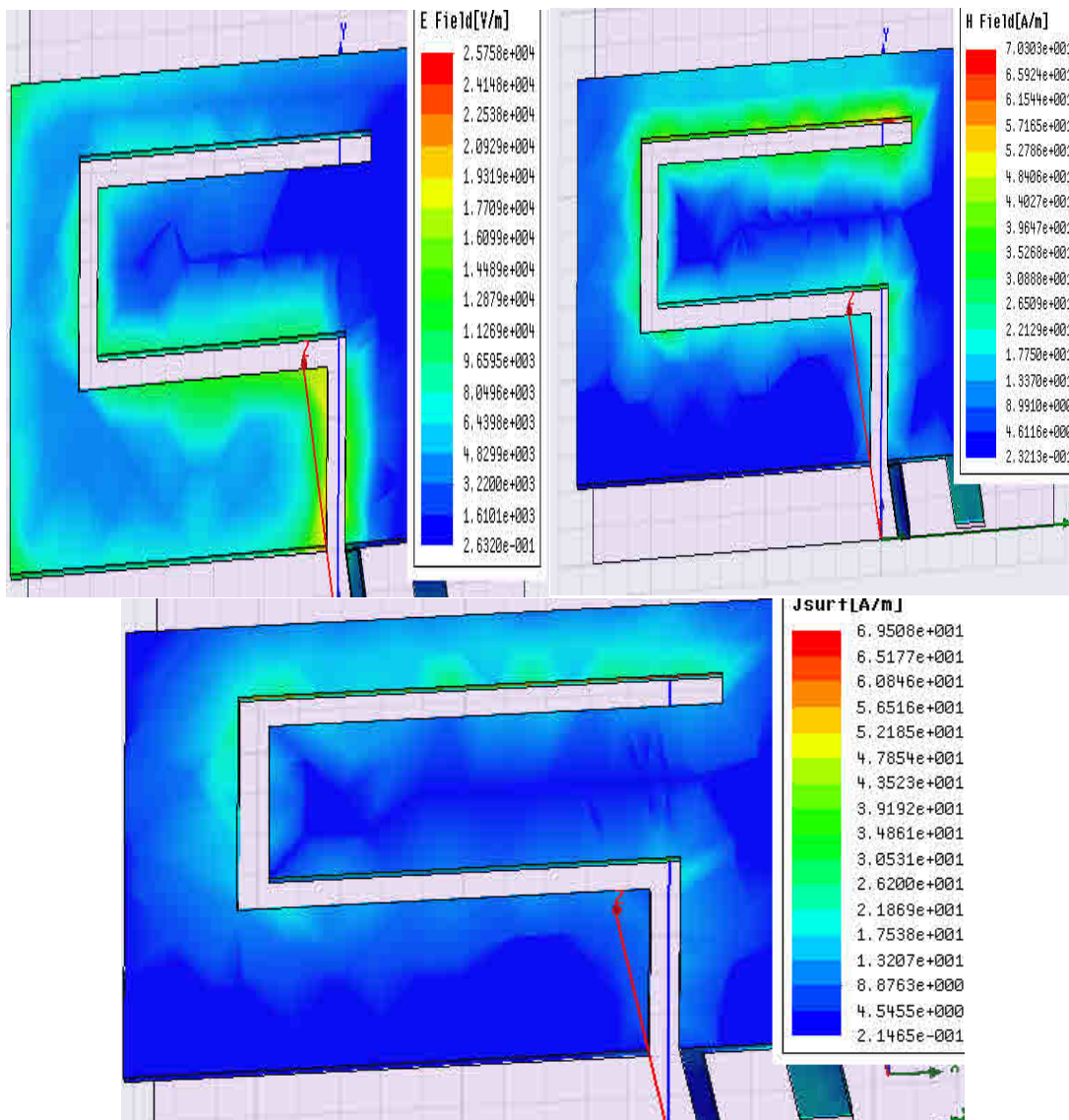
➤ VSWR



**Figure 30.** Rapport d'onde stationnaire en fonction de la fréquence

➤ *Champ E, H et J surfacique*

En analysant la distribution des champs électrique, magnétique et le courant surfacique sont représentées dans la figure 31. On constate bien que l'amplitude du champ E est presque maximale à porche de point de court-circuit et l'extrémité de la fente U, et l'inverse pour le court J est presque maximale au point d'excitation et nulle au point de court-circuit.



**Figure 31.** Distribution du Champ E, H et J surfacique

La bande passante de l'antenne de la fréquence  $F_{r2} = 1.774$  est  $BP = 7$  et de la deuxième résonance est très étroite. Ces valeurs sont acceptables pour les antennes planaires qui souffrent de l'inconvénient d'une bande passante étroite.

Les autres paramètres de l'antenne estimés à les deux fréquences de résonance  $f_{r1} = 0.91\text{GHz}$  et  $f_{r2} = 1.77\text{ GHz}$  sont reportés ainsi :

- Intensité de rayonnement :  $F_{r1} : U_1 = 0.017\text{ W/sr}$  et  $F_{r2} : U_2 = 0.089\text{ W/sr}$
- Directivité :  $F_{r1} : D_1 = 0.2344$  et  $F_{r2} : D_2 = 1.1201$
- Rendement :  $F_{r1} : \eta_1 = 98.76$  et  $F_{r2} : \eta_2 = 91.06$

➤ Erreur de simulation :  $\varepsilon_{r1} = 0.86$  et  $\varepsilon_{r2} = 1.08$

### Validation

L'erreur dans la fréquence entre nos valeurs simulées et ce de [13] et de 0.86 pour la première résonance et 1.08 pour la deuxième résonance, ce qui donne une confiance dans notre approche de simulation.

## 5. Antenne IFA intégré dual bande

### Conception

L'antenne comporte deux lignes inversées-f empilées en métal, qui sont court-circuitées à plan de masse imprimé de l'autre côté du substrat. Les deux lignes court-circuitées toutes les deux en métal sont conçues pour fonctionner en tant que structures quart de longueur d'onde. La conception à deux bandes de base est présentée. Avec 28 mm par 7 mm, l'antenne est compacte [6].

