

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
Université 8Mai 1945 – Guelma  
Faculté des sciences et de la Technologie  
Département d'Electronique et Télécommunications

18/3817



**Mémoire de fin d'étude  
pour l'obtention du diplôme de Master Académique**

Domaine : **Sciences et Technologie**  
Filière : **Télécommunications**  
Spécialité : **Systèmes de Télécommunication**

---

**Etude et amélioration de performance d'une antenne Ultra  
Large Bande**

---

Présenté par :

---

**BOURAOUD Abderrahmen**

---

Sous la direction de :

Dr.KHALFALLAOUI Abderrezak

Juin 2018

# Remerciements

---

Cette recherche s'est réalisée grâce au soutien et à l'encouragement de plusieurs personnes qui ont contribué chacune à leur façon à l'atteinte de l'objectif que constitue le dépôt de ce mémoire. Je tiens à leur adresser un très grand merci.

Je tiens à remercier très sincèrement mon encadreur le docteur KHALFALLAOUI Abderrezak. Pour son encadrement, ses conseils et son expérience m'ont permis d'acquérir les connaissances indispensables au développement et à l'aboutissement de ce travail.

Je remercie également le docteur ABED Djamel pour son support. Il m'a souvent encouragé et supporté lors de la réalisation de ce travail, et m'a généreusement fait profiter de son expérience et de ces connaissances. Je lui en suis très reconnaissant.

Également, je présente mes remerciements et ma gratitude à mes parents pour leur soutien moral et financier à la poursuite de mes études. Vous m'avez toujours encouragé à poursuivre mes rêves et à me dépasser. Ce mémoire vous est dédié.

Finalement, à toutes les autres personnes qui ont gravité autour de moi pendant ces dernières années, qui m'ont supporté et encouragé, je vous dis un gros merci.

# Résumé

---

L'essor récent des communications Ultra Large Bande a nécessité des antennes spécialement adaptées à cette technologie. L'objectif de ce travail consiste à concevoir et à réaliser des antennes Ultra Larges Bandes qui servent à améliorer la qualité de service des systèmes de communication sans fil pour bien satisfaire les besoins croissants des utilisateurs. Par conséquent, une antenne à fentes ULB a été étudiée et analysée. La modification de la géométrie de la fente ainsi que dans la ligne d'alimentation, améliore l'adaptation, élargie la bande passante et réduit l'encombrement. Aussi le fait de changer le type de substrat a un effet remarquable sur l'adaptation de l'antenne. Une nouvelle structure d'antenne à filtre est aussi simulée afin d'éliminer les interférences dans la gamme Ultra Larges Bandes.

**Les mots clés :** Antennes, ULB, antenne à fente, adaptation, filtre, S11

# Abstract

---

The recent use of Ultra Wide Band technology in telecommunication implies the study of appropriated antennas. The objective of this work is to design and realize Ultra Wide Band antennas that serve to improve the quality of service of wireless communication systems to meet the growing needs of users. Changing the geometry of the slot as well as the power line improves adaptation, broadens bandwidth, and reduces clutter. Also changing the type of substrate has a remarkable effect on the adaptation of the antenna. A new filter antenna structure is also simulated to eliminate interference in the Ultra Wide Bands range.

The key words: Antennas, ULB, slot antenna, adaptation, filter, S11.

# Table des illustrations

---

## Chapitre I

### Figures

<b>Figure I.1</b> Comparaison entre l'occupation spectrale d'un système UWB et les différents systèmes à bande étroite existants	15
<b>Figure I.2</b> Densité spectrale de puissance (DSP) d'un signal UWB	15
<b>Figure I.3</b> Principe et effets de la propagation par trajets multiples	18
<b>Figure I.4</b> Applications UWB en fonction du débit et de la portée	19
<b>Figure I.5</b> Limites d'émission pour les systèmes UWB en intérieur et en extérieur	20
<b>Figure I.6</b> Les limites de la CEPT pour les systèmes de communication UWB	21
<b>Figure I.7</b> Les limites proposées en Asie pour les systèmes UWB	22
<b>Figure I.8</b> Modulations UWB, (a) modulation PAM (b) modulation OOK	24
<b>Figure I.9</b> Modulations UWB, (a) Modulation PPM, (b) modulation PSM	26

### Tableaux

<b>Tableau I.1</b> Les capacités de l'UWB par rapport aux autres standards IEEE	16
<b>Tableau I.2</b> Les limites de la FCC pour les différents systèmes UWB	20

## Chapitre II

### Figures

<b>Figure II.1</b> L'Antenne comme un dispositif de couplage entre les ondes guidées et les ondes rayonnées	31
<b>Figure II.2</b> Schéma équivalent d'une antenne connectée à un générateur de tension	32
<b>Figure II.3</b> Système de coordonnées utilisé dans le diagramme de rayonnement	35
<b>Figure II.4</b> Exemple de polarisation	36
<b>Figure II.5</b> Photo d'une antenne en spirale équiangle	37
<b>Figure II.6</b> Antenne spirale d'Archimède sur cavité	38
<b>Figure II.7</b> Antenne spirale conique	38

<b>Figure II.8</b> Photo d'une antenne log-périodique	39
<b>Figure II.9</b> Photo d'une antenne biconique	39
<b>Figure II.10</b> Antenne Vivaldi antipodale	40
<b>Figure II.11</b> Antenne cornet TEM	40
<b>Figure II.12</b> Antennes monopole planaires avec diverses configurations	41
<b>Figure II.13</b> Antennes dipôle planaires avec diverses configurations	41
<b>Figure II.14</b> Antenne microruban de forme quelconque	42
<b>Figure II.15</b> Antenne microstrip alimentée par une ligne microruban	43
<b>Figure II.16</b> Antenne microstrip alimentée par une ligne coplanaire	44
<b>Figure II.17</b> Antennes à fente à transition progressive TSA	44

### Chapitre III

#### Figures

<b>Figure III.1</b> Ansoft HFSS	52
<b>Figure III.2</b> Géométrie de l'antenne UWB PSICS alimentée par microruban	53
<b>Figure III.3</b> Les paramètres du stub inversé à cône inversé	53
<b>Figure III.4</b> S11 pour différents langueur de ligne	59
<b>Figure III.5</b> S11 pour différents rayons du patch	59
<b>Figure III.6</b> S11 pour différents rayons du plan de masse	60
<b>Figure III.7</b> S11 pour les différentes dimensions du substrat	61
<b>Figure III.8</b> Différence entre le S11 avec un plan de masse en avant et en arrière	62
<b>Figure III.9</b> Géométrie de l'antenne UWB à fente	63
<b>Figure III.10</b> Géométrie de stub de l'antenne UWB à fente	64
<b>Figure III.11</b> Comparaison entre le S11 du l'antenne de base et optimisé	65
<b>Figure III.12</b> la machine Protomat S103	66
<b>Figure III.13</b> L'antenne UWB à fente réalisée sur le Duroid	67
<b>Figure III.14</b> L'antenne UWB à fente réalisée sur le FR4	67
<b>Figure III.15</b> ZNB 20-VECTOR NETWORK ANALYZER-100 kHz-20GHz	68

<b>Figure III.16</b> Des différentes mesures de l'antenne UWB réalisée	68
<b>Figure III.17</b> Comparaison entre le S11 simulé et mesuré	69
<b>Figure III.18</b> Les appareils de mesure de diagramme de rayonnement	70
<b>Figure III.19</b> Adaptateur N – SMA	70
<b>Figure III.20</b> Récepteur de mesure	70
<b>Figure III.21</b> les diagrammes de rayonnements simulés	72
<b>Figure III.22</b> l'antenne avec un filtre dans la ligne d'alimentation	73
<b>Figure III.23</b> Différents S11 de l'antenne à filtre	73
<b>Figure III.24</b> Coexistence du système UWB et des autres systèmes à bande étroite	74

## Tableaux

<b>Tableau III.1</b> Valeurs optimales des paramètres de slot à cône inversé échelonné	53
<b>Tableau III.2</b> Valeurs optimales des paramètres de stub inversé-conique étagé	53
<b>Tableau III.3</b> Caractéristique de l'antenne de base	54
<b>Tableau III.4</b> S11 de différentes modifications sur la structure de base	55
<b>Tableau III.5</b> Modification sur le plan de masse et le patch	56
<b>Tableau III.6</b> Modification en ajoutant des carrés et des trous	58
<b>Tableau III.7</b> Les différents Dimension du substrat	61
<b>Tableau III.8</b> Position du plan de masse en arrière	62
<b>Tableau III.9</b> Valeurs optimales des paramètres de la fente	63
<b>Tableau III.10</b> Valeur optimale du talon de l'antenne UWB à fente	63
<b>Tableau III.11</b> Comparaison du S11 entre les deux substrats	64
<b>Tableau III.12</b> Comparaison des antennes (a) optimisée et (b) de base	65
<b>Tableau III.13</b> Diagramme de rayonnement d'antenne UWB en position horizontale	71
<b>Tableau III.14</b> Diagramme de rayonnement d'antenne UWB en position verticale	71
<b>Tableau III.15</b> Les valeurs optimale du filtre	73

# Table des matières

---

<b>Remerciement</b>	<b>i</b>
<b>Résumé</b>	<b>ii</b>
<b>Abstract</b>	<b>iii</b>
<b>Introduction générale</b>	<b>10</b>
<b>Chapitre 1 Etat de l'art sur la technologie Ultra Large Bande</b>	<b>12</b>
I.1 Introduction	13
I.2 Généralités sur la technologie Ultra Large Bande	13
I.2.1 Historique	13
I.2.2 Définition de l'UWB	14
I.3 Caractéristiques principales de l'Ultra Large Bande	15
I.4 Les applications de la technologie UWB	18
I.4.1 Systèmes d'imagerie radar	18
I.4.2 Systèmes radar de véhicule	18
I.4.3 Applications liées aux communications	19
I.5 La réglementation des émissions UWB	19
I. 5.1 Réglementation aux Etats-Unis	19
I.5.2 Régulation de l'UWB en Europe	20
I.5.3 Régulations en cours dans le monde	21
I.6 Les Standard de l'Ultra Large Bande	22
I.6.1 La Standard IEEE 802.15.3a	22
I.6.1 La Standard IEEE 802.15.4a	23
I .7 Les différentes modulations UWB	23
I.7.1. Modulation PAM	23
I.7.2. Modulation OOK	24



I.7.3. Modulation PPM	24
I.7.4. Modulation PSM	25
I .8 conclusion	26
Abréviations	27
Bibliographie	28
<b>Chapitre II Théorie des Antennes</b>	<b>30</b>
II.1 Introduction	31
II.2 Définition d'une antenne	31
II.3 Les Paramètres Caractéristiques d'une Antenne	32
II.3.1 Caractéristiques Electriques des Antennes	32
II.3.2 Caractéristiques de Rayonnement	34
II.4 Aperçu sur les antennes UWB	37
II.4.1 Antennes indépendantes de la fréquence	37
II.4.2 Antennes UWB à transition progressive	40
II.4.3 Antennes UWB Monopole planaires	41
II.4.4 Antennes UWB dipôles planaires	41
II.4.5 Antenne UWB microstrip	42
II.4.6 Antennes TSA	44
II.5 Méthodes de simulation d'antennes	45
II.5.1 Méthode de moments (MoM)	45
II.5.2 Méthode des éléments finis (FEM)	45
II.5.3 Méthode des différences finies (FDTD)	46
II.6 Conclusion	46
Abréviations	47
Bibliographie	48

<b>Chapitre III Simulations et mesures d'une antenne UWB à fente</b>	<b>50</b>
III.1 Introduction	51
III.2 Logiciel Ansoft HFSS (High Frequency Structure Simulator)	51
III.3 L'antenne à fente UWB	52
III.3.1 Description de l'antenne de base	52
III.4 résultat de simulation	54
III.4.1 L'antenne de base	54
III.4.2 Modification de la géométrie de structure de base	54
III.4.3 Innovation d'une nouvelle géométrie d'antenne	56
III.4.4 Amélioration des performances de l'antenne	57
III.5 Etude paramétrique	58
III.5.1 Effet de la ligne de patch	59
III.5.2 Effet du rayon r de patch	59
III.5.3 Effet du rayon R de plan de masse	60
III.5.4 Effet des dimensions de substrat	61
III.5.5 Effet sur la position du plan de masse	61
III.6 L'antenne optimisée	62
III.6.1 Changement du substrat	64
III.6.2 Comparaison entre l'antenne optimisée et l'antenne de base	65
III.7 Réalisation et mesure d'antenne UWB	66
III.7.1 Réalisation d'antenne	66
III.7.2 Mesure expérimentale	68
III.8 Antenne UWB à filtre	72
III.9 Conclusion	74
Abréviations	75
Bibliographie	75
Conclusion générale	76

# Introduction général

---

Ces dernières années, le domaine des télécommunications est en perpétuelle évolution. Ses axes d'investigation sont principalement motivés par un besoin toujours grandissant en termes de débit de données mais reste freinés par un spectre de fréquences de plus en plus occupée. Le principe des communications radio utilisant la technique de l'Ultra Large Bande (ULB) est aujourd'hui bien connu et les nombreuses études sur le sujet ont permis de définir et de réaliser des circuits électroniques spécifiques à ces applications. La FCC (Fédéral Communication Commission) a défini en Février 2002 les règles d'utilisation du spectre de fréquence dans la bande entre 3.1 et 10.6 GHz. Cette technologie possède de nombreux atouts. Grâce à une bande passante beaucoup plus large que les systèmes large bande actuels, cette nouvelle technologie est très robuste en environnements complexes. Par ailleurs, la puissance d'émission étant du même niveau que celle du bruit, la technique peut cohabiter avec des systèmes à bandes étroites. L'antenne joue un rôle critique dans tous les systèmes de communication, et plus précisément les systèmes ULB.

Le but de ce mémoire est d'étudier et de concevoir des nouvelles structures d'antenne Ultra Large. Le présent mémoire est divisé en trois chapitres :

Le premier chapitre présente l'état de l'art des diverses structures d'antenne ULB existantes. Ce chapitre s'ouvre sur une définition sur le terme d'antenne Ultra Large Bande, les caractéristiques principales de l'Ultra Large Bande, ainsi que les applications et la réglementation des ULB, enfin une présentation des différents types de modulations utilisées dans ULB.

Le deuxième chapitre présente la théorie des antennes ULB. Ce chapitre définit d'abord une antenne ULB, il cite ensuite les paramètres caractéristiques d'une antenne ULB puis expose un aperçu sur les applications des antennes UWB, finalement il présente les différentes méthodes de simulation des antennes.

Le troisième chapitre est consacré à la simulation, la réalisation et la caractérisation de notre antenne ULB. Premièrement, ce chapitre présente le logiciel de simulation Ansoft HFSS, ensuite les différentes modifications qui se sont produits sur l'antenne avec leurs

résultats de simulation sont illustrés, ce qui a permis de choisir le modèle final de notre structure d'antenne. Finalement l'antenne est réalisée par la méthode à gravure mécanique et les différents résultats de mesures expérimentales tel que l'adaptation et le diagramme de rayonnement sont présentés et discutés.

# *Chapitre I État de l'Art sur la Technologie UWB*

---

## Introduction

De nos jours, La technique de l'*Ultra Large Bande*, utilisée dans le domaine des communications radio est très courant. Grâce à de nombreuses recherches sur le sujet, les circuits électroniques relatifs à ces applications ont été réalisés. Récemment la FCC (Commission Fédéral des communications) établit des règles d'utilisations du spectre de fréquence dans la bande passante se situent entre 3.1 et 10.6 GHz, alors que cette technologie est devenue plus intéressée que ses prédécesseurs traditionnels. Cette technologie a l'avantage d'être performante dans un environnement houleux.

Obtenir une petite antenne plate et moins chère devient une nécessité car les systèmes sans fil font maintenant partie des produits de consommation. De nombreux types d'antennes imprimées se sont développés progressivement. On peut mentionner, entre autres, les antennes du type plaque, les antennes à ouverture et celles de type dipôle. Nous allons définir en premier lieu ce qu'est une technologie Ultra Large Bande et présenterons les principales caractéristiques d'Ultra Large Bande, en second lieu nous citerons ces applications, et dernièrement nous détaillerons la réglementation des émissions ULB.

## I.2 Généralités sur les technologies Ultra Large Bande

### I.2.1 Historique

Durent les trois derniers décennies, pour faire face à l'encombrement des bandes de fréquences utilisées pour la transmission d'information, on a essentiellement cherché à réduire la largeur de la bande nécessaire pour transmettre ces informations avec un taux d'erreur acceptable.

Si le terme « ultra large bande » est relativement récent, le concept lui-même est par contre bien plus ancien [I.1]. Dès la fin du 19<sup>ème</sup> siècle, Heinrich Hertz – avait eu l'idée d'utiliser des décharges électriques pour produire des ondes électromagnétiques, c'était la base de la technique ULB.

Dans les années 60, Ross et Bennett [I.2] étudient pour la première fois la propagation des ondes électromagnétiques d'un point de vue temporelles plutôt que d'un point de vue fréquentielle. Dans leur publication apparait des applications liées à cette nouvelle technique à savoir : les communications et les radars.

Dans les années 1970-1994, la majorité des travaux vise à améliorer certains sous-systèmes de cette nouvelle technique. A cette époque, on lui donne plusieurs noms : technologie « sans porteuse », ou en « bande de base » ou encore technologie « impulsionnelle ». C'est en 1989 que le terme Ultra Large Bande apparaît dans une publication du ministère de la Défense aux États-Unis. Les travaux concernant cette technologie se sont effectués. Pour la plupart, dans le cadre de programmes confidentiels américains (militaire).

En 1994, la confidentialité des travaux liés à l'Ultra Large Bande est levée : la recherche se développe de façons importantes aussi bien dans l'industrie que dans les universités.

En 2002, la FCC (Fédéral Communication Commission) [I.3] [I.4], l'organisme de régulation des communications américains, réglemente l'Ultra Large Bande : elle en donne une définition précise, et définit les niveaux de puissance maximale autorisée (-41dBm/MHz pour la bande haute).

## **I.2.2. Définition de l'UWB**

### **I.2.2. a) Le Terme UWB**

L'Ultra-Wide-Band est un terme générique utilisé pour désigner une technique d'accès radio qui a été étudiée sous différentes appellations depuis le milieu du vingtième siècle. On peut citer les termes impulse radio (radio impulsionnelle), carrier-free radio (radio sans porteuse), baseband radio (radio en bande de base), time domain radio (radio dans domaine temporel), nonsinusoid radio (radio non-sinusoidale) et large relative bandwidth radio (radio à grande largeur de bande relative). ) [I.5]

### **I.2.2.b. Le Signal UWB**

D'après la FCC, l'UWB est toute technologie radio utilisant une bande passante  $B$  dépassant 20% de la fréquence centrale  $f_c$  ou une bande de fréquence d'au moins 500MHz [I.6]. Par contre, les systèmes dont les bandes sont étroites (NarrowBand : NB), leur spectre ne dépasse pas 1% de la fréquence centrale, et entre les deux, nous trouvons les systèmes dont le spectre est large bande (Wideband:WB) qui est entre 1% jusqu'à 20% de la fréquence centrale. Par ailleurs, nous présentons dans la Figure I.1 les bandes NB, WB et UWB.

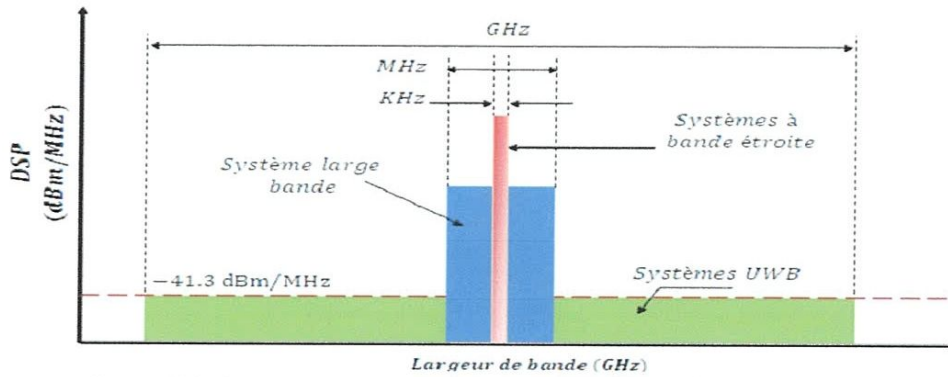


Figure I.1: Comparaison entre l'occupation spectrale d'un système UWB et les différents systèmes à bande étroite existants

La FCC a approuvé qu'un signal soit UWB s'il satisfait les équations (I.1) et (I.2) :

$$- B_{abs}(\text{la bande absolue à } -10\text{dB}) = f_H - f_L \geq 500 \text{ Mhz} \quad (\text{I.1})$$

$$- B_f(\text{la bande fractionnelle ou relative à } -10\text{dB}) = \frac{f_H - f_L}{f_c} = 2 \frac{f_H - f_L}{f_H + f_L} \geq 20\% \quad (\text{I.2})$$

$f_H$  et  $f_L$  représentent respectivement les fréquences de coupure supérieure et inférieure à  $-10$  dB du spectre du signal UWB. [I.7]

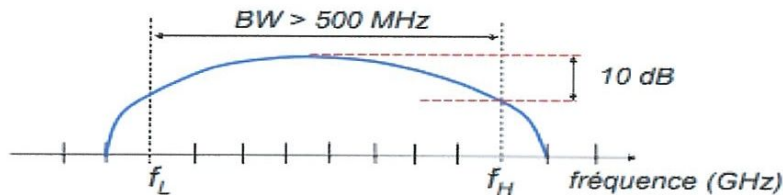


Figure I.2 : Densité spectrale de puissance (DSP) d'un signal UWB

### I.3 Caractéristiques principales de l'Ultra Large Bande

#### I.3 a) Bande passante et capacité de canal

Le théorème de Shannon nous enseigne que la capacité d'un système est donnée par la formule suivante :

$$C = B \cdot \log_2 (1 + SNR) \quad (\text{I.3})$$

Où  $B$  désigne la bande passante du système et  $SNR$  le rapport signal à bruit.



