

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
Département d'Electronique



Projet de fin d'études

Pour l'obtention du titre
d'ingénieur d'état en Electronique

THEME :

LES ANTENNES MONOBANDE ET MULTIBANDE
POUR LA TELEPHONIE CELLULAIRE

Réalisé par :

Mr. SAADI Mohamed

Encadré par :

Pr. R.AKSAS (ENP)

Dr. M.ACHOUR (Chief technology officer
RAYSPAN Corporation)

juin 2010

Ecole Nationale Polytechnique
10, Avenue Hassen Badi, El-Harrach, Alger.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

- tout particulièrement à ma mère, que dieu ait son âme, qui a consentit beaucoup de sacrifices pour me voir réussir dans mes études et me voir ingénieur. Aussi, mon père et mes sœurs, qui ont toujours cru en moi ;
- à mes grand parents que dieu leur prête vie ;
- à mes tantes et oncles ;
- à mes cousins et cousines ;
- à mes amis ainsi qu'à tous les membres de ma promotion.

Remerciements

Au terme de ce travail, je tiens à présenter mes remerciements :

- aux membres du jury, qui m’ont fait l’insigne honneur d’examiner ce modeste travail ;
- à mon encadreur et co-encadreur, qui ont sacrifié leur temps pour m’accompagner dans l’aboutissement de ce sujet ;
- à mes parents, pour m’avoir inculqué l’amour du savoir et l’esprit du travail ;
- à toutes les personnes qui m’ont permis d’accomplir ce travail ;
- ainsi qu’à toute autre personne m’ayant aidé de près ou de loin et dont j’ai oublié de citer le nom.

Table des matières

| | |
|---|-----------|
| Dédicaces | 1 |
| Remerciements | 2 |
| Abbreviations | 9 |
| Introduction Générale | 11 |
| 1 Etat de l’art sur la communication mobile | 12 |
| 1.1 Introduction | 12 |
| 1.2 Les différents réseaux sans fil | 13 |
| 1.2.1 Wireless Personal Area Network | 14 |
| 1.2.1.1 Bluetooth | 14 |
| 1.2.1.2 Les réseaux WiMedia, UWB et WUSB | 16 |
| 1.2.1.3 Les réseaux ZigBee | 16 |
| 1.2.2 Wireless Local Area Network | 16 |
| 1.2.3 Wifi (ou IEEE 802.11) | 17 |
| 1.2.4 HiperLAN | 18 |
| 1.2.5 Wireless Metropolitan Area Network | 18 |
| 1.2.5.1 WiMax (IEEE 802.16) | 18 |
| 1.3 Les différentes générations de la téléphonie mobiles | 19 |
| 1.3.1 La première génération (1G) | 19 |
| 1.3.2 La deuxième génération (2G) | 20 |
| 1.3.3 La troisième génération (3G) | 21 |
| 1.3.4 La quatrième génération (4G) | 21 |
| 1.4 Croissance du marché de la téléphonie cellulaire | 22 |
| 1.5 Problèmes rencontrés dans les antennes de téléphonie cellulaire | 24 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1.6 | Conclusion | 28 |
| 2 | Généralités sur les antennes | 29 |
| 2.1 | Introduction | 29 |
| 2.2 | Les paramètres d'une antenne | 30 |
| 2.2.1 | Impédance d'entrée | 30 |
| 2.2.2 | Coefficient de réflexion | 30 |
| 2.2.3 | ROS | 31 |
| 2.2.4 | Bande passante | 31 |
| 2.2.5 | Les paramètres de rayonnement | 32 |
| 2.2.5.1 | Diagramme de rayonnement | 32 |
| 2.2.5.2 | Gain | 33 |
| 2.2.5.3 | Directivité | 33 |
| 2.2.5.4 | Angle d'ouverture | 34 |
| 2.2.5.5 | Efficacité | 34 |
| 2.2.5.6 | Polarisation | 35 |
| 2.2.6 | Taille physique | 35 |
| 2.3 | Les antennes filaires et imprimées | 35 |
| 2.3.1 | Les antennes filaires | 35 |
| 2.3.1.1 | Les antennes longilignes | 36 |
| 2.3.1.2 | Les antennes à boucle | 36 |
| 2.3.1.3 | Les antennes à hélice | 37 |
| 2.3.2 | Les antennes imprimées | 37 |
| 2.3.2.1 | Comparaison d'antennes planaires | 38 |
| 2.3.3 | Quelque exemple d'antennes miniaturisées | 40 |
| 2.4 | Conclusion | 46 |
| 3 | Les antennes monobande et multibande pour téléphonie cellulaire | 48 |
| 3.1 | Introduction | 48 |
| 3.2 | Outil de simulation | 49 |
| 3.3 | Antenne monopole imprimée, monopole + méandre | 49 |
| 3.3.1 | Réglage préliminaire | 50 |
| 3.3.2 | Le coefficient de réflexion | 52 |
| 3.3.3 | Diagrammes de rayonnement | 55 |
| 3.3.4 | Distribution de courant | 57 |

| | | |
|-------|---|-----------|
| 3.4 | Antenne inversée F (PIFA) | 59 |
| 3.4.1 | Coefficient de réflexion S11 | 60 |
| 3.4.2 | Bandes de fréquence et largeur de bande | 60 |
| 3.4.3 | Impédance d'entrée | 61 |
| 3.4.4 | Diagramme de rayonnement | 61 |
| 3.4.5 | Distribution courant | 62 |
| 3.5 | Antenne monopôle chargée | 63 |
| 3.5.1 | Coefficient de réflexion S11 | 63 |
| 3.5.2 | Bandes de fréquence et largeur de bande | 64 |
| 3.5.3 | Impédance d'entrée | 64 |
| 3.5.4 | Diagrammes de rayonnement en champ lointain | 64 |
| 3.5.5 | Distribution de courant | 65 |
| 3.6 | Antenne PIFA chargée | 66 |
| 3.6.1 | Coefficient de réflexion S11 | 66 |
| 3.6.2 | Impédance d'entrée | 67 |
| 3.6.3 | Diagramme de rayonnement | 67 |
| 3.6.4 | Distribution de courant | 69 |
| 3.7 | Conclusion | 69 |
| | Conclusion Générale | 71 |

Table des figures

| | | |
|------|---|----|
| 1.1 | catégorie des réseaux sans fils [1] | 14 |
| 1.2 | diffirents classes bluetooth [2] | 15 |
| 1.3 | diffirents normes wifi [3] | 17 |
| 1.4 | differnts parametres de wimax [4] | 19 |
| 1.5 | évolution de Nombre d’abonnés dans le monde [5] | 23 |
| 1.6 | (a) Nombre de téléphones cellulaires vendus par année, (b) Nombre d’abonnés dans le monde [6] | 24 |
| 1.7 | Caractéristiques des composantes de la norme UMTS [7] | 26 |
| 1.8 | Evolution des systèmes de téléphonie mobile [8] | 27 |
| 1.9 | 4G Téléphone avec des antennes classiques impossible a utilise. iPhone 4G téléphone avec une antenne imprime [8]. | 27 |
| 1.10 | différentes catégories des réseaux sans fils [8] | 28 |
| 2.1 | schéma bloc d’un système de communication radio [9] | 29 |
| 2.2 | La réponse fréquentielle du paramètres S11 et mesure de la bande passante [9] | 32 |
| 2.3 | Diagramme de rayonnement typique [9] | 33 |
| 2.4 | schéma d’une antenne filaire [9] | 36 |
| 2.5 | Schéma d’une antenne boucle [9] | 36 |
| 2.6 | schéma d’une antenne à hélice [9] | 37 |
| 2.7 | antennes planaires à patch de masse [9] | 38 |
| 2.8 | Différentes formes élémentaires de patch [10] | 39 |
| 2.9 | Quelques formes d’antennes à fente dans le plan de masse [10] | 40 |
| 2.10 | comparaison des paramètres de rayonnement en fonction du type d’antennes planaires [10] | 40 |
| 2.11 | Antenne ILA [11] | 41 |

| | | |
|------|--|----|
| 2.12 | Antenne quart d'onde [11] | 41 |
| 2.13 | “Inverted F Antenna” (IFA) [12] | 42 |
| 2.14 | “Printed Inverted F antenna” (PIFA) [12] | 42 |
| 2.15 | Antenne PIFA élémentaire [13] | 43 |
| 2.16 | Ajout de courts-circuits [13] | 44 |
| 2.17 | Insertion de fentes dans l'élément rayonnant [13] | 44 |
| 2.18 | Ajout de résonateurs parasites [13] | 45 |
| 2.19 | Utilisation de chargements capacitifs / ou inductifs soit localisés ou répartis [13] | 45 |
| 2.20 | Modification de l'élément rayonnant [13] | 45 |
| 2.21 | Utilisation des lignes métallique très étroites repliées [13] | 46 |
| 2.22 | Points forts et faibles des antennes de type PIFA [13] | 46 |
| 3.1 | Configuration globale de simulation | 50 |
| 3.2 | La configuration de la bande simulation sur HFSS | 51 |
| 3.3 | Exemple d'une réalisation :(a) la vue supérieure illustrant le port d'alimentation 50Ω (lumped port) ,(b) vue de 3D montrant les rectangles de la masse (en réalité vias) entre les 2 plan de masse , (d) les plans de masse supérieur et inférieur (e) la ligne guide d'ondes coplanaire 50Ω (CPW) qui se le port d'alimentation à l'antenne. | 51 |
| 3.4 | (a) Monopole imprimé, (b). Monopole avec méandre. | 52 |
| 3.5 | Coefficient de réflexion de l'antenne monopole | 53 |
| 3.6 | Coefficient de réflexion de l'antenne monopole méandre. | 53 |
| 3.7 | Impédance Z_{in} d'entrée monopole | 54 |
| 3.8 | Impédance Z_{in} monopole méandre. | 55 |
| 3.9 | diagrammes de rayonnement (a) monopole à 1.9 GHz | 56 |
| 3.10 | diagrammes de rayonnement (b) monopole plus le méandre à 2 GHz | 56 |
| 3.11 | diagrammes de rayonnement (c) monopole plus le méandre à 1.3 GHz, | 57 |
| 3.12 | Options de simulation | 57 |
| 3.13 | Distribution du courant (a) Monopôle à 1.9 GHz | 58 |
| 3.14 | Distribution du courant (b) Monopôle méandre à 2 GHz, .3 GHz | 58 |
| 3.15 | Distribution du courant , (c) Monopôle méandre à 1.3 GHz | 59 |
| 3.16 | Option de simulation pour la distribution de courant. | 59 |
| 3.17 | Antenne PIFA | 60 |
| 3.18 | Variation du module de coefficient de réflexion de l'antenne PIFA | 60 |

| | | |
|------|--|----|
| 3.19 | Impédance d'entrée Z_{in} d'antenne PIFA. | 61 |
| 3.20 | Diagrammes de rayonnement de l'antenne PIFA. | 62 |
| 3.21 | Distribution courant d'antenne PIFA. | 62 |
| 3.22 | Monopôle chargé | 63 |
| 3.23 | Coefficient de réflexion du monopôle chargé | 63 |
| 3.24 | Impédance d'entrée Z_{in} d'antenne monopôle chargé. | 64 |
| 3.25 | Diagramme de rayonnement d'antenne monopôle chargé | 65 |
| 3.26 | Distribution de courant du monopôle chargé. | 65 |
| 3.27 | PIFA chargée | 66 |
| 3.28 | Coefficient de réflexion S_{11} de l'antenne PIFA chargée | 66 |
| 3.29 | Impédance Z_{in} d'entrée d'antenne PIFA chargée. | 67 |
| 3.30 | diagrammes de rayonnement d'antenne PIFA chargée à 1.7 GHz | 68 |
| 3.31 | diagrammes de rayonnement d'antenne PIFA chargée (b) à 2.8 GHz | 68 |
| 3.32 | Distribution de courant de l'antenne PIFA chargée à 1.7 GHz | 69 |
| 3.33 | Distribution de courant de l'antenne PIFA chargée à 2.85 GHz. | 69 |
| 3.34 | récapitulation des résultats simulés des antennes | 72 |

Abbreviations

| | |
|----------|---|
| ADSL | : Asymmetric Digital Subscriber Line |
| AMPS | : Advanced Mobile Phone System |
| ART | : Autorité de Régulation des Télécommunications |
| CDMA | : Code Division Multiple Access |
| CMS | : Composant Montée en Surface |
| CPW | : Coplanar Waveguide |
| D-AMPS | : Digital Advanced Mobile Phone System |
| DCS | : Digital Communication System |
| DECT | : Digital Enhanced Cordless Telecommunications |
| EDGE | Enhanced Data rates for GSM Evolution |
| EGPRS | : Enhanced General Packet Radio Services |
| ETSI | : European Telecommunications Standards Institute |
| FDMA | : Frequency Division Multiple Access |
| GPRS | : General Packet Radio Services |
| GSM | : Global System for Mobile communications |
| HFSS | : High Frequency Structural Simulator |
| HIPERLAN | : High Performance Radio Local Area Network |
| HSCSD | : High Speed Circuit Switched Data |
| HSDPA | : High Speed Downlink Packet Access |
| IEEE | : Institute of Electrical and Electronics Engineers |
| IFA | : Inverted-F Antenna MLA Meander line Antenna |
| IMT-2000 | : International Mobile Telecommunication 2000 |

| | |
|---------|---|
| IP | : Internet Protocol |
| LAN | : Local Area Network |
| MMS | : Multimedia Message Service |
| PCB | : Printed Circuit Board |
| PCS | : Personal Communication Services |
| PDA | : Personal Digital Assistant |
| PDC | : Personal Digital Cellular |
| PIFA | Planar Inverted-F Antenna |
| Rx | : Réception |
| SMS | : Short Message Service |
| TACS | : Total Access Communications System |
| TD-CDMA | : Time Division-Code Division Multiple Access |
| TDMA | : Time Division Multiple Access |
| Tx | : Transmission |
| UIT : | Union Internationale des T´el´ecomunications |
| UMTS | : Universal Mobile Telecommunications System |
| UWB | : Ultra Wide Band |
| W-CDMA | : Wideband Code Division Multiple Access |
| Wi-Fi | : Wireless Fidelity WiMAX World Interoperability for Microwave Access |
| WLAN | : Wireless Local Area Network |
| WMAN | : Wireless Metropolitan Area Network |
| WML | : Wireless Markup Language |
| WPAN | : Wireless Personal Area Network |
| WWAN | : Wireless Wide Area Network. |

Introduction Générale

Le téléphone portable a connu une amélioration permanente depuis son invention. Désormais, il est possible d'effectuer et de recevoir des appels de n'importe quel endroit du globe, d'accéder à Internet et même à la télévision. Le développement rapide dans le domaine des télécommunications et les normes et services à haut débit est à l'origine de la coexistence actuelle des différentes normes sur le marché des télécommunications.

Cependant, afin de pouvoir utiliser ces différents standards à la fois, il demeure indispensable de disposer de composants, de circuits et d'antennes susceptibles de fonctionner dans différentes bandes de fréquence. Notre mémoire a pour objet d'aborder cette problématique globale, et prend en charge la partie antenne. Cet élément doit satisfaire de nombreuses contraintes dont l'association est souvent difficile à mettre en oeuvre. Deux groupes de contraintes sont à différencier : les contraintes liées à l'encombrement de l'antenne et celles liées à ses performances. Le but de notre travail est de concevoir une antenne qui doit satisfaire les critères suivants :

- Dimension réduite (miniature) ;
- Multi-bandes ;
- Chaque bande doit être aussi large que possible afin de couvrir l'ensemble des canaux disponibles ;
- coût réduit afin de maintenir un prix de terminal compétitif.

Ainsi, ce projet de fin d'études fait une présentation de la conception, l'optimisation et l'analyse d'antennes miniatures destinées à des applications dans les domaines des communications mobiles et des communications sans fil et permet également de mieux comprendre les besoins actuels en antennes miniatures et multistandards.

Chapitre 1

Etat de l'art sur la communication mobile

1.1 Introduction

Un réseau sans fil (en anglais Wireless network) est un réseau dans lequel au moins deux terminaux peuvent communiquer sans liaison filaire. Grâce aux réseaux sans fil, un utilisateur a la possibilité de rester connecté tout en se déplaçant dans un périmètre géographique plus ou moins étendu, c'est la raison pour laquelle on entend parfois parler de "mobilité".

Les réseaux sans fil possèdent une liaison utilisant des ondes radioélectriques ou infrarouges. On dénombre plusieurs technologies qui se distinguent d'une part par la fréquence d'émission utilisée et d'autre part par le débit et la portée. Avec les réseaux sans fil, la liaison entre des équipements distants d'une dizaine de mètres à quelques kilomètres s'opère très facilement. De plus, l'installation de tels réseaux ne nécessitant pas un aménagement important des infrastructures existantes comme c'est le cas avec les réseaux filaires (creusement de tranchées pour acheminer les câbles sous terrains, équipements des bâtiments en câblage, goulottes et connecteurs), ce qui représente un avantage certain dans de nombreux cas, à savoir :

- La mise en place d'un réseau dans un bâtiment classé "monument historique" ;
- La mise en place d'un réseau de courte durée (chantiers, expositions, locaux loués, formations) ;
- L'accès aux informations enregistrées sur chaque patient pendant les visites dans les hôpitaux ;

- L'accès à une connexion Internet pour les usagers des aéroports, gares . . .
- La lecture de codes barres dans les supermarchés ;
- La réalisation d'une liaison par voie hertzienne entre deux bâtiments ayant chacun son réseau câblé.

Toutefois, il est à signaler qu'une mobilité totale n'est pas indispensable, et surtout pas toujours réalisable, ceci a donné lieu à l'exécution de réseaux à mobilité restreinte, plus ou moins étendue selon la nécessité. Les réseaux sans fil sont classés en quatre catégories, selon le périmètre géographique offrant une connectivité (appelé zone de couverture), à savoir :

- Les réseaux personnels sans fil : Wireless Personal Area Network (WPAN) ;
- Les réseaux locaux sans fil : Wireless Local Area Network (WLAN) ;
- Les réseaux métropolitains sans fil : Wireless Metropolitan Area Network (WMAN) ;
- Les larges réseaux sans fil : Wireless Wide Area Network (WWAN).

1.2 Les différents réseaux sans fil

On distingue quatre catégories principales des réseaux mobiles :

- Les WPAN, Wireless Personal Area Network leurs représentants le Bluetooth, le Zigbee, les technologies RFID
- Les WLAN, Wireless Local Area Network, ils désignent les réseaux locaux radio électriques, le WIFI en fait partie.
- Les WMAN, Wireless Metropolitan Area Network, un de ses représentants le WiMax.
- Les WWAN, Wide Area Network, il englobe le GSM, le GPRS et l'UMTS. Plusieurs gammes de produits sont actuellement commercialisées, mais la normalisation pourrait encore modifier les choses. Les groupes de travail chargés de cette normalisation proviennent de l'IEEE aux Etats-Unis et de l'ETSI en Europe. Les quatre catégories sont illustrées dans la figure 1.1.

