

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la technologie

Département d'Electronique

Mémoire

Présenté pour obtenir

Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi - B.B.A -

LE DIPLOME DE MASTER

FILIERE : Télécommunications.

Spécialité : Systèmes des télécommunications.

Par

- Belhadj Khaoula
- Belhaoues Oumaima

Intitulé

Etude et Conception des Antennes Planaires Compactes Ultra Large bande

Évalué le :

Par la commission d'évaluation composée de :*

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
<i>M.Behih Mohammed</i>	<i>MAA</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Mme. Melizi Noura</i>	<i>MAA</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M.Boutout Farid</i>	<i>Professeur</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>

Année Universitaire 2022/2023

Remerciments

Tout d'abord, nous remercions ALLAH, le tout puissant qui nous a donné de l'aide, du courage et de la patience afin de réaliser ce travail.

*En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur **Mme.Mellizi**de ses précieux conseils pour l'orientation, la confiance, la patience, qui sont derrière ce mémoire sans laquelle ce travail n'aurait pas pu être mené au bon part, qu'elle trouve dans ce travail un hommage vivant à sa haute personnalité, nous tenons à la remercier profondément.*

Enfin, nous tenons à remercier tous les enseignants durant le cycle de formation universitaire de l'université de « Mohamed el Bachir el Ibrahim » département d'électronique spécialité « télécommunication » ainsi que le personnel administratif, Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Dédicace

Tout d'abord, je tiens à remercier DIEU De m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail. Je tiens à dédier cet humble travail à :

*A mes chers parents : Mon père : **Mourad** et Ma Mère : **Radia** pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.*

*A mes chères sœurs : **Aroua** , **Rokia** , **Maria** et Mon frère **Youcef** pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral.*

*A Ma copine et Ma binôme : **Khaoula Belhadj**, j'ai toujours besoin de toi , Tu as été une source , Tu es une femme merveilleuse d'inspiration et de motivation pour moi.*

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire, Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible, Merci d'être toujours là pour moi.

Oumaima

Dédicace

A mes plus grands soutiens et sources d'inspiration, je dédie ce travail avec tout mon amour et ma reconnaissance infinis.

A ma mère qui a toujours été mon port d'attachement et ma boussole, merci pour ton amour inconditionnel, ton dévouement et ton soutien inébranlable. Tu as été la lumière qui a éclairé mon chemin dans les moments sombres .

A mon père qui m'a appris l'importance du travail acharné, de la persévérance et de l'honnêteté, Je te suis infiniment reconnaissante pour ton soutien indéfectible, ta confiance en moi et ton amour.

A mes frères Raouf et Nouh ainsi qu'à mes sœurs adorées Aya et Nahla merci pour votre soutien constant, votre humour contagieux et votre présence réconfortante. Vous êtes ma source de joie et de bonheur, et je suis fière de vous avoir dans ma vie.

A mes amies Houda , Souhaya, Dounia ,Amira et Imene , Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées, vous êtes pour moi des sœurs et des amies sur qui je peux compter.

A ma binôme Oumaima qui est devenue une amie chère et ma seconde moitié et ma deuxième sœur. Merci pour notre amitié. Tu as été une source d'inspiration et de motivation pour moi tout au long de ce parcours.

Khaoula

Sommaire

<i>REMERCIEMENTS</i>	0
<i>Dédicace</i>	0
Liste des figures.....	Error! Bookmark not defined.
Liste des tableaux	0
Liste des acronymes	0
Introduction générale	1
<i>Chapitre 1</i>	3
I.Introduction	4
I.1. Généralités sur la technologie Ultra Large Bande et les antennes planaires.....	4
I.1.1. Historique.	4
I.1.2. Définition de l’Ultra Large Bande	5
I.1.3. Caractéristique de la technologie ULB	5
I.1.4. Réglementations de la technologie ULB.	7
I.1.5. Différents domaines d’application de l’Ultra Large Bande.	8
I.2. Les antennes Ultra Large Bandes	9
I.2.1. Classification des antennes ULB	Error! Bookmark not defined.
I.2.1.1. Antennes indépendantes de la fréquence	9
I.2.1.2. Antennes élémentaires	12
I.2.1.3. Antennes à transition progressive.....	17
I.3. Récapitulatif des caractéristiques des antennes :	17
I.4. Conclusion :	18
<i>Chapitre 2</i>	20
II. Introduction.....	21
II.1. Généralités sur la technologie ULB :	Error! Bookmark not defined.
II.2. caractéristiques importantes des antennes ULB :	22
II.2.1. Bande passante fréquentielle :.....	22
II.2.2. Diagramme de rayonnement, gain et directivité :.....	23
II.3. Technique de miniaturisation des antennes compactes ULB :	25
II.3.1. Paramètres du substrat	25
II.3.2. Utilisation de court circuit :.....	25
II.3.3. Créations des fentes et encoches dans le patch et le plan de masse :	26
II.4. Etat de l’art des antennes ULB compactes.....	27
II.5. Conclusion :	Error! Bookmark not defined.
<i>Chapitre 3</i>	36