De cette formule, on déduit que la capacité d'un système croît linéairement avec la bande passante, mais croît seulement logarithmiquement avec le rapport 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. [I.8]

Le tableau I.1 montre les capacités de l'UWB par rapport aux autres standards IEEE

	Les Standards IEEE						
	WLAN			Bluetooth	WPAN	UWB	ZigBee
	802.11a	802.11b	802.11g	802.15.1	802.15.3	802.15.3a	802.15.4
Fréquence Opérationnelle	5 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	3.1-10.6 GHz	2.4 GHz
Débit Maximal (Mbps)	54 Mbps	11 Mbps	54 Mbps	1 Mbps	55 Mbps	>100 Mbps	250 Kbps
Distance Maximale (m)	100 meters	100 meters	100 meters	10 meters	10 meters	10 meters	50 meters

**Tableau I.1 :** Les capacités de l'UWB par rapport aux autres standards IEEE

### I.3 b) Simplicité relative des systèmes ULB

Dans les systèmes de communications sans fils utilisant la technologie ULB impulsionnelle, l'information en bande de base peut moduler directement des impulsions de courtes durées au lieu de moduler une onde sinusoïdale. L'architecture émetteur-récepteur ULB devient alors très simplifiée : les systèmes ne comportent ni synthétiseur à boucle à verrouillage de phase (PLL), ni mélangeur, ni oscillateur contrôle en tension (VCO) et encore moins un amplificateur de puissance. Toutes ces simplifications se traduisent par une réduction du coût des systèmes RF qui en découle. [I.8]

### I.3 c) Bonnes Propriétés de Pénétration des Obstacles

Les signaux UWB offrent de bonnes capacités de pénétration dans les murs et les obstacles, en particulier pour les fréquences basses du spectre. Ceci permet de bénéficier d'une bonne précision en termes de localisation et de poursuite [I.9].

Cette excellente résolution favorise les applications de vision à travers les murs (les radars de vision à travers le mur).

### **I.3 d) Communications protégées**

Les signaux ULB sont plus difficiles à détecter que les signaux de radiocommunication classique car ils utilisent une grande largeur de bande et peuvent être produits à des niveaux très faibles de bruit (faible Densité Spectrale de Puissance (DSP)) [I.10]. Les signaux ULB sont quasiment indétectables parce qu'ils peuvent être transmis avec un niveau de DSP bien inférieur au bruit de fond des récepteurs classiques. Cette caractéristique particulière de l'Ultra Large Bande permet à cette dernière de coexister avec les systèmes de communications classiques.

### **I.3 e) Bonne Résolution Temporelle**

La résolution temporelle est la durée minimum entre deux événements pouvant être séparés par un détecteur donné. Du fait d'une très grande largeur de bande des signaux UWB, ils disposent d'un très fort pouvoir de résolution temporelle, de l'ordre de la nanoseconde. Une première implication de cette propriété concerne la localisation : connaissant le retard d'un signal avec une précision de l'ordre de 0.1 à 1 ns, il est possible d'obtenir des informations sur la position de l'émetteur avec une précision de 3 à 30 cm [I.11].

### **I.3 f) Faible Sensibilité au Brouillage**

Le faible niveau de leur puissance d'émission réduit la nuisance des systèmes UWB sur les autres systèmes. Néanmoins, le brouillage occasionné par les systèmes à bande étroite sur les signaux UWB peut être atténué du fait de la grande largeur de bande. [I.11]

### **I.3 g) Problème dû à la propagation par trajets multiples**

L'évanouissement du signal dû à la propagation par trajets multiples peut réduire l'efficacité des systèmes de communications classiques. Dans le cas des communications Ultra Large Bande, le signal transmis possède une largeur de bande très importante, quelques GHz en pratique (dit de façon équivalente une résolution temporelle très fine). Comme la fenêtre d'observation du récepteur est très étroite, elle

permet de se protéger des erreurs de transmission dues à l'interférence provenant des multi trajets. Cette caractéristique permet à la technologie ULB d'être performante dans des environnements encombrés. [I.12]

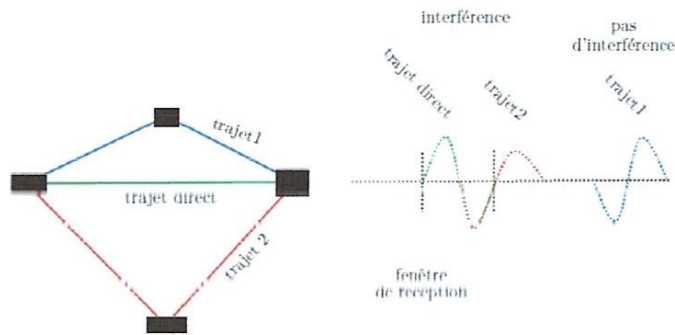


Figure I.3 : Principe et effets de la propagation par trajets multiples

## I .4 Application de la Technologie UWB

Il existe trois grandes catégories d'applications principales pour les systèmes ULB : la détection, la géolocalisation, et les communications sans fil.

### I.4.1 Systèmes d'imagerie radar

Cette première catégorie comprend les systèmes d'imagerie par radar à pénétration du sol (GPR, Ground Penetrating Radar) [I.13], d'imagerie de l'intérieur des murs et 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. Il permet aussi de mesurer les distances avec précision. La bande fréquentiel des applications médicales (imagerie) : 1.99-10.6 GHz.

### 1.4.2 Systèmes radar de véhicule

Cette catégorie comprend les radars d'avertissement de collision, les systèmes radar de véhicule peuvent déterminer la distance entre des objets et un véhicule et 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 [I.14]. La bande de fréquence des applications liées aux véhicules : 24 - 77 GHz.

### 1.4.3 Applications liées aux communications

Une des applications ULB les plus populaires est liée à la transmission de données à très haut débit (plus de 100Mbit/s).

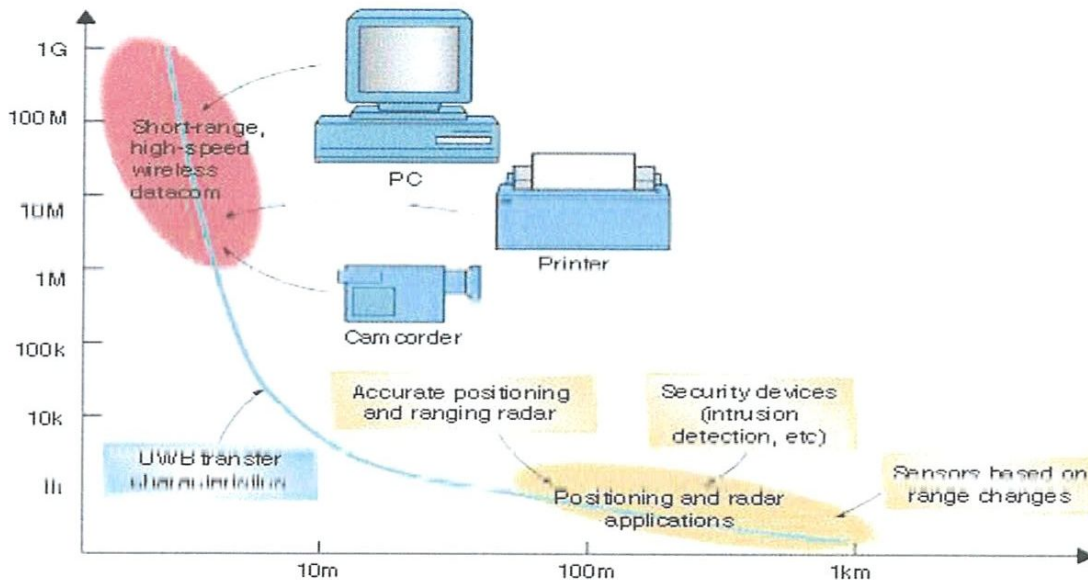


Figure I.4 Applications UWB en fonction du débit et de la portée

Grace à la grande bande passante de l'ULB, un tel débit peut être facilement obtenu en utilisant des systèmes multi bandes, mais le facteur d'étalement est faible [I.15]. La combinaison d'un faible facteur d'étalement et d'une faible densité spectrale de puissance accordée par les instances de régulation limite la portée des systèmes à quelques dizaines de mètres. Les réseaux qui couvrent une telle portée sont usuellement nommés *Personal Area Networks* (PAN). La bande des systèmes de communication sans fil liées à la localisation est 3.1-10.6 GHz.

## I .5 La réglementation des émissions UWB

### I . 5. 1 Réglementation aux Etats-Unis

Les Etats-Unis ont été le premier pays réglementer l'utilisation de l'Ultra Large Bande : en février 2002, la FCC a limité les niveaux d'émission des signaux ULB (PIRE=-41.3dBm/MHz), pour un spectre de fréquence allant de 3.1 GHz à 10.6 GHz. [I.16]

La figure I.5 et le tableau I.2 représentent le spectre d'émission imposée par la FCC pour les systèmes opérant en intérieur et en extérieur.

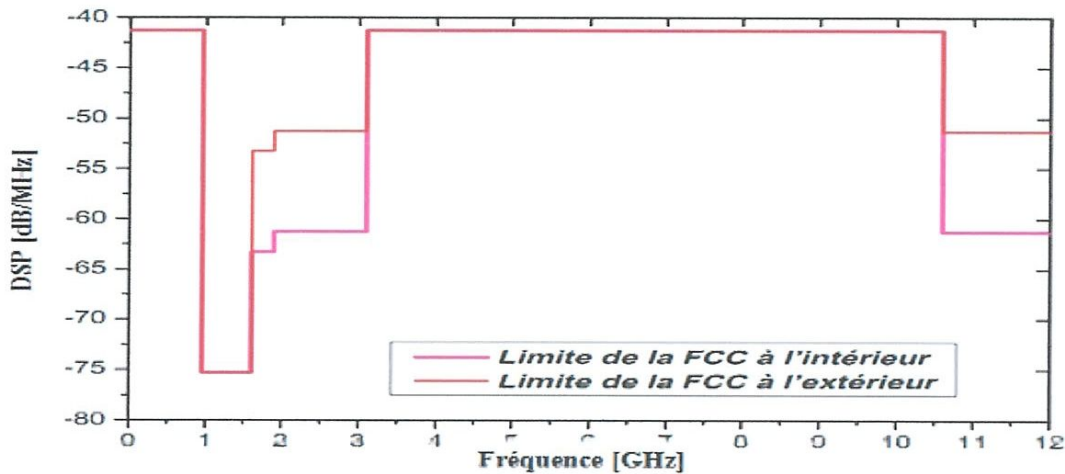


Figure I.5 Limites d'émission pour les systèmes UWB en intérieur et en extérieur

			Bande de fréquence de fonctionnement [GHz]					
			0.96-1.61	1.61-1.99	1.99-3.1	3.1-10.6	10.6-22.0	22.0-29.0
Application								
EIRP [dBm/MHz]	communication	Intérieur	-75.3	-53.3	-51.3	-41.3	-51.3	-51.3
		Extérieur	-75.3	-63.3	-61.3	-41.3	-61.3	-61.3
	Système d'imagerie		-53.3	-51.3	-41.3	-41.3	-41.3	-51.3
	Radar véhiculaire		-75.3	-63.3	-63.3	-63.3	-41.3	-41.3

Tableau I.2 Les limites de la FCC pour les différents systèmes UWB

### I .5.2 Régulation de l'UWB en Europe

En Europe, l'organisme de normalisation ETSI (European Telecommunications Standards institute ) travaille depuis 2001 sur l'attribution des fréquences en Europe pour les systèmes UWB. Les études sont réalisées en étroite coopération avec le groupe SE24 de la CEPT (Conférence Européenne des postes et Télécommunications), qui analyse plus particulièrement l'impact éventuel de l'UWB sur les systèmes existants [I.17]. En mars 2006, l'organisme de régulation ECC (Electronic Communication Committee) a proposé un masque spectral limitant l'émission des signaux UWB à la bande 6GHz à 8.5GHz avec une densité spectrale de puissance de -41.3 dBm/MHz.

En février 2006, la deuxième proposition a été accomplie. Deux sous bandes ont été proposées la bande inférieure s'étendant de 3.4GHz à 4.8GHz serait autorisée avec un niveau d'émission de 41.3dBm/MH.

Si le DAA (Detection And Avoidance en français détection et évitement) mécanisme de protection est disponible autrement il devrait être -85dBm/MHz, dans la marge de fréquence de 3.4GHz à 3.8GHz et à -70 dBm/MHz dans la bande de fréquence 3.8GHz à 4.2GHz. Le niveau d'émission dans la haute bande s'étendant de 6GHz à 8.5GHz est -41dBm/MHz sans protection de DAA.

De même, la marge de fréquence de 4.2GHz à 4.8GHz serait provisoirement gardée jusqu'au 30 juin 2010. La Figure (I.5), représente le masque proposé par le CEPT en février 2006.

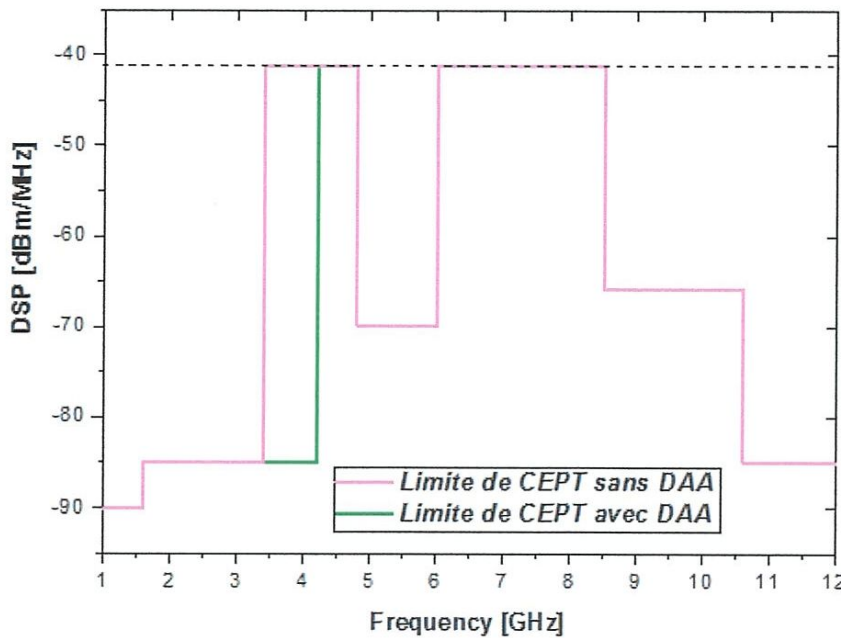


Figure I.6: Les limites de la CEPT pour les systèmes de communication UWB (Proposition de février 2006)

### I .5.3 Les réglementations en cours dans le monde

Les Etats-Unis ont été les plus prompts à proposer une réglementation des systèmes ULB. Ouvrant ainsi une formidable opportunité commerciale.

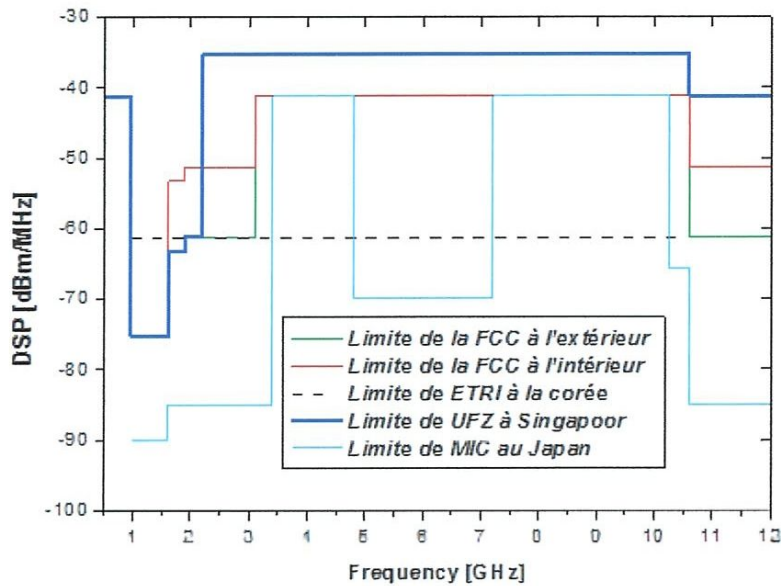


Figure I.7: Les limites proposées en Asie pour les systèmes UWB

Obligeant alors le reste du monde à étudier la question des limites d'émission et d'interférence avec les systèmes existants, sachant que les équipements ULB américains finiront tôt ou tard par être utilisés ailleurs [I.18]. La figure I.7 présente l'état d'avancement et projet de régulations des émissions ULB dans différents pays comme la Corée, Singapour et le Japon, en comparaison avec la réglementation américaine.

## I.6 Les Standards UWB

Une norme est la condition préalable à toute technologie pour grandir et se développer, car il rend possible la large acceptation et la diffusion de produits à partir de plusieurs fabricants avec une économie d'échelle qui réduit les coûts pour les consommateurs. Conformité aux normes, il est possible pour les différents fabricants de créer des produits qui sont compatibles et changeables avec les autres [I.19].

Dans le sujet d'UWB, l'IEEE est en activité afin de définir une couche physique radio de l'UWB.

### I.6.1 La Standard IEEE 802.15.3a : le haut débit

La norme IEEE 802.15.3a est développée pour les systèmes de communication sans fil à hauts débits (supérieur à 50Mbps) pour des portées inférieures à 10 mètres, tel que les réseaux sans fil personnel (WPANs).

Lorsque la distance est largement réduite entre 4 et 2 mètres, le débit va augmenter jusqu'à 200 Mbps et 480 Mbps respectivement. Pour la norme IEEE 802.15.3a, Il existe deux propositions concurrentielles, le DS-UWB (direct séquence UWB) et le MB-OFDM (multi-bandes OFDM).

### I.6.2 La Standard IEEE 802.15.4a : le bas débit

L'IEEE 802.15.4a est concentré sur les systèmes radio impulsionnels (IR-UWB) le faible coût, le bas débit (>250kbps), la basse complexité et la basse puissance d'énergie. [I.20]

## I.7 Les différentes modulations UWB

Dans les systèmes de communication UWB, l'information est codée dans un signal UWB en utilisant plusieurs méthodes de modulation de base (sans porteuse). Les symboles sont composées d'une ou plusieurs trames, contenant chacune une impulsion. Le codage, décide de segment « chip » qu'occupera l'impulsion dans chaque trame. Il apporte ainsi une répartition plus régulière de l'énergie sur le spectre et permet une utilisation multi-utilisateurs. Il se doit donc d'être orthogonal vis-à-vis des autres codages et vis-à-vis de lui-même, c'est-à-dire qu'il ne doit présenter ni inter-corrélation ni autocorrélation. De nombreuses recherches ont été faites dans ce domaine et montrent qu'un grand nombre de codages prouvent convenir à une utilisation en communication impulsionnel. [I.21] [I.22]

### I.7.1. Modulation PAM

Le principe de la modulation PAM est de coder l'information binaire à partir de l'amplitude des impulsions. Le signal modulé à transmettre  $s_{tr}(t)$  peut être représenté par :

$$s_{tr}(t) = A_i W_{tr}(t) \quad (I.4)$$

où  $W_{tr}(t)$  dénote la forme de l'impulsion UWB,  $i$  représente le bit transmis "0" ou "1" et

$$A_i = \begin{cases} A_1, & i = 1 \\ A_2, & i = 0 \end{cases}$$

L'impulsion  $W_{tr}(t)$  est généralement le dérivé Gaussien du premier ordre défini par :

$$w_{tr}(t) = \frac{t}{\sqrt{2\pi\sigma^3}} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} \quad (I.5)$$

$\sigma$  est lié à la durée de l'impulsion  $T_p$  par  $\sigma = T_p/2\pi$ .



La figure I.7(a) illustre une modulation binaire d'amplitude d'impulsion (PAM) employant deux impulsions antipodales Gaussiennes ( $A_1 = 1$ ,  $A_2 = -1$ ). Différents niveaux d'amplitude peuvent être utilisés pour coder plusieurs bits par symbole.

### I.7.2. Modulation OOK

La deuxième forme de modulation est la modulation tout ou rien (OOK : On-Off Keying). La différence entre la modulation OOK et la modulation PAM est que pour la modulation OOK ; aucun signal est transmis dans le cas des bits de « 0 », comme il est représenté sur la figure I.7 (b). La modulation OOK consiste à ne transmettre les impulsions que pour les bits de « 1 ». Cette modulation est intéressante pour sa simplicité et sa faible consommation d'énergie. Les amplitudes utilisés pour cette modulation sont ( $A_1 = 1$ ,  $A_2 = 0$ ).