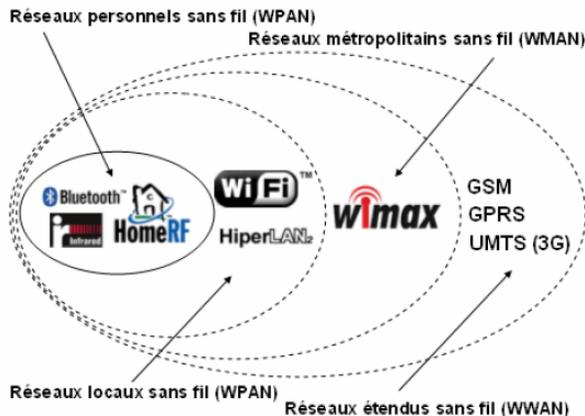


FIG. 1.1 – catégorie des réseaux sans fils [1]

1.2.1 Wireless Personal Area Network

Les réseaux personnels sans fil concernent les réseaux ayant une très faible portée de l'ordre de quelques mètres. Ils sont surtout utilisés pour inter connecter du matériel informatique de proche en proche comme les PDA3 (assistant personnel numérique), les téléphones mobiles et même les ordinateurs portables.

Nous présenterons dans ce paragraphe les gammes de produits les plus importantes.

1.2.1.1 Bluetooth

Qu'est ce que Bluetooth ?

Bluetooth est une nouvelle technologie de transmission sans fil. Son but est de permettre la communication à courte distance entre plusieurs appareils, et sans le moindre câble, en utilisant les ondes radio. Son nom vient du nom d'un chef Viking du nord : Harald Blaatand ("Harald la dent bleue"). Celui-ci réussit l'exploit d'unifier au sein d'un même royaume le Danemark et la Norvège, à l'époque où l'Europe était divisée par des querelles de religions et de territoires.

Ericsson, l'initiateur du projet(Bluetooth), fut rapidement rejoint en 1998 par IBM, Intel, Nokia et Toshiba. Ils développèrent ensemble cette nouvelle technologie de communication sans fil. Devant le formidable marché s'ouvrant cette technologie, de nombreuses sociétés ont rejoint le Bluetooth Special Interest Group (SIG) qui est aujourd'hui composé de plus de 2400 constructeurs, dont 3 Com, Motorola et Microsoft. Il mène aujourd'hui

une véritable croisade pour imposer cette nouvelle norme comme le standard des systèmes de communication sans fil.

Norm Bluetooth :

Bluetooth a été déposée à l'IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers), il contient les normes suivantes :

- IEEE 802.15.1 : standard Bluetooth 1.x, débit 1Mbit/s.
- IEEE 802.15.2 : recommandations pour l'utilisation de la bande de fréquence des 2.4 GHz, pas encore valides.
- IEEE 802.15.3 : standard propose du haut débit (20Mb/s) avec la technologie Bluetooth (en cours de développement).
- IEEE 802.15.4 : application Bluetooth à bas débit (en cours de développement)

Les Classes Bluetooth :

Les interfaces Bluetooth peuvent, selon leur puissance d'émission, être associées à trois classes différentes.

| Classe | Puissance (Atténuation en dBm) Portée | Portée |
|----------|---------------------------------------|----------------|
| Classe 3 | 1 mW (0dBm) | ≤10 mètre |
| Classe 2 | 2,5 mW (4dBm) | 10 à 20 mètres |
| Classe 1 | 100 mW (20dBm) | 100 mètres |

FIG. 1.2 – différents classes bluetooth [2]

Caractéristiques :

Pour pouvoir utiliser la technologie Bluetooth, les appareils électroniques doivent posséder la puce Bluetooth. Celle-ci est très petite (9mm * 9mm) et peu cher : 20\$ aujourd'hui, mais Intel prévoit que son prix atteindra 5\$ sous peu.

Les appareils compatibles Bluetooth communiquent en utilisant les ondes radio sur les fréquences comprises entre 2400 et 2483.5 MHz.

Le débit théorique est de 1 Mb/s. Tout comme le protocole IP, l'envoi des informations s'effectue par paquets de données entourées de blocs de contrôle. Ces blocs de contrôle permettent la mise en réseau des appareils à distance suffisante, le bon acheminement des données et la correction d'éventuelles erreurs de transmission.

Il peut y avoir jusqu'à 8 appareils en chaînes pour former un petit réseau (nommé pico réseau ou pico net). Il est cependant possible de connecter entres-eux ces pico nets pour former des réseaux plus grands nommés scatternets. Certains appareils Bluetooth pourront donc servir de passerelle.

1.2.1.2 Les réseaux WiMedia, UWB et WUSB

WiMedia est une initiative visant à réaliser un environnement sans fil à très haut débit (480 Mbit/s) pour un réseau personnel. L'objectif est d'éliminer tous les fils connectant les équipements vidéo, audio et de données que l'on peut rencontrer dans un bureau ou un salon. Cette solution prend comme base la normalisation des réseaux personnels de l'IEEE, et plus particulièrement d'IEEE 802.15.3 UWB.

Une solution matérielle sera apportée par l'interface WUSB (Wireless USB), dont l'objectif est de remplacer les interfaces métalliques USB 2 par une interface sans fil à la même vitesse de 480 Mbit/s. Dans le groupe de travail IEEE 802.15.3, deux solutions ont été développées, une sur la bande classique des 2,4 GHz, qui atteindra une vitesse 9 de 54 Mbit/s effective, et l'autre qui utilise l'ensemble de la bande passante entre 3,1 et 10,7 GHz, mais à une puissance très faible.

1.2.1.3 Les réseaux ZigBee

Les réseaux ZigBee sont l'inverse des réseaux UWB. Leur objectif est de consommer extrêmement peu d'énergie, de telle sorte qu'une petite batterie puisse tenir presque toute la durée de vie de l'interface, mais avec une vitesse extrêmement faible. Deux types de transfert sont privilégiés dans ZigBee :

la signalisation et la transmission de données à bas débit. Dans la normalisation, ZigBee peut avoir trois vitesses possibles :

- 250 Kbit/s avec la bande classique des 2,4 GHz ;
- 20 Kbit/s avec la bande des 868 MHz disponible en Europe ;
- 40 Kbit/s avec la bande des 915 MHz disponible en Amérique du Nord.

1.2.2 Wireless Local Area Network

Les réseaux locaux sans fil sont de plus en plus utilisés au sein des entreprises et des réseaux locaux particuliers. Ils permettent par exemple la couverture d'un bâtiment entier. Les normes les plus importantes à présenter sont le WiFi et l'HiperLan.

1.2.3 Wifi (ou IEEE 802.11)

Wifi est un nom composé à la manière de wi-fi et signifiant Wireless Fidelity. Il désigne les différentes déclinaisons de la norme IEEE 802.11 qui permet à plusieurs ordinateurs de communiquer sans fil en utilisant comme support les ondes radio. Avantage : le déploiement d'un réseau Wi-Fi est assez simple, le prix plutôt modeste en comparaison d'autres technologies.

Les Normes de wifi

| Nom de la norme | Nom | Description |
|-----------------|-------|--|
| 802,11a | WiFi5 | La norme 802.11a permet d'obtenir un haut débit (54 Mb/s théoriques, 30 Mb/s réels). La norme 802.11a spécifie 8 canaux radio dans la bande de fréquence des 5 GHz. |
| 802,11b | WiFi | La norme 802.11b est la norme la plus répandue actuellement. Elle propose un débit théorique de 11 Mb/s (6 Mb/s réels) avec une portée pouvant aller jusqu'à 300 mètres dans un environnement dégagé. La plage de fréquence utilisée est la bande des 2.4 GHz, avec 3 canaux radio disponibles. |
| 802,11g | | 802.11g La norme 802.11g offre un débit de 54 Mb/s théoriques (30 Mb/s réels) sur la bande de fréquence des 2.4 GHz. La norme 802.11g a une compatibilité ascendante avec la norme b |
| 802,11i | | 802.11i La norme 802.11i a pour but d'améliorer la sécurité des transmissions (gestion et distribution des clés, chiffrement et authentification). Cette norme s'appuie sur l'AES (Advanced Encryptions Standard) et propose un chiffrement des communications pour les transmissions utilisant les technologies 802.11a, 802.11b et 802.11g |

FIG. 1.3 – différents normes wifi [3]

Applications

Grâce au Wi-Fi, il est possible de créer des réseaux locaux sans fil à haut débit pour peu que la station à connecter ne soit pas trop distante du point d'accès. Dans la pratique, le Wi-Fi permet de relier des ordinateurs portables, des machines de bureau, des assistants personnels (PDA) ou tout type de périphérique à liaison haut débit (11 Mb/s ou supérieur) sur un rayon de plusieurs dizaines de mètres en intérieur (généralement entre une vingtaine et une cinquantaine de mètres) à plusieurs centaines de mètres en environnement ouvert .

1.2.4 HiperLAN

Développé par l'ETSI, ce standard utilise une fréquence de 5 GHz, avec un débit théorique proche de 20 Mb/s pour la version HiperLAN1 et de 54 Mb/s pour l'HiperLAN2. La zone de couverture dépend du milieu, car pour de telles fréquences la portée se trouve particulièrement affectée par les obstacles. Cependant dans des milieux dégagés il pourrait offrir des performances supérieures au Wifi.

1.2.5 Wireless Metropolitan Area Network

1.2.5.1 WiMax (IEEE 802.16)

WiMAX est l'abréviation pour Worldwide Interoperability for Microwave Access. Il s'agit d'un standard de réseau sans fil métropolitain créé par les sociétés Intel et Alvarion en 2002 et ratifié par l'IEEE sous le nom IEEE-802.16. Plus exactement, WiMAX est le label commercial délivré par le WiMAX Forum aux équipements conformes à la norme IEEE 802.16, afin de garantir un haut niveau d'interopérabilité entre ces différents équipements

Objectifs du WiMAX

L'objectif du WiMAX est de fournir une connexion internet à haut débit sur une zone de couverture de plusieurs kilomètres de rayon. En théorie, le WiMAX permet d'obtenir des débits montants et descendants de 70 Mbit/s avec une portée de 50 kilomètres. Le standard WiMAX possède l'avantage de permettre une connexion sans fil entre une station de base (BTS2) et des milliers d'abonnés sans nécessiter de ligne visuelle directe (LOS3).

Dans la réalité le WiMAX ne permet de franchir que de petits obstacles tels que des arbres ou une maison mais ne peut en aucun cas traverser une station de base .

Principe de fonctionnement du WiMAX

Le coeur de la technologie WiMAX est la station de base, c'est à dire l'antenne centrale chargée de communiquer avec les antennes d'abonnés (subscribers antennas). On parle ainsi de liaison point-multipoints pour désigner le mode de communication du WiMAX. Le tableau suivant montre les différents standards du WiMax.

| Standard | Bande de fréquence | Débit | Portée |
|------------------------|--------------------|---------|---------|
| WiMAX xe (802.16-2004) | 2-11 GHz | 75 Mb/s | 10 km |
| WiMAX mobile (802.16e) | 2-6 GHz | 30 Mb/s | 3, 5 km |

FIG. 1.4 – différents paramètres de wimax [4]

Hiper MAN

High Performance Radio Metropolitan Area Network (HiperMAN) est un standard développé par l'ETSI pour développer une alternative européenne au WiMax.

Ce standard ressemble en de nombreux points au WiMax et opère sur la bande de fréquences entre 2 GHz et 11 GHz. Il prévoit plusieurs services comme : la qualité de service, la transmission sans fil rapide, la sécurité . . .

Actuellement, différentes gammes de produits sont commercialisées, néanmoins, les choses peuvent encore changer compte tenu de la normalisation. Les groupes de travail chargés de cette normalisation proviennent de l'IEEE¹ aux États-Unis et de l'ETSI² en Europe. Les quatre catégories et les normes correspondantes sont illustrées dans la figure 1.1.

1.3 Les différentes générations de la téléphonie mobile

1.3.1 La première génération (1G)

La première génération de téléphonie mobile (notée 1G) possédait un fonctionnement analogique et était constituée d'appareils relativement volumineux. Il s'agissait principalement des standards suivants :

- AMPS (Advanced Mobile Phone System), apparu en 1976 aux États-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 de 900 MHz, ce système fut notamment largement utilisé en Angleterre, puis en Asie (Hong-Kong et Japon).

- ETACS (Extended Total Access Communication System) est une version améliorée du standard TACS développé au Royaume-Uni utilisant un nombre plus important de canaux de communication

Les réseaux cellulaires de premières générations ont été rendus obsolètes avec l'apparition d'une seconde génération entièrement numérique.

1.3.2 La deuxième génération (2G)

La seconde génération de réseaux mobiles (notée 2G) a marqué une rupture avec la première génération de téléphones cellulaires grâce au passage de l'analogique vers le numérique.

Les principaux standards de téléphonie mobile 2G sont les suivants :

- GSM (Global System for Mobile communications), le standard le plus utilisé en Europe à la fin du XXe.
- CDMA (Code Division Multiple Access), utilisant une technique d'étalement de spectre permettant de diffuser un signal radio sur une grande gamme de fréquences, supporté aux Etats-Unis Ce standard utilise les bandes de fréquences 900 MHz et 1800 MHz en Europe. Aux Etats-Unis par contre, la bande de fréquence utilisée est la bande 1900 MHz. Ainsi, on appelle tri-bande, les téléphones portables pouvant fonctionner en Europe et aux Etats-Unis.
- TDMA (Time Division Multiple Access), utilisant une technique de découpage temporel des canaux de communication, afin d'augmenter le volume de données transmis simultanément. La technologie TDMA est principalement utilisée sur le continent américain, en Nouvelle Zélande et en Asie Pacifique.

Grâce aux réseaux 2G, il est possible 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). La norme GSM permet un débit maximal de 9,6 kb/s.

Des extensions de la norme GSM ont été mises au point afin d'en améliorer le débit. C'est le cas notamment du standard GPRS (General Packet Radio System) qui permet d'obtenir des débits théoriques de l'ordre de 114 kbit/s, plus proche de 40 kbit/s dans la réalité. Cette technologie ne rentrant pas dans le cadre de l'appellation « 3G » a été baptisée 2.5G.

La norme EDGE (Enhanced Data Rates for Global Evolution, présentée comme 2.75G quadruple les améliorations du débit de la norme GPRS en annonçant un débit théo-

rique de 384 Kbps, ouvrant ainsi la porte aux applications multimédias. En réalité la norme EDGE permet d'atteindre des débits maximum théoriques de 473 kb/s, mais elle a été limitée afin de se conformer aux spécifications IMT-2000 (International Mobile Telecommunications-2000) de l'ITU (International Telecommunications Union).

1.3.3 La troisième génération (3G)

Les spécifications IMT-2000 (International Mobile Telecommunications for the year 2000) de l'Union Internationale des Communications (UIT), définissent les caractéristiques de la 3G (troisième génération de téléphonie mobile). Ces caractéristiques sont notamment les suivantes :

- un haut débit de transmission :
 - 144 Kb/s avec une couverture totale pour une utilisation mobile,
 - 384 Kbp/ avec une couverture moyenne pour une utilisation piétonne,
 - 2 Mb/s avec une zone de couverture réduite pour une utilisation fixe.
- compatibilité mondiale,
- compatibilité des services mobiles de 3ème génération avec les réseaux de seconde génération

La 3G propose d'atteindre des débits supérieurs à 144 kbit/s, ouvrant ainsi la porte à des usages multimédias tels que la transmission de vidéo, la visioconférence ou l'accès à internet haut débit. Les réseaux 3G utilisent des bandes de fréquences différentes des réseaux précédents : 1885-2025 MHz et 2110-2200 MHz.

La principale norme 3G utilisée en Europe s'appelle UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), utilisant un codage W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access). La technologie UMTS utilise la bande de fréquence de 5 MHz pour le transfert de la voix et de données avec des débits pouvant aller de 384 kb/s à 2 Mb/s. La technologie HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access) est un protocole de téléphonie mobile de troisième génération baptisé « 3.5G » permettant d'atteindre des débits de l'ordre de 8 à 10 Mb/s. La technologie HSDPA utilise la bande de fréquence 5 GHz et utilise le codage W-CDMA

1.3.4 La quatrième génération (4G)

C'est le successeur de la 3G (3e génération). C'est une dénomination informelle, orientée vers le consommateur, qui regroupe un ensemble de critères de performances : débit

(de l'ordre de 1 Mb/s réel pour le consommateur), qualité de services, etc.

Les enjeux commerciaux sont supposés considérables, et les données techniques sont généralement difficiles à apprécier.

Plusieurs technologies en cours de déploiement peuvent prétendre à cette dénomination : WiMAX (802.16), iBurst (802.20)...

Le fabricant Samsung pourrait prendre de l'avance concernant la 4G, ce dernier ayant réussi à établir une connexion à 100 Mb/s dans un bus se déplaçant à 60 km/h. Un opérateur nippon DoCoMo a par ailleurs réussi à transférer des données à 5 Gb/s lors du test de son futur réseau 4G. Soit 1 300 fois plus rapide que le 3.5G lancé au Japon en 2006.

Cette nouvelle technologie de communication mobile, qui utilise de manière optimisée les bandes de fréquences, est particulièrement adaptée pour les usages nécessitant le transfert de volumes très importants de données (vidéo Haute Définition, jeux en réseaux...).

Une première commercialisation d'une offre mobile en 4G (LTE) a été lancée sur les villes de Stockholm (Suède) et Oslo (Norvège) le 15 décembre 2009 par l'opérateur téléphonique TeliaSonera. Samsung est sur le point de lancer le premier téléphone compatible 4G sous la référence SCH-R900, dans le second semestre 2010. La connexion peut également se faire depuis un ordinateur et une clé 4G fabriquée par Samsung Electronics. Les déploiements à grande échelle ne sont pas attendus avant 2011.

1.4 Croissance du marché de la téléphonie cellulaire

La communication sans fil a commencé en 1895, année où Guglielmo Marconi a démontré la possibilité d'utiliser les ondes radio pour communiquer sur de grandes distances. Le téléphone cellulaire est actuellement une des applications dont la croissance est la plus rapide dans le domaine des télécommunications. Aujourd'hui, il représente le pourcentage dominant de tous les nouveaux abonnements de téléphone dans le monde. Durant la première partie de cette décennie, le nombre d'abonnés cellulaires mobiles a surpassé celui des lignes fixes conventionnelles.

Dans beaucoup de régions du monde, la pénétration des téléphones cellulaires est supérieure à 100% et le marché se développe toujours. Selon les dernières données fournies par l'Intelligence Sans Fil (WI), l'entreprise Ovum et l'association GSM qui se concentrent sur l'analyse du marché de l'industrie sans fil globale, la croissance mondiale fonctionne

actuellement à plus de 40 millions de nouvelles souscriptions par mois (la plus grosse croissance que le marché n'ait jamais connue). On s'attend à ce que la pénétration mondiale monte à 41% environ vers la fin de 2007 ce qui représente près de 3 milliards d'abonnements. Le nombre a grimpé à 6,7 milliards d'abonnés en 2010 soit une augmentation de plus de 200% depuis 2007, une énorme augmentation.

