



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE  
ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET  
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
**UNIVERSITE ABOU BAKR BELKAID - TLEMCCEN**  
FACULTE DE TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE ET ELECTRONIQUE  
LABORATOIRE DE TELECOMMUNICATIONS



## **MEMOIRE**

Pour l'obtention du

## **DIPLOME DE MASTER**

OPTION :

**RESEAUX MOBILES ET SERVICES DE TELECOMMUNICATIONS**

## **Thème**

*Optimisation et conception des topologies d'antennes ULB pour  
détection des objets*

Présenté par : **Mr. MAHAMAT HASSANE ABDALLAH**

Soutenu le 24 Mai 2016 devant le jury composé de:

<b>Présidente :</b>	<b>Me. DJELTI HAMIDA</b>	MCB à l'Université de Tlemcen
<b>Examinatrice :</b>	<b>Me. BELHADEF YAMINA</b>	MCB à l'Université de Tlemcen
<b>Encadreur :</b>	<b>Me. HADJIRA ABRI</b>	MCA à l'université de Tlemcen
<b>Co-encadreur :</b>	<b>Mr. MEHADJI ABRI</b>	MCA à l'Université de Tlemcen

**2015-2016**

A decorative border consisting of a repeating pattern of palm trees, with the trees facing left and right, framing the entire page.

## REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je remercie ALLAH, le tout puissant sans sa volonté rien n'est possible, qui m'a donné de l'aide, du courage et de la patience afin de réaliser ce travail.

En premier lieu, j'exprime mes sincères remerciements et ma profonde gratitude à mon encadreur Madame ABRI HADJIRA, Maître de conférence (classe A) de l'université de Tlemcen et mon Co-encadreur Monsieur ABRI MEHADJI, Maître de conférence (classe A) de l'université de Tlemcen, pour ses initiatives dans ce domaine de recherche, pour toute l'aide et la patience.

Ses conseils, ses remarques, ses directives scientifiques et pédagogiques, ses encouragements et leur soutien qui m'ont été très utiles pour l'accomplissement réussi de ce travail. J'ai pu bénéficier de ses compétences scientifiques. Je les remercie pour toutes les connaissances qu'il m'a apportées.

J'exprime qu'ils m'ont aussi mes sincères remerciements à Madame DJELTI HAMIDA, qui m'a fait l'honneur et le plaisir de présider le jury de ma soutenance.

Mes remerciements les plus respectueux et mon profond respect s'adressent également à mon examinatrice Madame BELHAFED YAMINA, qui m'a fait l'honneur et le plaisir d'examiner mon mémoire soigneusement, en y apportant leurs différentes observations rigoureuses.

Enfin, je tiens à remercier mes parents et ma famille pour ma réussite aujourd'hui à cette nouvelle épreuve. Je ne trouve pas les mots pour exprimer ma gratitude. Alors merci papa, maman pour votre éducation votre soutien, vos prières et votre aide par tous les moyens dont vous disposiez. Que Dieu me donne les moyens pour vous le rendre. Vous êtes des parents formidable, Merci.

Enfin, merci à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce manuscrit.

A decorative border of palm trees surrounds the page. The border consists of a top row of palm trees, a bottom row of palm trees, and two vertical columns of palm trees on the left and right sides, all connected at the corners.

## Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

Aux plus chères personnes à mon cœur, mes parents le symbole de tendresse et de sagesse qui ont été toujours présents dans mes mauvais et bons moments et qui n'ont pas cessé à me donner les conseils utiles durant toute ma vie.

À la source de mes efforts, ma vie et mon bonheur, pour leurs précieux soutiens, pour leurs patiences à mes frères, à ma sœur, mes chères cousines, mes cousins et mes compatriotes Tchadien(ne)s et celles Algérien(ne)s.

À toute la promotion master RMST 2015-2016.

## **Résumé :**

L'objectif de ce mémoire est de présenter d'une façon non exhaustive la technologie ULB et les performances des antennes imprimées utilisées par cette technologie, fonctionnant sur plusieurs Gigahertz tout en répondant aux contraintes spécifiques des applications grand public.

Dans ce mémoire, on s'est intéressé à la caractérisation des antennes imprimées à travers la détermination de leurs paramètres hyperfréquences (impédance d'entrée, bande passante, diagramme de rayonnement, gain, etc.) à l'aide du logiciel de simulation électromagnétique CST Microwave.

Les résultats de simulation numérique obtenus concernent le champ électrique, le gain en fonction de la fréquence, le coefficient de réflexion et le diagramme de rayonnement. Ils sont en général en bon accord avec ceux trouvés dans la littérature.

**Mots clés** : AntennesULB, antennes imprimées, diagramme de rayonnement, adaptation, CST Microwave.

**Abstract:**

The objective of this memory is to present a non-exhaustive way the UWB technology and performance of printed antennas used by the technology, working on several gigahertz while meeting the specific requirements of consumer applications.

In this memory, we became interested in the characterization of printed antennas through the determination of their microwave parameters (input impedance, bandwidth, radiation pattern, gain, etc.) using the electromagnetic simulation software CST Microwave. The analysis by the software is based on the finite element method.

The numerical simulation results concern the electric field, the gain as a function of the frequency, the reflection coefficient, the radiation pattern. They are generally in good agreement with those found in the literature.

**Keywords:** UWB antennas, printed antennas, radiation pattern, adaptation, CST Microwave.

## ملخص:

الهدف من هذه المذكرة هو تقديم وسيلة غير حصيريغ للتكنولوجيا UWB وأداء الهوائيات المطبوعة التي يستخدمها التكنولوجيا، والعمل على العديد من جيفا هيرتو في حين تلبية متطلبات محددة من التطبيقات الاستهلاكية. في هذا المذكرة، أصبحنا مهتمين في توصيف الهوائيات المطبوعة من خلال تحديد المعلمات الميكروويف على (مقاومة المدخلات، وعرض النطاق الترددي، ونمط الإشعاع، وزيادة، وما إلى ذلك) باستخدام برنامج محاكاة الكهرومغناطيسي CST ميكروويف. وتتعلق نتائج المحاكاة العددية الحقل الكهربائي، فإن المكسب مقابل التردد، معامل الانعكاس، ونمط الإشعاع. أنها عادة ما تكون في اتفاق جيد مع تلك التي وجدت في الأدب.

**كلمات البحث:** هوائيات UWB، الهوائيات المطبوعة، نمط الإشعاع، التكيف، CST ميكروويف.

## Table des matières

Introduction générale .....	1
<b>Chapitre I : État de l'art sur les antennes imprimées ultra large bande</b>	
I.1. Introduction .....	4
I.2. Les antennes imprimées .....	5
I.2.1. Définitions .....	5
I.2.2. L'élément rayonnant (patch) .....	5
I.2.3. Le choix du matériau diélectrique .....	6
I.2.4. Caractéristiques de l'antenne imprimée .....	7
I.2.4.1. Impédance d'entrée de l'antenne imprimée .....	7
I.2.4.2. Coefficient de réflexion .....	7
I.2.4.3. Directivité d'une antenne .....	7
I.2.4.4. Gain d'une antenne .....	8
I.2.4.5. Diagramme de rayonnement .....	8
I.2.4.6. Rendement d'une antenne .....	9
I.2.4.7. Polarisation .....	10
I.3. Technique d'alimentation .....	11
I.3.1. Alimentation pour ligne micro ruban .....	12
I.3.2. Alimentation par câble coaxial .....	13
I.3.3. Alimentation pour ligne coplanaire .....	13
I.3.4. Alimentation par couplage de proximité .....	14
I.4. Avantages et Inconvénients des antennes imprimées .....	15
I.4.1. Avantages des antennes imprimées .....	15
I.4.2. Inconvénients des antennes imprimées .....	15
I.5. Applications des antennes imprimées .....	16
I.6. Antennes larges bandes .....	17

I.7 Conclusion .....	18
----------------------	----

## **Chapitre II : La technologie ultra large bande**

II.1. Introduction .....	20
II.2. Les antennes Ultra Large Bande .....	20
II.2.1. Définition.....	20
II.2.2. Bref Historique .....	21
II.3. Modélisation de l'antenne de l'ultra large bande .....	22
II.4. Techniques d'élargissement de la bande passante .....	22
II.5. Caractéristiques de transmission de la technologie ultra large bande .....	23
II.6. Contraintes pour l'antenne ultra large bandes.....	25
II.7. Classification des antennes ULB .....	26
II.7.1. Les antennes indépendantes de la fréquence .....	26
II.7.2. Les antennes élémentaires .....	27
II.7.3. Les antennes à transition progressive .....	27
II.7.4. Les antennes cornets .....	27
I.8. L'ULB et les autres technologies de transmission sans fil .....	27
II.8.1. Introduction .....	27
II.8.1.1. Système 3G (troisième génération) .....	27
II.8.1.2. Réseaux locaux sans fil: WPAN (Wireless Personal Area Network) et WLAN (Wireless Local Area Network) .....	28
II.8.2. Bluetooth .....	28
II.8.2.1 Norme IEEE 802.15. ....	29
II.8.2.2 Norme IEEE 802.15.1 .....	29
II.8.2.3 Norme IEEE 802.15.2.....	30
II.8.2.4 Norme IEEE 802.15.3 .....	30



II.8.2.5 Norme IEEE 802.15.4 .....	30
II.8.3. ZigBee .....	31
II.8.4. WiFi (Wireless Fidelity) .....	31
II.8.4.1 Norme IEEE 802.11 .....	31
II.8.4.2 Norme IEEE 802.11b .....	31
II.8.4.3 Norme IEEE 802.11a .....	32
II.8.4.4 Norme IEEE 802.11g .....	32
II.8.4.5 Norme IEEE 802.11n .....	32
II.8.4.6. Variantes .....	32
II.8.5. L'ULB .....	33
II.8.5.1. MB-OFDM .....	33
II.8.5.2. DS-CDMA .....	34
II.9. Différents types d'application du ULB .....	35
II.9.1. Applications liées au radar .....	36
II.9.1.1. Systèmes d'imagerie radar .....	36
II.9.1.2. Systèmes radar de véhicule .....	36
II.9.2. Applications liées aux communications sans fil (Wireless) .....	36
II.9.3. Applications de localisations .....	38
II.9.3.1. Localisations de personnes .....	38
II.9.3.2. Localisation d'objet dans un entrepôt .....	39
II.10. Conclusion .....	40

## Chapitre III : Résultats de simulations

III.1. Introduction .....	42
III.2. Choix de l'outil de simulation .....	42
III.3. Le substrat utilisé .....	42
III.4. Simulations et résultats .....	42
III.4.1. Étude d'un monopole rectangle alimenté par une ligne micro-ruban .....	42
III.4.1.1. Paramètre S .....	43
III.4.1.2. Caractéristiques de rayonnement .....	44
III.4.1.2.1. Le gain en fonction de la fréquence .....	44
III.4.1.2.2. Le diagramme de rayonnement .....	44
III.4.2. Étude d'un monopole rectangle alimenté par une ligne micro-ruban .....	47
III.4.2.1. Paramètre S .....	48
III.4.2.2. Caractéristiques de rayonnement .....	48
III.4.2.2.1. Le gain en fonction de la fréquence.....	48
III.4.2.2.2. Diagramme de rayonnement .....	49
III.4.3. Étude d'un monopole rectangle alimenté par une ligne micro-ruban .....	52
III.4.3.1. Paramètre S .....	53
III.4.3.2. Caractéristiques de rayonnement .....	53
III.4.3.2.1. Le gain en fonction de la fréquence .....	53
III.4.3.2.2. Diagramme de rayonnement .....	54
III.4.4. Étude d'un monopole anneau alimenté par une ligne micro-ruban .....	57
III.4.4.1. Paramètre S .....	58
III.4.4.2. Caractéristiques de rayonnement .....	58
III.4.4.2.1. Le gain en fonction de la fréquence .....	58
III.4.4.2.2. Le diagramme de rayonnement .....	59
III.5 Conclusion .....	63
Conclusion générale .....	64

Annexe .....	65
Références bibliographiques .....	69

## Listes des figures

<b>Figure I.1.</b> Rayonnement d'une antenne .....	4
<b>Figure I.2.</b> Structure de l'antenne imprimée .....	5
<b>Figure I.3.</b> Structure de base d'une antenne imprimée sous forme circulaire .....	6
<b>Figure I.4.</b> Diagramme de rayonnement (a) antenne directive, (b) antenne omnidirectionnelle.....	9
<b>Figure I.5.</b> Exemple de différents types de polarisation .....	10
<b>Figure I.6.</b> Alimentation par ligne micro ruban .....	12
<b>Figure I.7.</b> Alimentation par câble coaxial .....	13
<b>Figure I.8.</b> Guide d'onde coplanaire (CPW) .....	14
<b>Figure I.9.</b> Alimentation par couplage de proximité .....	14
<b>Figure II.1.</b> Signaux ULB .....	21
<b>Figure II.2.</b> Propagation par trajets multiples .....	23
<b>Figure II.3.</b> Les fréquences utilisées aux antennes ULB .....	25
<b>Figure II.4.</b> Organisation de l'IEEE 802.15 .....	29
<b>Figure II.5.</b> Bande OFDM définie par la norme 802.15a .....	33
<b>Figure II.6.</b> Codage temps-fréquence .....	34
<b>Figure II.7.</b> Illustration de principe de CDMA .....	34
<b>Figure II.8.</b> Codage temps-fréquence .....	35
<b>Figure II.9.</b> Applications de l'ULB en fonction des débits possible et de la distance .....	35
<b>Figure II.10.</b> Utilisation multimédia de la technologie ULB .....	37
<b>Figure II.11.</b> Utilisation multimédia de la technologie ULB dans l'informatique .....	38
<b>Figure II.12.</b> Système de localisation ULB, commercialisé (a) émetteur et (b) récepteur .....	39
<b>Figure III.1.</b> Le patch de l'antenne .....	43
<b>Figure III.2.</b> Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de l'antenne présentée sur la figure III.1 .....	43

<b>Figure III.3.</b> Le gain en fonction de la fréquence .....	44
<b>Figure III.4.</b> Diagramme de rayonnement 2D dans le plan E .....	45
<b>Figure III.5.</b> Diagramme de rayonnement 2D dans le plan H .....	45
<b>Figure III.6.</b> Le diagramme de rayonnement en 3D pour $f=3.9$ GHz et 5 GHz .....	46
<b>Figure III.7.</b> Le diagramme de rayonnement en 3D pour $f=6.5$ GHz et 8.5 GHz .....	46
<b>Figure III.8.</b> Le diagramme de rayonnement en 3D pour $f=10$ GHz .....	47
<b>Figure III.9.</b> Le patch de l'antenne .....	47
<b>Figure III.10.</b> Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de l'antenne présentée sur la figure III.9 .....	48
<b>Figure III.11.</b> Le gain en fonction de la fréquence .....	49
<b>Figure III.12.</b> Diagramme de rayonnement 2D dans le plan E .....	50
<b>Figure III.13.</b> Diagramme de rayonnement 2D dans le plan H .....	50
<b>Figure III.14.</b> Le diagramme de rayonnement en 3D pour $f=3.9$ GHz et 5 GHz .....	51
<b>Figure III.15.</b> Le diagramme de rayonnement en 3D pour $f=6.5$ GHz et 8.5 GHz .....	51
<b>Figure III.16.</b> Le diagramme de rayonnement en 3D pour $f=10$ GHz .....	52
<b>Figure III.17.</b> Le patch de l'antenne .....	52
<b>Figure III.18.</b> Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de l'antenne présentée sur la figure III.17 .....	53
<b>Figure III.19.</b> Le gain en fonction de la fréquence .....	54
<b>Figure III.20.</b> Diagramme de rayonnement 2D dans le plan E .....	55
<b>Figure III.21.</b> Diagramme de rayonnement 2D dans le plan H .....	55
<b>Figure III.22.</b> Le diagramme de rayonnement en 3D pour $f=3.9$ GHz et 5 GHz .....	56
<b>Figure III.23.</b> Le diagramme de rayonnement en 3D pour $f=6.5$ GHz et 8.5 GHz .....	56
<b>Figure III.24.</b> Le diagramme de rayonnement en 3D pour $f=10$ GHz .....	57
<b>Figure III.25.</b> Le patch de l'antenne .....	57
<b>Figure III.26.</b> Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de l'antenne présentée sur la figure III.25 .....	58

<b>Figure III.27.</b> Le gain en fonction de la fréquence .....	59
<b>Figure III.28.</b> Diagramme de rayonnement 2D dans le plan E .....	60
<b>Figure III.29.</b> Diagramme de rayonnement 2D dans le plan H .....	60
<b>Figure III.30.</b> Le diagramme de rayonnement en 3D pour $f=3.9$ GHz et 5 GHz .....	61
<b>Figure III.31.</b> Le diagramme de rayonnement en 3D pour $f=6.5$ GHz et 8.5 GHz .....	61
<b>Figure III.32.</b> Le diagramme de rayonnement en 3D pour $f=10$ GHz .....	62

## Liste des tableaux

### Chapitre I

**Tableau I.1** : Les caractéristiques de chacun des types de polarisations ..... 11

**Tableau I.2.** Comparaison des différentes techniques d'alimentation ..... 15

### Chapitre II

**Tableau II.1** : classification fréquentielle des systèmes ..... 20

### Chapitre III

**Tableau III.1.** Les dimensions de l'antenne 1 ..... 43

**Tableau III.2.** Les dimensions de l'antenne 2 ..... 48

**Tableau III.3.** Les dimensions de l'antenne 3 ..... 53

**Tableau III.4.** Les dimensions de l'antenne 4 ..... 58

## Liste des abréviations

AFHSS: Adaptive Frequency Hopping Spread Spectrum

AsGa: Arséniure de Gallium

B : largeur de bande passante (Hz)

BP: Bande Passante

BPSK: Binary phase-shift keying

C: Capacité maximale du canal (bit/s)

CDMA: Code Division Multiple Access

CCK: Complementary Code Keying

CPW: guide d'onde coplanaire

DSSS: Direct Sequence Spread Spectrum

F0: fréquence de résonance

FB: fractionnal bandwidth

Fc: fréquence centrale

FCC: Fédéral Communication Commission

FHSS: Frequency Hopping Spread Spectrum

Fmax : fréquence maximale de coupure

Fmin : fréquence minimale de coupure

GFSK: Gaussian Frequency Shift Keying

GHz: Gigahertz

GPRS: General Packet Radio System

GPS: Global Position System

IBM: International Business Machines

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

ISM: Industry, Science and Medical

LPD: Low Probability of Detection (faible probabilité de détection)

LPDA: Log Periodic Dipole Array

LPI: Low Probability of Detection (faible probabilité d'interception)

MIMO: Multiple Input Multiple Output



MHz: Mégahertz

O-QPSK: Offset Quadrature Phase Shift Keying

OFDM: Orthogonal Frequency-Division Multiplexing

PCB: Printed Circuit Board

PDA: Personal Digital Assistant

PIRE: Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente

QAM : Quadrature Amplitude Modulation

QPSK: Quadrature phase-shift keying

QoS: Quality of Service

RADAR : Radio Detection And Ranging

RFID : Radio Frequency Identification (radio-identification)

SNR : rapport signal à bruit

TEM : Transverse Électromagnétique

TV : Télévision

TNT : Télévision Numérique Terrestre

UNII : Unlicensed National Information Infrastructure

ULB: Ultra Large Bande

UWB : Ultra WideBand

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System

WPAN: Wireless Personal Area Network

WLAN: Wireless Local Area Network

Wi-Fi: Wireless Fidelity

WiMax: Worldwide Interoperability for Microwave Acces

$\epsilon_r$  : Permittivité relatif

$\text{tg}\delta$  : tangente de perte

## Introduction générale

Depuis plusieurs années, les domaines de télécommunications et de nouvelles technologies connaissent un véritable essor. On assiste aujourd'hui à un engouement sans précédent du grand public pour les applications de communication multimédia (données, voix, photos, vidéos) et la demande est de plus en plus forte pour un transfert à haut débit entre des équipements communicants mobiles et à encombrement réduit. De plus, que le mode d'utilisation soit nomade ou sédentaire, les technologies radio sans fils (Bluetooth, WiFi, GPRS, UMTS, WiMax) connaissent un grand succès.

Le domaine des télécommunications connaît depuis plusieurs décennies en pleine croissance avec de nombreuses applications multimédias qui résultent des travaux recherches menées depuis l'ère des ondes Hertziennes. L'émergence de la téléphonie câblée à la téléphonie mobile a révolutionné notre manière de communiquer ; des services de plus en plus variés se voient proposer par de nombreux systèmes (système cellulaire, radiomessagerie, transfert de données sans fil, systèmes satellitaires... etc.). Cependant, l'abondance des offres proposées s'accompagne d'une saturation des réseaux de transmissions de l'information. Une solution consiste à déployer de nouveaux et nombreux réseaux comme les fibres optiques, les câbles coaxiaux et les lignes de cuivre. Mais ces supports de transfert de l'information s'avèrent coûteux à l'installation.

Un autre moyen plus souple, plus rapide et économique est la propagation par faisceau hertzienne. Dans le cadre d'un système de communication hertzienne, les antennes constituent des éléments essentiels dans la chaîne de communication radio, car incontournables et situés à l'interface entre les signaux véhiculés dans l'électronique de l'émetteur ou du récepteur et le milieu de propagation. Toutefois, de nombreuses technologies d'antennes existent et répondent à la plupart des besoins pour les communications en bande étroite ou modérée.

Ainsi, un enjeu majeur des communications ultra large bande (ULB) concerne des terminaux de petite ou très petite dimension, destinés à de courtes portées radio et en association à des capteurs ou des réseaux de transfert d'informations dans un contexte domestique, multimédia ou professionnel. La faible consommation (donc le rendement), la facilité d'intégration, et surtout le coût sont des aspects essentiels qui sont peu compatibles avec la performance. Il est donc bien connaître les limitations fondamentales des antennes ULB, pour espérer les contourner au mieux.

Le manuscrit retraçant les différents points énumérés précédemment est constitué de trois chapitres.

Le premier chapitre du mémoire est consacré à la présentation état de l'art sur les antennes imprimées et rappelant tout d'abord ses caractéristiques radioélectriques, les différents types d'alimentation et quelques-unes des principales applications qui peuvent tirer avantage de ses performances.

Le second chapitre propose sur la technologie d'antennes ULB. La dernière partie du présent chapitre est la description des principales applications de l'ULB et ses avantages et inconvénients.

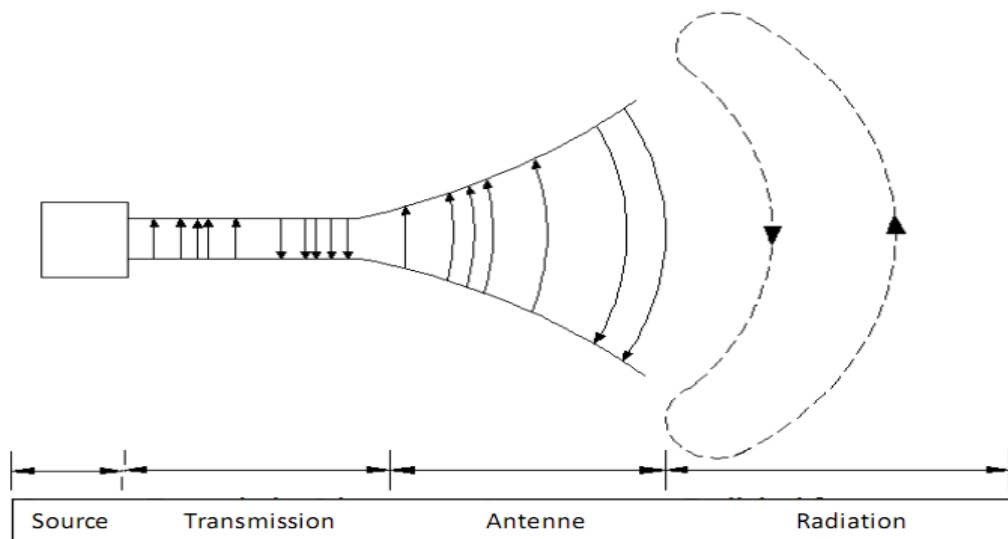
Le troisième chapitre est consacré sur les résultats de simulations, les structures ont été simulées à l'aide du logiciel CST Microwave Studio.

Nous terminerons ce mémoire par une conclusion générale qui résumera l'ensemble du travail effectué.

Une annexe et une référence bibliographique seront rajoutées à la fin de ce mémoire.

## I. 1. Introduction

Une antenne est un dispositif permettant de rayonner (émetteur) ou, de capter (récepteur), les ondes électromagnétiques. L'antenne est un élément fondamental dans un système radioélectrique, et ses caractéristiques de rendement, gain, diagramme de rayonnement influencent directement les performances de qualité et de portée du système. Plus concrètement, c'est un dispositif qui reçoit des signaux d'une ligne de transmission, les convertit en ondes électromagnétiques et les diffuse dans l'espace libre lorsque l'antenne est en ondes d'émission. En mode de réception, elle capte tout simplement les ondes électromagnétiques incidentes et les reconvertit en signaux. La figure I.1 en fait une illustration très simple.



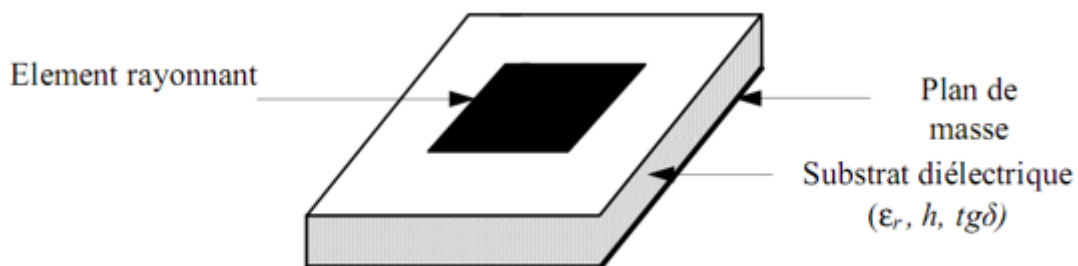
**Figure I. 1.** Rayonnement d'une antenne.