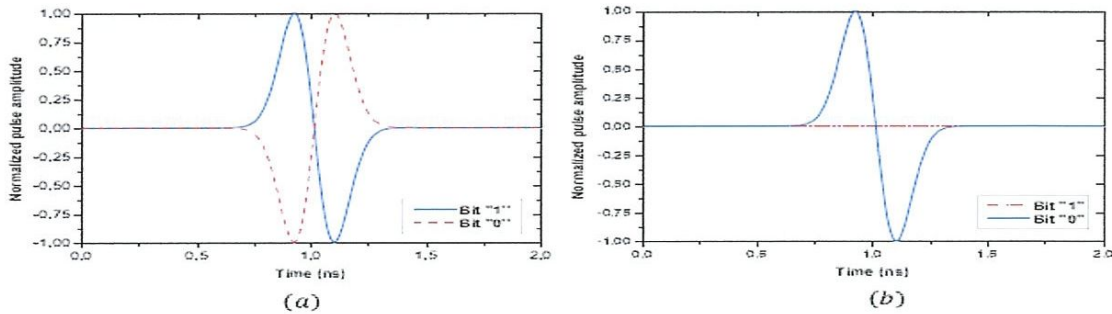


Figure I.7: Modulations UWB, (a) modulation PAM (b) modulation OOK

### I. 7.3. Modulation PPM

C'est la méthode de modulation la plus connue dans la littérature de la technologie UWB, les bits à transmettre sont codés par la position de l'impulsion, en respectant une certaine position nominale. Le bit "0" est représenté par une impulsion qui est transmise à l'instant  $t = 0$ , alors que le bit "1" correspond à une impulsion décalée en temps par la quantité  $\delta$ . Dans le cas où chaque symbole est représenté par une simple impulsion, le signal PPM peut être représenté comme :

$$S_{tr} = \sum_{k=-\infty}^{\infty} W_{tr}(t - kT_s - A_i\delta) \quad (I. 6)$$

$W_{tr}(t)$  Représente la forme d'impulsion transmise et  $\delta$  indique le temps entre deux états de la modulation PPM. La valeur de  $\delta$  peut être choisie selon les caractéristiques de l'autocorrélation de l'impulsion. Par exemple, pour mettre en application une PPM standard

avec les signaux orthogonaux, la valeur optimale de  $\rho(\delta_{opt})$  qui a comme conséquence l'autocorrélation nul ( $\delta_{opt}$ ):

$$\rho(\delta_{opt}) = \int_{-\infty}^{\infty} W_{tr}(\tau) W_{tr}(\delta_{opt} + \tau) d\tau = 0 \quad (1.7)$$

Dans un cas plus général, le symbole est codé par le nombre entier  $A_i (0 \leq A_i \leq M)$  où  $M$  est le nombre d'états de la modulation. La durée totale du symbole est  $T_s$  qui, fixé et choisi, est supérieure à  $M\delta + TGI$  où  $TGI$  est un intervalle de garde inséré pour la réduction d'interférence d'inter symbole (ISI).

Le taux binaire de transmission est ainsi égal à :

$$R = \log_2(M)/T_s \quad (1.8)$$

La figure I.8(a) montre la modulation PPM à deux-état (binaire) PPM quand le bit d'information "1" est retardé par un intervalle de temps partiel  $\delta$  quand un bit d'informations "0" est envoyé au temps nominal.

#### I. 7.4. Modulation PSM

Avec la modulation PSM les données sont codées par des formes d'impulsion différentes comme représenté sur la figure I.8(b). Ceci exige un ensemble approprié d'impulsions. Les fonctions polynômes de Hermite modifiés d'ordre supérieur (PSWF), l'ondelette, et les fonctions allongées de vague de sphéroïde (PSWF) ont été proposées dans la littérature comme ensemble d'impulsion pour des systèmes PSM. L'orthogonalité utilisée dans la modulation PSM permet une détection plus facile au récepteur.

En outre, l'application des ensembles orthogonaux du signal permet à des techniques multiples d'accès d'être considéré. Ceci peut être atteint en assignant un groupe d'impulsions orthogonales à chaque utilisateur, qui emploie l'ensemble assigné pour PSM.

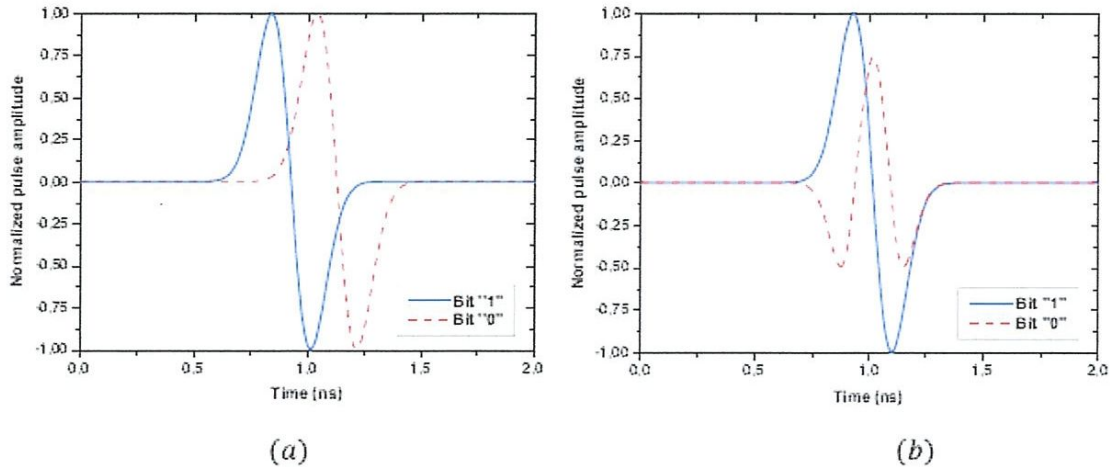


Figure 1.8: Modulations UWB, (a) Modulation PPM, (b) modulation PSM

### 1.8 Conclusion

Grâce à ce chapitre, nous avons pu présenter la technologie UWB. Le bref historique a présenté l'UWB depuis son origine quand il a été utilisé dans les radars pour la localisation à aujourd'hui où elle représente un grand intérêt pour les communications sans fil. Les principales caractéristiques de cette technologie, sa large occupation spectrale et son fort pouvoir de résolution temporelle, les déferlants types d'application attirant comme les réseaux WPAN très haut débit, des applications médicales, etc. Les autorités de régulation de divers continents et pays ont développé des masques de puissance qui imposent des règles d'émissions UWB.

## **Abréviations**

UWB : Ultra WideBande

FCC : Commission Fédéral des communications

NB : Narrow Band

IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineer

WLAN : Wireless Local Area Networks

WPAN : Wireless Personnal Area Networks

PLL : Phase Locked Loop

VCO : Voltage Control Oscillator

DSP : Densité Spectrale de Puissance

SNR : signal-to-noise ratio

GPR : Ground Penetrating Radar

PIRE : Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente

EIRP : Effective Isotrope Radiated Power

ETSI European Telecommunications Stan-dards Institute

CEPT Conférence Européenne des postes et Télécommunications

ECC Electronic Communicatio Committee

DS-UWB Direct séquence UWB

DAA : Détection et évitement

MB-OFDM Multi-bandes orthogonal frequency-division multiplexing.

PAM : Pulse Amplitude Modulation

OOK : On-Off Keying

PPM : Pulse-position modulation

PSM : Phase Shift Modulation

PSWF : Polynomial spheroid wave functions

## Bibliographie

- [I.1] H.G.Schantz, "A Brief History of UWB antennas," *IEEE UWBST Conference.Brownsboro, 2003*.
- [I.2] V. H Rumsey, "frequency Independant Antennas, ", *IRE National Convention Record.in,pp. 114-118. 1957*.
- [I.3] F.Nekoogar.*Ultra-Wideband Communications: Fundamentals and Applications*.Prentice Hall, September 10, 2005. Z. N. C. a. M. Y. W. Chia, « broadband planar antennas: Design and Application, », John Wiley&Sons,LTD,pp. 180-190,2006.
- [I.4] L.BABOUR, "Etude et Conception d'antennes Ultra Large Bande miniaturisées en impulsionsnels, ", *thèse doctorat, institut polytechnique de grenoble, 2009*.
- [I.5] Barrett T.W.,{*history of ultrawideband (UWB) radar & communications: pioneers and innovators*}, *progress in Electromagnetics symposium, Cambridge, MA, Etats-Unis, juillet 2000*.
- [I.6] F.Nekoogar. *Ultra-Wideband Communications : Fundamentals and Applications*.Prentice Hall, September 10, 2005.
- [I.7] Charbel Saber. *Ultra Large Bande Radio par Impulsions. Contributions à la Définition du Récepteur TDSC. Relation à la filière technologique. PhD thesis, Faculté de sciences d'Orsay. Université Paris-Sud 11. Institut Télécom SudParis., 2008*.
- [I.8] Guillaume Clementi. *Conception et caractérisation fréquentielle et temporelle d'antennes réseaux planaires à très large bande passante. Electromagnétisme. Université Nice Sophia Antipolis, 2011*.
- [I.9] Denis B., KEIGNART J.,DANIELE N., "Impact of NLOS propagation upon ranging precision in UWB systems ", *proceeding of IEEE conference on ultra wideband systems and technologies (UWBST 2003), Reston,VA, Etats-Unis, p. 261-264, novembre 2003*.
- [I.10] R. C. Qiu, H. Liu, and X. Shen, "Ultra-wideband for multiple access communications," *IEEE Commun. Mag., vol. 43, no. 2, pp. 80-87, 2005*.
- [I.11] GUETTAF Bilel, DJEBALA Mohamed El Amine, "Conception d'une antenne UWB miniaturisée a bandes interdites reconfigurable", *Université du Guelma. Mémoire de Master.2014*.
- [I.12] A. F. Molisch, "Ultrawideband propagation channels and their impact on system

design," in *Proc. Int Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications Symp*, 2007.

[I.13] M. Hâmâlâinen, P. Pirinen, J. Iinatti, A. Tapparugssanagorn, "UWB Supporting Medical ICT Applications", *International Conference on Ultra-Wideband, ICUWB 2008, Hannover, Allemagne, 10 - 12 septembre 2008*.

[I.14] MORCHE D., HELAL D., "RF front-ends implementation aspects and regulation status ", *the ultrawide band summit, Paris, France, décembre 2003*.

[I.15] D. Porcino and W. Hirt, "Ultra-wideband radio technology : potential and challenges ahead," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 41, no. 7, pp. 66–74, 2003.

[I.16] Z.N.C.a.M.Y.W.Chia, " broadband planar antennas: Design and Applications " *John Wiley et Sons Ltd, pp.180.190,2006*.

[I.17] PORCINO D., HIRT W. "UWB radio technology : potential and challenges ahead ", *IEEE Communications Magazine*, vol. 41, n°7, p. 66-74, juillet 2003.

[I.18] Ziani kerarti djalel, "Etude et Conception D'Antenne Ultra Large Bande, " *mémoire de these,2001*.

[I.19] I. . W. Group et al. "Standard for part 15.4 : Wireless medium access control (mac) and physical layer (phy) specifications for low rate wireless personal area networks (lr-wpans), " *ANSI/IEEE 802.15*, vol. 4, 2003.

[I.20] R. A. Scholtz, "multiple acces with timt-hopping impulse radio ", *proc, of the IEEE Milcom conférence, boston, MA, USA, pp 447-450, oct 1993*.

[I.21] M. Ghalani, L. B. Michael and R. Kohno, "Hermite Fonction Based Orthogonal Pulses for UWB communications ", *proc. Wireless Personal Multimesia conference 2001, Aalborg, Denmark, pp.437-440, Sep 2001*.

[I.22] E. H. K. Yeung, j. Mitchell, "Modeling of Ultra-Wideband (UWB) Radio system ", *The London communication symposium (LCS), 2002*.

# *Chapitre II Théorie des Antennes*

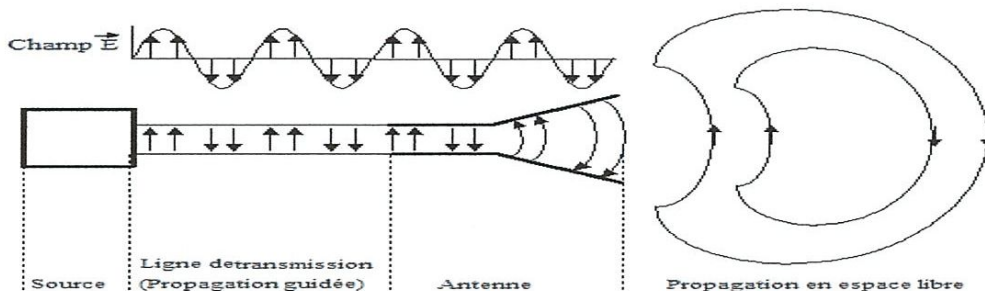
---

## II.1 Introduction

Une antenne fonctionnant en émission est un dispositif qui assure la transmission de l'énergie entre une source (émetteur) et l'espace dans lequel cette énergie va se propager. Réciproquement, l'antenne de réception va assurer la liaison entre l'onde captée et le récepteur [II.1] [II.2] [II.3]. Dans ce contexte ce chapitre vise à premièrement clarifier les paramètres caractéristiques d'une antenne y compris les caractéristiques électriques et les caractéristiques de rayonnement, afin de mieux comprendre leur comportement, ces structures seront classées en catégorie présentant chacune des spécificités bien précises, et secondement fournir un aperçu sur les antennes UWB, c.à.d. quelle sont les antennes indépendantes de la fréquence?, quelle sont les antennes UWB à transition progressive?, quelle sont les antennes UWB Monopole/ dipôles planaires?, c'est quoi une antenne UWB microstrip? ou bien une antenne TSA?, finalement en va rappeler les Méthodes de simulation des antennes.

## II.2 Définition d'une antenne

L'une des définitions les plus justes d'une antenne est donnée dans la norme IEEE des définitions des termes pour les antennes. D'après cette norme, une antenne est un *moyen de rayonnement ou de réception des ondes radio* [II.4]. 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 mode d'émission. En mode de réception, elle capte tout simplement les ondes électromagnétiques incidentes et les reconvertit en signaux. La Figure II.1 en fait une illustration très simple.



**Figure II.1:** L'antenne comme un dispositif de couplage entre les ondes guidées et les ondes rayonnées.



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.

### II.3 Les Paramètres Caractéristiques d'une Antenne

Avant d'en arriver à la performance des antennes, il pourrait être intéressant de définir au préalable les différents paramètres d'une antenne. Parmi ces paramètres, les plus courants sont notamment la bande passante fréquentielle, le diagramme de rayonnement, la directivité, le gain et l'impédance d'entrée. [II.5]

#### II.3.1 Caractéristiques Electriques des Antennes

Par rapport au générateur, l'antenne peut être modélisée par un dipôle électrique série sous certaines conditions. L'impédance d'une antenne est l'impédance vue par les extrémités de l'antenne seule (non reliée à une charge) (Fig.II.2). Cette impédance est définie comme le rapport entre la tension et le courant sur le port de l'antenne ou comme le rapport entre les composantes appropriées des champs électriques et magnétiques. [II.6] L'excitation peut être considérée comme un générateur de Thévenin équivalent :

$$(V_G(\omega), Z_G(\omega) = R_G(\omega) + jX_G(\omega)) \quad (II.1)$$

et le dipôle comme une impédance complexe passive  $Z_A(\omega)$  :

$$Z_A(\omega) = (R_P(\omega) + R_R(\omega)) + jX_A(\omega) \quad (II.2)$$

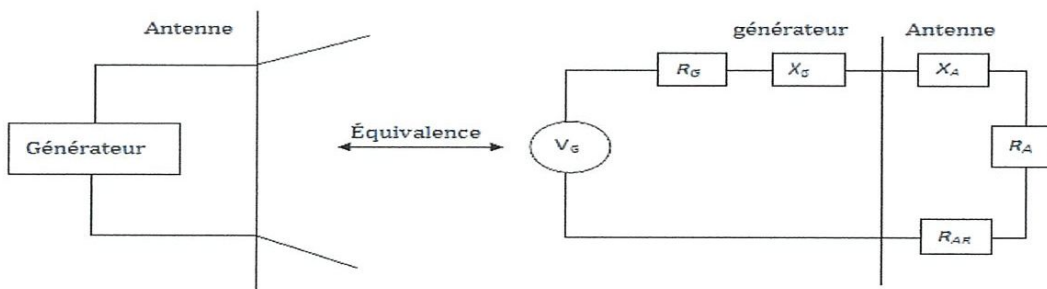


Figure II.2 : Schéma équivalent d'une antenne connectée à un générateur de tension

#### a) Impédance d'entrée

Considérons une antenne dont on peut définir les deux bornes d'entrée A et B. Soient  $V_e$  la tension entre les bornes A et B et  $I_e$  le courant d'alimentation de l'antenne. [II.5]

L'impédance d'entrée de l'antenne est donnée par :

$$Z_e = \frac{V_e}{I_e} \quad (\text{II. 3})$$

**b) Bande d'Utilisation**

La définition de la bande d'utilisation fait intervenir des notions très diverses. [II.5]

Elle peut être limitée par :

- Le Rapport d'onde stationnaire ROS maximal admissible (désadaptation de l'antenne par rapport aux systèmes d'émission et / ou de réception), par exemple  $ROS < 2$ .
- La variation du gain de l'antenne.
- La déformation du diagramme de rayonnement en fonction de la fréquence.

Pour les antennes constituées d'éléments rayonnants résonnants (dipôles demi -onde, antenne microbande) qui ont une bande d'utilisation faible, on définit la largeur de bande en pourcentage % comme suit :

$$B(\%) = 100 * \frac{F_s - F_i}{F_c} \quad (\text{II. 4})$$

Où  $F_c$  est la fréquence centrale d'utilisation pour laquelle l'antenne est conçue,  $F_s$  et  $F_i$  sont les fréquences limites supérieures et inférieures (pour un ROS donné).

**c) Rendement**

Le rendement est le rapport entre l'énergie rayonnée par une antenne et celle que lui fournit l'alimentation. [II.5] Elle est exprimée par:

$$\eta = \frac{R_r}{R_r + R_p}; \quad (\text{II. 5})$$

$R_r$ : Résistance liée à son rayonnement.

$R_p$ : Résistance liée aux pertes de l'antenne.