Cependant, le WI précise que le nombre d'abonnements ne constitue pas le nombre d'utilisateurs cellulaires, puisque beaucoup d'utilisateurs ont plus d'un abonnement. En outre, ces données incluent les comptes qui peuvent ne plus être en activité. En général, la croissance d'abonnés est particulièrement forte en Asie, où le taux de pénétration est encore bas, suivi des Amériques tandis que le marché d'Europe occidentale est saturé et stagnant.

| Monde : évolution du nombre d'abonnés mobiles (Evolution entre 2002 et 2007, en milliards) | | | | | | |
|---|------|--------|---------|----------|---------|-------|
| | 2000 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 |
| Abonnés | 1,1 | 1,3 | 1,4 | 1,6 | 1,75 | 2,1 |
| Croissance | - | + 18 % | + 7,7 % | + 14,3 % | + 9,4 % | +20 % |

Source : Ins-Stat/MDR Mis à jour le 07/07/2003

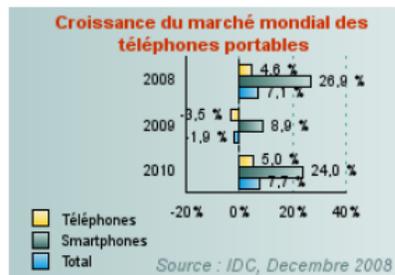


FIG. 1.5 – évolution de Nombre d'abonnés dans le monde [5]

La Figure 3.2 est une estimation (a) des ventes mondiales annuelles de téléphones cellulaires et (b) du nombre mondial d'abonnés de 1998 à 2006 : la progression est quasiment linéaire.

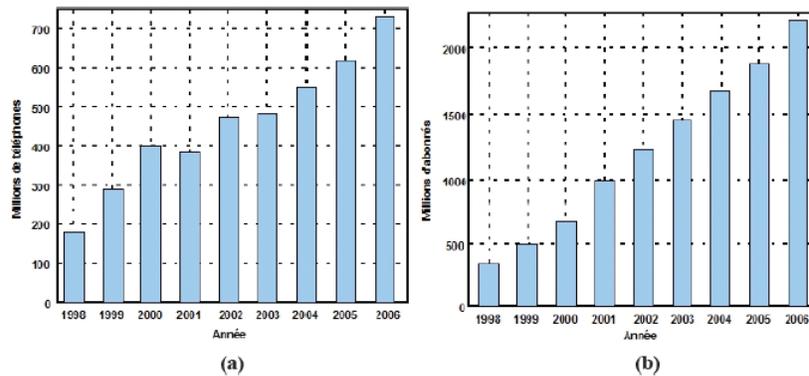


FIG. 1.6 – (a) Nombre de téléphones cellulaires vendus par année, (b) Nombre d'abonnés dans le monde [6]

1.5 Problèmes rencontrés dans les antennes de téléphonie cellulaire

Depuis quelques décennies, on observe dans le domaine des télécommunications l'apparition de nouvelles technologies permettant de communiquer de manières différentes. Du transport initial de la voix entre deux usagers, on est arrivé à un partage de données qui peut revêtir de nombreuses formes : messages, textes, photos, vidéos, etc. Tout d'abord, les premiers réseaux informatiques ont permis l'échange de données numériques par le biais de câbles et de fibres optiques. Puis, 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 le 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 Mbit/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. C'est pourquoi, il est nécessaire d'étudier les possibilités

d'augmenter les débits d'un futur système de quatrième génération (4G).

Pour répondre à cette demande dans les communications sans fil de dernière génération, une solution consiste à augmenter la capacité du canal radio-fréquence entre la station de base et le terminal portatif. Ceci peut-être réalisé en augmentant le nombre d'éléments rayonnants impliqués à l'émission et à la réception de cette liaison radio-fréquence : on parle alors de techniques MIMO (Multiple Input, Multiple Output).

D'autre part, une des caractéristiques majeures des communications sans fil demeure les environnements dans lesquels se propagent les ondes. En effet, ces environnements sont le plus souvent de type multi-trajets à cause des phénomènes de réflexion, de diffraction ou de dispersion provoqués par les immeubles, ce qui peut entraîner un phénomène d'évanouissements des signaux reçus et altérer ainsi la qualité des communications.

Les effets de ces évanouissements des signaux peuvent être réduits en utilisant la technique de diversité d'antennes ou SIMO (Single Input, Multiple Output) qui consiste à placer une antenne à l'émission et plusieurs antennes à la réception. Cette technique permet ainsi de combiner tous les signaux reçus par le système et minimiser les évanouissements et est, entre autre, utilisée par des opérateurs pour leur point d'accès WIFI.

Cependant, l'intégration de plusieurs antennes sur un petit plan de masse d'un téléphone portable par exemple est un challenge délicat. En effet, malgré le volume restreint, une forte isolation entre antennes est nécessaire pour maximiser le gain de diversité et/ou d'accroître la capacité de transmission du système global. Les spécifications IMT-2000 (International Mobile Telecommunications for the year 2000) de l'union internationale des communications (UIT), 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 3ème génération avec les réseaux de seconde génération,

La 3G propose d'atteindre des débits supérieurs à 144 kbits/s, ouvrant ainsi la porte à des usages multimédias tels que la transmission de vidéo, la visio-conférence ou l'accès à internet haut débit.

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), utilisant un codage W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access). La technologie UMTS utilise une bande de

fréquence de 5 MHz pour le transfert de la voix et de données avec des débits pouvant aller de 13 384 kbits/s à 2 Mbits/s. D'autre part, il existe également la technologie HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access) qui est un protocole de téléphonie mobile de troisième génération baptisé "3,5G" permettant d'atteindre des débits de l'ordre de 8 à 10 Mbits/s et qui utilise le codage W-CDMA (fig. 1.7) .

Pour les opérateurs, le passage au HSDPA n'est pas gratuit. Il nécessite, notamment, de changer les modulateurs. L'UMTS utilise la modulation QPSK (Quadrature Phase Shift Keying). En HSDPA, vient s'ajouter la 16QAM (Quadrature Amplitude Modulation), deux fois plus rapide. L'opérateur devra également effectuer les mises à jour logicielles des stations de base (Node B ou RBS : Radio Base Station) et des contrôleurs (RNC ou Radio Network Controller), qui concentrent les trafics de plusieurs stations de base. Il s'agit d'une opération comparable à celle du passage du GPRS à EDGE [1.7].

La figure 1.7 représente les caractéristiques des composantes de la norme UMTS.

| Technologie | W-CDMA | HSDPA | TD-CDMA | TD-SCDMA |
|--|--|--|---|----------------------------|
| Génération | 3G | 3,5G | 3G | 3G |
| Fréquences (MHz) Tx: Transmission Rx : réception | IMT-2000 : 1920-1980 (Tx) 2110-2170 (Rx) Bande 1900 : 1850-1910 (Tx) 1930-1990 (Rx) | Bande 1800 : 1710-1785 (Tx) 1805-1880 (Rx) | IMT-2000 : 1900-1920 2010-2025 2300-2400 | 1785-1805 1880-1900 |
| Méthode de duplexage | FDD | | TDD | |
| Méthode d'accès | CDMA | | | |
| Largeur d'un canal | 5 MHz | | 5 MHz | 1.6 MHz |
| Type de modulation | QPSK | QPSK, 16QAM | QPSK | |
| Type de commutation | circuit et paquet | paquet | paquet | circuit et paquet |
| Débit maximum théorique | 384 kbits/s à 2 Mbits/s | 14,4 Mbits/s | 12 Mbits/s | 128 kbits/s à 2 Mbits/s |
| Débit constaté | 384 kbits/s | 2 Mbits/s | 128 kbits/s à 2 Mbits/s | - |

FIG. 1.7 – Caractéristiques des composantes de la norme UMTS [7]

Le tableau ci-dessous représente une évolution des systèmes de téléphonie mobile.

| Standard | Génération | Bande de fréquence | Débit |
|----------|------------|--|--------------------|
| GSM | 2G | Permet le transfert de voix ou de données numériques de faible volume. | 9,6 kbits/s |
| GPRS | 2,5G | Permet le transfert de voix ou de données numériques de volume modéré. | 21,4-171,2 kbits/s |
| EDGE | 2,75G | Permet le transfert simultané de voix et de données numériques. | 43,2-345,6 kbits/s |
| UMTS | 3G | Permet le transfert simultané de voix et de données numériques à haut débit. | 0,144-2 Mbit/s |

FIG. 1.8 – Evolution des systèmes de téléphonie mobile [8]

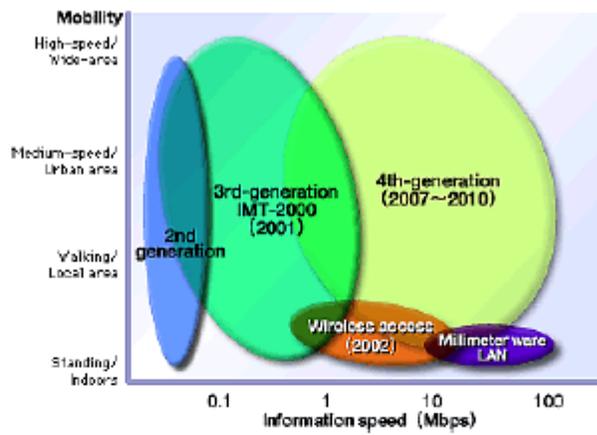


Fig 4.1 : 4G diagram



FIG. 1.9 – 4G Téléphone avec des antennes classiques impossible a utilise. iPhone 4G téléphone avec une antenne imprime [8].

1.6 Conclusion

Dans ce qui précède on a pu énumérer les différents types de réseaux sans fil, ainsi que les normes et bandes de fréquences associées à chaque standard. Le tableau suivant résume les différents standards disponibles actuellement et leurs bandes de fréquences (liste non exhaustive). Si un utilisateur désire utiliser un certain nombre de ces standards sans pour autant changer de terminal, il devra disposer d'un terminal pouvant fonctionner sur ces différentes bandes de fréquences. Il est maintenant bien claire que l'idée de concevoir une antenne multibande réussissant à couvrir la majorité de ces normes s'impose.

Le tableau suivant donne une vue finale sur les différentes catégories des réseaux sans fils

| Réseaux personnels sans fil | |
|--|--|
| La norme | Bandes de fréquences |
| Le Bluetooth | 2400-2483,5 MHz |
| UWB | 3,1 à 10,6 GHz |
| Réseaux locaux sans fil | |
| La norme | Bandes de fréquences |
| Wi-Fi | <i>b/g</i> : 2400-2483,5 MHz <i>a/n</i> : 5150-5250 MHz(indoor) 5250-5350 MHz(outdoor) 5725-5825 MHz(outdoor) |
| HIPERLAN/1 HIPERLAN/2 | 5150-5350 MHz(indoor) 5470-5725 MHz(outdoor) |
| Réseaux métropolitains sans fil | |
| La norme | Bandes de fréquences |
| WiMax | (802.16-2004) 2-11 GHz (802.16e) 2-6 GHz |

FIG. 1.10 – différentes catégories des réseaux sans fils [8]

Chapitre 2

Généralités sur les antennes

2.1 Introduction

N'importe quel système de communication sans fil, contient une antenne. Cette dernière est un élément essentiel et l'interface entre n'importe quel appareil mobile. Elle est le moyen de rayonner le signal de communication radio (Fig.2.1).

Un système de communication radio comprend d'un coté, un bloc de transmission, un bloc de réception de l'autre et au milieu le canal de propagation du signal du premier bloc vers le second.

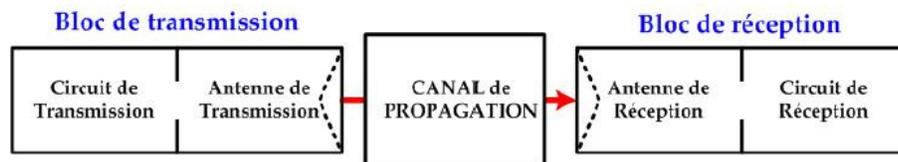


FIG. 2.1 – schéma bloc d'un système de communication radio [9]

Nous présentons au cours de ce chapitre, un bref aperçu sur les antennes en citant quelques paramètres qui les caractérisent tel que le gain, la directivité, la bande passante etc. Egalement, on citera quelques types d antennes les plus utilisées pour la communication mobile.

2.2 Les paramètres d'une antenne

Une onde EM émise par une antenne rencontre dans l'espace l'entourant de nombreux objets. Une partie de l'énergie haute fréquence est absorbée par ceux-ci pour être dissipée sous forme de chaleur ; le reste est dirigé dans toutes les directions avec des intensités différentes.

Une petite partie de l'énergie émise arrive aux bornes de l'antenne et crée un courant. Les paramètres qui traduisent le comportement de l'antenne comme circuit sont l'impédance d'entrée, le coefficient de réflexion, le ROS, et la bande passante.

2.2.1 Impédance d'entrée

Une antenne est caractérisée, d'un point de vue électrique par son impédance. Cette dernière est définie comme l'impédance présentée par l'antenne à ses bornes ou comme le rapport de la tension et du courant en ce point. L'expression de l'impédance se présente sous forme complexe, ou la partie réelle est une résistance liée au rayonnement et la partie imaginaire, une réactance (Eq. 2- 1) liée a un caractère reactif.

$$Z_a = R_a + jX_a \quad (2.1)$$

ou Z_a , R_a et X_a sont respectivement l'impédance, la résistance et la réactance de l'antenne, à ses bornes d'entrée.

2.2.2 Coefficient de réflexion

Lorsqu'une onde incidente rencontre une interface, change de milieu de propagation, une partie de l'intensité de l'onde est réfléchiée dans le milieu initial, l'autre transmise dans le nouveau milieu. Les Coefficients de réflexion et de transmission vont de paire. Ils sont reliés par la somme de leurs amplitudes respectives, au carré, qui vaut l'unité (Eq2.2).

$$|\Gamma|^2 + |T|^2 = 1 \quad (2.2)$$

Cette relation est valable uniquement au niveau de l'interface.

Ainsi dans une gamme de fréquence, une valeur très petite du coefficient de réflexion par rapport à l'unité signifie qu'une grande partie du signal est transmise dans le nouveau milieu ; l'antenne est bien adaptée.

Le coefficient de réflexion est un nombre sans dimension et son homologue en décibel est le coefficient S_{11} (Eq. 2.3), toujours de signe négatif.

$$S_{11} = 20 \log |\Gamma| \quad (2.3)$$

2.2.3 ROS

Le ROS, pour Rapport d'Onde Stationnaire, est défini comme le rapport des valeurs maximales et minimales de l'amplitude du signal. Le ROS, ou VSWR pour Voltage Standing Wave Ratio en anglais, est directement relié au paramètre de réflexion complexe Γ (Eq2.4) , donc à l'adaptation de l'antenne.

$$ROS = TOS = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2.4)$$

Le ROS informe de la qualité d'un composant microonde à transmettre un signal dans une bande passante souhaitée. Ainsi plus le ROS est proche de l'unité (cas où la réflexion est nulle), meilleure est la transmission. On considère qu'une antenne est correctement adaptée lorsqu'elle présente un ROS à la fréquence de résonance inférieure à 2. Ce dernier chiffre correspond à un S11 à -10dB.

2.2.4 Bande passante

Le paramètre de bande passante (BP) indique la plage de fréquence sur laquelle un signal peut être transmis. On le calcule à partir du paramètre S_{11} (Fig. 2.2). Comme nous l'avons dit ci-dessus, on considère qu'une antenne ne remplit plus son rôle si son coefficient de réflexion est plus grand que -10 dB. Ce niveau définit la limite de fonctionnement et donc la bande passante, au-delà de laquelle le signal n'est plus communiqué.

Le point des ordonnées, à -10 dB, correspond à deux fréquences en abscisses. Leur différence $f_2 - f_1$, autour d'une fréquence de résonance f_r , est la bande passante (Eq2.5).

$$BP = \frac{f_2 - f_1}{f_r} \times 100 \quad (2.5)$$

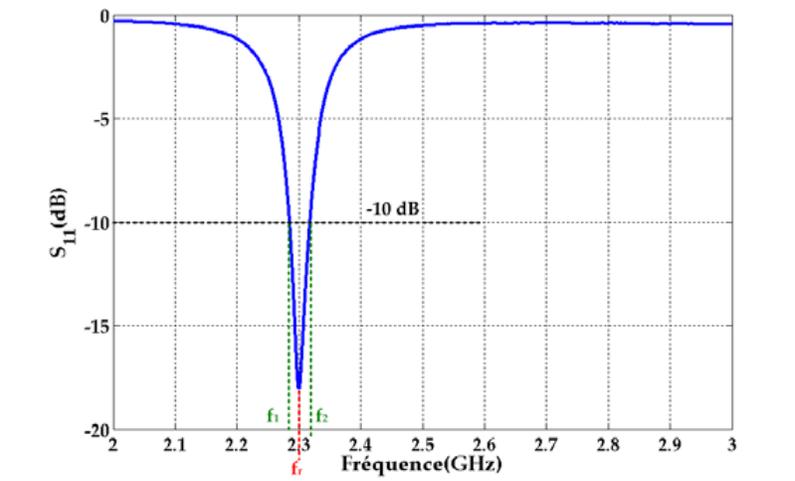


FIG. 2.2 – La réponse fréquentielle du paramètres S_{11} et mesure de la bande passante [9]

2.2.5 Les paramètres de rayonnement

Les paramètres de rayonnement renseignent sur les qualités de l'antenne à réceptionner ou à transmettre un signal. Ainsi on parle de diagramme de rayonnement, de gain, de directivité, d'efficacité et de polarisation de l'antenne.

2.2.5.1 Diagramme de rayonnement

Une antenne est caractérisée dans l'espace par son diagramme de rayonnement (Fig.2.3), donnant les champs électromagnétiques rayonnés. A partir de ce diagramme, on peut en déduire des caractéristiques, comme la directivité et/ou l'angle d'ouverture. Pour cela, les performances d'une antenne polarisée linéairement sont généralement décrites en termes de plans E et H. Le plan E est défini comme le plan contenant le vecteur champ électrique maximal. Le plan H se définit comme le plan contenant le champ magnétique maximal.

Par commodité, les antennes sont orientées de telle sorte qu'au moins un des plans principaux coïncide avec un des plans principaux de la géométrie de l'antenne.