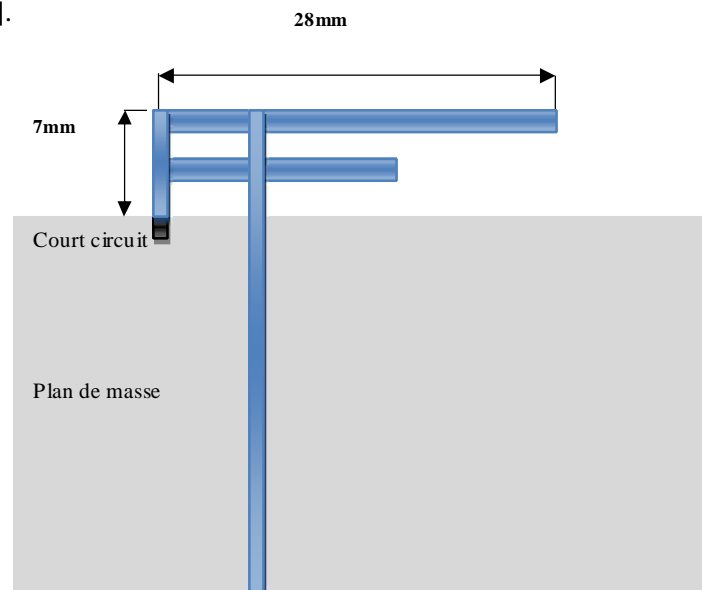


Figure 32. Structure de l'antenne IIFA à duelle bande

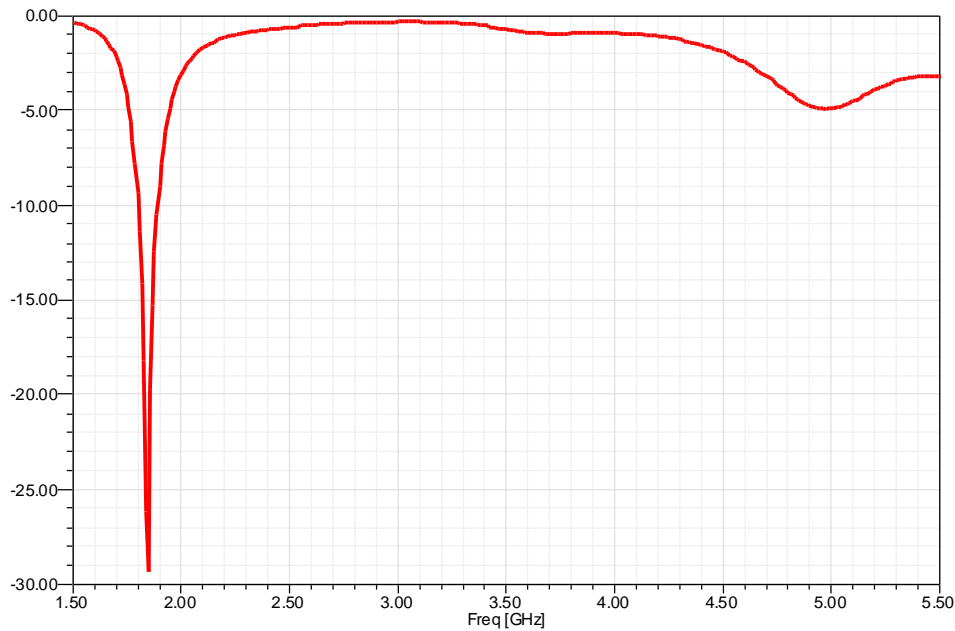


**Résultats de simulation**

Les résultats de simulation par HFSS sont représentés dans les Figures suivantes.

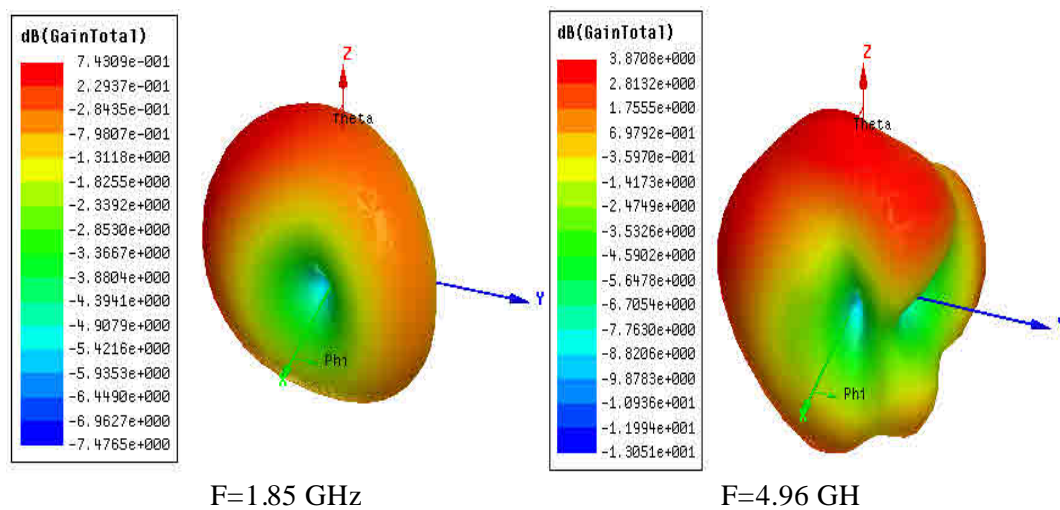
➤ *Coefficient de réflexion en dB*

En analysant le coefficient de réflexion de la figure 33, on constate que une résonance de l'antenne à deux fréquences  $f_{r1} = 1.85\text{GHz}$  avec une perte par retour RL inférieur à  $-29\text{dB}$ , et  $f_{r2} = 4.19\text{GHz}$  avec une perte par retour RL inférieur à  $-5\text{dB}$ .



**Figure 33.** Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence

➤ *Gain*



**Figure 34.** Diagramme polaire 3D (en fonction de  $\theta$  et  $\phi$ ) pour le Gain total G a deux points de résonance.

➤ Impédance  $Z$ 

La figure 35 représente l'impédance d'entrée (partie réelle  $R_{in}$  et imaginaire  $X_{in}$ ) de l'antenne IIFA à deux bandes. A la fréquence  $f_{r1}$  la valeur de  $R_{in}$  est environ  $52 \Omega$  et  $f_{r2}$  la valeur de  $R_{in}$  est environ  $14.6 \Omega$ .