**d) Coefficient de Réflexion**

Le coefficient de la réflexion  $|\Gamma|$  est défini :

$$|\Gamma| = \frac{\text{puissance Reflétée}}{\text{puissance d'incident}} = \left| \frac{Z_A - Z_L}{Z_A + Z_L} \right|^2 \quad (\text{II. 6})$$

où  $Z_L$  et  $Z_A$  sont l'impédance de la ligne de transmission et l'impédance d'antenne respectivement. [II.6]

#### e) Perte de Retours

La perte de retour représente la puissance perdue ou reflétée due à une charge qui est mal adaptée et peut être calculé par :

$$R_L = -20 \log |\Gamma| = -10 \log |S_{11}|^2 [dB] \quad (II.7)$$

Une bonne adaptation d'impédance est indiquée par une perte de retour inférieur à  $-10dB$ . [II.7]

#### f) Rapport d'Onde Stationnaire (TOS)

Une autre manière de caractériser les désadaptations d'impédances et le rapport d'onde stationnaire (*ROS* ou *TOS* ou *VSWR* (Voltage Standing Wave Ratio)). [II.6] Défini par :

$$TOS = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (II.8)$$

#### g) Largeur de Bande Adaptée

La largeur de bande adaptée indique une gamme des fréquences pour lesquels l'antenne accepte plus de 90% de la puissance appliquée à ses bornes d'entrée, c-à-d une perte de retour inférieur -10 dB ou à un TOS inférieur ou égale à 2.0. [II.7]

#### h) Efficacité d'une Antenne

L'efficacité de l'antenne (dues aux réflexions) est aussi introduite à partir du coefficient de réflexion par [II.6] :

$$\rho = 1 - |\Gamma|^2 \quad (II.9)$$

### II.3.2 Caractéristiques de Rayonnement

#### a) Diagramme de Rayonnement

Le diagramme de rayonnement est la représentation de l'intensité de rayonnement  $K(\theta, \varphi)$  qui va être définie ultérieurement, en fonction des angles de déviation  $(\theta, \varphi)$  dans l'espace. C'est une représentation qui nous donne les directions de rayonnement les plus efficaces de l'antenne. Ces diagrammes sont caractérisés par un lobe principal et des lobes secondaires. [II.7]

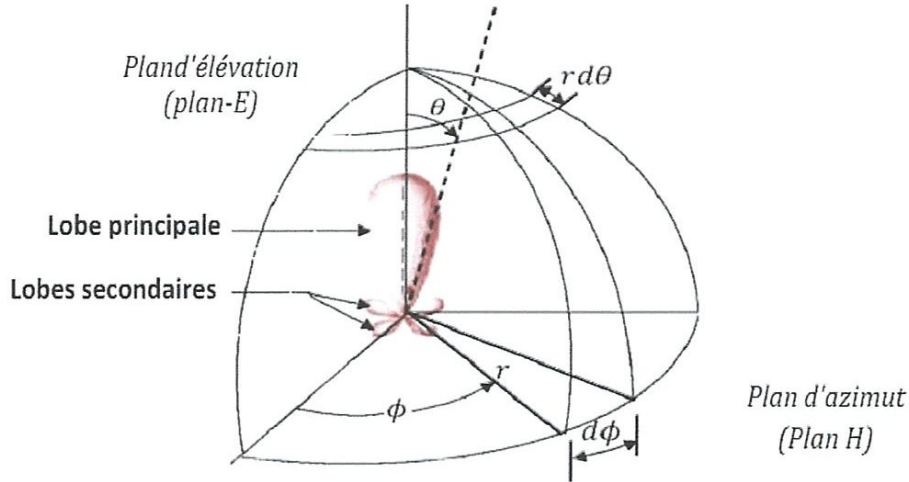


Figure II 3: Système de coordonnées utilisé dans le diagramme de rayonnement

**b) Puissance rayonnée**

La puissance rayonnée se définit comme la puissance qui passe à travers une sphère qui a un rayon infini. Cette puissance rayonnée doit intégrer le vecteur de Poynting sur une surface sphérique, qui se définit comme suit :

$$\bar{P} = \frac{1}{2} R_e(\bar{E} \times \bar{H}^*) \quad (II. 10)$$

La puissance rayonnée à travers une sphère de rayon infini est donnée par:

$$W = \lim_{r \rightarrow \infty} \oint \hat{n} \langle P \rangle ds \quad (II. 11)$$

Avec  $\hat{n}$  est un vecteur normal à tout point de la surface de la sphère. [II.5]

**c) Directivité**

La directivité désigne la façon dont une antenne concentre son rayonnement dans des directions de l'espace. Elle s'obtient en faisant le rapport de l'intensité de rayonnement dans une certaine direction  $\Delta(\theta, \varphi)$  sur la valeur moyenne de la même intensité de rayonnement pour l'ensemble des directions de l'espace. [II.5]

$$D = \frac{K(\theta, \varphi)}{\frac{1}{4\pi} \iint K(\theta, \varphi) d\Omega}; \quad (II. 12)$$

**d) Le gain**

Le gain d'une antenne  $G$  dépend de sa directivité, mais également de l'efficacité de rayonnement  $\epsilon_{rad}$  et de ses propriétés directionnelles. La formule du gain est de la suivante :

$$G = \epsilon_{rad} \times D \quad (II.13)$$

Le gain mesure de façon quantitative la performance d'une antenne. Pour une antenne isotrope, le gain est considéré comme une référence unité (0dB). Le gain dans une direction donnée se calcule en faisant le rapport entre l'intensité de rayonnement et celle de l'antenne isotrope. [II.5]

**e) Polarisation**

La polarisation du champ électromagnétique rayonné par une antenne est indiquée par la direction du champ électrique  $E$ . 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  $E$  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. [II.5]

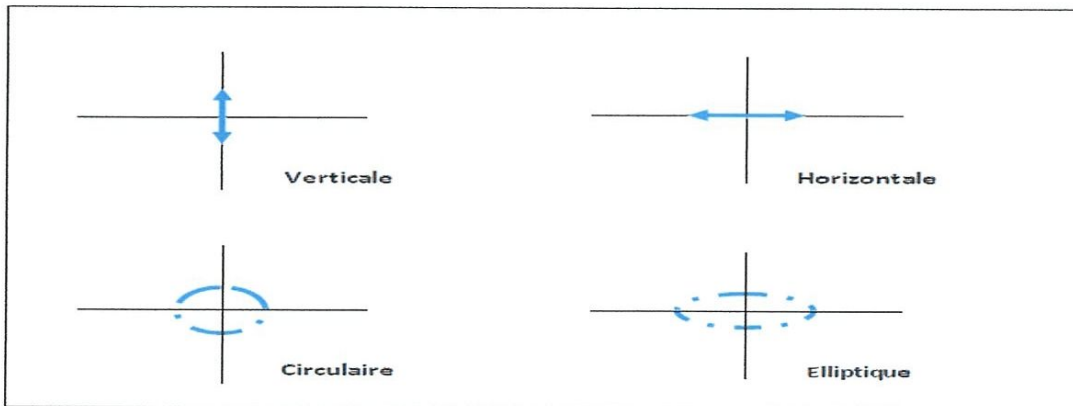


Figure II .4 : Exemple de polarisation

## II.4 Aperçu sur les antennes UWB

### II.4.1 Antennes indépendantes de la fréquence

Les antennes indépendantes de fréquence sont des antennes large bande et ultra- large bande classiques. Ils ont la propriété d'impédance constante. Il y a deux principes pour réaliser des antennes indépendantes de fréquence.

Les antennes équiangles introduites par RUMSEY [II.8].et Dyson vers la fin des années 1950 remplissent ces conditions, tandis qu'une antenne biconique par exemple qui pourrait également être décrite uniquement par des angles, ne peut être considéré comme indépendante de la fréquence.

Une autre condition est décrite dans Balanis [II.9].Elle exclut de cette définition les antennes dont la distribution de courant le long des cônes ne décroît pas en amplitude en s'éloignant du point d'alimentation.

#### a) Antennes spirale équiangle

Cette antenne est une structure dont la géométrie peut être entièrement définie par des angles [II.10]. De plus à chaque fréquence, seul une certaine région de l'antenne correspondent à une longueur d'onde participe ou rayonnement, ce qui atténue fortement les courants au-delà de cette région. Elle remplit donc bien les conditions de dessin d'une antenne indépendante de fréquence.



**Figure II.5 :** Photo d'une antenne en spirale équiangle [II.8]

**b) Antenne spirale d'Archimède**

Le principe de fonctionnement de la spirale d'Archimède est présenté pour la première fois par J.A Kaiser en 1960 [II.11]. Cette antenne est constituée de deux spirales de largeur constante imbriquées l'une dans l'autre et ayant la même origine. Figure II.6 montre une géométrie en spirale d'Archimède sur cavité.



Figure II.6 : Antenne spirale d'Archimède sur cavité

**c) Antenne Spirale-conique**

Le fonctionnement et la conception de l'antenne conique sont présentés par John D Dyson en 1965 [II.12]. Cette antenne est constituée d'un cône de diélectrique sur lequel reposent deux spirales de métal s'enroulant sur le cône.

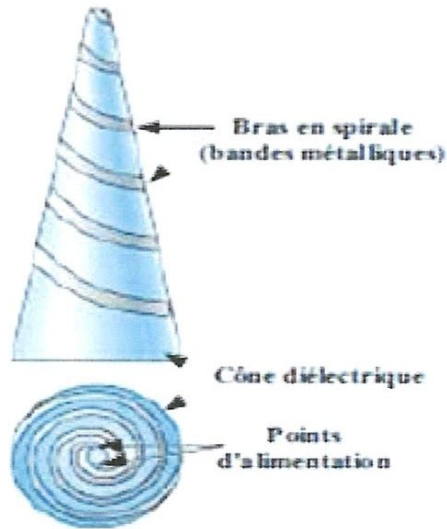


Figure II.7 : Antenne spirale conique

**d) Antenne Log-périodique**

Le concept d'antenne log-périodique a été introduit par DUHAMEL et ISBELL en 1958 [II.13]. Dans cette structure les paramètres de l'antenne sont en fonction du logarithme de la fréquence. La figure présente la géométrie Notation-périodique une antenne log-périodique.



**Figure II.8:** Photo d'une antenne log-périodique

**e) Antenne biconique**

Le fonctionnement de cette antenne est expliqué pour la première fois par Carter en 1939 [II.14]. Elle est constituée de deux cônes métalliques, dont les sommets se font face et partent à *l'infini*. Utilisée comme un modèle pour étudier les caractéristiques des antennes.



**Figure II.9:** Photo d'une antenne biconique [II.8]

L'avantage des antennes indépendantes de fréquence est qu'ils peuvent fonctionner sur une large gamme de fréquence. Cependant ils ont deux inconvénients majeurs : ils doivent être de grandes tailles pour obtenir des bande large et très large et ils ont besoin des transformateurs symétriques (*Balum*) pour équilibrer d'alimentations.

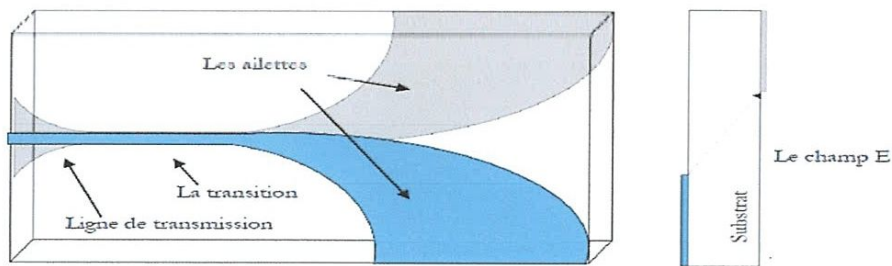


## II.4.2 Antennes UWB à transition progressive

Les antennes Vivaldi et cornet TEM sont les antennes à onde progressive les plus connues.

### a) Antennes de Vivaldi

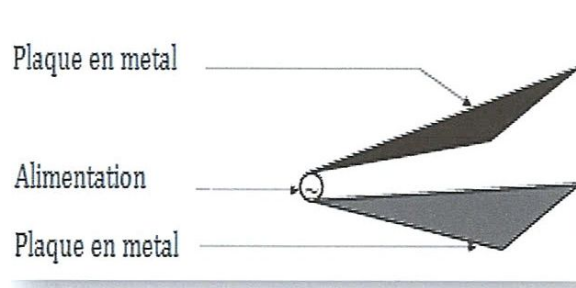
L'antenne la plus connue de cette catégorie est l'antenne Vivaldi proposée en 1979 par Gibson [II.15]. La transition entre le milieu guidé et rayonné se fait suivant une courbe exponentielle. L'antenne présentée en **Figure II.10** est la version dite antipodale de l'antenne Vivaldi.



**Figure II 10**· Antenne Vivaldi antipodale

### b) Antennes cornet TEM

Le cornet TEM à onde progressive est une antenne qui rayonne des ondes électro-magnétiques transversales. Le cornet TEM se compose d'une paire de plaques en métal coniques linéaires, exponentiels, ou triangulaires. Ces plaques sont séparées et l'antenne est alimentée par une ligne à deux fils de transmission en mode TEM. L'antenne cornet TEM, sous sa forme de base, est présentée sur la figure II.11. [II.7]



**Figure II.11**: Antenne cornet TEM

### II.4.3 Antennes UWB Monopole planaires

Une antenne de monopole se compose généralement d'un élément rayonnant vertical monté au-dessus d'un plan de masse. Figure II.12 montre des antennes monopole planaires avec diverses configurations. [II.7]

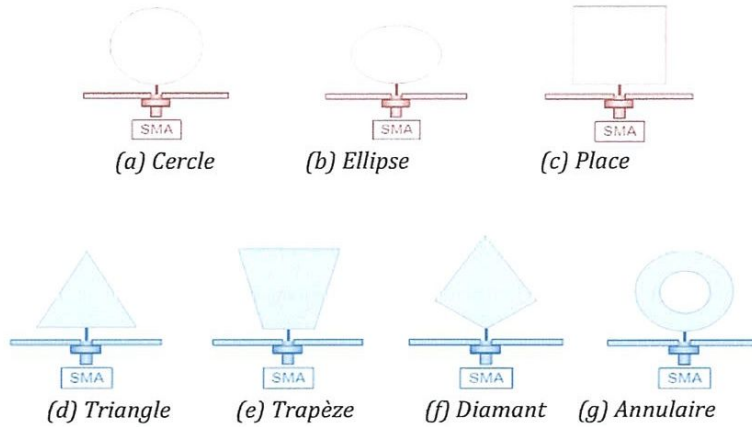


Figure II.12 : Antennes monopole planaires avec diverses configurations

### II.4.4 Antennes UWB dipôles planaires

Puisque les monopoles proviennent des dipôles en enlevant un élément et en le remplaçant par un plan de masse. Il est compréhensible que les dipôles puissent également exhiber des caractéristiques UWB. Ces dipôles UWB sont illustrés sur figure II.13. [II.7]

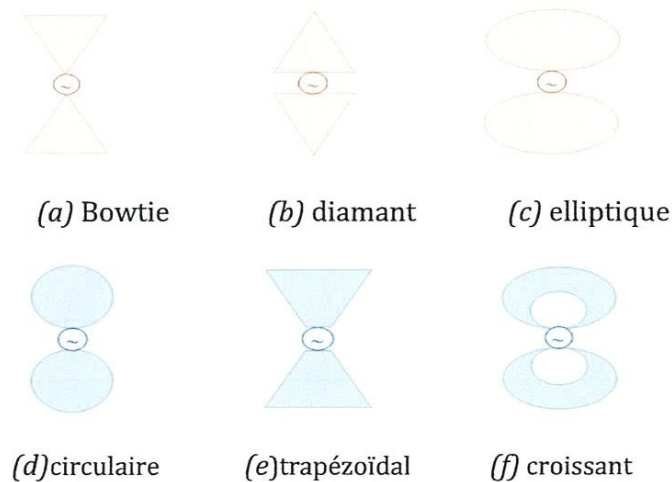


Figure II.13 : Antennes dipôle planaires avec diverses configurations

### II.4.5 Antennes UWB microstrip

Le concept des antennes microrubans (microstrip ou encore patch) est apparu dans les années 1950 avec G.A.Deschamp [II.16]. Une antenne microruban est constitué d'un patch métallique de forme arbitraire, gravé sur la face supérieure d'un matériau non conducteur appelé substrat diélectrique, tandis que l'autre face est souvent complètement ou partiellement métalliser formant le plan de masse. [II.17].

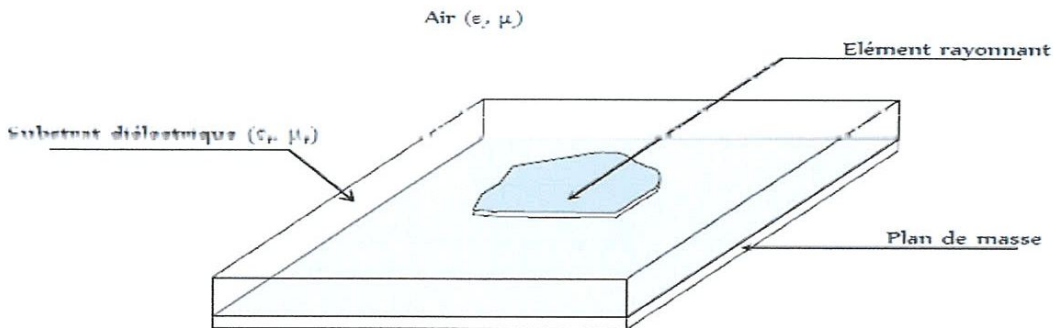


Figure II.14 : Antenne microruban de forme quelconque

- **Le Plan de Masse**

Doit être théoriquement de dimension infinie mais en pratique celui-ci est plutôt, pour des raisons d'encombrement, de l'ordre de 3 ou 4 longueur d'onde. Il arrive cependant que celui-ci soit très réduit, ce qui bien évidemment modifie les caractéristiques de l'antenne initiale, parfois de manière très prononcée. [II.7]

- **Le Substrat**

Les caractéristiques du substrat conditionnent également le comportement de l'antenne. On choisit en général un diélectrique de faible hauteur vis-à-vis de la longueur d'onde  $\lambda$  d'utilisation (quelques  $\lambda/10$ ), idéalement la permittivité relative du substrat doit être faible ( $\epsilon_r \leq 3$ ) de façon à permettre le rayonnement, en évitant le confinement des champs dans la cavité comprise entre l'élément imprimé et le plan de masse.

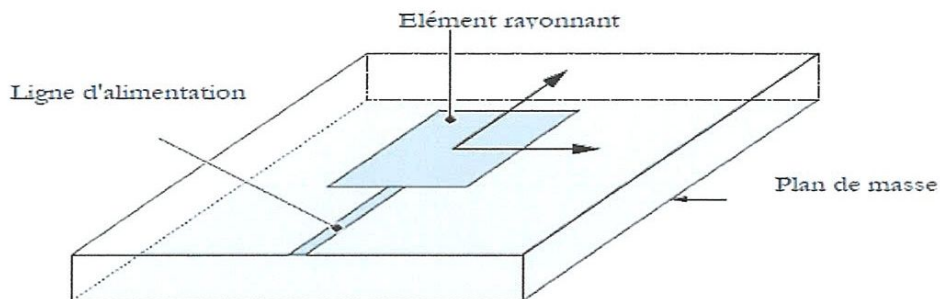
- **Éléments rayonnants**

Les métallisations sont en très bons conducteurs tels que le cuivre, l'argent ou l'or (de conductivités respectives  $\sigma = 5.8 \cdot 10^7, 6.2 \cdot 10^7$  et  $4.1 \cdot 10^7 S/m$ ). Afin de faciliter les études analytiques des formes régulières sont souvent rencontrées : rectangulaires, circulaires, triangulaires, elliptiques, Annulaire, Diamant, Trapèze, ...etc.

- Les configurations les plus populaires employées pour alimenter des antennes UWB sont :

a) Alimentation par une ligne Microruban (microstrip)

Ce type d'alimentation est le moins coûteux et le plus aisé. En effet l'élément rayonnant ainsi que la ligne qui l'alimente sont réalisés par procédé photo lithographique sur le même substrat diélectrique, dont le point de jonction est sur l'axe de symétrie de l'élément ou décalé par rapport à cet axe, si cela permet une meilleure adaptation d'impédance. [II.17]



**Figure II.15:** Antenne microstrip alimentée par une ligne microruban

b) Alimentation par ligne coplanaire (CPW)

Ce mode d'excitation permet d'avoir sur la même face inférieure d'un substrat la ligne d'alimentation et le plan de masse et sur sa face supérieure l'antenne microruban. Le pavé est alors excité par couplage électromagnétique.

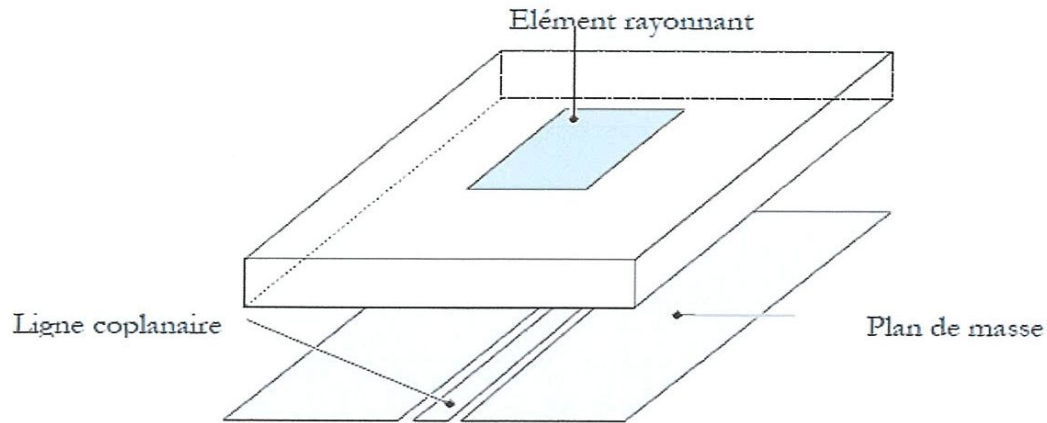
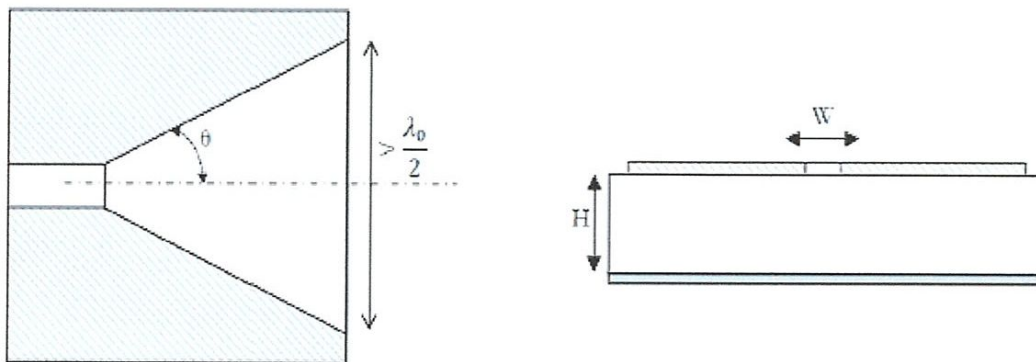


Figure II.16: Antenne microstrip alimentée par une ligne coplanaire

### II.4.6 Antennes TSA

Les antennes à fente à transition progressive ou Tapered Slot Antennas (TSA) s'appuient sur l'idée qu'une antenne peut être vue comme une région de transmission entre un guide d'onde ou tout autre système d'alimentation et l'espace libre. Ainsi ces antennes sont inspirées des lignes de transmission dont l'impédance caractéristique est constante sur une très large bande de fréquence. [II.18]



Vu de dessus d'une TSA

vu de coupe transversale d'une TSA

Figure II.17 Antennes à fente à transition progressive TSA

## II.5 Méthodes de simulation des antennes

Il existe beaucoup de méthodes numériques, dites aussi méthode rigoureuse, pour analyser les antennes microrubans. Les méthodes numériques utilisées dans ces logiciels sont :

### II.5.1 Méthode des Moments (MoM)

La méthode de moments (MoM) est une méthode fréquentiel. Il s'agit de résoudre les équations intégrales qui relient les courants inconnus sur le patch à l'excitation à l'aide des fonctions de GREEN relatives à la structure à analyser [II.19]. Cette résolution s'effectue soit dans le domaine spectrale en utilisant les modes propres des géométries de patch concernées, soit dans le domaine spatial en discrétisant l'espace à l'aide de petits triangles, rectangle ou polygone de dimensions de l'ordre de  $\lambda/10$  à  $\lambda/20$ . une fois le courant calculé, on peut facilement déterminer l'impédance d'entrée du patch ainsi que les champs électriques et magnétique rayonnées.

