



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique

Université de Hamma Lakhdar El-Oued

Faculté de la technologie

Département de Génie Electrique



Domaine : Sciences et Technologies

Spécialité : Systèmes de Télécommunications

MEMOIRE

Présenté par

M. Souici Laid & M. Nesri Bilal

POUR OBTENIR LE DIPLOME DE MASTER

Intitulé du mémoire :

Conception et simulation d'une antenne Ultra Large Bande

Présenté devant le jury composé de:

M. ADJGOU Riadh

Président

MCA.

M. GHENDIR Said

Examineur

MCB.

M. CHEMSA Ali

Rapporteur

MCA.

Promotion : Juin 2018



Remerciements

Nous tenons à remercier premièrement « ALLAH », le tout puissant pour la volonté, aussi nos parents qu'ils nous ont donné le soutien durant toutes ces longues années.

Ainsi, nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements à notre encadreur Mr. Chemsali et Mr. Bali Cherif Maître-assistant. Nous les remercions pour nous avoir fait bénéficier de leurs grandes connaissances scientifiques ainsi que pour le temps, la patience qu'ils nous ont accordés et les précieux conseils. Et l'orientation de nos travaux tout en sachant nous guider. On tiens à souligner la qualité de leurs observations pertinentes, leur grande rigueur scientifique et leur investissement dans cette étude.

Nous tenons à remercier également les membres du jury qui ont accepté de juger notre travail, la Mr. Hettiri Messaoud , Mr. Ghendir Said et Mr . Adjgou Riadh.

En fin, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous nos amis et collègues pour leur soutien moral.



Dédicaces

*Ce travail est dédié particulièrement à mes très
chers parents, qui m'ont accompagné, aidé, soutenue
et encouragé tout au long de ma vie :*

mon Père & ma Mère.

A tous mes frères et sœurs.

A tous les membres de la famille.

A mes meilleurs amis.

A mon binôme LAID.

A Tous ceux que j'aime et je respecte.

N.BILLEL

Dédicaces

J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail :

*A ma très chère mère, qui me donne toujours l'espoir
de vivre et qui n'a jamais cessé de prier pour moi.*

*A mon très cher père, pour ses encouragements, son
soutien, surtout pour son sacrifice.*

*A mes très chers frères et sœurs. A toutes mes
tantes et oncles, cousins et cousines.*

A toute ma grande famille.

A mes chères amies chacun à son nom

A tous ceux qui me sont chères.

*A tous ceux qui m'aiment. A tous ceux que
j'aime.*

S.LAID

RESUME

Dans le cadre de notre mémoire, nous avons étudié la technologie des antennes ultra large bande .

Nous avons proposé une antenne patch carrée implémenter sur un plan de masse partiel, alimenté par une ligne micro-ruban. La simulation de cette antenne a été effectuée en utilisant le logiciel de conception (HFSS), puis une comparaison a été fait par un autre logiciel de conception (CST).

Mots clés : antenne patch, technologie Ultra large bande, HFSS, CST.

الملخص

في إطار هذه المذكرة، قمنا بدراسة تكنولوجيا الهوائيات ذات النطاق لتردد العريض جدا.

قمنا باقتراح هوائي يتكون من رقعة مشعة مربعة الشكل مع أساس مسطح جزئي ويتغذى بخط شريطي. محاكاة هذا الهوائي أجريت باستخدام برنامج المحاكاة (HFSS) وبعد ذلك تم إجراء مقارنة مع برنامج محاكاة آخر (CST)

كلمات البحث: هوائي الشريطي، تكنولوجيا النطاق العريض،

Table des matières

Remerciement	i
Dédicace	ii
Résumé	iv
Table des matieres	v
Liste des figures	viii
Liste des tableaux	x
Liste des abreviations	xi
Introduction générale	1

CHAPITRE I : Généralités sur Ultra Large Bande

I.1. Introduction.....	3
I.2. La technologie Ultra Large Bande.....	3
I.2.1. Généralité sur Ultra Large Bande.....	3
I.2.1.1. Historique	3
I.2.1.2. Définition	4
I.3. Comparaison système ULB/Système à bande étroite	5
I.4. Caractéristique principale d'ultra large bande	7
I.4.1. Capacité de la technologie ULB	7
I.4.2. Problem de la propagation par trajet multiples.....	7
I.4.3. Communication protégées	8
I.4.4. Architecture simple d'emetteur / récepteur	8
I.4.4.1. Réglementation d'ULB dans le monde	9
I.4.4.1.1 Réglementation aux USA	9
I.4.4.1.2 Réglementation en Europe	10
I.4.4.1.3 Réglementation en Asie	11
I.4.5. Différent types d'application d'ultra large bande.....	12
I.4.5.1. Applications liée au radar	13
I.4.5.2. Applications médicales	15
I.4.5.3. Applications liée aux communications	15
I.4.5.4. Localisation et suivi	16
I.4.5.4.1 Localisation d'objet dans un enterpot	16
I.4.5.4.2 Localisation de personnes	17
I.4.6. Avantages et inconvénients d'antenne Ultra Large Bande	18

I.5	Conclusion	19
CHAPITRE II: Généralités sur les antennes Ultra Large Bande (ULB)		
II.1.	Introduction	20
II.2.	Définition d'antenne	20
II.3.	Généralités sur les antennes	22
II.3.1.	Caractérisation principales des antennes	22
II.3.1.1.	Caractéristique d'adaptation	22
II.3.1.1.1.	Impédance d'entree	22
II.3.1.1.2.	Largeur de bande de fréquence (Bande passante)	23
II.3.1.1.3.	Coefficient de Reflexion S_{11}	24
II.3.2.	Caractéristique de rayonnement.....	25
II.3.2.1.	Diagramme de rayonnement	25
II.3.3.	Les antennes directives (directionnelles)	26
II.3.4.	Les antennes omnidirectionnelles	27
II.3.4.1.	Antenne monopole	28
II.3.4.2.	Antenne dipole	29
II.4.	Les antennes micro-ruban	30
II.4.1.	Rendement	31
II.4.2.	Directivité.....	31
II.4.3.	Gain	31
II.4.4.	Les antennes à fentes imprimées	32
II.4.5.	Conception d'antenne à fente micro-ruban	33
II.4.6.	Différentes techniques d'alimentation.....	34
II.4.6.1.	Alimentation par ligne micro-ruban	34
II.4.6.2.	Alimentation coaxiale	35
II.4.6.3.	Alimentation par couplage par fente	35
II.4.7.	Avantages et inconvénients des antennes micro-ruban.....	37
II.5.	Technique d'élargissement de la Bande passante	38
II.6.	Polarisation	39
II.7.	Les différents types d'antenne ULB	40
II.7.1.	Les antennes indépendantes de la fréquence	40
II.7.1.1.	Les antennes spirales	40

TABLE DES MATIERES

II.7.1.1.1. Les antennes spirales équiangulaire (logarithmique)	40
II.7.1.1.2. Les antennes spirales conique	41
II.7.1.1.3. Les antennes spirales d'Archimède	42
II.7.2. Antennes directives ULB	43
II.7.2.1. Antenne cornet	44
II.7.2.2. Antenne à transition progressive (Vivladi)	44
II.7.2.3. Antenne log-périodique	45
II.7.2.3.1. Antenne log-périodique de forme circulaire	45
II.7.2.3.2. Antenne log-périodique de forme trapézoïdale	46
II.8. Conclusion	47

CHAPITRE III: Simulations et résultats

III.1. Introduction	48
III.2. Définition de logiciel HFSS	48
III.3. Antenne patch	48
III.3.1. Les calculs des dimensions	50
III.4. Simulations et résultats	51
III.4.1. Les résultats obtenus avec logiciel HFSS	51
III.4.1.1. Étude paramétrique	52
III.4.1.1.1. Effet de la géométrie du plan de masse	52
III.4.1.2. Optimisation de l'antenne	54
III.4.1.2.1. Effet de la forme de l'élément rayonnant	54
III.4.1.2.2. Effet de la forme du plan de masse	56
III.4.2.1. Les résultats obtenus avec logiciel CST	57
III.4.2.1.1. Définition de logiciel CST	57
III.4.2.1. Comparaison du résultat obtenu avec HFSS et l'autre de CST	58
III.4.2.3. Diagramme de rayonnement	59
III.5. Conclusion	53
Conclusion générale.....	64
ANNEXE A	65
ANNEXE B.....	70
Bibliographie.....	75

Liste des figures

CHAPITRE I : Généralités sur Ultra Large Bande

Figure I- 1: Schéma simplifié représentant un spectre bande étroite et large bande et Ultra large bande.....	5
Figure I- 2: Comparaison en temporel et fréquentiel d'un signal à bande étroite et d'un signal ULB.....	6
Figure I- 3: Comparaison entre la DSP d'un signal à bande étroite et d'un signal ULB.	6
Figure I- 4: Propagation par trajets multiples.....	7
Figure I- 5: (a) architecture typique d'émetteur/récepteur à bande étroite. (b) exemple d'une architecture d'émetteur/récepteur ULB.	9
Figure I- 6: Masque d'émission autorisé par la FCC en 2002.....	10
Figure I- 7: Régulation des fréquences aux USA (FCC) et en Europe (ETSI)	10
Figure I- 8: Masques spectral proposés en Asie	11
Figure I- 9: Différentes applications de Large Bande	13
Figure I- 10: Application de ULB liées au radar	14
Figure I- 11: Principe de fonctionnement des radars ULB impulsionnels	14
Figure I- 12: a) La détection de l'os, b) Fœtale détecter	15
Figure I- 13: a) Applications intérieur. b) Application extérieur ou intérieur	16
Figure I- 14: Solutions RFID pour localisation d'objets.....	17

CHAPITRE II : Généralités sur les antennes Ultra Large Bande (ULB)

Figure II- 1: Principe de transmission par onde électromagnétique	20
Figure II- 2: Schéma équivalent du dispositif à l'émission	22
Figure II- 3: Exemple du S_{11} d'une antenne en dB en fonction de la fréquence et de la bande passante à -10 dB	24
Figure II- 4: Exemples de diagramme de rayonnement.....	25
Figure II- 5: Diagramme de rayonnement d'un antenne directive.....	26
Figure II- 6: antenne omnidirectionnelles	27
Figure II- 7: Antenne monopole.....	28
Figure II- 8: La géométrie de base d'un dipôle	29
Figure II- 9: Circulation du courant dans un dipôle	29
Figure II- 10: Diagramme de rayonnement d'un dipôle 2D	29
Figure II- 11: Structure d'antenne imprimée.....	30
Figure II- 12: Différentes forme de patch utilisée dans les antennes micro-ruban	30
Figure II- 13: Antennes à fentes	32
Figure II- 14: Alimentation par ligne micro-ruban.....	34
Figure II- 15: Antenne micro ruban alimenté par câble coaxial	35
Figure II- 16: Alimentation par couplage par fente	36
Figure II- 17: Structures modifiées du monopole rectangulaire	38

LISTE DES FIGURES

Figure II- 18: Exemple de polarisation	39
Figure II- 19: L'antenne spirale équiangulaire	41
Figure II- 20: Antenne spirale conique	41
Figure II- 20: Antenne spirale conique	41
Figure II- 21 : (a) Structure de l'antenne à spirale d'Archimède à deux brins, (b) Représentation pratique de l'antenne.	43
Figure II- 22: Différents types de cornets	44
Figure II- 23: Différents type de TSA	45
Figure II- 24: Antenne log-périodique circulaire.....	46
Figure II- 25: Antenne log-périodique de forme trapézoïdale	47

CHAPITRE III : Simulations et résultats

Figure III- 1: Structure typique d'un antenne micro-ruban	49
Figure III- 2: antenne rectangulaire.....	51
Figure III- 3: Coefficient de réflexion en fonction de fréquence.	52
Figure III- 4: Variation de la largeur L_{gnd}	52
Figure III- 5: : Coefficient de réflexion en fonction de fréquence	53
Figure III- 6: Coefficient de réflexion en fonction de fréquence ($L_{gnd}=10.8$ mm)	53
Figure III- 7: Modification de la forme de l'élément rayonnant.....	54
Figure III- 8: Coefficient de réflexion en fonction de fréquence	55
Figure III- 9: Coefficient de réflexion en fonction de fréquence ($L_{slot1}=3.3$ mm)	55
Figure III- 10: : Modification de la forme de plan de masse	56
Figure III- 11: Coefficient de réflexion en fonction de fréquence	50
Figure III- 12: Structures de l'antenne simulée par logiciel CST	57
Figure III- 13: Coefficient de réflexion $S_{1,1}$ de la structure optimisée obtenus par CST.....	58
Figure III- 14: Diagramme de rayonnement à la fréquence 3.6 GHz	60
Figure III- 15: Diagramme de rayonnement à la fréquence 7.54 GHz	61
Figure III- 16: Diagramme de rayonnement à la fréquence 10.95 GHz	62

Liste des Tableaux

CHAPITRE I : Généralités sur Ultra Large Bande

Tableau I- 1: Classification fréquentielle des systèmes par FCC3

Tableau I- 2: Bandes de fréquences allouées10

Tableau I- 3: Caractéristique d'Ultra Large Bande16

CHAPITRE II: Généralités sur les antennes Ultra Large Bande (ULB)

Tableau II- 1: Les avantages et les inconvénients d'une antenne micro-ruban 35

CHAPITRE III : Simulations et résultats

Tableau III- 1: Dimensions de l'antenne 49

Tableau III- 2: Dimensions de l'antenne optimisée 52

Tableau III- 3: Résultats de comparaison entre HFSS et CST 56

Liste des abréviations

ULB : Ultra Large Bande

CPW : Coplanar Waveguide

RF : Radio Fréquence

FCC: Federal Communications Commission

DSP : Densité Spectrale de Puissance

SNR : Rapport Signal à Bruit

EIRP: Equivalent Isotropically Radiated Power

ETSI: European Telecommunications Standards Institute

MIC: Ministry of International affairs and Communications

ETRI: Electronics and Telecommunications Research Institute

WIMAX : Worldwide Interoperability for Microwave Access

3G et 4G : Troisième et Quatrième Génération

WPAN: Wireless Personal Area Networks

RFID: Radio-Frequency Identification

GPR: Ground-Penetrating Radar

TSA: Tapered Slot Antenna

HFSS: High Frequency Structure Simulator

CST-MS: Computer Simulation Technology- Microwave Studio

Wi-Fi: Wireless- Fidelity

WPAN: Wireless Personal Area Network

LISTE DES ABREVIATIONS

WBAN: Wireless Body Area Networks

LAN: Local Area Network

PAN : Personal Area Network

MP3: Mpeg Audio Layer 3

CD /DVD : Disque compact/ Digital Versatile Disc

PC: Personal Computer

Introduction générale

Le domaine des télécommunications a connu un progrès technologique au cours des dernières années, grâce à la forte demande de la population et de l'industrie. Les systèmes de télécommunications Ultra Large Bande jouent un rôle très important dans notre vie quotidienne et ont connu un développement fulgurant marqué, surtout dans le système médical, les communications spatiales, radar, et les applications militaires.

La technique Ultra Large Bande se distingue des systèmes traditionnels par différents atouts majeurs. D'une part, la largeur de bande occupée instantanément par le signal Large Bande conduit à une résolution temporelle très fine permettant d'envisager des applications de localisation et de communications basses ou hauts débits au sein d'un même appareil. D'autre part, la faible densité spectrale du signal permet au système ULB de coexister avec les applications existantes. La technique ULB se caractérise également par la possibilité d'une implémentation simple à faible consommation et faible coût.

Pour répondre aux besoins actuels du domaine des télécommunications, les concepteurs en hyperfréquences sont amenés à élaborer des dispositifs à base des antennes patches. Ces antennes vont assurer une opération d'émission ou de réception des ondes électromagnétiques et présentent des caractéristiques très avantageuses, surtout dans le cas où elles doivent opérer dans des fréquences élevées.

L'objectif de ce mémoire est la Conception et simulation d'antenne ultra large bande. Pour atteindre cet objectif, le présent travail est réparti sur trois chapitres.

Le premier chapitre a pour objectif de présenter la technologie ULB. Ainsi, un bref historique et une description des spécificités des systèmes ULB et ces caractéristiques générales. Ensuite, nous avons présenté différentes applications et les antennes de la technologie ULB.

Le second chapitre a pour objectif de présenter de façon générale les antennes ULB et ces différents types, puis nous avons basé sur les antennes imprimées (micro-rubans). Ainsi les types d'alimentation de ce dernier. La dernière partie pour faire une étude sur la technique d'élargissement de la bande passante

INTRODUCTION GENERALE

Dans le dernier chapitre, nous présenterons une simulation d'antenne patch, et une comparaison des résultats obtenues par les deux logiciels de simulation utiliser dans ce travail, HFSS et CST.

I.1. Introduction

Les techniques dites large bande datent des années 60, utilisées lors d'expérimentations sur l'électromagnétisme et les réponses impulsionnelles de certaines classes de réseaux sans fils. Cependant l'acronyme anglais UWB (Ultra Wide band) n'est apparu qu'au cours des années 80 alors que l'utilisation de cette technique date des années 70 et qu'un brevet est déjà posé depuis 1973 par G.F. Ross.

Ce chapitre sera organisé comme suit. Premièrement généralité sur la technologie Ultra Large Bande. Ensuite la caractéristique d'adaptation et de rayonnement et la polarisation des antennes ULB. Et enfin on a étudié les antennes indépendantes de la fréquence et les antennes directives.

I.2. La technologie Ultra large bande

I.2.1. Généralités sur Ultra large bande

I.2.1.1. Historique

Historiquement, l'utilisation de la technologie ULB remonte à 100 ans, à l'époque où G. Marconi réalise la toute première transmission sans fil longue distance d'un code morse reliant l'île de Wight à Cornwall en Angleterre. Bien que l'utilisation des transmissions à distances sur fil remonte à l'époque du XIXème siècle, les techniques de télécommunications modernes doivent leurs fondements théoriques aux publications de Claude Shannon en 1948.

C'est à cette époque que les systèmes émettant des signaux non sinusoïdaux commencent réellement à être exploités, dans un premier temps dans les systèmes Radar, pour des applications militaires tel que le GPR (Ground Penetrating Radar) pour la surveillance et la détection des mines enfouies dans le sol.

Les systèmes émettant des impulsions brèves ont une bonne capacité de résolution temporelle, puisque la résolution est inversement proportionnel à la largeur de leurs bandes: plus la durée d'un signal est brève plus son spectre est large.

En 1973, Gerald F. Ross et Kenneth W. Robbins déposent pour Sperry Rand corporation le premier brevet sur un système de communications reposant sur l'émission et la réception d'impulsions d'une durée inférieure à la nano-seconde. Ce brevet est considéré comme le premier dans le domaine des communications ULB.

A partir de 1994, les projets américains ne sont plus confidentiels. Ce fait marquera, d'abord les Etats-Unis puis le monde entier avec une augmentation fulgurante des travaux de recherches sur la technologie ULB et suscite ainsi un intérêt important dans la communauté des communications car l'ULB laisse entrevoir la possibilité d'accéder à de très hauts débits. Depuis l'utilisation du terme ULB en 1989 et jusqu'en 2002, l'acronyme ULB désigne: l'impulse radio (IR), c'est-à-dire les techniques basées sur l'émission d'impulsions de très courtes durées soit inférieures à la nanoseconde et présentent un très faible rapport entre la durée de l'impulsion et sa période de répétition. Par conséquent, on a un signal dont la largeur de bande est extrêmement grande et possédant une très faible densité spectrale de puissance (DSP).[1]

I.2.1.2. Définition

La technologie à ultra large bande (ULB) est une technologie sans fil qui peut être exploitée à très faible densité de puissance pour la communication à des débits de données élevés sur de courtes distances. Elle consiste à utiliser des signaux dont le spectre s'étale sur une large bande de fréquences. admet qu'un signal est considéré ULB lorsque le rapport (**FB** : Fractionnal Bandwidth) entre la bande passante (**BP**) et la fréquence centrale (f_c) est ($0.25 \leq \text{FB}$) minimum de 500 MHz à - 10 dB (**tableau I-1**).

Les équations de la bande large

$$\text{BP} = f_2 - f_1 \quad (\text{I-1})$$

$$f_c = \frac{f_1 + f_2}{2} \quad (\text{I-2})$$

$$\text{FB} = \frac{\text{BP}}{f_c} \quad (\text{I-3})$$

Où :

BP : La bande passante

FB : La bande fréquentielle

f_c : Fréquence centrale

FB	Type de système
$0 \leq FB \leq 0.01$	Bande Etroite
$0.01 \leq FB \leq 0.25$	Large Bande
$0.25 \leq FB$	Ultra Large Bande

Tableau I- 1: Classification fréquentielle des systèmes par FCC [2]

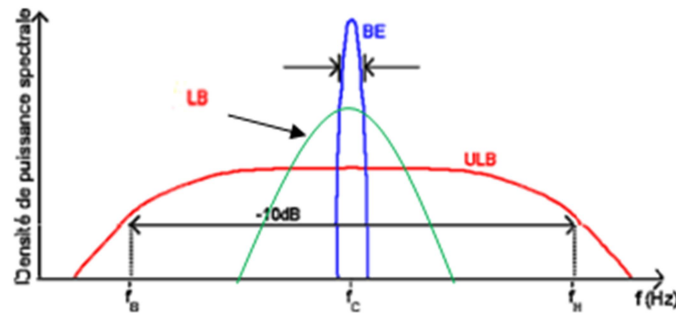


Figure I-1 : Schéma simplifié représentant un spectre bande étroite et large bande et Ultra large bande [3]

I.3. Comparaison système ULB / Système à bande étroite

Les caractéristiques de la technique ultra à large bande (ULB) diffèrent largement de celles des techniques classiques. En effet, cette technique transmet et reçoit des formes d'onde basées sur des impulsions de très courtes durées (1 ns) alors que les techniques conventionnelles envoient et reçoivent des formes d'onde sinusoïdales étalées dans le temps ayant de ce fait une densité spectrale de puissance beaucoup plus étroite que celle des signaux ULB.[3]

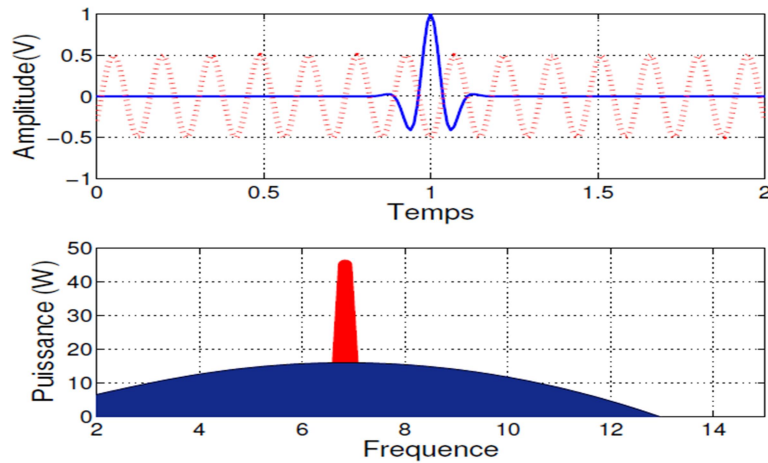


Figure I.2 : Comparaison en temporel et fréquentiel d'un signal à bande étroite et d'un signal ULB [5]

Le masque spectral de puissance de l'ULB représenté sur la **Figure I-3** est défini pour permettre une densité spectrale de puissance très faible (DSP maximale : -41.3 dBm/MHz) sur toute la bande de fréquences de l'ULB. Cette puissance très faible sur une très large bande passante permet à d'autres systèmes à bande étroite de coexister avec l'ultra large bande. Ces caractéristiques ont présenté une myriade d'occasions et de défis aux concepteurs dans une grande variété de domaines comprenant la conception de circuit et de système RF mais aussi la conception d'antenne.