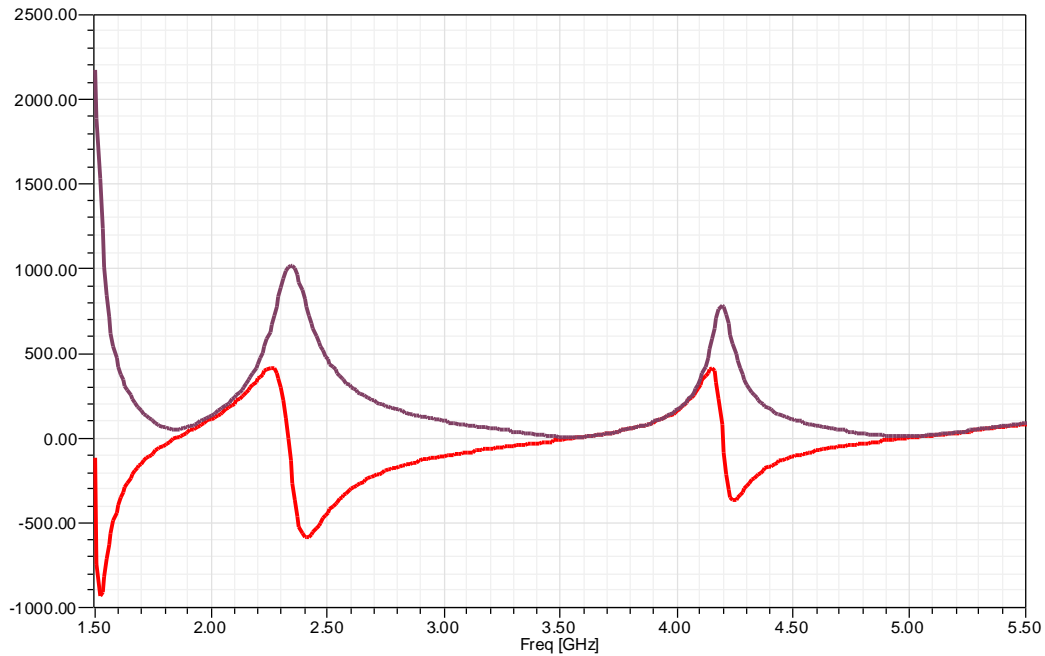


Figure 35. Impédance d'entrée  $Z_{in}$  en fonction de la fréquence

## ➤ VSWR

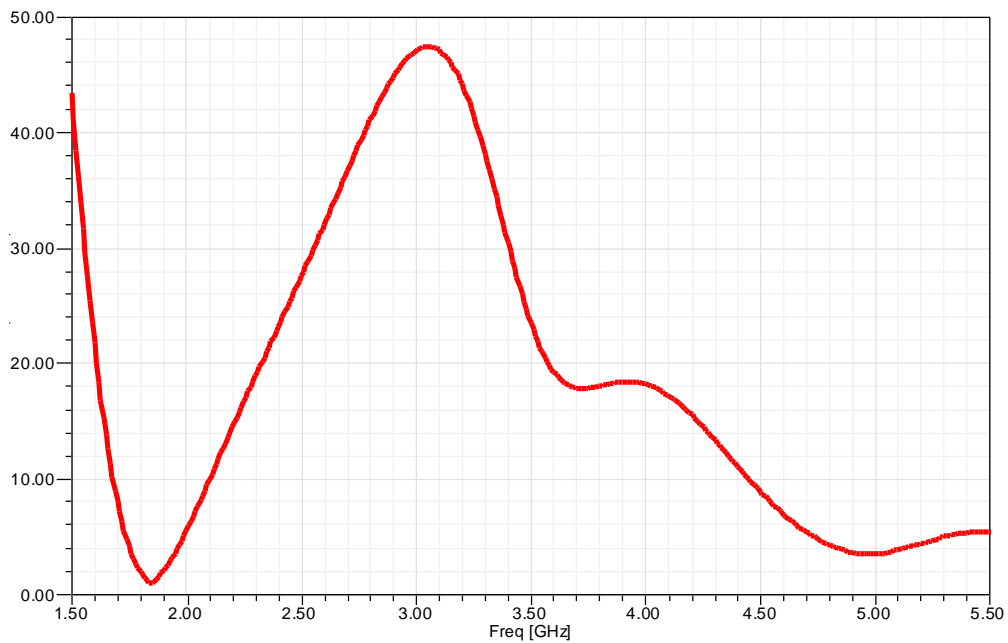
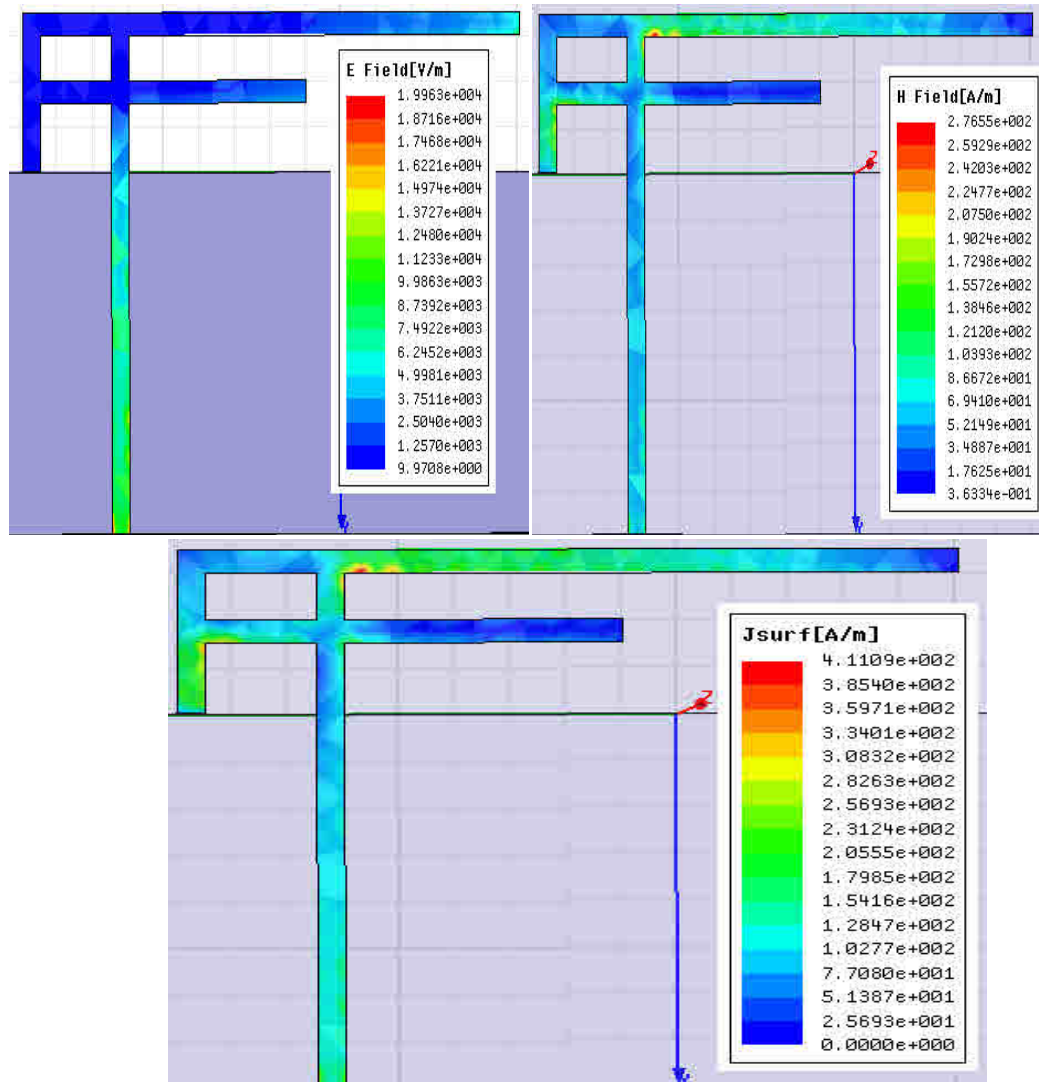