Les logiciels commerciaux les plus connus basés sur cette méthode sont : *Zeland IE3D*, *SuperNEC* et *Agilent ADS*.

### II.5.2 Méthode des Eléments Finis (FEM)

La méthode des éléments finis (MÉF) permet de calculer numériquement le comportement d'objets complexes. C'est un outil de simulation et de modélisation largement répandu dans l'industrie mécanique [II.20]. C'est une méthode qui permet de déterminer une solution approchée sur un domaine spatial, c'est-à-dire qui permet de calculer un champ (de scalaires, de vecteurs, de tenseurs) qui correspond à certaines équations et à certaines conditions imposées. La méthode consiste à découper le domaine spatial en petits éléments, également appelés mailles, et à rechercher une formulation simplifiée du problème sur chaque élément.

Le logiciel *Ansoft HFSS* est le simulateur le plus connu basé sur cette méthode.

### II.5.3 Méthode des Différences Finies (FDTD)

FDTD est l'acronyme de l'expression anglaise Finite Difference Time Domain. C'est une méthode de calcul de différences finies dans le domaine temporel, qui permet de résoudre des équations différentielles dépendantes du temps. Cette méthode est couramment utilisée en électromagnétisme pour résoudre les équations de Maxwell. Cette méthode a été proposée par Kane S. Yee en 1966.

Les logiciels commerciaux les plus connus basés sur cette méthode sont : *CST Microwave et Empire*. [II.21]

## II.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présentés les paramètres caractéristiques électriques et de rayonnement des antennes. Les antennes UWB indépendantes de fréquence, à transition progressive et en particulier l'antenne Vivaldi, l'antenne cornet TEM, les monopole/dipôle planaires, les microstrips et les antennes TSA sont aussi présentées. Ainsi que Les configurations les plus populaires employées pour alimenter des antennes UWB et les méthodes utilisées pour simuler ces antennes.

## **Abréviations**

TSA : Tapered Slot Antennas

TOS : Rapport d'Onde Stationnaire

VSWR : Voltage Standing Wave Ratio

TEM : Transversal Electro-Magnétiques

CPW : Coplanar Waveguide

MoM : Méthode of Moments

FEM : Finite Element Method

FDTD : Finite Difference Time Domain

HFSS : High Frequency Structure Simulator

CST : Computer Simulation Technology



## Bibliographie

- [II.1] R. BADOUAL, Ch. MARTIN, S. JACQUET, " *Les micro-ondes* ", Collection *Technologie*, 2ème édition, Elsevier Masson, université de Paris, 1992.
- [II.2] Léo THOUREL, Ed. Cepadues " *Les Antennes* ". *Ingénieurs, Techniciens*, 033,1990.
- [II.3] COLLIN et ZUCKER, " *Antenna Theory* " *Inter University Electronic Series-McGraw Hill Book Co NY* 1969.
- [II.4] A. F. Molisch, D. Cassioli, C.-C. Chong, S. Emami, A. Fort, B. Kannan, J. Karedal, J. Kunisch, H. G. Schantz, K. Siwiak, and M. Z. Win, " *A comprehensive standardized model for ultrawideband propagation channels*," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 54, no. 11, pp. 3151–3166, 2006. 5
- [II.5].ADIL KAMIL, « *CONCEPTION D'UNE ANTENNE PATCH ULTRA-LARGE BANDE (3.1 GHz-10.6 GHz)* », Université du Québec. INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE INRS. 2011.
- [II.6].Guillaume Clementi. " *Conception et caractérisation fréquentielle et temporelle d'antennes réseaux planaires à très large bande passante*". *Electromagnétisme. Université Nice Sophia Antipolis*, 2011.
- [II.7].GUETTAF Bilel, DJEBALA Mohamed El Amine, " *Conception d'une antenne UWB miniaturisée a bandes interdites reconfigurable*", Université du Guelma. *Mémoire fin d'étude, système de télécommunication*.
- [II.8]. V H Rumsey, « *requency Independant Antennas*, », 1957 *IRE National Convention Record*, pp. 114-118
- [II.9]. C. Balanis, " *Antenna theory*". Wiley New York, 1997. 21, 28, 35, 51, 73, 74
- [II.10]. R.S.K.P.C.LUXEY, « *Antennes imprimées techniques et domaines d'application E3311*, » *technique de l'ingénieur*, 2007, pp 1-9.
- [II.11]. KAISER, J. " *The Archimedean two-wire spiral antenna*. *IRE Transactions on Antennas and Propagation* ", 1960, vol. 8, no 3, p. 312-323.
- [II.12]. DYSON, J. " *The characteristics and design of the conical log-spiral antenna*. *IEEE transactions on antennas and propagation* ", 1965, vol. 13, no 4, p. 488-499.

- [II.13]. DUHAMEL, Raymond et ISBELL, "Dwight. Broadband logarithmically periodic antenna structures". In: 1958 IRE International Convention Record. IEEE, p. 119-128. 1966
- [II.14]. BARROW, W. L., CHU, L. J., et JANSEN, J. J." Biconical electromagnetic horns. *Proceedings of the IRE* ", 1939, vol. 27, no 12, p. 769-779.
- [II.15]. GIBSON, P. J. "The Vivaldi aerial. In: *Microwave Conference* ", 1979. 9th European. IEEE, 1979. p. 101-105.
- [II.16]. G.A.DECHAMPS, « *microstrip microwave antennas 3rd USAF* ». *Symposium on Antennas*1953.
- [II.17]. R.S.G.K.P.C.LUXEY, "Antennes imprimées bases et principes E3310". *Technique de l'ingénieur*, mai 2007.
- [II.18]. J.B.KNORR, "Slo-Line Transitions ", *IEEE TRANSACTION ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES*, pp.548-554, may 1974.
- [II.19]. D.M.POZAR, "Input Impedance and Mutuel Coupling of Rectangular Mictostrip Antennas," *IEEE Transaction on antennas and propagation*, vol.30, no.6, pp.1191-1196, nov1982.
- [II.20]. CAZENAVE Michel, " *METHODE DES ELEMENTS FINIS : APPROCHE PRATIQUE EN MECANIQUE DES STRUCTURES* ", *Dunod*, pp 295.2010.
- [II.21]Kane Yee, "Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 14, S. 302-307. 1966.

Chapitre III  
Simulations et mesures  
d'une antenne ULB à  
fente

---

### **III.1 Introduction**

Après l'étude des technologies et des antennes utilisées en ultra large bande qui ont fait l'objet du premier et du deuxième chapitre de ce mémoire, on s'est consacré dans ce troisième chapitre à la conception et à l'étude des structures d'antennes adaptées aux systèmes ULB. Notre travail est basé sur une antenne planaire à encoche inversée à échelonnement inversé PSICS. En premier lieu différentes modifications seront menées sur la ligne d'alimentation, l'élément rayonnant et le plan de masse en vue d'adapter la structure pour une antenne à fente ULB. Une fois le modèle choisi, on passera à l'étude expérimentale de ce modèle tel que réalisation et mesures (adaptation et diagramme de rayonnement). Avant de passer à l'étude de notre antenne, il est indispensable de présenter le logiciel de simulation utilisé.

### **III.2 Logiciel Ansoft HFSS (High Frequency Structure Simulator)**

HFSS est un simulateur de champ électromagnétique (EM) pleine onde haute performance pour la modélisation de dispositifs passifs volumétriques 3D, qui tire parti de l'interface utilisateur graphique Microsoft Windows. Il intègre la simulation, la visualisation, la modélisation solide et l'automatisation dans un environnement facile à apprendre où les solutions à vos problèmes EM 3D sont obtenues rapidement et avec précision. Ansoft HFSS utilise la méthode des éléments finis (FEM, Finite Element Method), le maillage adaptatif et le brillant graphiques pour vous offrir des performances et une vision incomparables de tous vos problèmes EM 3D. Ansoft HFSS peut être utilisé pour calculer des paramètres tels que les paramètres S, la fréquence de résonance et les champs. Les utilisations typiques incluent:

- Modélisation de paquet.
- Modélisation de cartes PCB - Plan de puissance / masse, Grille de maillage, Arrière plans
- Inducteurs de silicium / GaAs-Spiral, transformateur.
- Connecteurs - Coax, SFP / XFP, Fond de panier, Transitions.
- Guide d'ondes - Filtres, résonateurs, transitions, coupleurs.
- Filtres - Filtres à cavité, Microstrip, diélectrique.

HFSS est un système de simulation interactif dont l'élément de maillage de base est tétraèdre. Cela vous permet de résoudre n'importe quelle géométrie 3D arbitraire, en particulier celles avec des courbes et des formes complexes, qu'il prendrait d'autres techniques. [III.1]

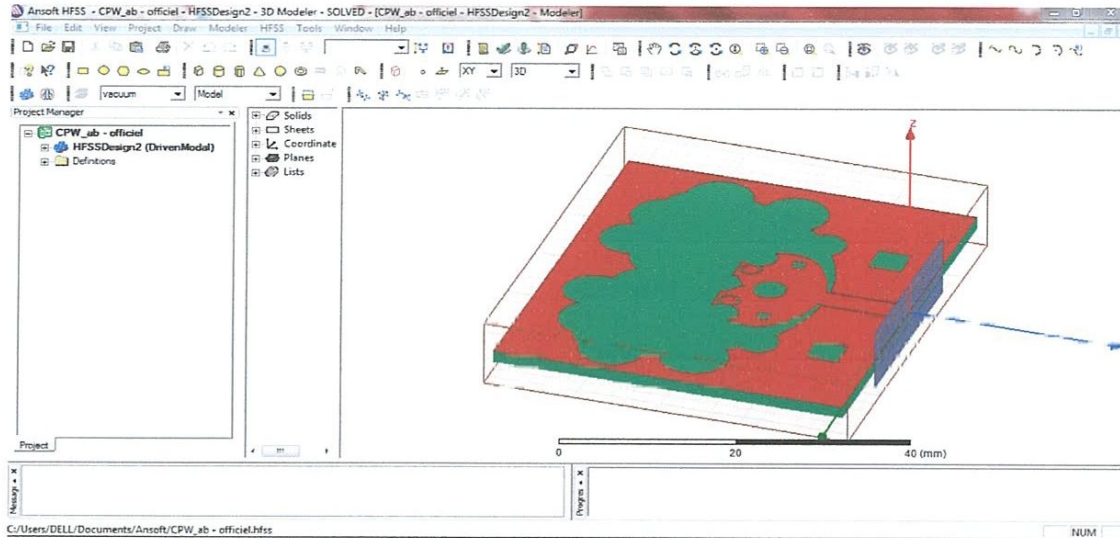


Figure III.1 Ansoft HFSS

### III.3 L'antenne à fente UWB

#### III.3.1 Description de l'antenne de base

La configuration de l'antenne à fente inversée à cône inversé (PSICS) imprimée est montrée à la figure III.2. L'antenne proposée avec différents stubs d'alimentation est conçue pour couvrir toute la bande UWB. L'antenne PSICS est constituée d'un bout en forme de cône inversé la face supérieure de  $(42.1 \times 48.2)$  mm (FR4,  $\epsilon_r = 4,32$ , indice de perte de 0,017 et  $H = 1,59$  mm d'épaisseur) alimenté par une ligne microruban de 50 ohms de largeur  $W_f = 3$ mm. Le plan de masse avec la fente à cône étagé inversé est imprimé sur le côté inférieur. Une étude paramétrique de l'antenne proposée PSICS UWB sur les principaux paramètres du la fente à cône inversé à gradins dans le plan de masse et la structure de bout d'alimentation sont optimisées en utilisant un simulateur électromagnétique basé sur le Method of Moment (MoM). L'effet des paramètres  $R_s$ ,  $L_{s1}$ ,  $L_{s2}$ ,  $W_{s1}$ ,  $W_{s2}$  et  $W_{s3}$  qui définissent le cône inversé fente en forme a été réalisée. La bonne bande passante de fréquence (2.21GHz - 11.5GHz) a été trouvée pour un rayon  $R_s = 20$ mm et les valeurs optimales des paramètres  $L_{s1}$ ,  $L_{s2}$ ,  $W_{s1}$ ,  $W_{s2}$  et  $W_{s3}$ . Ces valeurs sont présentées dans le tableau ci-dessous. [III.2]

Paramètre	$L_{s1}$	$L_{s2}$	$W_{s1}$	$W_{s2}$	$W_{s3}$
-----------	----------	----------	----------	----------	----------

Valeur optimale (mm)	2	6	4.5	3.5	21.5
----------------------	---	---	-----	-----	------

Tableau III.1 Valeurs optimales des paramètres de l'encoche à cône inversé échelonné.

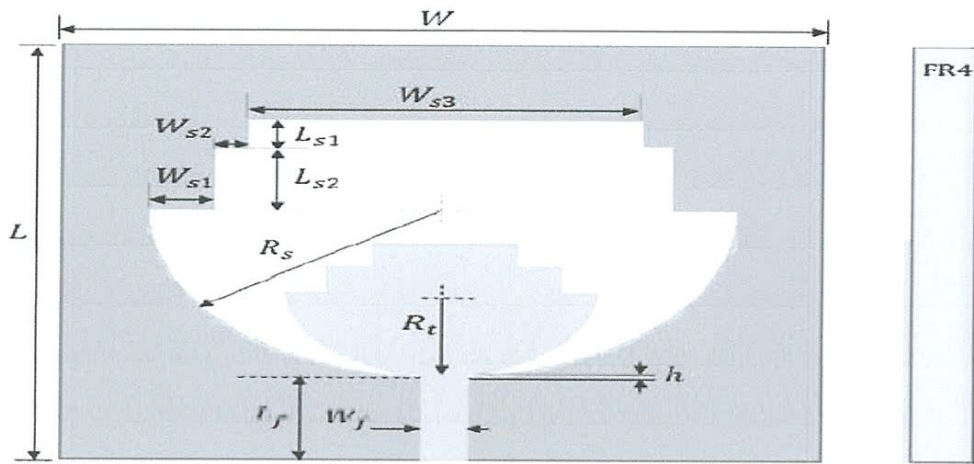


Figure III.2 Géométrie de l'antenne UWB PSICS alimentée par microruban

Le Stub de l'antenne PSICS a la même forme que la fente. Il est également défini par le rayon  $R_t = 10$  mm avec une plage de bande passante extrêmement élevée comprise entre 2,21 GHz et 11,5 GHz et les paramètres  $L_{t1}$ ,  $L_{t2}$ ,  $W_{t1}$ ,  $W_{t2}$  et  $W_{t3}$ , comme le montre tableau III.2 et la figure III-3.

Paramètre	$L_{t1}$	$L_{t2}$	$W_{t1}$	$W_{t2}$	$W_{t3}$
Valeur optimale (mm)	2	4.5	6	3	4

Tableau III.2 Valeurs optimales des paramètres de bout inversé-conique étagé

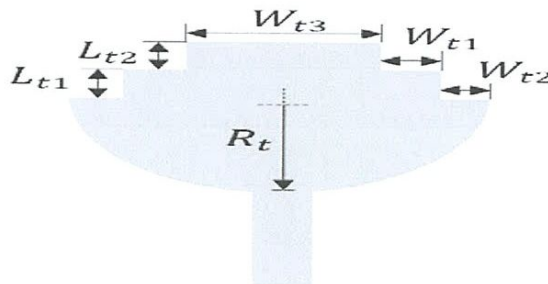


Figure III.3 Les paramètres du stub inversé à cône inversé

### III.4 résultat de simulation

#### III.4.1 L'antenne de base

Nous allons représenter pour cette antenne le coefficient de réflexion, qui va nous permettre de visualiser le niveau d'adaptation et la bande passante désirée. Les escaliers sont pour augmenter la longueur électrique de l'antenne, la simple raison est d'assurer une adaptation aux basses fréquences allant de 3 à 4 GHz.

Le tableau III-3 présente la structure de l'antenne de base et le module de coefficient de réflexion  $S_{11}$  obtenu par mesure et par la méthode des éléments finis FEM (HFSS).

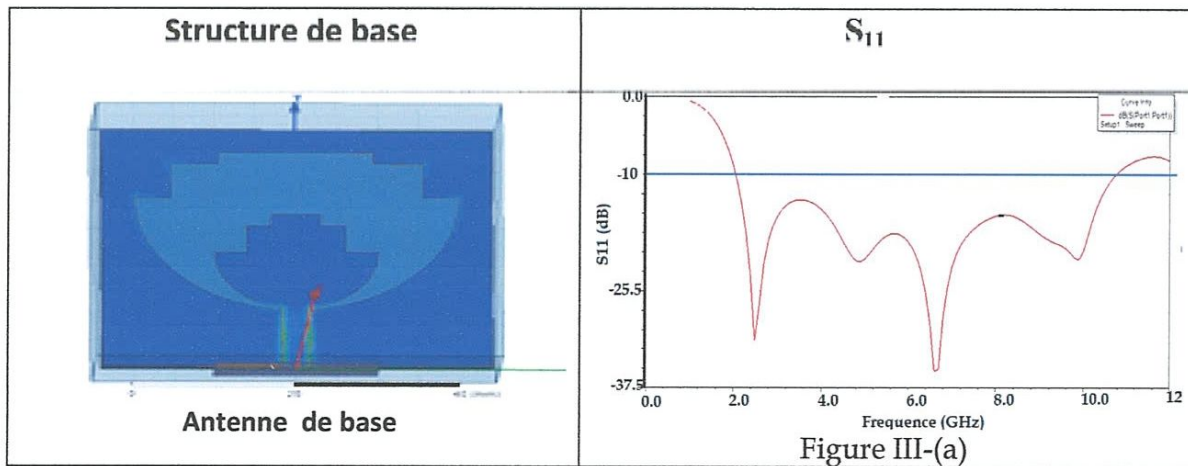


Tableau III.3 Caractéristique de l'antenne de base

Le figure III-(a) illustrée dans le tableau III.3 montre que la structure de l'antenne de base est bien adaptée à partir de la fréquence 2.5GHz est présente bien le caractère Ultra large bande.

#### III.4.2 Modification de la géométrie de la structure de base

Quelques paramètres définissant la géométrie de l'antenne planaire seront modifiés, afin de trouver une nouvelle structure d'antenne avec les mêmes termes d'adaptation sur une large bande de fréquence.