L'antenne peut être utilisée (en particulier dans un système de communication) pour diriger l'énergie du rayonnement dans une direction, et de la réduire ou l'annuler dans d'autres directions selon les fréquences. Ceci dit, l'antenne n'est plus seulement outil de transmission, mais également un dispositif de transition. En conséquence la forme d'une antenne est commandée par un besoin particulier. C'est pourquoi, les antennes prennent tantôt les formes d'ouverture, de patch, de réflecteurs, de lentilles, d'ensemble d'éléments, etc. Une bonne conception de l'antenne peut assouplir les exigences du système et améliorer la performance globale du système.

## I.2. Les antennes imprimées

### I.2.1. Définition

Les antennes imprimées sont des dispositifs essentiellement utilisés dans des situations où l'on ne souhaite pas modifier le profil de la structure sur laquelle elles sont disposées. Spécifiquement, une antenne imprimée se présente comme une surface métallisation, supportée par un matériau non conducteur, appelé substrat diélectrique caractérisé par sa permittivité  $\epsilon_r$ , de faible épaisseur  $h$  et sa tangente de perte  $tg\delta$  recouvrant une surface métallique nommée plan de masse (figure I.2) [1].



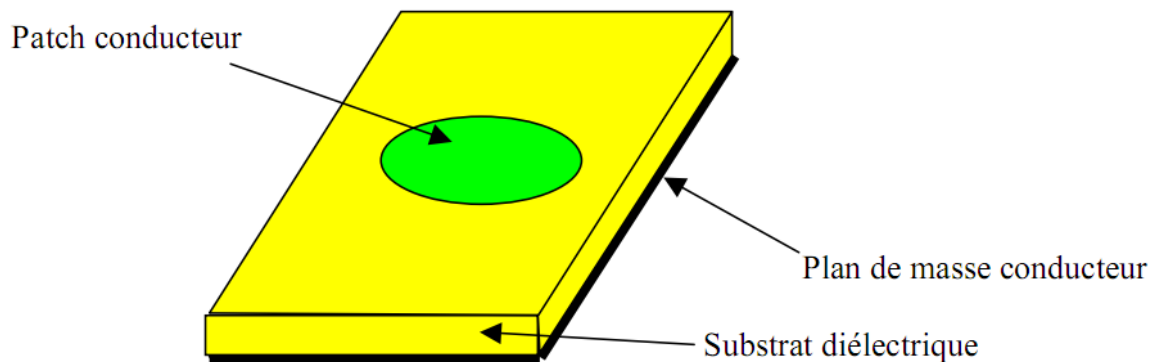
**Figure I. 2.** Structure de l'antenne imprimée.

Les dimensions de l'élément métallique sont de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde utilisée. Le rayonnement est directionnel dans un demi-espace si le plan de masse ou plan réflecteur est supposé infini.

### I.2.2. l'élément rayonnant (patch)

L'élément rayonnant d'une antenne imprimée, couramment appelée patch, constitue la partie essentielle pour toute la structure de l'antenne. Sa forme et son alimentation influencent fortement sur la qualité des paramètres de cette antenne.

Dans la pratique, les patches sont les plus souvent utilisés de forme variée tel que carré, rectangle, disque ou anneau (figure I.3). Ces formes influencent sur les performances de l'antenne telles que le diagramme de rayonnement, le gain etc.



**Figure I. 3.** Structure de base de l'antenne imprimée sous forme circulaire [2].

### I.2.3. Le choix du matériau diélectrique

Les éléments rayonnants des antennes ont invariablement besoin d'un support mécanique. La nature du substrat diélectrique joue le rôle majeur sur les performances des antennes imprimées. En outre le substrat peut engendrer deux sources de perte :

- Les pertes diélectriques
- Les pertes résistives

Les substrats diélectriques doivent être de permittivité faible et d'épaisseur élevée de façon à permettre le rayonnement, en évitant le confinement des champs électromagnétiques dans la cavité comprise entre l'élément imprimé et le plan de masse. Les matériaux les plus courants sont des composites à base de de Téflon ( $2 \leq \epsilon_r \leq 3$  et  $\text{tg } \delta = 10^{-4}$ ), de polypropylène ( $\epsilon_r = 3$  et  $\text{tg } \delta = 3 \cdot 10^{-4}$ ), époxy ( $\epsilon_r = 4.2$ ), Téflon TLY ( $\epsilon_r = 2.35$ ) et duroid ( $\epsilon_r = 10.8$ ). Pour les matériaux semi-conducteurs comme le silicium (Si,  $\epsilon_r = 11$ ) ou l'arséniure de Gallium (AsGa,  $\epsilon_r = 13$ ), la valeur de leur constante diélectrique est très élevée par rapport à celle utilisée pour les antennes imprimées, ce qui entraîne une diminution de l'énergie rayonnée, de la bande passante et une baisse des performances de la structure ainsi que des pertes importantes [2].

## I.2.4. Caractéristiques de l'antenne imprimée

### I.2.4.1. Impédance d'entrée de l'antenne imprimée

L'impédance d'entrée du patch élémentaire est de quelques centaines d'Ohms sur le bord de la cavité de l'antenne. Cette impédance décroît progressivement en se dirigeant vers le point d'alimentation du patch. Au niveau ce dernier, la valeur recommandée de l'impédance est de  $50\Omega$ , et ceci pour avoir une bonne alimentation. L'impédance d'une antenne varie avec la fréquence utilisée [22].

En considérant l'antenne comme un quadripôle caractérisé par sa matrice de transfert S, on peut, théoriquement, calculer la valeur de l'impédance d'entrée  $Z_{in}$  par l'expression (I.1) contenant le coefficient de réflexion à l'entrée du quadripôle  $S_{11}$  :

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

Avec :

$Z_0$  : impédance caractéristique de la ligne d'alimentation

$S_{11}$  : est fonction de la fréquence, alors  $Z_{in}$  varie avec la fréquence

### I.2.4.2. Coefficient de réflexion

Le coefficient de réflexion met en évidence l'absorption de l'énergie par l'antenne. Les discontinuités présentées par l'antenne peuvent être caractérisées par le coefficient de réflexion, qui est lié à l'impédance d'entrée par la relation (I.2) [2] :

$$S_{11} = \frac{Z_r - Z_c}{Z_r + Z_c} \quad (I.2)$$

### I.2.4.3. Directivité d'une antenne

La directivité est un paramètre pour caractériser l'émission ou la réception des ondes dans une direction considérée ( $\theta, \phi$ ). Elle peut être calculée par le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction donnée et celle d'une antenne isotrope de référence donnée par l'équation (I.3). Elle est souvent exprimée par l'angle dont la bissectrice et la direction de rayonnement maximum, à l'intérieur duquel le gain en puissance ne dépend pas au-dessous du gain maximum. Cette diminution du gain correspond à 3dB [2].

$$D(\theta, \phi) = \frac{P(\theta, \phi)}{\left(\frac{1}{4\pi}\right) \int_0^{4\pi} P(\theta, \phi) d\Omega} \quad (\text{I.3})$$

Avec :

$P(\theta, \phi)$  : La puissance reçue de l'émetteur ;

$\left(\frac{1}{4\pi}\right) \int_0^{4\pi} P(\theta, \phi) d\Omega$  : La puissance moyenne rayonnée dans toute l'espace.

La directivité indique dans quelles directions la densité de puissance est meilleure ou moins bonne que celle de l'antenne isotrope.

#### I.2.4.4. Gain d'une antenne

Le gain d'une antenne est défini par le rapport de la puissance émise dans la direction du lobe principal à la puissance qui serait émise par une antenne omnidirectionnelle consommant la même puissance à la source. Cette grandeur est exprimée en dBi ('i' pour isotrope), elle est donnée par la relation (I.4) :

$$G(\theta, \phi) = \eta * D(\theta, \phi) \quad (\text{I.4})$$

Avec :

$\eta$  : impédance d'onde du milieu dans le vide qui égale à 120.

#### I.2.4.5. Diagramme de rayonnement

Le diagramme de rayonnement d'une antenne est une représentation en deux dimensions (2D) ou en trois dimensions (3D) de la façon dont l'antenne collecte ou rayonne l'énergie électromagnétique dans l'espace à une distance 'r' relativement grande (zone lointain) [28].

Le diagramme de rayonnement est tracé selon la fonction normalisée  $F_a(\theta, \phi)$  qui est le rapport entre le champ électrique rayonné  $E(\theta, \phi)$  et sa valeur  $E_{max}$  ; il est donné par la relation suivante (I.8) :

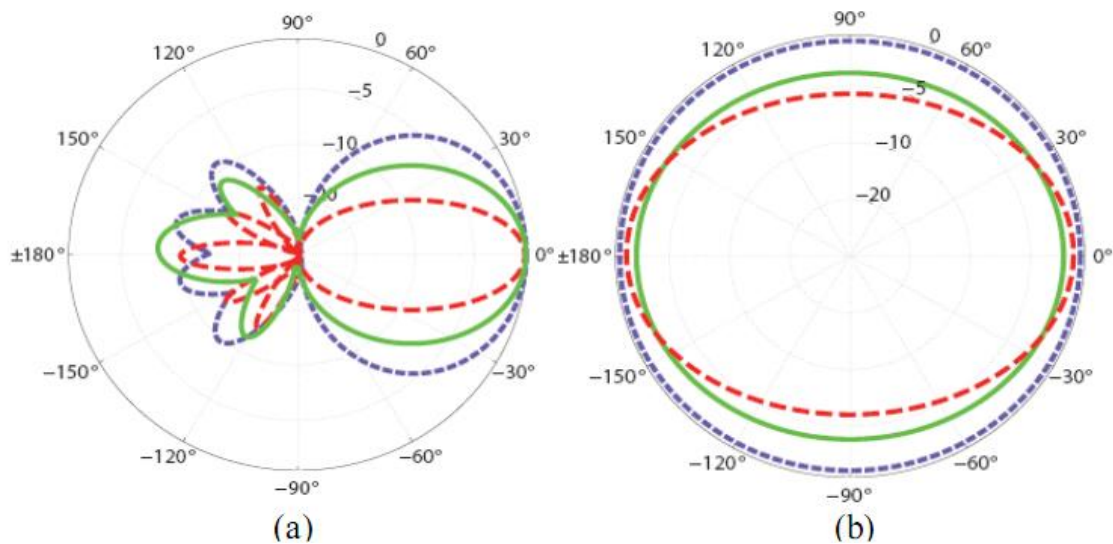
$$F_a(\theta, \phi) = \frac{E(\theta, \phi)}{E_{max}} \quad (\text{I.6})$$

Avec :



$\theta$  : Angle d'élévation (plan horizontal)

$\varphi$  : Angle azimutal (plan vertical)



**Figure I. 4.** Diagramme de rayonnement. (a) antenne directive, (b) antenne omnidirectionnelle.

#### I.2.4.6. Rendement d'une antenne

Le rendement de l'antenne est le rapport entre la puissance rayonnée et la puissance fournie à l'antenne, soit :

$$\eta = \frac{P_r}{P_f} \quad (I.7)$$

Avec :

$P_r$  : puissance rayonnée

$P_f$  : puissance fournie

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

Le rendement des antennes à polarisation linéaire est habituellement décrit en termes des deux plans E et H. le plan E est défini comme étant le plan contenant le vecteur champ électrique et la direction du rayonnement maximal tandis que le plan H est défini comme étant contenant le vecteur champ magnétique et la direction du rayonnement maximal [7].

Il existe trois modèles de rayonnement couramment utilisés pour décrire la propriété du rayonnement d'une antenne :

- a) **Isotrope** : Une antenne hypothétique sans perte ayant un rayonnement égal dans toutes les directions. Il est valable uniquement pour une antenne idéale et est souvent pris comme référence pour exprimer les propriétés directives des antennes pratiques.
- b) **Directionnel** : Une antenne qui possède la propriété de rayonnement ou réception des ondes électromagnétiques d'une manière plus efficace dans certaines directions que l'autres. Cela est généralement applicable à une antenne où sa directivité maximale est significativement supérieure à celle d'un dipôle demi-onde.
- c) **Omnidirectionnel** : Une antenne ayant un modèle non-directionnel essentiellement dans un plan donné et un modèle directionnel dans n'importe quel plan orthogonal.

#### I.2.4.7. Polarisation

La polarisation du champ électromagnétique rayonné par une antenne est indiquée par la direction du champ électrique  $\vec{E}$ . Lorsque la direction du champ électrique reste constante dans le temps, on parle de polarisation rectiligne. Sinon, l'on pourra représenter plusieurs positions successives de  $\vec{E}$ , et l'extrémité du vecteur représentatif décrit un cercle ou une ellipse. Dans ce cas le champ rayonné sera donc à polarisation circulaire ou elliptique (figure I.5).

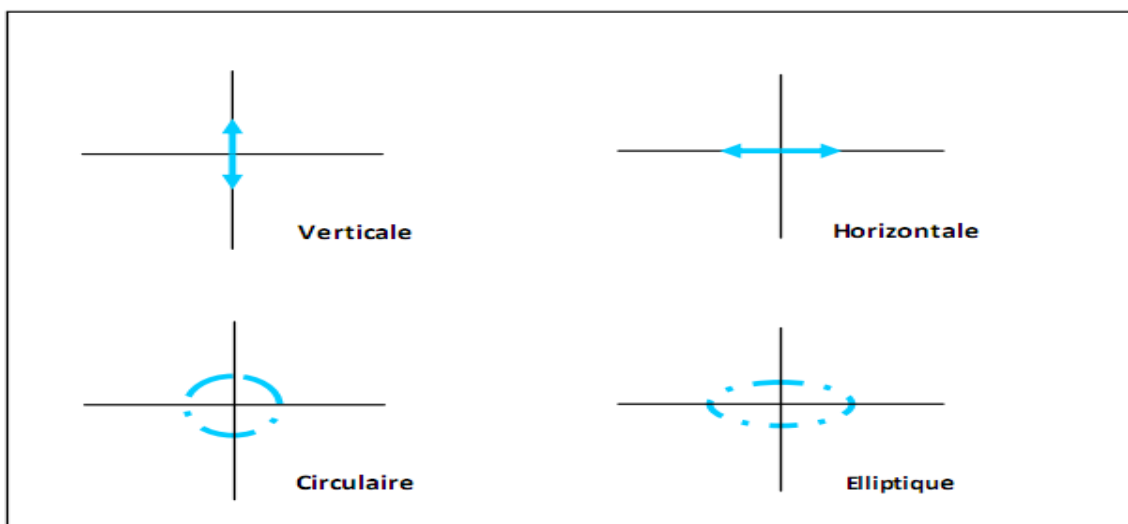


Figure I. 5. Exemple de différents types de polarisation [7].

Polarisation Horizontale	Polarisation Verticale	Polarisation Circulaire
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peu de bruit électrique</li> <li>• Meilleure sensibilité aux signaux faible</li> <li>• Angle de rayonnement généralement plus élevé par rapport au sol favorisant ainsi de bons contacts locaux</li> <li>• Grands espaces requis pour le déploiement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bruit électrique plus présent dans les bandes HF</li> <li>• Optimisation de l'espace occupé par l'antenne</li> <li>• Nécessite généralement un bon plan de terre (Ground, masse)</li> <li>• Plus enclin à causer de l'interférence dans les bandes HF</li> <li>• Angle de rayonnement plus bas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Génère deux polarisations en phase pour éviter les pertes en traversant l'ionosphère et pour compenser la rotation des satellites.</li> <li>• Rarement utilisée pour des contacts au sol</li> </ul>

**Tableau I.1** : Les caractéristiques de chacun des types de polarisations.

### I.3. Technique d'alimentation

L'alimentation est l'étape la plus importante et la plus délicate dans la fabrication d'une antenne imprimée.

L'alimentation peut modifier les caractéristiques de rayonnement. Elle pourra être soit centrée, soit arbitraire par rapport à la forme de l'élément. Il existe une large variété de mécanismes d'alimentation permettant ainsi de fournir à l'antenne, l'énergie qui lui est nécessaire pour rayonner.

Les plus couramment utilisées sont :

- ✓ Alimentation pour ligne micro ruban
- ✓ Alimentation par câble coaxial
- ✓ Alimentation par couplage de proximité
- ✓ Alimentation par ligne coplanaire

### I.3.1. Alimentation pour ligne micro ruban

La ligne d'alimentation est imprimée sur le même substrat de l'antenne (figure I.6). La largeur de la ligne influe sur l'impédance d'entrée. Cette largeur peut être calculée par les formules données par [1] telle que :

$$\frac{w}{h} = \frac{1}{\left[\exp\left(\frac{A}{8}\right) - \frac{1}{4 \exp(A)}\right]} \quad \text{Pour } \frac{w}{h} \leq 1.3 \quad (\text{I.8})$$

Avec :

$$A = Z_0 \frac{\sqrt{2(\epsilon_r + 1)}}{119.9} + \frac{1}{2} \left( \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \right) \left( \ln \frac{\pi}{2} + \frac{1}{\epsilon_r} \ln \frac{4}{h} \right) \quad (\text{I.9})$$

$$\frac{w}{h} = \frac{2}{\pi} \left[ (B - 1) - \ln(2B - 1) \right] + \frac{\epsilon_r - 1}{\pi \epsilon_r} \left[ \ln(B - 1) + 0.93 - \frac{0.517}{\epsilon_r} \right] \quad \text{Pour } \frac{w}{h} \geq 1.3 \quad (\text{I.10})$$

Avec :

$$B = \frac{59.95 \pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{I.11})$$

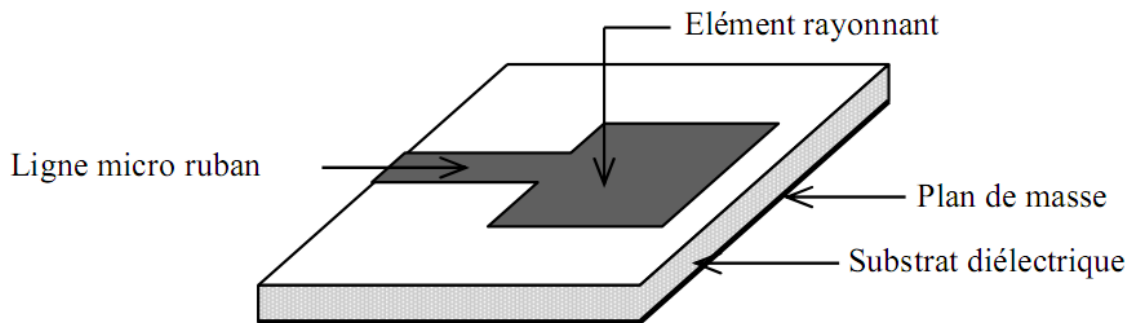


Figure I. 6. Alimentation par ligne micro ruban [10].

### I.3.2. Alimentation par câble coaxial

Alimentation par câble coaxial ou l'alimentation de sonde est une technique très utilisée pour alimenter les antennes micro rubans (figure I.7). Dans ce cas le conducteur intérieur du conducteur coaxial traverse le diélectrique et soudé au patch, alors que le conducteur externe est relié au plan de masse.

L'avantage principal de ce type d'alimentation est qu'elle peut être appliquée à n'importe quel endroit choisi à l'intérieur du patch, avec une facilité de fabrication.

Cependant, cette méthode présente des inconvénients au niveau du diagramme de rayonnement. En effet, la connexion génère un pic de courant localisé au niveau de l'élément rayonnant qui peut induire une dissymétrie dans le diagramme rayonnement. De plus, des pertes apparaissent avec le perçage du plan de masse, du diélectrique ainsi l'élément plaqué [9].

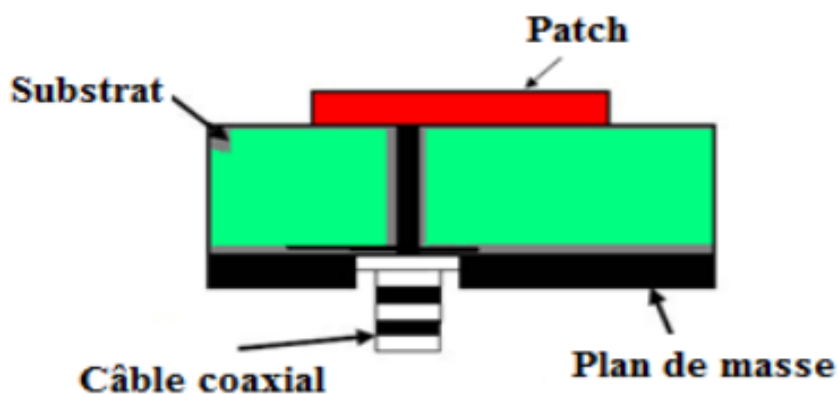
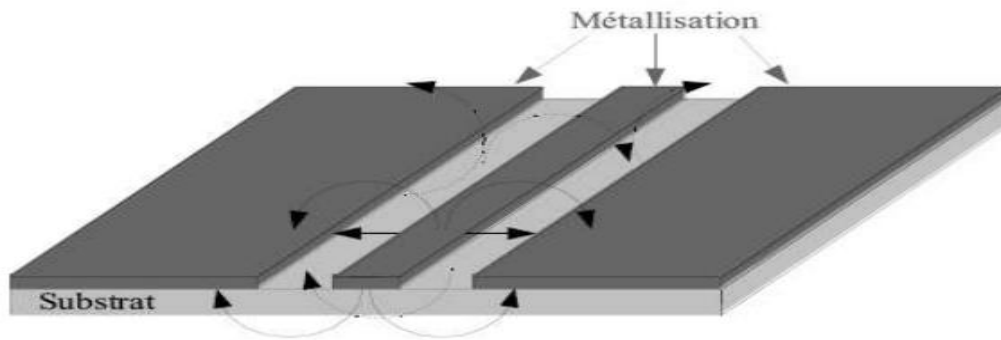


Figure I. 7. Alimentation par câble coaxial [9].

### I.3.3. Alimentation pour ligne coplanaire

Le guide d'ondes coplanaire est une ligne de transmission efficace largement utilisée qui présente l'avantage de placer la ligne d'alimentation au même niveau que le plan de masse. Il est constitué d'un ruban central métallique placé entre deux plans de masse parallèles entre eux, déposé sur la même face d'un substrat diélectrique (figure I.8).

De par sa géométrie, le mode de propagation est principalement TEM, en partie dans le substrat. Le signal se propage donc entre le conducteur central et les plans de masse équipotentiels.



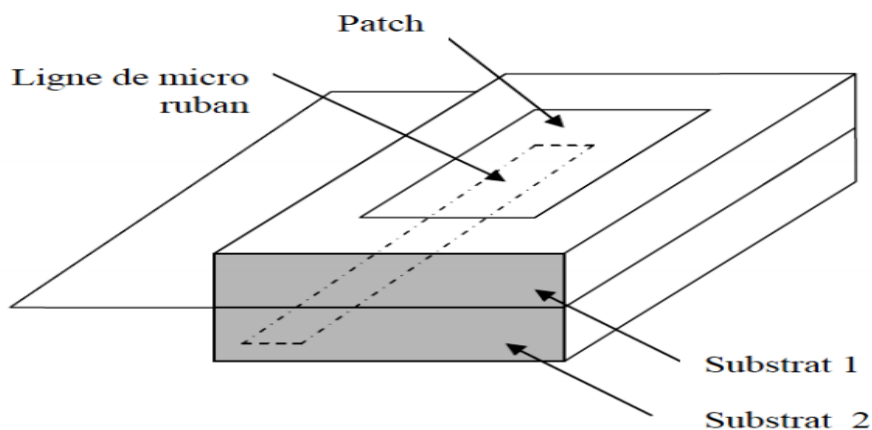
**Figure I. 8.** Guide d'onde coplanaire (CPW) [6].

### I.3.4. Alimentation par couplage de proximité

Ce type d'alimentation est représenté sur la figure I.9, deux substrats diélectriques sont employés tels que la ligne d'alimentation est entre les deux substrats et le patch de rayonnement est sur le substrat supérieur.

L'avantage principal de cette technique d'alimentation est l'élimination du faux rayonnement d'alimentation et l'obtention d'une bande passante plus large et ce par l'augmentation globale de l'épaisseur de l'antenne.

Parmi les inconvénients de cette méthode d'alimentation nous citons la difficulté de fabrication à cause des deux couches diélectriques nécessitant un alignement approprié, ainsi que la difficulté d'intégration de dispositifs actifs.



**Figure I. 9.** Alimentation par couplage de proximité.

Voilà un résumé sur les caractéristiques des différentes techniques d'alimentation sur le tableau I.2 ci-dessous :

Caractéristiques	Alimentation par ligne micro ruban	Alimentation par câble coaxial	Alimentation par couplage de proximité
Rayonnement parasite d'alimentation	Plus	Plus	Minimum
Fiabilité	Meilleure	Bonne	Faible à cause de la soudure
Facilité de fabrication	facile	Nécessite une soudure et un perçage	Nécessité d'alignement
Adaptation d'impédance	Facile	Facile	Facile
Bande passante	2-5%	2-5%	13%

**Tableau I.2.** Comparaison des différentes techniques d'alimentation [9].

## I.4. Avantages et Inconvénients des antennes imprimées

### I.4.1. Avantages des antennes imprimées

Les avantages des antennes imprimées sont :

- ❖ Un faible poids
- ❖ Une faible épaisseur
- ❖ Un coût réduit dans le cas d'une réalisation en grande série
- ❖ Elles peuvent être polarisées linéairement ou circulairement (droite ou gauche) par simple changement de la position d'alimentation
- ❖ Possibilité d'intégration des éléments actifs, directement sur le même substrat (oscillateur, amplificateur, modulateurs ...)
- ❖ Un encombrement réduit (conditions d'utilisation sur les systèmes embarqués) et compatibilité aisée
- ❖ En raison de leur faible coût et encombrement, on peut facilement les associer en réseau afin d'améliorer leur gain.