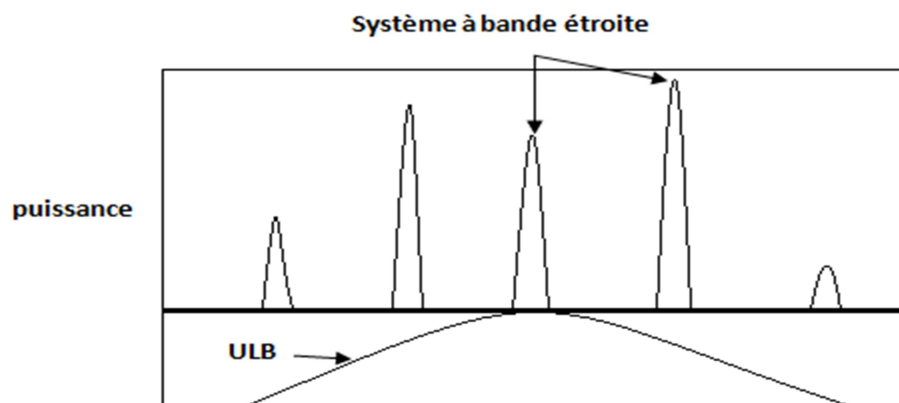


Figure I-3: Comparaison entre la DSP d'un signal à bande étroite et d'un signal ULB.

I.4. Caractéristiques principales d'ultra large bande

Par rapport aux autres systèmes de transmission classique, l'ultra large bande dispose d'un certain nombre de Caractéristiques remarquables :

I.4.1. Capacité de la technologie ULB

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

$$C = B \cdot \log_2(1 + \text{SNR}) \quad (\text{I-4})$$

B : 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. [2]

I.4.2. Problème de la propagation par trajets multiples

L'évanouissement du signal dû à la propagation par trajets multiples peut sensiblement réduire l'efficacité des systèmes de communications classiques. Dans le cas des communications ultra larges bandes, le signal transmis possède une largeur de bande très importante, quelques GHz en pratique. Comme la fenêtre d'observation du récepteur est très étroite, les réflexions multiples arrivées avec un retard de l'ordre de la nanoseconde peuvent être additionnées pour donner un gain comparable à celui obtenu dans le cas d'une propagation par trajet unique et direct.[1] Cette caractéristique permet à la technologie ULB d'être performante dans des environnements encombrés.

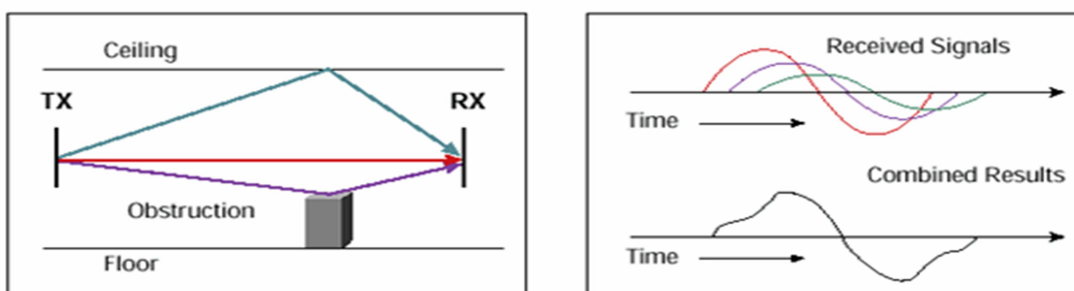


Figure I-4: Propagation par trajets multiples (6)

I.4.3. Communications protégées

Les signaux ULB sont plus difficiles à détecter que les signaux de radiocommunications classiques car ils utilisent une grande largeur de bande et peuvent être produits sous forme de bruit. (DSP très faible). Les signaux ULB sont quasiment indétectables parce qu'ils peuvent être transmis avec un niveau de densité spectrale de puissance bien inférieure au bruit de fond des récepteurs classiques. Cette caractéristique, particulière à l'ultra large bande, permet à cette dernière de coexister avec les systèmes de communications classiques.[7]

I.4.4. Architecture simple d'émetteur/récepteur

La transmission ULB est sans porteuse, signifiant que les données ne sont pas modulées avec une forme d'onde continue avec une fréquence porteuse spécifique, comme pour la technologie à bande étroite et à large bande. La transmission sans porteuse exige moins de composants RF que la transmission à fil porteur. Pour cette raison l'architecture des émetteurs/récepteurs ULB est plus simple et aussi de faible coût. La figure I.3 représente les schémas fonctionnels d'un émetteur/récepteur typique à bande étroite et ULB.

La transmission d'impulsions faible puissance élimine le besoin d'amplificateur de puissance dans les émetteurs de l'ULB. En outre, puisque la transmission ULB est sans porteuse, les mélangeurs et les oscillateurs locaux ne sont pas utilisés pour ramener la fréquence porteuse à la bande de fréquence exigée; par conséquent il n'y a pas besoin d'étage de récupération de la porteuse à la fin du récepteur. Cette simplicité rend possible l'implémentation des émetteurs/récepteurs ULB en technologie CMOS, ce qui traduit par des facteurs de forme petits et des coûts de production faibles.

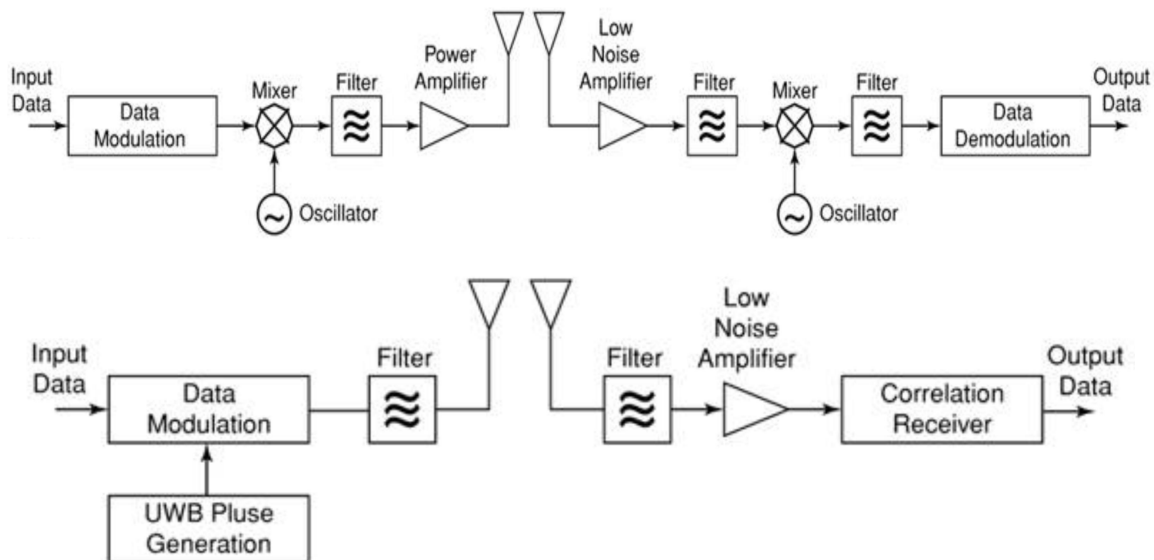


Figure I-5: (a) architecture typique d'émetteur/récepteur à bande étroite. (b) exemple d'une architecture d'émetteur/récepteur ULB.[8]

I.4.4.1. Réglementation d'ULB dans le monde

La technologie ULB typique pourrait utiliser une partie du spectre fréquentiel déjà allouée à des services radio opérationnels. Par conséquent, les dispositifs radio ULB, malgré leur niveau de puissance émise qui est extrêmement faible, pourraient être une source potentielle d'interférence avec les services radio actuels, et doivent donc prouver leur capacité de coexistence avec les autres services radio. nous allons présenter la réglementation de ULB, qui ont pour but d'élaborer des moyens efficaces pour gérer le spectre fréquentiel, fondés sur des mécanismes de coexistence à la place des mécanismes conventionnels de partage fréquentiel. [9]

I.4.4.1.1. Réglementation aux USA

Les Etats-Unis ont été le premier pays à réglementer l'utilisation de la bande large: En février 2002, la FCC a limité les niveaux d'émission des signaux LB (EIRP = -41,3 dBm/MHz) pour un spectre de fréquences allant de 3.1GHz à 10.6 GHz. La figure ci-dessous (**figure I-6**) représente le spectre d'émission imposé par la FCC pour les systèmes opérant en intérieur et en extérieur. [7]

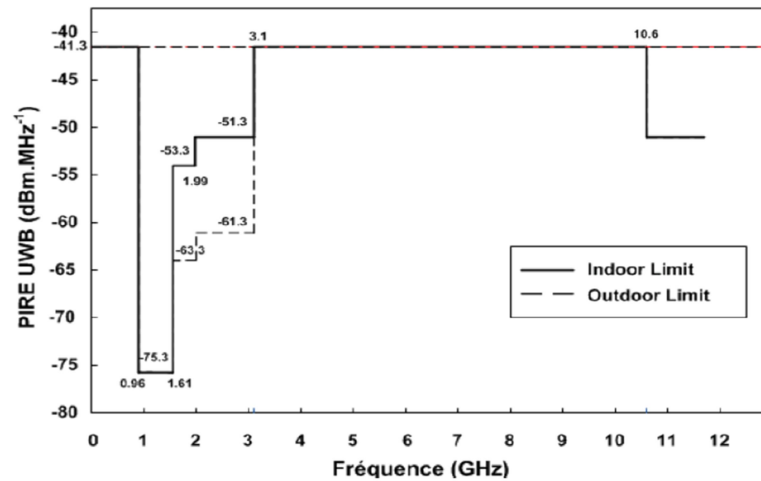


Figure I- 6: Masque d'émission autorisé par la FCC en 2002 [1]

I.4.4.1.2. La réglementation en Europe

L'approche européenne se caractérise d'une certaine manière par plus de précautions que celle aux Etats-Unis, étant donné que l'Europe exige à toute nouvelle technologie de ne pas causer de problème ou très peu aux services radio existants. Bien évidemment, les organisations européennes doivent tenir compte de la décision de la FCC, ayant conscience des bénéfices potentiels les consommateurs et les fabricants, à définir des règles d'utilisation de ULB qui soient globalement compatibles. La **figure (I-7)** présente le masque d'émission de la FCC ainsi que celui de l'ETSI (European Télécommunications Standards Institute) pour les communications ULB. [9]

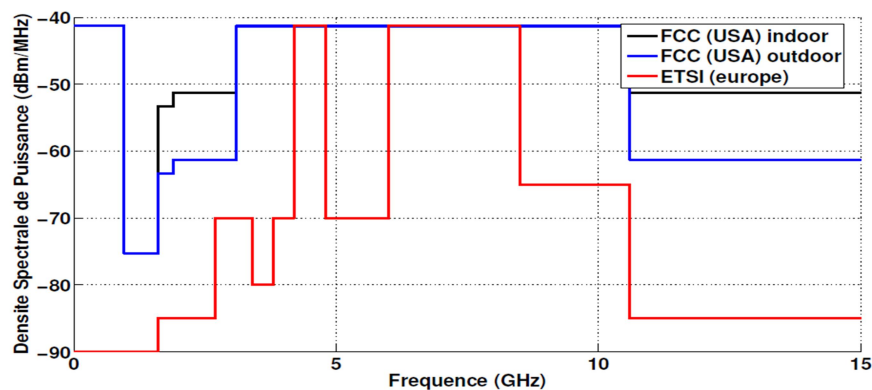


Figure I- 7: Régulation des fréquences aux USA (FCC) et en Europe (ETSI).[5]

I.4.4.1.3. Réglementation en Asie

En Asie, au Japon, le MIC (Ministry of international affairs and communications) a proposé en 2006 l'émission de signaux ULB sans licence. Tout comme la FCC, une réglementation autorisant l'émission à -41.3 dBm/MHz pour les équipements LB est imposée. La **figure (I-8)** présente le masque d'émission au Japon.

Le Japon a repris le modèle européen en appliquant certaines des techniques de mitigation adoptée en Europe pour la bande 3.4 GHz – 4.8 GHz. De plus, une « phase d'approche » sur la bande 4.2 GHz-4.8 GHz a été appliquée tout comme en Europe. Cette approche permettait jusqu'en 2008 l'introduction et la commercialisation d'une première génération d'équipements sans aucune technique de mitigation. [1]

En Corée, l'institut de recherche de l'électronique et de télécommunications (ETRI : Electronics and Telecommunications Research Institute) a proposé un masque d'émission beaucoup plus bas que le masque spectral de la FCC. Le niveau coréen d'émission est -66.5 dBm/MHz, qui est inférieur à environ 25 dB de la limite de la FCC.

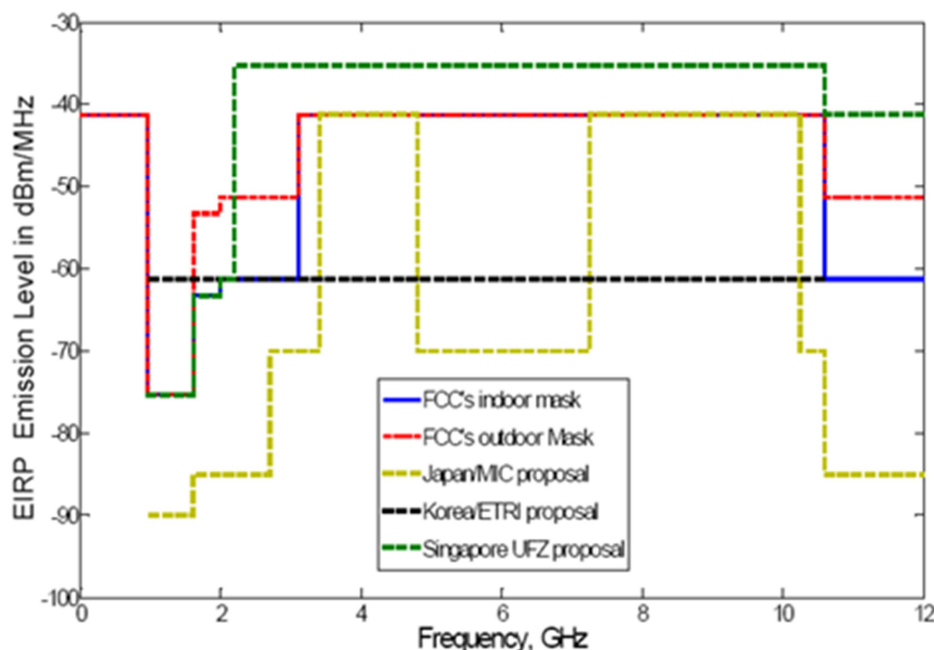


Figure I- 8: Masques spectraux proposés en Asie [7]

Le tableau présenté ci-dessous montre un résumé des bandes de fréquences attribuées dans les différentes régions du monde :

Pays	Bande 1 (GHz)	Bande 2 (GHz)
États Unis	3,1 – 10,6	--
Europe	4,2 – 4,8	6 – 8,5
Japon	3,4 – 4,8	7,25 – 10,25
Corée	3,1 – 4,8	7,2 – 10,2
Singapore	4,2 – 4,8	6 – 9
Chine	4,2 – 4,8	6 – 9

Tableau I- 2: Bandes de fréquences allouées[10]

I.4.5. Différents types d'applications d'ultra large bande

Il existe trois grandes catégories d'applications principales pour les systèmes ULB : la détection, la géo localisation, et les communications sans fil. Les deux premières ne demandent pas un gros débit d'information, mais nécessitent une bonne précision sur de grandes distances et une robustesse aux trajets multiples, tandis que les communications sans fils peuvent tirer profit des très hauts débits à courte portée par la technologie ULB (**figure I-9**). Les bandes de fréquences pour ces applications sont :

- Bande de fréquence >1GHz : radar
- Bande 1.99-10.6 GHz : Applications médicales (imagerie)
- Bande 3.1-10.6 GHz : Système de communications sans fil et application liées à la localisation.
- Bande 1-11 GHz : Application multimédia (3G, 4G, WIMAX....etc.)

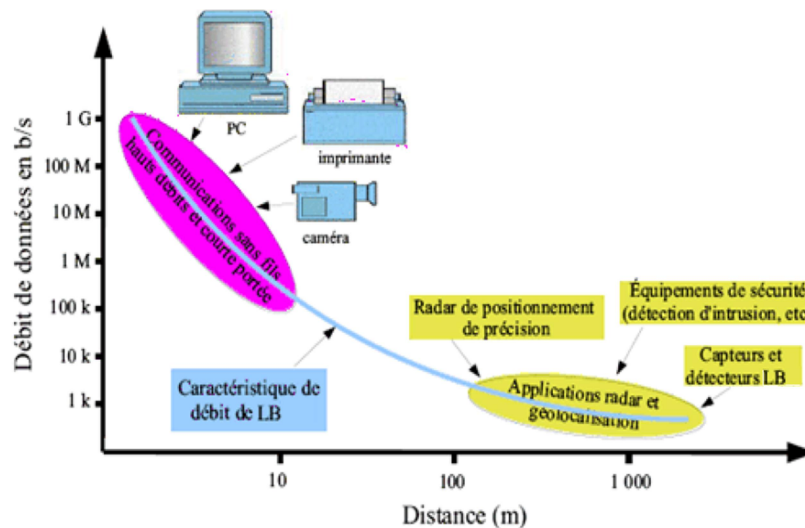


Figure I- 9: Différentes applications de Large Bande [11]

I.4.5.1. Applications liées au radar

De nos jours les systèmes radars doivent être capables de détecter plusieurs types de cibles (véhicules, cibles humaines, mines, armes,...). De plus elles peuvent être dissimulées ce qui rend leur détection encore plus difficile (végétation, bâtiments, sols,... etc.).

Les systèmes radars doivent généralement être les plus discrets possibles afin de ne pas être détectables. Leur encombrement doit être limité afin de pouvoir être intégré et embarqué sur des systèmes aéroportés tout en étant capable de détecter, localiser et identifier les cibles et leurs déplacements. Enfin ils doivent avoir une bonne résolution. Cette résolution est définie en distance par :

$$\Delta R = c/2BP_{\text{radar}} \quad (\text{I-5})$$

BP_{radar} : La bande passante du radar

c : La célérité de la lumière.[5]

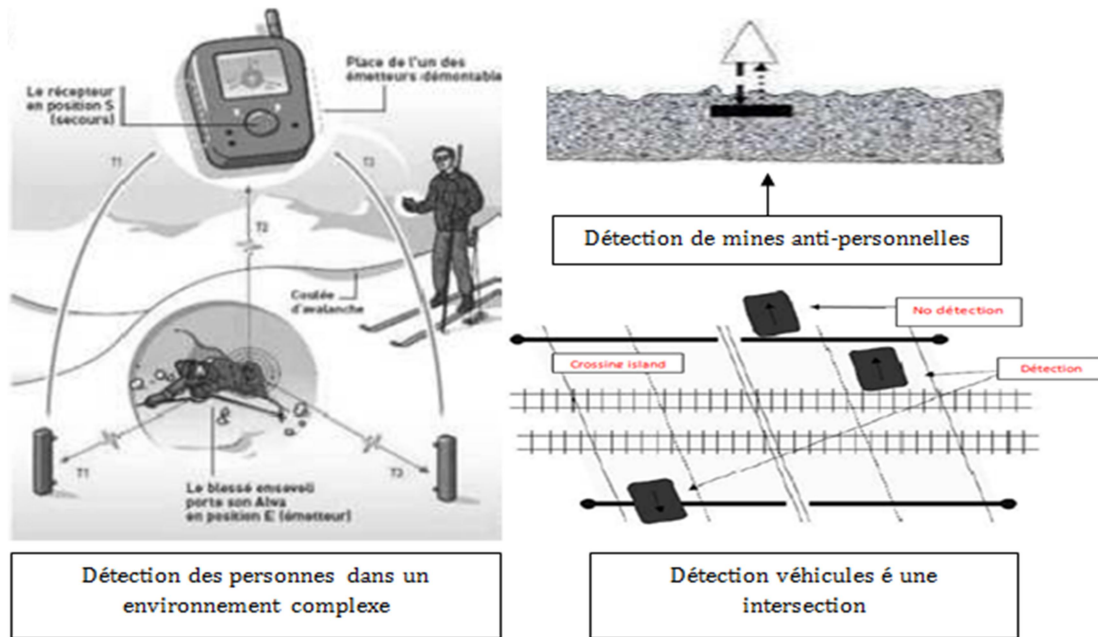


Figure I-10: Application de ULB liées au radar.[4]

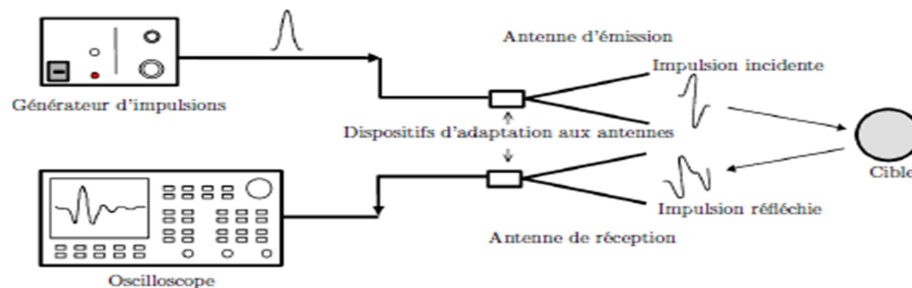


Figure I- 11: Principe de fonctionnement des radars ULB impulsionnels.[5]

Le principe général du système d'émission consiste en l'association d'un générateur délivrant une impulsion ultra rapide et d'une antenne adaptée permettant le rayonnement de tout le contenu spectral de l'impulsion. L'impulsion rayonnée reproduit alors approximativement le signal d'entrée. Le signal temporel réfléchi par la cible est très différent de l'impulsion émise. Les modifications de l'allure de l'impulsion réfléchie par rapport à celle émise apparaissent sur le spectre fréquentiel. Au niveau de la réception, un oscilloscope (ou échantillonneur) couple à une deuxième antenne de réception permet l'acquisition du signal dans le domaine temporel. Le passage dans le domaine fréquentiel (si nécessaire) se fait par transformée de Fourier.

I.4.5.2. Applications médicales

Les impulsions électromagnétiques ULB peuvent pénétrer à travers le corps humain et par conséquent elles peuvent être employées pour la formation d'image médicale. Le corps et le tissu de masse différente ont des indices de réflexions différents. Les signaux ULB étant des impulsions de courte durée, peuvent facilement exploiter la différence dans des indices de réflexion pour donner une image plus claire des organes, y compris des mouvements. Plusieurs organes peuvent être sondés par ULB tels que : les cordes vocales, les vaisseaux sanguins, les intestins, le cœur, les poumons, la poitrine, la vessie et le fœtus.[8]

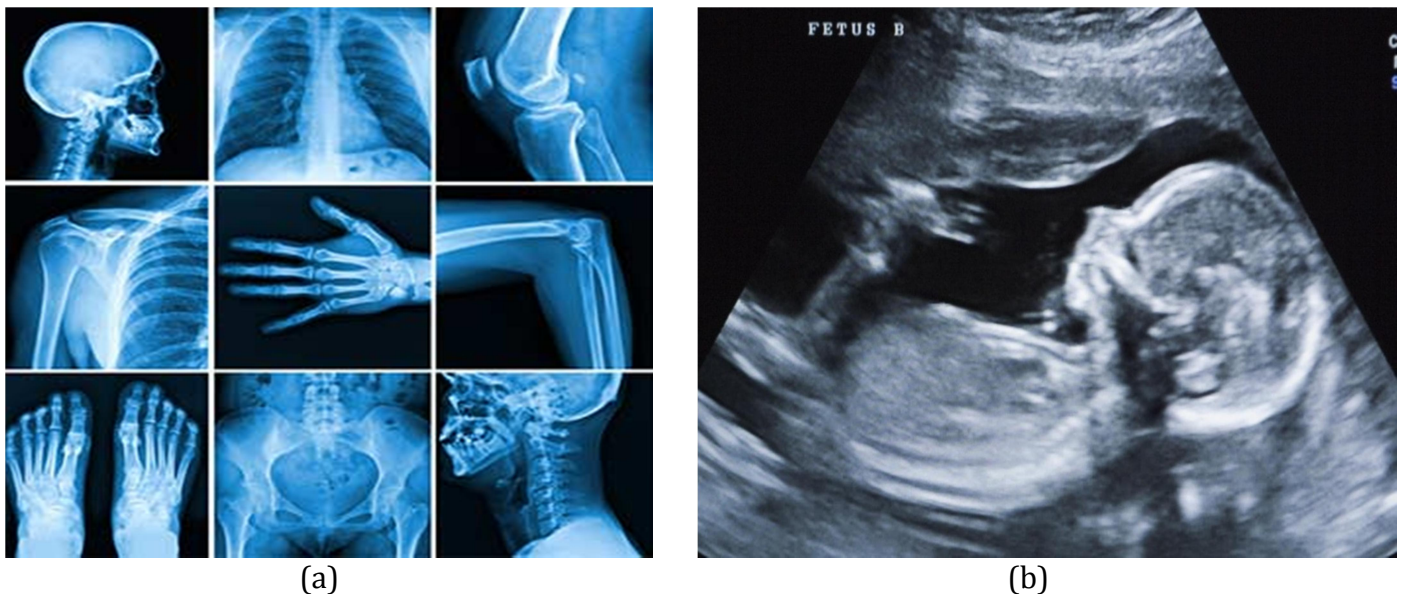


Figure I- 12:a) La détection de l'os , b) Foetale détecter

I.4.5.3. Applications liées aux communications

La technologie ULB permet la transmission de données sans fil entre un hôte (par exemple, un PC de bureau) et des périphériques associés tels que les claviers, souris, imprimante, etc. Ce transfert de données peut aller de 100 kbps pour une souris sans fil à 100 Mbps pour le partage de fichiers ou le téléchargement des images et des fichiers. Des applications supplémentaires concernent la diffusion du contenu multimédia numérique entre les appareils électroniques (téléviseurs, magnétoscopes numériques, audio CD / DVD et un lecteur MP3, et ainsi de suite). En résumé, la technologie ULB est

considérée comme ayant un fort potentiel pour des applications qui à ce jour n'ont pas été remplies par d'autres technologies sans fil à courte portée actuellement disponibles, telles que, 802.11 LAN et PAN Bluetooth.