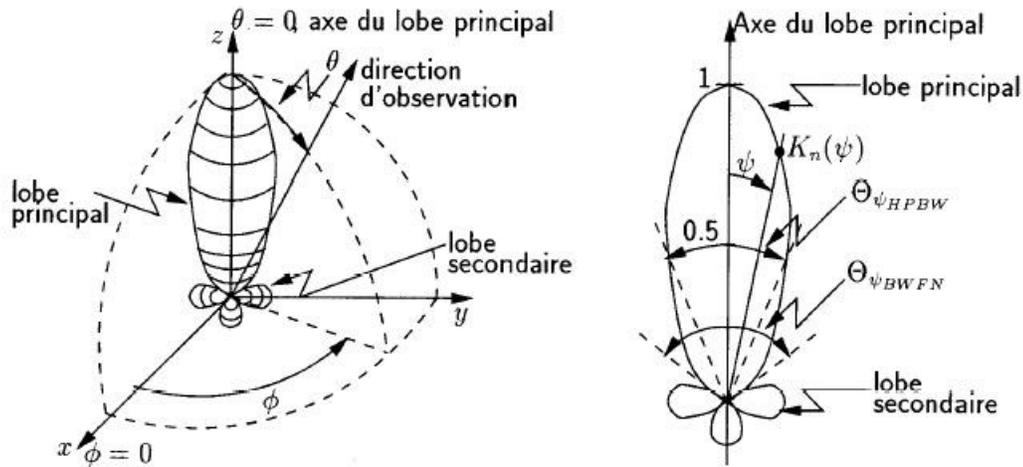


FIG. 2.3 – Diagramme de rayonnement typique [9]

2.2.5.2 Gain

Un paramètre important décrivant aussi les performances d'une antenne est le gain. Bien que ce dernier soit étroitement lié à la directivité, sa mesure prend aussi en compte l'efficacité de l'antenne.

Le gain absolu G d'une antenne, dans une direction donnée, est défini comme le rapport entre l'intensité dans cette direction et l'intensité rayonnée qui serait obtenue si la puissance acceptée par l'antenne était rayonnée de manière égale dans tout l'espace (Eq2.6). L'intensité du rayonnement correspondant à la puissance rayonnée de manière isotrope est égale à la puissance d'entrée acceptée par l'antenne divisée par 4π :

$$G(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{u(\theta, \varphi)}{P_{in}} \quad (2.6)$$

2.2.5.3 Directivité

Une antenne directive est définie telle que les aptitudes qu'elle présente, à transmettre ou à recevoir un signal, sont plus grandes dans une direction donnée, sous-entendu par rapport aux autres directions de l'espace.

Ainsi, la directivité d'une antenne est définie comme le rapport de la densité de rayonnement dans une direction donnée de l'antenne et de l'intensité du rayonnement moyennée sur tout l'espace. L'intensité moyenne de rayonnement est égale à la puissance totale rayonnée par l'antenne divisée par l'angle solide 4π .

$$D(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{u(\theta, \varphi)}{P_{ray}} \quad (2.7)$$

$D(\theta, \varphi)$: la directivité, sans dimension ;

$u(\theta, \varphi)$: l'intensité de rayonnement, en W/stéradian ;

P_{ray} : la puissance rayonnée.

2.2.5.4 Angle d'ouverture

L'angle d'ouverture est défini comme l'angle entre les deux directions dans lesquelles l'intensité de rayonnement est la moitié de la valeur maximale du faisceau, dans un plan contenant la direction du faisceau maximal (Fig.2.3). Ce paramètre est lié à la directivité et dans la pratique, on obtient cette dernière en mesurant l'angle d'ouverture.

2.2.5.5 Efficacité

L'efficacité totale e_0 d'une antenne est utilisée dans le but de prendre en compte les pertes à l'entrée de l'antenne ainsi que dans la structure de cette dernière. En effet les pertes peuvent être causées par les réflexions provenant d'une mauvaise adaptation de l'antenne même au circuit qui lui est associé, mais également par les propriétés intrinsèques des matériaux qui la constituent (diélectrique, conducteur).

$$e_0 = e_r e_c e_d \quad (2.8)$$

$e_r e_c e_d$ sont respectivement les efficacités dues à la réflexion, aux propriétés diélectriques et conductrices

Il est souvent difficile de dissocier les efficacités diélectriques et conductrices et, de ce fait, ces dernières sont regroupées en un seul terme e_{cd}

D'ou l'équation ci-dessus (Eq2.8) devient :

$$e_0 = e_r e_{cd} \quad (2.9)$$

$$e = (1 - |\Gamma|^2) = \left(1 - \left| \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \right|^2\right) \quad (2.10)$$

$$e_{cd} = \frac{G_0}{D_0} \quad (2.11)$$

2.2.5.6 Polarisation

La polarisation d'une onde EM, est déterminée par la direction du champ électrique de l'onde. Il existe trois types de polarisations : la polarisation linéaire, la polarisation circulaire et la polarisation elliptique, les deux premières étant des formes simplifiées de la troisième.

Dans certains cas, on peut identifier des polarisations horizontales et verticales. La projection sur des axes, horizontaux ou verticaux par exemple, permet de simplifier l'analyse d'une configuration. Par exemple, un dipôle est une antenne à polarisation linéaire pour laquelle le champ électrique est parallèle à son axe.

La transmission d'énergie entre deux antennes de polarisation linéaire est optimale si elles ont la même direction de polarisation. En revanche la transmission sera à son niveau le plus bas si les antennes sont orientées perpendiculairement l'une par rapport à l'autre. On voit ici un avantage de la polarisation circulaire, qui permet de communiquer aussi bien avec une antenne à polarisation linéaire que circulaire.

2.2.6 Taille physique

Enfin notons que l'on peut également sélectionner des antennes en fonction de leur taille. Cette dernière correspond directement à la fréquence de travail de l'antenne, de l'ordre de la moitié de la longueur d'onde λ . A 900 MHz, une des dimensions avoisine les 16 cm, à 2.45 GHz les 6 cm et à 5.8 GHz les 2.6 cm. Ces tailles sont dites petites comparées à d'autres antennes comme des paraboliques

2.3 Les antennes filaires et imprimées

Il existe de nombreux types d'antennes comme les antennes filaires, à ouverture, réflecteurs, lentilles, imprimées (micro ruban) ou encore en réseau. Nous développerons dans cette partie les antennes filaires et imprimées d'une manière générale, pour leurs rôles dans les communications mobiles.

2.3.1 Les antennes filaires

Ce type d'antennes est le plus connu et on les rencontre quasiment partout : sur les voitures, les téléphones mobiles ou sans fil, les postes de radio ou encore sur les objets télécommandés.

Elles se déclinent en 3 formes principales : le fil, la boucle et l'hélice

2.3.1.1 Les antennes longilignes

Les antennes filaires (Fig.2.4), linéaires ou courbées, sont les plus anciennes, les plus élémentaires, et les plus polyvalentes dans de nombreux cas. Leur longueur est de l'ordre de $\frac{n\lambda}{4}$, avec n entier compris entre 1 et 4, ou très petite devant la longueur d'onde λ .

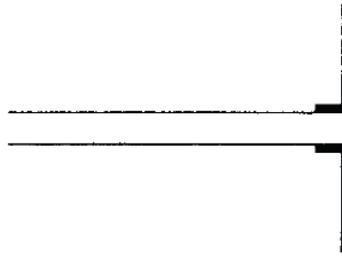


FIG. 2.4 – schéma d'une antenne filaire [9]

Leur polarisation est linéaire et plus leur longueur augmente, plus l'ouverture devient étroite ce qui implique une augmentation de la directivité.

2.3.1.2 Les antennes à boucle

Les antennes à boucle sont aussi des éléments, de formes élémentaires, peu coûteuses et polyvalentes.

La forme de la boucle se décline en différentes configurations : circulaire, rectangulaire, carrée, triangulaire ou encore ellipsoïdale (Fig.2.5).

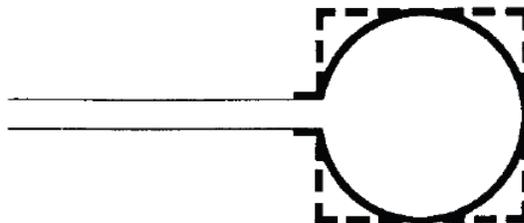


FIG. 2.5 – Schéma d'une antenne boucle [9]

Elles sont classées en deux grandes catégories : électriquement petites ou électriquement grandes. Les antennes de la première catégorie présentent une longueur totale

(somme totale des périmètres des boucles) plus petite que le dixième de la longueur d'onde : $N.P < \frac{\lambda}{10}$.

Les antennes de la seconde catégorie sont telles que le périmètre d'un seul enroulement est du même ordre de grandeur que la longueur d'onde : $P = \lambda$.

Toutes ces antennes , aussi bien électriquement petites que grandes, sont utilisées dans les bandes de fréquences HF (3 – 30 MHz), VHF (30 – 300 MHz) et UHF (300MHz – 3GHz), mais également dans la gamme microonde, comme sonde pour la mesure d'un champ par exemple.

Elles rayonnent cependant très faiblement, surtout si leur périmètre est petit devant λ , et sont rarement utilisées pour la transmission en communication radio. Lorsque toutefois, elles le sont, c'est pour fonctionner en mode de réception.

2.3.1.3 Les antennes à hélice

Ces antennes présentent une géométrie à mi-chemin entre l'antenne linéaire et l'antenne à boucle : ceci est déterminé par l'angle que fait le plan des hélices avec l'axe de symétrie de ces dernières.

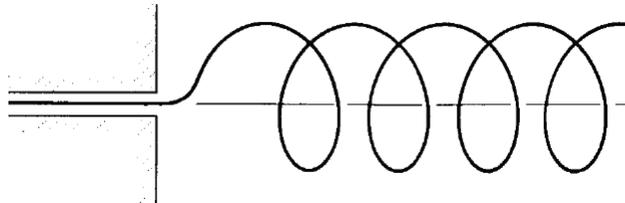


FIG. 2.6 – schéma d'une antenne à hélice [9]

Lorsque l'angle est de 90° , on obtient une antenne à boucle, lorsqu'il est nul, on obtient une antenne linéaire. La polarisation de ces antennes est en général elliptique bien que pour certaines plages de fréquences, il soit possible d'obtenir des polarisations linéaires et circulaires.

2.3.2 Les antennes imprimées

Les antennes imprimées (micro ruban) forment le dernier groupe d'antennes sur l'échelle d'apparition chronologique de la grande famille des antennes. Elles ont moins de 60 ans !

Comme leur nom l'indique, elles sont plutôt de petite taille et appréciées pour des fréquences de fonctionnement avoisinant le GHz et au-delà (relation "taille – fréquence" acceptable pour des motifs de dimensions millimétrique et micrométriques). Elles sont actuellement utilisés aussi bien pour des applications militaires que civiles (commerciales). Leur apparence physique consiste en un objet conducteur, appelé communément < patch >, rapporte sur un substrat planaire ou non, comportant un plan de masse, de manière optionnelle, sur la même face ou la face opposée a celle comportant le patch. Le patch métallique peut se décliner en d'innombrables formes : rectangulaires, circulaires, (Fig.2.7) triangulaires, elliptiques, avec ou sans fente. Ces antennes sont d'une grande polyvalence.

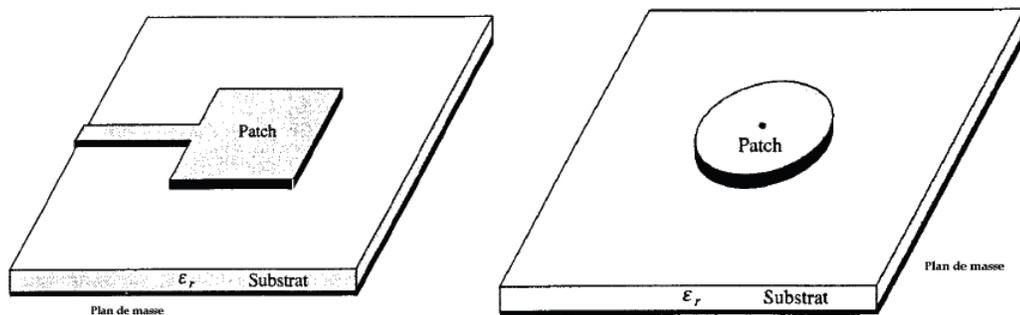


FIG. 2.7 – antennes planaires à patch de masse [9]

Le fonctionnement de ces antennes est issu de celui des antennes micro ruban. On retrouvera ainsi des éléments conducteurs, de petite taille, sur des substrats plans.

Les antennes à patch plein, rectangulaire et circulaire, restent les plus appréciées pour leur analyse aisée, leur fabrication d'abord facile : elles sont généralement réalisées par des technologies de circuits imprimés, et de la microélectronique. Enfin, elles sont appréciées pour leurs caractéristiques de rayonnement polyvalentes en terme de fréquence de résonance, de polarisation, d'impédance, etc. Elles conviennent aussi bien à des applications militaires (aérospatiale, satellites, missiles) que civiles (voitures, téléphones mobiles, ou tout objet devant être identifié).

2.3.2.1 Comparaison d'antennes planaires

Les déclinaisons d'antennes sont nombreuses mais nous pouvons les répertorier dans trois sous-familles différentes, de par leur aspect et leur fonctionnement différent : le patch micro ruban, le dipôle imprimé, la fente.

Antennes patch micro ruban

Comme nous l'avons déjà décrit dans le paragraphe précédent les antennes patch sont constituées d'une forme en matière conductrice sur une face d'un substrat plastique, qui contient sur l'autre de ses faces un plan de masse. La forme du patch peut être carrée, rectangulaire, triangulaire, elliptique ou encore annulaire (Fig.2.8)



FIG. 2.8 – Différentes formes élémentaires de patch [10]

Les formes carrées / rectangulaire et circulaires sont élémentaires mais les plus utilisées et de fonctionnement maîtrisé. C'est donc grâce à la forme la plus simple d'entre elles – le patch rectangulaire - que nous allons tenter de démontrer la faisabilité de matériaux bas-cout à former une antenne. Leurs dimensions sont inversement proportionnelles à la fréquence de résonance et de la racine carrée de la partie réelle de la permittivité relative du substrat. Ainsi, à permittivité constante, plus la fréquence de fonctionnement de l'antenne n'est voulue grande, plus les dimensions sont petites. De même, à la fréquence de fonctionnement constante, plus la permittivité est grande, plus les dimensions d'antennes sont petites. C'est la raison pour laquelle de nombreuses recherches se sont portées sur les matériaux à forte permittivité ('High k ').

Antennes à fente imprimées

Les antennes à fente imprimées peuvent être considérées comme les duales des antennes patch. Rappelons que pour cette dernière catégorie, le plan de masse se trouve sur la face opposée au motif. En revanche, la métallisation des antennes à fente imprimées se trouve sur la même face que le motif.

Ainsi donc, les antennes à fente imprimées contiennent une fente, théoriquement de n'importe quelle forme, dans le plan de masse, relié au substrat. En pratique, on utilise des formes rectangulaires, en anneau, ou circulaire (Fig.2.9).

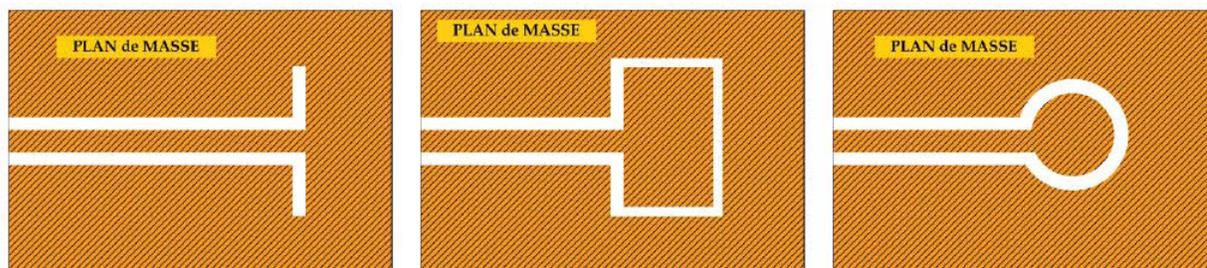


FIG. 2.9 – Quelques formes d’antennes à fente dans le plan de masse [10]

Ces antennes sont appréciées dans le monde industriel par leur présentation monocouche ; en effet, nul besoin de retourner le support diélectrique pour déposer une deuxième couche de matériau conducteur. En revanche, elles sont dépréciées par rapport à d’autres antennes imprimées pour leur grande quantité de matière conductrice, et donc de leur coût.

Dans un souci de résumer cette partie traitant des antennes micro ruban, nous compilons dans le tableau ci-dessous (Tab.1) les différents paramètres relatifs au rayonnement d’antennes .

| Taille | Petite | Petite | Petite |
|------------------------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Fabrication | Très facile | Facile | Facile |
| Polarisation | Linéaire et circulaire | Linéaire et circulaire | Linéaire |
| Choix dans les formes | N’importe quelle forme | Rectangulaire et circulaire | Rectangulaire et circulaire |
| Largeur de bande | 2-50% | 5-30% | 5-30% |
| Directivité | 6-7 dBi | Très petite | 2.5-4.5 dBi |

FIG. 2.10 – comparaison des paramètres de rayonnement en fonction du type d’antennes planaires [10]

2.3.3 Quelques exemples d’antennes miniaturisées

Selon la forme de l’élément rayonnant, il existe :

- L’antenne L inversée (ILA : Inverted L Antenna) qui a la structure d’un monopôle quart d’onde replié (Figure. 2.11). Ces performances en polarisations verticale et horizontale sont similaires.

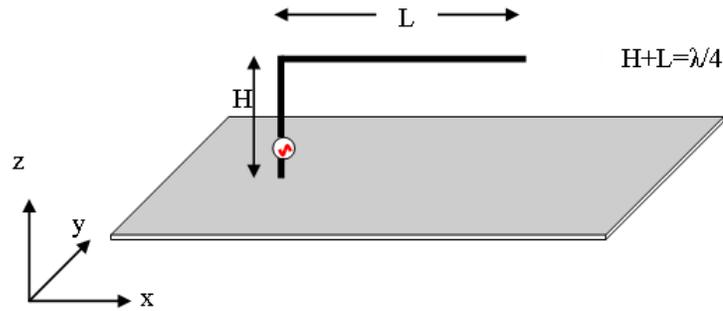


FIG. 2.11 – Antenne ILA [11]

- L'antenne imprimée quart d'onde qui est obtenue en réduisant de moitié la dimension longitudinale de l'antenne imprimée classique et en court-circuitant l'élément rayonnant au plan de masse par une plaque métallique, ce court circuit permet d'augmenter la bande passante et diminuer la taille de l'antenne (Figure. 2.12). Son principe repose sur l'analogie dipôle/monopôle.