### I.4.2. Inconvénients des antennes imprimées

Les inconvénients des antennes imprimées sont :

- ❖ Bande passante étroite

- ❖ Faible gain dû aux pertes et faible rendement dû à la concentration du champ sur les parois métalliques
- ❖ Effet de couplage parasite entre les éléments (excitation d'ondes de surface guidées)
- ❖ Rayonnement parasite de l'alimentation
- ❖ Puissance supportable plus faible vis à vis aux antennes classiques
- ❖ Pureté de polarisation difficile à obtenir

La bande passante est paramètre très important pour la transmission à très grande débit, surtout dans l'essor des nouveaux systèmes multimédia et mobiles. Pour cela on s'est penché à la conception des antennes ayant une large bande passante (antenne ULB).

## I.5. Applications des antennes imprimées [1]

Pour un utilisateur, la principale qualité des antennes imprimées reste leur faible volume et leur discrétion. Grâce à leur conformabilité, elles perturbent très peu l'aérodynamisme des véhicules terrestres ou aériens sur lesquels elles sont montées.

L'aviation civile et militaire ont des besoins spécifiques et bien souvent la sécurité en vol dépend d'un composant crucial qui est l'antenne. La technologie des antennes imprimées a été introduite dans le système de communication, de navigation et d'atterrissage.

L'antenne à balayage électronique constitue une application typique des réseaux d'antennes imprimées aux systèmes de télédétection ou RADAR, et concurrence les antennes classiques à balayage mécanique car elle ne connaît pas les problèmes d'usure mécanique. Mais en revanche, son coût de fabrication est nettement plus élevé.

Les antennes imprimées ont été montées sur des missiles comme système de guidage. Dans les applications de guidage et de télédétection, la qualité importante de l'antenne est d'avoir une bonne directivité, par contre pour les systèmes de communication la bande passante est nécessairement large.

La sécurité routière et le confort des passagers peuvent être améliorés à l'aide de systèmes RADAR utilisant des antennes imprimées placées sur des véhicules, pour connaître la distance entre les véhicules par temps de brouillard, la vitesse, et l'état de la route pour les systèmes à suspension active.



## I.6. Antennes larges bandes

Une antenne élémentaire présente une fréquence de résonance et une largeur de bande liée à son rapport longueur/diamètre, En augmentant ce rapport il est possible d'obtenir une bande passante de 50 %. Un dipôle à large bande ressemble alors à un haltère en hyperfréquence, ou à un double cône filaire en haute fréquence.

Pour aller au-delà, les antennes spéciales fonctionnant sur une décade ou plus, sont du type antenne log-périodique ou assimilées comme l'antenne discone, l'antenne plate hélicoïdale, etc.

❖ L'antenne biconique ou double discone est une variante de l'antenne discone, dont les 2 éléments sont des cônes. Elle présente des caractéristiques d'impédance et de rayonnement constantes dans une large bande de plusieurs octaves.

❖ Une antenne log-périodique est une antenne radioélectrique à large bande utilisée en TV terrestre, TNT, en télécommunications ou en mesure d'antenne. Bien que plusieurs types d'antenne puissent avoir des propriétés log-périodiques, comme l'antenne spirale plane, ou l'antenne hélice conique, la plus connue est le réseau de dipôles log-périodique.

Une antenne log-périodique est une antenne dont l'impédance et le diagramme de rayonnement sont répétitifs selon une loi logarithmique en fonction de la fréquence. Pour obtenir cette propriété, les dimensions doivent être homothétiques le long de la direction de rayonnement principal. Ces antennes se rapprochent d'une structure fractale. Le réseau de dipôles log-périodique (*log periodic dipole array* ou *LPDA*) est la plus courante, et appelée souvent simplement « log-périodique » en télécommunications.

## **I.7. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté une brève description sur les antennes imprimées, leurs caractéristiques, ainsi que leurs avantages et leurs inconvénients et puis quelques différentes techniques d'alimentation. Quelques applications des antennes imprimées ont été également décrites à la fin de ce chapitre.

## II.1. Introduction

La technologie ultra large bande (ULB) est une technologie sans fil qui peut être exploitée à très faible densité de puissance pour la communication à des débits de données élevés sur de courtes distances. Elle consiste à utiliser des signaux dont le spectre s'étale sur une large bande de fréquences. On parle souvent d'une bande allant de 500 MHz jusqu'à plusieurs GHz.

## II.2. Les antennes ultra large bande

### II.2.1. Définition

Durant les 3 dernières décennies, pour faire face au l'encombrement de bande de fréquences utilisées pour la transmission de l'information, on a essentiellement cherché à réduire la largeur de bande nécessaire pour transmettre ces informations avec un taux d'erreur acceptable. Ce n'est pas récemment une dizaine d'années que le concept d'ultra large bande a retrouvé un intérêt principalement suscité par le développement de transmission à courte distance. Bien qu'il n'existe pas encore de normalisation officielle, la communauté scientifique admet qu'un signal est considérée ULB lorsque le rapport (FB : Fractionnal Bandwidth) entre la bande passante (BP) et la fréquence centrale ( $f_c$ ) est supérieur à 0.25 (tableau I.1) :

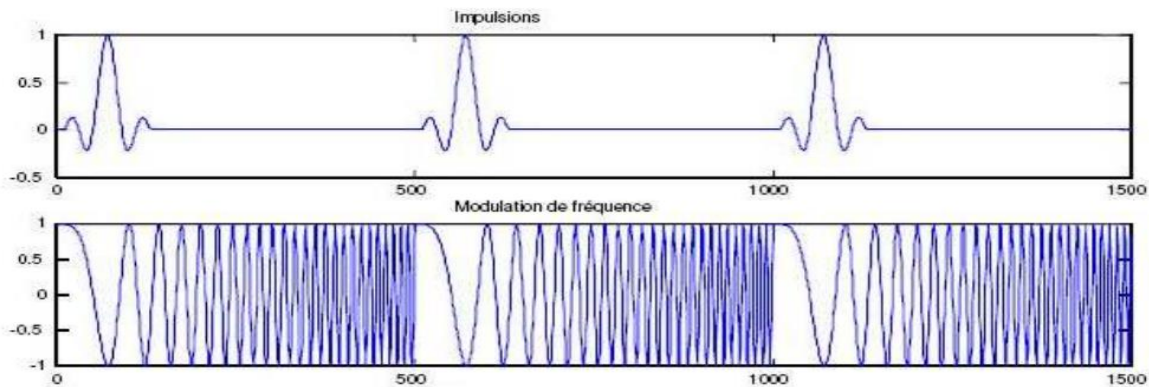
Critère FB	FB	Type de système
$FB = \frac{BP}{f_c}$ $BP = f_2 - f_1$ $f_c = \frac{f_1 + f_2}{2}$	$0 \leq FB < 0.01$	Bande Etroite
	$0.01 \leq FB < 0.25$	Large Bande
	$0.25 \leq FB$	Ultra Large Bande

**Tableau II.1** : classification fréquentielle des systèmes [6].

Pour un spectre couvrant 300 MHz-3 GHz,  $FB=1.63$ , ce qui correspond bien à un spectre ULB. Ce spectre offre un contenu basse fréquence suffisant pour la pénétration au travers d'écrans végétaux ou de cloisons et une largeur telle qu'il est possible de réaliser une image avec une résolution de 5.5 cm.

Les signaux ULB peuvent être de deux natures :

- À **bande synthétique** c'est-à-dire constitués d'une multitude de signaux de bandes plus étroites. C'est typiquement le cas des signaux "Step Frequency" ou "Frequency Modulated Continuous Wave".
- A **impulsion** de courte durée.



**Figure II. 1.** Les signaux ULB.

Ces deux méthodes conduisent sensiblement au même contenu spectral de rayonnement ; cependant les durées des signaux sont différentes (figure II.1), la durée d'un signal à bande synthétique étant beaucoup plus importante voire continue.

## II.2.2. Bref historique

Bien que la technologie Ultra Large Bande puisse représenter une approche révolutionnaire sans fil communication à l'heure actuelle, il n'est certainement pas un concept nouveau. La première radio UWB, par définition, était la radio Spark Gap à impulsions, développé par Guglielmo Marconi dans la fin des années 1800. Ce système de radio a été utilisé pendant plusieurs décennies pour transmettre le code Morse à travers les ondes. Cependant, en 1924, les radios Spark Gap ont été interdits dans la plupart applications en raison de leurs fortes émissions et des interférences à bande étroite (en continu ondes) Les systèmes de radio, qui ont été développés au début des années 1900 [28, 29].

Au début des années 1960, l'augmentation de l'intérêt pour l'électromagnétisme dans le domaine temporel par le MIT de Lincoln Laboratory et Research Center Sperry [29] ont augmenté le développement du oscilloscope à échantillonnage par Hewlett- Packard en 1962. Cela a permis à l'analyse de la réponse impulsionnelle des réseaux de micro-ondes, et les méthodes catalysées pour subnanoseconde génération d'impulsions. Un important effort de recherche a également été menée par les concepteurs d'antennes, y compris Rumsey et Dyson [30, 31], qui développaient des antennes en spirale logarithmique, et Ross, qui a appliqué des

techniques de mesure d'impulsion à la conception de large bande, éléments d'antenne rayonnants [32]. Grâce à ces avancées d'antenne, le potentiel d'utilisation impulsion de transmission sur la base de radar et les communications sont devenues claires.

Par la fin des années 1980, la technologie UWB a été appelée bande de base sans support ou la technologie d'impulsion, comme le terme " ultra large bande " n'a pas été utilisé jusqu'en 1989 par le US 15 Département de la Défense. Jusqu'à la récente attribution FCC du spectre UWB pour utilisation sans licence, toutes les applications UWB étaient autorisées seulement sous une licence spéciale.

Pour la période de près de 40 ans 1960 à 1999, plus de 200 articles ont été publiés dans revues IEEE accrédité, et plus de 100 brevets ont été délivrés sur des sujets liés à l'ultra large bande technologie [33]. L'intérêt semble croître de façon exponentielle maintenant, précipitée par l'allocation FCC en 2002 du spectre UWB, avec plusieurs les chercheurs explorent la conception RF, la conception de circuits, la conception du système et la conception de l'antenne, tout liées aux applications UWB. Plusieurs entreprises commerciales ont commencé avec l'espoir de la création du premier UWB chipset commercialisable, ce qui permet à haute vitesse révolutionnaire, court étendre les transferts de données et d'une meilleure qualité de service à l'utilisateur.

### **II.3. Modélisation de l'antenne de l'ULB**

Pour les systèmes ULB, les paramètres classiques de conception (gain, coefficient de réflexion,...) deviennent fortement dépendants de la fréquence, donc en comparant aux paramètres traditionnels des systèmes à bande étroite, les nouveaux paramètres doivent être définis pour tenir compte du rayonnement transitoire et révéler les effets de variations de la phase.

### **II.4. Techniques d'élargissement de la bande passante**

Différentes techniques ont été envisagées pour élargir la bande passante et stabiliser le diagramme de rayonnement. Pour augmenter la bande passante du monopole, on peut citer l'utilisation d'un court-circuit, le décalage de l'alimentation, l'utilisation des encoches et la technique de l'évasement symétrique. Toutes ces méthodes se basent sur le même effet physique, à savoir le fait d'ajouter des modes supplémentaires à la structure.

Des méthodes existent aussi pour stabiliser le diagramme de rayonnement du monopôle carré, par exemple :

- Ajouter un second élément rayonnant, identique au précédent, perpendiculaire à l'élément rayonnant principal.
- Une méthode consistant à utiliser trois monopôles rectangulaires pliés, espacés de 120°.

## II.5. Caractéristique de transmission de la technologie ULB

La transmission de la technologie ULB possède certaines caractéristiques intéressantes :

- **Faible susceptibilité à l'évanouissement dû à la propagation par trajets multiples :** L'évanouissement dû à la propagation par trajets multiples (figure II.2) peut réduire l'efficacité des systèmes de communication classiques (non ULB). Dans le cas ULB, le signal transmis possède une grande largeur de bande (résolution temporelle très fine). Comme la fenêtre d'observation au récepteur est étroite, les réflexions multiples avec des retards inférieurs à la nanoseconde peuvent être résolues et additionnées de manière constructive pour donner un gain comparable à celui d'une propagation par trajet unique direct [8].

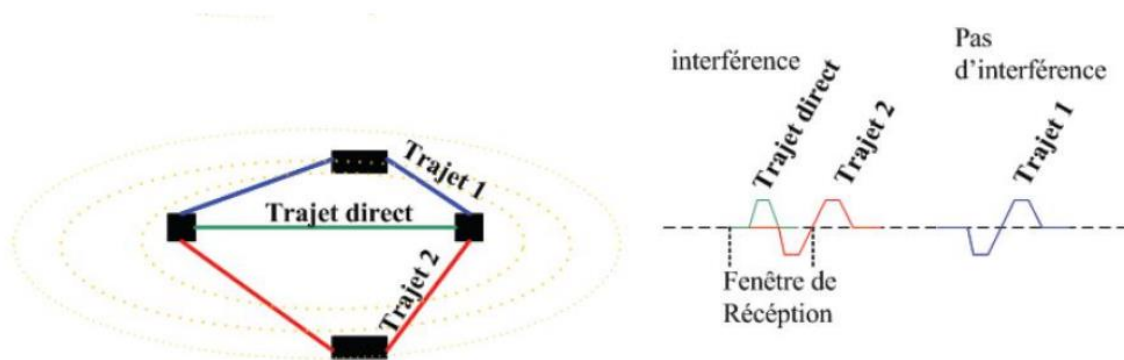


Figure II. 2. Propagation par trajets multiples [8].

- **Une sensibilité moindre au brouillage :** la FCC a fixé pour l'ULB un niveau bas de densité spectrale de puissance en émission (PIRE maximal par MHz : -41.3 dBm). grâce à cette caractéristique sa naissance sur les autres systèmes est réduite. Une caractéristique importante des systèmes ULB est leur gain de traitement élevé, ce qui entraîne une grande résistance aux systèmes de brouillage.
- **Capacité de la technologie ULB :** Le théorème de Shannon nous enseigne sur la capacité théorique du canal par la formule suivante :

$$C = B \cdot \log_2(1 + SNR) \quad (\text{II.1})$$

Avec :

C : désigne la capacité maximale du canal (bit/s)

B : représente la largeur de bande passante (Hz)

SNR : représente le rapport signal à bruit

Dans cette formule, on déduit que la capacité d'un système croît linéairement avec la bande passante mais elle croît aussi logarithmiquement avec le rapport de signal à bruit. Par conséquent, pour augmenter la capacité d'un système, la meilleure méthode consiste à augmenter sa bande passante ; c'est ce qui est réalisé par la technique ULB.

- **Communications protégées** : les signaux ULB sont potentiellement plus difficiles à détecter que les signaux de radiocommunication classiques, parce qu'ils occupent une grande largeur de bande, peuvent être produits sous forme semblable au bruit, peuvent être transmis à un niveau de densité spectrale de puissance bien inférieur au bruit de fond des récepteurs de radiocommunication classiques, et peuvent être transmis avec un code de synchronisation unique à des millions de bits seconde [23].

Ces caractéristiques permettent la transmission protégée de signaux avec une faible probabilité de détection (LPD) et une faible probabilité d'interception (LPI).

- **Simplicité relative des systèmes** : dans les systèmes de communication sans fil qui utilisent la technologie ULB, l'information de la bande de base peut moduler directement des impulsions courtes au lieu de moduler une onde sinusoïdale. Dans cette forme de mise en œuvre, l'émetteur-récepteur ULB ne comprend aucun synthétiseur à boucle à verrouillage de phase, ni oscillateur commandé par tension, ni mélangeur, ni amplificateur de puissance l'émetteur-récepteur ULB a donc une architecture relativement simple par comparaison à l'émetteur-récepteur superhétérodyne, ce qui pourrait se traduire par des coûts inférieurs de l'équipement.

- **Propriétés de pénétration** : les signaux ULB ont une bonne capacité de pénétration dans les murs et les obstacles et ils permettent la localisation de grande précision. Ces propriétés seraient également utiles dans des applications telles que l'imagerie médicale.

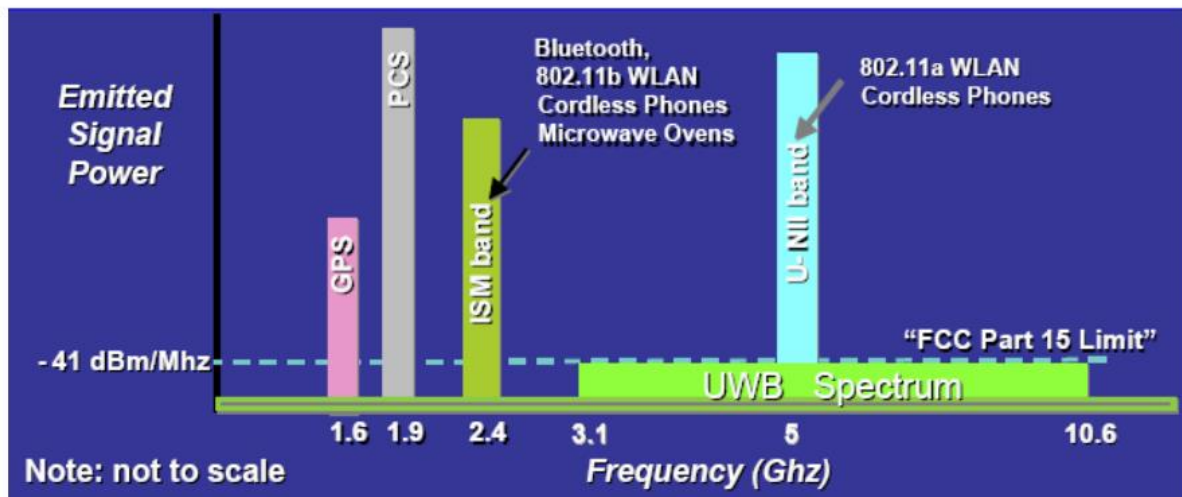


Figure II. 3. Les fréquences utilisées aux antennes ULB [16].

## II.6. Contraintes pour les antennes ULB

A l'instar des systèmes de communications classiques sans fil, l'antenne a une place capitale dans les systèmes ULB. Toutefois, les challenges sont plus nombreux et plus importants lorsqu'on fabrique une antenne ULB que lorsqu'on crée une antenne à bande étroite [7].

La première distinction entre l'antenne ULB et les autres c'est la très large bande passante fréquentielle. Pour le FCC (Fédéral Communication Commission), l'antenne adéquate doit fournir une bande passante absolue minimale de 500 MHz, ou une bande passante fractionnelle minimale de 0.2.

La seconde distinction ne tient au fait que la performance de l'antenne ULB doit être en stricte conformité avec la bande opérationnelle entière. En situation idéale, les diagrammes de rayonnement, le gain et l'adaptation de l'impédance doivent être stable sur la bande entière. Dans certains cas, on exige que l'antenne ULB ait une caractéristique coupe-bande afin de tenir avec d'autres dispositifs à bande étroite et des services occupant la même bande de fonctionnement.

La troisième distinction est que les propriétés du rayonnement omnidirectionnel ou directionnel sont indispensables dépendamment de l'apparition pratique. C'est dans les systèmes portatifs et mobiles qu'il est préférable d'avoir des modèles omnidirectionnels. Dans les systèmes radar et d'autres systèmes directionnels là où on escompte un gain important, l'on préfère les caractéristiques de rayonnement directif.



La quatrième distinction fait référence à la taille de l'antenne. Pour être appropriée à l'unité ULB en particulier dans les appareils mobiles et portables, il faut que l'antenne ait une taille assez réduite. Elle doit également avoir un profil bas et être compatible à l'intégration dans un circuit imprimé (PCB, Printed circuit board).

La cinquième distinction tient au fait que l'antenne ULB doit être bien conçue pour que le système global soit performant. À titre d'illustration, on souhaite que le dispositif entier corresponde au masque de puissance d'émission impératif recommandé par le FCC ou d'autres organismes régulateurs.

Enfin, la dernière distinction veut que l'antenne ULB soit incontournable pour obtenir de bonnes caractéristiques dans le domaine temporel. Quant aux bandes étroites, l'antenne a sensiblement les mêmes performances sur l'étendue de la bande passante et les paramètres de base, à l'instar du gain et du Path-Loss. Par contre, les systèmes ULB utilisent parfois des impulsions brèves afin de communiquer des données, de telle sorte qu'une énorme bande passante soit occupée pendant la transmission. L'antenne ne peut plus être traitée comme un filtre « spot », mais comme « filtre passe bande ». L'antenne impose ainsi des répercussions plus fortes sur le signal d'entrée.

## II.7. Classification des antennes ULB

Les antennes ULB peuvent être réparties en quatre classes différentes, selon leurs formes et leurs spécificités [10] :

### II.7.1. Les antennes indépendantes de la fréquence

En théorie, les antennes indépendantes de la fréquence sont composées d'éléments susceptibles de se déduire les uns des autres par homothétie. Elles ont la particularité de présenter un diagramme de rayonnement, une impédance d'entrée ainsi qu'une polarisation virtuellement inchangée sur une bande de fréquences quasiment infinie. En guise d'exemple pour cette classe d'antennes, on peut noter deux grands groupes. En occurrence, les antennes équi-angulaires (antenne spirale logarithmique, antenne spirale conique) et les antennes log-périodiques.

## II.7.2. Les antennes élémentaires

En général, les structures d'antennes élémentaires sont considérées comme une évolution des monopôles ou de dipôles simples. Dans cette catégorie, on peut mentionner, l'antenne biconique, l'antenne discône, ainsi que les monopôles plans sur plan de masse.

## II.7.3. Les antennes à transition progressive

Les antennes à transition progressive s'appuient sur l'idée selon laquelle, une antenne peut être considérée comme étant une zone de transition entre un guide d'onde ou tout autre système d'alimentation et l'espace libre. Les antennes Vivaldi, qui présentent un profil de transition elliptique ou exponentielle font partie de cette catégorie.

## II.7.4. Les antennes cornets

Avec des caractéristiques intrinsèques large bande, les antennes cornets sont très peu dispersives. Cependant, elles sont encombrantes et leur coût de production est élevé. Les antennes cornets de Brillouin font partie de ce groupe d'antennes.

## II.8. L'ULB et les autres technologies de transmission sans fil

### II.8.1. Introduction

De nos jours, les systèmes de communications sans fil se développent très rapidement et en même temps il apparaît de nouveaux standards dont les objectifs sont d'accroître les offres des services multimédia. En fonction des besoins en termes de mobilité et de débits, deux types de réseaux ont été développés.

#### II.8.1.1. Système 3G (troisième génération)

Ce réseau est celui de la téléphonie mobile (UMTS ou CDMA 2000). Il doit intégrer tous les réseaux de deuxième génération du monde entier en un seul réseau cellulaire et lui adjoindre des capacités multimédia. Cependant les débits qu'il propose restent faibles : 2 Mbit/s dans les zones de mobilité limitée et seulement 144 Kbit/s ailleurs. Les systèmes futurs (3.5G et 4G) doivent notamment remédier à cet inconvénient.

### **II.8.1.2. Réseaux locaux sans fil: WPAN (Wireless Personal Area Network) ET WLAN (Wireless Local Area Network)**

Les WPAN (dont le précurseur est Bluetooth) visent des environnements de type plutôt résidentiel avec des services de haut débit pour des connexions utilisant de la vidéo et des services de plus bas débit de type domotique (réseau capteurs). Les WLAN ont été introduits dans le but de se substituer aux réseaux filaires à l'intérieur des bâtiments privés ou publics. Ils doivent offrir un accès large bande radio avec des débits de plusieurs Mbit/s pour relier des équipements électroniques ou informatiques et se connecter à un réseau cœur type Ethernet. Par exemple, le Wifi (non donné à la norme IEEE 802.11) fournit des débits jusqu'à 11 Mbit/s pour des distances de 10 à 100 m et les systèmes futurs devraient permettre des débits allant jusqu'à 54 Mbit/s [25].

Il faut noter par exemple que pour des applications vidéo de bonne qualité, les débits proposés restent globalement insuffisants. Idéalement, des débits 100 Mbit/s avec une mobilité type véhicule et 1 Gbit/s pour une mobilité réduite sont visés. Des évolutions et des améliorations des systèmes actuels sont en cours comme MIMO (Multiple Input Multiple Output), la combinaison des techniques OFDM et CDMA ou encore l'élaboration de nouveaux codes. Pour les applications WxLAN, l'ULB présente les avantages de ne pas nécessiter de licence et d'offrir des débits élevés. Cette technologie apparaît ainsi comme la solution pour la future génération des communications locales où des terminaux compacts et à faible coût sont recherchés.

Les technologies de transmission sans fil des réseaux WxLAN sont présentées dans les paragraphes qui suivent en les situant dans un cadre normatif et en présentant rapidement leurs spécificités.