Les nouvelles applications ULB sont prévues également pour les réseaux de capteurs. Ces réseaux combinent faible consommation d'énergie, communications à bas et moyen débit (50 kbps à 1 Mbps) avec une portée maximale de 100 m avec des capacités de positionnement.

La figure II-11 montre deux exemples de communication sans fil, la figure de gauche montre une communication « in door » (WPAN) où tous les appareils électroniques sont reliés. La figure de droite présente un type de communication « out door » (WBAN) où les dispositifs partagent la musique et la reproduisent en temps réel.

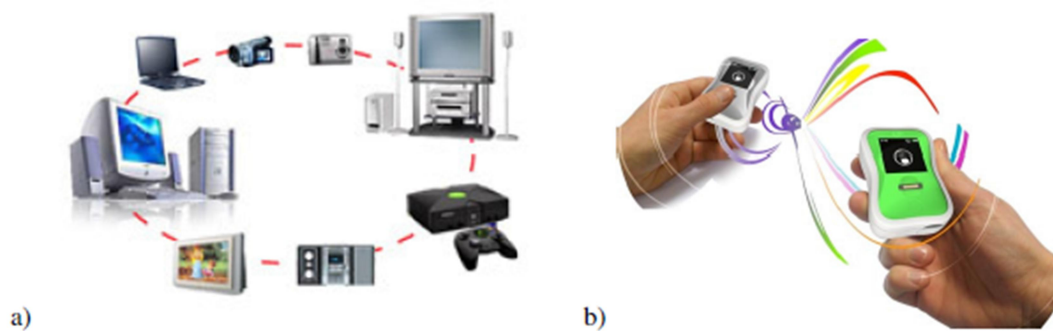


Figure I- 13: a) Applications intérieur b) Application extérieur ou intérieur[10].

I.4.5.4. Localisations et suivi

Comme le GPS, l'Ultra large bande peut être utilisé pour localiser ou détecter un objet ou une personne

I.4.5.4.1. Localisation d'objet dans un entrepôt:

Traditionnellement, dans un entrepôt industriel, pour localiser un objet spécifique sur une palette spécifique dans un conteneur spécifique, on utilise la technologie d'identification par radiofréquences ou RFID (Radio-Frequency IDentification). Mais cette technologie n'est pas robuste dans un environnement multi-trajet, ce qui peut causer des mauvaises lectures d'objets, des abandons d'objets et donc de nombreuses

erreurs. Il faut ajouter aussi que cette technologie a une précision relativement faible (de moins de 30 cm). La technologie ULB est quant à elle beaucoup plus robuste dans un environnement complexe. Aujourd'hui il existe un système ULB de localisation commercial, fonctionnant dans Ultra bande Large. [7]



Figure I-14: Solutions RFID pour localisation d'objets

I.4.5.4.2 Localisation de personnes

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

I.4.6. Avantages et inconvénients d'antenne Ultra large bande

Avantages	Inconvénients
Débit important	Un des inconvénients lié à l'utilisation de cette technique de communication tient au fait que les fréquences utilisées sont déjà employées par d'autres systèmes, ce qui rend possible l'existence d'interférences
Bonne capacité de pénétration dans les murs et les obstacles.	
Ultra large bande de fréquence	
Précision temporelle élevée	Difficile à adapté
Possibilité d'une architecture commune pour les applications de communications, de Réduction des évanouissements causés par les trajets multiples.	

Tableau I-3: Caractéristique de Ultra large bande.[1]

I.5. Conclusion

Ce chapitre est consacré à la présentation générale sur la technologie Ultra Large Bande et leurs caractéristiques principales.

Aussi nous avons présenté une comparaison entre les systèmes ULB et les systèmes à bandes étroite.

Ensuite on a cité quelque domaines d'applications des ULB par exemples :application liées au radar, communication, médicales et localisation.

II.1. Introduction

Dès l'origine, l'antenne est l'élément qui est utilisé pour diffuser les ondes électromagnétiques par rayonnement. Elle joue deux rôles réciproques: la transmission et la réception. Aujourd'hui, l'utilisation des antennes est devenue très nécessaire dans les nombreux domaines tels que la télécommunication spatiale, la navigation aérienne ou terrestre.

Dans ce chapitre nous allons tout d'abord traiter de façon générale les antennes, la définition, les notions de bases des quelques propriétés et caractéristique des antennes et représentation des différents types d'antennes : l'antenne directionnel et omnidirectionnelle, puis nous sommes basée sur les antennes imprimées. Ainsi les types d'alimentation de ces derniers, sont brièvement illustrés.

À la fin de ce chapitre nous allons présenté des techniques pour élargir la bande passante des antennes micro-ruban.

II.2. Définition de l'antenne

Une antenne est un dispositif métallique utilisée pour la transmission ou réception des ondes hertziennes. C'est un transducteur entre la ligne de transmission connectée à un générateur et le milieu où l'onde rayonne.

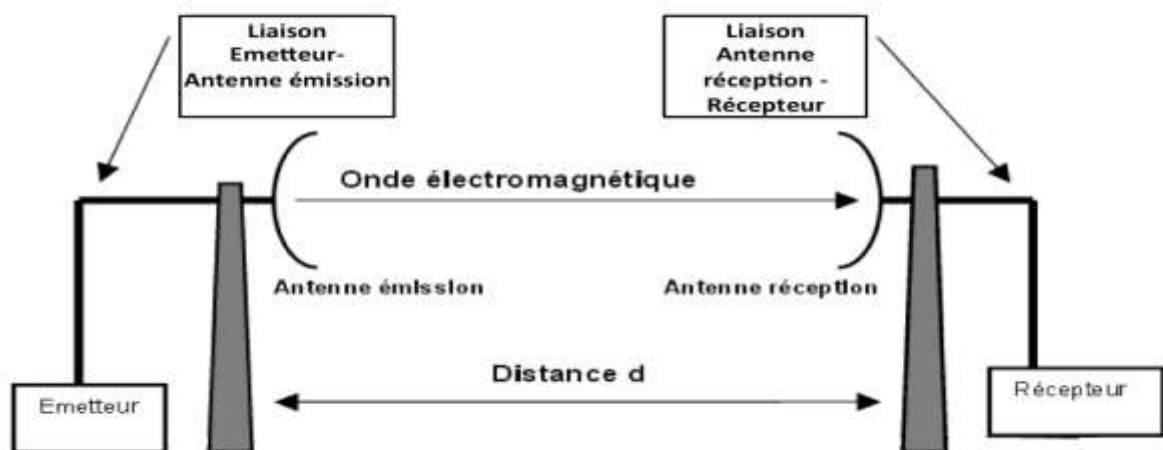


Figure II- 1: Principe de transmission par onde électromagnétique.[13]

Ainsi on peut définir une antenne en émission ou en réception selon son mode de fonctionnement. Le rôle de l'antenne d'émission est de transformer la puissance électromagnétique guidée, issue d'un générateur en une puissance rayonnée. Dans ce sens, c'est un transducteur.

De façon inverse, la puissance rayonnée peut être captée par une antenne de réception. Dans ce sens, l'antenne apparaît comme un capteur et un transformateur de puissance rayonnée en puissance électromagnétique guidée.

L'antenne a plusieurs rôles dont les principaux sont les suivants :

- Permettre une adaptation correcte entre l'équipement radioélectrique et le milieu de propagation.
- Assurer la transmission ou la réception de l'énergie dans des directions privilégiées.
- Transmettre le plus fidèlement possible une information. [12]

II.3. Généralités sur les antennes

II.3.1 Caractérisation principales des antennes:

Une antenne se définit par les caractéristiques principales suivantes : impédance d'entrée, la bande passante, directivité, gain, diagramme de rayonnement et polarisation. [14]

II.3.1.1. Caractéristiques d'adaptation

Pour décrire la performance d'une antenne, les définitions de divers paramètres sont nécessaires. Dans la pratique, il y a plusieurs paramètres d'antenne généralement utilisés, parmi lesquels on peut citer l'impédance d'entrée, Largeur de bande de fréquence, ...

II.3.1.1.1. Impédance d'entrée

En ce qui concerne l'émission et conformément à la théorie des circuits linéaires, l'antenne peut être représentée par un dipôle d'impédance d'entrée complexe $Z_e(f) = R_e(f) + jX_e(f)$ chargeant à la sortie du circuit émetteur, modélisé par une source d'impédance interne : $Z_s(f) = R_s(f) + jX_s(f)$ (Figure II.11).

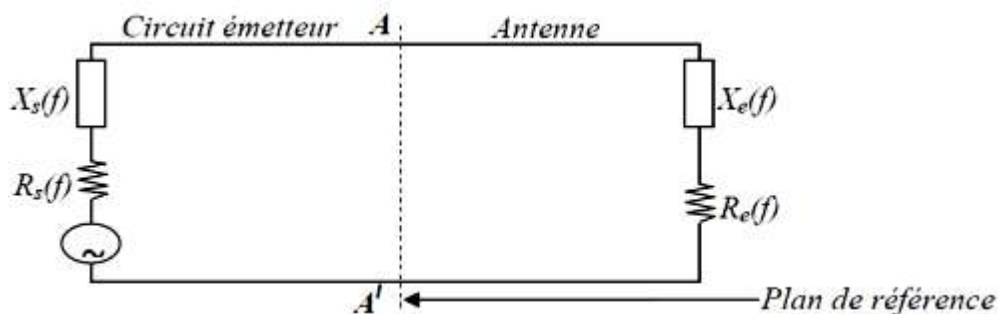


Figure II- 2: Schéma équivalent du dispositif à l'émission [15]

Précisons que f est la fréquence de résonance de l'antenne. La résistance d'entrée $R_e(f)$ représente un terme de dissipation. Il est lié, d'une part à la puissance rayonnée et d'autre part, à la puissance perdue par effet Joule. Cette dernière est en général petite par rapport à la puissance rayonnée pour assurer le fonctionnement optimal de l'antenne. Cependant les pertes par effet Joule peuvent représenter des valeurs non négligeables en fonction de la géométrie de l'antenne. Les pertes dans le plan de masse

sont aussi à prendre en compte. La réactance $X_e(f)$ est liée à la puissance réactive stockée au voisinage de l'antenne. Cette impédance est donnée par l'expression:

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

Z_0 : impédance caractéristique de la ligne d'alimentation.

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

II.3.1.1.2. Largeur de bande de fréquence (Bande passante)

Généralement la largeur de bande est caractérisée par largeur de bande d'impédance. Elle est souvent considérée comme une gamme de fréquences positionnée de part et d'autre de la fréquence centrale f_c (**Voir Equation (II-7)**). Elle peut aussi être définie comme correspondant à la bande de fréquences où le transfert d'énergie de l'alimentation vers l'antenne (ou de l'antenne vers le récepteur) est supérieur à un seuil donné. On parle alors de bande passante absolue.

$$BP = \Delta F = F_2 - F_1 \quad (II-2)$$

BP : La bande passante

F_1 : La fréquence minimale de la bande passante

F_2 : La fréquence maximale de la bande passante

On déduit souvent la bande passante d'une antenne à partir de la courbe de son coefficient de réflexion. Certains critères typiques sont pris comme un coefficient de réflexion inférieur à -6 dB ou à -10 dB. Souvent, on l'exprime en termes de bande passante relative par rapport à la fréquence centrale (**Formule (II-8)**).

$$BP_r = \frac{BP}{f_c} \quad (II-3)$$

$$f_c = \frac{f_1 + f_2}{2} \quad (II-4)$$

f_c : Fréquence centrale

BP_r : La largeur relative de bande passante

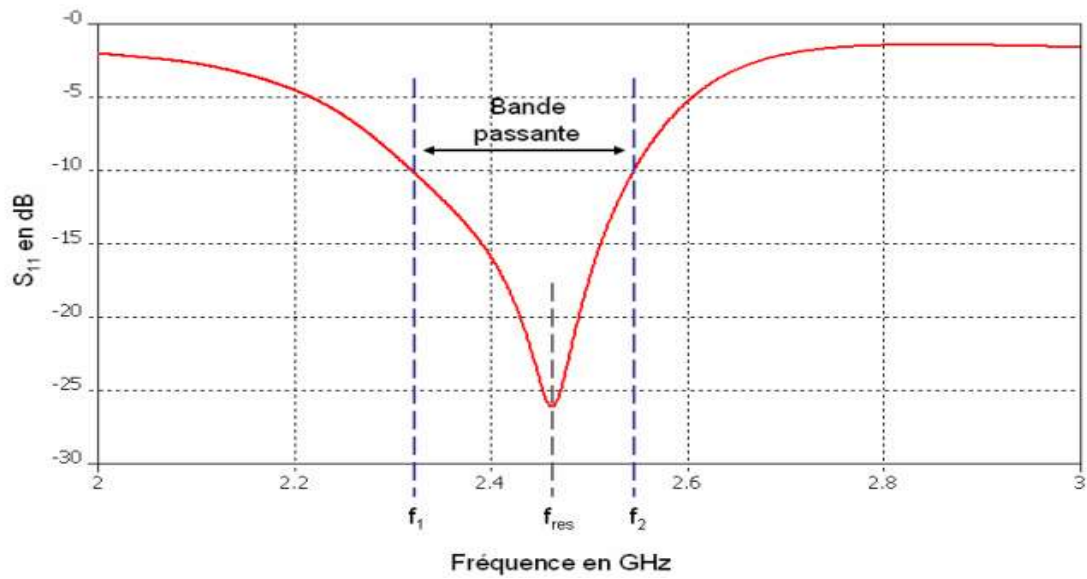


Figure II- 3: Exemple du S_{11} d'une antenne en dB en fonction de la fréquence et de la bande passante à -10 Db. [8]

II.3.1.1.3. Coefficient de Réflexion S_{11}

Le coefficient de réflexion S_{11} met en évidence l'absorption de l'énergie par l'antenne. C'est sur ce paramètre que l'on se base lors de l'optimisation.[1]

Le coefficient de réflexion d'une antenne se définit comme étant le rapport des amplitudes des ondes incidentes sur les ondes réfléchies.

Pour une antenne d'impédance Z , reliée à la source par une ligne d'impédance caractéristique Z_c , le coefficient de réflexion peut être défini comme suit :

$$S_{11} = \frac{Z - Z_c^*}{Z + Z_c} \quad (\text{II-5})$$

Z : L'impédance d'antenne (Ω)

Z_c : D'impédance caractéristique (Ω)

Souvent Z_c est égale à 50 Ω .

Le module du coefficient de réflexion est souvent exprimé en décibel (dB) et est noté S_{11} et se définit comme suit :

$$|S_{11}|_{dB} = 20 \log_2(S_{11}) \quad (\text{II-6})$$

Le coefficient de réflexion permet de connaître la qualité d'adaptation d'une antenne. En effet, plus son module tend vers l'infini négativement, plus l'antenne est adaptée. Souvent, la fréquence de résonance d'une antenne est celle où le coefficient de réflexion est minimal.[15]

II.3.2. Caractéristiques de rayonnement

II.3.2.1. Diagramme de rayonnement

Le diagramme de rayonnement est la représentation des propriétés de rayonnement de l'antenne en fonction de coordonnées spatiales. Dans la plupart des cas, ces diagrammes sont déterminés en champ lointain où la distribution spatiale de la puissance rayonnée ne dépend pas de la distance. Habituellement, le diagramme représente le champ normalisé (la puissance) par rapport à son maximum.[7]

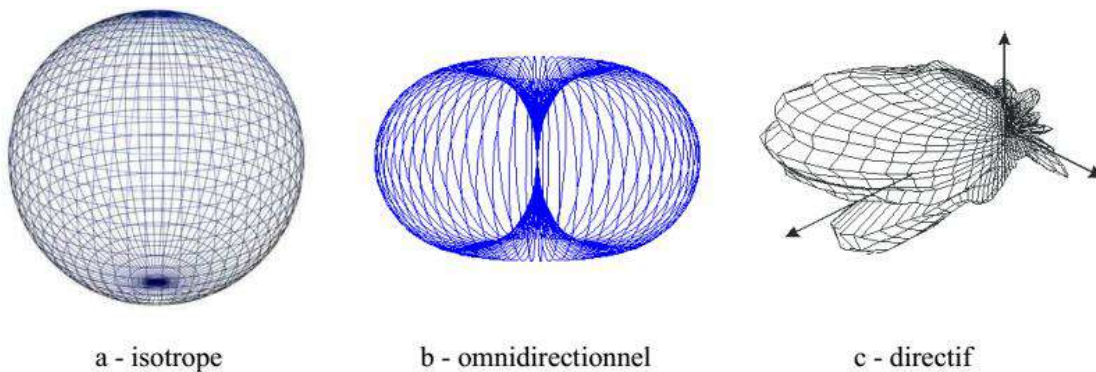


Figure II- 4 : Exemples de diagramme de rayonnement.[8]

II.3.3. Les antennes directives (directionnelles)

On dit qu'une antenne est directive quand elle concentre l'énergie qu'elle rayonne dans une direction de l'espace. Par analogie avec la lumière, on peut comparer une antenne directive à un projecteur qui concentre la lumière en un faisceau étroit alors qu'un lustre a pour mission d'éclairer la totalité d'une pièce.[17]

L'antenne directive est souvent utilisée dans des applications particulières, par exemple dans le cas d'une station de base en communication avec des stations fixes. D'autres systèmes requièrent que l'antenne rayonne plutôt dans un demi-espace. On peut citer comme exemple l'antenne de point d'accès accrochée au mur ou encore une antenne en façade d'appareils [18]

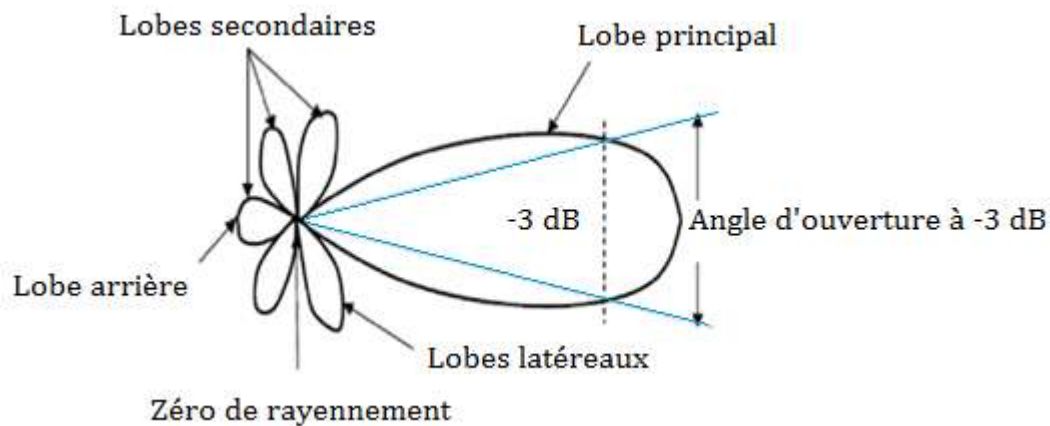


Figure II- 5: Diagramme de rayonnement d'une antenne directive [19]

Tel que le montre la **Figure (II-5)**, le diagramme de rayonnement est constitué :

- D'un lobe principal: C'est le lobe de rayonnement contenant le maximum d'énergie et la direction du maximum de rayonnement.
- Des lobes secondaires: Tous les autres lobes sont appelés lobes secondaires. Ils représentent le rayonnement de l'antenne dans les directions indésirables. Le niveau d'un lobe secondaire est en général exprimé sous forme de rapport entre la densité de puissance dans le lobe en question et celle du lobe principal. Ce rapport est appelé le niveau des lobes secondaires et il est exprimé en dB.

- D'un lobe arrière (rayonnement arrière): C'est un cas particulier des lobes secondaires présents dans la direction opposée (à 180°) du lobe principal. Le rapport avant/arrière est le rapport en dB de la puissance rayonnée dans la direction du maximum de rayonnement par rapport à celle rayonnée dans la direction opposée. Dans la plupart des systèmes antennaires, les lobes secondaires sont indésirables. Une bonne conception d'antenne doit permettre de minimiser les niveaux de lobes secondaires.
- Angle d'ouverture d'une antenne : L'angle d'ouverture d'une antenne est l'angle de direction pour lequel la puissance rayonnée est la moitié (-3dB) de la puissance rayonnée dans la direction la plus favorable. [19]

II.3.4. Les antennes omnidirectionnelles

L'antenne omnidirectionnelle est une conception de simple-élément qui rayonne et reçoit de l'énergie électromagnétique dans toutes les directions. [20]

Certaines applications exigent des formes spécifiques du diagramme de rayonnement. Par exemple, les dispositifs portables requièrent des antennes compactes à diagramme de rayonnement omnidirectionnel. Pour réaliser un diagramme de rayonnement omnidirectionnel, nous devons choisir les structures sur lesquelles la distribution du courant peut créer un diagramme de rayonnement de telle forme. Les antennes omnidirectionnelles peuvent être subdivisées en deux classes principales : les monopoles et les antennes micro-ruban. [21]

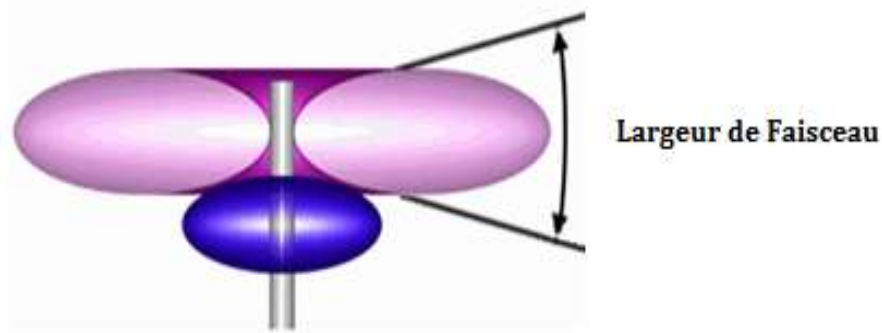


Figure II- 6: antenne omnidirectionnelles.[6]

II.3.4.1. Antenne monopole

Une autre catégorie d'antenne ultra large bande est constituée par les monopoles filaire et les monopoles planaires. [9]

Les antennes monopoles filaire ce sont généralement les plus familières à tout sont utilisées dans beaucoup d'applications: automobiles - immeubles - bateaux – avions... etc. [22] L'antenne filaire est alimentée par un câble coaxial standard. L'antenne elle-même se compose de trois parties : un substrat et support métallique et fil métallique. La **figure (II-7)**, illustre une antenne monopole.