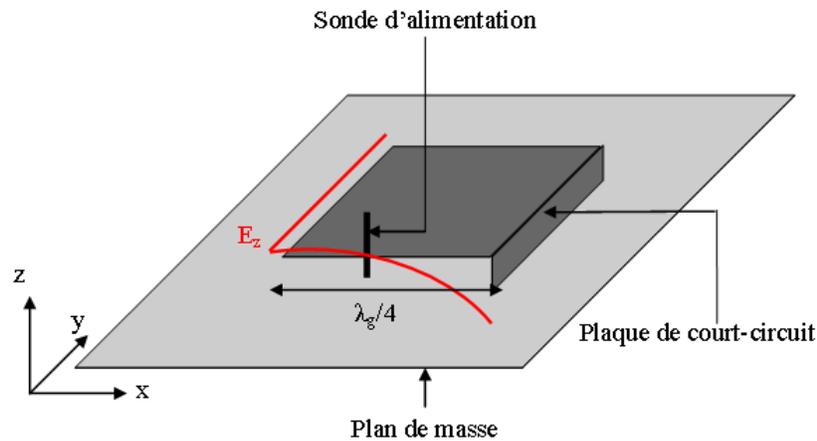


FIG. 2.12 – Antenne quart d'onde [11]

- L'antenne F inversée (IFA : Inverted F Antenna) qui est semblable à l'antenne ILA (Figure. 2.13).

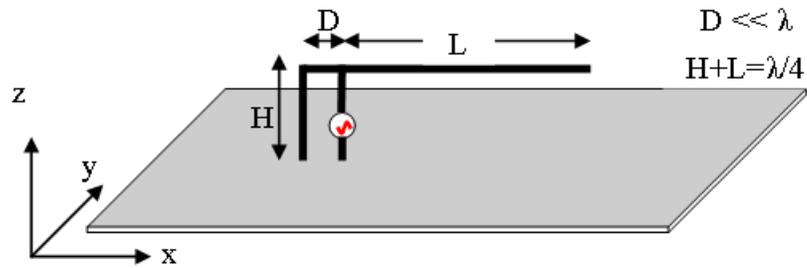


FIG. 2.13 – “Inverted F Antenna” (IFA) [12]

- L’antenne imprimée F inversée (PIFA : Planar Inverted-F Antenna) : c’est une antenne IFA dont l’élément rayonnant filaire est remplacé par une plaque métallique (Figure. 2.14).

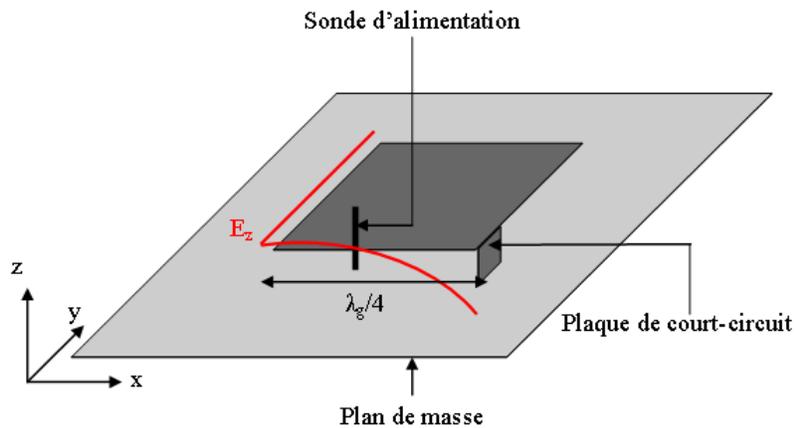


FIG. 2.14 – “Printed Inverted F antenna” (PIFA) [12]

Etant compactes et à profils simples, 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 (Figure.2.15). Ceci permet donc de s'affranchir d'une moitié du résonateur et d'avoir ainsi une résonance en $l/4$.

L'ajout du court-circuit entraîne l'addition d'une inductance, dont la valeur est directement liée aux dimensions de celui-ci. Ainsi, l'impédance d'entrée d'une antenne PIFA sera selfique.

Un inconvénient majeur de ces antennes est leurs bandes passantes étroites. De plus, les antennes PIFA sont complexes et leur configuration volumique (3 Dimensions) rend leur fabrication difficile et coûteuse.

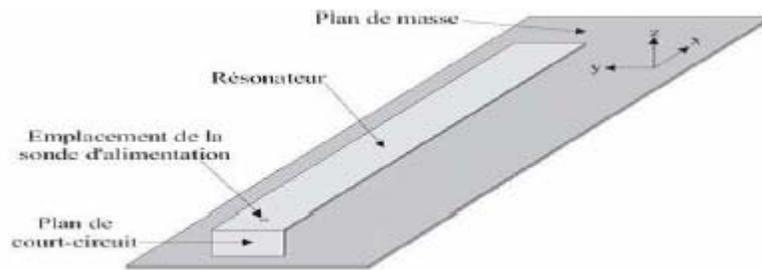


FIG. 2.15 – Antenne PIFA élémentaire [13]

Une antenne PIFA élémentaire comme celle de la figure.2.15 est mono-bande. Afin de rendre ces antennes multi-bandes, plusieurs techniques peuvent être utilisées (Figure 2.16/2.21) :

- Ajout de courts-circuits. (Figure 2.16)
- Insertion de fentes dans l'élément rayonnant. (Figure 2.17)
- Ajout de résonateurs parasites. (Figure 2.18)
- Utilisation de chargements capacitifs / ou inductifs soit localisés ou répartis. (Figure 2.19)
- Modification de l'élément rayonnant (en forme de triangles, méandres,...). (Figure 2.20)
- Utilisation des lignes métalliques très étroites repliées. (Figure 2.21)

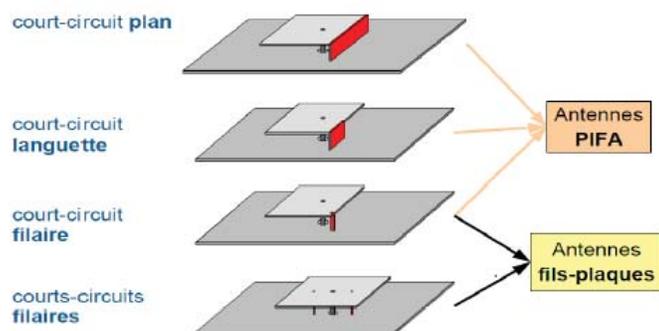


FIG. 2.16 – Ajout de courts-circuits [13]

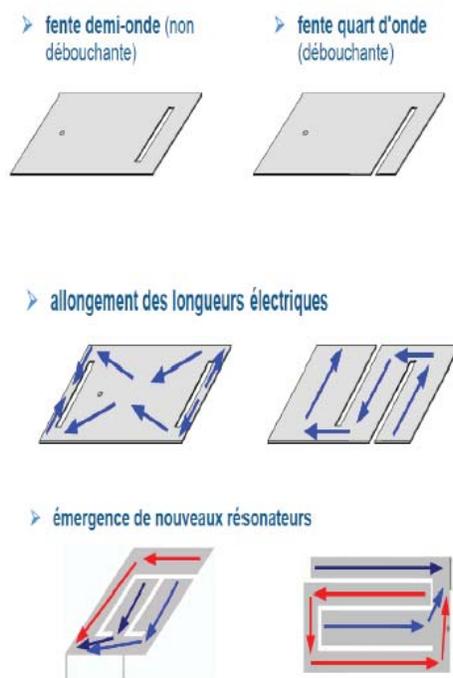
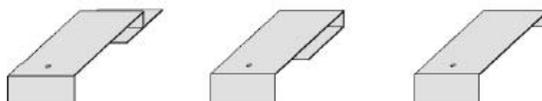


FIG. 2.17 – Insertion de fentes dans l'élément rayonnant [13]

➤ résonateur parasite **juxtaposé**➤ résonateur parasite **superposé**

FIG. 2.18 – Ajout de résonateurs parasites [13]

➤ insérés en bout d'élément



➤ insérés dans l'élément



FIG. 2.19 – Utilisation de chargements capacitifs / ou inductifs soit localisés ou répartis [13]

➤ en forme de **noeud-papillon**

➤ repliement des éléments rayonnants

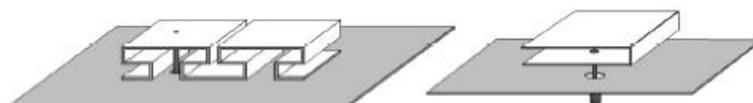


FIG. 2.20 – Modification de l'élément rayonnant [13]

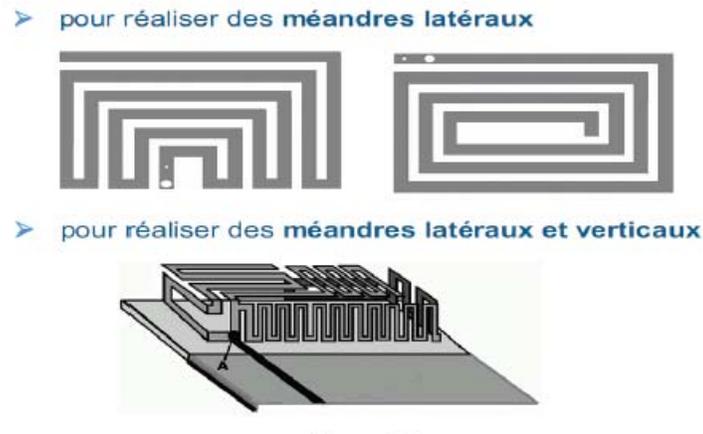


FIG. 2.21 – Utilisation des lignes métallique très étroites repliées [13]

Les avantages ainsi que les inconvénients de l'utilisation du concept d'antennes PIFA (avec les techniques, d'obtention du comportement multi-bande, citées ci-dessus) pour l'obtention d'antennes multi-bandes sont donnés dans la fig 2.22.

| Points forts | Points faibles |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Profils simples. - Miniature (compacte). | <ul style="list-style-type: none"> - Manque de règle de conception ou dimensionnement pour l'aspect multi bande - Faible bandes passantes - Fabrication relativement difficile et coûteuse - Polarisation des ondes et rayonnement difficilement maitrisables |

FIG. 2.22 – Points forts et faibles des antennes de type PIFA [13]

2.4 Conclusion

Nous avons tout d'abord présenté, dans ce chapitre, les différents paramètres relatifs aux antennes. Pour les introduire, nous avons rappelé les quelques paramètres essentiels d'une antenne tel que l'impédance, les coefficients de réflexion et le ROS n'en sont que des paramètres dérivés. Il est également nécessaire de connaître la plage de fréquences sur laquelle fonctionne l'antenne pour se conformer par la suite aux normes en vigueur. Nous avons appelé cet ensemble de paramètres, les "paramètres circuit".

Un autre ensemble de paramètres est celui relatant les facultés de rayonnement des

antennes. Aussi, nous avons évoqué le diagramme de rayonnement qui donne une vision spatiale, gain, directivité et angle d'ouverture en étant des dérivés.

Dans une seconde partie de ce chapitre, nous avons introduit la famille des antennes sur laquelle porte notre étude : les antennes imprimées. Parmi celles-ci, on compte des configurations patch ou à fente. Dans le prochain chapitre, on va traiter les antennes les plus utilisées pour la communication mobile avec leurs simulations.

Chapitre 3

Les antennes monobande et multibande pour téléphonie cellulaire

3.1 Introduction

Les communications sans fil ont progressé très rapidement ces dernières années et beaucoup d'unités mobiles deviennent plus petites. Pour répondre à l'exigence de la miniaturisation, les antennes utilisées dans les terminaux mobiles doivent avoir des dimensions réduites. Les antennes planaires, telles que le micro ruban et les antennes imprimées ont les dispositifs attrayants du profil bas, de petite taille, et de la conformité aux centres serveurs de support, sont les candidats très prometteurs pour satisfaire cette considération de conception. Pour cette raison, la technique de contrat, à large bande de conception pour les antennes planaires ont attirées l'attention de beaucoup de chercheurs d'antenne. Beaucoup d'antenne planaire originale conçus pour satisfaire des caractéristiques spécifiques de largeur de bande des systèmes de communication cellulaires mobiles de nos jours comprenant le système global pour la communication mobile (GSM ; 890 – 960 MHz), le système de communication numérique (DCS ; 1710 – 1880 MHz), le système de communication personnel (PCS ; mégahertz 1850 - 1990), et le système de télécommunication mobile universel (UMTS ; 1920 - 2170 MHz), ont été développés et édités dans la littérature .

Les antennes planaires sont également très attrayantes pour des applications d'appareils de communication pour les systèmes de réseau local (WLAN) sans fil dans les

bandes de 2.4 GHz (2400 – 2484 MHz) et de 5.2 GHz (5150 - 5350 MHz).

Le but de notre thèse et de simuler quelques structures d'antennes planaires utilisés dans des applications pour communication sans fil, en utilisons HFSS comme simulateur EM pour concevoir ces antennes planaires pour des communications sans fil. Par conséquent, nous avons choisi cinq types d'antennes ; antenne doublet, l'antenne rectangulaire de pièce rapportée, l'antenne de pièce rapportée d'alimentation de sonde et antenne triangulaire de micro ruban. À l'extrémité, nous proposerons quelques projets.

3.2 Outil de simulation

Dans ce chapitre nous simulons diverses conceptions d'antennes pour les réseaux cellulaires. HFSS est un simulateur double alternance de champ électromagnétique (EM) de haute performance pour la modélisation passive volumétrique arbitraire du dispositif 3D qui tire profit de l'interface utilisateurs graphique familier de Microsoft Windows. Il intègre la simulation, la visualisation, la modélisation pleine, Ansoft HFSS utilise la méthode d'élément fini (FEM) qui résout les équations de Maxwell avec les conditions au limite, le maillage adaptable, et les graphiques brillants pour donner l'exécution et la perspicacité inégalées à tous les problèmes de la fin de support 3D. Ansoft HFSS peut être employé pour calculer plusieurs paramètres tel que :

- Coefficient de réflexion (S11),
- Bandes de fréquence et largeur de bande,
- Impédance d'entrée d'antenne (Z_{in}),
- Diagramme de rayonnement en champ lointain d'antenne,
- Distribution courant,
- Distribution du champ électrique,
- Distributions du champ magnétique.

3.3 Antenne monopole imprimée, monopole + méandre

Les antennes monopoles sont utilisées généralement pour la radiodiffusion, les téléphones portables, et les communications sans fil à cause de leur propriété omnidirectionnelle.

3.3.1 Réglage préliminaire

Dans cette section nous détaillons les principales étapes à suivre pour la simulation des antennes monopoles en utilisant le simulateur HFSS. La figure 3.1 illustre la configuration globale de la simulation qui inclut :

- Boîte d'air de dimensions : longueur =300mm, largeur =250mm, hauteur= 180mm. C'est pour fournir une distance plus que $\frac{\lambda_{max}}{2}$ entre l'antenne et la boîte d'air, où λ_{max} correspond à la plus basse fréquence de simulation.
- La taille de circuit imprimé (PCB) : longueur : 100mm, largeur 60mm, et 1mm d'épaisseur (figure 3.3.a)
- Le type du substrat utilisé est epoxy FR4 de constante diélectrique relative $\epsilon_r = 4.4$.
- Le carte PCB a un espace disponible de largeur 11mm et de longueur 60 mm.
- Le port d'alimentation 50 Ω (champ lointain) est montré dans figure 3.3.a (couleur rose).
- Deux plans de masse au dessus et au dessous fabriqués de cuivre (figure 3.3.c).
- Les deux plans de masse supérieure et inférieure sont court-circuités, ceci peut arriver en réalité en introduisant le FR4 PCB.
- la ligne guide d'ondes coplanaire 50 Ω (CPW) qui relie le port d'alimentation à l'antenne. La ligne de CPW est de longueur 12mm, de largeur 8mm, avec l'espace de 0.25 millimètre sur le plan de masse supérieure sur chaque côté (voir la figure 3.3.d).

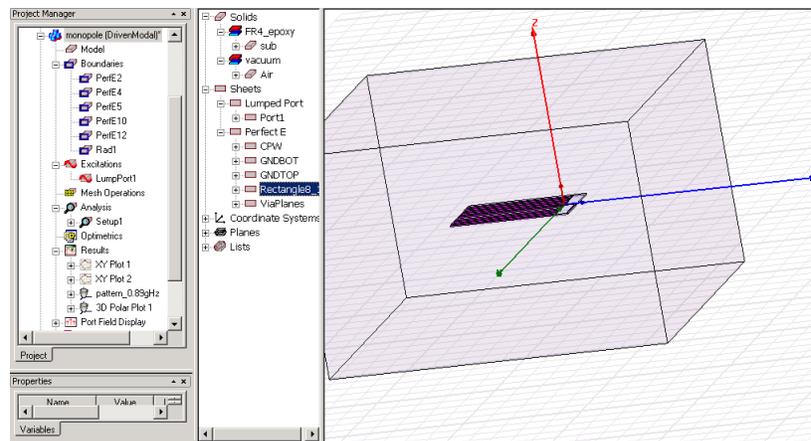


FIG. 3.1 – Configuration globale de simulation

Le cercle bleu dans figure 3.1 contient les résultats de simulation (le coefficient de réflexion S11 et les diagrammes de rayonnement)

La configuration de la simulation est illustrée sur le cercle rouge dans la figure 3.1. Comme l'indique la figure 3.2, nous employons un calcul rapide avec espacement de fréquence linéaire entre 500 MHz et 3 GHz avec un pas 5 MHz.



FIG. 3.2 – La configuration de la bande simulation sur HFSS

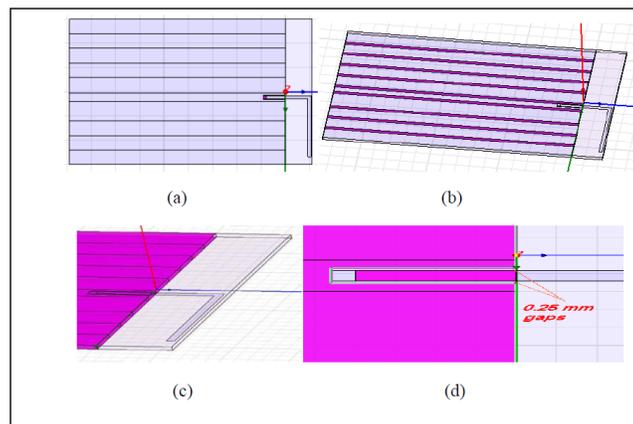


FIG. 3.3 – Exemple d’une réalisation :(a) la vue supérieure illustrant le port d’alimentation 50Ω (lumped port) ,(b) vue de 3D montrant les rectangles de la masse (en réalité vias) entre les 2 plan de masse , (d) les plans de masse supérieur et inférieur (e) la ligne guide d’ondes coplanaire 50Ω (CPW) qui se le port d’alimentation à l’antenne.

L’antenne monopole imprimé est de longueur $\frac{\lambda}{4} = 35$ millimètres avec : la longueur d’onde $\lambda = \frac{c}{f} = 140\text{mm}$, C est la vitesse de la lumière et la fréquence $\text{Freq} = 2.1 \text{ GHz}$.