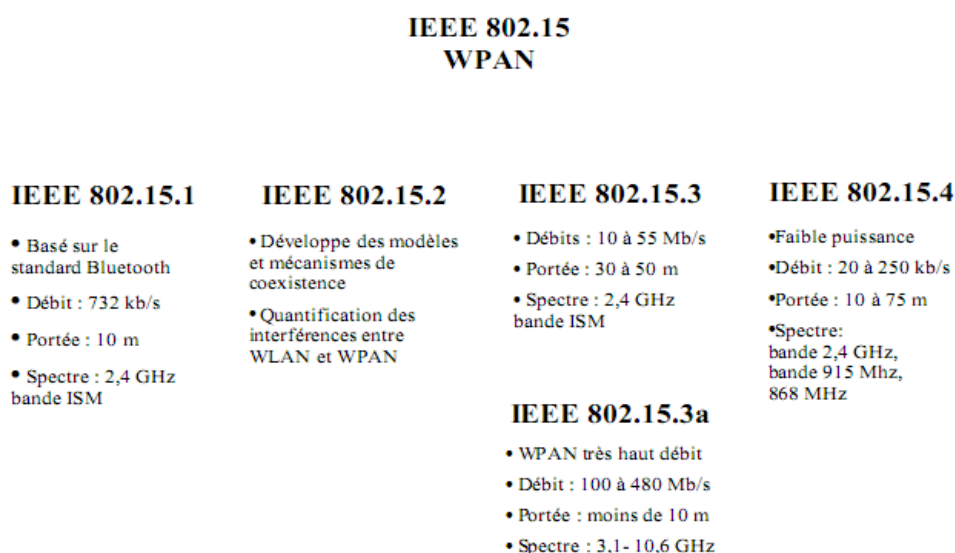
### **II.8.2. Bluetooth**

La technologie Bluetooth est l'exemple type de WPAN. Sa spécification contient les éléments nécessaires pour assurer l'interopérabilité de composants types tels que les téléphones cellulaires, les caméras numériques, les PDA, etc. son utilisation dans le domaine de l'instrumentation est aussi envisageable. Ericsson l'a créé en 1994 puis rejoint par Nokia, Intel, IBM, et Toshiba, un groupe d'intérêt baptisé Bluetooth Special Interest Group (Bluetooth SIG) s'est fondé en février 1998 afin de produire les spécifications Bluetooth 1.0, qui furent publiées en juillet 1999. Ce consortium réuni aujourd'hui plus de 3000 entreprises (dont 3Com, Apple

et Microsoft). Après deux révisions de sa première version, en 2004 une seconde a été adoptée sous le nom de Bluetooth 2.0 +EDR (Enhanced Data Rate). Bluetooth a été par l'IEEE et se décline sous plusieurs normes.

### II.8.2.1 Norme IEEE 802.15

L'IEEE 802.15 est un groupe de travail, regroupant une douzaine de compagnies « leaders », qui s'occupe essentiellement de la standardisation des réseaux personnels sans fil (WPAN) aux Etats-Unis [21]. Ce groupement est à l'origine de la création de différents standards WPAN. Il est divisé en quatre groupes de travail (figure II.4). Cette norme est apparue en novembre 2003 et reprend toutes les modifications apportées à la spécification Bluetooth 1.1 pour la version 1.2. Cette nouvelle spécification n'apporte pas de réel changement à la spécification précédente (Bluetooth 1.1= si ce n'est l'utilisation de l'AFHSS (Adaptive Frequency Hopping Spread Spectrum) [14].



**Figure II. 4.** Organisation de l'IEEE 802.15 [21].

### II.8.2.2 Norme IEEE 802.15.1

Cette norme a été établie en juin 2002 à partir de la spécification Bluetooth 1.1. Elle utilise la bande des 2.4 GHz, désignée bande ISM [2,4000-2,4835 GHz] utilisable désormais sans licence dans la plupart des pays. Bluetooth utilise la modulation GFSK (Gaussian FSK) associée à des techniques d'étalement de spectre et de saut de fréquence FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) conduisant à faire effectuer au signal 1600 sauts de fréquence par seconde entre 79 fréquences séparées par 1 MHz. Le saut de fréquences réduit considérablement

les probabilités d'interférence et présente des avantages sur le plan de la sécurité. Le débit de base est de Mbit/s dans un rayon de 10 mètres. Pour pallier à cet inconvénient de portée à quelques mètres une extension jusqu'à 100 mètres a été proposée avec un amplificateur de puissance. Trois classes de puissance d'émetteur ont ainsi été définies [14]:

- ✓ La classe 1 : 100 mW (20 dBm) pour une portée d'environ 100 mètres ;
- ✓ La classe 2 : 2.5 mW (4 dBm) pour une portée allant 15 à 20 mètres ;
- ✓ La classe 3 : 1 mW (0 dBm) pour une portée d'environ 10 mètres.

En raison de la législation, seules les deux dernières sont actuellement autorisées en France et la plus utilisée est la classe 3 pour sa très faible consommation.

### II.8.2.3 Norme IEEE 802.15.2

La section IEEE 802.15.2 s'occupe des problèmes de coexistence pouvant advenir lorsque deux systèmes sans fils partagent le même environnement d'opérations. Elle doit donc tout d'abord quantifier les effets d'interférences mutuelles des équipements WPAN et WLAN, mais également établir des moyens de coexistence entre ces deux standards [6].

### II.8.2.4 Norme IEEE 802.15.3

802.15.3 est la norme IEEE pour un WPAN-haut débit de données conçu pour fournir une qualité de service suffisante pour la distribution en temps réel de contenu comme la vidéo et la musique. Il est idéalement adapté pour un réseau sans fil multimédia à domicile. La norme d'origine utilise un 2,4 GHz radio traditionnelle à base de support, comme la couche physique de transmission. La bande ISM est divisée en quatre canaux de 15 MHz avec quatre modulations pour quatre débits : O-QPSK (Offset Quadrature Phase Shift Keying) mode de base avec 22 Mbit/s, 16 QAM pour 33 Mbit/s, 32QAM pour 44 Mbit/s et 64 QAM 55 Mbit/s.

### II.8.2.5 Norme IEEE 802.15.4

Cette norme est en cours de développement pour les applications Bluetooth à bas débit (200Kbit/s maximum) et à coût très réduit pour des puces embarquées dans des badges électroniques, des capteurs industriels, des applications domotiques ou encore des jouets. Celle-ci devrait utiliser 27 canaux de communications différents répartis sur les 3 bandes de fréquences ISM (868 MHz en Europe, 915 MHz aux États-Unis et la bande [2,4-2,5 GHz]).

### II.8.3. Zigbee

Sous la référence IEEE 802.15.4, la solution de Zigbee opère à 2,4 GHz sur 16 canaux et permet de connecter jusqu'à 255 matériels sur des distances de l'ordre de 30 mètres et avec des débits faibles (de 20 à 250 kbit/s). L'avantage de cette solution est la consommation électrique très faible au niveau des équipements.

### II.8.4. WiFi (Wireless Fidelity)

Le Wifi est le nom donné par la WiFi Alliance (anciennement WECA, Wireless Ethernet Compatibility Alliance) et constitue le terme « grand public » pour désigner la norme IEEE 802.11, norme qui caractérise les réseaux locaux sans fil. Les applications visées par la technologie WiFi sont les réseaux locaux sans fil aussi bien pour l'industrie et les lieux publics que pour les applications domestiques. L'objectif est de pouvoir relier ensemble de nombreux périphériques (assistant personnel, station de travail, clavier, souris, ...) afin de s'affranchir des liaisons filaires souvent encombrantes et permettre ainsi une grande mobilité.

En 1997, la première version du standard 802.11 apparaissait. Ce standard a été développé pour favoriser l'interopérabilité du matériel entre les différents fabricants ainsi que pour permettre des évolutions futures compatibles. Depuis la finalisation de la norme en 1998, plusieurs « version » de la technologie Wifi sont apparues, chacune d'elles présentant des caractéristiques différentes.

#### II.8.4.1 Norme IEEE 802.11

Cette norme constitue la norme originale du Wifi et spécifie les caractéristiques d'un réseau local sans fil WLAN au niveau des couches physiques et liaison du standard OSI (Open System International). Le 802.11 garantit des débits théoriques de l'ordre de 2 Mbit/s en utilisant la bande ISM à 2,4 GHz. Différentes versions de cette norme ont été créés pour améliorer les débits dans un premier temps et ensuite renforcer l'aspect sécuritaire de la transmission.

#### II.8.4.2 Norme IEEE 802.11b

Cette norme constitue la première évolution du standard 802.11 et elle représente la version la plus répandue depuis 2000. Elle fonctionne à 11 Mbit/s en utilisant un étalement de spectre à séquence direct (DSSS, Direct Sequence Spread Spectrum) associé à une modulation

CCK (Complementary Code Keying) dans la bande 2,400-2,4835 GHz découpée en 14 canaux avec des variantes selon les pays. Sa portée est typiquement de l'ordre de quelque dizaine de mètres mais le débit décroît automatiquement en cas d'interférences ou de mauvaise réception. Son principal point faible est de ne pas être sécurisé par défaut.

### **II.8.4.3 Norme IEEE 802.11a**

Cette norme (connue sous le nom Wifi5) a été développée en 1999. Elle opère dans la bande des 5 GHz et permet de communiquer à 54 Mbit/s en utilisant la méthode de codage OFDM de préférence à FHSS et DSSS. Plus précisément, elle occupe 3 bandes UNII (Unlicensed National Information Infrastructure) de largeur 100 MHz : [5,15-5,25 GHz], [5,25-5,35 GHz] et [5,725-5,825 GHz].

### **II.8.4.4 Norme IEEE 802.11g**

Effective depuis juin 2002, cette norme complète le 802.11b dans la bande ISM en proposant en plus débits allant jusqu'à 54 Mbit/s en utilisant l'OFDM.

### **II.8.4.5 Norme IEEE 802.11n**

Elle est en cours de validation et devrait voir apparaître très prochainement. Elle permettrait de faire passer le débit théorique d'un réseau Wifi à 500 Mbit/s en utilisant, d'une part, deux bandes de fréquences de différentes largeurs (20 MHz et 40 MHz) et d'autre part, en utilisant la technologie MIMO qui utilise plusieurs antennes au niveau de l'émetteur et du récepteur.

### **II.8.4.6. Variantes**

Enfin d'autres variantes existent : 802.11d (internationalisation), 802.11e (signalisation et qualité de service, QoS), 802.11f (handover, passage d'une cellule à l'autre sans coupure), 802.11h (réglementation européenne et hyperlan2), 802.11i (sécurité), 802.11IR (infra-rouge et obsolète) et 802.11j (réglementation Japon). Elles ont pour objectif notamment d'assurer l'interopérabilité entre les différents matériels et d'autre part de permettre l'internationalisation de la norme. Elles ne concernent pas directement la transmission mais constituent des améliorations du point de vue compatibilité matérielle entre les fabricants, compatibilité entre les différentes législations existantes et qualité de service.

## II.8.5. L'ULB

Comme nous l'avons déjà mentionné, l'ULB est envisagée sous plusieurs formes. Pour la norme IEEE 802.15.3a concernant les applications haut débits ( $> 100$  Mbit/s) deux techniques ont été retenues : le MB-OFDM et le DS-CDMA. Quant à la norme IEEE 802.15.4a dédiée à des applications plus bas débits associant la localisation, elle abandonne ces techniques pour revenir à la radio par impulsions.

### II.8.5.1. MB-OFDM

La bande de fréquence [3,1-10,6 GHz] est découpée en 14 bandes de 528 MHz, qui sont réparties en 5 groupes différents (figure II.5). Une application ULB utilisant le MB-OFDM n'utilise qu'un seul des 5 groupes, et dans ce groupe, un utilisateur n'occupe qu'une bande à la fois. Par ailleurs, l'allocation des bandes aux utilisateurs est gérée par un code temps-fréquence (figure II.5) qui a pour rôle de minimiser les collisions entre les différentes communications. Enfin, chaque bande est découpée en 128 sous-porteuses de 4MHz afin de former un symbole OFDM.

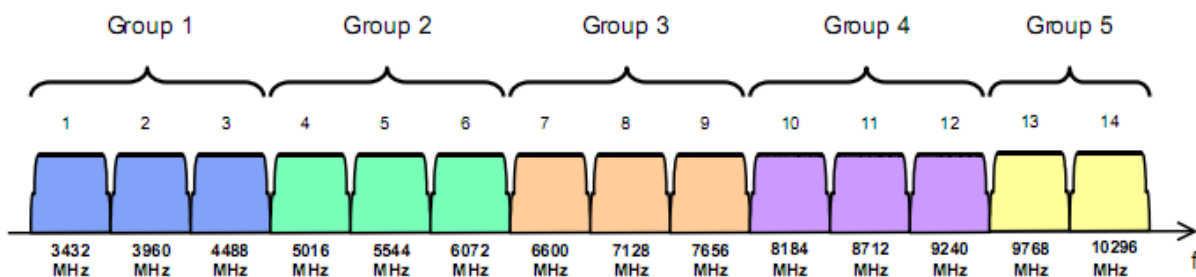


Figure II. 5. Bande OFDM définie par la norme 802.15a [26].

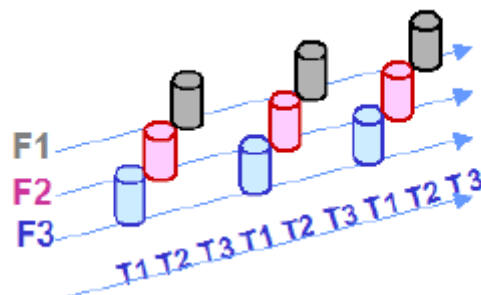


Figure II. 6. Codage temps-fréquence.



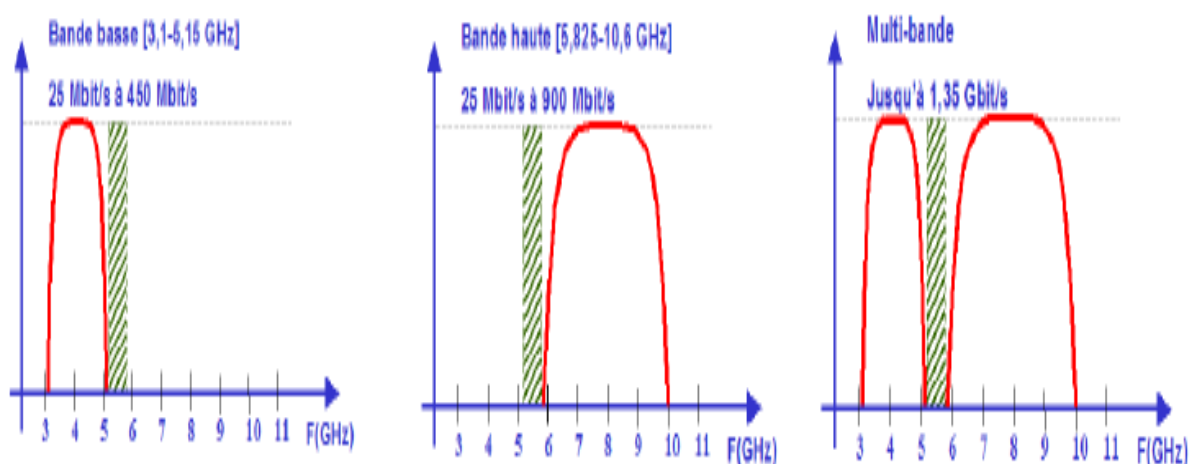
### II.8.5.2. DS-CDMA

L'approche DS-CDMA est largement inspirée de celle de la technologie CDMA. Chaque symbole de données est représenté par une séquence de données, unique pour chaque utilisateur et constituée par un code orthogonal de type Walsh, Gold ou encore Hadamard, sur le principe d'étalement de spectre à séquence directe. Le principe de codage CDMA est illustré sur la figure II.7. Il consiste à effectuer un « ou exclusif » entre la séquence d'information et la code. À la réception, l'information se retrouve en effectuant la même opération entre la séquence reçue et le même code que celui utilisé en émission. La séquence codée est alors modulée par une modulation de type BPSK ou QPSK.



**Figure II. 7.** Illustration de principe de CDMA.

D'autre part, la bande de fréquence correspondant au WiFi5 n'est pas utilisée et plusieurs solutions sont envisagées (figure II.7) : bande basse [3,1-5,15 GHz], bande haute [5,825-10,6 GHz] et multi-bande [3,1-10,6 GHz] avec les débits indiqués sur la figure II.8.

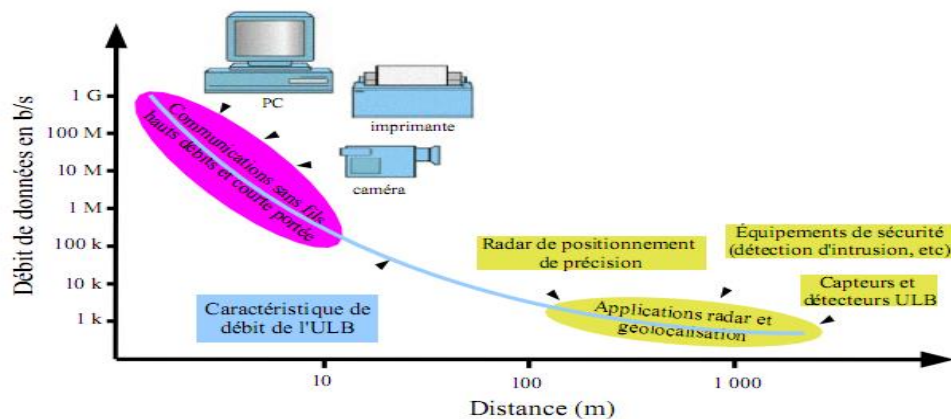


**Figure II. 8.** Codage temps-fréquence [18].

La principale motivation pour cette solution a été que de nombreuses sociétés maîtrisaient le CDMA, déjà présent dans des émetteurs-récepteurs dédiées à d'autres applications [14].

## II.9. Différents types d'application du ULB

Il existe trois grandes catégories d'applications principales pour les systèmes ULB : détections, géolocalisations et les communications sans fil [6]. Les deux premières ne demandent pas un gros débit d'information. Mais nécessitent une bonne précision sur des grandes distances et une robustesse aux trajets multiples, tandis que les communications sans fils peuvent tirer profit des très hauts débits à courtes portées offerte par la technologie ULB (figure II.9).



**Figure II. 9.** Applications de l'ULB en fonction des débits possible et de la distance [6].

Les bandes de fréquences pour ces applications sont :

- Bande de fréquences 24 GHz-77 GHz : applications liées aux véhicules.
- Bande de fréquence < 1 GHz : radar GPR et radar.
- Bande de fréquences 1.99- 10.6 GHz : applications médicales (imageries).
- Bande de fréquences 3.1-10.9 GHz : systèmes de communications sans fils et les applications liées à la localisation.

Comme nous l'avons évoqué précédemment, les applications sont nombreuses. Cette technologie commence à envahir tous les domaines. On peut définir les trois grandes catégories [9] :

- ✓ La détection.
- ✓ La géolocalisation.
- ✓ Les communications sans fil (Wireless).

## II.9.1. Applications liées au radar

### II.9.1.1. Systèmes d'imagerie radar [19]

Cette catégorie comprend les systèmes d'imagerie par radar à pénétration du sol, d'imagerie de l'intérieur des murs et à travers les murs, d'imagerie médicale, d'imagerie pour la construction et, les réparations à domicile, d'imagerie pour l'exploitation minière et d'imagerie de surveillance. Le signal ULB peut pénétrer dans le sol ou pénétrer dans un mur et même le traverser pour permettre de détecter ce qu'il cache [24]. Il permet aussi de mesurer les distances avec précision. Le même principe s'applique pour le corps humain. Par conséquent, les principaux utilisateurs des systèmes appartenant à cette catégorie seraient des spécialistes dans les domaines de l'application de la loi, de la recherche et du sauvetage, de la construction ainsi que de la géologie et de la médecine. Les systèmes d'imagerie radar sont exploités à des intervalles espacés et on prévoit qu'ils n'auront qu'une faible prolifération, étant donné la nature de leur utilisation. Ces systèmes auraient un créneau de marché à distribution limitée.

### II.9.1.2. Systèmes radar de véhicule

Cette catégorie comprend les radars d'avertissement de collision, les systèmes améliorés d'activation des coussins gonflables, les capteurs de perturbations de champ, etc. les systèmes radar de véhicule peuvent déterminer la distance entre des objets et un véhicule, ou ils peuvent être intégrés au système de navigation du véhicule. Certains dispositifs radar de véhicule installés sur des voitures de luxe ont fait leur apparition dans des salons de l'automobile [19].

## II.9.2. Applications liées aux communications sans fil (Wireless)

L'une des applications qui a connu un grand développement après la libération de la bande de fréquences de 3.1-10.6 GHz par la FCC en 2002 concerne sans aucun doute les communications sans fils, à hauts débits et à courtes portées.

La première application de l'ULB pour les communications sans fils à haut débit (supérieur à 10Mbps) est liée aux loisirs domestiques [11]. L'ULB permet de remplacer les câbles IEEE 1394 entre caméras numériques et PC par une connectique sans fil, d'effectuer des transferts à très haut débit entre plusieurs PC d'une même maison, ou entre un PC et certains

périphériques (imprimante, scanners, disque de stockage) grâce au bus universel sans fil de très haut débit (bus : WUSB).

Pour des débits plus faibles, on peut envisager des portées un peu plus grandes (50 m) ce qui donne accès à un grand nombre d'applications. On peut citer par exemple :

- ✚ Quelques Kbit/s pour les applications domestiques comme l'automatisation de la maison, les systèmes de sécurités ou d'autres services mettant en œuvre des réseaux de capteurs, des télécommandes.
- ✚ Quelques centaines Kbit/s pour les téléphones sans fil et les liaisons avec des périphériques (souris, clavier, oreillette) du PC.
- ✚ Et jusqu'à Mbit/s pour la télésurveillance.

Les images ci-dessous montrent parfaitement l'avenir de cette technologie :

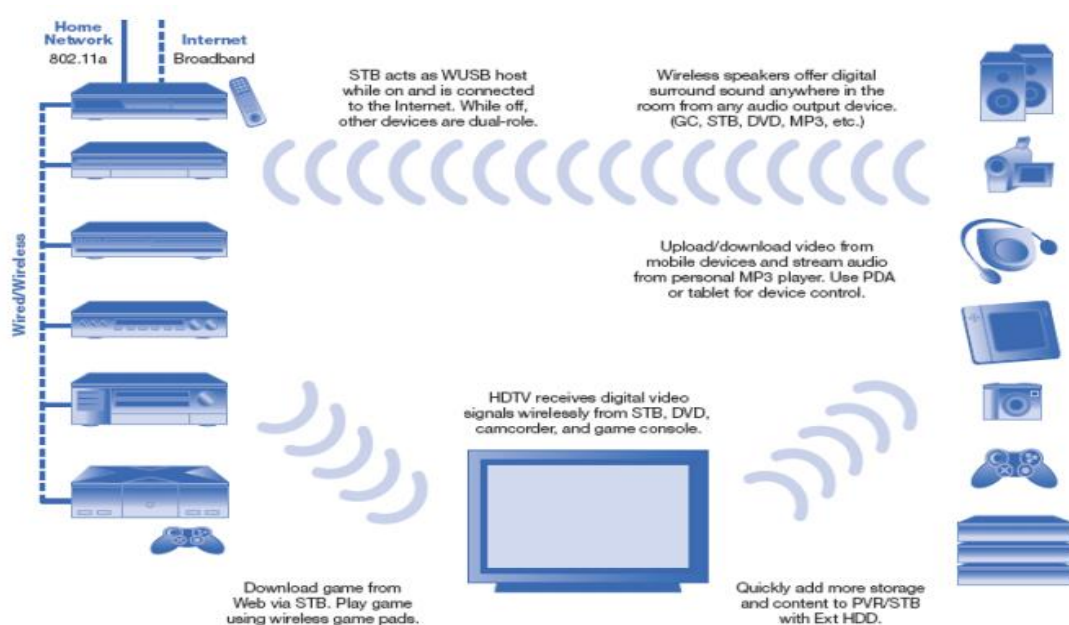
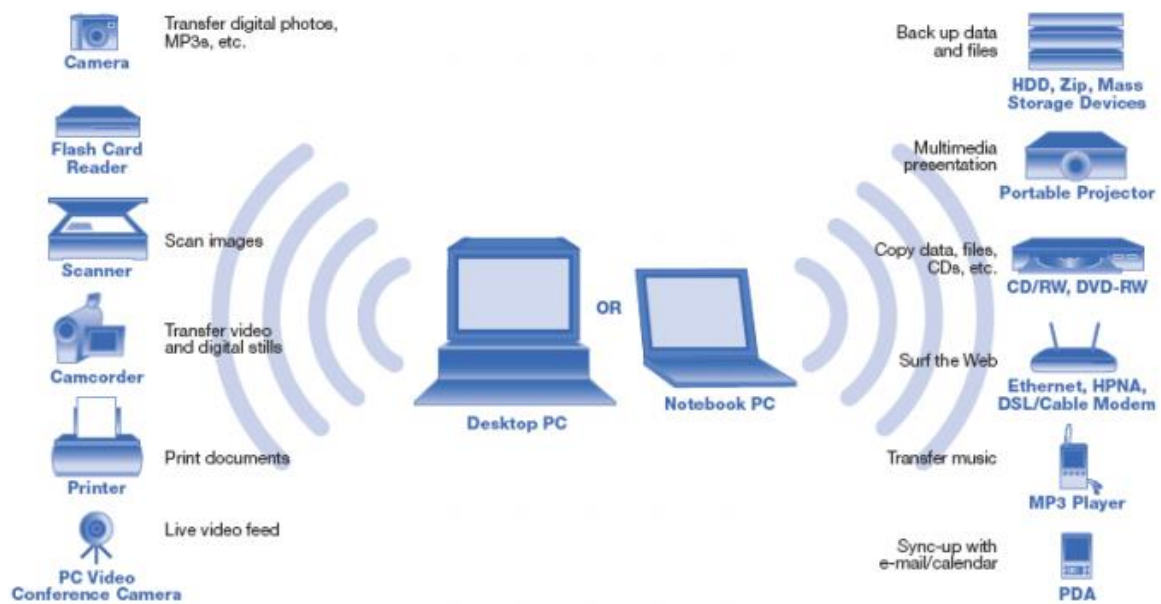


Figure II. 10. Utilisation multimédia de la technologie ULB (document, Intel [12]).