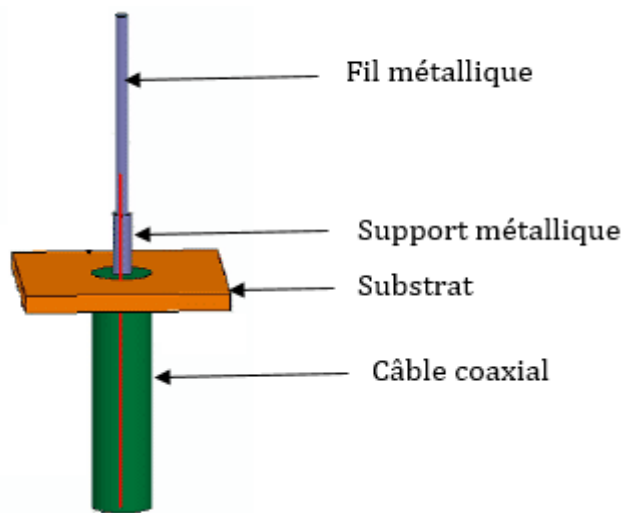


Figure II- 7: Antenne monopole [23]

II.3.4.2. Antenne dipôle

Ces antennes sont de loin les plus utilisées, grâce à plusieurs caractéristiques, notamment leur symétrie, leur facilité d'intégration et surtout leurs faibles couts. Elles possèdent un rayonnement omnidirectionnel, et une polarisation linéaire. La géométrie de base est présentée sur la **figure(II-8)**.

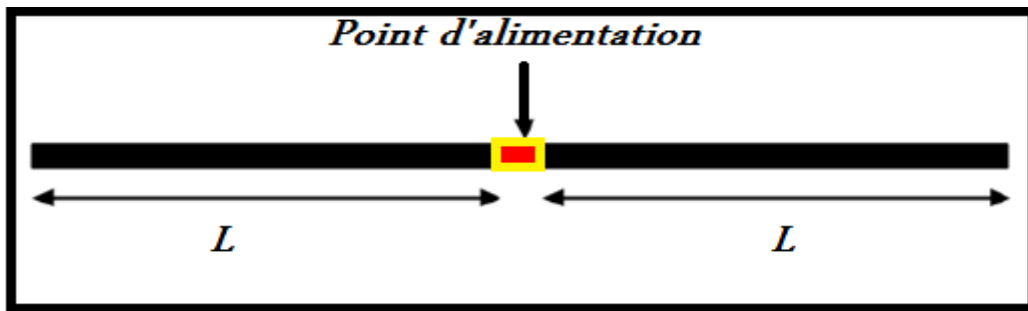


Figure II- 8: La géométrie de base d'un dipôle [24]

L'antenne dipôle est une structure à demi-longueur d'onde constituée de fils en cuivre de longueur multiple de $l=\lambda/2$. Il est divisé en deux longueurs d'onde égales et est alimenté par une ligne de transmission. [25] Ce fil métallique, parcouru par un courant, rayonnera des ondes électromagnétiques dans toutes les directions à l'exception toutefois de la direction dans l'alignement des brins. L'intensité du rayonnement dépend de l'intensité du courant circulant dans le dipôle (**Figure II-9, Figure II-10**). Le maximum de rayonnement se situe dans le plan médian du dipôle où l'intensité du courant est maximale (**Figure II-9**). Ce type d'antenne est très utilisé dans les stations d'émissions radios, TV...

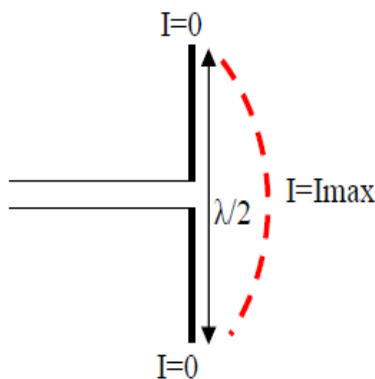


Figure II- 9: Circulation du courant dans un dipôle

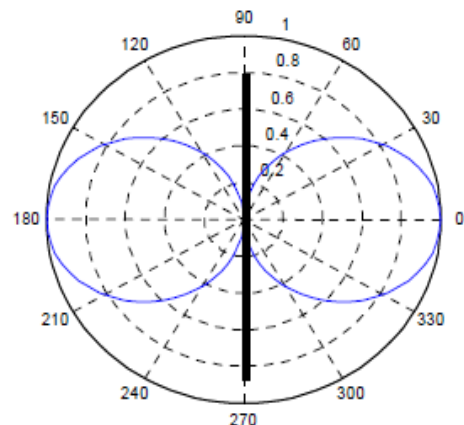


Figure II - 10: Diagramme de rayonnement d'un dipôle 2D [26]

II.4. Les antennes micro-ruban

Une antenne imprimée (appelé aussi antenne micro ruban ou patch) est constituée d'un élément rayonnant de forme arbitraire, gravé sur la face supérieure d'un substrat diélectrique caractérisé par une permittivité relative (ϵ_r) et sa tangente de perte ($\tan\sigma$). Tandis que l'autre face est le plus souvent complètement ou partiellement métallisée forme ainsi le plan de masse. [24]

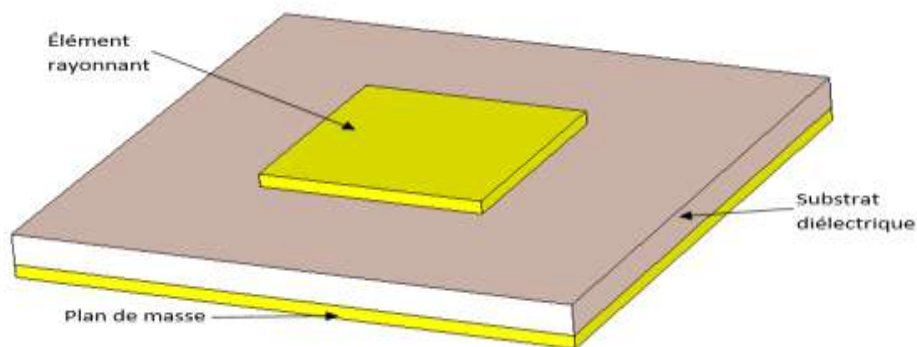


Figure II- 11: Structure d'antenne imprimée

L'élément rayonnant, habituellement en cuivre, peut avoir diverses formes, le plus utilisées sont les formes : rectangulaire, carré, circulaire, triangulaire ou toute autre configuration. Ceux-ci et d'autre sont illustrées dans la **figure (II-12)**.

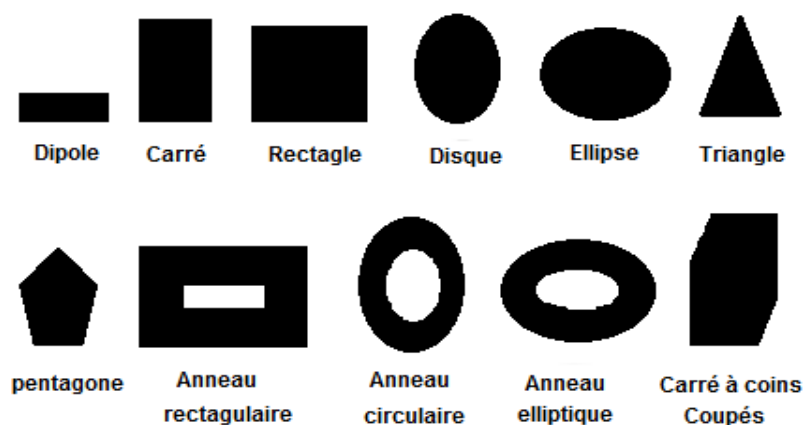


Figure II- 12: Différentes forme de patch utilisée dans les antennes micro-ruban

Le patch rectangulaire et circulaire (elliptique) couvrent toutes les possibilités en termes de modèle de rayonnement, de bande passante et de la polarisation. [27]

II.4.1. Rendement

Soit P_A la puissance d'alimentation d'une antenne. Cette puissance est transformée en une puissance rayonnée P_R . Dans le sens de l'émission, la puissance rayonnée est inférieure à la puissance d'alimentation. L'antenne est un transformateur imparfait. Il y a des pertes lors de la transformation d'énergie, comme dans tout système.[15] L'efficacité de l'antenne est définie par :

$$\eta = \frac{P_R}{P_A} \quad (\text{II-7})$$

Elle permet de mesurer le taux de transformation. C'est un rendement au sens thermodynamique du terme : $\eta \leq 1$

II.4.2. Directivité

La directivité d'une antenne est le rapport de la puissance rayonnée par unité d'angle solide dans la direction (θ, ϕ) à la puissance que rayonnerait la source isotrope de référence par unité d'angle solide pour une même puissance totale rayonnée.[28]

$$D(\theta, \phi) = \frac{\frac{P(\theta, \phi)}{4\pi}}{\frac{P_R}{4\pi}} = 4\pi \cdot \frac{P(\theta, \phi)}{P_R} \quad (\text{II-8})$$

$P(\theta, \phi)$: La puissance rayonnée par unité d'angle solide (θ, ϕ)

P_R : La puissance totale rayonnée.

II.4.3. Gain

La puissance rayonnée par une antenne varie généralement selon la direction considérée. Le gain d'une antenne dans une direction (θ, ϕ) est le rapport de la puissance rayonnée dans cette direction $P(\theta, \phi)$ à la puissance que rayonnerait la source isotrope de référence par unité d'angle solide avec la même puissance d'alimentation et il est exprimé par (II.11).(29)

$$G = 4\pi \cdot \frac{P(\theta_0, \phi_0)}{P_A} \quad (\text{II-9})$$

P_A : La puissance d'alimentation d'une antenne.

La relation entre le gain et la directivité d'une antenne est donnée par l'équation suivante:

$$G(\theta, \phi) = \eta \cdot D(\theta, \phi) \quad (\text{II-10})$$

η : Le rendement.

Le gain en décibel :

$$|G|_{\text{dB}} = 20 \log_{10}(|G|) \quad (\text{II-11})$$

II.4.4. Les antennes à fentes imprimées

Une antenne à fente est composée d'une surface métallique, généralement une plaque plane, avec un trou ou une fente (**figure II-13**). La forme et la taille de la fente déterminent les caractéristiques de rayonnement. [30] Comme les antennes micro-ruban à fentes sont capables de produire des diagrammes de rayonnement bidirectionnels et unidirectionnels sur une large bande de fréquences. Les fentes annulaires sont utilisées comme des antennes des véhicules pour les communications mobiles. [21]

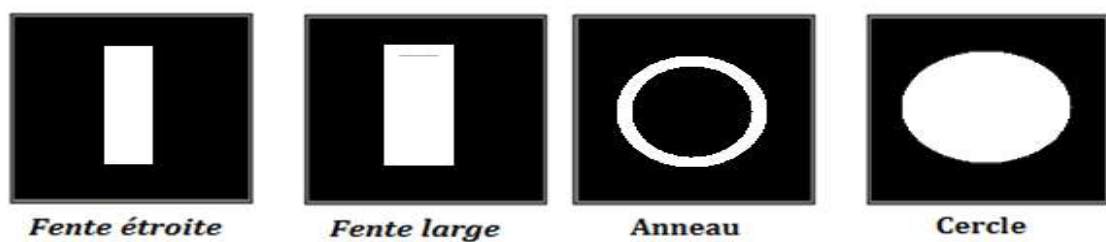


Figure II- 13: Antennes à fentes [31]

Les antennes micro rubans ont plusieurs avantages, en commençant par leurs large bande d'utilisation (de 100MHz jusqu'à 100GHz). Parmi les avantages des antennes micro rubans, on a:

- Elles sont légères et peuvent être utilisées sur d'autres formes géométriques.
- Facilité de réalisation.

- Faible coût de production.
- Facilité de créer des réseaux pour améliorer la directivité et pour le balayage électronique.

Cependant ces antennes ont des limitations d'utilisation:

- Bande passante réduite (1% jusqu'à 5%)
- Un faible gain, de l'ordre de 6dB. [32]

II.4.5. Conception d'antenne à fente micro-ruban

La méthode d'insertion des fentes, est la méthode la plus connue pour améliorer l'adaptation. Pour cela, on d'amener un pic de résonance supplémentaire dans l'antenne LB, peuvent être classifiées selon la localisation de la fente telle que l'élément rayonnant, le plan de masse, la ligne d'alimentation et la proximité de l'élément rayonnant.[8]

Les antennes ULB ont une fente sur divers éléments rayonnant dans ce cas-ci, la longueur totale de la fente qui est environ $\lambda / 2$. Une antenne ULB ayant des fentes en L et en U sur le plan de masse. Dans ce cas-ci, les longueurs des fentes ont des longueurs $\lambda / 2$ ou $\lambda / 4$. Les fentes peuvent également être insérées sur la ligne d'alimentation. Pour l'antenne ULB la fonction de bande rejetée est obtenue en insérant la fente sur la ligne d'alimentation CPW (Co-planar Wave guide). De même, il est possible d'insérer des fentes à proximité de l'élément rayonnant. [8]

II.4.6. Différentes techniques d'alimentation

Les antennes microbandes peuvent être alimentées par une variété de méthodes. Ces méthodes peuvent être classifiées en deux catégories, avec contact et sans contact. Dans les méthodes avec contact, la puissance de RF (radio fréquence) alimente directement la plaque rayonnante en utilisant un élément de connexion tel qu'une ligne micro-ruban.

Dans les techniques sans contact, le couplage de champ électromagnétique garantit le Transfert de la puissance entre la ligne micro-ruban et le patch rayonnant.

Les techniques d'alimentation les plus populaires utilisées sont la ligne micro-ruban, la sonde coaxiale (techniques avec contact), le couplage par fente.

II.4.6.1. Alimentation par ligne micro-ruban

Dans ce type d'alimentation, la ligne micro-ruban est connectée directement à la plaque micro-ruban (**Figure II-14**). L'alimentation peut être gravée sur le même substrat pour obtenir une structure plane.

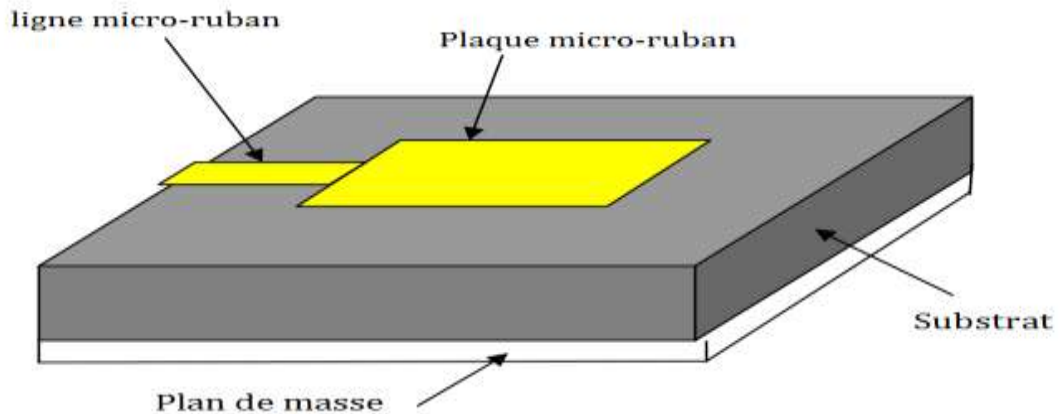


Figure II- 14 Alimentation par ligne micro-ruban

L'avantage d'une telle technique est la facilité de fabrication et le prix abordable. Cependant, son inconvénient majeur est le rayonnement parasite assez fort, ce qui les rend utilisables uniquement dans des applications qui n'exigent pas des performances élevées. [33]

II.4.6.2. Alimentation coaxiale

Cette technique est très employée pour l'alimentation des antennes micro-ruban. L'élément rayonnant est connecté à l'âme centrale d'un connecteur coaxial traversant le plan de masse et le substrat diélectrique. [34] (**Figure II-15**). Dans ce cas le conducteur intérieur du connecteur coaxial traverse le diélectrique et soudé au patch, alors que le conducteur externe est relié au plan de masse.

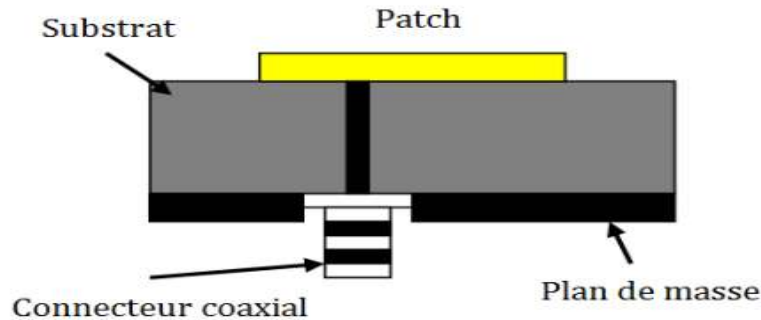


Figure II- 15: Antenne micro ruban alimenté par câble coaxial

L'avantage principal de ce type d'alimentation est qu'elle peut être appliquée à n'importe quel endroit choisi à l'intérieur du patch, avec une facilité de fabrication. Cependant, cette méthode présente des inconvénients au niveau du diagramme de rayonnement. En effet, la connexion génère un pic de courant localisé au niveau de l'élément rayonnant qui peut induire une dissymétrie dans le diagramme de rayonnement. De plus, des pertes apparaissent avec le perçage du plan de masse, du diélectrique ainsi que de l'élément plaqué. [1]

II.4.6.3. Alimentation par couplage par fente

Dans ce type de technique d'alimentation, le plan de masse sépare le patch rayonnant et la ligne d'alimentation, **figure (II-16)**. Le couplage entre les deux éléments est obtenu grâce à une fente ou une ouverture dans le plan de masse. La fente de couplage est généralement centrée sous le patch entraînant ainsi une baisse de polarisation croisée à cause de la symétrie de la configuration. Le couplage entre la ligne d'alimentation et le patch est déterminé par la forme, la taille et l'emplacement de l'ouverture ou de la fente. Dans cette technique d'alimentation, le rayonnement parasite est réduit au minimum. [35]

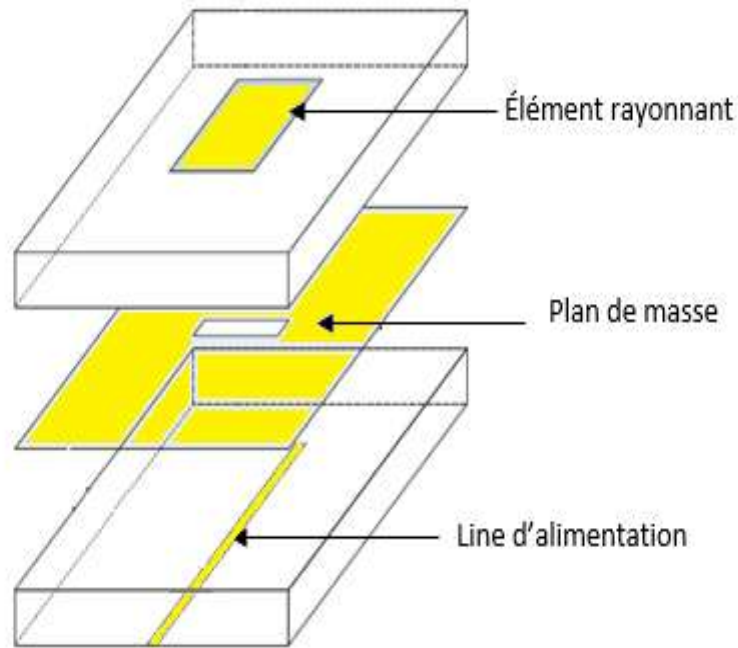


Figure II- 16: Alimentation par couplage par fente [34]

En règle générale, afin d'optimiser le rayonnement du patch, une constante diélectrique élevée est utilisée pour le substrat inférieur, tandis qu'une épaisseur plus grande et une constante diélectrique faible sont utilisées pour le substrat supérieur. L'inconvénient majeur de cette configuration réside dans la difficulté de fabrication due à la présence de plusieurs couches, ce qui a pour effet d'augmenter l'encombrement de l'antenne et le coût. [35]

II.4.7. Les avantages et les inconvénients des antennes micro-ruban

Les avantages	les inconvénients
Un faible poids	Rayonnement parasite de l'alimentation et des ondes de surface
Un coût de fabrication faible	Faible gain
Une polarisation linéaire et circulaire obtenue avec un simple changement de la position de l'alimentation.	Bande passante étroite, peut être améliorée
Peuvent être facilement intégrées aux circuits hyperfréquences	La complexité de la structure d'alimentation demandée par les réseaux à haute performance
Antenne multi bandes	Une forte influence de la qualité du substrat diélectrique sur les performances de l'antenne.
Le patch permettent être alimenté par un grand nombre de techniques d'excitation(coax, micro-ruban...etc.).	
Un encombrement réduit (conditions d'utilisation sur les systèmes embarqués) et compatibilité aisée	

Tableau II-1: Les avantages et les inconvénients d'un antenne micro-ruban [4] [21][27][31]

II.5. Technique d'élargissement de la bande passante

Différentes techniques ont été envisagées pour élargir la bande passante et stabiliser le diagramme de rayonnement. On peut citer pour augmenter la bande passante du patch, le décalage de l'alimentation, l'utilisation des fentes...etc.[4]

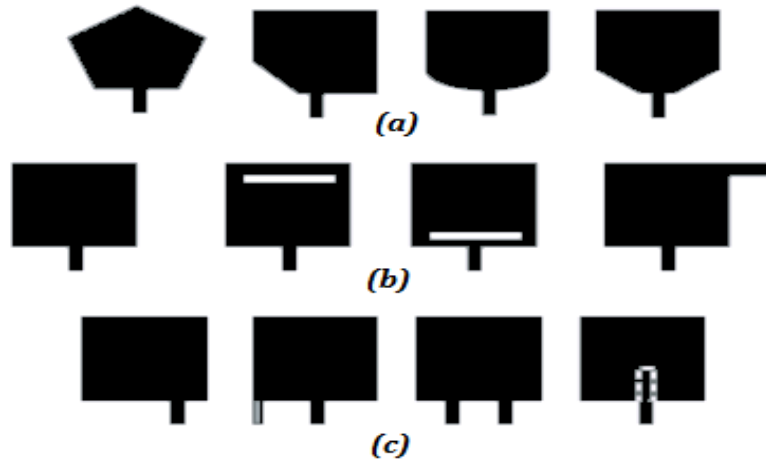


Figure II- 17 : Structures modifiées du monopole rectangulaire [21]

La **Figure (II-17)** présente certaines structures modifiées de l'antenne patch rectangulaire, le patch rectangulaire est capable d'offrir une largeur de bande. Afin d'élargir sa bande passante, certaines méthodes ont été suggérées, premièrement la structure de l'élément rayonnant a été modifiée, la largeur de la bande passante peut être améliorée de manière considérable par la modification de la forme de l'élément rayonnant. De plus, l'élément rayonnant peut être fendu pour augmenter la bande passante notamment à hautes fréquences, les fentes changent la distribution du courant alors l'impédance de l'entrée de l'antenne change. L'ajout d'un ruban de manière asymétrique à l'extrémité de l'élément rayonnant réduit la hauteur de l'antenne et améliore la bande passante.