Le choix de 11mm comme largeur de dégagement s'explique par la raison suivante : les cartes PCB des téléphones portables sont typiquement peuplés par : l'écran d'affichage à cristaux liquides LCD, batterie, composants, processeur, et puce... Donc, il y a un petit espace disponible pour l'antenne.

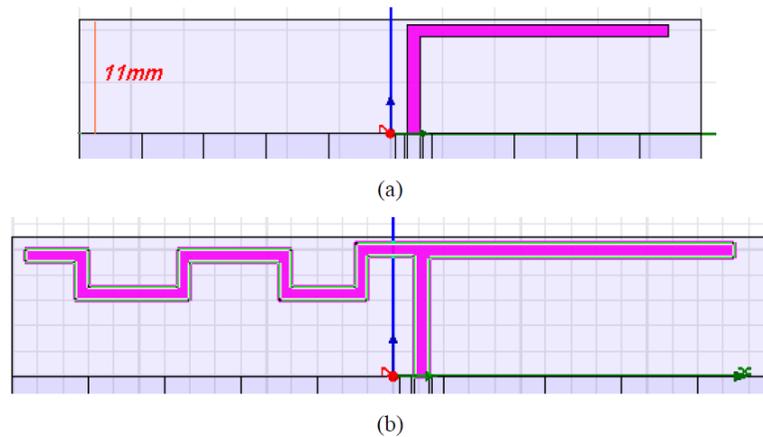


FIG. 3.4 – (a) Monopole imprimé, (b). Monopole avec méandre.

Afin de comprendre les manières d'augmenter la largeur de bande ou exciter une autre bande, nous ajoutons un méandre de l'autre côté de monopole imprimé comme illustré dans la figure 3. 4.b.

3.3.2 Le coefficient de réflexion

Le coefficient de réflexion de la figure 3.4.a et la figure 3.4.b est illustré dans les figure 3.5 et 3.6 respectivement.

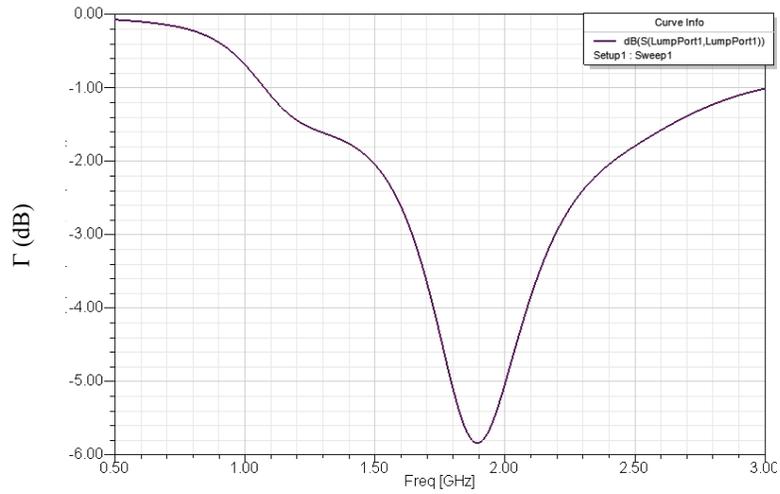


FIG. 3.5 – Coefficient de réflexion de l’antenne monopole

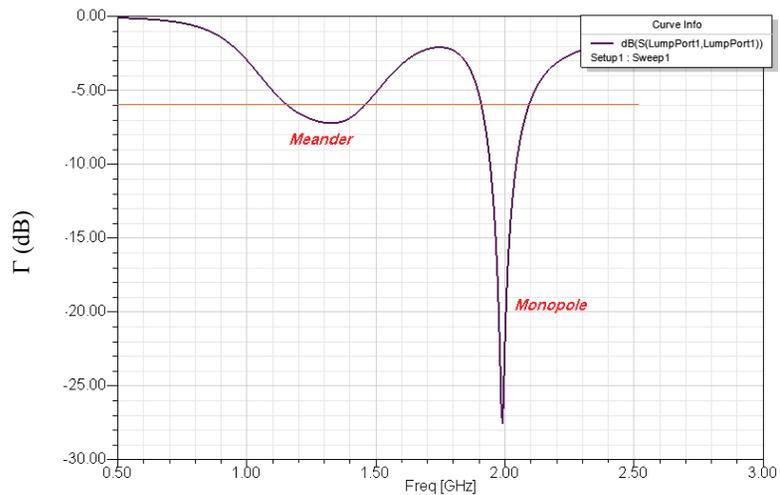


FIG. 3.6 – Coefficient de réflexion de l’antenne monopole méandre.

Il est clair que l’espacement de 11mm n’est pas suffisant pour que le monopole adapté au port 50Ω rayonne à 1.9 GHz. Typiquement, La bande passante est obtenue à -6 dB. Évidemment, le monopole n’atteint même pas ce seuil. Par contre, le monopole méandre atteint le seuil 6 dB à deux fréquences : 2 GHz et 1.3 GHz respectivement.

Les largeurs de bande sont calculées comme suit :

$$BP = \frac{F_{max} - F_{min}}{F_{center}} = \frac{1.49 - 1.125}{1.33} = 24.7\%$$

$$BP = \frac{F_{max} - F_{min}}{F_{center}} = \frac{2.105 - 1.9}{1.99} = 10.3\%$$

Pour mieux voir, nous traçons l'impédance d'entrée de ces deux antennes (voir la figure 3.7 3.8). Comme prévu, la résonance d'antenne monopole est à 2.1 GHz cependant que l'adaptation d'impédance à cette résonance est plus de 200Ω (figure 3.7). L'impédance d'entrée de l'antenne $Re(Z_{in}) = 50\Omega$ est obtenu à une fréquence inférieure de 1.9 GHz (L'intersection de la ligne verte avec la courbe Z_{in}). A cette fréquence, la partie imaginaire est différente de zéro ($Im(Z_{in}) = 80\Omega$). C'est pour cette raison que le S11 à 1.9 GHz dans la figure (3.5) est au-dessus -6 dB.

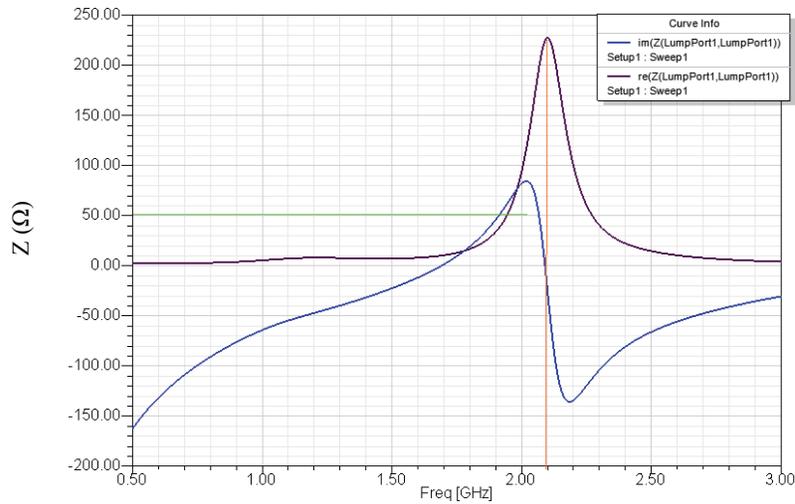
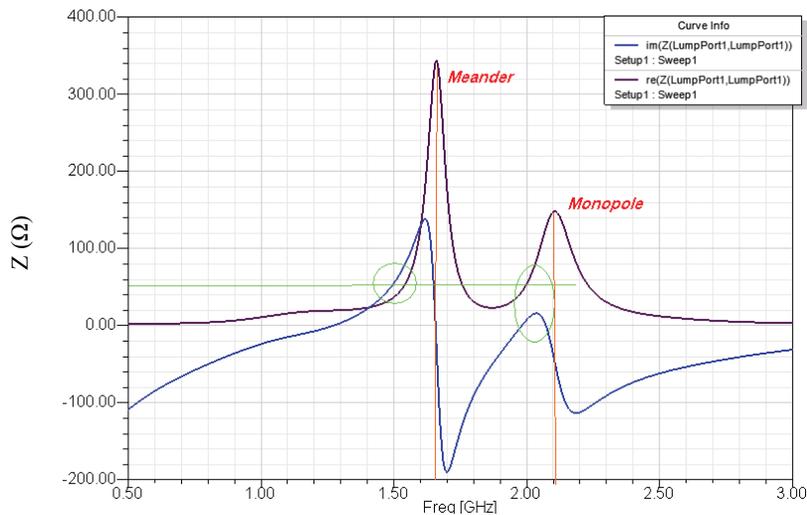


FIG. 3.7 – Impédance Z_{in} d'entrée monopole

FIG. 3.8 – Impédance Z_{in} monopole méandre.

Le monopole méandre a deux résonances comme prévu, à 2.1 GHz (monopole simple) et à 1.65 GHz (monopole méandre). L'adaptation par rapport 50Ω a eu lieu au dessous de la ligne verte sur la (voir la figure (3.8)).

3.3.3 Diagrammes de rayonnement

Les diagrammes de rayonnement du monopole (à 1.9 GHz) et monopole plus méandre (à 2 GHz et à 1.3 GHz respectivement) sont illustrés dans la figure 3.9, figure 3.10, figure 3.11 respectivement. Pour plus de clarté nous avons également inclus les étapes à suivre pour tracer le diagramme de sur HFSS figure 3.12.

Il est évident que le monopole ne rayonne pas de la même façon que le monopole méandre.

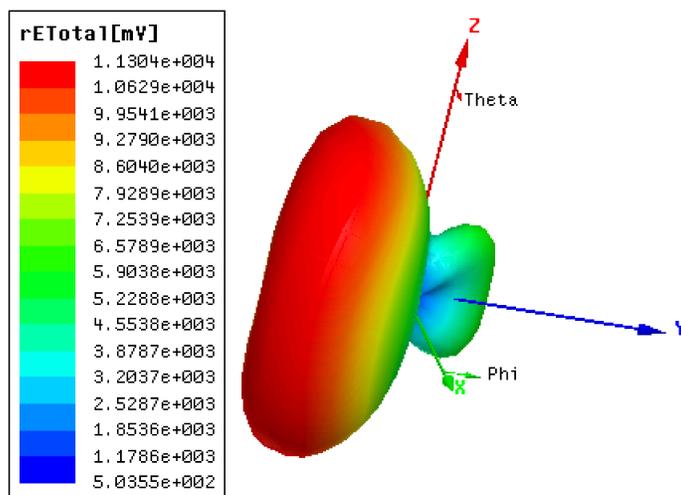


FIG. 3.9 – diagrammes de rayonnement (a) monopole à 1.9 GHz

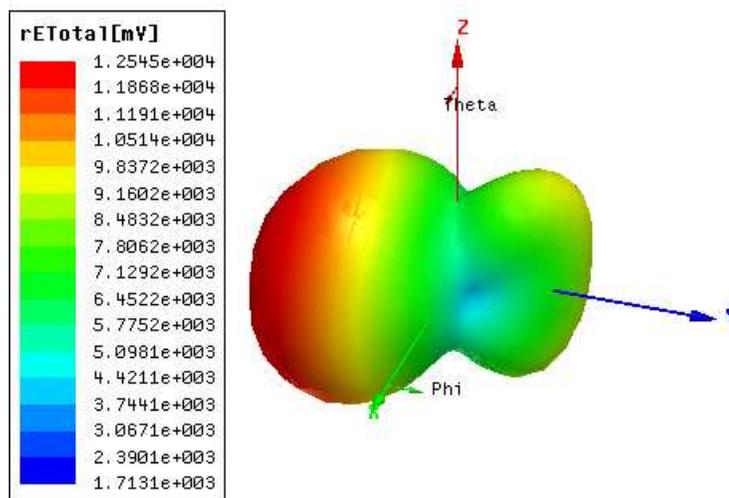


FIG. 3.10 – diagrammes de rayonnement (b) monopole plus le méandre à 2 GHz

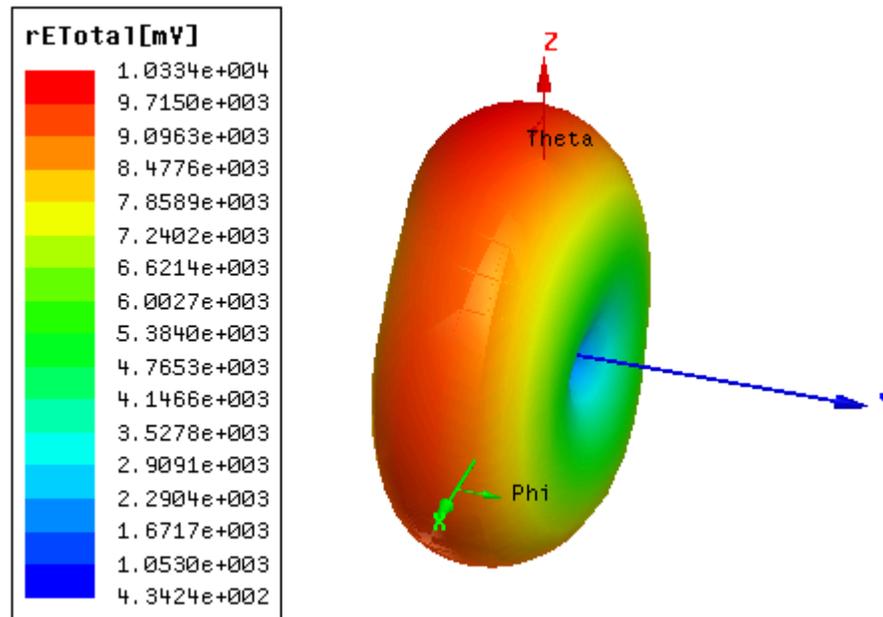


FIG. 3.11 – diagrammes de rayonnement (c) monopole plus le méandre à 1.3 GHz,

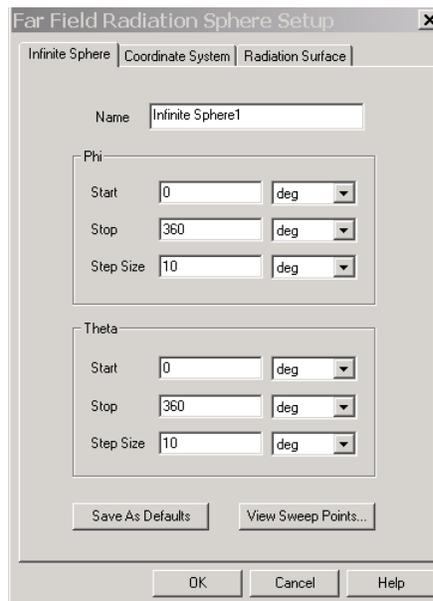


FIG. 3.12 – Options de simulation .

3.3.4 Distribution de courant

La distribution de courant du monopole (à 1.9 GHz) et monopole méandre (à 2 GHz et à 1.3 GHz respectivement) sont illustrées dans la figure 3.13, la figure 3.14, et la figure

3.15 respectivement. Nous avons également inclus les étapes à suivre pour afficher la distribution de courant sur HFSS (voir figure 3.16).

Il faut noter que seul le méandre contribue au rayonnement à 1.3 GHz.

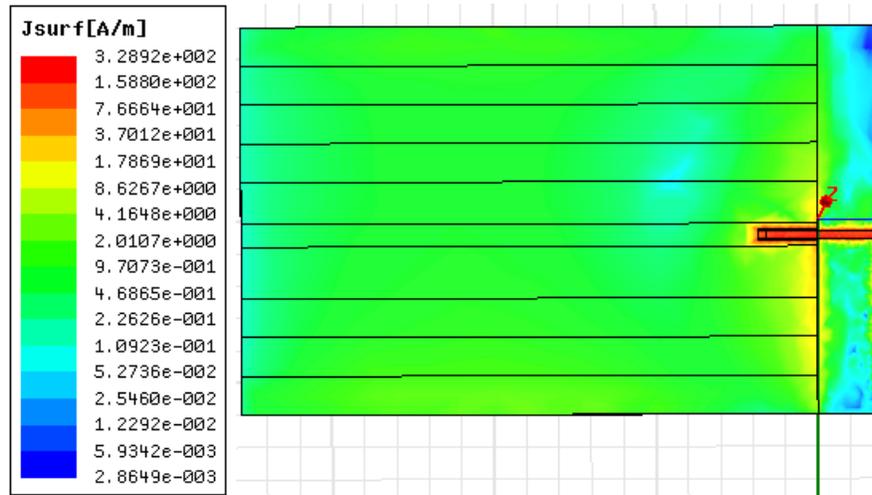


FIG. 3.13 – Distribution du courant (a) Monopôle à 1.9 GHz

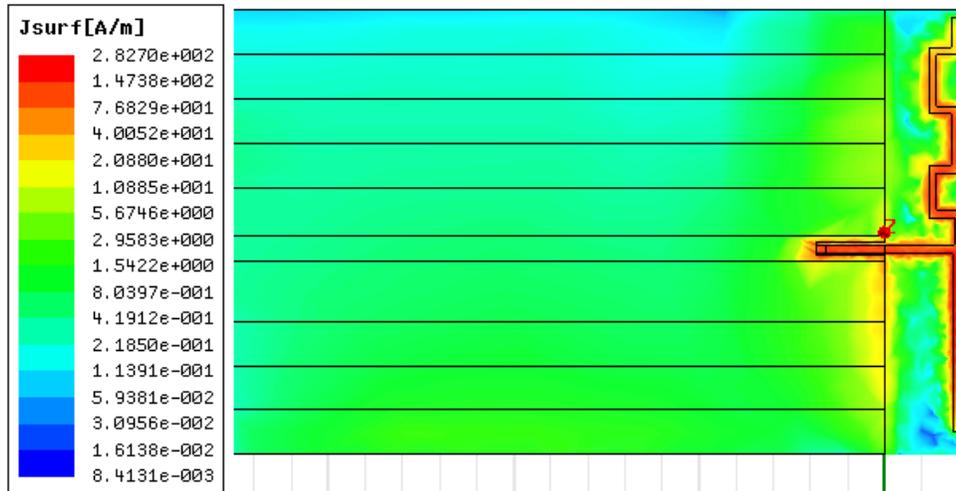


FIG. 3.14 – Distribution du courant (b) Monopôle méandre à 2 GHz, .3 GHz

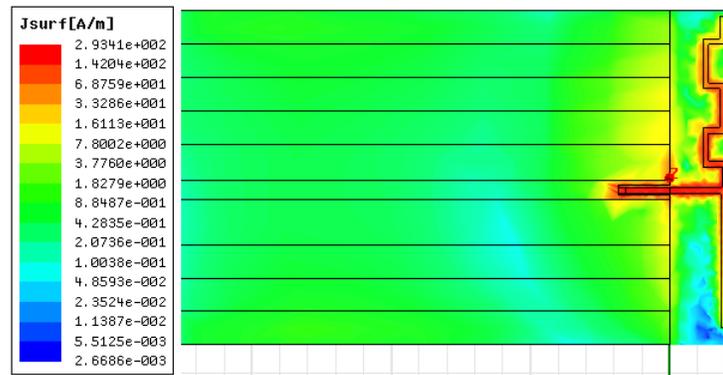


FIG. 3.15 – Distribution du courant , (c) Monopôle méandre à 1.3 GHz

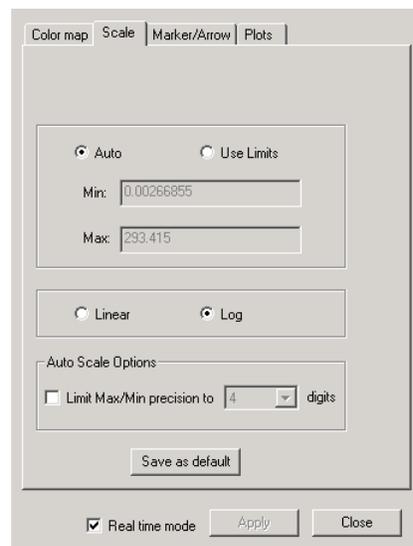


FIG. 3.16 – Option de simulation pour la distribution de courant.