**Figure II. 11.** Utilisation multimédia de la technologie ULB dans l'informatique (document, Intel [12].

L'application visée entre dans la catégorie des applications de communications sans fil. L'un des plus importants critères de ce type d'application est le débit. Le débit brut théorique varie entre 480 Mbps à 2 m et 11 Mbps à 10m. Ce débit bien supérieur à ce qui se fait de mieux actuellement avec Hiperlan2 (54 Mb/s).

### II.9.3. Applications de localisations

#### II.9.3.1. Localisations de personnes

L'ULB, grâce à sa robustesse vis-à-vis d'un environnement complexe et grâce à sa très large bande passante (résolution spatio-temporelle très fine), peut être utilisée pour localiser et suivre des personnes à l'intérieur d'un bâtiment avec une précision sur la trajectoire de la personne de l'ordre du mètre (dimension du bâtiment). Ce type de précision est inaccessible aux systèmes à base de GPS à l'intérieur d'un bâtiment [24].

### II.9.3.2. Localisation d'objet dans un entrepôt

Traditionnellement, dans un entrepôt industriel, pour localiser un objet spécifique sur une palette spécifique dans un conteneur spécifique, on utilise la technologie d'identification par radiofréquences ou RFID [9]. Mais cette technologie n'est pas robuste dans un environnement multi-trajet, ce qui peut causer des mauvaises lectures d'objets, des abandons d'objets et donc de nombreuses erreurs. Il faut ajouter aussi que cette technologie a une précision relativement faible (de moins 30 cm). La technologie ULB est quant à elle beaucoup plus robuste dans un environnement complexe. Aujourd'hui il existe un système ULB de localisation commercial, fonctionnant dans la bande L, et qui est utilisé dans les hôpitaux (suivi de personnes) ou des industries (suivi d'un objet).

**a****b**

**Figure II. 12.** Système de localisation ULB, commercialisé (a) émetteur et (b) récepteur.

## II.10. Conclusion

Dans ce deuxième chapitre, on a présenté la technologie la technologie ULB et rappelant tout d'abord ses caractéristiques et quelques-unes des principales applications qui peuvent tirer avantage de ses performances.

Pour décrire la performance d'une antenne, les définitions des différents paramètres sont nécessaires. Dans la pratique, il existe plusieurs paramètres d'antenne couramment utilisés, y compris la bande de fréquences, le diagramme de rayonnement, la directivité, le gain, l'impédance d'entrée et ainsi de suite.

La technique ULB se distingue des systèmes traditionnels par différents atouts majeurs. D'une part, la largeur de bande occupée instantanément par le signal ULB conduit à une résolution temporelle très fine permettant d'envisager des applications de localisation et de communications basses ou hauts débits au sein d'un même appareil.

D'autre part, la très courte durée des impulsions émises assure une transmission robuste dans un canal multi-trajets dense. Enfin, la faible densité spectrale du signal permet au système ULB de coexister avec les applications existantes. La technique ULB se caractérise également par la possibilité d'une implémentation simple à faible consommation et faible coût.

### III.1. Introduction

Ce chapitre se met en évidence les principales dimensions des antennes simulées ainsi que les résultats obtenus au cours de simulation, les différentes conceptions sont effectuées pendant ce travail par le logiciel CST Microwave Studio [Annexe]. Nous avons présenté dans un premier temps, des nouvelles antennes constituées d'un patch rectangulaire et en second temps une antenne constituée d'un patch anneau alimentée par un guide micro-ruban et adaptée à  $50 \Omega$  sur une large bande de fréquence allant de 1 GHz jusqu'à 12 GHz.

### III.2. Choix de l'outil de simulation

Une des priorités de ce mémoire était de concevoir des antennes ultra Large Bande en technologie imprimée, afin de bénéficier à la fois d'un encombrement minime, et gardons les meilleurs caractéristiques de l'antenne d'un point de vue bande passante et adaptation. Pour cela, nous avons choisi un outil de simulation CST Microwave Studio (Annexe) qui utilise la technique d'intégration finie (FIT).

Une fois qu'on accède l'outil, on détermine les caractéristiques de la structure étudiée qui peuvent être visualisées sous différentes formes : paramètres [S], diagramme de rayonnement à 2D et 3D et ensuite le gain en fonction de la fréquence.

### III.3. Le substrat utilisé

Le substrat utilisé pour la simulation de cette antenne est de type FR4 avec une permittivité relative  $\epsilon_r=4.3$ , tangente de perte  $\text{tg } \delta=0.018$  et une épaisseur  $h=1.54\text{mm}$ .

### III.4. Simulations et résultats

#### III.4.1. Étude d'un monopole rectangle alimenté par une ligne micro-ruban

Dans ce travail, l'antenne à élément rayonnant imprimé que nous voulons étudier est une antenne monopôle imprimée avec un plan de masse réduit. La structure de notre antenne a une forme rectangle. Elle a une taille compacte de 30mm x 30mm, et se compose d'un plan de masse de dimension  $L_s \times G$  et d'un substrat diélectrique ( $L_p \times W_p$ ) dont la surface porte un élément métallique. L'antenne patch est alimentée par une ligne micro-ruban et d'impédance caractéristique de  $50 \Omega$  dont le point de jonction est sur l'axe de symétrie de l'élément rayonnant.



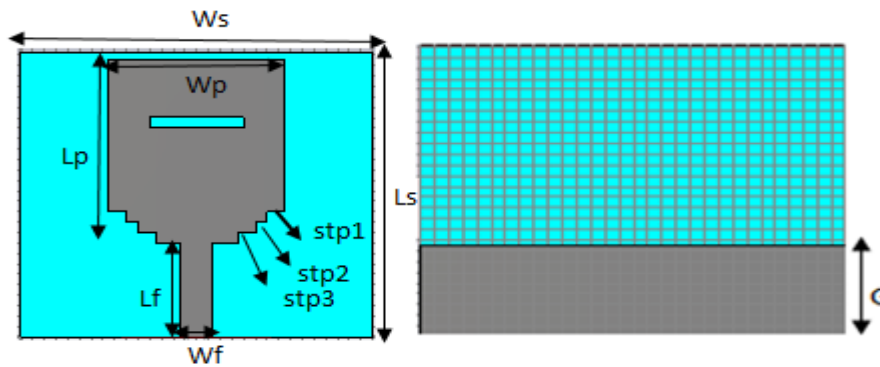


Figure III. 1. Le patch de l'antenne 1.

Ls	Ws	Wp	Lp	Wf	Lf	Stp1	Stp 2	Stp 3	Fente	G
30 mm	30 mm	15 mm	18.2 mm	2.72 mm	9 mm	4 x 1 mm	2.5 x 1 mm	1.5 x 1 mm	8 x 1 mm	8.5 mm

Tableau III.1. Les dimensions de l'antenne 1.

### III.4.1.1. Paramètre S

Le paramètre S est le coefficient qui préoccupe le plus les concepteurs des antennes imprimées car il représente le coefficient de réflexion qui joue le rôle de perturbation sur la transmission des données. Ici dans cette figure III.2 l'évolution du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence. Les résultats de simulation présentent une bonne adaptation à la fréquence de résonance 7.49 GHz avec un pic de coefficient de réflexion inférieur à -10 dB. La largeur de bande de fréquence est de 3.3 GHz à 12 GHz.

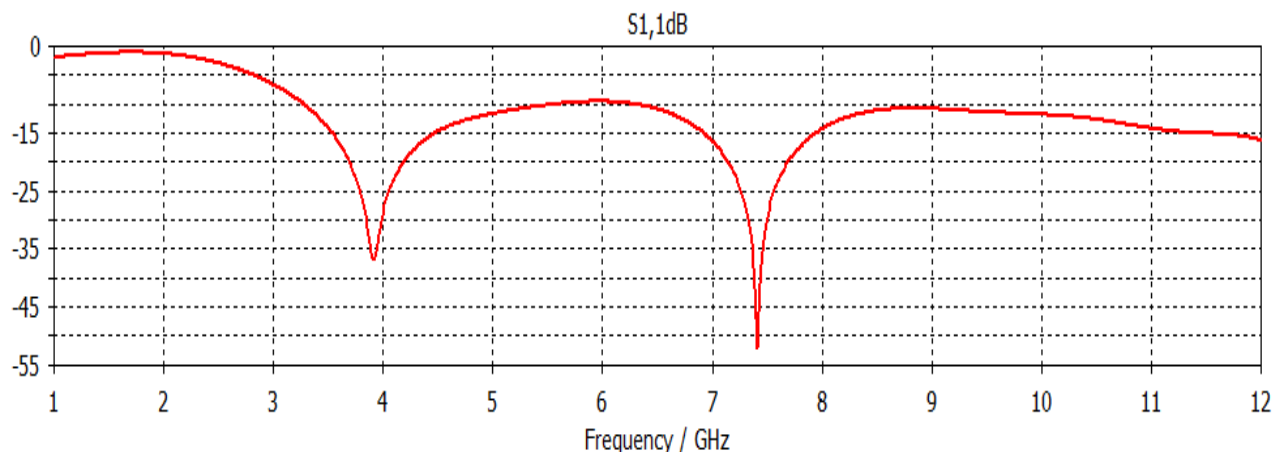


Figure III. 2. Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de l'antenne présentée sur la figure III.1.

### III.4.1.2. Caractéristiques de rayonnement

#### III.4.1.2.1. Le gain vs fréquence

Maintenant nous nous intéressons au gain de l'antenne. Le gain de l'antenne croît en fonction de la fréquence, d'après la figure III.3 le gain atteint une valeur maximum de 4.76 dB. Le gain dans la direction normale varie entre 2.49 dB sur toute la bande maximale de [3.9 à 10 GHz]. On remarque qu'à la fréquence 8.25 GHz le maximum de gain observé est de 4.76 dB.

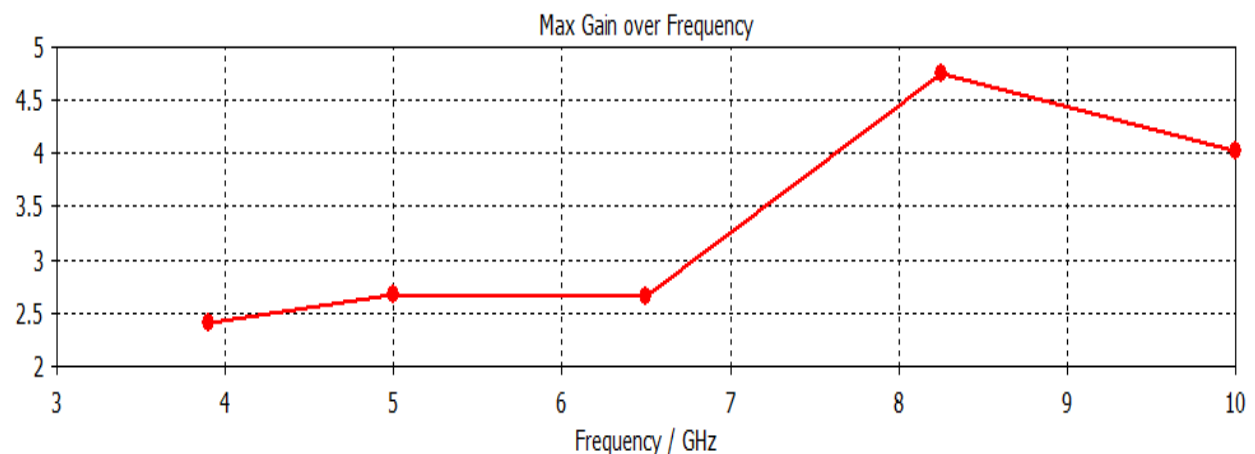


Figure III. 3. Le gain en fonction de la fréquence.

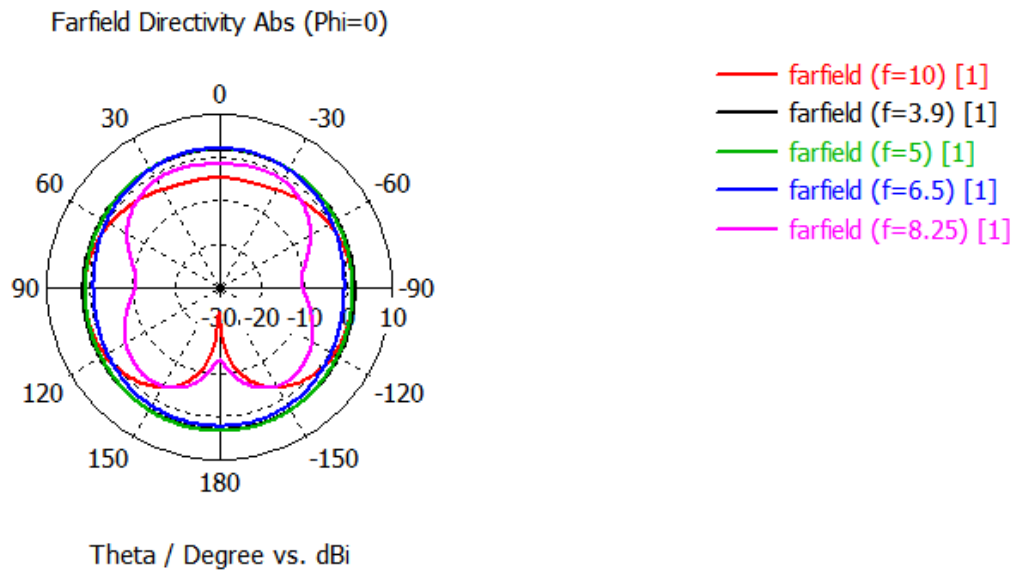
#### III.4.1.2.2. Le diagramme de rayonnement

##### ➤ Le diagramme de rayonnement en 2D

On étudie dans ce paragraphe les caractéristiques de rayonnement d'une antenne imprimée dont l'élément rayonnant est sous forme d'un rectangle. On a tracé les diagrammes de rayonnement en 2D dans les principaux plans de l'antenne : dans le plan E et H et ensuite le diagramme de rayonnement en 3D. Les figures ci-dessous représentent le diagramme de rayonnement du monopole rectangulaire dans le **plan E** et dans le **plan H** aux fréquences suivantes : 3.9, 5, 6.5, 8.25 et 10 GHz. et puis une représentation du champ en 3D est montrée pour mieux voir le comportement du rayonnement de l'antenne dans l'espace.

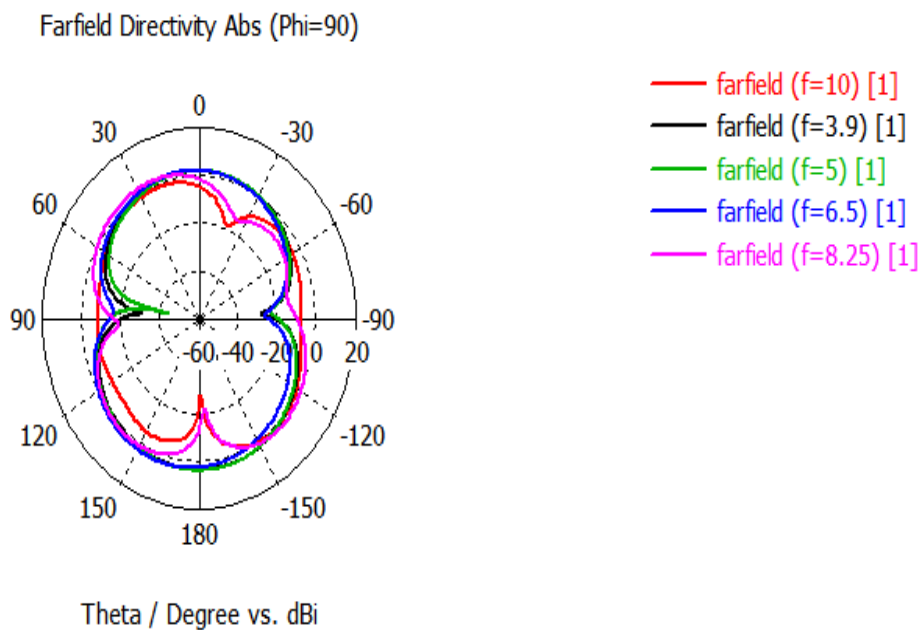
La figure III.4 illustre le diagramme de rayonnement de l'antenne optimisée par l'ajout de tronçons de lignes dans le plan E ( $\varphi=0^\circ$ ) pour les fréquences.

Le diagramme de rayonnement par l'ajout de tronçons de lignes reste directif sur les bandes de fréquences hausses tels que  $f=8.25$  GHz et  $f=10$  GHz et puis le diagramme est omnidirectionnel sur les bandes de fréquences basses tels que  $f=3.9$  GHz,  $f=5$  GHz et 6.5 GHz.



**Figure III. 4.** Diagramme de rayonnement 2D dans le plan E.

La figure III.5 illustre le diagramme de rayonnement de l'antenne optimisé par l'ajout de tronçons de lignes dans le plan H ( $\varphi=90^\circ$ ) pour les fréquences. On peut constater que les diagrammes sont directifs également dans ce plan et avec des déformations au niveau des hautes fréquences tels que  $f=8.25$  GHz et  $f=10$  GHz, bien qu'ils restent dipolaires dans toutes les fréquences basses.



**Figure III. 5.** Diagramme de rayonnement 2D dans le plan H.

➤ Le diagramme de rayonnement en 3D

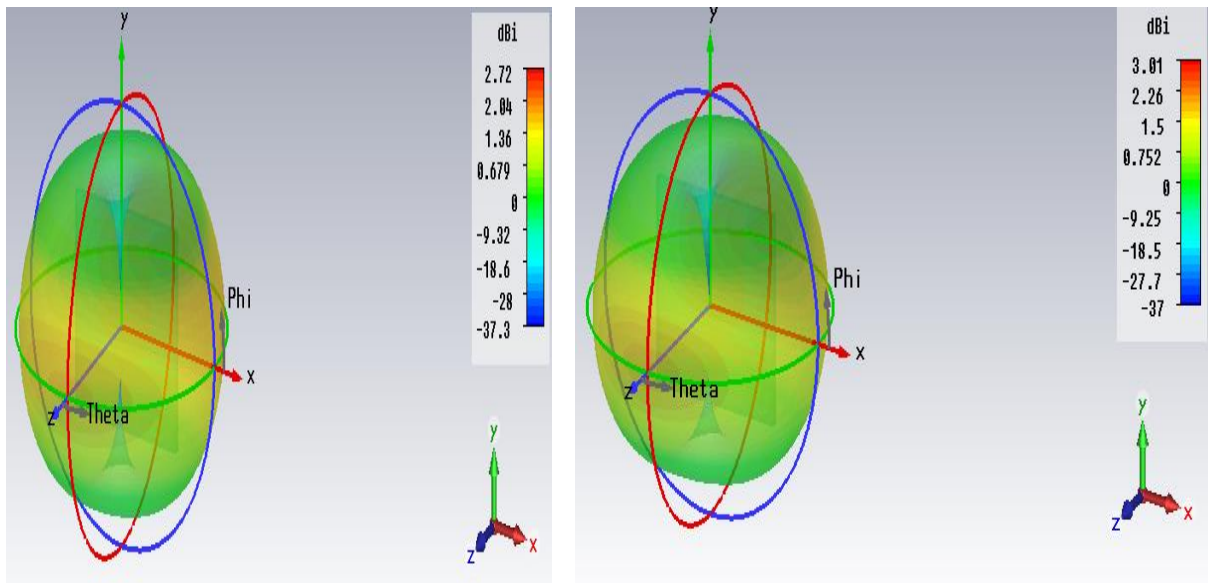


Figure III. 6. Le diagramme de rayonnement en 3D pour  $f=3.9$  GHz et 5 GHz.

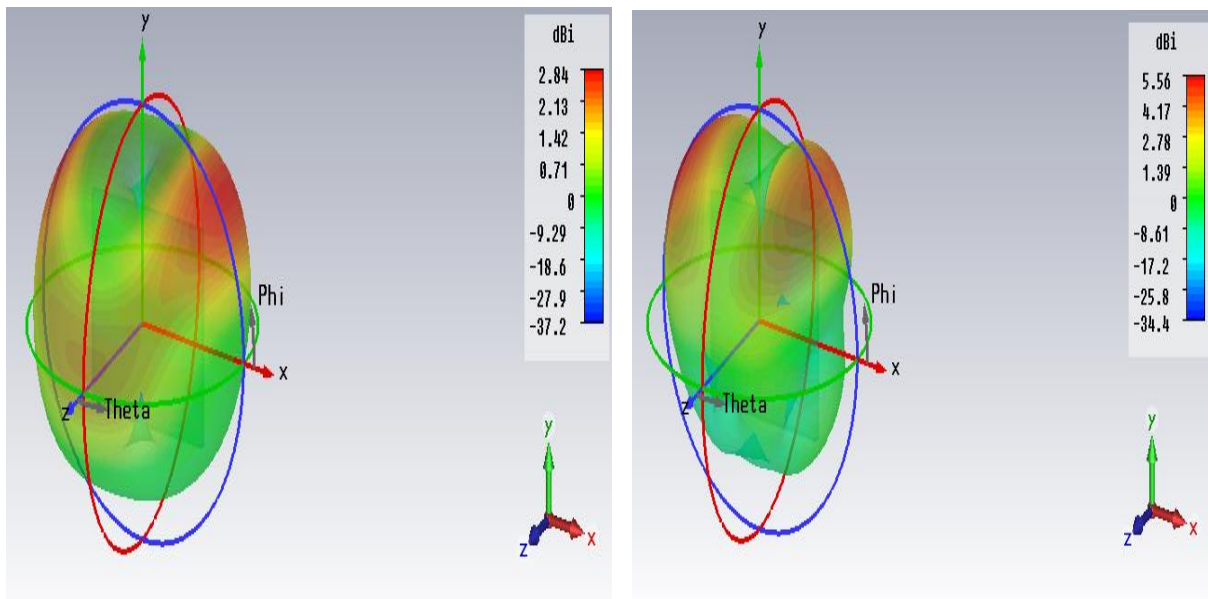


Figure III. 7. Le diagramme de rayonnement en 3D pour  $f=6.5$  GHz et 8.25GHz.

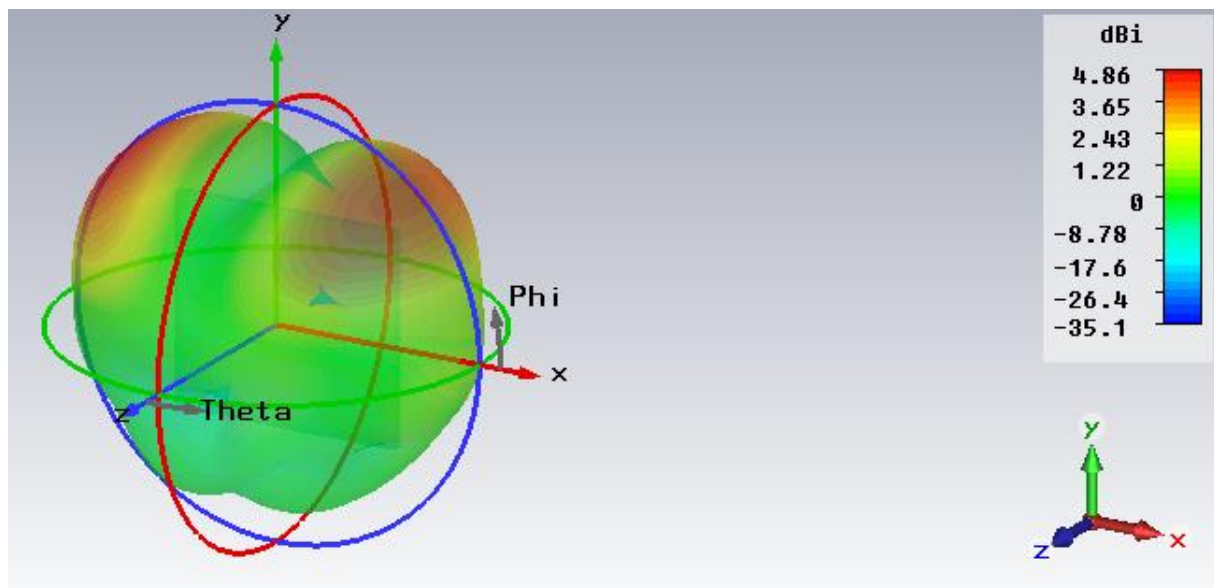


Figure III. 8. Le diagramme de rayonnement en 3D pour  $f=10$  GHz.

### III.4.2. Étude d'un monopole rectangle alimenté par une ligne micro-ruban

Dans ce travail l'antenne à élément rayonnant imprimé que nous voulons étudier est une antenne monopôle imprimée avec un plan de masse réduit. La structure de notre antenne a une forme rectangle avec une fente sous forme T. Elle a une taille compacte de 30mm x 30mm, et se compose d'un plan de masse de dimension  $L_s \times G$  et d'un substrat diélectrique ( $L_p \times W_p$ ) dont la surface porte un élément métallique. L'antenne patch est alimentée par une ligne micro-ruban et d'impédance caractéristique  $50 \Omega$  dont le point de jonction est sur l'axe de symétrie de l'élément rayonnant.