Le choix approprié de la position du point d'alimentation élargit aussi la bande passante de l'antenne. [21]

II.6.Polarisation

La polarisation d'une antenne est donnée par la direction du champ électrique $\vec{E}$. Si $\vec{E}$ garde une direction constante dans le temps, on dit que l'on a une polarisation rectiligne. C'est le cas de la majorité des antennes à éléments rayonnants linéaires. Il existe, cependant, des antennes qui rayonnent un champ électrique dont la direction varie avec le temps de telle sorte que si, en un point donné, on schématise (**figure II-18**) les positions successives de E , l'extrémité du vecteur représentatif décrit un cercle ou une ellipse. On dit alors que le champ rayonné a polarisation circulaire ou elliptique. C'est le cas notamment des antennes utilisées en radar et en télécommunications spatiales. [29]

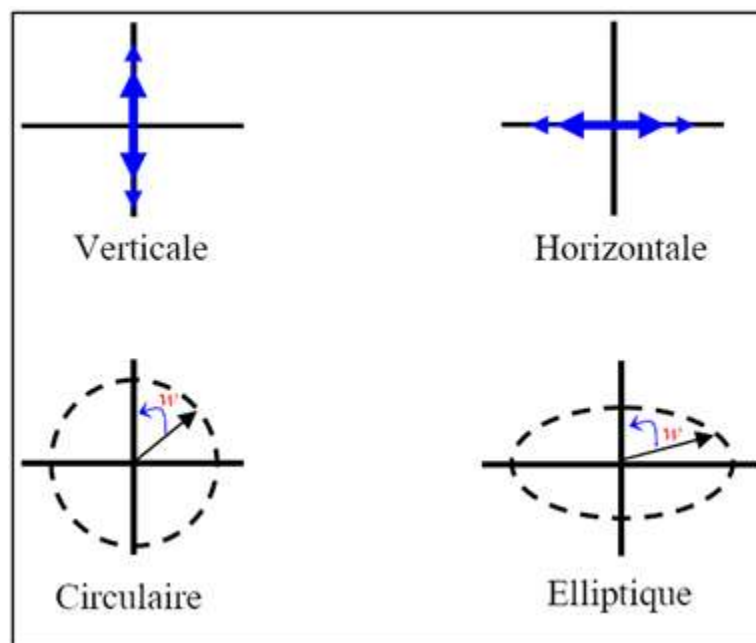


Figure II- 18 : Exemple de polarisation.

II.7. Les différents types d'antennes ULB

II.7.1. Les antennes indépendantes de la fréquence

Les antennes indépendantes de la fréquence ont été définies par Rumsley et Dyson en 1957 . Ces antennes sont caractérisées par les angles géométriques formant la structure de l'antenne, leurs caractéristiques en termes de diagramme de rayonnement et d'impédance d'entrée restent virtuellement inchangées sur une bande de fréquence quasiment infinie. En effet, il est connu que si l'on multiplie toutes les dimensions de l'antenne par un facteur α , l'ensemble de ses performances restent inchangées, seule la fréquence de fonctionnement augmente du même facteur α .

II.7.1.1. Les antennes spirales

Ces antennes ont été décrites par Dyson en 1959. Il existe trois types de spirales: spirale équiangulaire (spirale logarithmique), spirale conique et la spirale de type Archimède.

II.7.1.1.1 L'antenne spirale équiangulaire (logarithmique)

L'antenne spirale logarithmique, est définie en coordonnées polaires (ρ, φ) par :

$$\rho = e^{a(\varphi-\delta)} \text{ où } \varphi - \delta = \frac{1}{a} \text{Ln}(\rho) \quad (\text{II-12})$$

Où a et δ sont des constantes

Pour cette courbe particulière, l'angle φ entre la spirale et rayon vecteur reste constant pour tous les points de la spirale, ce qui lui a donné son nom.

Sur la **figure (II-15)**, les équations de la courbe 1 et 2 limitant une des bandes métalliques s'écrivent.

$$\rho_1 = k. e^{a\varphi} \text{ et } \rho_1' = k. e^{a(\varphi-\delta)} \quad (\text{II-13})$$

Et celles des courbes 3 et 4 limitant l'autre bande sont

$$\rho_2 = k. e^{a(\varphi-\delta)} \text{ et } \rho_2' = k. e^{a(\varphi-\delta-\pi)} \quad (\text{II-14})$$

Les constantes a , k et δ sont caractéristiques de la spirale et de la largeur des bandes.

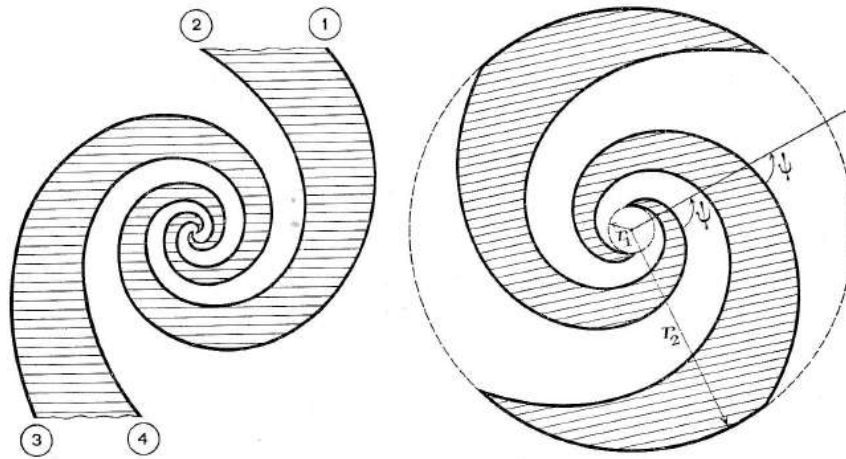


Figure II- 19: L'antenne spirale équiangulaire [36]

II.7.1.1.2 Antenne spirale conique

Cette antenne est une forme dérivée de la précédente, En effet, il suffit, pour la réaliser, d'imprimer les spirales sur un cône en matériau diélectrique servant de support pour le dessin.

Le principe de fonctionnement équiangulaire est donc le même. L'antenne est dimensionnée identiquement sur une large bande de fréquence, et possède un rayonnement unidirectionnel, avec le maximum du champ dirigé sur l'axe du cône vers son sommet.

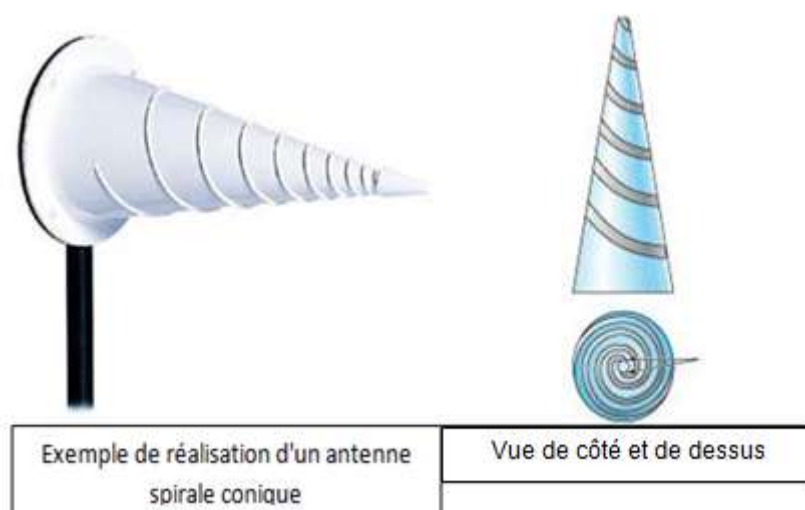


Figure II- 20: Antenne spirale conique [4]

Théoriquement, elle possède une bande passante infinie, mais en pratique, du fait de ses dimensions finies, elle couvre une bande passante de quelques octaves. La bande passante est uniquement limitée par les dimensions des rayons externes de la spirale. Contrairement à l'antenne précédente qui avait un rayonnement bidirectionnel, cette antenne a un rayonnement unidirectionnel, le maximum du champ étant orienté selon l'axe du cône. A chaque fréquence, seule une partie des brins de l'antenne rayonne. La distance à l'alimentation de ces brins correspond à une longueur d'onde, ce qui signifie que le centre de phase de cette antenne n'est pas constant en fonction de la fréquence, et par conséquent, cette antenne, comme la précédente est dispersive, Mais comme l'antenne est à trois dimensions, le centre de phase va varier très fortement le long de l'axe du cône; par voie de conséquence, cette antenne sera plus dispersive que l'antenne logarithmique.[37]

II.7.1.1.3. Antenne spirale d'Archimède

Cette antenne formée de deux spirales, possède un rayonnement analogue à celui de la spirale logarithmique.

Ce type d'antenne est plus utilisé que les antennes à spirale logarithmique car, à performance égale (même bande passante), cette structure est plus compacte que la spirale logarithmique: L'étalement linéaire des brins de la spirale permet de faire plus de tours par unité de surface que l'antenne équiangulaire. Ses spécificités ressemblent beaucoup à celles des types d'antennes à spirales que l'on a vues précédemment. Sa bande passante est de plusieurs octaves et est limitée par les rayons externes de la spirale, sa polarisation est circulaire et son diagramme de rayonnement bidirectionnel.

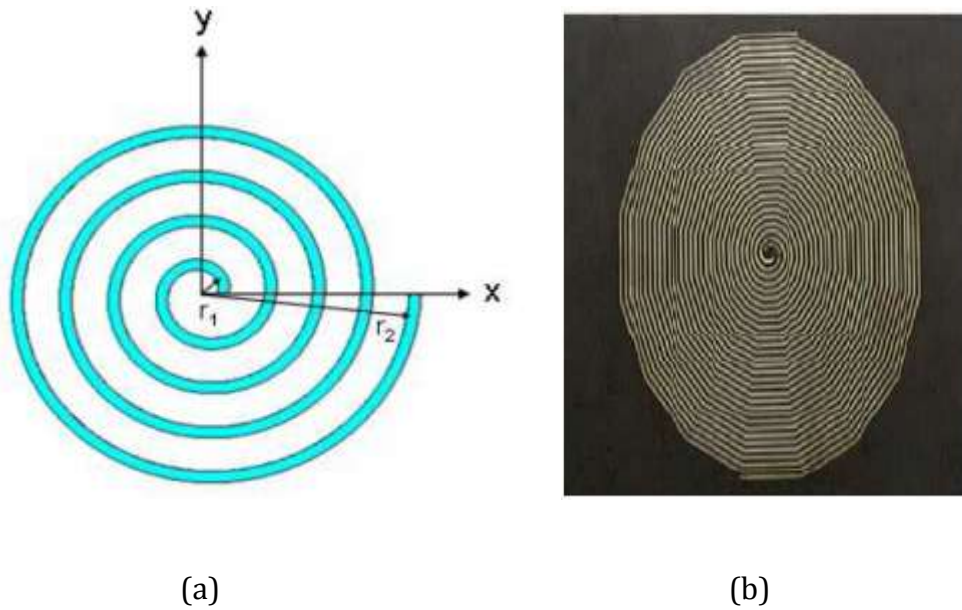


Figure II- 21: (a) Structure de l'antenne à spirale d'Archimède à deux brins, (b) Représentation pratique de l'antenne.[38]

II.7.2. Antennes directives ULB

L'antenne ultra large bande directive est souvent utilisée dans des applications particulières; par exemple dans le cas d'une station de base en communication avec des stations fixes. D'autres systèmes requièrent que l'antenne rayonne plutôt dans un demi-espace. On peut citer comme exemple l'antenne de point d'accès accrochée au mur ou encore une antenne en façade d'appareils électroniques. Certaines antennes ultra large bande directives sont aussi couramment utilisées dans le cadre de mesure d'antennes en chambre anéchoïde.

Contrairement aux antennes étudiées précédemment, il est très difficile de miniaturiser ce type d'antenne.

II.7.2.1. Antenne cornet

Les cornets constituent une première catégorie d'antennes ultra large bande directives. Ces antennes sont couramment utilisées pour des mesures de diagramme de rayonnement ou encore dans le cadre d'applications GPR (Ground penetrating Radar). Ces antennes sont constituées de guides d'onde rectangulaires ou circulaires (intrinsèquement large bande) et d'une transition (adaptateur d'impédance). La figure II-22 montre un exemple d'une antenne cornet.

Ce type d'antenne peut avoir un gain important, qui augmente avec la fréquence sur plusieurs octaves. Les cornets ont un centre de phase qui ne varie pas avec la fréquence.

Elles sont à fort encombrement et leur coût de fabrication est relativement élevé.

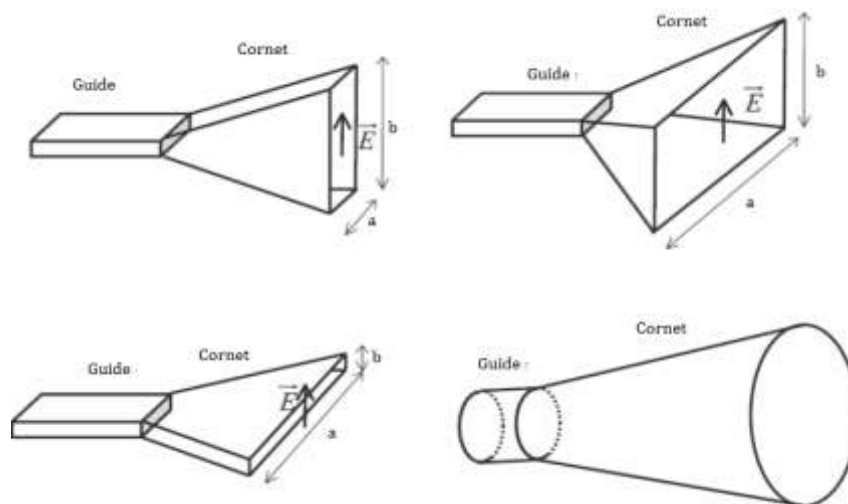


Figure II- 22: Différents types de cornets [39]

II.7.2.2. Antenne à transition progressive (Vivaldi)

Les antennes fente à transition progressive (TSA Tapered Slot Antenna) constituent une autre catégorie importante d'antennes ultra large bande directives. Ce sont des antennes à deux dimensions présentant une transition à partir d'une ligne ou d'un guide d'onde imprimé. Elles ont été imaginées en 1974 par Lewis et Gibson. Elles sont généralement constituées par une ligne de fente s'élargissant suivant un profil donné jusqu'à la discontinuité finale. Le profil de ces ouvertures peut prendre différentes formes soit

linéaire soit exponentielle Les applications de ces antennes sont variées: de l'application radar à l'imagerie micro-onde

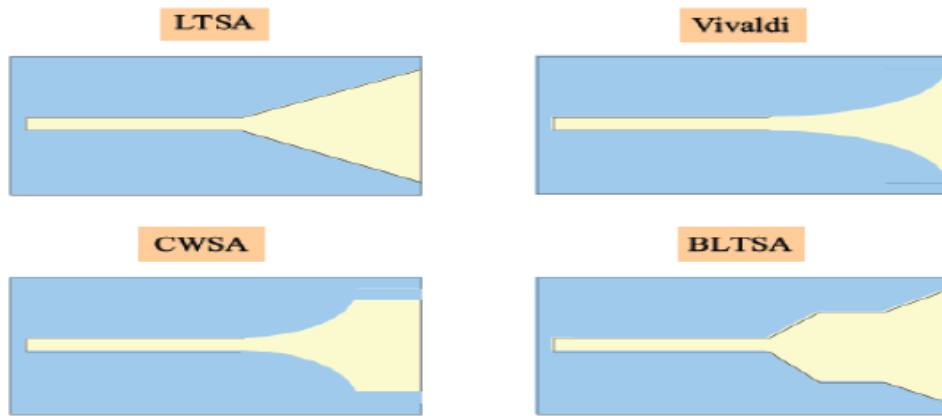


Figure II- 23: Différents type de TSA [9]

II.7.2.3. Antenne log-périodique

Les antennes log périodique ont été conçues pour la première fois par Duhamel et Isabell en 1959. Elles s'appuient sur le principe d'une antenne dimensionnée pour toutes les fréquences mais de façon périodique et non répétitive.

Dans la suite, on va examiner plusieurs antennes de ce type.[6]

II.7.2.3.1. Antenne log périodique de forme circulaire

L'antenne est constituée d'éléments rayonnants (ou dents) qui se déduisent les uns des autres par des homothéties ; chaque élément est accordé à une fréquence proche de celle de l'élément voisin. Une telle structure, dotée de nombreux éléments et pour laquelle l'écart des fréquences de résonance entre éléments rayonnants voisins est petit, constitue un dispositif très large bande. [14]

Cette antenne de forme circulaire est déterminée par les relations suivantes : **(figure II-24)**

$$\tau = \frac{R_{n+1}}{R_n} \quad (\text{II-15})$$

$$c = \frac{r_n}{R_n} \quad (\text{II-16})$$

τ : Définit la périodicité des caractéristiques de l'antenne

c : Définit la largeur des dents

Les angles α et β définissent la longueur des dents $r_{\min}$ et $r_{\max}$ limitent les extrémités de la structure.

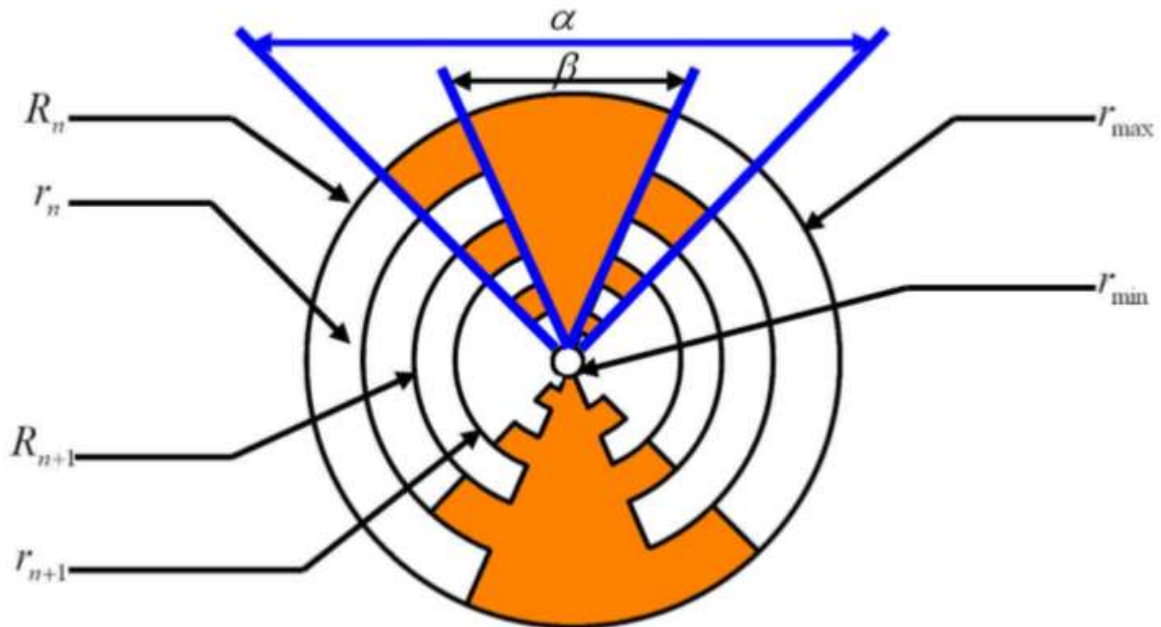


Figure II-24: Antenne log-périodique circulaire [40]

II.7.2.3.2. Antenne log périodique de forme trapézoïdale

L'antenne log périodique de forme trapézoïdale est un autre exemple d'antenne log périodique. Cette antenne se déduit aisément de la précédente.

Une représentation de l'antenne trapézoïdale est présentée sur la **figure (II-25)**.



Figure II-25: Antenne log-périodique de forme trapézoïdale.[40]

Cette antenne étant plus facile à construire que la précédente, est plus couramment utilisée que l'antenne de forme circulaire. Elle possède exactement les mêmes caractéristiques: diagramme de rayonnement bidirectionnel, bande passante de plusieurs octaves, antenne dispersive.[23]

II.8. Conclusion

Dans l'ensemble de ce chapitre, nous avons présenté de façon générale quelque type d'antenne (omnidirectionnelle, directionnelle, micro-ruban...etc.), et nous sommes basés beaucoup plus sur les avantages et les inconvénients des antennes patch, ainsi que les méthodes d'alimentations et quelque techniques d'élargissement de la bande passante.

Ensuite on a cité quelques types d'antennes indépendant de la fréquence (spirale, log-périodique), et les antennes directives (cornet, Vivaldi) utilisé pour la création d'une Ultra Bande Large.

Après l'étude de ces modèles on a choisis d'utiliser un modèle patch qui a comme avantage sa facilité de réalisation.

III.1. Introduction

Après la revue approfondie des technologies et des antennes utilisées en large bande qui a fait l'objet des deux premiers chapitres, ce chapitre a pour but de simuler une antenne à Bande Large.

On a simulé une antenne patch fonctionnant à une fréquence bien déterminée et avec une alimentation par ligne micro ruban, pour arriver à une structure finale optimisée, On va jouer sur les paramètres géométriques de cette antenne.

La conception d'antenne proposée et Les performances sont analysées en utilisant (HFSS) (High Frequency Structure Simulator) (**ANNEXE A**), Et puis nous allons comparé nos résultats avec ceux qui produisent par le logiciel (CST) (Computer Simulation Technology- Microwave Studio) (**ANNEXE B**).

III.2. Définition de logiciel HFSS

Le logiciel ANSYS HFSS est la référence de l'industrie pour la simulation de champs électromagnétiques en haute fréquence. Grâce à son très haut niveau de précision, à ses solveurs avancés et à ses technologies de calcul parallèle haute performance, il est l'outil indispensable pour les ingénieurs impliqués dans des tâches de conception précises et rapides d'appareils électroniques haute fréquence, ultra haut -débit et leur intégration sur plateforme. HFSS offre des solveurs de pointe basés sur les éléments finis, les équations intégrales et sur les méthodes asymptotiques et hybrides avancées, afin de résoudre un large spectre d'applications micro-ondes, RF et numériques ultra-rapides.

III.3. Antenne patch

Une antenne à éléments rayonnants imprimés, communément appelée « antenne patch» est une ligne MICRORUBAN (en anglais MICROSTRIP) de forme particulière. Elle se compose d'un plan de masse et d'un substrat diélectrique dont la surface porte un ou plusieurs éléments métalliques.

Il convient de souligner leur faible poids, un encombrement réduit, un faible coût de revient et une configuration plane compatible avec les circuits intégrés et éventuellement conformable.

Une d'antenne patch, se compose généralement de trois couches principales :

- Le plan de masse : Métallique
- Un substrat : C'est un diélectrique avec ϵ_r et μ_r
- Le patch : Prend plusieurs formes (rectangle, cercle... etc.)

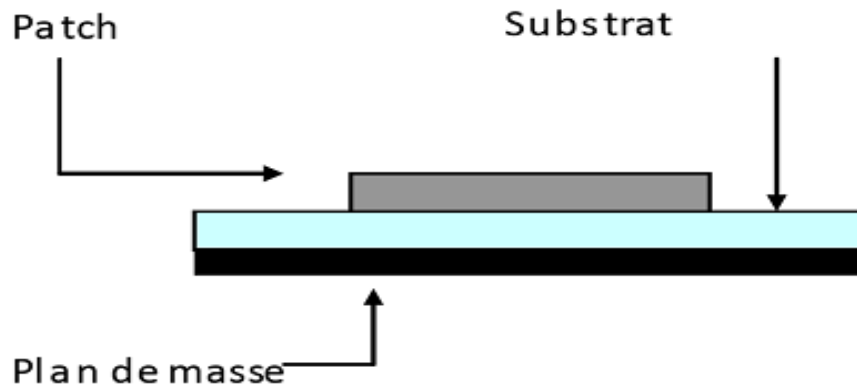


figure (III-1) Structure typique d'un antenne micro-ruban [41]

La **figure (III-1)** représente la structure d'une antenne patch, qui est constitué d'un seul élément rayonnant, pour arriver à une structure finale optimisée, alimenté avec un micro-ruban.

Le type du substrat qu'on a utilisé c'est le FR-4 ayant des constantes diélectriques relatives $\epsilon_r = 4.3$ avec d'épaisseur $h=1.6$ mm.

III.3.1. Les calculs des dimensions

Les calculs des dimensions de ce modèle est faite par les équations ci-dessous :

$$W_{patch} = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (III-1)$$

$$\epsilon_{reff} = \frac{(\epsilon_r + 1)}{2} + \frac{(\epsilon_r - 1)}{2} \left[1 + 12 \cdot \frac{h}{W_{patch}} \right]^{-1/2} \quad \text{Si } W_{patch}/h > 1 \quad (III-2)$$

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{W_{patch}}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{W_{patch}}{h} + 0.8 \right)} \quad (III-3)$$

$$L_{patch} = \frac{1}{2f_r \sqrt{\epsilon_{reff}} \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} - 2\Delta L = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{reff}}} - 2\Delta L \quad (III-4)$$

Tel que :

$$L_{substrat} = 6.h_{substrat} + L_{patch} \quad (III-5)$$

$$W_{substrat} = 6.h_{substrat} + W_{patch} \quad (III-6)$$

ϵ_{reff} : Permittivité effective du substrat.

ϵ_r : Permittivité du substrat.

$W_{substrat}$: Longueur du substrat.