Figure 36. Rapport d'onde stationnaire

➤ *Champ E, H et J surfacique*



**Figure 37.** Distribution de Champ E, H et J surf

La bande passante de l'antenne des deux résonances est très étroite.

Les autres paramètres de l'antenne estimés à les deux fréquences de résonance  $f_{r1} = 1.85\text{GHz}$  et  $f_{r2} = 4.96\text{ GHz}$  sont reportés ainsi :

- Intensité de rayonnement :  $F_{r1} : U = 0.086\text{W/sr}$  et  $F_{r2} : U = 0.0875\text{W/sr}$
- Directivité :  $F_r : D = 1.232$  et  $F_{r2} : D = 2.509$
- Rendement :  $F_{r1} : \eta_1 = 96.26$  et  $F_{r2} : \eta_2 = 97.17$

➤ *Erreur de simulation* :  $\epsilon_{r1} = 8.1$  et  $\epsilon_{r2} = 0.8$

### Validation

L'erreur dans la fréquence entre nos valeurs simulées et ce de [6] et de 8.1 pour la première résonance et 0.8 pour la deuxième résonance, ce qui donne une confiance dans notre approche de simulation.

## 6. Antenne IFA Intégré

### Conception

Cette antenne conçue pour l'opération dans les bandes de 868 Mhz, de 915 Mhz et de 955 Mhz .Les conditions globales de taille pour cette antenne est de 43 x 20 mm. L'antenne a été mise en application sur un 0.8 mm épais, le substrat FR4. Puisqu'il n'y a aucun plan de masse sous l'antenne l'épaisseur de carte n'est pas critique [15].

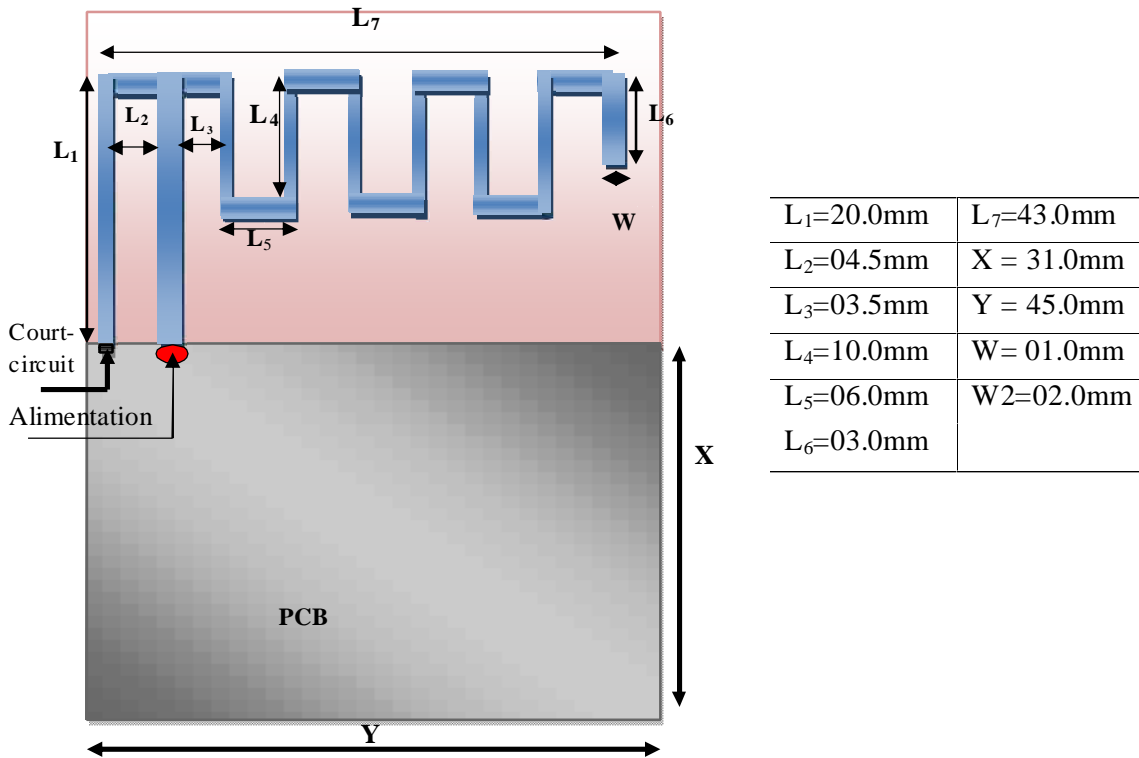
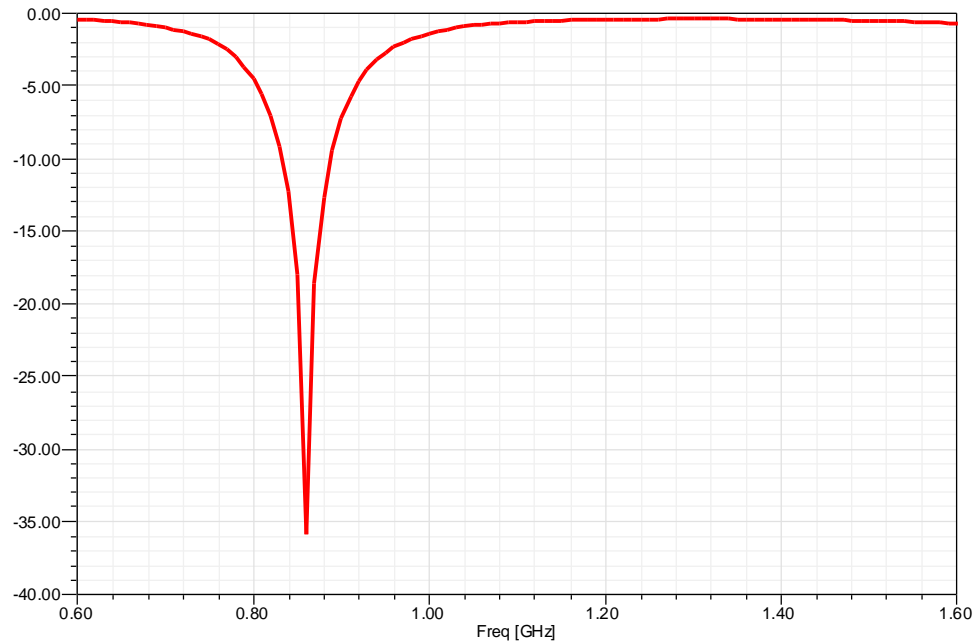