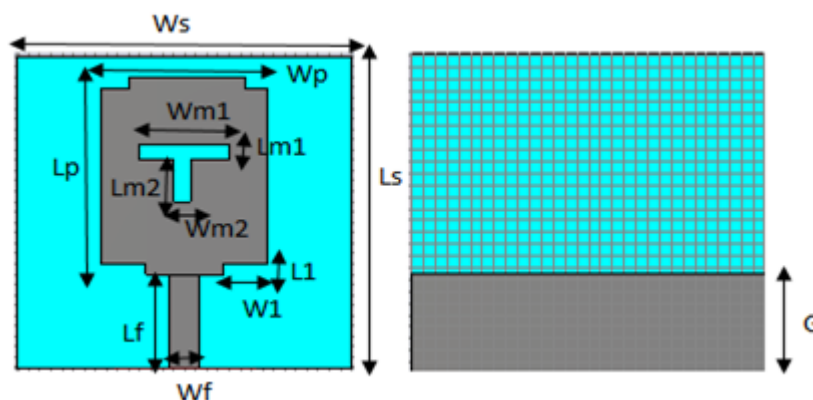


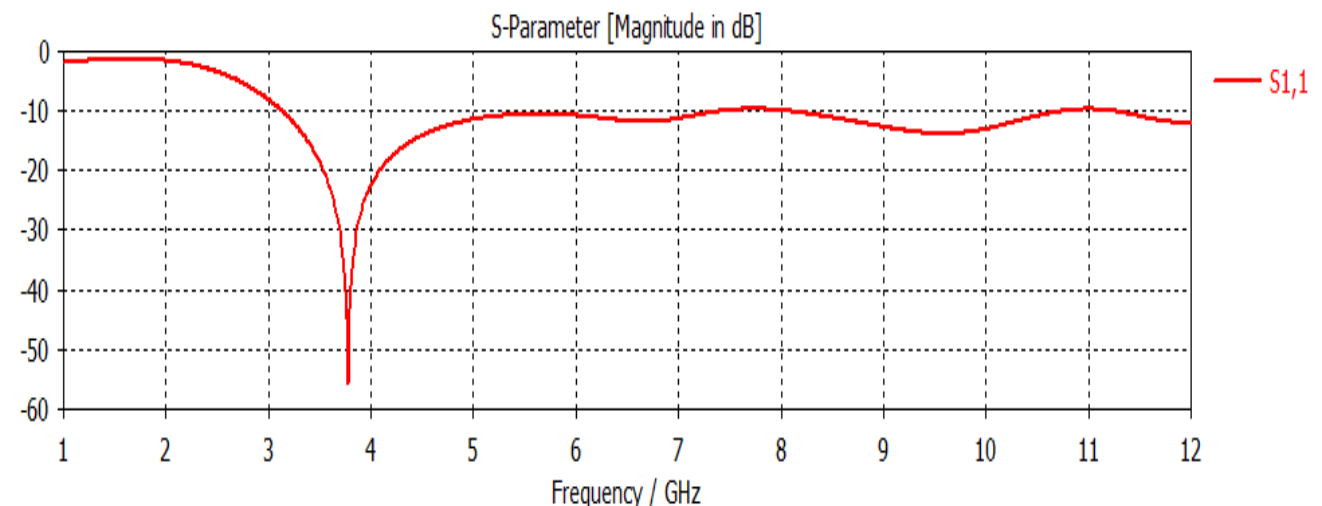
Figure III. 9. Le patch de l'antenne 2.

Ls	Ws	Lp	Wp	Lf	Wf	L1	W1	Lm1	Wm1	Lm2	Wm2	L2
30 mm	30 mm	15 mm	21 mm	2.72 mm	9 mm	1 mm	4 mm	1.5 mm	8 mm	4 mm	1.5 mm	1.2 mm
W2	G											
2.5 mm	8.14 mm											

**Tableau III.2.** Les dimensions de l'antenne 2.

### III.4.2.1. Paramètre S

Les résultats de simulation présentent une bonne adaptation à la fréquence de résonance 3.8 GHz avec un pic de coefficient de réflexion inférieur à -10 dB. La largeur de bande de fréquence est de 3 GHz à 12 GHz.

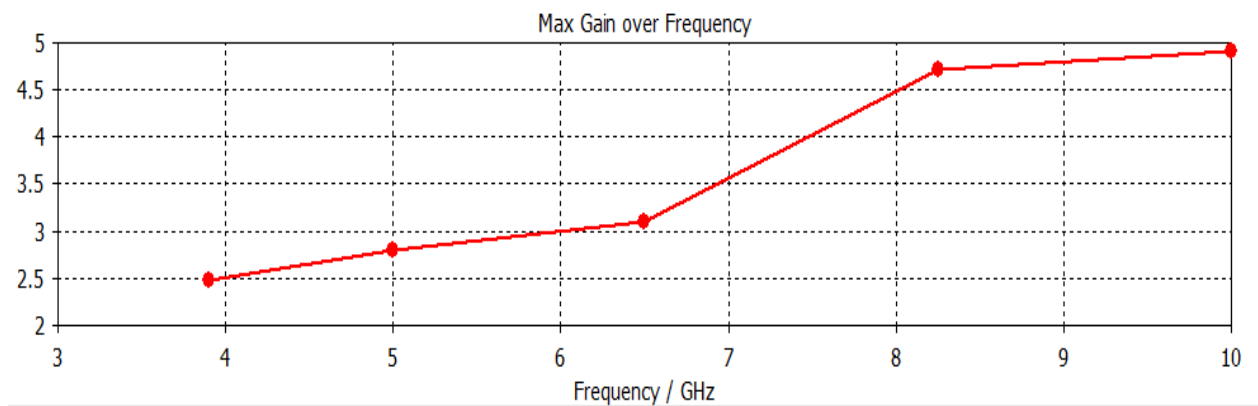


**Figure III. 10.** Coefficient de réflexion de l'antenne ULB présentée par la figure III.9.

### III.4.2.2. Caractéristique de rayonnement

#### III.4.2.2.1. Le gain en fonction fréquence

Le gain de l'antenne croît en fonction de la fréquence, d'après la figure III.11 le gain atteint une valeur maximum de 4.91 dB. Le gain dans la direction normale varie entre 2.48 dB sur toute la bande de [3.9 à 10 GHz]. On remarque qu'à la fréquence 10 GHz le maximum de gain observé est de 4.91 dB.



**Figure III. 11.** Le gain en fonction de la fréquence.

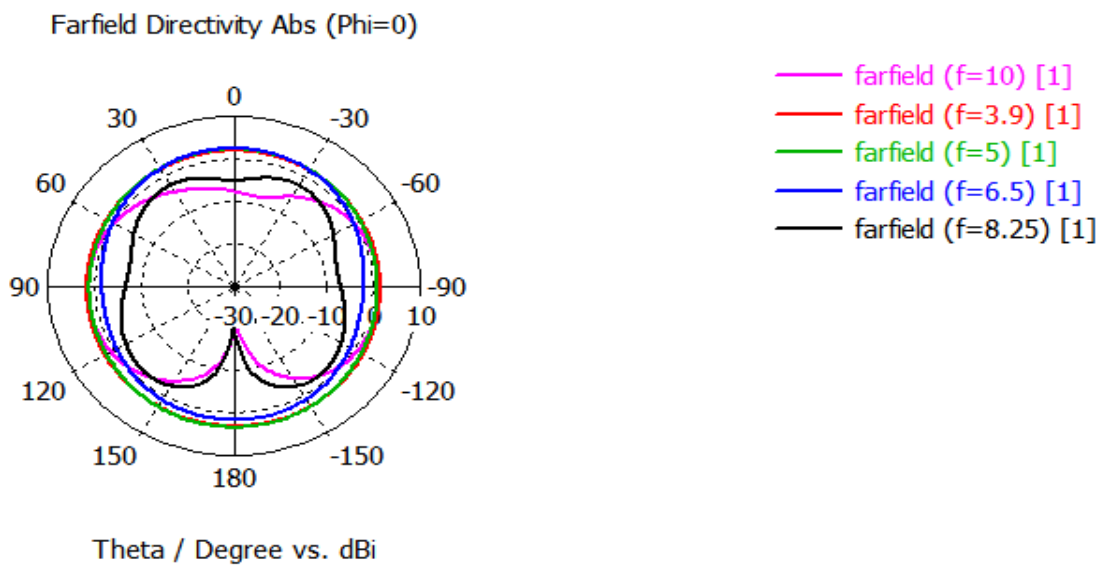
### III.4.2.2.2. Diagramme de rayonnement

#### ➤ Le diagramme de rayonnement en 2D

On a tracé les diagrammes de rayonnement en 2D dans les principaux plans de l'antenne : dans le plan E et H et ensuite le diagramme de rayonnement en 3D. Les figures ci-dessous représentent le diagramme de rayonnement du monopole rectangulaire dans le **plan E** et dans le **plan H** aux fréquences suivantes : 3.9, 5, 6.5, 8.25 et 10 GHz. et puis une représentation du champ en 3D est montrée pour mieux voir le comportement du rayonnement de l'antenne dans l'espace.

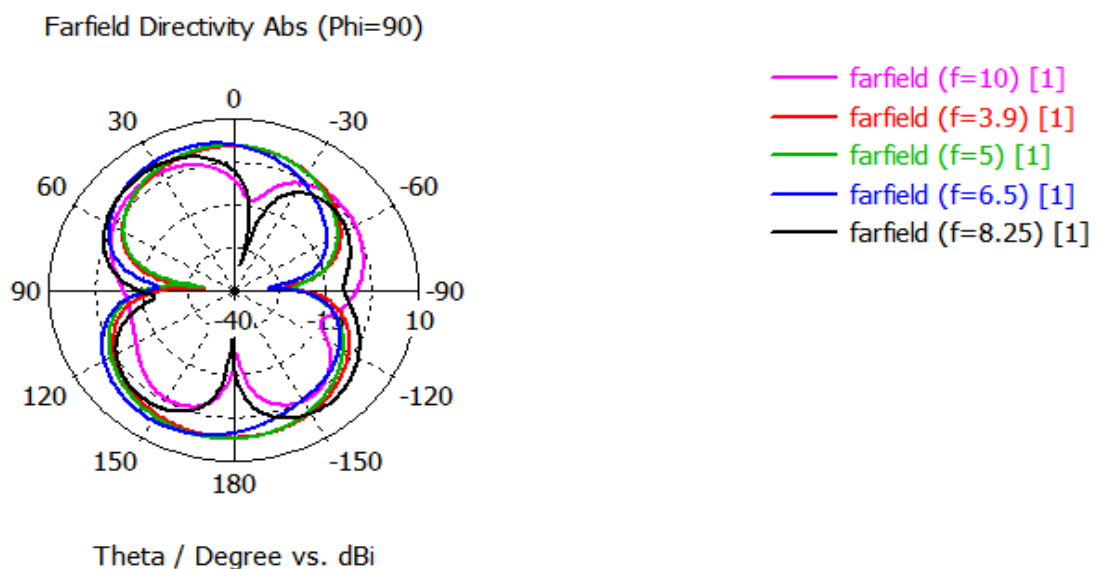
La figure ci-dessous illustre le diagramme de rayonnement de l'antenne optimisée par l'ajout de tronçons de lignes dans le plan E ( $\varphi=0^\circ$ ) pour les fréquences.

Le diagramme de rayonnement par l'ajout de tronçons de lignes reste directif sur les bandes de fréquences hautes tels que  $f=8.25$  GHz et  $f=10$  GHz et puis le diagramme est omnidirectionnel sur les bandes de fréquences basses tels que  $f=3.9$  GHz,  $f=5$  GHz et 6.5 GHz.



**Figure III. 12.** Diagramme de rayonnement 2D dans le plan E.

La figure III.13 illustre le diagramme de rayonnement de l'antenne optimisé par l'ajout de tronçons de lignes dans le plan H ( $\varphi=90^\circ$ ) pour les fréquences. On peut constater que les diagrammes sont peu directifs également dans ce plan et avec des déformations au niveau des hautes fréquences tels que  $f=8.25$  GHz et  $f=10$  GHz, bien qu'ils restent dipolaires dans toutes les fréquences basses.



**Figure III. 13.** Diagramme de rayonnement 2D dans le plan H.



➤ Le diagramme de rayonnement en 3D

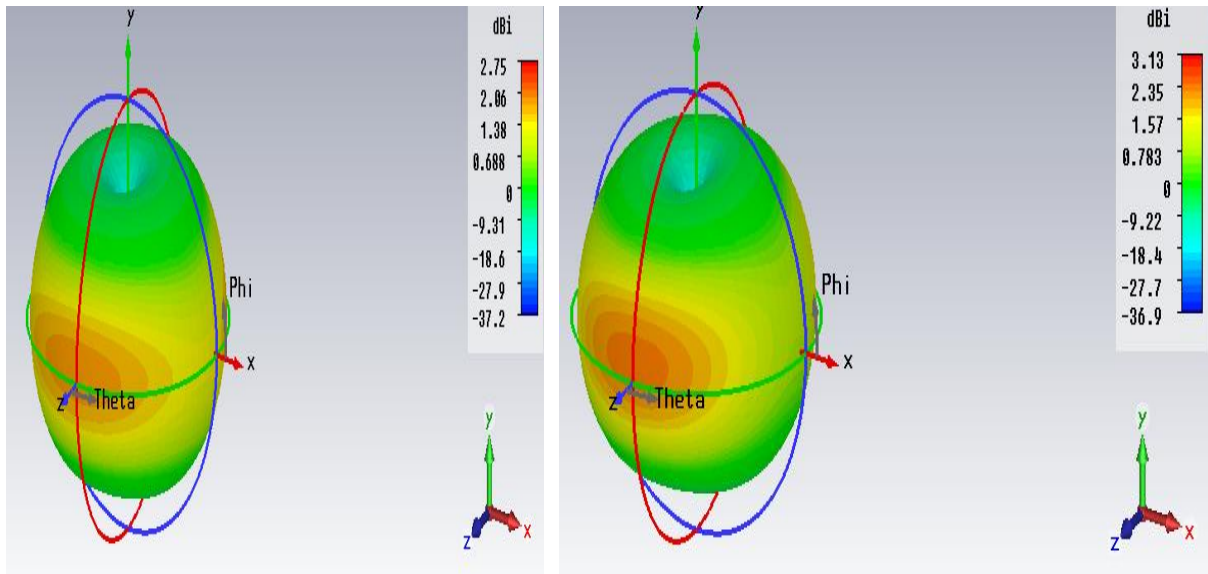


Figure III. 14. Le diagramme de rayonnement en 3D pour  $f=3.9$  GHz et  $f=5$  GHz.

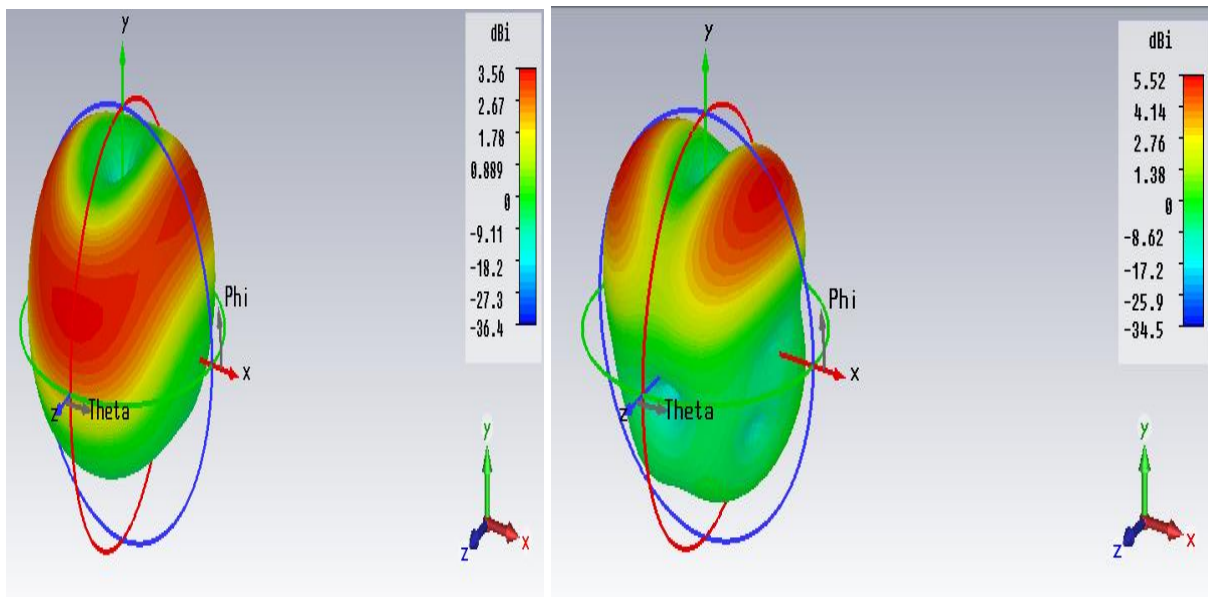


Figure III. 15. Le diagramme de rayonnement en 3D pour  $f=6.5$  GHz et  $f=8.25$  GHz.

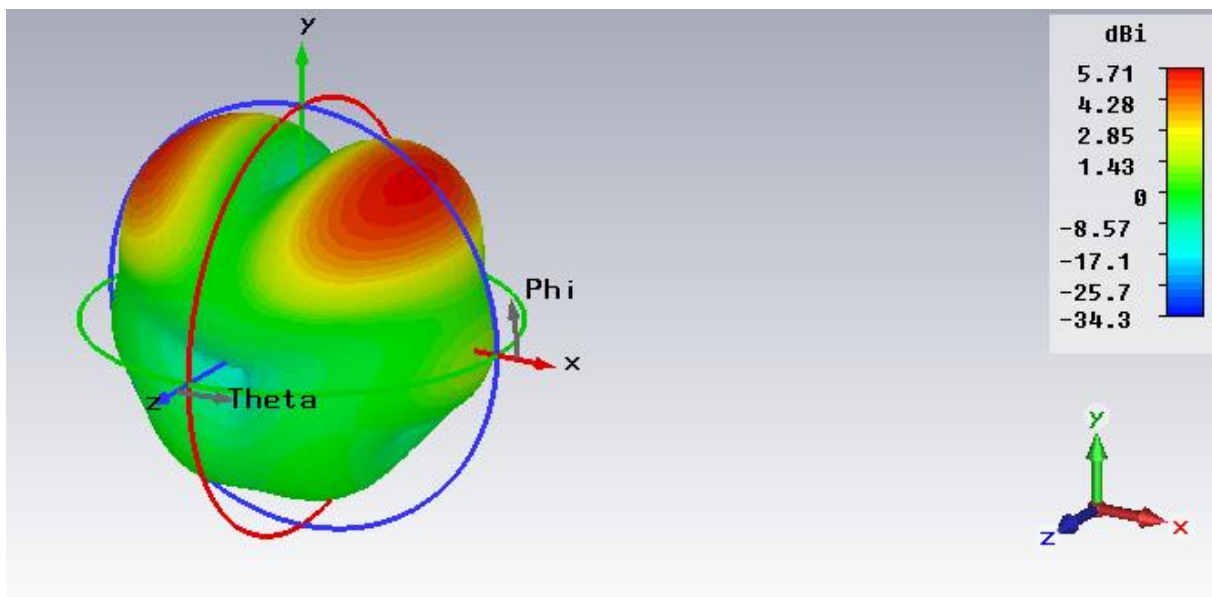


Figure III. 16. Le diagramme de rayonnement en 3D pour  $f=10$  GHz.

### III.4.3. Étude d'un monopole rectangle alimenté par une ligne micro-ruban

Dans ce travail l'antenne à élément rayonnant imprimé que nous voulons étudier est une antenne monopôle imprimée avec un plan de masse réduit. La structure de notre antenne a une forme rectangle avec une fente sous forme E. Elle a une taille compacte de 30mm x 30mm, et se compose d'un plan de masse de dimension  $L_s \times G$  et d'un substrat diélectrique ( $L_p \times W_p$ ) dont la surface porte un élément métallique. L'antenne patch est alimentée par une ligne micro-ruban et d'impédance caractéristique  $50 \Omega$  dont le point de jonction est sur l'axe de symétrie de l'élément rayonnant.

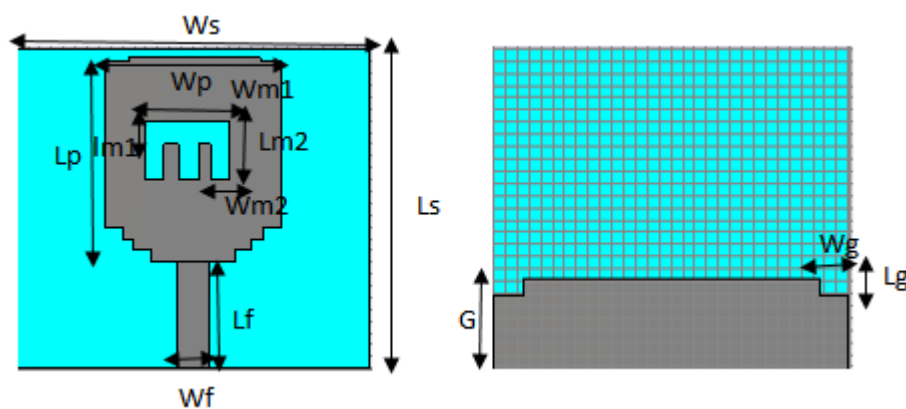


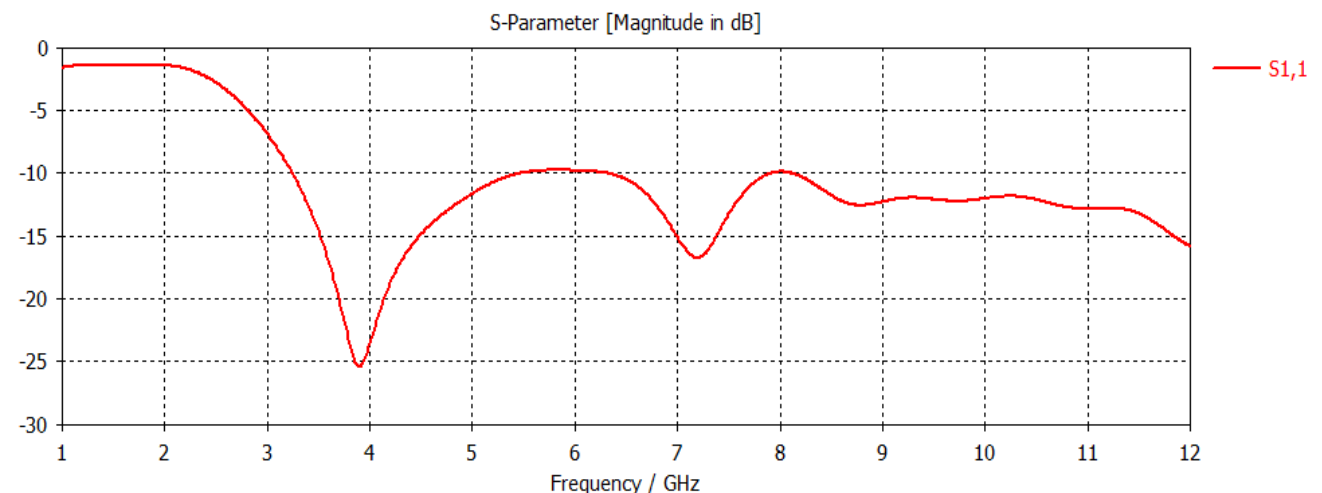
Figure III. 17. Le patch de l'antenne 3.

Ls	Ws	Lp	Wp	Lf	Wf	Stp1	Stp2	Stp 3	Lg	Wg	G
30 mm	30 mm	18 mm	15.5 Mm	2.72 mm	9 mm	4 x 1 mm	2.5 x 1 mm	1.5 x 1 mm	1.45 mm	2.5 mm	8.25 mm
Lm1	Wm1	Lm2	Wm2								
2 mm	7 mm	3 mm	1.7 mm								

**Tableau III.3.** Les dimensions de l'antenne 3.

### III.3.1. Paramètre S

Les résultats de simulation présentent une bonne adaptation à la fréquence de résonance 3.9 GHz avec un pic de coefficient de réflexion inférieur à -10 dB. La largeur de bande de fréquence est de 3.2 GHz à 12 GHz.