$L_{substrat}$: Largeur du substrat.

W_{patch} : Longueur du patch.

L_{patch} : Largeur du patch

Où 'C' c'est la vitesse de la lumière ($c = 3.10^8 m/s$)

Les dimensions d'antenne étudiée est résumée dans le tableau suivant :

paramètres	Dimensions(mm)
W_{substrat}	30
L_{substrat}	30
W_{patch}	14
L_{patch}	14
W_{gnd}	30
L_{gnd}	30
W_{rub}	3
L_{rub}	13
h	1.6
t	0.036
L_{slot}	6
W_{slot}	6

Tableau III- 1: Dimensions de l'antenne

III.4. Simulations et résultats

III.4.1. Les résultats obtenus avec logiciel HFSS

Dans ce qui suit, différents résultats obtenus avec logiciel HFSS (High Frequency Structure Simulator).

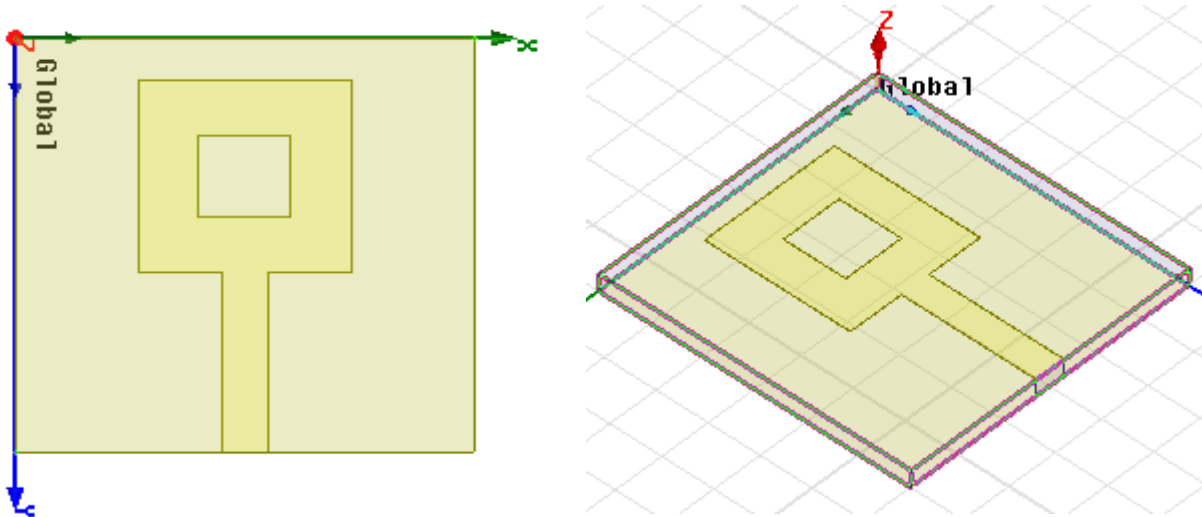


Figure III- 1: antenne rectangulaire

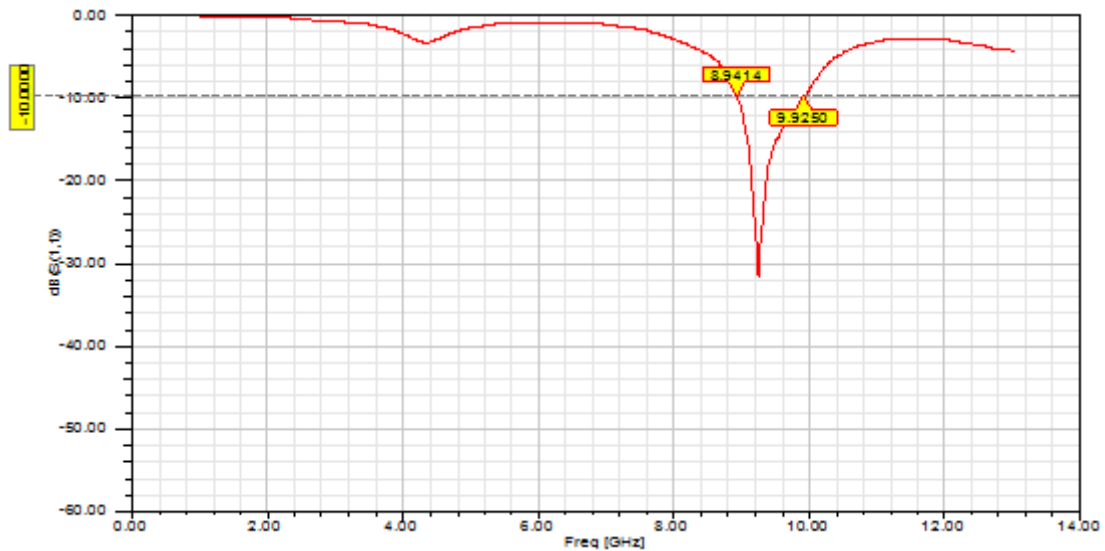


Figure III- 3: Coefficient de réflexion en fonction de fréquence.

Nous allons présenter le coefficient de réflexion $S[1,1]$ **figure(III-3)**, de la structure de base qu'on a déjà présentée dans la **figure(III-2)**.

III.4.1.1. Étude paramétrique

III.4.1.1.1. Effet de la géométrie du plan de masse

Afin d'étudier l'influence de la largeur du plan de masse sur les caractéristiques d'antenne, nous allons varier la largeur notée par ' L_{gnd} ' **figure (III-4)**.

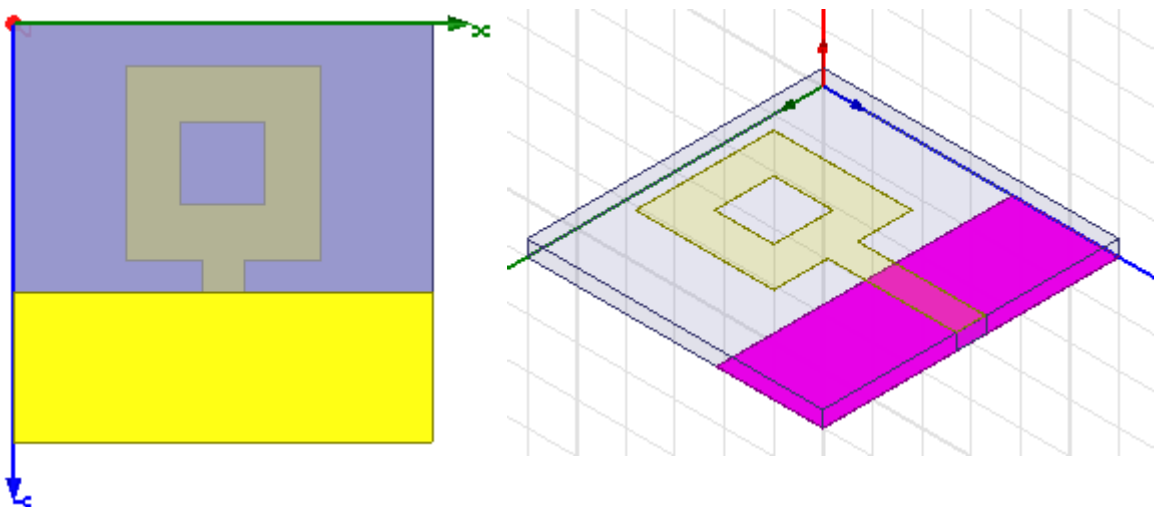


Figure III- 4: Variation de la largeur L_{gnd}

Les résultats de la simulation obtenus sont montrés dans la **figure (III-5)**.

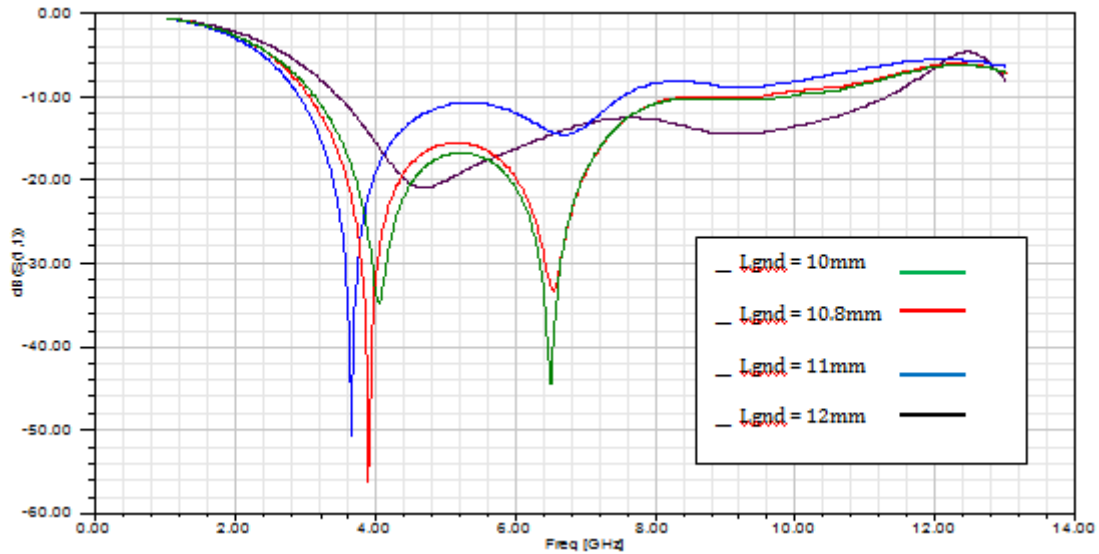


Figure III- 5: Coefficient de réflexion en fonction de fréquence

Les résultats de la simulation montrent que la largeur du plan de masse affecte les performances de l'antenne, nous avons choisi (**$L_{gnd} = 10.8 \text{ mm}$**) pour les objectifs de l'étude.

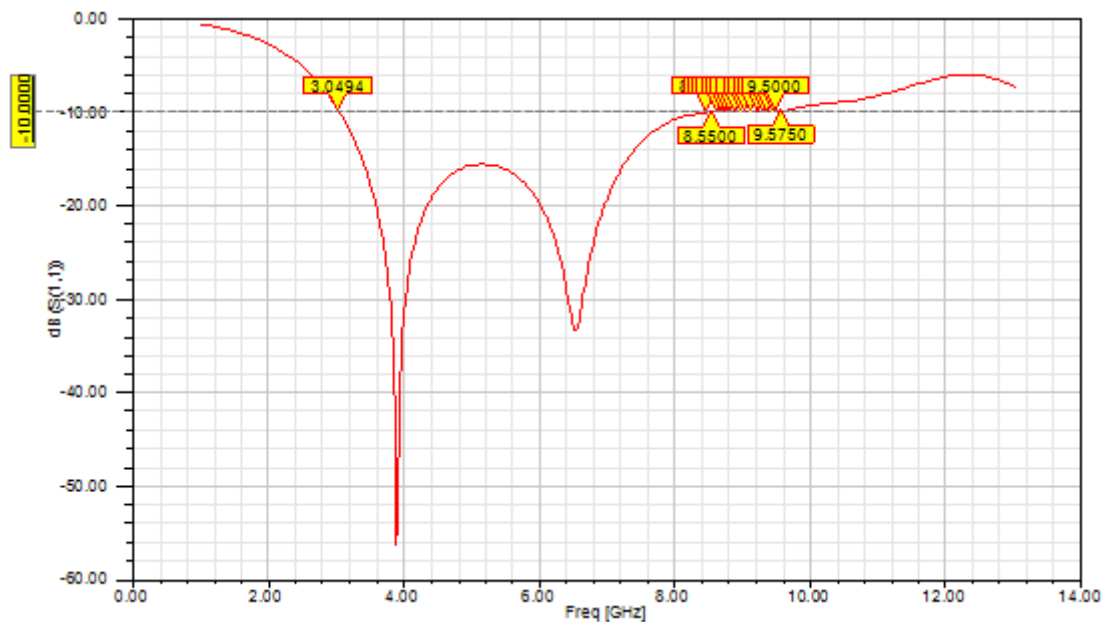


Figure III- 6: Coefficient de réflexion en fonction de fréquence pour ($L_{gnd} = 10.8 \text{ mm}$)

III.4.1.2. Optimisation d'antenne

Le tableau suivant résume les valeurs utilisées pour l'antenne optimisée :

paramètres	Dimensions(mm)
W_{substrat}	30
L_{substrat}	30
W_{patch}	14
L_{patch}	14
W_{gnd}	30
L_{gnd}	10.8
W_{rub}	3
L_{rub}	13
h	1.6
t	0.036
L_{slot}	6
W_{slot}	6

Tableau III- 2: Dimensions de l'antenne optimisée

III.4.1.2.1. Effet de la forme de l'élément rayonnant

Nous allons maintenant nous concentrer sur la structure de rayonnement (patch) où la modification est en enlevant certaines parties (slots) comme le montre la figure suivante :

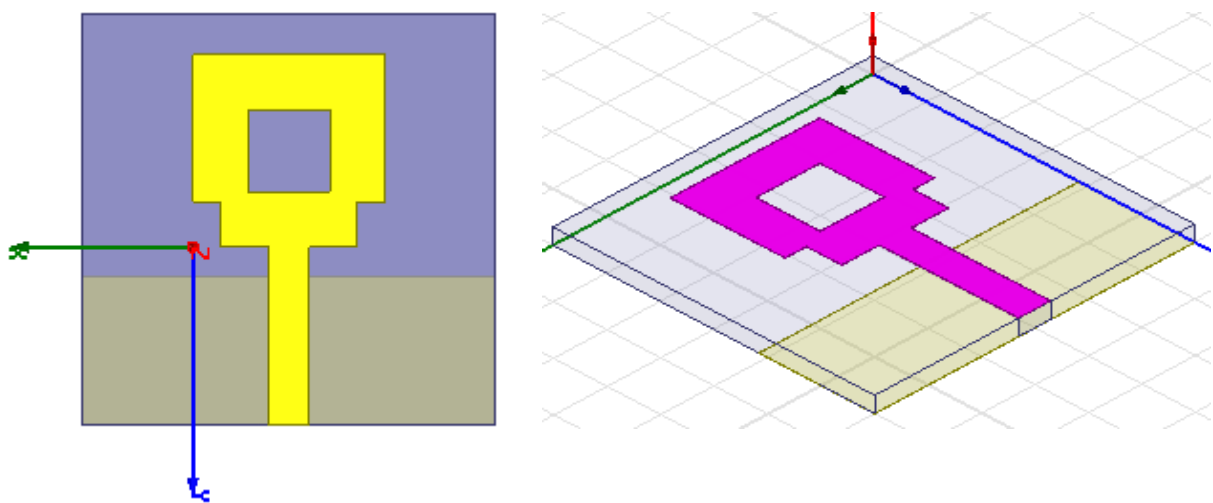


Figure III- 7: modification de la forme de l'élément rayonnant

Les résultats de la simulation obtenus sont montrés dans la **figure (III-9)**.

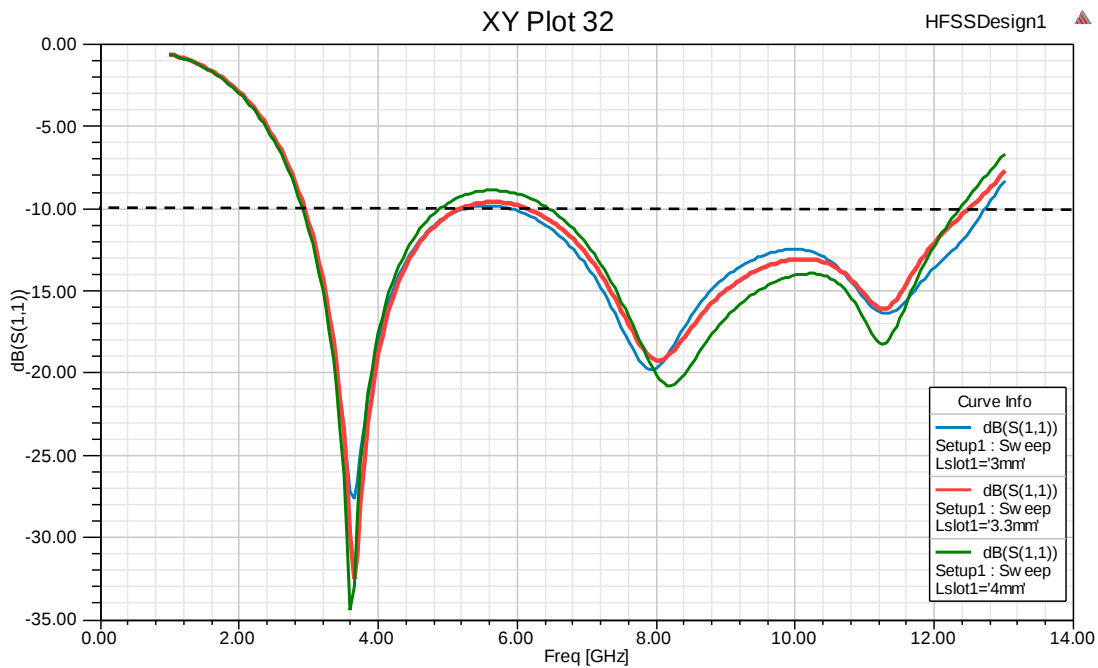


Figure III- 8: Coefficient de réflexion en fonction de fréquence

Les résultats de la simulation montrent que les slots affecte les performances de l'antenne, le meilleur résultat est $L_{\text{slot1}} = 3.3 \text{ mm}$.

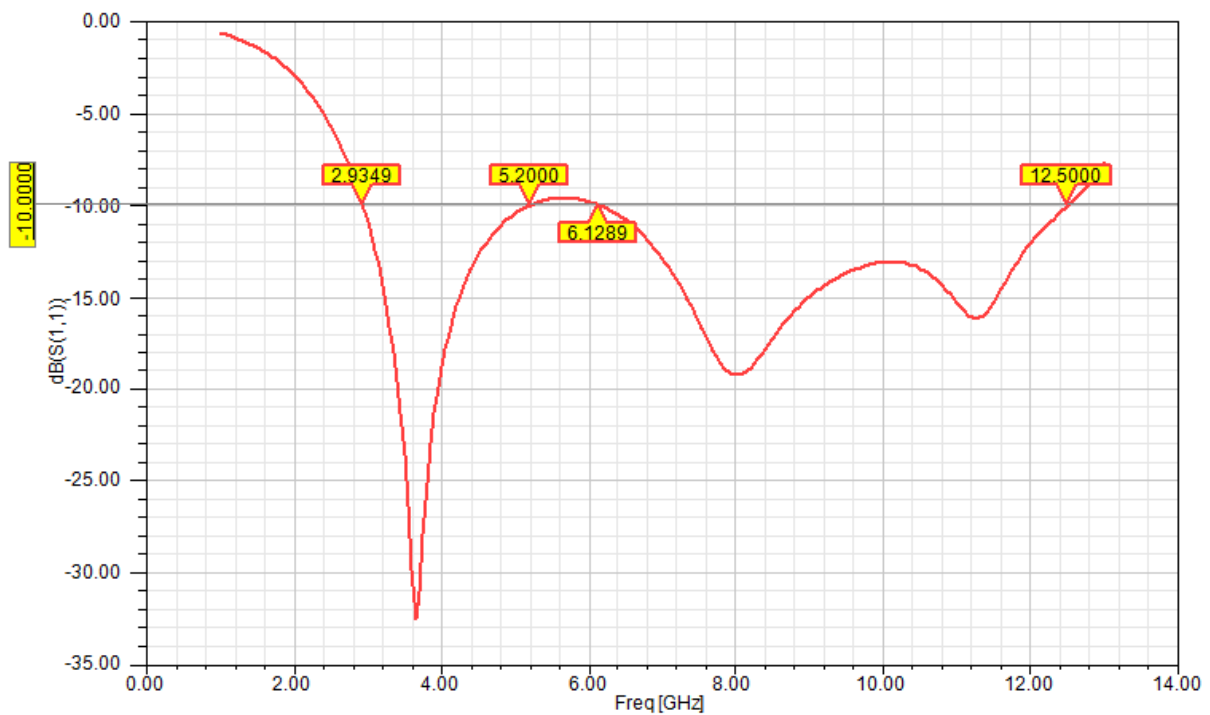


Figure III- 9: Coefficient de réflexion en fonction de fréquence pour ($L_{\text{slot1}} = 3.3 \text{ mm}$)

III.4.1.2.2. Effet de la forme du plan de masse

Nous allons maintenant nous concentrer sur la structure de rayonnement (Feed line) où la modification est en enlevant certaines partie (slot) de plan de masse comme le montre la figure suivante :

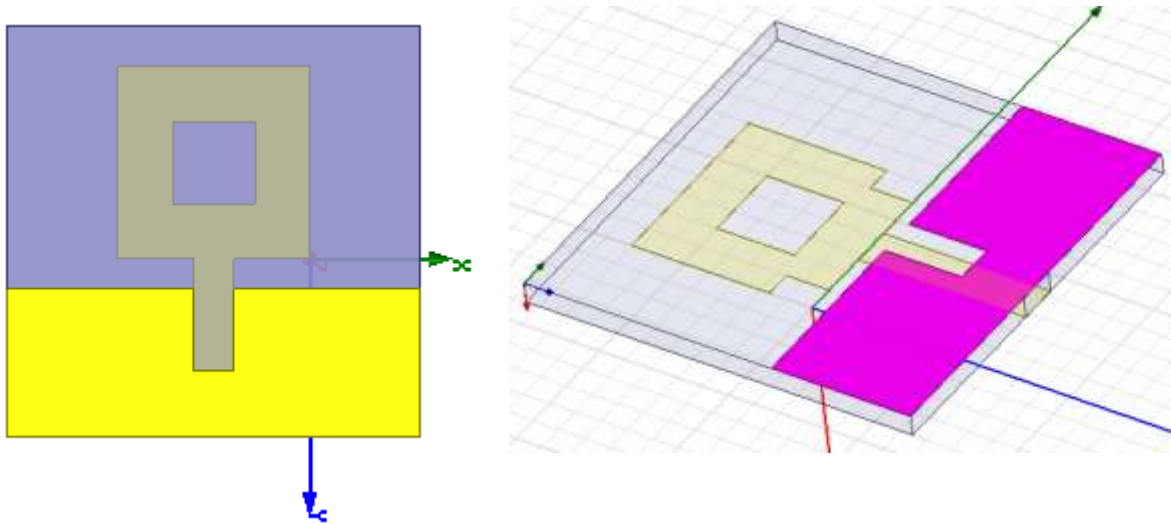


Figure III- 10: modification de la forme du plan de masse

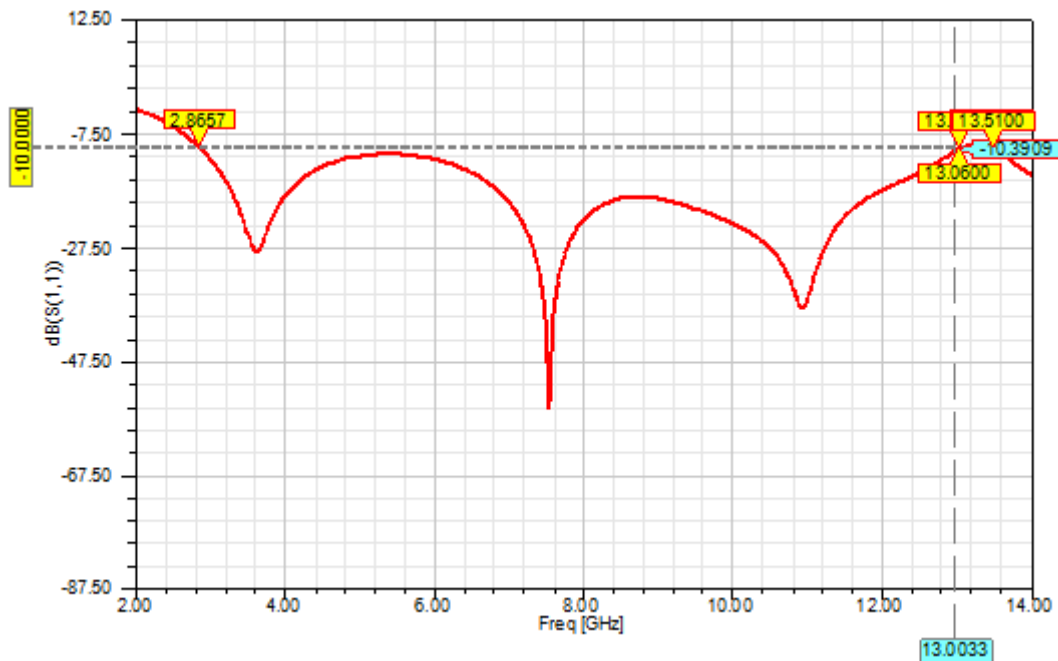


Figure III- 11: Coefficient de réflexion en fonction de fréquence

La **figure (III-11)** illustre le résultat final de coefficient de réflexion $S[1,1]$ qui nous donne une large bande fréquentielle $FB=1.28$ avec une bonne adaptation arrive jusqu'à -55.50 Db

III.4.2.1. Les résultats obtenus avec logiciel CST

III.4.2.1.1. Définition de logiciel CST

Le logiciel CST (Computer Simulation Technology- Microwave Studio) offre des solutions de calcul précises et efficaces pour la conception et l'analyse électromagnétiques. Ce logiciel vous permet de choisir la méthode la plus appropriée pour la conception et l'optimisation de dispositifs fonctionnant sur une large gamme de fréquences.