Figure 38. Structure de l'antenne IIFA à bande unique

### Résultats de simulation

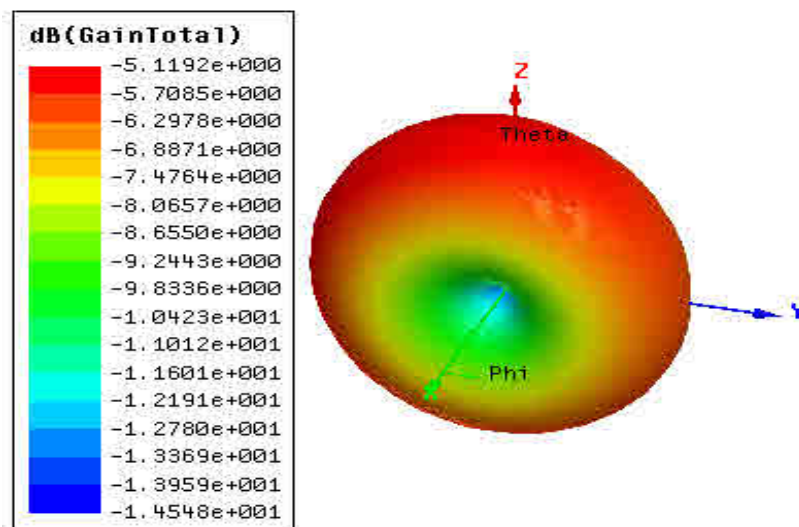
#### ➤ Coefficient de réflexion $S_{11}$ en dB

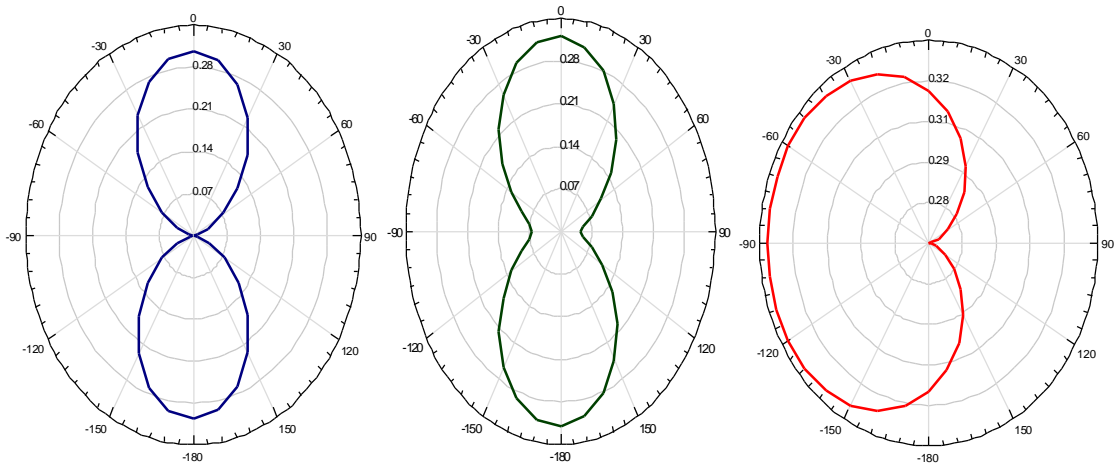
La figure 39 représente le coefficient de réflexion  $S_{11}$  en dB. On constate une résonance à la fréquence  $f_r = 0.86\text{GHz}$  avec une perte de résonance inférieure à  $-35\text{ dB}$ .