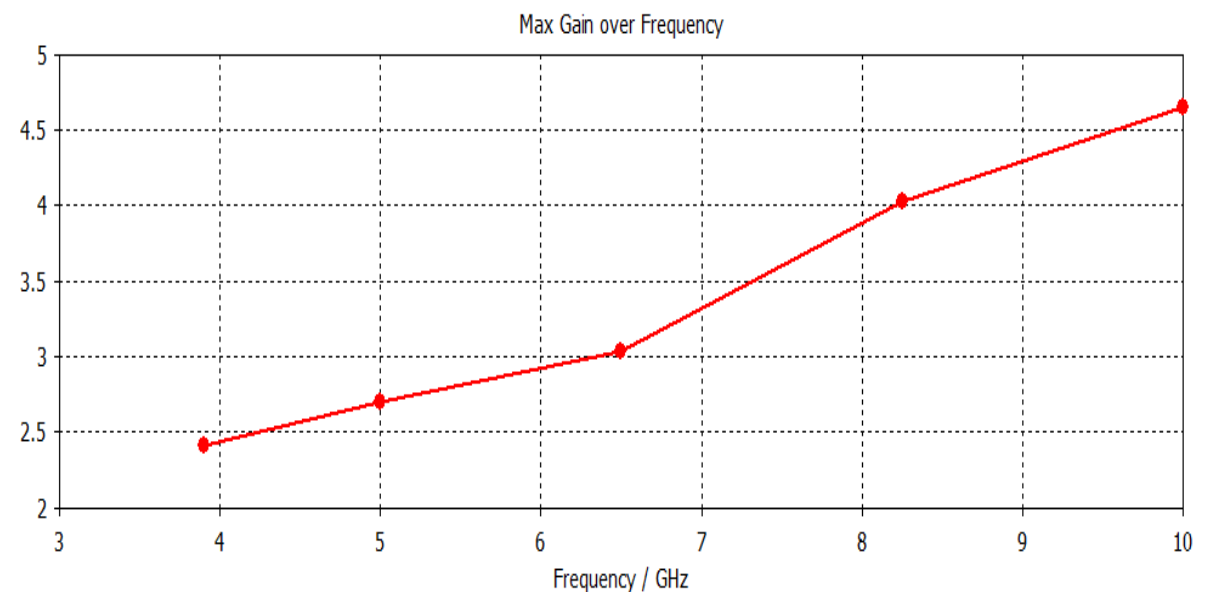


**Figure III. 18.** Coefficient de réflexion de l'antenne ULB présentée sur la figure III.17.

### III.4.3.2. Caractéristique de rayonnement

#### III.4.3.2.1. Le gain vs fréquence

Le gain de l'antenne croît en fonction de la fréquence, d'après la figure III.19 le gain atteint une valeur maximum de 4.64 dB. Le gain dans la direction normale varie entre 2.42 dB sur toute la bande de [3.9 à 10 GHz]. Qu'on remarque qu'à la fréquence 10 GHz le maximum de gain observé est de 4.64 dB.



**Figure III. 19.** Le gain en fonction de la fréquence.

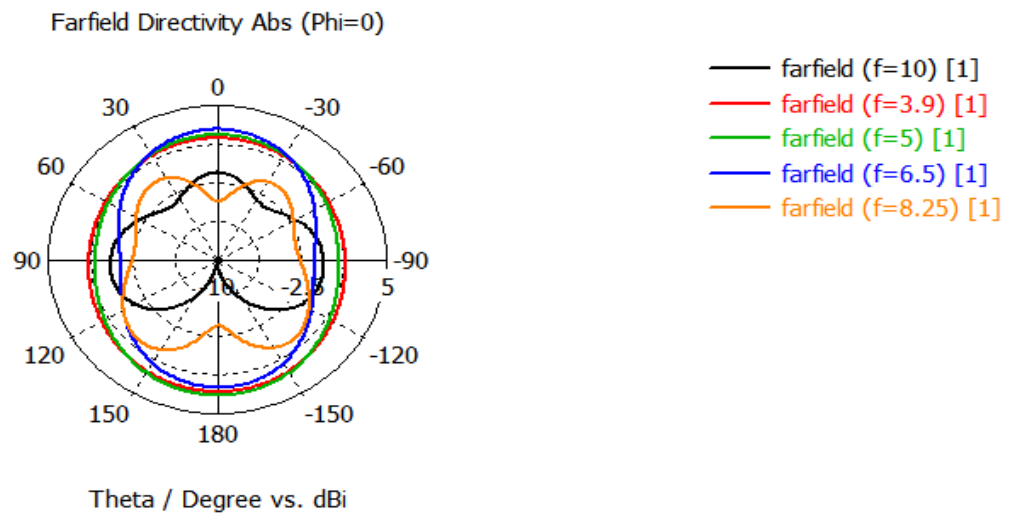
### III.4.3.2.2. Diagramme de rayonnement

#### ➤ Le diagramme de rayonnement en 2D

On a tracé les diagrammes de rayonnement en 2D dans les principaux plans de l'antenne : dans le plan E et H et ensuite le diagramme de rayonnement en 3D. Les figures ci-dessous représentent le diagramme de rayonnement du monopole rectangulaire dans le **plan E** et dans le **plan H** aux fréquences suivantes : 3.9, 5, 6.5, 8.25 et 10 GHz, et puis une représentation du champ en 3D est montrée pour mieux voir le comportement du rayonnement de l'antenne dans l'espace.

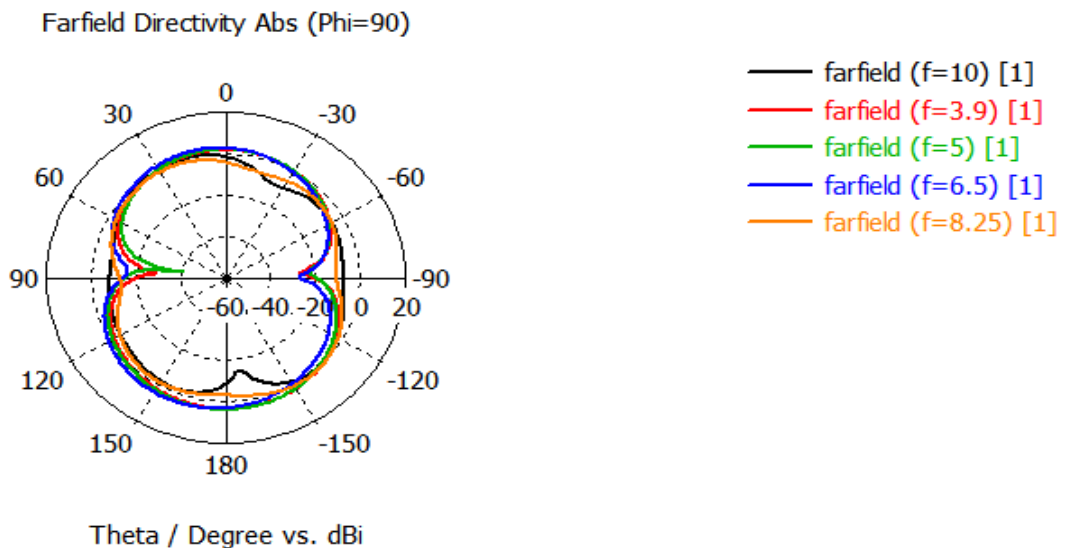
La figure ci-dessous illustre le diagramme de rayonnement de l'antenne optimisée par l'ajout de tronçons de lignes dans le plan E ( $\varphi=0^\circ$ ) pour les fréquences.

Le diagramme de rayonnement par l'ajout de tronçons de lignes reste directif sur les bandes de fréquences hausses tels que  $f=8.25$  GHz et  $f=10$  GHz en présence de dégradations de plus en plus observable et puis le diagramme est omnidirectionnel sur les bandes de fréquences basses tels que  $f=3.9$  GHz,  $f=5$  GHz et 6.5 GHz.



**Figure III. 20.** Diagramme de rayonnement 2D dans le plan E.

La figure III.21 illustre le diagramme de rayonnement de l'antenne optimisé par l'ajout de tronçons de lignes dans le plan H ( $\varphi=90^\circ$ ) pour les fréquences. On peut constater que les diagrammes sont peu directifs également dans ce plan et avec des déformations au niveau des hautes fréquences tels que  $f=8.25$  GHz et  $f=10$  GHz, bien qu'ils restent dipolaires dans toutes les fréquences basses.



**Figure III. 21.** Diagramme de rayonnement 2D dans le plan H.

➤ Le diagramme de rayonnement en 3D

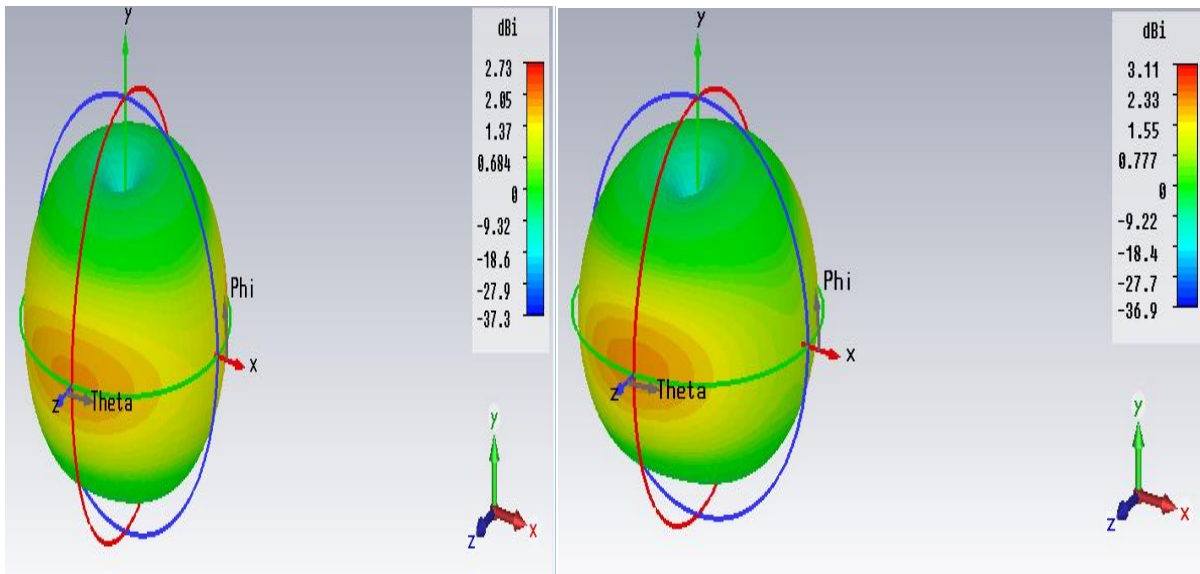


Figure III. 22. Le diagramme de rayonnement en 3D pour  $f=3.9$  GHz et  $f=5$  GHz.

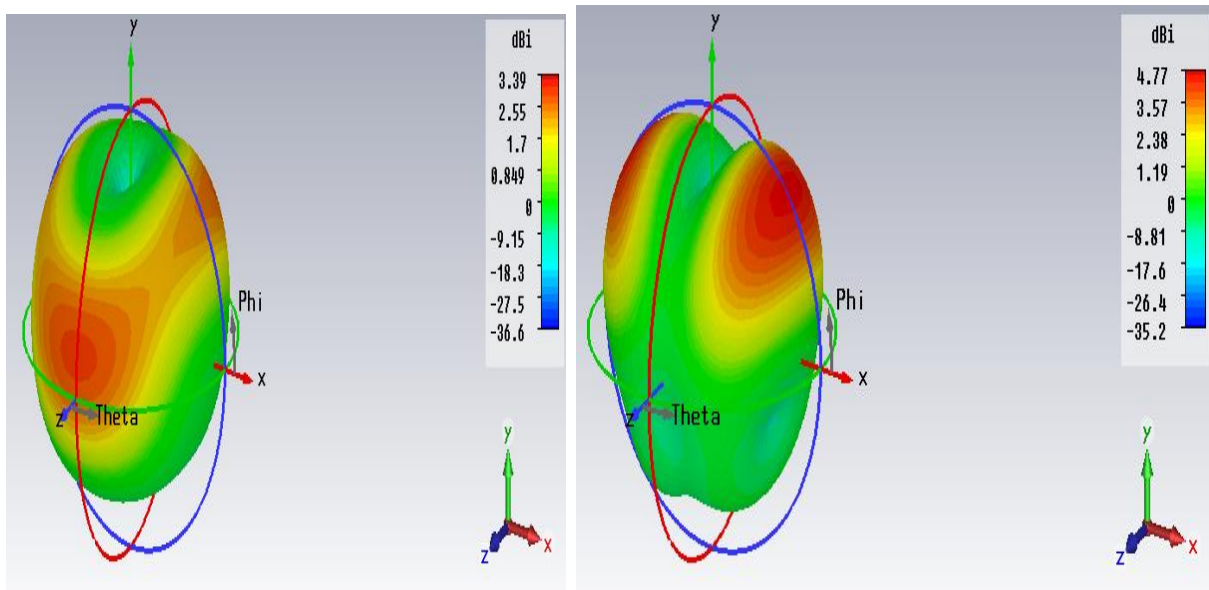


Figure III. 23. Le diagramme de rayonnement en 3D pour  $f=6.5$  GHz et  $f=8.25$  GHz.

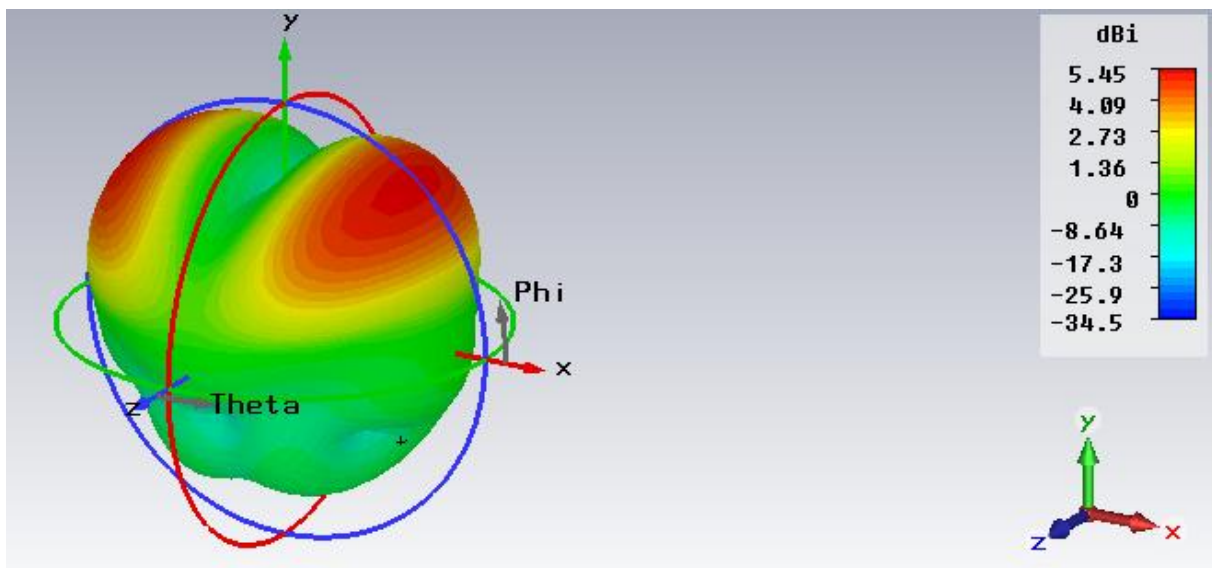


Figure III. 24. Le diagramme de rayonnement en 3D pour  $f=10$  GHz.

#### III.4.4. Étude d'un monopole demi-disque alimenté par une ligne micro-ruban

Dans ce travail l'antenne à élément rayonnant imprimé que nous voulons étudier est une antenne monopôle imprimée avec un plan de masse réduit. La structure de notre antenne a une forme demi-disque. Elle a une taille compacte de 30mm x 30mm, et se compose d'un plan de masse de dimension  $L_s \times G$  et d'un substrat diélectrique ( $L_p \times W_p$ ) dont la surface porte un élément métallique. L'antenne patch est alimentée par une ligne micro-ruban et d'impédance caractéristique  $50 \Omega$  dont le point de jonction est sur l'axe de symétrie de l'élément rayonnant.

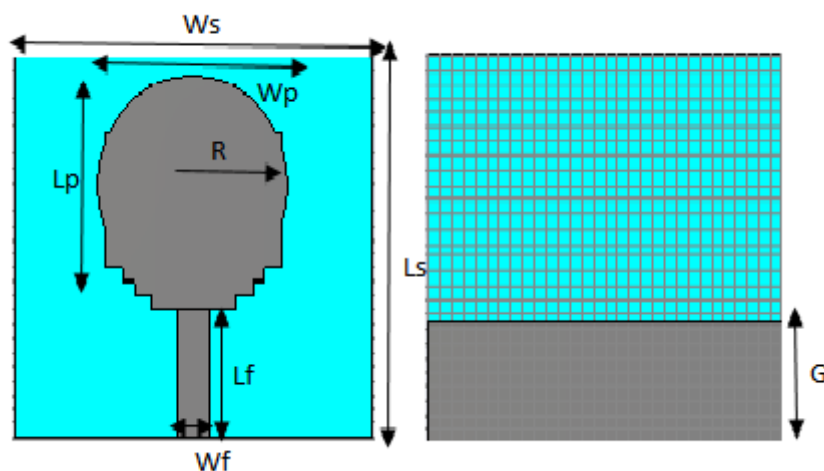


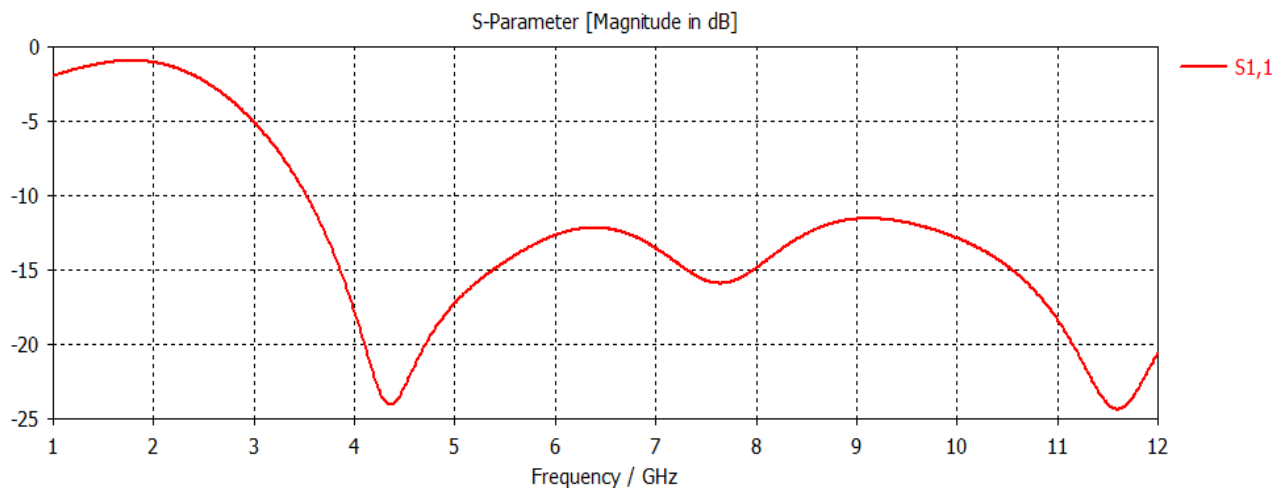
Figure III. 25. Le patch de l'antenne 4.

Ls	Ws	Lp	Wp	Lf	Wf	Stp1	Stp2	Stp3	R	G
30 mm	30 mm	15 mm	21 mm	2.72 mm	9 mm	4 x 1 mm	2.5 x 1 mm	1.5 x 1 mm	6.9 mm	8.25 mm

**Tableau III.4.** Les dimensions de l'antenne 4.

### III.4.4.1. Paramètre S

Les résultats de simulation présentent une bonne adaptation à la fréquence de résonance 4.38 GHz avec un pic de coefficient de réflexion inférieur à -10 dB. La largeur de bande de fréquence est de 3.48 GHz à 12 GHz.



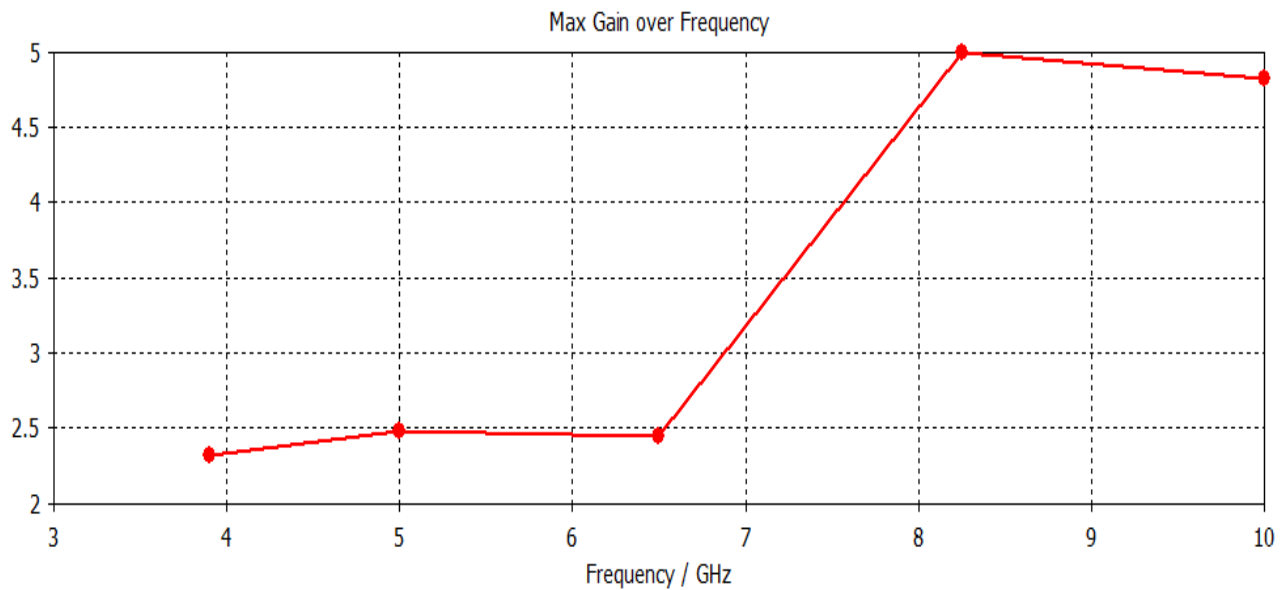
**Figure III. 26.** Coefficient de réflexion de l'antenne ULB présentée sur la figure III.25.

### III.4.4.2. Caractéristique de rayonnement

#### III.4.4.2.1. Le gain en fonction fréquence

Le gain de l'antenne croît en fonction de la fréquence, d'après la figure III.27 d'ailleurs il atteint une valeur maximum de 4.99 dB. Le gain dans la direction normale varie entre 2.41 dB sur toute la bande de [3.9 à 10GHz]. On remarque qu'à la fréquence 8.27 GHz le maximum de gain observé est de 4.99 dB.





**Figure III. 27.** Le gain en fonction fréquence.

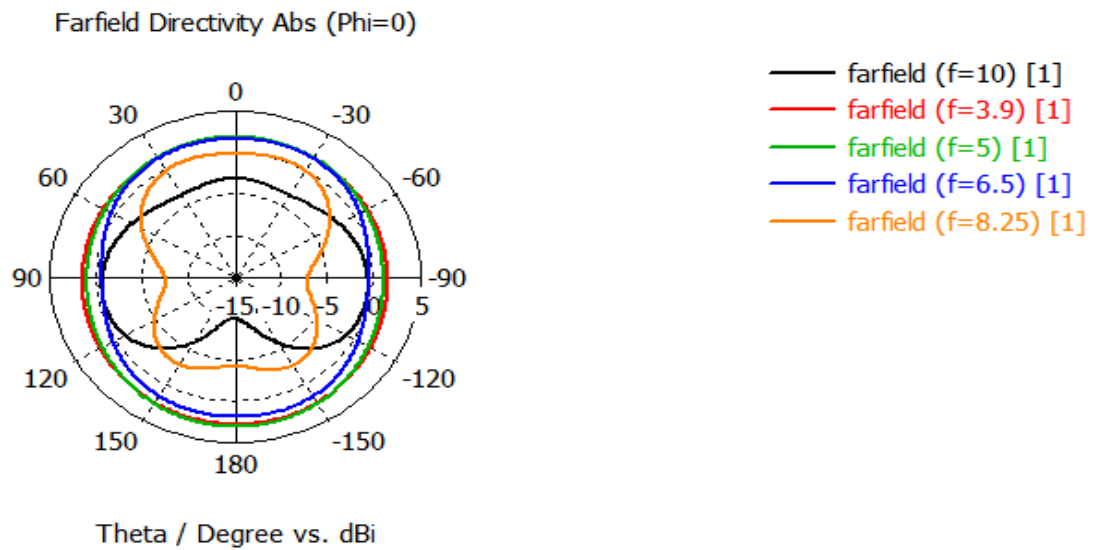
### III.4.4.2.2. Le diagramme de rayonnement

#### ➤ Le diagramme de rayonnement en 2D

On a tracé les diagrammes de rayonnement en 2D dans les principaux plans de l'antenne : dans le plan E et H et ensuite le diagramme de rayonnement en 3D. Les figures ci-dessous représentent le diagramme de rayonnement du monopole anneau dans le **plan E** et dans le **plan H** aux fréquences suivantes : 3.9, 5, 6.5, 8.25 et 10 GHz. et puis une représentation du champ en 3D est montrée pour mieux voir le comportement du rayonnement de l'antenne dans l'espace.