Pour valider notre résultat obtenu avec HFSS, on a simulé la même structure avec logiciel CST. La **figure (III-12)** illustre le Coefficient de réflexion en fonction de fréquence.

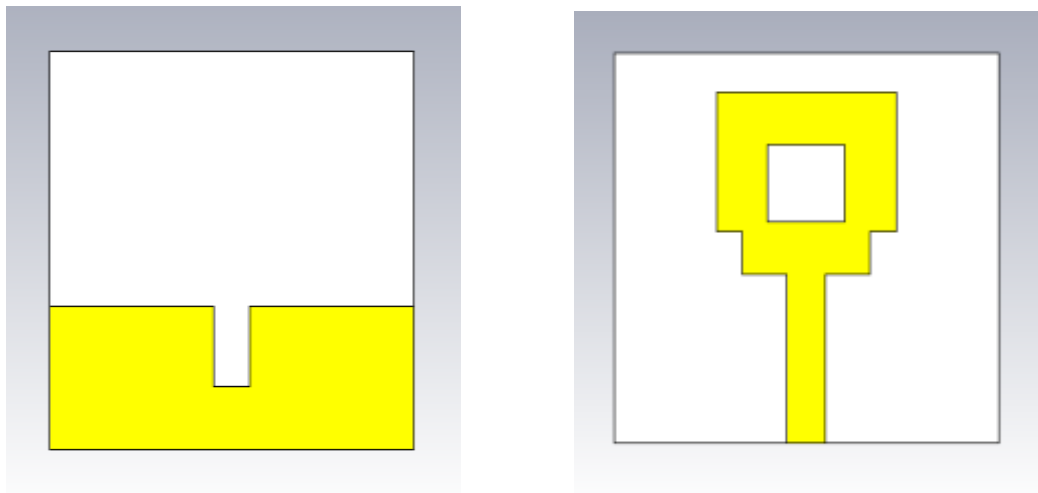


Figure III-12: Structures de l'antenne simulée par logiciel CST

Présentation de notre antenne est montrée sur la **figure (III-12)**.

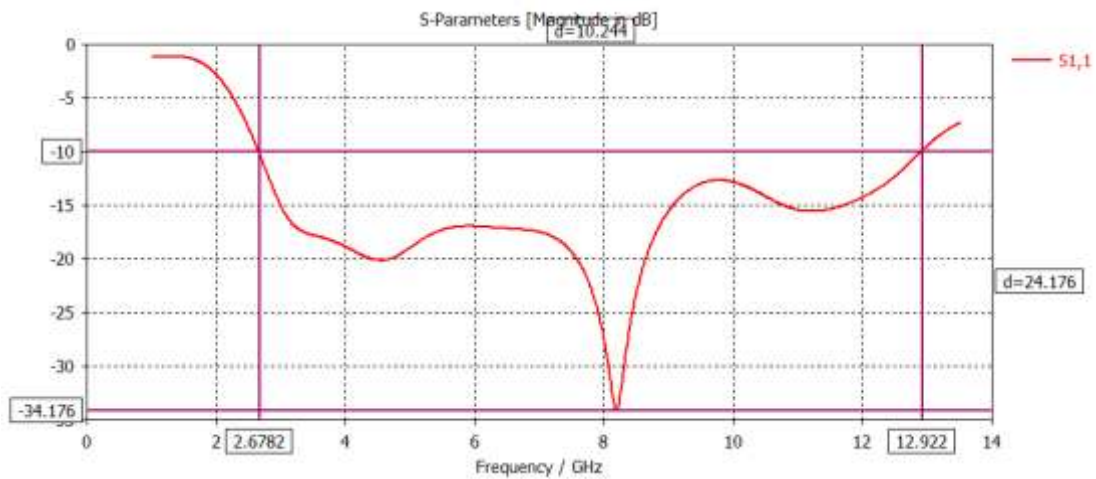


Figure III-13: Coefficient de réflexion $S[1,1]$ de la structure optimisée obtenus par CST

III.4.2.2. Comparaison du résultat obtenu avec HFSS et l'autre de CST :

paramètres	HFSS	CST
La Bande Passante (GHz)	2.86– 13.00	2.67– 12.92
La Bande Fréquentiel	1,27	1.31
Fréquence Résonnance (GHz)	3,60 7.54 10,95	8.24
Niveau S [1 ,1] (dB)	-29.50 -55.50 -37.50	-34.17

Tableau III- 3: Résultats de comparaison entre HFSS et CST

Commentaire:

Le tableau (III-3) présente une comparaison entre le résultat obtenu avec HFSS et CST-MS et, nous remarquons un léger décalage en fréquence entre les deux simulations, à cause de la différence entre les deux méthodes de calcul utilisées par ces deux logiciels. Le HFSS utilise la méthode des éléments finis et le CST-Microwave Studio utilise la méthode des intégrales finis.

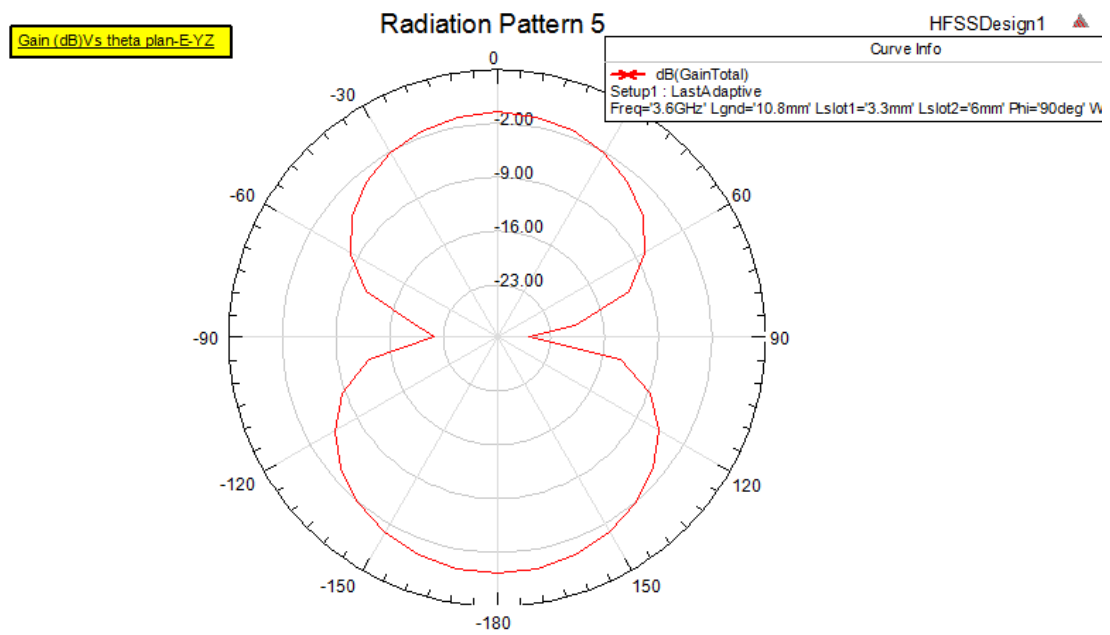
III.4.2.3. Diagramme de rayonnement

On étudie dans ce paragraphe les caractéristiques de rayonnement d'une antenne imprimée dont l'élément rayonnant est sous forme d'un anneau. On a tracé les diagrammes dans les deux principaux plans de l'antenne: dans le plan H et dans un plan E.

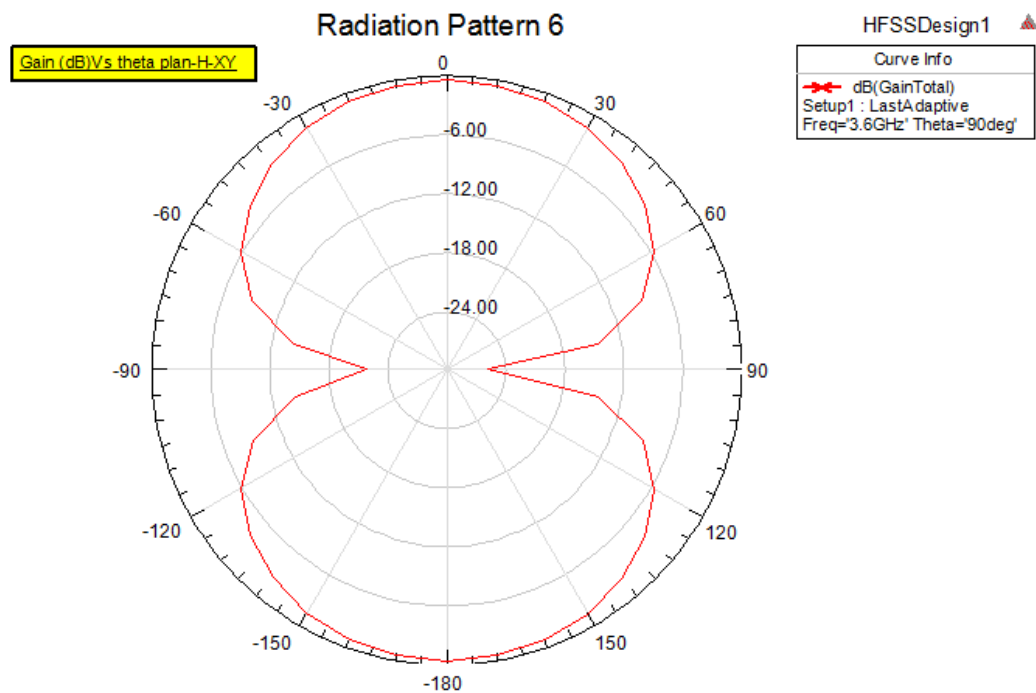
Le diagramme de rayonnement est défini comme la variation du champ avec les angles, dans la zone de champ éloigné. Pour un dipôle le diagramme est fonction de $\sin\theta$. Étant donné une antenne polarisée linéairement le diagramme dans un plan parallèle au champ électrique s'appelle le diagramme dans le plan E (E-plane pattern). Puisque les champs du dipôle sont indépendants de φ , tout plan contenant le dipôle

définit le diagramme dans le plan E. Réciproquement, le plan H se trouve dans un plan perpendiculaire au champ électrique.

Habituellement, le diagramme de rayonnement est tracé en décibels en fonction de l'angle. [41]

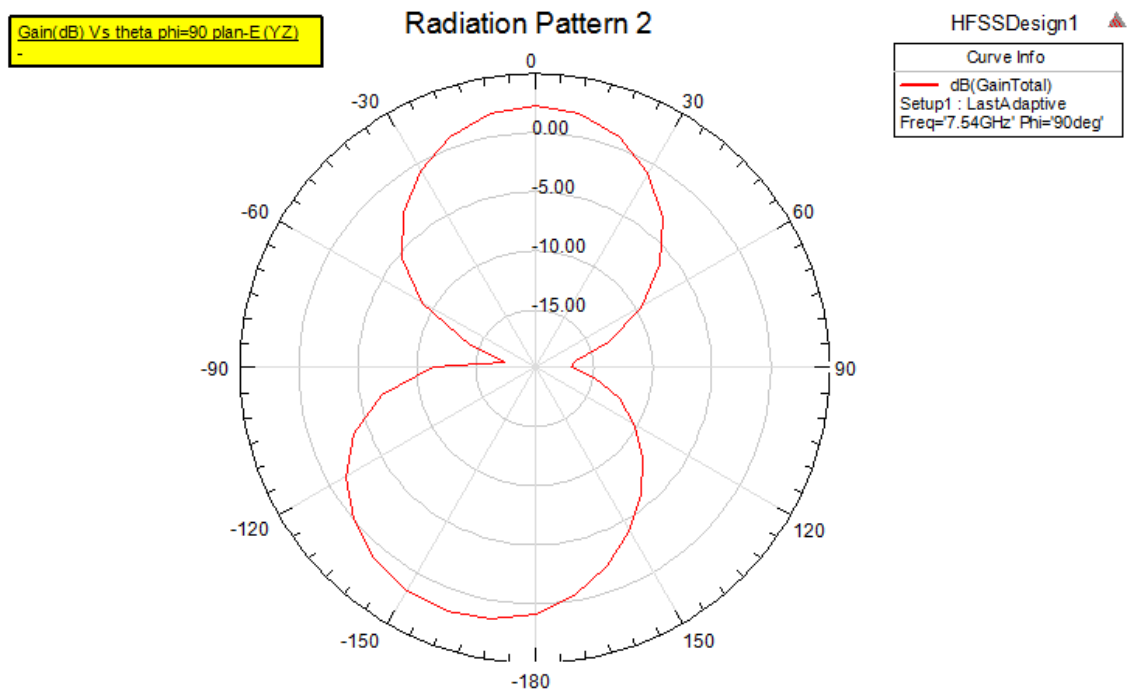


a- le plan E

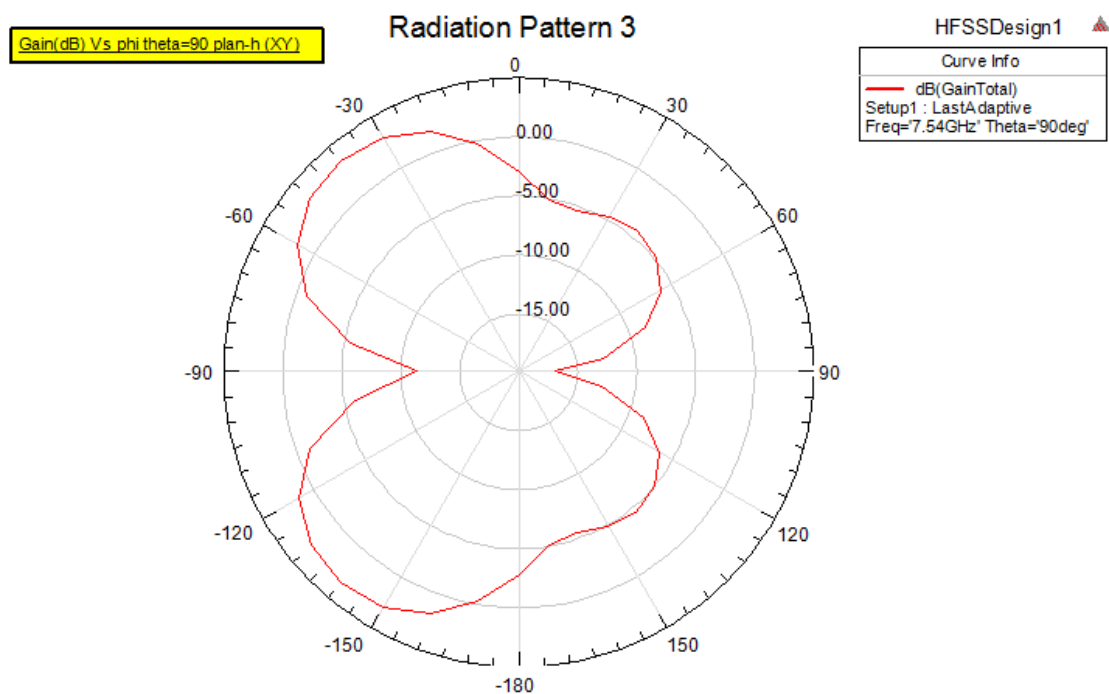


b - le plan H

Figure III-14: Diagramme de rayonnement à la fréquence 3.6 GHz

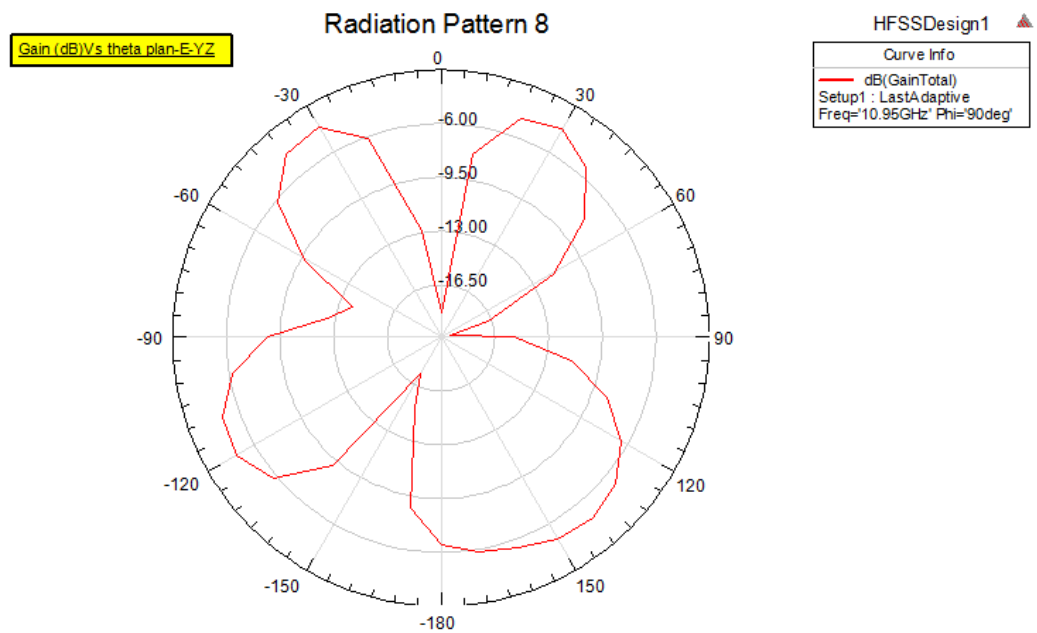


a- le plan E

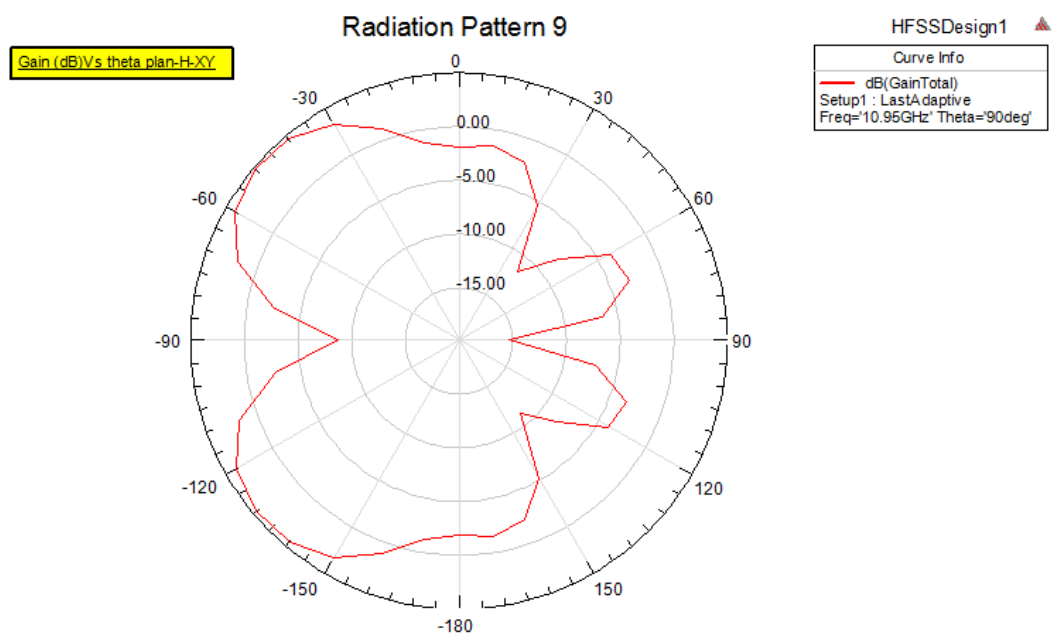


b- le plan H

Figure III-15: Diagramme de rayonnement a la fréquence 7.54GHz



a- le plan E



C - le plan H

Figure III-16: Diagramme de rayonnement a la fréquence 10.95GHz

Commentaire:

- a) Plan E - $F=3.6\text{GHZ}$
 - Identique à un digramme de rayonnement d'un monopole.
- b) Plan H - $F=3.6\text{GHZ}$

Un diagramme de rayonnement :

- L'axe X → rayonnement maximal
- L'axe Y → rayonnement minimal

Digramme directif (directionnelle) .

III.5. Conclusion

Les antennes imprimées exigent des études approfondies théoriques et numériques pour la conception. Dans ce chapitre, nous avons présenté des géométries simples inspirées d'une antenne micro-ruban rectangulaire.

La première partie de ce travail a été consacrée à une étude paramétrique menée pour comprendre les effets des divers paramètres géométriques afin d'aboutir à une structure finale optimiser.

Nous avons conclu de cette étape que le coefficient de réflexion d'antenne imprimée est très sensible du l'impact de l'évolution très faibles estimés à moins de 1 mm de ses dimension (substrat, patch, plan de masse... etc.)

La deuxième partie est basé sur une comparaison entre le résultat finale du coefficient de réflexion S11 obtenue par les deux logiciels de conception HFSS et CST. Le résultat de la simulation montre des accords raisonnables.

L'antenne proposée dispose d'une taille compacte, d'une structure simple, d'une bonne largeur de bande et de diagramme de rayonnement stable, confirment son aptitude dans des systèmes de communication ultra large bande.

Conclusion générale

Ce travail a été consacré pour la Conception et simulation d'une antenne ultra large bande.

Dans le premier chapitre on a présente l'état de l'art de la technologie ultra large bande. Dans ce cadre nous avons présenté les caractéristiques de cette technologie et leur applications dans le domaine de la communication sans fil, et nous avons vu quelque antennes qui fonctionnent dans cette technologie.

Le deuxième chapitre représenté une étude générale sur les antennes, ensuite une revue sur les différents types des antennes ULB (directive, omnidirective...etc.), et nous avons fait une description sur l'antenne imprimées et leur différents techniques d'alimentation, et on conclure avec les principales techniques de reconfiguration permettant de modifier les caractéristiques de l'antenne.

Le troisième chapitre a été consacré sur la simulation et l'optimisation de notre antenne patch pour la technologie ultra large bande qui assurent une capacité et un confort aux utilisateurs. Nous avons menu également une étude paramétrique, nous avons remarqué que cette étude que les caractéristiques d'antenne imprimée est très sensible du l'impact de l'évolution très faibles de ses dimension estimés à moins de 1 mm

Nous avons obtenu des meilleures performances en termes d'adaptation, rayonnement et en bande passante.

À la fin on a comparé le résultat final qu'on a obtenu par HFSS avec l'autre logiciel de simulation connu par CST, les résultats de la simulation montre des accords raisonnables.

Spécification de cette antenne peuvent être utilisé pour les systèmes WiMax , Radar.

A. 1 Description du logiciel HFSS

Le logiciel HFSS (High Frequency Structure Simulator) est un simulateur électromagnétique de haute performance pour les modèles en 3D. Il intègre des simulations, des visualisations et une interface pour résoudre rapidement et de façon efficace les problèmes électromagnétiques en 3D. Son code de calcul est basé sur la résolution des équations de Maxwell à l'aide de la méthode des éléments finis.