**Figure 39.** Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence

#### ➤ Gain



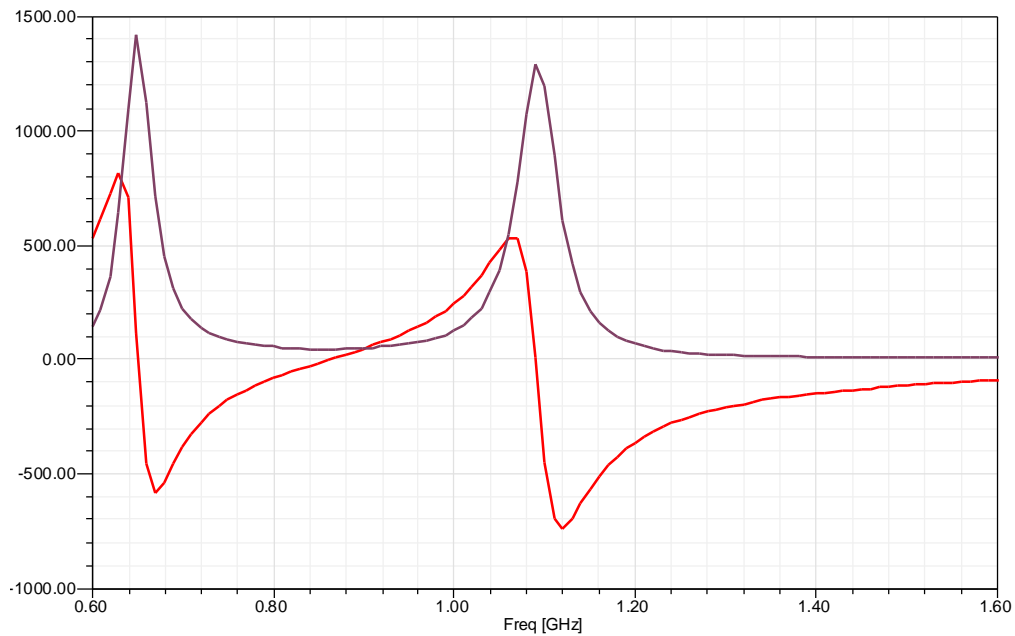


**Figure 40.** Diagramme polaire 3D (en fonction de  $\theta$  et  $\varphi$ ) pour le Gain total  $G$

- a) Diagramme polaire 2D dans le plan horizontal, b) Diagramme polaire 2D dans le plan E et  
c) Diagramme polaire 2D dans le plan H

➤ *Impédance  $Z$*

La figure 41 représente l'impédance d'entrée ; la valeur de partie réelle est environ  $48\Omega$ . Ce qui rend facile à adapter au système  $50\Omega$ .



**Figure 41.** Impédance d'entrée  $Z_{in}$  en fonction de la fréquence  $VSWR$

➤ VSWR

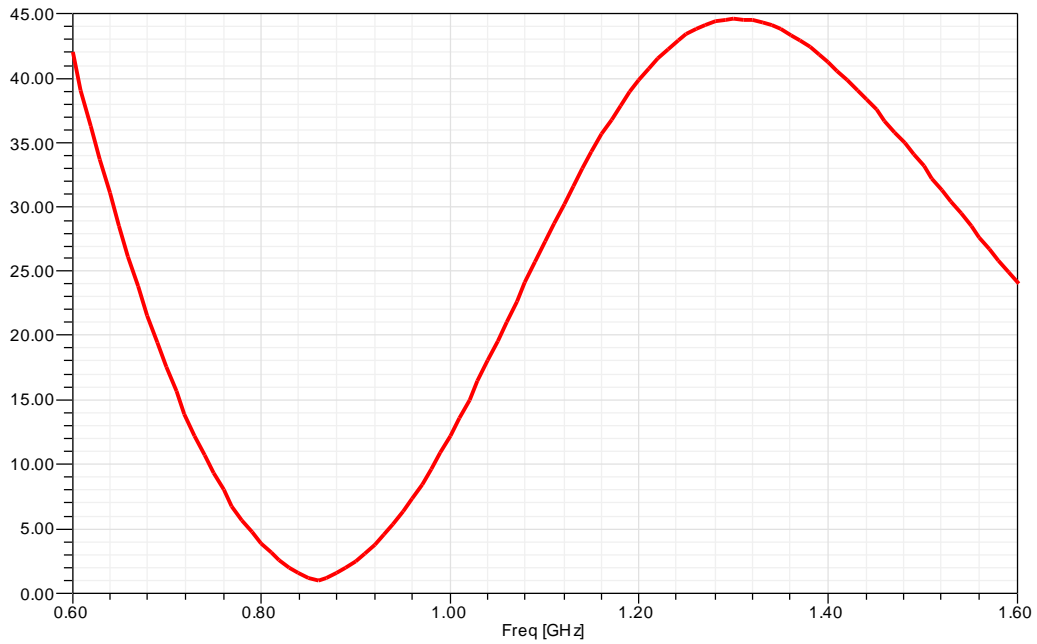
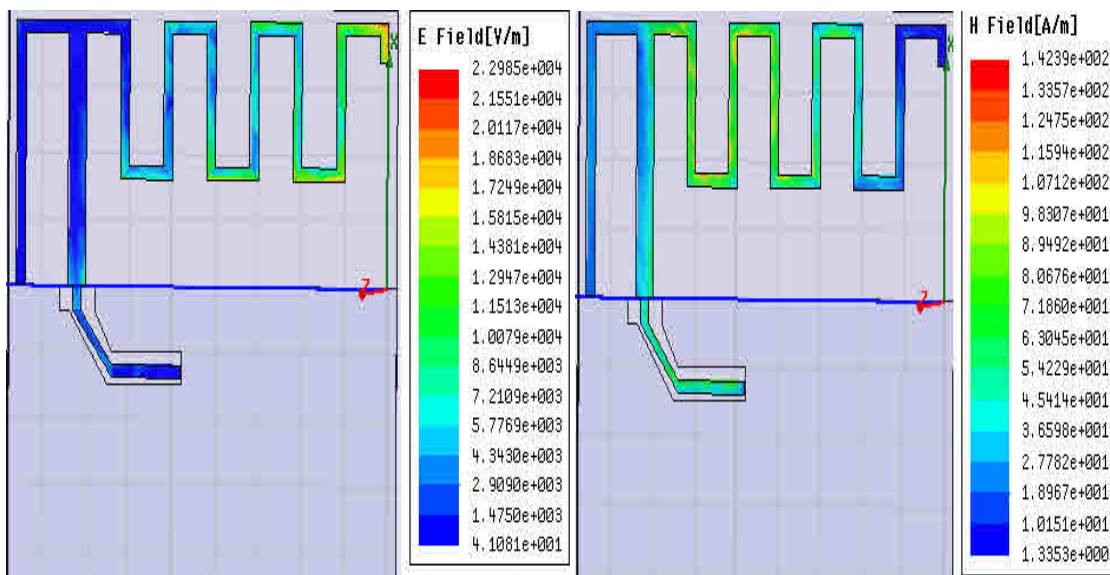
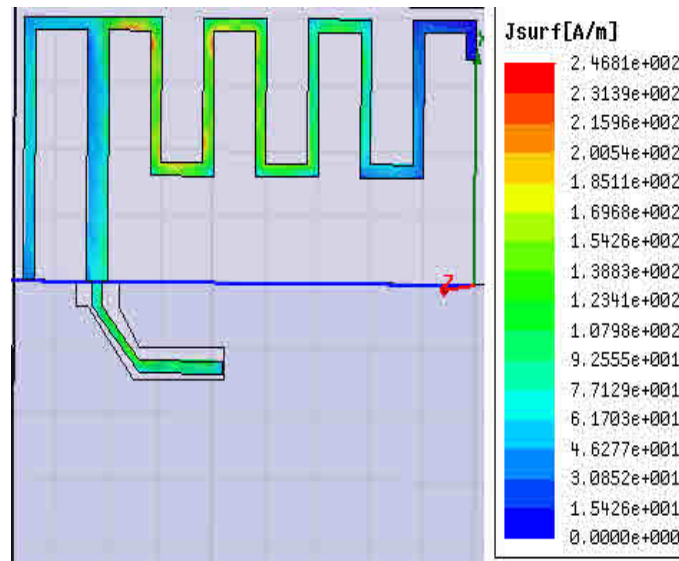