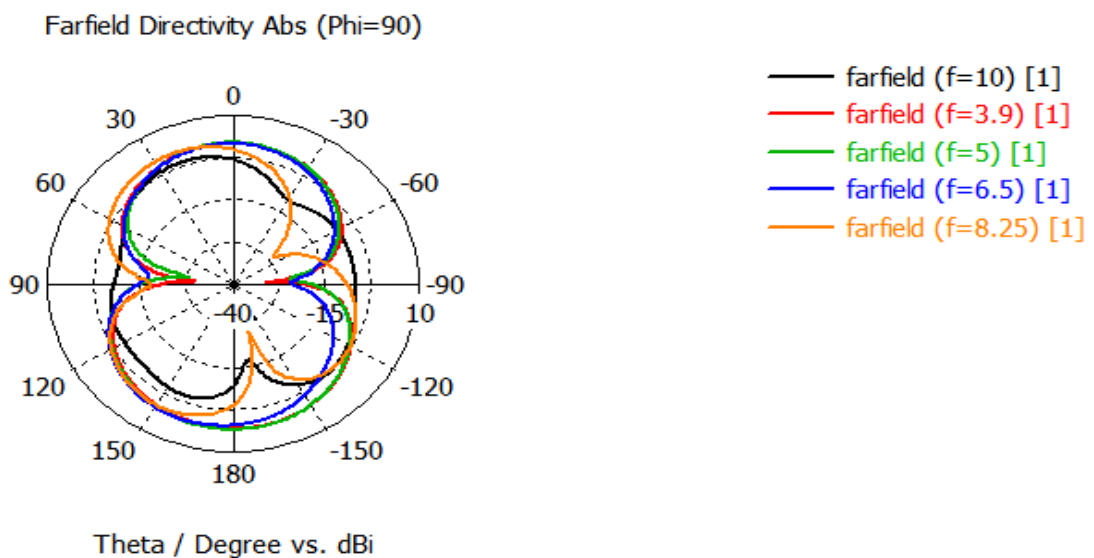
La figure III.28 illustre le diagramme de rayonnement de l'antenne optimisée par l'ajout de tronçons de lignes dans le plan E ( $\varphi=0^\circ$ ) pour les fréquences.

Le diagramme de rayonnement par l'ajout de tronçons de lignes reste directif sur les bandes de fréquences hausses tels que  $f=8.25$  GHz et  $f=10$  GHz avec des déformations plus en plus observable et puis le diagramme est omnidirectionnel sur les bandes de fréquences basses tels que  $f=3.9$  GHz,  $f=5$  GHz et 6.5 GHz.



**Figure III. 28.** Diagramme de rayonnement 2D dans le plan E.

La figure III.29 illustre le diagramme de rayonnement de l'antenne optimisée par l'ajout de tronçons de lignes dans le plan H ( $\varphi=90^\circ$ ) pour les fréquences. On peut constater que les diagrammes sont peu directifs également dans ce plan et avec des déformations au niveau des hautes fréquences tels que  $f=8.25$  GHz et  $f=10$  GHz, bien qu'ils restent dipolaires dans toutes les fréquences basses.



**Figure III. 29.** Diagramme de rayonnement 2D dans le plan H.

➤ Le diagramme de rayonnement en 3D

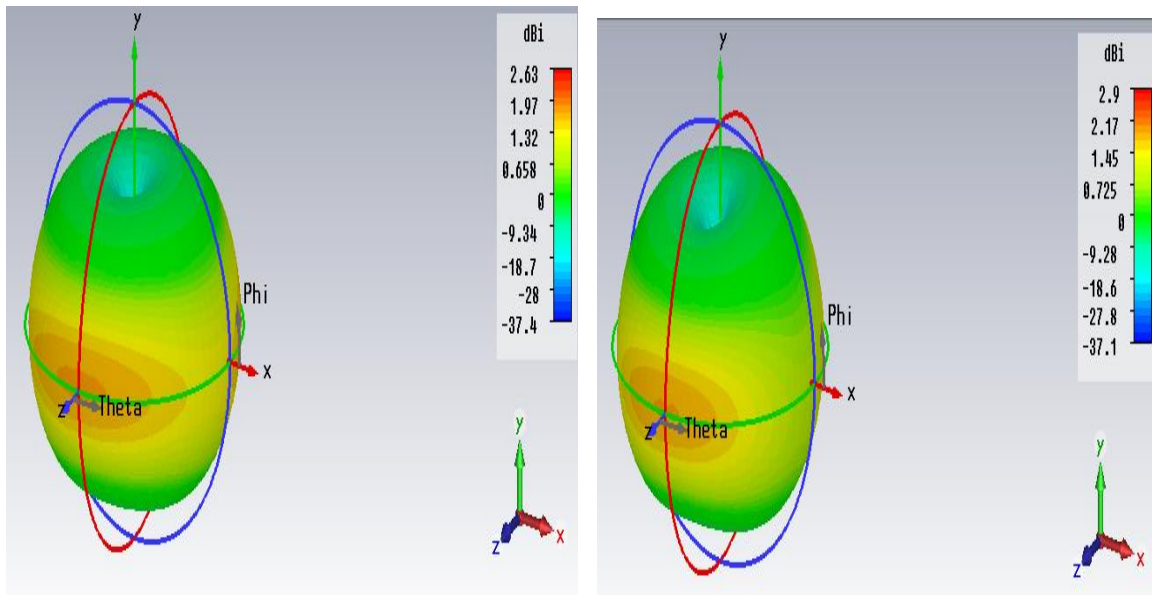


Figure III. 30. Le diagramme de rayonnement en 3D pour  $f=3.9$  GHz et  $f=5$  GHz.

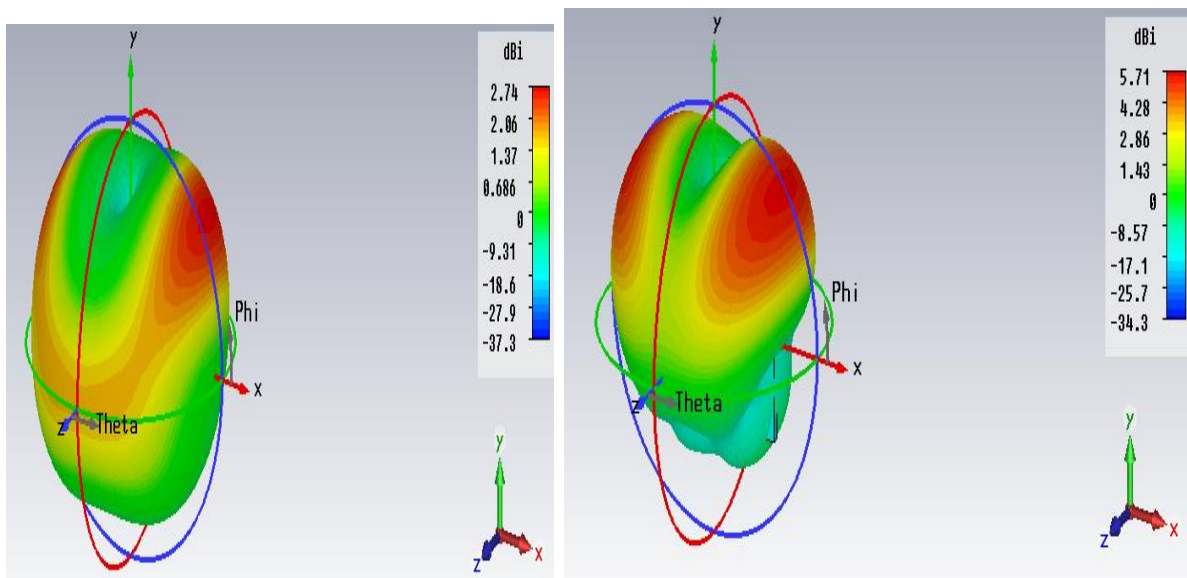


Figure III. 31. Le diagramme de rayonnement en 3D pour  $f=6.5$ GHz et  $8.25$  GHz.

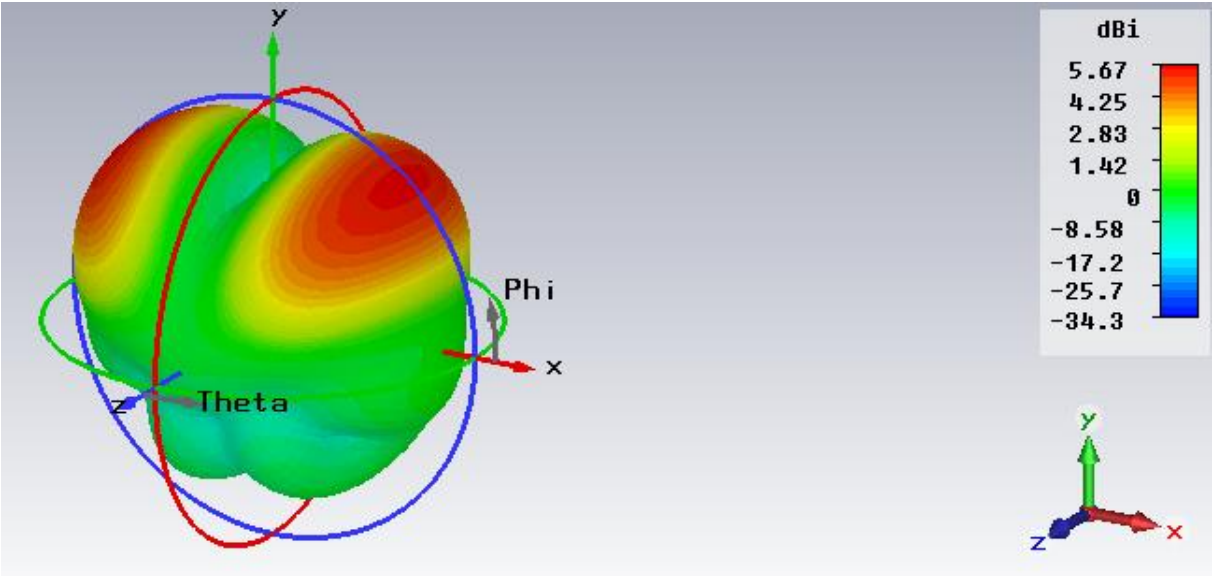


Figure III. 32. Le diagramme de rayonnement en 3D pour  $f=10$  GHz.

### **III.5 Conclusion**

Bien qu'elles présentent des géométries simples, les antennes imprimées exigent des études approfondies théoriques et numériques pour la conception d'antennes performantes.

Dans ce chapitre, une étude numérique a été présentée. Le logiciel CST studio nous a permis de simuler les performances de l'antenne ULB. Les caractéristiques obtenues pour les antennes proposées (coefficient de réflexion, diagramme de rayonnement et le gain de l'antenne) confirment son aptitude dans des systèmes de communication ultra large bande.

## Conclusion générale

La technologie ULB est l'une des technologies les plus utilisées au sein de systèmes de communications à cause de leurs caractéristiques attractives. L'intérêt de cette technologie est augmenté de manière sans précédent après la réservation de la bande de fréquences [3.1- 10.6 GHz] pour ses applications qui ne sont employées que des antennes opèrent sur toute cette bande, ce qui améliore la qualité de service des systèmes de communications. Certains problèmes tels que le phénomène de propagation multivoies et l'interférence entre les ondes rayonnées peuvent être surmontés en utilisant des antennes à multi polarisation.

Le but de ce mémoire était de concevoir et d'optimiser des antennes ULB de formes rectangulaires et demi-disque. L'utilisation des fréquences d'opération dans la bande ULB a pour intérêt la réduction de la taille des antennes imprimées et leur poids pour faciliter leurs intégrations dans les dispositifs de télécommunications sans fil.

En premier partie nous avons présenté état de l'art sur les antennes imprimées et rappelant tout d'abord ses caractéristiques radioélectriques, les différents types d'alimentation et quelques-unes des principales applications qui peuvent tirer avantage de ses performances.

Le second chapitre propose sur la technologie d'antennes ULB La dernière partie du présent chapitre est la description des principales applications de l'ULB et ses avantages et inconvénients.

La dernière partie est consacrée sur les résultats de simulations, les structures ont été simulées à l'aide du logiciel CST Microwave Studio. Les résultats obtenus, nous ont permis d'identifier les paramètres géométriques importants affectant l'adaptation de l'antenne.

## **Annexe : Présentation de CST MICROWAVE STUDIO 2014**

### **A.1. Introduction**

CST MICROWAVE STUDIO 2014 est un logiciel complet pour l'analyse et de conception électromagnétique dans la gamme haute fréquence. Il simplifie l'insertion des structures en fournissant un solide en 3D pour modéliser à la fin chaque élément « ou component ».

Ce logiciel commercial CST Microwave Studio, est basé sur la technique d'intégration finie, a été utilisé pour simuler différents types d'antennes. Il est l'aboutissement de nombreuses années de recherches et développements dans les solutions les plus efficaces et précises de calcul pour la conception électromagnétiques. Il comprend des outils OSC pour la conception et l'optimisation des dispositifs fonctionnant dans une gamme de fréquences statiques optiques. Les analyses peuvent inclure des effets thermiques et mécaniques, ainsi que la simulation de circuits. Tous les programmes sont accessibles via une interface commune avec facilité de circuit et multi-physique de co-simulation.

CST Microwave Studio (CST MWS) est outil spécialisé pour la simulation 3D EM rapide et précise des problèmes de hautes fréquences. Avec un large champ d'applications, CST Microwave Studio offre des avantages considérables des produits sur le marché : les cycles de développement plus courts, prototypages, virtuel avant que des essais physiques, optimisations lieu des expérimentations.

### **A.2. Solver**

CST Microwave Studio fait partie de la suite CST Design studio et offre un certain nombre de solveurs différents, pour différents domaines d'applications. Étant donné qu'aucune de ces méthodes ne fonctionne aussi bien dans tous les domaines d'applications, le logiciel contient quatre techniques de simulations différentes (transient solver, frequency domain solver, integral equation solver, etc...) pour mieux répondre à leurs applications particulières.

Le solver le plus flexible est le « transient solver » ou solveur transitoire, permettant de faire la simulation d'une large bande de fréquences simultanément dans la même tentative de calcul.

Il est donc possible par le logiciel de calculer des champs électriques, des champs magnétiques, mais aussi les paramètres S (coefficient de réflexion) d'un dispositif et de visualiser en trois dimensions (3D) les champs rayonnés par ce dernier.

Les points importants pour la réalisation d'une simulation exploitable sont principalement le réglage du maillage lequel est déterminé par le maillage élémentaire, le réglage de la précision de convergence du calcul ainsi que le choix des ports pour l'injection du signal d'excitation de la structure.

### A.3. Signal d'excitation

Le signal d'excitation du CST simulé peut être injecté via deux types de ports, un port « waveguide », ou un port « discrete port ». Le port noté « waveguide » correspond à l'injection d'une onde électromagnétique dont l'impédance dépend des dimensions du port et dont la polarisation peut être choisie. Le port noté « discrete port » est semblable à une source de tension permettant l'injection d'un signal haute fréquence. La polarisation de l'onde injectée n'est pas réglable, au contraire de l'impédance du port. Ce dernier peut être utilisé tant que sa dimension reste négligeable devant la longueur d'onde du signal injecté.

Ce solveur est efficace pour la plupart des types d'applications à haute fréquence tels que les connecteurs, les filtres, les lignes de transmissions des antennes et d'autres types.

### A.4. Les étapes de déroulement du projet

Après le lancement du CST DESIGN ENVIRONMENT, le choix de créer un nouveau projet CST MICROWAVE STUDIO (Figure A.1). Vous serez invité à sélectionner un modèle de votre propre choix pour une structure qui se présente (Figure A.2).

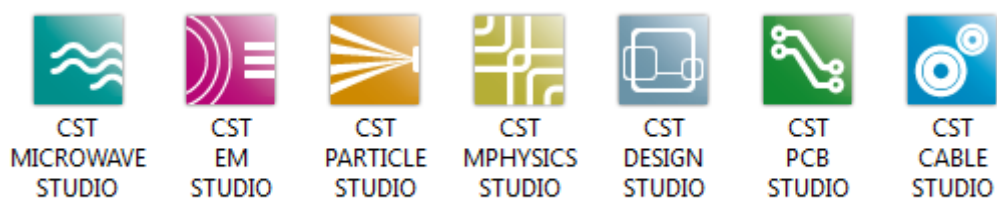


Figure A.1. Les différents types de simulateurs de CST.



Create a new template

Choose an application area and then select one of the workflows:

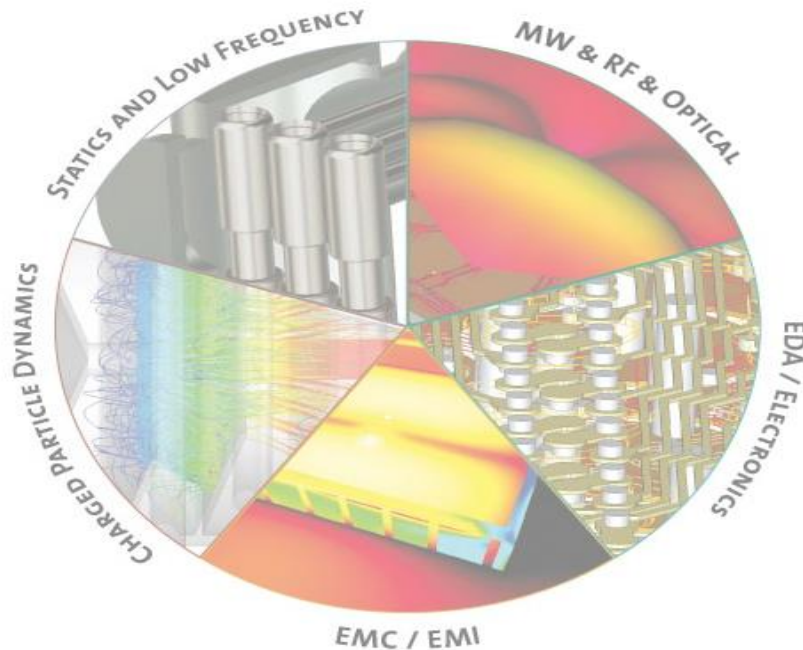


Figure A.2. Création de nouveau projet.

#### A.4.1. Définir les unités

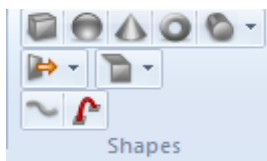
Choisissez les paramètres qui font définir les unités des dimensions, fréquences, temps, température, etc. pour votre problème le plus confortable et ensuite en choisissant Home après



cliqué sur cet icône pour définir les paramètres des unités.

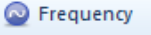
#### A.4.2. Modèle de la structure

Pour la modélisation de la structure d'antenne, un certain nombre de différents outils de conception géométrique pour des géométries typiques tels que les planches, les cylindres, les sphères, etc. ces formes peuvent être ajoutées ou se croisent à l'aide des opérateurs booléens pour construire des formes plus complexes. En choisissant Modeling après cliqué sur cet icône



pour dessiner les différents types de formes.

### A.4.3. Définir la gamme de fréquence

Vous pouvez spécifier la gamme de fréquence en choisissant Simulation après cliqué sur cet icône  . Les réglages de fréquences sont très importants parce que le générateur de maillage ajustera le raffinement de maillage (échantillonnage spatial) à la gamme de fréquences spécifiée.

### A.4.4. Définir les ports

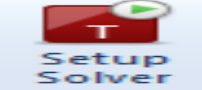
Chaque structure d'antenne a besoin d'une source d'énergie à haute fréquence d'excitation des ondes électromagnétiques désirés. Vous pouvez définir le port tel que Guide d'onde où une source de courant ou de tension par un port discret en choisissant Simulation

après cliqué sur cet icône  ou bien  .

La définition correcte des ports est très importante pour obtenir des résultats précis des paramètres S.

### A.4.5. Lancer la simulation

Après avoir défini tous les paramètres nécessaires, vous êtes prêt à débiter votre première simulation. Démarrer la simulation en choisissant Simulation après cliqué sur cet

icône  et puis vous cliquez le Start.



## Références Bibliographiques

- [1] KEBBAB RADHWANE, « Conception d'antennes ultra large bande en technologie imprimée », thèse de Magister en Télécommunication de l'Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen soutenu en juillet 2010.
- [2] NIGARURA Dieudonné, « Etude et Conception d'un réseau d'antennes imprimées log-périodique multicouche », mémoire de Master en Composants et Systèmes Electroniques pour la Télécommunication de l'Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen soutenu en juillet 2012.
- [3] ZIANI KERARTI Djalal, « Etude et Conception d'antenne ultra large bande », mémoire de Magister de Télécommunication de l'Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen soutenu en juillet 2011.
- [4] RABIA YAHYA, « L'étude et réalisation des antennes ultra large bande à double polarisation », mémoire du grade Maitre ès science (M.Sc) en télécommunications-3404 de l'université du Québec INRS-EMT, 2011.
- [5] Mohamed Lamine Abdelghani, « Conception et réalisation d'un système réseau des antennes ultra large bande à formation de faisceaux basé sur la matrice de Butler », mémoire du grade Maitre ès science (M.Sc) en télécommunications de l'université du Québec INRS-EMT, 2012.
- [6] Nicolas FORTINO, « Conception et caractérisation d'antennes imprimées pour systèmes Ultra large bande impulsions », thèse de Doctorat en science de l'Université Nice Sophia Antipolis, soutenu le 16 février 2006.
- [7] ADIL KAMIL, « Conception d'une antenne patch ultra-large bande (3.1GHz-10.6GHz) » mémoire du grade Maitre ès science (M.Sc) en télécommunications de l'université du Québec INRS-EMT, 2011.
- [8] Serge Bories, « Conception et analyse des performances d'antennes pour les communications ultra large bande », thèse de Doctorat en Science et Technologie de l'Information des Télécommunications et des Systèmes, de l'ENSTA (École Nationale Supérieure de Techniques Avancées) de l'Université Paris-Sud XI, soutenu le 27 octobre 2006.

- [9] Soltane Samia, «Étude et caractérisation d’antennes imprimées pour le système ultra large bande », mémoire de Magister en génie électrique, option signaux et communications de l’Université Mohamed Khider de Biskra, soutenu le 17 novembre 2015.
- [10] Laurence Babour, « Étude et conception d’antennes imprimées pour le système ultra large bande miniaturisées en impulsionnel», thèse du grade de Docteur en optique et radiofréquences de l’Institut Polytechnique de Grenoble, soutenu le 7 mai 2009.
- [11] Document de consultation sur l’introduction des systèmes sans fils utilisant la technologie à bande ultra-large, février 2005.
- [12] Ultra-Wide Band (UWB technology) Enabling High Speed Wireless Personal Area Networks, Intel.
- [13] MALFI Née HARIZ MANAL, « Antennes miniatures Ultra Large Bande pour des applications sans fil », mémoire de Master en Réseaux et Systèmes de Télécommunications de l’Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen soutenu en juin 2013.
- [14] Yvan DUROC, « Contribution au développement de modèles orientées système pour les antennes des communications ultra large bande », thèse de grade de Docteur de l’INP (Institut National Polytechnique) de Grenoble Spécialité : Signal et Image Parole Télécommunications soutenu 23 avril 2007.
- [15] Zitouni Ahmed, « Étude et conception d’antennes ULB standards et à bandes rejetées », thèse de Doctorat en Télécommunications soutenu en juin 2014.
- [16] Brad HOSLER, Wireless USB Architecture Overview, Intel Corporation, 2005.
- [17] L Hanzo, M. Münster, B.J.Choi, T.Keller, “OFDM and MC-CDMA for broadband multi-user communication, WLANs and broadcasting”, IEEE Press, Wiley, 2003.
- [18] S. Glisic, B. Vucetic, “Spread spectrum CDMA systems for wireless communications”, Artech House Publishers, Boston London 1997.
- [19] R. J. Fontana, "Recent applications of ultra-wideband RADAR and communications systems", Ultra-Wideband, Short-Pulse Electromagnetics, Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- [20] ET Docket No. 98-153, "Revision of Part 15 of the Comission’s Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems, Federal Communications Commission", Adopted February 14, 2002, Released April 22, 2002.

- [21] K.Mandke, H. Nam, L. Yerramnemi, C. zuniga, T. Rappaport, “The Evolution of ultra-Wide Band Radio for wireless Personal Area Networks”, Technology report, High Frequency Electronics, pp 22-30, sept. 2003.
- [22] Alaeddine AL-FAWAL, « Conception et Réalisation de Réseaux d’Antennes pour les Mesures de Propagation et de Transmission Application aux réseaux de communications sans fil UMTS, WLAN,WLL et HIPERLAN/2 », mémoire du diplôme d’Ingénieurs en Électricité et Électronique Option Télécommunication et Informatique de l’Université de Libanaise Faculté de Génie I soutenu le 9 juillet 2001.
- [23] Bernard Uguen, Freidman Tchoffo-Talom « Fondamentaux sur le canal de propagation. Spécification du canal ultra large bande », cours Institut d’Electronique et de Télécommunication de Rennes, Ecole d’Automne ULB du GRD Ondes- Valence 2006.
- [24] Joël Andrieu « ULB impulsional en CEM et RADAR », XLIM-UMR CNRS 6172 Université de Limoges, Ecole d’Automne du GRD Ondes ULB Communications, localisation et Radar ESISAR- Valence 23-27 octobre 2006.
- [25] Benoit DENIS, « Applications de Radiolocalisation dans les réseaux sans -fil Ultra Large Bande », Ecole d’Automne du GRD Ondes ULB Valence 27 octobre 2006.
- [26] Christian Politano, « Regulation & Standardization », Ecole d’Automne du GRD Ondes ULB ESISAR-Valence 2006.
- [27] Johnna Powell, « Antenna Design for Ultra-Wideband Radio », B.S, Electrical Engineering New Mexico University, Master of Science in Electrical Engineering at the Massachusetts Institute of Technology May 7,2004.
- [28] John S. Belrose. The Sounds of a Spark Transmitter: Telegraphy and Telephony. Adventures in CyberSound.
- [29] Dr. Robert J. Fontana. A Brief History of UWB Communications. Multispectrum Solutions, Inc.
- [30] V. H. Rumsey, « Frequency Independent Antennas », 1957 IRE National Convention Record, pt. 1, pp.114-118.
- [31] J.D. Dyson, « The Unidirectional Equiangular Spiral Antenna », IRE Trans. Antennas Propagation, Vol. Ap-7, pp.329-334, October 1959.
- [32] Ross, G.F., 1968, Atime domain criterion for the design of wideband radiating elements, IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. 16, No. 3, p. 355.
- [33] Dr. Tarance W.Barrett. History of Ultra-Wideband Radar & Communication: Pioneers and Innovators.