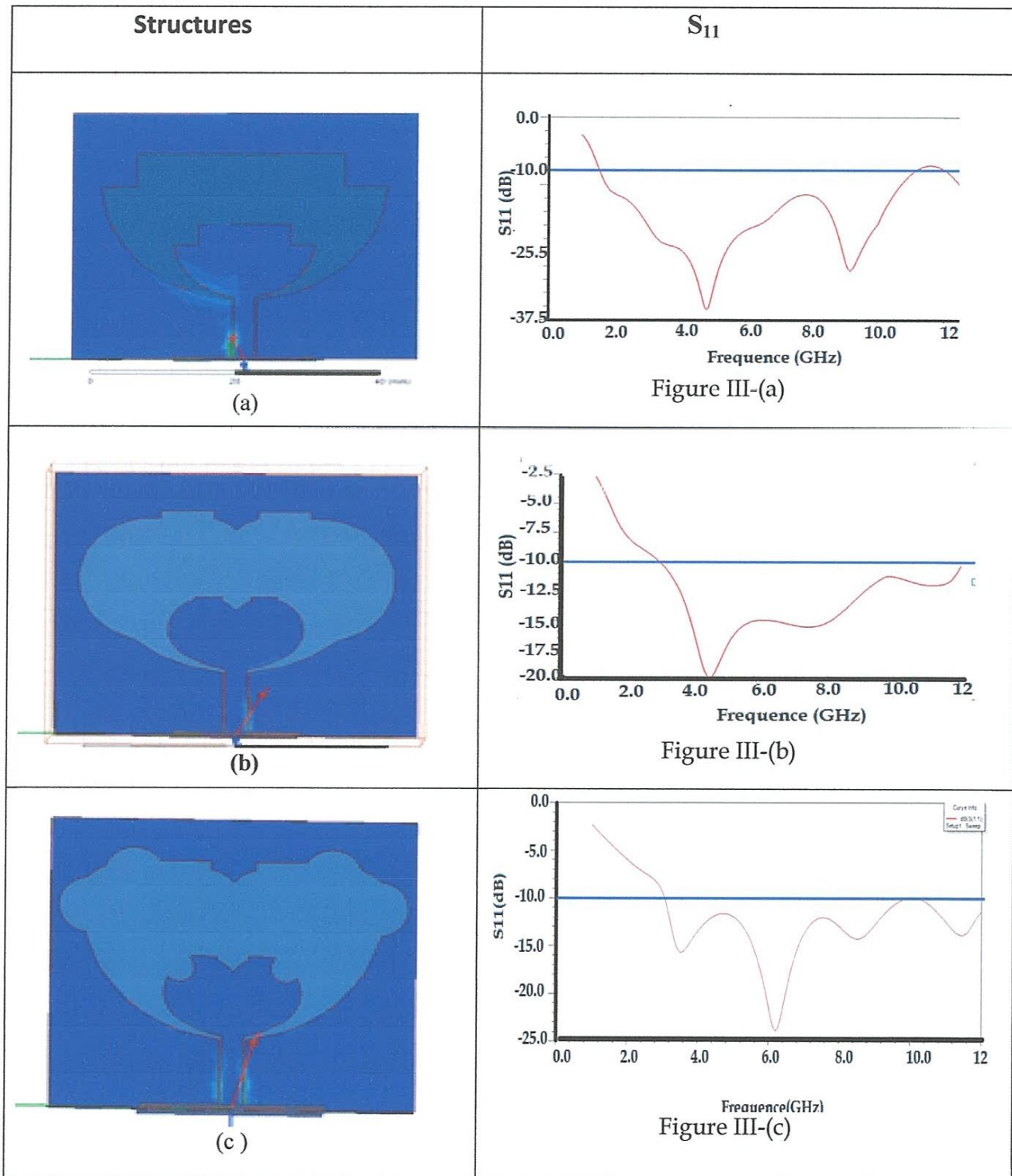


Tableau III.4  $S_{11}$  de différentes modifications sur la structure de base



D'après le tableau III-4 en modifiant la géométrie de la structure de base, on trouve que ces structures modifiées conserve le caractère Ultra Large Bande au-dessus de -10dB dans toute la gamme fréquentielle [3.1 -10.6 GHz].

### III.4.3 Innovation d'une nouvelle géométrie d'antenne

L'objectif de notre travail est de trouver une nouvelle géométrie d'antenne ULB, nous avons fait des modifications sur le modèle de base, les résultats sont montrés dans le tableau :

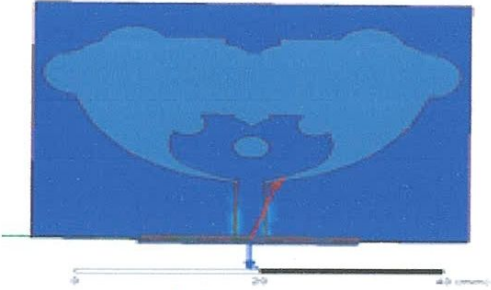
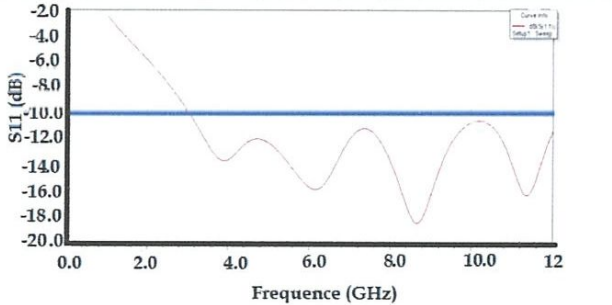
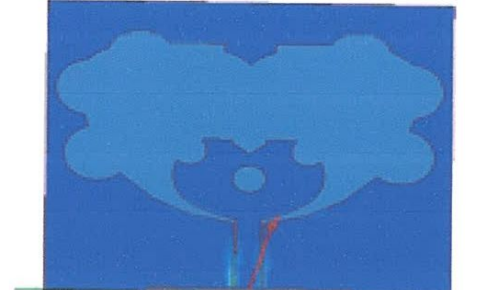
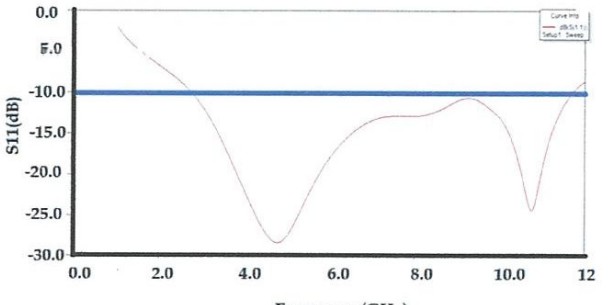
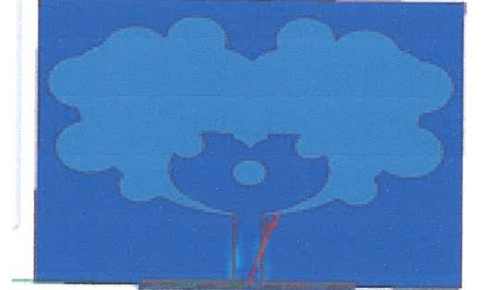
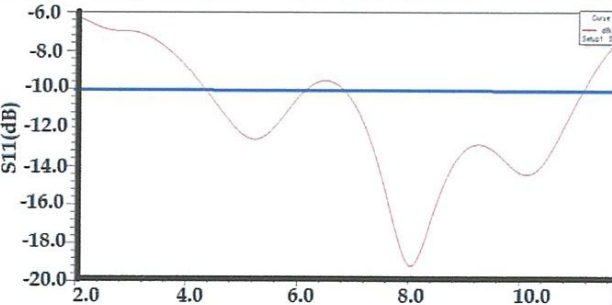
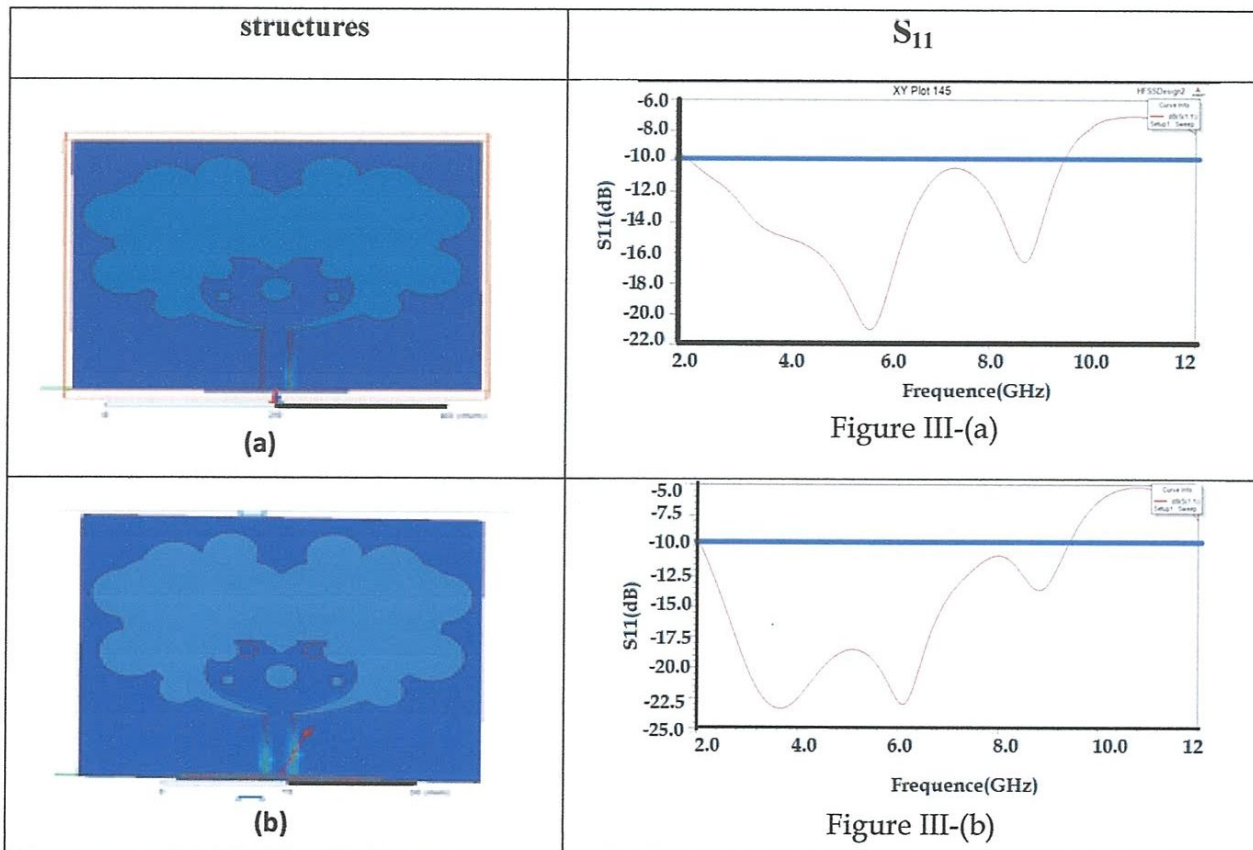
structures	$S_{11}$
 <p>(a)</p>	 <p>Figure III-(a)</p>
 <p>(b)</p>	 <p>Figure III-(b)</p>
 <p>(c)</p>	 <p>Figure III-(c)</p>

Tableau III.5 Modification sur le plan de masse et le patch

D'après les figures du tableau III-5, on remarque que notre antenne après beaucoup d'opération de coupage les résultats sont proches. Dans la figure (a) et (b) l'antenne conserve le caractère ULB sous la plage [3.1-10.6] GHz, mais dans la figure (c) l'antenne ne conserve pas le caractère ULB, car il y a une désadaptation dans la bande basse de l'ULB entre [3.1-7] GHz.

### III.4.4 Amélioration des performances de l'antenne

Afin d'améliorer les performances de notre antenne ULB, nous avons fait des modifications sur le plan de masse et le patch, les résultats sont comme suite :



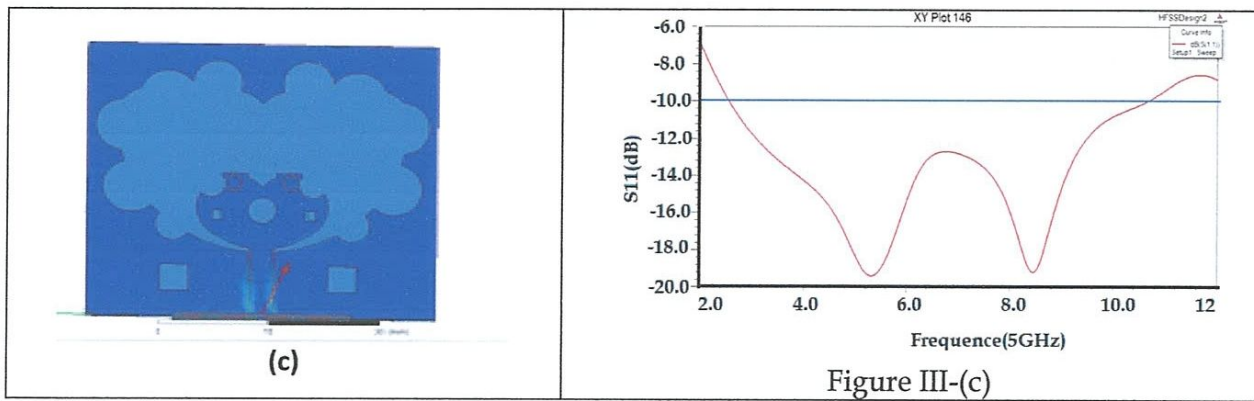


Tableau III.6 Modification en ajoutant des carrés et des trous

D'après ce tableau III-6 :

- Dans la figure (a) lorsqu'on ajoute des petites carrés coupés sur le patch le  $S_{11}$  de l'antenne est amélioré sous la plage [3.1-9.2] GHz et arrive jusqu'à -11dB mais il se dégrade dans la plage [9.2-10.6] GHz.
- Dans la figure (b) et après l'ajout des trous sur le patch, le  $S_{11}$  reste pratiquement le même que la structure (a) pas d'influence des trous.
- Dans la figure (c) en ajoutant des carrés coupés sur le plan de masse. Enfin le  $S_{11}$  est amélioré sur toute la bande [3.1-10.6], donc cette structure est bien adaptée et vérifie le caractère ULB. Par conséquent, nous allons valider cette géométrie pour la suite de notre étude.

### III.5 Etude paramétrique

Le point important de notre travail est cherché de trouver les meilleurs résultats de simulation et les meilleures performances de notre antenne ULB. C'est pour ça nous avons fait une étude paramétrique sur notre géométrie déjà choisie. Les résultats de simulation sont les suivants :

### III.5.1 Effet de la longueur de la ligne du patch

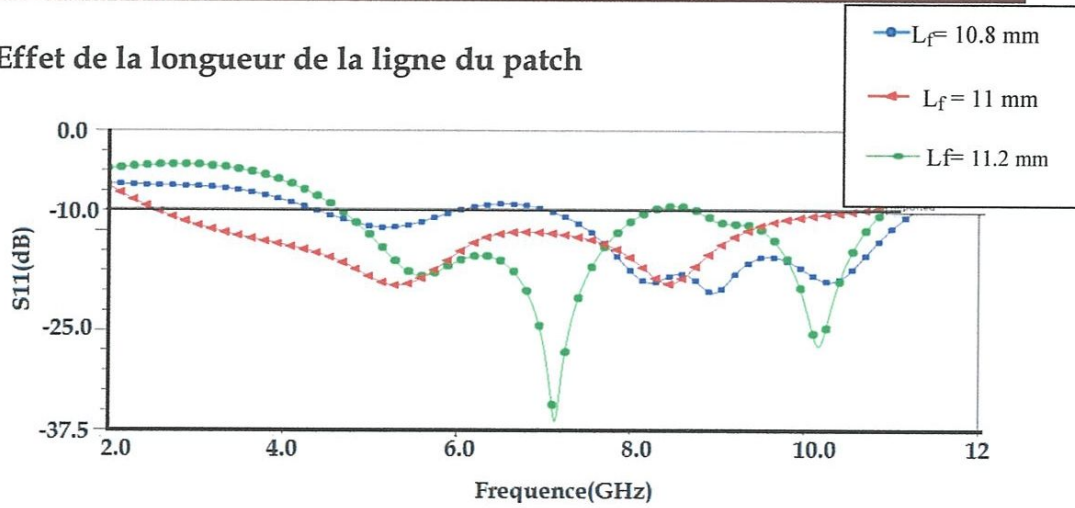


Figure III.4  $S_{11}$  pour différents langueur de ligne

La figure III.4 présente le  $S_{11}$  de l'antenne à chaque langueur de ligne.

- Pour la langueur  $L = 10.8$  mm : la gamme de fréquence  $< -10$  dB est [4.4-11.2 GHz].
- Pour la langueur  $L = 11$  mm : la gamme de fréquence  $< -10$  dB est [2.5-10. GHz].
- Pour la langueur  $L = 11.2$  mm : la gamme de fréquence  $< -10$  dB est [4.8-10.8 GHz].

Par conséquent, cette figure montre que la langueur de la ligne  $L = 11$  mm est la meilleur, car le caractère ULD [3.1-10.6 GHz] est vérifié, réciproquement, le caractère ULB avec les autres langueurs n'est pas vérifié.

### III.5.2 Effet du rayon r du patch

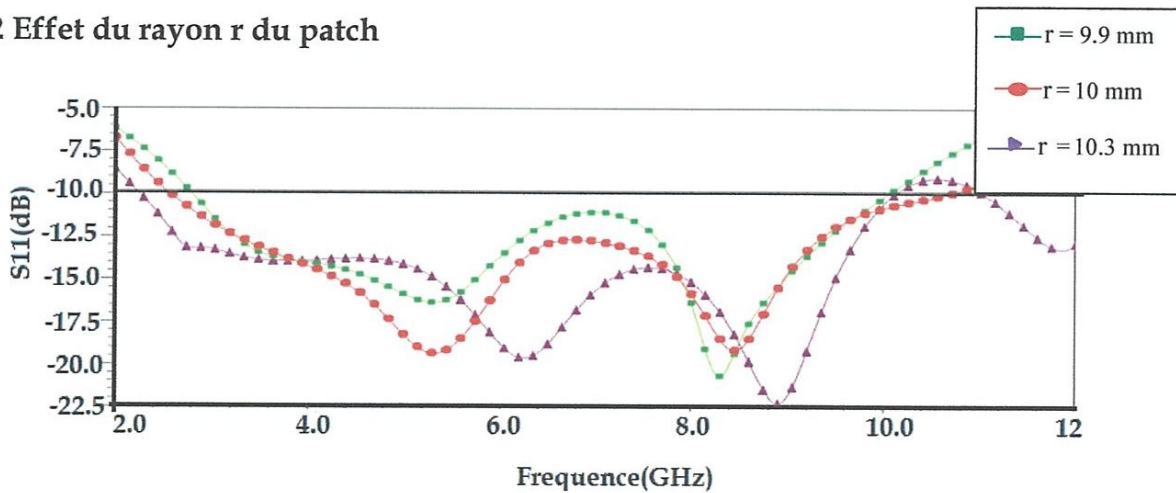


Figure III.5  $S_{11}$  pour différents rayons du patch

La figure III.5 s'avère que :

- Pour un rayon de patch  $r = 9.9$  mm le  $S_{11}$  est  $< -10$  sur la gamme de fréquence [2.8-10 GHz].
- Pour un rayon de patch  $r = 10$  mm le  $S_{11}$  est  $< -10$  sur la gamme de fréquence [2.5-10.8 GHz].
- Pour un rayon de patch  $r = 10.3$  mm le  $S_{11}$  est  $< -10$  sur la gamme de fréquence [2.3-10.1 GHz].

Donc, cette figure montre que le rayon de patch  $r = 10$  mm est le seul qui vérifie le caractère ULB [3.1-10.6 GHz].

### III.5.3 Effet du rayon R de plan de masse

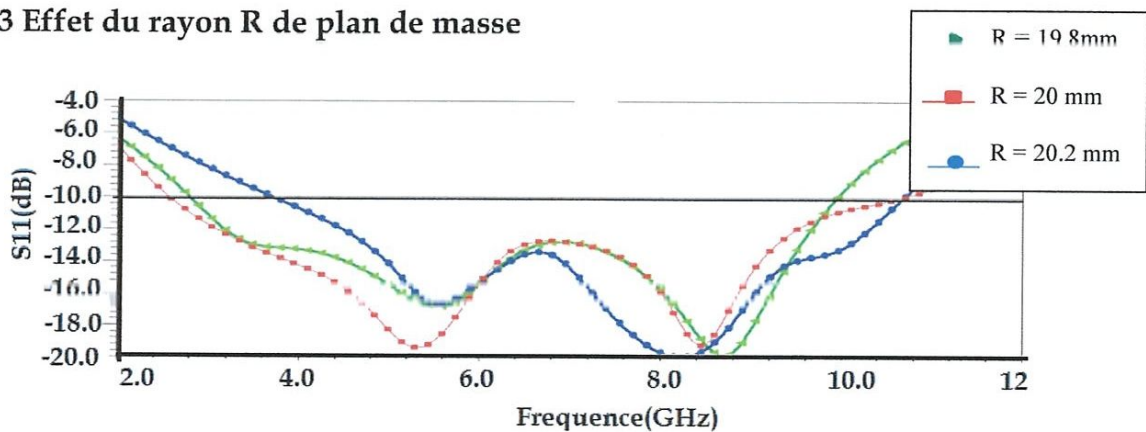


Figure III.6  $S_{11}$  pour différents rayons du plan de masse

La figure III.6 montre que à chaque fois nous changeons le rayon de plan de masse le  $S_{11}$  change tel que :

- Lors que le rayon  $r = 19.8$  mm le  $S_{11}$  est  $< -10$  dB sur la gamme de fréquence [2.8-9.9 GHz].
- Lors que le rayon  $r = 20$  mm le  $S_{11}$  est  $< -10$  dB sur la gamme de fréquence [2.5-10.8 GHz].
- Lors que le rayon  $r = 20.2$  mm le  $S_{11}$  est  $< -10$  dB sur la gamme de fréquence [3.9-10.75 GHz].

Nous concluons que, le rayon  $r = 20$  mm est le rayon optimisé pour que l'antenne garde le caractère ULB.