Figure 42. Rapport d'onde stationnaire

➤ Champ E,H et courant J surfacique

La figure 43 représente les distributions des champs E, H et le courant J. On constate bien que l'amplitude de courant et de champ H sont presque maximale au proche de point d'excitation et nulle aux les point lointains.





**Figure 43.** Distribution de champ E, H et J surfacique

La Bande passante de l’antenne est :  $BP = 6.16$  , cette valeur est acceptable pour les antennes planaire. Les autres paramètres de l’antenne estimée à la fréquence de résonance  $f_r = 0.86\text{GHz}$  sont reportés ainsi :

- Intensité de rayonnement :  $U = 0.027\text{W/sr}$
- Directivité :  $D = 0.389$
- Rendement :  $\eta = 87.4\%$

➤ Erreur de simulation :  $\epsilon_r = 2.07$

**Validation**

L’erreur dans la fréquence entre nos valeurs simulées et ce de [15] et de 2.07 , ce qui donne une confiance dans notre approche de simulation.

**7. Tableaux comparatives**

Les tableaux suivant évidents la précisent des résultats obtenus.

	$F_r$ [GHz]	BP	$S_{11}$ dB	$\eta$
IFA	$F_r = 2.53$	15.3	-22	77
	$F_s = 2.75$	11.08	-22.25	90.37

**Tableau 4.** Comparaison des antennes IFA



	F <sub>r</sub> [GHz]		BP		S <sub>11</sub> dB		η	
PIFA	F <sub>r</sub> =0.92		-		-16		-	
	F <sub>s</sub> =0.89		-		-9.11		88.2	

**Tableau 5.** Comparaison des antennes PIFA

	F <sub>r</sub> [GHz]		BP		S <sub>11</sub> dB		η	
PIFA_ Jslot	F <sub>r1</sub> =1.73	F <sub>r2</sub> =2.46	17.4	3	-30	-20	-	
	F <sub>s1</sub> =1.85	F <sub>s1</sub> =2.36	9.35	3.28	-13.5	-20	99.47	98.9

**Tableau 6.** Comparaison des antennes PIFA\_Jslot

	F <sub>r</sub> [GHz]		BP		S <sub>11</sub> dB		η	
PIFA_ Uslot	F <sub>r1</sub> =0.9	F <sub>r2</sub> =1.75	6.6	5.14	-19	-16	-	
	F <sub>s1</sub> =0.91	F <sub>s2</sub> =1.77	-	7	-11	-21.97	-	7

**Tableau 7.** Comparaison des antennes PIFA\_Uslot

	F <sub>r</sub> [GHz]		BP		S <sub>11</sub> dB		η	
IIFA_2 bande	F <sub>r1</sub> =2	F <sub>r2</sub> =5	4.3	8.4	-16	-24	-	
	F <sub>s1</sub> =5	F <sub>s1</sub> =4.96	4.84	-	-29.3	-4.95	96	97

**Tableau 8.** Comparaison des antennes IIFA à duelle bande

	$F_r$ [GHz]	BP	$S_{11}$ dB	$\eta$
IIFA	$F_{r1}=0.868$	5.76	-30	-
	$F_s=0.860$	6.16	-35.82	87

**Tableau 9.** Comparaison des antennes IIFA à bande unique

## Conclusion

Dans ce chapitre, la conception d'antennes IFA, PIFA et IIFA a été fait par la simulation électromagnétique type des éléments fini. la conception porte sur les types d'antennes suivantes : l'IFA\_2.53Ghz pour les applications de bande ISM, la PIFA\_920Mhz pour les applications de bande GSM 900, la PIFA\_Jslot (1.85Ghz et 2.36Ghz) pour les applications des bandes GSM1900 (PCS) et WLAN, la PIFA\_Uslot (0.921 et 1.77) pour les applications des bandes GSM900 et GSM1800 (DCS), l'IIFA\_dual band pour les applications des bandes GSM1900(PCS) et WLAN et le dernier IIFA pour les applications de bande GSM900. pour chaque conception ,un projet HFSS est crée sous lequel les performances de l'antenne sont optimisées. Le coefficient de réflexion en fonction de la fréquence est représenté permettant d'identifier la ou les fréquences de résonance de l'antenne. Nous avons tracé également la variation de l'impédance et le taux d'onde stationnaire. Le diagramme de rayonnement polaire 3D, la distribution des courants électriques surfaciques sur les conducteurs et la distribution du champ électromagnétique à l'intérieur de l'antenne sont représentés. Les paramètres de l'antenne tels que la directivité max, le gain, l'intensité et le rendement sont extraites dans l'étape post-processing.

## Conclusion générale

## Conclusion générale

Dans ce travail, nous avons étudié les performances des antennes IFAs dans les systèmes de communication sans fil.

En première phase, nous avons fait un tour d'horizon des différentes générations de ces systèmes qui font encore de nos jours la fierté de la téléphonie mobile.

Les systèmes de communication sans fil ont pu être développés rapidement ces dernières années. Le débit augmenté (La norme GSM autorise un débit maximal de 9,6 Kbits/s et la norme WiMax permet un débit théorique de 70 Mbits/s).