3.4 Antenne inversée F (PIFA)

L'antenne PIFA est illustrée dans la figure 3.17. Elle est constitué d'un monopôle $\frac{\lambda}{4}$ d'une longueur 35 mm ,un court circuit liée à la masse du côté opposé. Pour le circuit imprimé , on a utilisé comme conducteur le cuivre (région rose dans figure 3.17) déposé sur le substrat FR4 epoxy.

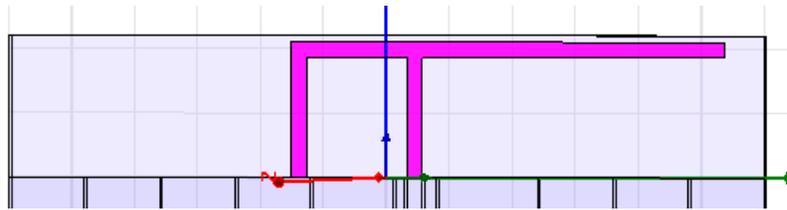


FIG. 3.17 – Antenne PIFA

3.4.1 Coefficient de réflexion S11

Le coefficient de réflexion de l’antenne est illustré dans la figure 3.18.

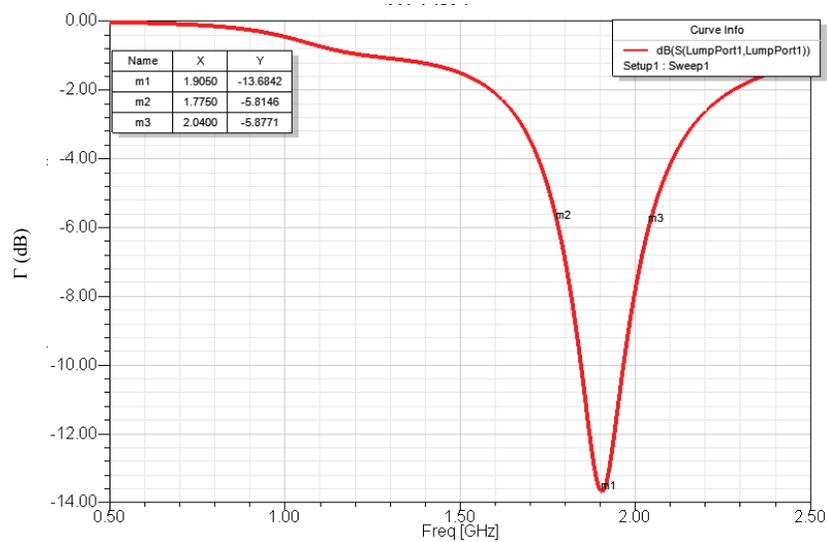


FIG. 3.18 – Variation du module de coefficient de réflexion de l’antenne PIFA .

Il est clair que l’espacement de 11mm par rapport au plan de masse, permet à l’antenne PIFA de rayonner à 1.9 GHz. En comparant la figure 3.5 avec la figure 3.18, il est clair que l’addition d’un court circuit supplémentaire aide à adapter l’antenne au port d’alimentation de 50 Ω.

3.4.2 Bandes de fréquence et largeur de bande

La bande passante et la largeur de bande sont déduites à partir de tracé du coefficient de réflexion S11 comme suit :

$$BP = \frac{F_{max} - F_{min}}{F_{center}} = \frac{2.04 - 1.77}{1.9} = 14.2\%$$

3.4.3 Impédance d'entrée

Nous traçons l'impédance d'entrée de l'antenne PIFA dans la figure 3.19. Comme prévu, la résonance du monopôle est à 2.1 GHz avec une bonne adaptation par rapport à 50Ω . Cependant, l'adaptation d'impédance de monopôle + court circuit est extrêmement haute.

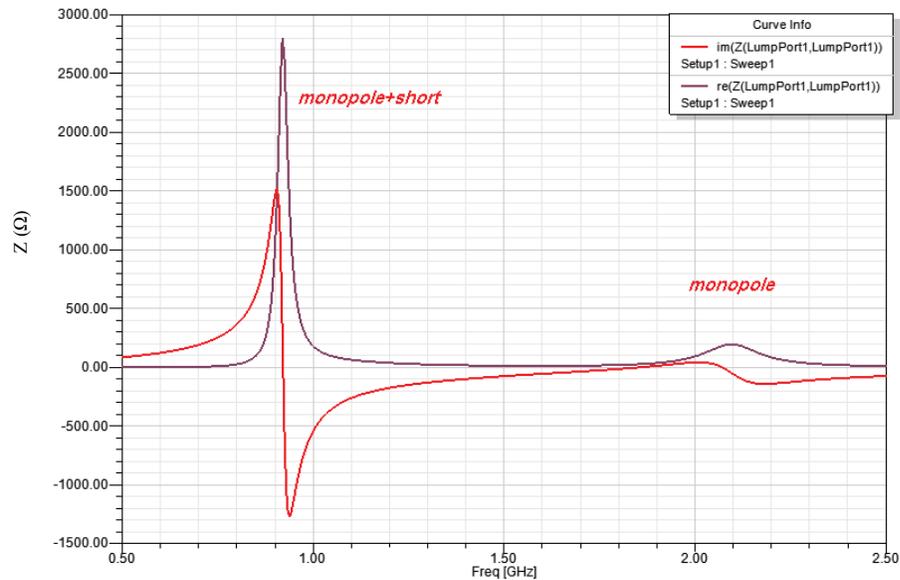


FIG. 3.19 – Impédance d'entrée Z_{in} d'antenne PIFA.

3.4.4 Diagramme de rayonnement

Les diagrammes de rayonnement de l'antenne PIFA (à 1.9 GHz) est illustré dans la figure 3.20. Il est évident que le diagramme de rayonnement soit identique au rayonnement de l'antenne monopôle (figure 7.a et 7.b).

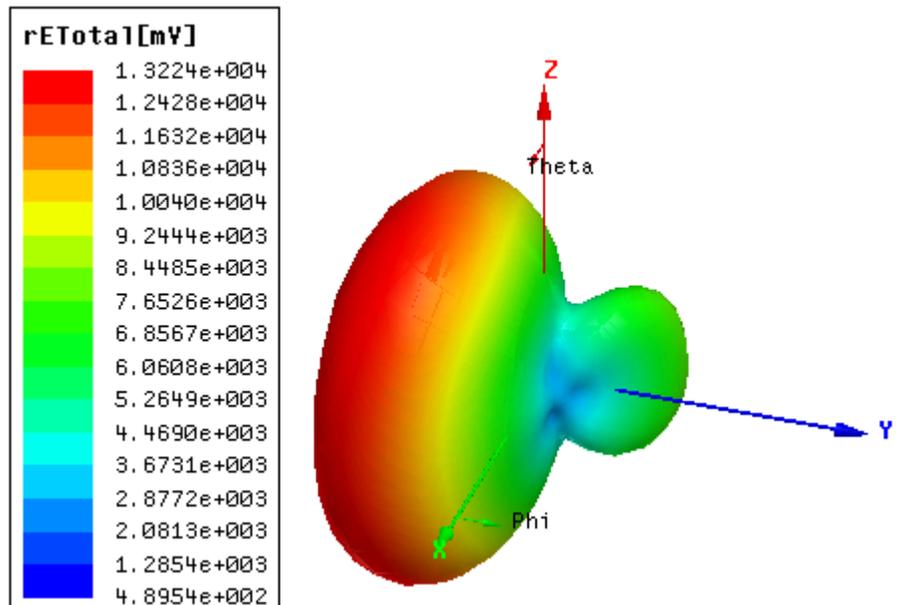


FIG. 3.20 – Diagrammes de rayonnement de l’antenne PIFA.

3.4.5 Distribution courant

La distribution de courant de l’antenne PIFA (à 1.9 GHz) est illustrée dans la figure 3.21. Bien que la totalité du rayonnement vienne du monopôle, mais le court-circuit joue un rôle primordial dans l’adaptation d’impédance.

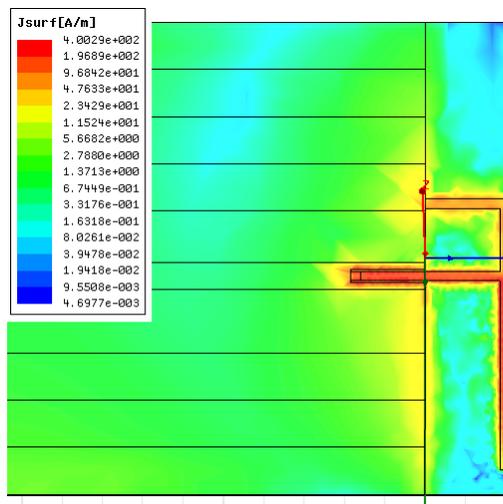


FIG. 3.21 – Distribution courant d’antenne PIFA.

3.5 Antenne monopôle chargée

Le monopôle chargé est illustré dans la figure 3.22. Il est constitué d'un monopôle quart d'onde de la section 3.3 avec un chargement inductif en bout lié au plan de masse.

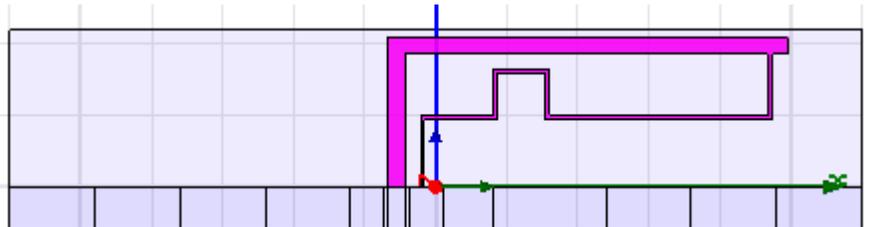


FIG. 3.22 – Monopôle chargé

3.5.1 Coefficient de réflexion S11

Le coefficient de réflexion de l'antenne est illustré dans figure ci –dessous.

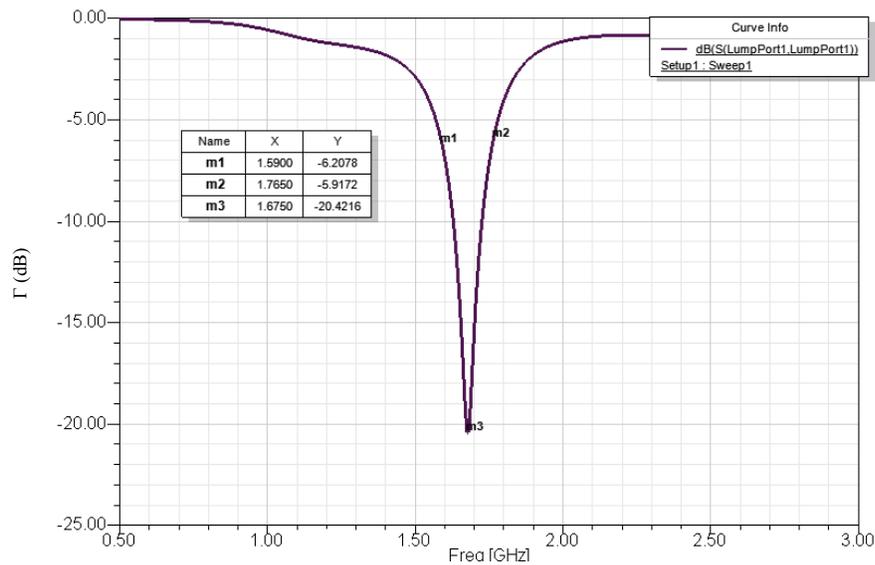


FIG. 3.23 – Coefficient de réflexion du monopôle chargé

Il est clair que l'ajout d'une charge inductive additionnel engendre un décalage de la bande de fréquence de 1.9 GHz à 1.67GHz sans augmenter la taille d'antenne et ave une adaptation à 50 Ω.

3.5.2 Bandes de fréquence et largeur de bande

La bande passante et la largeur de bande sont déduites à partir de tracé du coefficient de réflexion S11 comme suit :

$$BP = \frac{F_{max} - F_{min}}{F_{center}} = \frac{1.76 - 1.59}{1.67} = 10\%$$

Comme prévu, la largeur de bande diminue parce que la fréquence centrale a été décalée de 1.9 GHz à 1.67 GHz.

3.5.3 Impédance d'entrée

Nous traçons l'impédance d'entrée de l'antenne monopôle chargée dans la figure 3.24. Comme prévu, on a une bonne adaptation par rapport à 50Ω à la fréquence 1.7 GHz. Cette fréquence est beaucoup plus inférieure à la fréquence de résonance d'un monopôle ($f_r=1.9$ GHz).

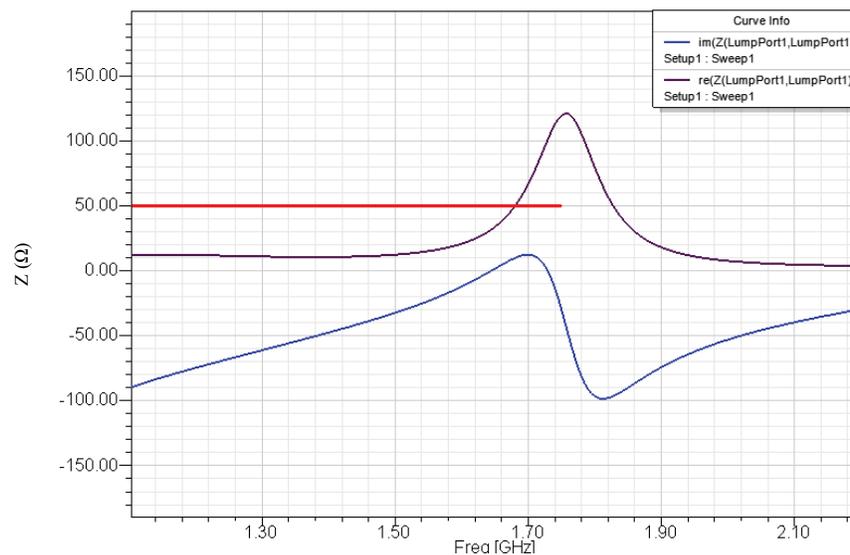


FIG. 3.24 – Impédance d'entrée Z_{in} d'antenne monopôle chargé.

3.5.4 Diagrammes de rayonnement en champ lointain

Le diagramme de rayonnement du monopôle chargé (à 1.7 GHz) est illustré dans la figure 3.25. Il est évident que le diagramme de rayonnement soit très différent du rayonnement de monopôle de la figure 7.a et la figure 7.b.

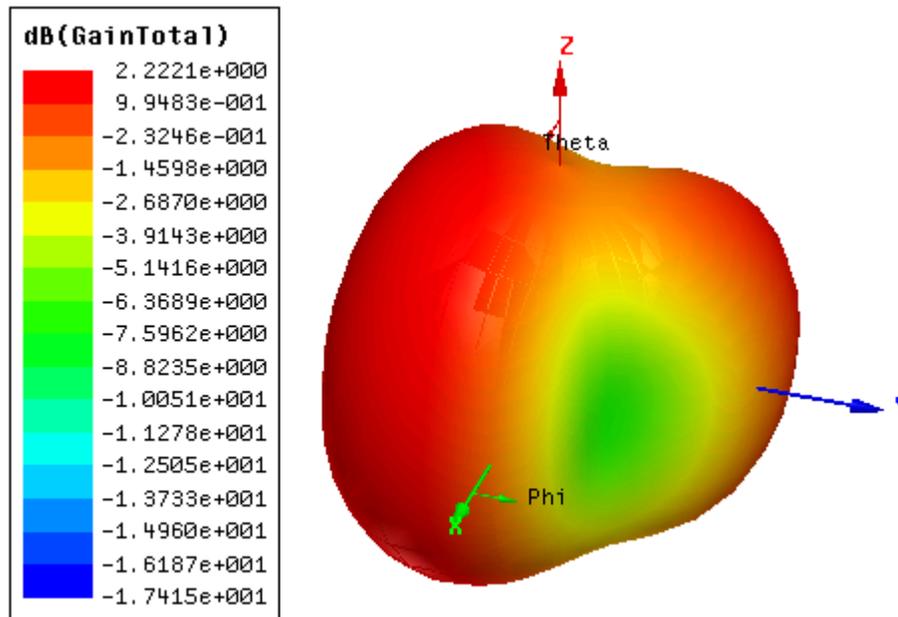


FIG. 3.25 – Diagramme de rayonnement d’antenne monopôle chargé

3.5.5 Distribution de courant

La distribution de courant du monopôle chargé (à 1.7 GHz) est illustrée dans la figure 3.26. Bien que la majeure partie du rayonnement vienne du monopôle, mais la charge inductive joue un rôle primordial dans l’adaptation d’impédance.

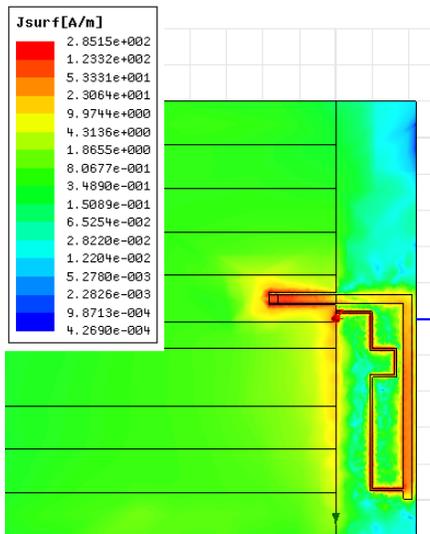


FIG. 3.26 – Distribution de courant du monopôle chargé.

3.6 Antenne PIFA chargée

L'antenne PIFA chargée est illustré dans la figure 3.27. Elle est constituée d'une antenne PIFA présentée dans la section 3.4 avec un chargement inductif en bout et un monopôle connecté au plan de masse. Nous nous attendons que cette antenne ait deux résonances à cause de l'écoulement continu du courant de la source (point A) à la masse (point C) et de point B vers le point C.