### III.5.4 Effet des dimensions de substrat

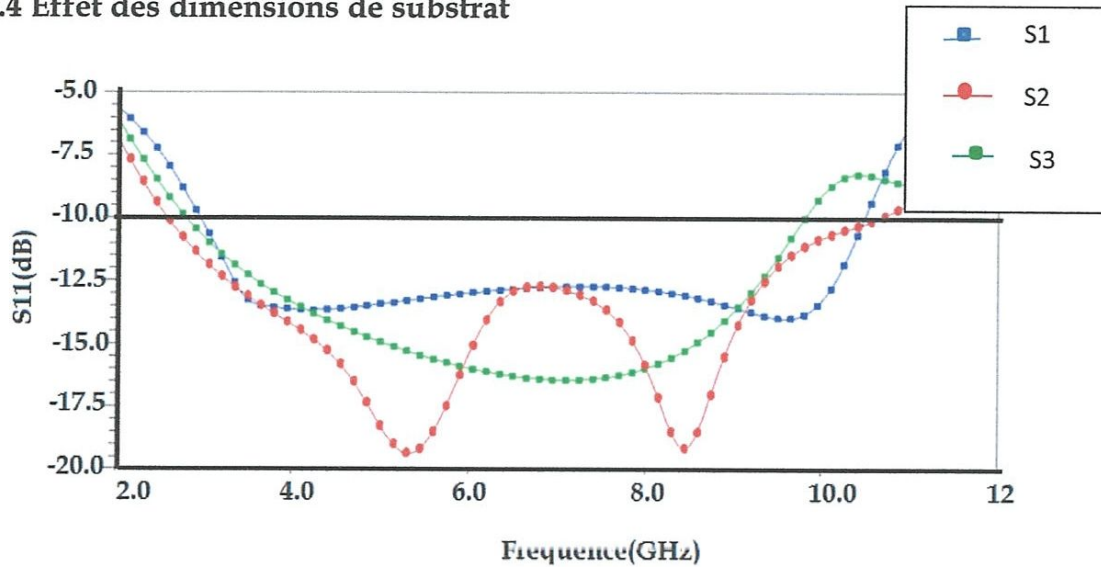


Figure III.7  $S_{11}$  pour les différentes dimensions du substrat

Paramètre (Largeur x hauteur)	S1	S2	S3
Dimension du substrat (mm <sup>2</sup> )	47.2 x 41.1	48.2 x 42.1	49.2 x 43.1

Tableau III.7 Les différents Dimension du substrat

D'après la figure III.7 et le tableau III-8 on remarque que :

- L'antenne de dimensions S1 est  $< -10$  dB sur la gamme de fréquence [3-10 GHz].
- L'antenne de dimensions S2 est  $< -10$  dB sur la gamme de fréquence [2.5-10.7 GHz].
- L'antenne de dimensions S3 est  $< -10$  dB sur la gamme de fréquence [2.8-9.9 GHz].

Ce qui indique que l'antenne de dimensions S2 (48.2 x 42.1) est l'antenne optimisée.

### III.5.5 Effet de l'alimentation microstrip

Pour ajuster les performances de notre antenne, il est conseillé d'étudier la position du plan de masse dans les deux cas : plan de masse en sur le même plan du patch (CPW) ou bien plan de masse dans la face dessous du substrat. Le tableau suivant présente le résultat de simulation dans le cas du plan de masse en arrière comme montre la figure (a) dans le tableau III.8 :

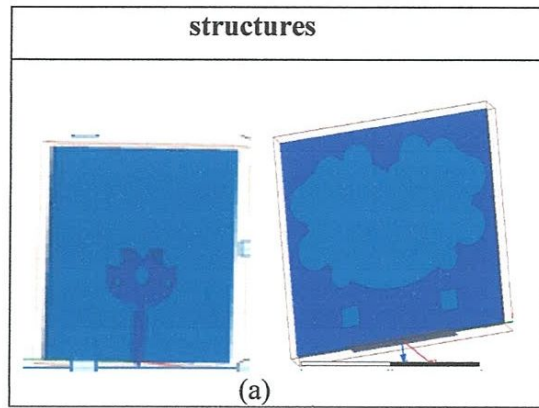


Tableau III.8 Position du plan de masse en arrière (alimentation microstrip)

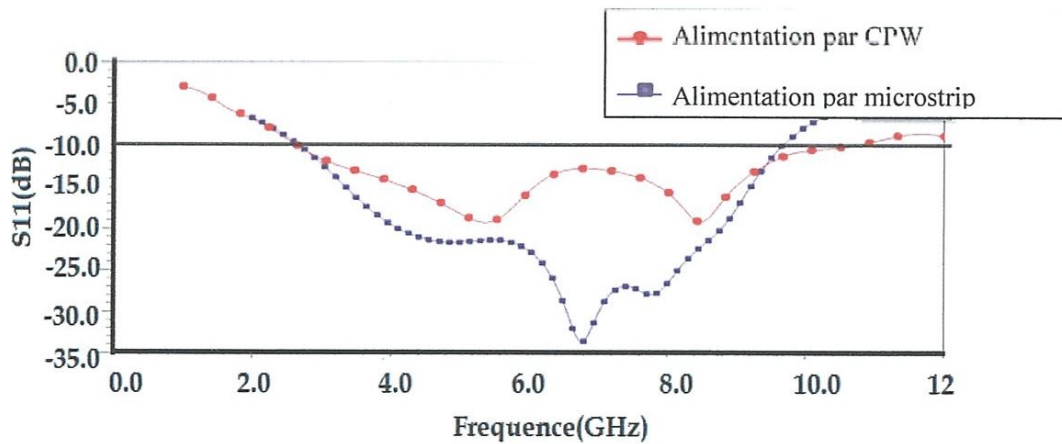


Figure III.8 Différence entre le  $S_{11}$  avec alimentation CPW et alimentation microstrip

La figure III-8 montre que l'antenne avec le plan de masse en arrière est super bien adapté que le plan de masse en avant, mais la bande de fréquence incomplète [2.8-9.8 GHz], ce qui rend l'antenne CPW le meilleur car il est adapté sur toute la gamme de fréquence [2.8-10.8 GHz].

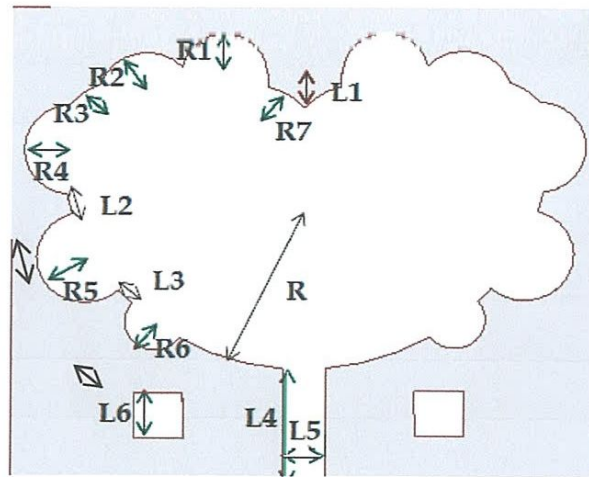
### III .6 L'antenne optimisée

La précédente partie, relative à l'étude de notre antenne ULB, a permis de mettre en évidence le rôle des paramètres critiques sur les différentes caractéristiques de l'antenne, nous pouvons déduire une antenne ULB optimisée fonctionnant dans la bande fréquentielle [3.1-10.6 GHz]. Avec des niveaux d'adaptation en dessous -10 dB. L'antenne est constituée de dimensions de (42.1 x 48.2) mm, (FR4,  $\epsilon_r = 4,4$ , indice de perte de 0,017 et  $H = 1,55$  mm

d'épaisseur) alimenté par une ligne microruban de 50 ohms de largeur  $W_f = 3\text{mm}$ , Le plan de masse avec la fente est imprimé sur la face supérieures de même dimension que l'antenne. Une étude paramétrique de l'antenne proposée à fente UWB sur les principaux paramètres du la fente dans le plan de masse et la structure de talon d'alimentation sont optimisées, La bande passante de fréquence (2.5-10.7) GHz a été trouvée pour un rayon  $R = 20\text{mm}$  et les valeurs optimales des paramètres  $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7, L_1, L_2, L_3$  et  $L_4$ . Ces valeurs sont présentées dans le tableau III.9 ci-dessous.

Paramètre	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	L1	L2	L3	L4	L5	L6
Valeur optimale (mm)	4	4	2	4	4	2.5	3	3	1.72	1.57	10	3.3	4

**Tableau III.9** Valeurs optimales des paramètres de la fente



**Figure III.9** Géométrie de l'antenne UWB à fente

Le talon d'accord de l'antenne à fente est également défini par le rayon  $R_t = 10\text{ mm}$  et les paramètres  $r_1, r_2, r_3, r_4, a_1, a_2, l_1, l_2, w_1$  et  $w_2$ , comme le montre le tableau III.10 la figure III-10.

paramètre	$r_1$	$r_2$	$r_3$	$r_4$	$a_1$	$a_2$	$l_1$	$l_2$	$w_1$	$w_2$
Valeur optimale (mm)	2	2	1.15	5	4	1.5	11	0.15	3.5	3

**Tableau III.10** Valeur optimale du talon de l'antenne UWB à fente



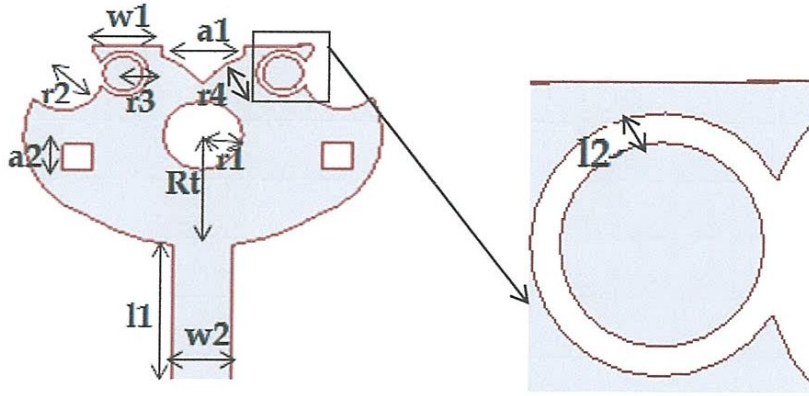


Figure III.10 Géométrie de stub de l'antenne UWB à fente

### III.6.1 Changement du substrat

Pour obtenir des résultats performants, il faut trouver les meilleures conditions de performance, l'un des conditions nécessaires est la nature du substrat. Dans cette partie on va comparer entre l'utilisation du deux substrats avec une permittivité différente le FR4 ( $\epsilon_r=4.4$ ) et le Duroid ( $\epsilon_r=2.2$ ).

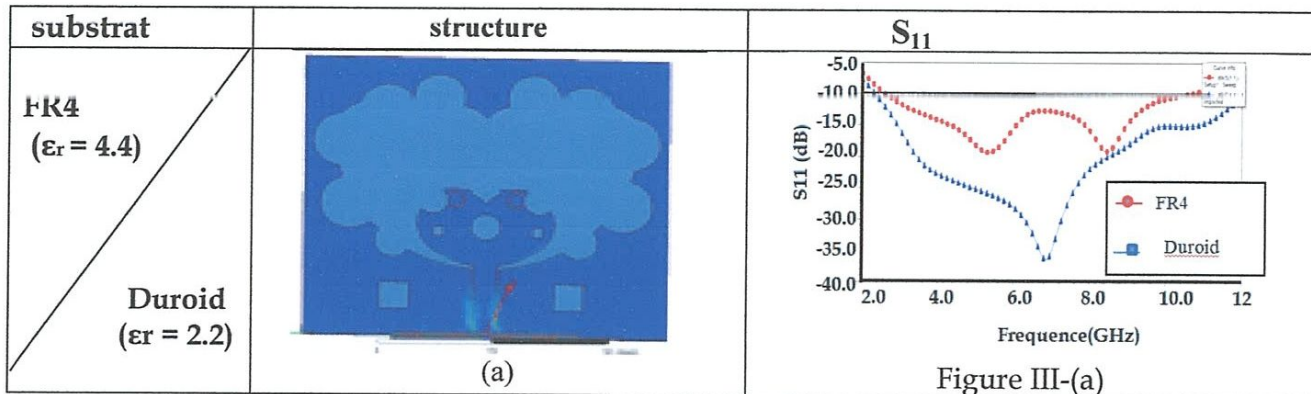


Tableau III.11 Comparaison du  $S_{11}$  entre les deux substrats.

Le tableau III.11 présente :

- La structure simulée sur le FR4 est bien adaptée dans la plage 3.1-10.6GHz
- La structure simulée sur le duroid est bien adaptée dans la plage 2.4-12GHz

Par conséquent, ce tableau III-7 montre que le coefficient de réflexion  $S_{11}$  de l'antenne simulée sur Duroid est bien meilleur que celui du FR4 en termes de largeur de bande. Pour la suite notre étude nous allons adopter le duroid comme substrat.

### III.6.2 Comparaison ente l'antenne optimisé et l'antenne de base

Afin de valider notre simulation, il faut comparer les résultats obtenus par la simulation de l'antenne optimisée avec celles de l'antenne de basse.

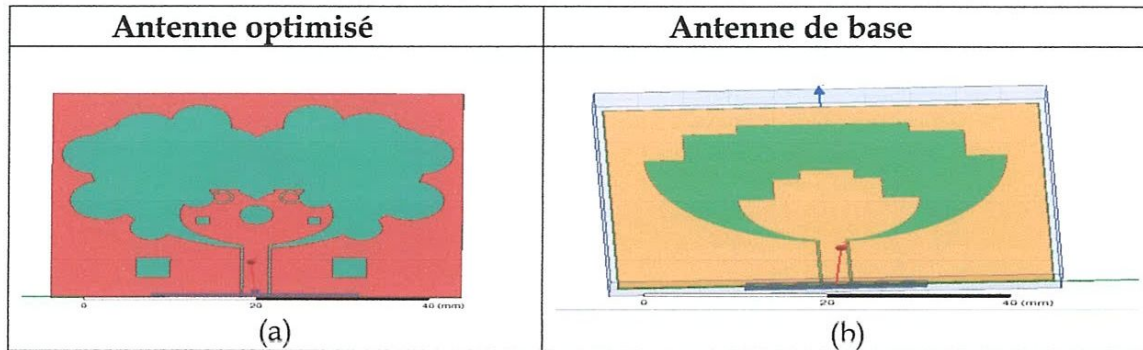


Tableau III.12 Comparaison des antennes (a) optimisée et (b) de base

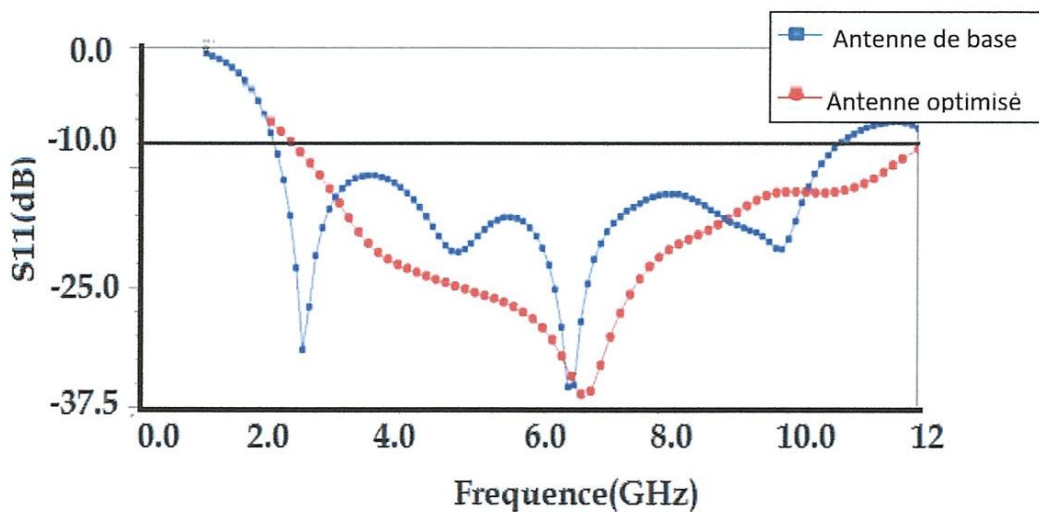


Figure III.11 Comparaison entre le S<sub>11</sub> du l'antenne de base et optimisé

Figure III.11 montre que l'antenne optimisé sur Duroid est bien mieux que l'antenne de base du FR4. Tel que le S<sub>11</sub> du Duroid est inférieur à -15 dB dans toute la gamme de fréquence [3.1-12] GHz, alors que le S<sub>11</sub> du FR4 est inférieur à -13dB dans une partie de cette gamme. On remarque aussi que l'antenne optimisé sur Duroid a une gamme de fréquence supérieure de 2GHz environ que l'antenne de base.

### III.7 Réalisation et mesure de l'antenne UWB

#### III.7.1 Réalisation d'antenne

La réalisation de la structure est faite dans notre laboratoire des circuits imprimés du département d'électronique et télécommunication (Université 08 mai 1945). Pour cela en va vous présenter l'outil de réalisation, c'est une machine ProtoMat S103 alimenté avec un logiciel qui s'appelle Circuit Pro.

##### a) Description du matériel

Le graveur de circuits imprimés LPKF ProtoMat S103 pour le prototypage de circuits imprimés et la production de petites quantités, est configuré spécifiquement pour les exigences des applications RF et micro-ondes. Le limiteur de profondeur pneumatique sans contact permet en outre le traitement des substrats tendres et flexibles dotés de surfaces fragiles. Le ProtoMat S103 permet également de dégrapper soigneusement les circuits imprimés flexibles aux formes irrégulières hors des circuits plus grands.



Figure III.12 la machine Protomat S103

Tous les graveurs de circuits imprimés LPKF sont équipés de puissants logiciels systèmes permettant la conversion des données de topologie dans les circuits imprimés : ils récupèrent les données des logiciels de conception, les éditent pour la production, les décomposent en étapes de procès, et guident les utilisateurs, étape par étape, dans le processus de fabrication. Le LPKF Circuit Pro est capable d'importer tous les formats d'échange de données, offre un grand éventail d'options d'édition et permet de contrôler les graveurs de circuits imprimés. En

outre, le logiciel a la possibilité de produire des stencils pour des vernis épargnes et des calques d'assemblage. Le LPKF Circuit Pro Lite est une version simplifiée du LPKF Circuit Pro pour les graveurs de circuits imprimés LPKF d'entrée de gamme. [III.3]

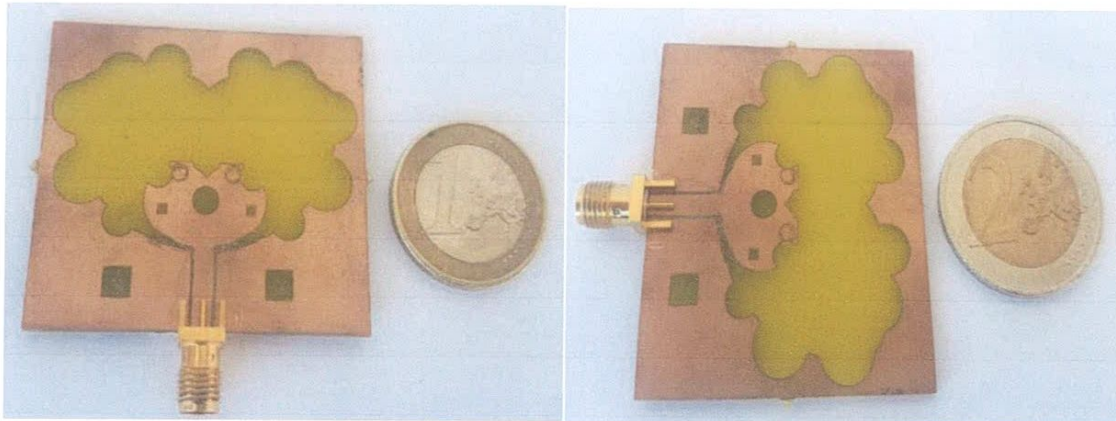
➤ **Défauts de fabrication**

Nous avons entamé la réalisation de notre antenne sur un substrat RT/Duroid de ROGERS Corporation malheureusement la structure fabriquée présente beaucoup de défauts de fabrication et de précisions comme montre la photo suivante



**Figure III.13** L'antenne UWB à fente réalisée sur le Duroid

Par obligation la réalisation finale de notre antenne est effectuée sur le substrat FR4 comme montre la photo suivante



**Figure III.14** L'antenne UWB à fente réalisée sur le FR4

### III.7.2 Mesure expérimentale

#### a) Mesure du coefficient de réflexion

La mesure est réalisée par un analyseur de réseau ZNB 20-VECTOR NETWORK ANALYZER de 100 kHz à 20GHz disponible dans notre département (figure III.15).



Figure III.15 ZNB 20-VECTOR NETWORK ANALYZER-100 kHz-20GHz

Nous avons tracé le coefficient de réflexion S11 de notre antenne ULB à fente.