Il permet d'obtenir des graphiques performants pour donner à l'utilisateur des résultats et une perspicacité aux problèmes électromagnétiques en 3D. [2]

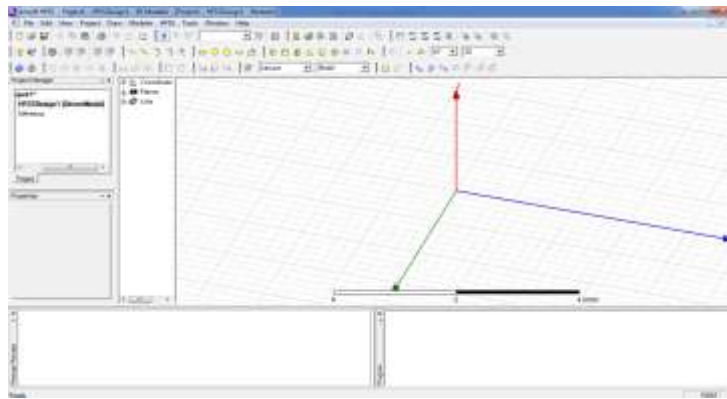


Figure (A-1): L'interface principale de HFSS

Un projet HFSS est un dossier qui contient un ou plusieurs modèles appelés design, chaque modèle contient une structure géométrique, ses conditions aux limites et les matériaux utilisés, ainsi que les solutions de champs électromagnétiques et les interprétations post-traitement. Tous ces composants peuvent être atteints par la fenêtre Project Manager dans l'environnement HFSS. [29]

Le HFSS peut être utilisé pour calculer des paramètres tels que les paramètres S, les fréquences de résonance et les champs. C'est un outil permettant le calcul du comportement électromagnétique d'une structure. Le simulateur possède des outils de post traitement pour une analyse plus détaillée. Il permet le calcul des :

- Quantités de base dans le champ proche et le champ lointain.
- Impédances caractéristiques des ports et leurs constantes de propagation.
- Les paramètres S normalisés par rapport à une impédance de port spécifique afin de générer une solution du champ électromagnétique.

HFSS emploie la méthode des éléments finis. En général, cette méthode divise l'espace de résolution du problème en plusieurs milliers de régions plus petites et représente le champ dans chaque sous-région (élément) avec une fonction locale. [2]

A. 2 Création des projets par HFSS

Sur le menu File, on clique New. On spécifie le nom du projet quand on le sauve, on utilise le chemin : File>Save ou File>Save As. Pour un projet précédemment sauvé, on utilise la commande : File>Open.

A. 2.1 Insertion d'une conception de HFSS dans un projet

- Sur le menu de projet, cliquer sur Insert HFSS Design.
- La nouvelle conception est énumérée dans l'arbre de projet. Elle est appelée HFSS Design par défaut, où est l'ordre dans lequel la conception a été ajoutée au projet.
- La fenêtre du modéliseur 3D apparaît à la droite de la fenêtre de gestion de projet. On peut maintenant créer modèle de la géométrie.
- On peut choisir le Rescale à la nouvelle option d'unités pour adapter les dimensions aux nouvelles unités.
- On dégage le Rescale à la nouvelle option d'unités (par défaut) pour convertir les dimensions en nouvelles unités sans changer la structure.
- On clique sur OK pour appliquer les nouvelles unités au modèle.

A. 2.2 Dessiner un modèle

Pour créer une structure en 3D il suffit de la dessiner avec les outils mis à disposition par le logiciel.

On peut créer les objets 3D en employant les commandes de l'aspiration de HFSS (HFSSDraw- commands) (FigureA-2).

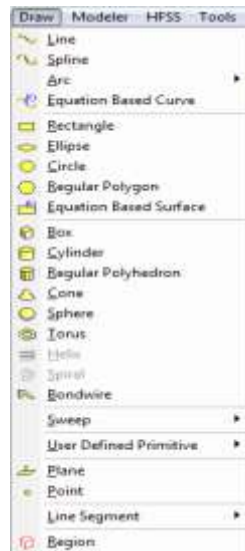


Figure (A-2): Fenêtre de gestion des différents modèles à dessiner sur HFSS

A. 2.3 Utilisation des variables du projet

Pour déterminer une variable, il faut sélectionner Project > Project Variables et entrer son nom, sa valeur et son unité Figure (A-3)

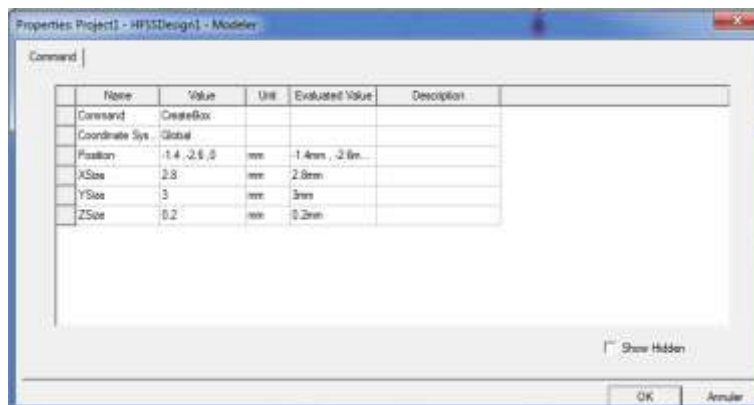


Figure (A-3) : Utilisation des variables dans HFSS

A. 2.4 Soustraction des objets

Il arrive souvent que l'on cherche à éliminer quelques parties d'un objet.

- On dessine l'objet principal ainsi que les objets qu'on souhaite soustraire de celui-ci.
- On sélectionne l'objet principal.
- En appuyant sur le bouton CTRL on sélectionne les objets que l'on veut soustraire.

- On clique sur Subtract.
- Objets listés dans la partie "Tool Parts" sont à soustraire des objets listé sous "Blank Parts".
- Si l'on veut que HFSS garde une copie des objets soustraits on coche l'option Clone tool objects before subtract.
- On appuie sur OK.

A. 2.5 Excitation d'une structure

Après avoir dessinée une structure, pour que le logiciel soit capable de faire la simulation, il faut exciter la structure. Il existe différents types d'excitation, listés dans le tableau IV. 1. Le plus souvent, on utilise des Wave Ports et Lumped Port.

A. 2.6 Conditions aux limites

Les conditions absorbantes qu'on a fixées pour les simulations s'avèrent donc les plus judicieuses.

Cliquer sur le bouton droit sur les surfaces ou les limites puis sélectionner :

Assign boundary (perfectE, PerfectH, Radiation,...) à savoir la structure à étudier et ses conditions.

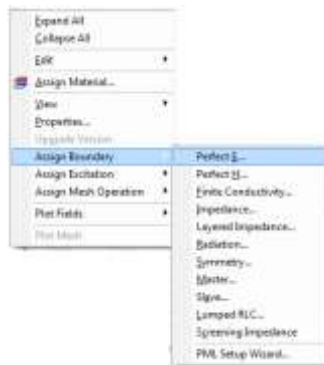


Figure (A-4) : Création des conditions aux limites (boundary).

A. 2.7 Simulation

Après avoir défini tous les paramètres nécessaires, nous pouvons lancer la simulation en choisissant:

- cliquer sur l'icône validation 'Validate'
- on simuler notre projet, on clique sur l'icône 'Analyze All' [2]

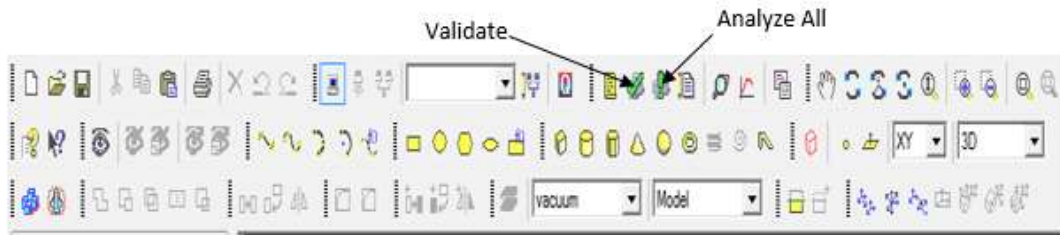


Figure A-5 : Lancement de la simulation d'un projet [2]

La **figure (A-5)** montre la barre d'outil de HFSS.

A. 1 Description du logiciel CST MICROWAVE STUDIO

Fondé en 1992, le logiciel de simulation électromagnétique CST STUDIO SUITE est l'aboutissement de nombreuses années de recherche et de développement dans les solutions les plus efficaces et précises de calcul pour la conception électromagnétique.

CST Microwave Studio est un logiciel de simulation électromagnétique de structure passives en 3 Dimensions basée sur la résolution des équations de Maxwell suivant la technique des équations intégrales (Finite Intégration Technique) .[37] cette dernier est proche de la méthode de déférence finie FDTD (Finite Différence Time Domain). Elle consiste à échantillonner spatialement les équations de Maxwell sous leur forme intégrale.

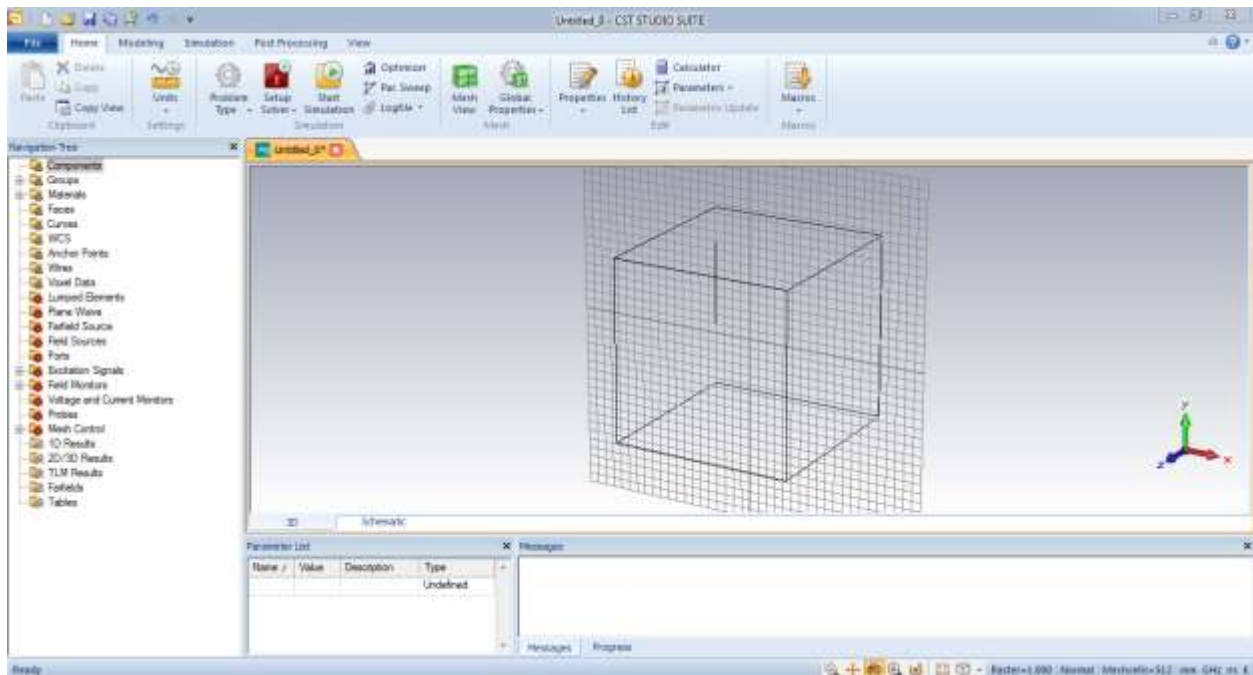


Figure (B-1): L'interface principale de CST MICROWAVE Studio

Avant que la simulation soit lancée, le logiciel maille la structure en cellules volumiques. Le maillage peut être appliqué à de nombreux problèmes électromagnétiques allant de la statique aux hyperfréquences en analyses temporelle et fréquentielle. [13]

CST Microwave Studio fait partie de la CST DESIGN STUDIO suite, et offre un certain nombre de solveurs différents pour différents types d'application. Étant donné aucune méthode ne fonctionne aussi bien dans tous les domaines d'application.

A. 2 Exemple de conception d'une antenne sous CST

Après avoir lancé le CST, nous choisissons un nouveau projet CST MICROWAVE STUDIO figure (B-2)



Figure (B-2) : Les différentes suites de CST

Le logiciel CST dispose d'un système l'aide (help) en ligne d'une importance colossale parce qu'il simplifie et détaille toute option du logiciel. L'une de ses caractéristiques est le guide de démarrage rapide 'Quick Start Guide'.

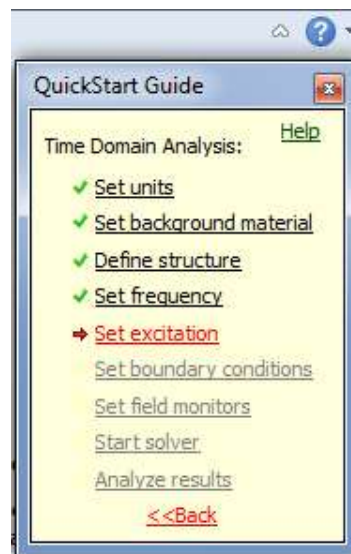


Figure (B-3) : La fenêtre de Quick Start Guide

Le 'Quick Start Guide' exécute une animation qui simplifie les étapes à suivre :

A. 2.1 Définition des unités

Il s'agit de définir les unités de l'ensemble des paramètres comme les dimensions, les fréquences, les temps et la température pour le problème à traiter.

Il faudra par la suite définir le type environnant 'Background Material'. Chaque application se distingue de l'autre par une différenciation de matériaux entourant le

dispositif à étudier, par exemple le milieu entourant les antennes est l'air parce qu'il s'agit d'un système ouvert.

A. 2.2 Trac é de la structure

Pour la modélisation de la structure d'antenne, plusieurs formes géométriques sont mis à notre disposition (les cubes, les cylindres, les sphères, ...etc.). Nous pouvons faire appel à des opérateurs booléens afin d'obtenir des formes dérivées plus complexes.

A. 2.3 Définition de la plage de fréquences

Le choix de la bande de fréquences est nécessaire parce que le générateur de maillage ajustera le raffinement du maillage selon la plage spécifiée.

A. 2.4 Définition des Ports

Chaque structure d'antenne a besoin d'une excitation pour pouvoir analyser son comportement et obtenir des résultats de simulation.

La définition correcte des ports est très importante et agit sur la précision des résultats.

A. 2.5 Simulation

Après avoir défini tous les paramètres nécessaires, nous pouvons lancer la simulation en choisissant l'une des méthodes selon l'application. [10]

A. 3 Les modules d'exécution de logiciel CST

Le tableau suivant résume les modules d'exécution de logiciel CST

 CST MicroWave	CST MWS est un outil de simulation 3D spécialisé pour le traitement rapide et précis des problèmes à haute fréquence avec un large champ d'application.
 CST EM Studio	- CST EM STUDIO est un outil facile à utiliser pour l'analyse et la conception des structures statiques et basses fréquences. - Les applications incluent: les actionneurs, les freins, EMC, générateurs, de mesure, moteurs, capteurs et le blindage.
 CST particule studio	PARTICLES CST STUDIO est un outil spécialisé pour la conception rapide et précise. Il inclut l'analyse des canons à électrons 3D, les tubes cathodiques.
 CST Mphysics Studio	CST MPHYSICS STUDIO est un outil d'analyse pour les contraintes thermique et structurale, et des problèmes de mécanique.
 CST Design Studio	CST DESIGN STUDIO est une plate-forme universelle pour gérer les processus de conception d'un système complexe. En construisant des sous-systèmes élémentaires, l'utilisateur peut analyser le comportement du système complet en petits segments.

 CST PCB Studio	CST PCB STUDIO est un outil pour l'étude des signaux et la simulation des effets EMC et EMI (Electromagnétique Compatibility/Electromagnétique Interférence) sur cartes de circuits imprimés (PCB).
 CST Câble Studio	CST CABLE STUDIO est un outil pour l'analyse des effets dans les systèmes de câble, y compris les fils unique, paires torsadées ainsi que des faisceaux de câbles complexes.

Tableau (B-1): Les modules d'exécution de logiciel CST. [37]

Bibliographie

- [1] **SOLTANE Samia**. "Étude et caractérisation d'antennes imprimées pour système ultra-large bande". Mémoire de Magister. Le 17/11/2015. Université Mohamed Khider – Biskra
- [2] **Adrien Godard**. "Conception et réalisation d'un radar ultra large bande impulsif agile (300MHz- 3GHz)". Thèse de Doctorat .Le 27 octobre 2009. Université de Limoges
- [3] **MARIE DEVULDER** Etude et faisabilité d'un système Ultra Large Bande (ULB) en gamme millimétrique en technologie Silicium avancée 11 décembre 2008
- [4] **Kebbab Radhwane**. "Conception d'antennes Ultra Large Bande en technologie imprimée". Mémoire de Magister.2010. Université Abou Bakr Belkaid-Tlemcen.
- [5] **Guillaume Clementi**. "Conception et caractérisation fréquentielle et temporelle d'antennes réseaux planaires a très Large Bande Passante". Thèse de Doctorat. 23 novembre 2011. Université de Nice – Sophia Antipolis.
- [6] https://www.cisco.com/c/fr_ca/support/docs/wireless-mobility/wireless-lan-wlan/82068-omni-vs-direct.html
- [7] **Laurence Babour**. "Étude et conception d'antennes ultra large bande miniaturisées en impulsif". Thèse de Doctorat. 7 mai 2009. Institut Polytechnique de Grenoble.
- [8] **Zitouni Ahmed** Etude et conception d'antennes ULB standards et à bandes rejetées *en Juin 2014*
- [9] **Chabane Bennai et Benmansour Thorayya**. "Analyse et conception d'antennes Vivaldi". Mémoire de Master. En 2013. Université Abou Bakr Belkaid – Tlemcen.
- [10] Modélisation et Conception d'un Récepteur Non Cohérent Ultra Large Bande pour les Communications ULB Radio Impulsionnelle dans la Bande de Fréquence 3-5 GHz
- [11] **Ziani Kerarti Djalal**. "Étude et conception d'antennes ultra large bande ". Mémoire de Magister. 2011. Université Abou Bakr Belkaid-Tlemcen

BIBLIOGRAPHIE

- [12] **AZZAZ rahmani Salima.** "Analyse et conception des antennes imprimées multi-bandes en anneaux concentriques pour les réseaux de télécommunications". Thèse de Doctorat. Juillet 2013. Université Abou Bakr Belkaid–Tlemcen
- [13] <http://physique-chimie.ac-dijon.fr/spip.php?article94>
- [14] **Trong duc nguyen.** "Conception d'antenne intelligente reconfigurable pour la radio cognitive". Thèse de Doctorat. 24/10/2012. L'université de Grenoble
- [15] Etude et simulation d'une antenne microbande dans la bande WiFi 5 GHz par MEDDOUR Meriem et BENKEDDA Siham en 25/05/2017
- [16] **Oumy Diop.** "Étude et minimisation du facteur de qualité d'antennes miniatures conçues pour de petits objets communicant". Thèse de Doctorat. 27 septembre 2013. l'université de Nice-Sophia Antipolis
- [17] <http://f5zv.pagespersoorange.fr/radio/rm/rm08/rm08a/rm08a08.html>, 03/01/2018, 10:50
- [18] **Messelem Neimet.** "Étude et simulation d'une antenne yagi imprimée ULB pour les applications sans fil". Mémoire de Master. Juin 2013. Université Ferhat Abbas de setif-1
- [19] **Hedi Ragad.** "Etude et conception de nouvelles topologies d'antennes à résonateur diélectrique dans les bandes UHF et SHF ". Thèse de Doctorat. Le 22 novembre 2013. École doctorale Sciences et Technologies de l'Information et Mathématiques (STIM) – France.
- [20] **Taba Mohamed Tahar.** "Traitement adaptatif spatio-temporel, application aux communications radio mobiles". Thèse de Doctorat .2009. Université Badji Mokhtar-Annaba
- [21] **Rabia Yahya.** "L'étude et la réalisation des antennes ultra large bande à double polarisation". Mémoire 2011. université du Québec
- [22] <https://ar.scribd.com/doc/306817231/aksas-livre> .23/01/2018. 14:17

BIBLIOGRAPHIE

- [23] [https://www.researchgate.net/publication/242248039 Nouvelles structures a bande interdite photonique pour applications antennaires](https://www.researchgate.net/publication/242248039_Nouvelles_structures_a_bande_interdite_photonique_pour_applications_antennaires) . 23/01/2018.15:24
- [24] **Fatima Zahra Marouf**. "Étude et conception d'antennes imprimées pour identification radio fréquence RFIDUHF ".Thèse de Doctorat. 2013. Université Abou Bakr Belkaid-Tlemcen
- [25] [http://electronicdesign.com/wireless/what-s-difference-between-dipole-and ground-plane-antenna](http://electronicdesign.com/wireless/what-s-difference-between-dipole-and-ground-plane-antenna). _26/01/2018. 18:38
- [26] **Dhaou Bouchouicha**. "Étude de faisabilité de la récupération d'énergie électromagnétique ambiante".Thèse de Doctorat. 22 novembre 2010. Université François – Rabelais de tours
- [27] **Khalifa Beneddine**."Étude et conception des antennes imprimées pour la technologie Ultra-Large Bande". Mémoire de Master.Juin 2014. Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbes.
- [28] P. F. Combes, Circuits Passifs, Propagation, Antennes, Micro-ondes Tome 2, Dunod, 1997.
- [29] **Hamid Chorfi**. "Conception d'un nouveau système d'antenne réseau conforme en onde millimétrique ". Mémoire de Magister. Mai 2012. Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue
- [30] **Trong Duc NGUYEN**. "Conception d'antenne intelligente reconfigurable pour la radio cognitive". Thèse de Doctorat. 24/10/2012. L'université de Grenoble
- [31] **ROUIBAH Ammar**. "Étude d'une antenne microruban de forme arbitraire par la méthodeFDTD". Mémoire de Magister.28/10/2009. Université Ferhat Abbas Setif.
- [32] **Derba Mouhammed Cherif et Zeghdoud Abdelbaki** "Conception a la réalisation d'une antenne avec filtre a défaut de masse (DGS) en utilisant l'algorithme génétique ". Mémoire de master . juin 2017. Ecole National Polytechnique

BIBLIOGRAPHIE

- [33] **Ahmed Belguessoum.** "Conception et réalisation d'une antenne multi-bandes alimentée par un guide d'onde coplanaire CPW". Thèse de Doctorat. 2008. Université d'Ottawa –Canada
- [34] **Ziani Kerarti Djalal.** "Étude et conception d'antennes ultra large bande ".Mémoire de Magister.2011. Université Abou Bakr Belkaid-Tlemcen
- [35] **Zied harouni.**"Conception et caractérisation d'une rectenna à double polarisation circulaire à 2.45 GHz".Thèse de Doctorat. 18 novembre 2011.L'université Paris-est et de la Faculté des Sciences de Tunis.
- [36] **Pr.L.Eyraud et Dr.Grange et Dr.H.Ohanessian.** "Théorie et technique des antennes". Edition LIBRAIRIE VUIBERT 63, boulevard saint-Germain 75005 Paris. Page 241,242, 245
- [37] **N. Fortino.** Conception et caractérisation d'antennes imprimées pour systèmes Ultra-Large-Bande impulsionnels. Autre. Université Nice Sophia Antipolis, 2006.
- [38] **Abdelmoumain** Conception d'antennes ultra large bande (ULB) pour imagerie micro-onde
- [39] **Ahmed Benomar.**"Etude des Antennes à Résonateurs Diélectriques. Application aux Réseaux de Télécommunications". Thèse de Doctorat. 06 juin 2015. université abou bekr belkaid, tlemcen.
- [40] **Faïcel Ouasli.** "Conception d'une caméra électromagnétique pour la caractérisation du niveau d'exposition des personnes". Thèse de Doctorat. Soutenue le 15/11/2013 l'Université européenne de Bretagne
- [41] **ADIL KAMIL.** "CONCEPTION D'UNE ANTENNE PATCH ULTRA-LARGE BANDE (3.1 GHz-10.6 GHz)". Mémoire présenté pour l'obtention du grade du Maitre ès sciences (M.Sc) 2011
- [42] <http://www.hellopro.fr/solutions-rfid-pour-localisation-d-objets-idthrel-868-a-2012892-182679-produit.html> . 05/06/2018