Les services améliorés (*SMS, MMS, radiomobile, le téléphone portable permet de communiquer avec des ordinateurs ou des assistants personnels et surtout avec des dispositifs mains-libres et la communication en VoIP*).

Dans une deuxième phase une étude bibliographique sur les différents types d'antenne : IFA, PIFA, IIFA utilisés dans les systèmes de communication qu'on a étudiée dans la première phase. Les antennes F inversée (IFAs) possèdent un faible volume, sont de faible poids et sont facile à intégrer dans les appareils de communication personnelles.

La simplicité de configuration, le faible coût de fabrication et le fonctionnement multibande reste des avantages importantes qui sont attractives pour l'innovateur et l'industrie où la minimisation du coût est une considération majeur.

Les caractéristiques essentielles d'antenne sont rappelées, ils sont calculés à l'aide de simulateur électromagnétique HFSSv11.0.

Dans une troisième phase, nous avons assimilé les géométries des antennes à l'aide de simulateur HFSS v11.0 pour estimer les performances de ces antennes. Les antennes étudiées sont utilisées dans les applications sans fil aux standards : GSM, GPRS, EDGE, UMTS, HSDPA, Bluetooth, ZigBee, WiFi, WiMax. la conception d'antennes IFA, PIFA et IIFA a été fait par la simulation électromagnétique type des éléments fini. la conception porte sur les types d'antennes suivantes : l'IFA\_2.53Ghz pour les applications de bande ISM, la PIFA\_920Mhz pour les applications de bande GSM 900, la PIFA\_Jslot (1.85Ghz et 2.36Ghz) pour les applications des bandes GSM1900 (PCS) et WLAN, la PIFA\_Uslot (0.921 et 1.77) pour les applications des bandes GSM900 et GSM1800 (DCS), l'IIFA\_dual band pour les

applications des bandes GSM 1900(PCS) et WLAN et le dernier IIFA pour les applications de bande GSM 900.

En conclusion ; on peut dire que l'objectif tracé dans ce travail, a été atteint c.à.d. On a pu faire l'étude des antennes IFAs avec l'utilisation d'un simulateur électromagnétique type HFSS v11.0 d'Ansoft corporation, ainsi que l'effet de variation de la géométrie d'antenne enfin la comparaison de celles de leurs performances avec la littérature.

## Références

- [1] P. Nicopolitidis, M.S. Obaidat, G.I. Papadimitriou and A. S. Pomportsis, “Wireless Networks” John Wiley & Sons Ltd, 2003.
- [2] Constantine .A. Balanis, “Modern Antenna Handbook” John Wiley & Sons, Inc, 2008.
- [3] Aliou Diallo, “Systèmes multi-antennes pour diversités et MIMO”.Thèse pour obtenir le titre de Docteur en Sciences spécialité Electronique. Novembre 2007
- [4] Boukhelkhal. M.R “ Turbocodage dans les réseaux CDMA”.Mémoire de fin d’études pour l’obtention du diplôme d’ingénieur d’état en télécommunications . juin 2008
- [5] Oussama Frioui, Fayrouz Haddad, Lakhdar Zaid et Wenceslas Rahajandraibe “Évolution des standards/architectures pour les communications sans fil Application aux systèmes multistandards en technologie CMOS”.Laboratoire Matériaux et Microélectronique de Provence IMT – Technopole de château Gombert, 2007.
- [6] Luis M. Correia and Helmut Hoftetter “Antenna Feasibility Study” IST, 2002.
- [7] Kin-Lu Wong “Compact and Broadband Microstrip Antennas” John Wiley & Sons, Inc, 2002.
- [8] McGraw-Hill Companies “Antenna Engineering Handbook”. Downloaded from Digital Engineering Library @ McGraw-Hill, 2007.
- [9] Perambur. S.N and Rajeswari.Ch “Antennas for Information Super Skyways: An Exposition on Outdoor and Indoor Wireless Antennas”, by Research Studies Press Ltd, 2003.
- [10] Simon. R. Sauders, Alejandro Arago and N-zavala “Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems” JohnWiley & Sons Ltd, 2007.
- [11] Anissa Chebihi, Philippe Le Thuc, Cyril Luxey et Robert Staraj “Conception d’antennes compactes pour petits objets communicants” 15<sup>èmes</sup> Journées Nationales Microondes 23- 24- 25 Mai 2007 Toulouse.
- [12] Canonical Examples
- [13] Kin-Lu Wong “Compact and Broadband Microstrip Antennas” John Wiley & Sons, Inc, 2002.
- [14] Yi Huang and Kevin Boyle “Antennas: from theory to practice” John Wiley & Sons Ltd, 2008.
- [15] Fredrik Kervel “868 MHz, 915 MHz and 955 MHz Inverted F Antenna” Texas Instruments Incorporated, 2009.

## **Résumé**

Les systèmes de communication sans fil ont connu un essor considérable ces dernières années. Un des éléments fondamentaux d'un tel système est l'antenne. Parmi les antennes utilisées les IFAs (Inverted-F Antennas) en différentes structures géométriques et qui présentent des performances avantageuses par rapport aux autres types d'antennes.

Dans ce travail, nous avons étudié les antennes IFA en utilisant un simulateur électromagnétique commercial type HFSS11.0 en les comparant enfin aux performances données dans la littérature.

## **ABSTRACT**

The wireless communications systems made considerable great strides these last years. One of the basic elements of such a system is the antenna. Among the antennas used IFAs (Inverted-F Antennas) in various geometrical structures and which present advantageous performances compared to the other types of antennas.

In this work, we will study antennas IFA by using a commercial electromagnetic simulator standard HFSS11.0 and will compare their performances.

**Mots clés :** Antennes IFA, Systèmes de communication sans fil, UMTS, GSM, WLAN, Simulateur électromagnétique HFSS

## خلاصة

عرف نظام الاتصالات اللاسلكية انطلاقة كبيرة خلال السنوات الأخيرة. العنصر المهم في هذا النظام هو الهوائي (السارية) ومن بين الأنواع المستخدمة السارية المعكوسة بمختلف أشكالها الهندسية (IFA) لمعرفة مميزاتها الايجابية بالمقارنة مع الأنواع الأخرى.

في هذا العمل قمنا بدرستها بواسطة برنامج كهرومغناطيسي ثم نقوم بمقارنتها مع نتائج دراسات منشورة.