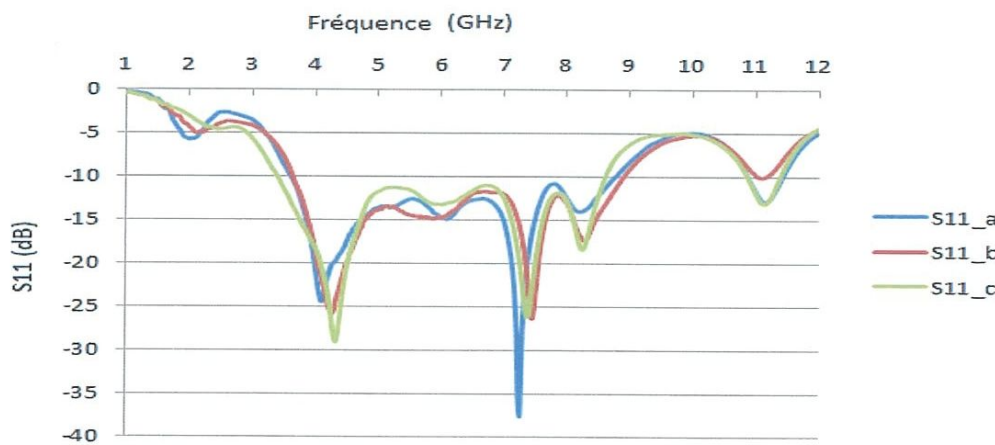


Figure III.16 Des différentes mesures de l'antenne UWB réalisée

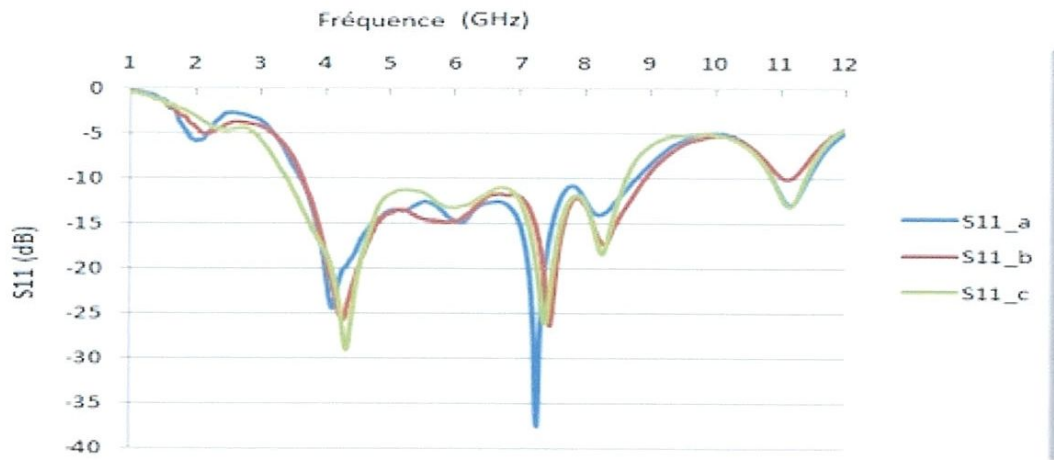


Figure III.16 Des différentes mesures de l'antenne UWB réalisée

La figure III.16 présente les mesures dont nous avons fait, afin d'obtenir une meilleure mesure de notre antenne UWB. Cette figure montre que les mesures que nous avons obtenues sont très proches, par conséquent nous avons choisi le résultat le plus proche du résultat de la simulation, de sorte que le résultat est plus large en termes de gamme de fréquence est inférieur à -10.

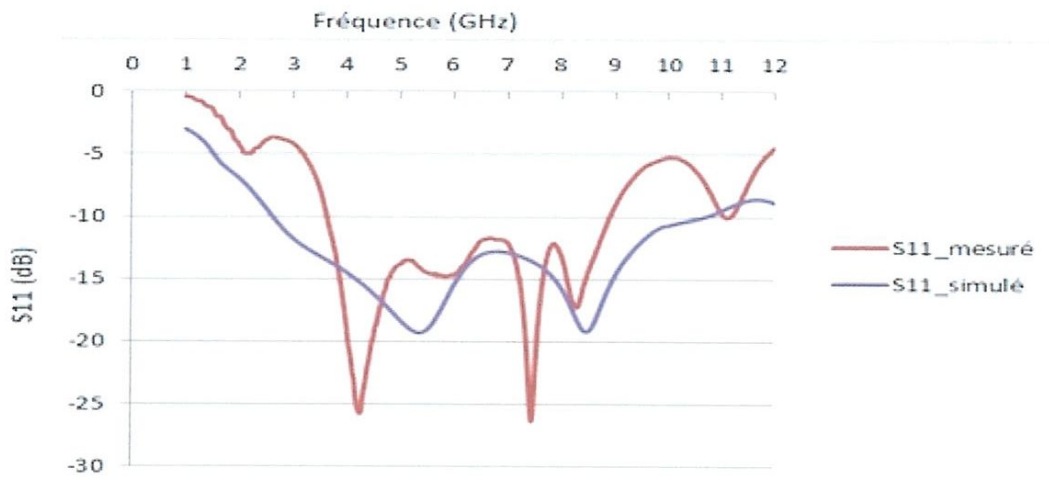


Figure III.17 Comparaison entre le  $S_{11}$  simulé et mesuré

On remarque d'après cette figure III.17 que les résultats de mesure et simulation sont assez concordants en termes de l'ULB ; l'antenne réalisée présente une réduction par rapport à l'antenne simulée dans la bande haute de l'ULB, de telle sorte que la gamme de fréquence est de [3.5-9 GHz] environ. Cette différence est peut-être liée au défaut de précision de la machine à gravure lors de la fabrication.

b) Mesure du digramme de rayonnement



Figure III.18 Les appareils de mesure de diagramme de rayonnement

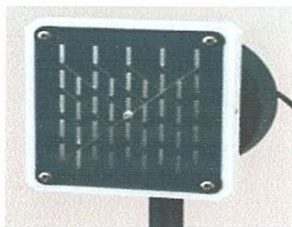


Adaptateur N – SMA



N – SMA à l'aide de la ligne additionnelle

Figure III.19 Adaptateur N – SMA



(Polarisation verticale)



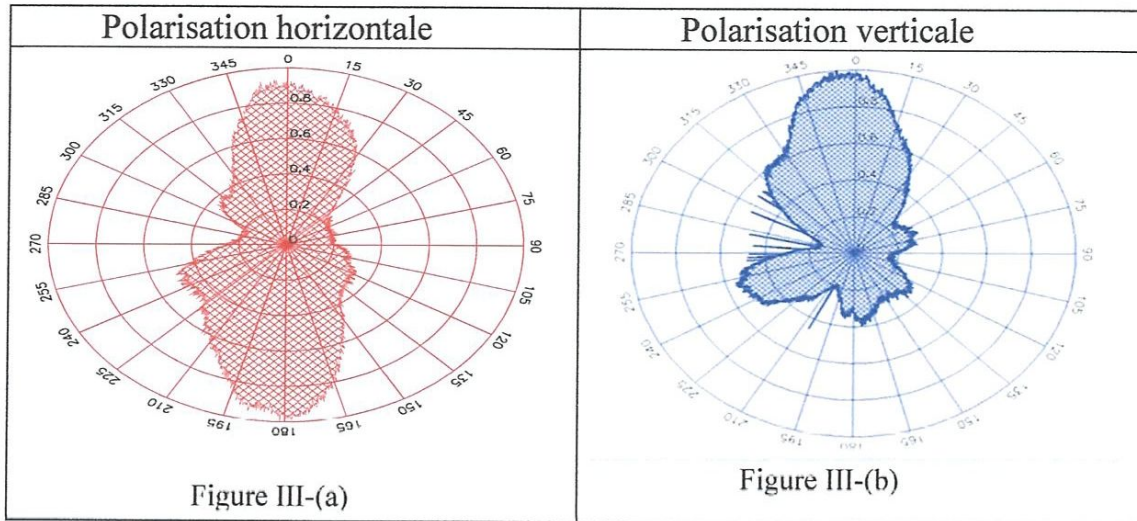
(Polarisation horizontale)

Figure III.20 Récepteur de mesure

Nous avons fait cette mesure :

- Pour une fréquence 8.5 GHz.
- Nous avons effectué les mesures dans deux positions (verticale, horizontale)

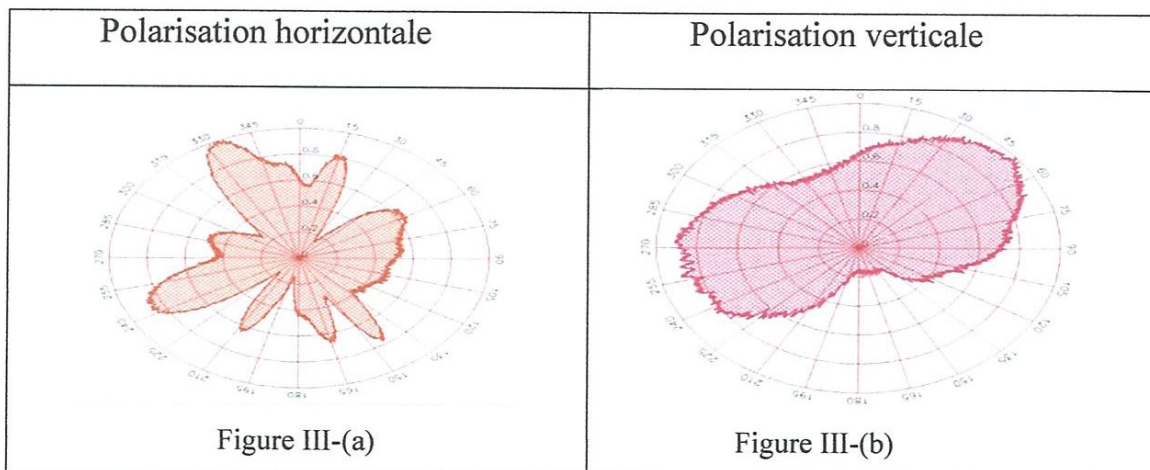
- Antenne UWB en position horizontale :



**Tableaux III.13** Diagramme de rayonnement d'antenne UWB en position horizontale

Dans le cas Co-polarisation (figure III-(a)) on peut dire que l'antenne est bidirectionnelle avec une concentration de puissance en deux parties du plan horizontal. Réciproquement dans le cas Cross-polarisation (figure III-(b)) on peut dire que cette antenne est directive avec une concentration de puissance dans une partie du plan verticale (lobe principale entre 15° et 345°) et des lobes secondaires qui sont généralement des lobes parasites.

- Antenne UWB en position verticale :



**Tableaux III.14** Diagramme de rayonnement d'antenne UWB en position verticale



D'après la figure III-(a) l'antenne est presque équi-directive avec des atténuations dans quelques angles dans le cas d'une polarisation horizontale. La figure III-(b) montre que l'antenne est quasi-omnidirectionnelle qui rayonne dans toutes les directions sauf une seule direction de  $120^{\circ}$ - $195^{\circ}$ .

Les résultats obtenus par la simulation de diagramme de rayonnement autour la même fréquence 8.5 GHz que les diagrammes de rayonnement mesurés sont :

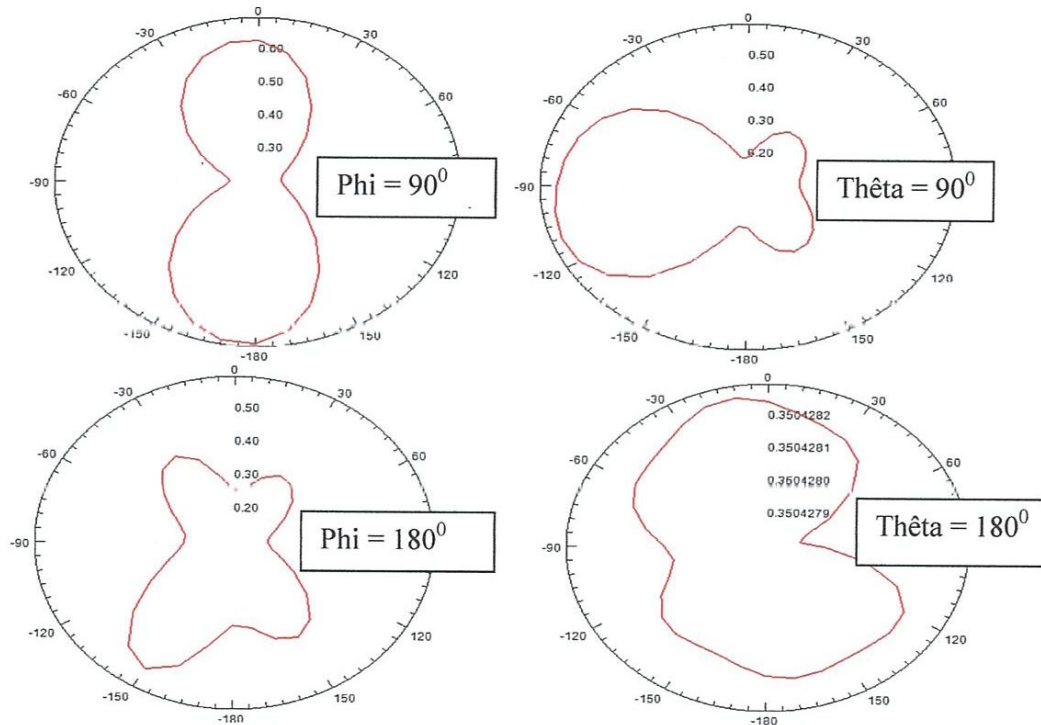


Figure III.21 les diagrammes de rayonnements simulées

D'après l'observation des tableaux (III.13 et III.14) et de la figure III.21 qui présentent les diagrammes de rayonnements mesurés, ainsi que les diagrammes de rayonnements simulés, nous remarquons que ces diagrammes des rayonnements ont la même forme de distribution d'énergie dans les deux plans (horizontale et verticale) environ.

### III.8 Antenne UWB à filtre

L'antenne ULB rayonne dans toute la bande de fréquence [3.1-10.6 GHz], mais il y a des technologies qui interfère sur cette bande exemple : les satellites fixes et hyper LAN figure III.23. Pour éviter ces interférences, nous pouvons intégrer des filtres sur notre structure d'antenne ULB. Le filtre proposé est sous la forme d'un rectangle coupé à l'intérieure de de la ligne d'alimentation du patch comme montre la figure III.21.

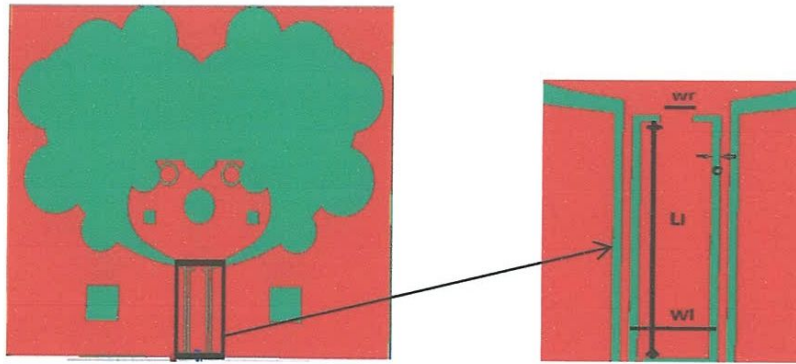


Figure III.22 l'antenne avec un filtre dans la ligne d'alimentation

Lorsqu'on simule cette antenne à filtre, le résultat de simulation présente une dégradation sur le S11 arrive jusqu'au -2 dB dans la fréquence 4GHz. La figure III.21 présente le S11 après quelques changements sur la longueur de ligne de filtre.

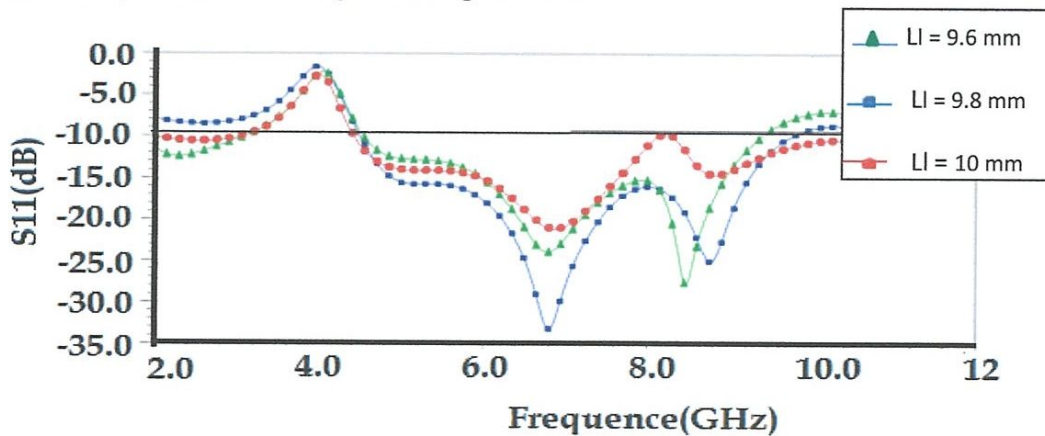


Figure III.23 Différents S11 de l'antenne à filtre

Le tableau III.13 présente les valeurs optimale du filtre :

Paramètre	Ll	Wl	Wf	c
Valeur optimale (mm)	9.8	2.5	0.9	0.25

Tableau III.15 Les valeurs optimale du filtre

Donc les résultats précédents montrent que cette antenne ULB à filtre ne rayonne pas autour de la fréquence 4 GHz, c'est-à-dire la bande de 4 GHz est supprimée. Comme nous avons mentionné déjà que cette bande autour de 4GHz est utilisée dans les applications des satellites

fixes (figure III.23). Donc la structure proposée de notre antenne filtre pourra aider à éliminer les interférences causés par les satellites fixe.

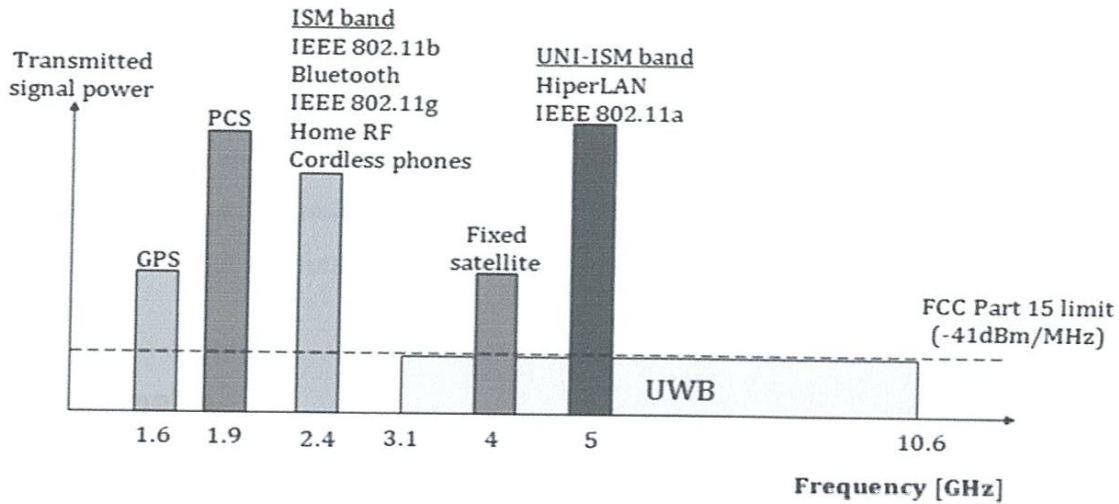


Figure III.24 Coexistence du système UWB et des autres systèmes à bande étroite

### III.9 Conclusion

Dans ce chapitre, la simulation, la fabrication et la mesure du modèle proposé sont présentées et discutées en détail. En général les résultats des mesures montrent que le modèle proposé satisfait les critères demandés par les applications ULB. Un accord entre les résultats obtenus par la simulation et ceux obtenus par la mesure a été obtenu. Quelques petites différences en termes de largeur de bande qui peuvent être justifiées par le défaut de fabrication et de précision. Pour les diagrammes de rayonnement les mesures sont effectuées à la fréquence 8.5GHz, cette fréquence est située à la limite de l'adaptation de notre antenne (3.5-9 GHz) ce qui explique la dégradation de la mesure. Une nouvelle proposition d'une antenne ULB à filtre afin de supprimer les interférences dans la gamme ULB. La simulation présente des résultats encourageants en termes de filtrage autour de la fréquence 4GHz.

## Conclusion générale

Les travaux exposés dans ce mémoire s'inscrivent dans le domaine de conception des antennes pour système Ultra Large Bande dans un spectre fréquentielle allant de 3.1-10.6 GHz, qui est destinée principalement à des applications en communications et messagerie.

L'élaboration de notre travail nous a permis d'étudier des nouvelles antennes ULB, ce sont les antennes ULB à fente avec des nouvelles géométries. Ces travaux sont développés au sein de notre département d'électronique et télécommunication Université 8 mai 1945 (laboratoire des circuits imprimés pour la réalisation et laboratoire 1 de télécommunication pour la mesure de l'adaptation et le rayonnement).

Dans le premier chapitre nous avons présenté la technologie Ultra Large Bande, ainsi qu'un état de l'art sur les antennes ULB possédant des caractéristiques d'adaptation sur de très large bande de fréquence, et les différentes applications adaptées au système Ultra Large Bande.

Pour le deuxième chapitre nous avons fait un aperçu sur l'antenne ULB, et les différentes caractéristiques électriques d'une antenne ULB, ensuite nous avons cité quelques méthodes de simulation d'antennes.

Dans le troisième chapitre, une antenne a été alors choisie dans notre étude, l'antenne à fente. Pour effectuer notre étude, nous avons fait appel à un logiciel de conception le HFSS, les résultats obtenus, ont permis d'identifier les paramètres géométriques importants affectant l'adaptation, tel que le plan de masse, l'élément rayonnant et la ligne d'alimentation. Dans la deuxième partie nous avons effectués la réalisation du modèle optimisé de notre antenne par la machine à gravure mécanique ce qui nous a permis de faire des mesures expérimentales à savoir le coefficient de réflexion le diagramme de rayonnement. L'antenne réalisée dans ce projet de type ULB à fente présente un caractère ULB d'une bande passante =5.5GHz et un rayonnement quasi omnidirectionnelle.