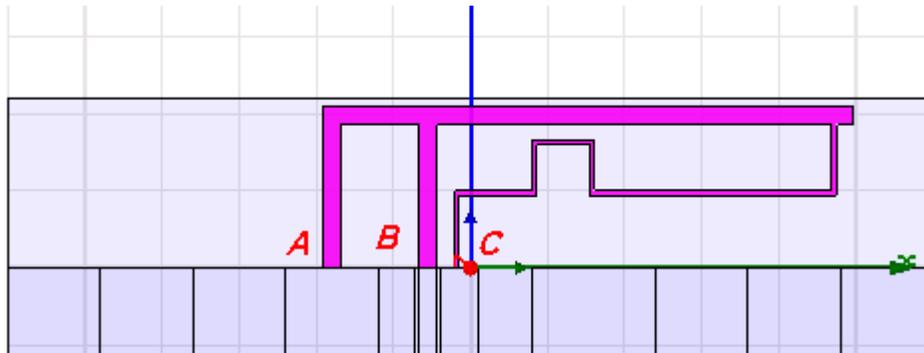


FIG. 3.27 – PIFA chargée

3.6.1 Coefficient de réflexion S11

Le coefficient de réflexion de l'antenne est illustré dans la figure 3.28.

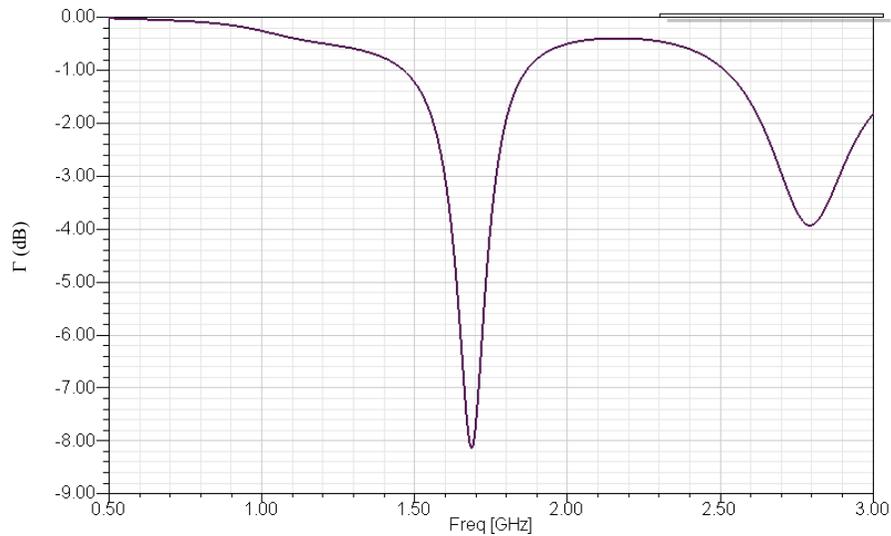


FIG. 3.28 – Coefficient de réflexion S11 de l'antenne PIFA chargée

Nous obtenons la même fréquence de résonance que dans le monopôle chargé avec une bonne adaptation de 50Ω (1.7 GHz). Par contre, nous voyons une autre fréquence de résonance à 2.8 GHz mais il n'y a pas une bonne adaptation à 50Ω .

3.6.2 Impédance d'entrée

L'impédance d'entrée de l'antenne PIFA chargée est illustrée dans la figure 3.29. Comme prévu, la résonance de monopôle chargée est environ 1.7 GHz avec une bonne adaptation par rapport à 50Ω . En se basant sur les distributions de courant dans la section 3.6.4, on peut attribuer le mode de résonance 2.9 GHz à l'antenne cadre (point B au point C), par contre, on remarque sur court circuit au point (A) qu'il y a un faible courant.

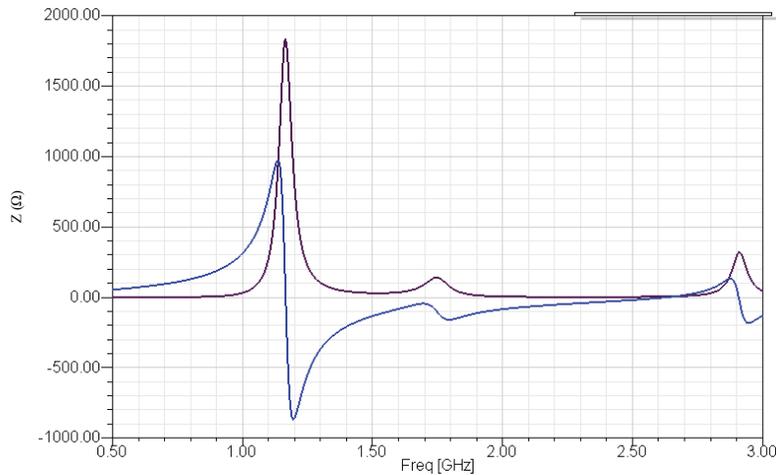


FIG. 3.29 – Impédance Z_{in} d'entrée d'antenne PIFA chargée.

3.6.3 Diagramme de rayonnement

Les diagrammes de rayonnement de l'antenne PIFA chargée (à 1.7 GHz et à 2.8 GHz) sont illustrés dans la figure 3.30. Il est évident que le diagramme de rayonnement à 1.7 GHz soit semblable au diagramme de rayonnement du monopôle chargé. Cependant, le diagramme de rayonnement à 2.8 GHz est très différent.

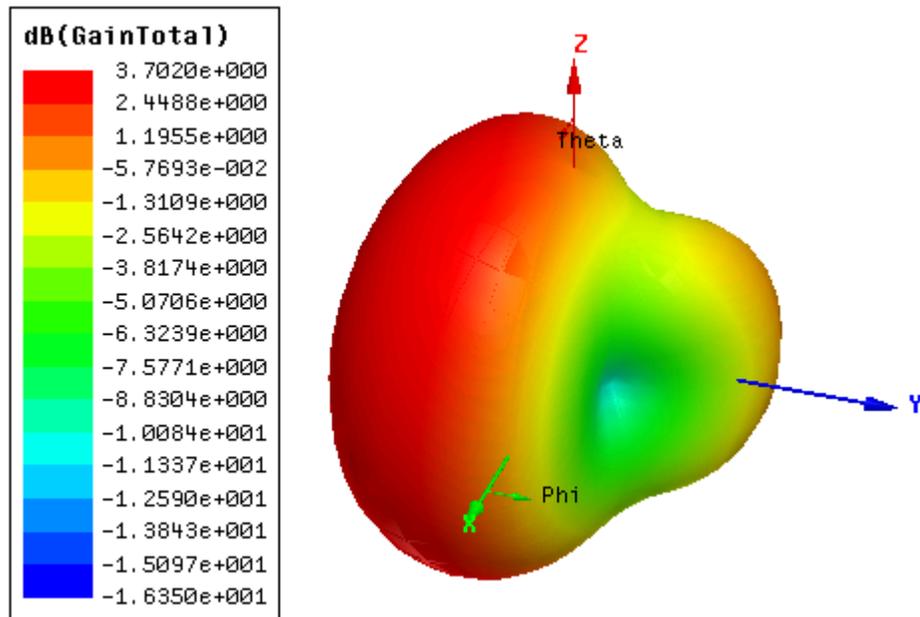


FIG. 3.30 – diagrammes de rayonnement d’antenne PIFA chargée à 1.7 GHz

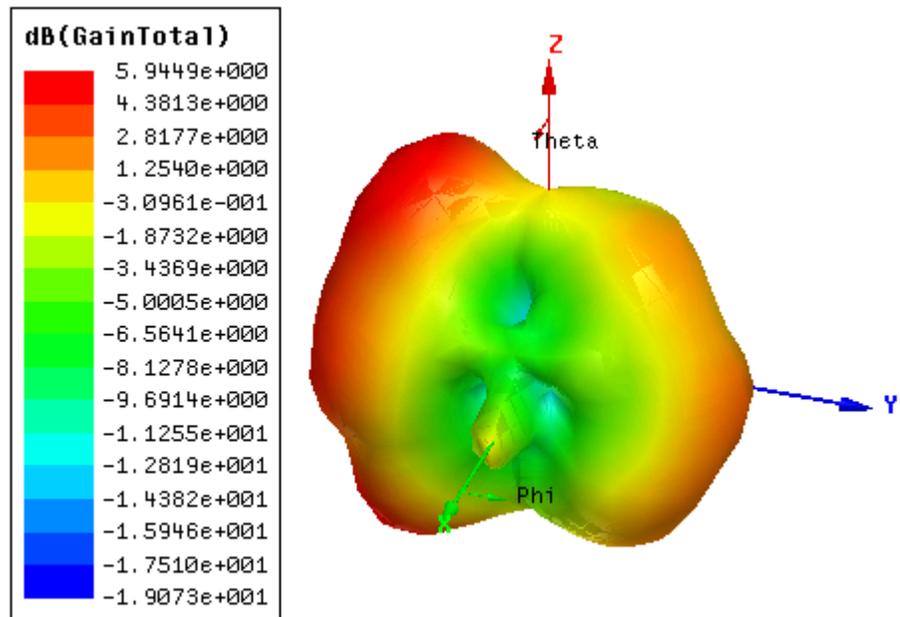


FIG. 3.31 – diagrammes de rayonnement d’antenne PIFA chargée (b) à 2.8 GHz

3.6.4 Distribution de courant

La distribution courant de PIFA chargée (à 1.7 GHz et à 2.8 GHz) est illustrée dans les figures 3.32 et 3.33. Il faut noter que la résonance à 2.85 GHz est due à l'antenne cadre (du point B vers C) puisque le court circuit au point A (figure 3.33) a moins de courant.

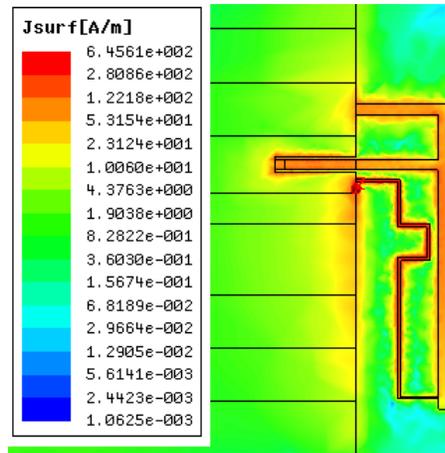


FIG. 3.32 – Distribution de courant de l'antenne PIFA chargée à 1.7 GHz

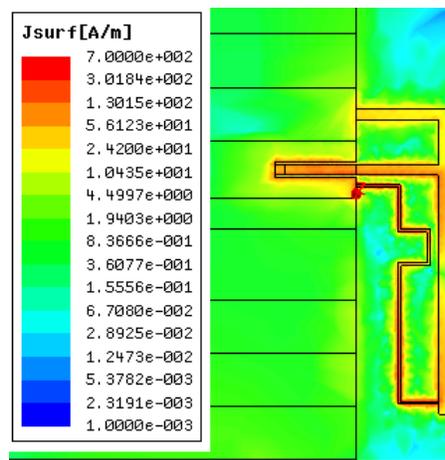


FIG. 3.33 – Distribution de courant de l'antenne PIFA chargée à 2.85 GHz.

3.7 Conclusion

Nous avons présenté au cours de ce chapitre une variété d'antenne telle que l'antenne monopole, monopole méandre, monopole chargé, pifa, pifa chargée. On a remarqué que

l'ajout d'un méandre dans l'antenne monopole a engendré un effet bi-bande. De même, l'ajout d'une charge (monopole charge) a amélioré l'adaptation par rapport au port d'alimentation 50Ω .

Conclusion Générale

Nous avons vu que les téléphones portables d'aujourd'hui doivent fonctionner autour des bandes de fréquence multiples, ce qui implique l'incorporation de bandes multiples de 800 MHz à 2.1 GHz. Nous avons également relevé le défi de réduire la taille et le coût d'antenne pour adapter la taille au coût décroissant des téléphones portables. Par conséquent, nous avons utilisé un simulateur électromagnétique HFSS pour étudier la possibilité d'utiliser des antennes directement imprimées sur des cartes électroniques. Nous nous sommes rendus compte que ces antennes peuvent être, par la suite, accordées aux bandes de fréquence souhaitée. Etant donné la courte durée pour maîtriser ce logiciel très élaboré et compliqué, nous sommes incapables d'identifier l'antenne finale qui répond à toutes les exigences de téléphone portable. Cependant, nous pouvons atteindre ce but après d'avantage d'optimisation de HFSS.

Nous récapitulons nos résultats simulés d'antenne dans le tableau 3.34 ci-dessous. Nous avons avec succès simulé des antennes mono-bande et multi-bande et on a comparé leur diagramme de rayonnement, l'adaptation d'impédance, et la distribution de courant. Évidemment, il y a un travail plus complexe à faire dans les bandes de fréquence cellulaires et l'intégration de ces antennes dans les mobiles.

| | Monopole | Monopole plus le méandre | IFA | Monopole chargé | IFA chargé |
|-------------------------|--|---|------------------|------------------|---------------------------------|
| Perte de retour | 1.9 GHz S11 > -6dB | 2 GHz et 1.3 GHz S11 < -6dB | 1.9 GHz | 1.67 GHz | 1.7 GHz et 2.8 GHz |
| Impédance | La partie imaginaire de l'impédance est différente de zéro | Bon adaptation par rapport 50 Ω avec une partie imaginaire presque nulle à 2 GHz | Bonne adaptation | Bonne adaptation | Mauvaise adaptation |
| Largeur de bande | // | 27.4% à 1.3 GHz 10.3% à 2 GHz | 14.2% à 1.9 GHz | 10% à 1.67 GHz | Presque aucune largeur de bande |

FIG. 3.34 – récapitulation des résultats simulés des antennes

A noter que toutes les antennes précédentes peuvent être utilisées dans les téléphones portables, Wifi et Bluetooth.

Bibliographie

- [1] Site CommentCaMarche.net - "Les réseaux sans fils" et "Le Wifi" Dossier réalisé par Jean -François Pillou.
- [2] C. informatique comment ça marche, Le wifi, 2005. [Online]. Available : www.commentcamarche.net
- [3] [http ://www.journaldunet.com/cc/05_mobile/mobile_abonnes_mde.shtml](http://www.journaldunet.com/cc/05_mobile/mobile_abonnes_mde.shtml) [6] P. Ciaï, R. Staraj, G. Kossiavas and C. Luxey, "Design of an Internal Quad-Band Antenna for Mobile Phones", IEEE Microwave and Wireless Comp. Lett.,Vol. 14, No. 4, pp. 148-150, April 2004.
- [4] R. Vaughan and J. B. Andersen "Channel propagation and antennas for mobile communications" The IEE Electromagnetic waves séries 50, 2003.
- [5] C.A. Balanis,"Antenna theory ", 3rd edition WILEY, 2005 [18, 19,20] Paret , "Identification radiofrequence et cartes a puce sans contact" DUNOD, 2001, K.Finkenzeller, " RFID Handbook ", WILEY, 2003
- [6] C. Decroze, "Etude et Optimisation d'un nouveau type d'antenne coplanaire. Application à des liaisons de proximité et Utilisation pour des dispositifs multifonctions et large bande", thèse de doctorat, 06 Décembre 2002, Université de Limoges.
- [7] G. Villemaud, "Etude d'antennes ruban tridimensionnelles compactes pour liaison de proximité. Application à des systèmes de télémessure et de localisation de téléphones cellulaires", thèse de doctorat, 11 décembre 2002, Université de Limoges
- [8] R. Vaughan and J. B. Andersen "Channel propagation and antennas for mobile communications" The IEE Electromagnetic waves séries 50, 2003.
- [9] C.A. Balanis,"Antenna theory ", 3rd edition WILEY, 2005
- [10] Paret , "Identification radiofrequence et cartes a puce sans contact" DUNOD, 2001, K.Finkenzeller, " RFID Handbook ", WILEY, 2003

-
- [11] C. Decroze, "Etude et Optimisation d'un nouveau type d'antenne coplanaire. Application à des liaisons de proximité et Utilisation pour des dispositifs multifonctions et large bande", thèse de doctorat, 06 Décembre 2002, Université de Limoges.
- [12] G. Villemaud, "Etude d'antennes ruban tridimensionnelles compactes pour liaison de proximité. Application à des systèmes de télémessure et de localisation de téléphones cellulaires", thèse de doctorat, 11 décembre 2002, Université de Limoges
- [13]]. Decroze, "Etude et Optimisation d'un nouveau type d'antenne coplanaire".

الخلاصة

نظرا لانتشار المعايير في مجال الشبكات النقالة واللاسلكية ، وبروز فكرة تصميم الهوائيات التي تكون قادرة على تغطية الكثير من هذه الموجات (تشغيل اللغات المتعددة الواسعة النطاق الشاملة) ، التي غالبا ما تكون صعبة التنفيذ المتزامن في وقت واحد.

نقدم في هذا البحث مجموعة من الهوائيات الكثيرة الاستخدام في الهواتف المحمولة والشبكات اللاسلكية WWAN، واي فاي wifi وبلوتوث Bluetooth عن طريق استخدام الهوائيات التالية بييفا، بييفا محملة، مونوبول Pifa,pifa charge ، monopole. جميع الهياكل المصممة هي مصممة بواسطة جهاز محاكاة كهرومغناطيسي HFSS .

الكلمات المفتاح : الشبكات اللاسلكية، هوائي مطبوع، متعدد الموجات ، بييفا PIFA .

Résumé :

Face à la prolifération des normes dans le domaine des communications mobiles et des réseaux sans fil, l'idée de concevoir des antennes qui réussissent à couvrir plusieurs de ces standards s'est imposée. Ces antennes doivent satisfaire différents critères (Fonctionnement multibande et large bande, diagramme de rayonnement omnidirectionnel, encombrement minimum, coût) qui sont souvent difficiles à mettre en œuvre de façon simultanée. Dans ce mémoire, on présente une variété d'antennes les plus utilisées pour les téléphones portables, Wifi et Bluetooth tel que monopole, monopole charge, monopole méandre, PIFA, PIFA charge. Toutes les structures conçues sont simulées à l'aide du simulateur électromagnétique HFSS.

Mots clés : Réseaux sans fil, antenne imprimée, multi bande, PIFA.

Summary:

With increasing proliferation of mobile wireless communication on a global scale, many new standards emerged to support broadband and multi-band operation for voice and data communication without geographical limitations. One of the key components of cellular handset affected by these standards is the antenna. Hence, the need to design and integrate antennas that are broadband and multi-band while complying with cellular carrier performance and cost requirements. In this study, we studied various antennas, which are printed directly on the circuit board, that are used in cell phones to analyze their ability to support multiple frequency bands. Examples of such antennas are monopole, IFA, and loaded IFA antennas. These antenna designs are simulated using the three-dimensional electromagnetic simulator HFSS.

Key words: Wireless communications, mobile, cellular, printed antenna, multi band, PIFA.