III.1. Présentation du logiciel Ansoft HFSS.....	37
III.2. Analyse de l'antenne patch à ouverture	38
III.2.1. Géométrie de l'antenne.....	38
III.2.2. Résultats de simulation	38
III.3. Analyse d'une antenne patch à ouverture avec un plan de masse réduit	39.
III.3.1. Géométrie de l'antenne.....	39
III.3.2. Résultats de simulation	40
III.4. Etude paramétrique et optimisation de l'antenne	40
III.4.1. Effet des dimensions du substrat.....	40
III.4.1.1. Résultats de simulation :	40
III.4.2. Effet de la largeur du plan de masse	41
III.4.2.1. Résultats de simulation	Error! Bookmark not defined.
III.4.3. Effet de la largeur du slot	42
III.4.3.1. Résultats de simulation :	Error! Bookmark not defined.
III.5. L'antenne patch optimisée	42
III.5.1. Résultats de simulation	43
III.6. Analyse d'une antenne patch à ouverture avec un plan de masse réduit alimentée par une ligne coplanaire (CPW).....	45
III.6.1. les paramètres géométries :	Error! Bookmark not defined.
III.6.2. Résultats de simulation.....	46

Liste des figures

Figure I 1: Comparaison de la DSP d'un signal à bande étroite et la DSP d'un signal ULB [I.4].....	6
Figure I 2: Spectre d'émission intérieur (indoor) et extérieur (outdoor) aux Etats-Unis [I.6].....	7
Figure I 3: Différentes applications ULB [I.7]	8
Figure I 4: Antenne spirale logarithmique [I.8]	10
Figure I 5: Antennes spirales coniques [8]	11
Figure I 6: Antenne spirale d'Archimède [I.9]	11
Figure I 7: les différents types d'antennes log-périodiques [I.10].....	12
Figure I 8: Antennes biconique [I.11].....	13
Figure I 9: Antenne discône [I.11].....	13
Figure I 10: Antenne monopôle circulaire [I.11]	14
Figure I 11: Le monopôle triangulaire [I.11]	Error! Bookmark not defined.
Figure I 12: Antenne papillon [I.12].....	16
Figure I 13: Quelques géométries d'antennes planaires [I.13]	16
Figure I 14: Antenne circulaire planaire CPW [I.13]	16
Figure I 15: Les antennes à transition progressive [I.13].....	17
Figure II 1: bande passante fréquentielle.....	22
Figure II 2: Diagramme de rayonnement d'une antenne patch rectangulaire.	23
Figure II 3: Géométrie d'une antenne patch avec : (a) mure de court circuit (shorting-wall), (b) plaque de court circuit (shorting-plate) et (c) broche de court circuit (shorting-pin).	26
Figure II 4: Géométrie d'une antenne patch compact avec : (a) fentes dans l'élément rayonnant, (b) encoche dans le patch et (c) fentes dans le plan de masse.....	26
Figure II 5: géométrie d'une antenne monopole planaire compact ULB (patch circulaire).	27
Figure II 6: paramètre S d'antenne monopole planaire compact ULB (patch circulaire).....	28
Figure II 7: géométrie d'une antenne monopole planaire compact ULB (patch avec des encoches).	28
Figure II 8: Rapport d'onde stationnaire (VSWR) de l'antenne monopole planaire compact ULB (patch avec des encoches) [9].....	28
Figure II 9: géométrie et photographie d'antenne compact ulb (CPW-UWB antenna) avec SRR pour la rejection des bandes	29
Figure II 10: Résultats concernant l'antenne compacte ULB (CPW-UWB antenne) : (a) les paramètres S et (b) diagramme de rayonnement	29
Figure II 11: géométrie fractals	30
Figure II 12: résultats du paramètres S de l'évolution antenne pour obtenir une bande ULB par le fractal de koch	31
Figure II 13: Antenne à fente pour les applications ULB : (a) la géométrie d'antenne (b) les résultats des paramètres S.....	31
Figure II 14: Conception d'une antenne à fente ULB compacte : (a) la géométrie d'antenne (b) les résultats des paramètres S.....	32
Figure II 15: Géométrie et photographie d'antenne à fente ULB (CPW-feed slot antenna) avec une polarisation circulaire large bande.....	Error! Bookmark not defined.
Figure II 16: Comparaison entre les résultats de simulation et les mesures de prototype d'antenne	33
Figure II 17: Géométrie et photographie d'antenne ULB avec des bandes rejetées	34
Figure II 18: Comparaison entre les résultats de simulation et les mesures de la position des diodes	34
Figure II 19: Antenne à fente compacte ULB reconfigurable.	35
Figure II 20: Comparaison entre les résultats de simulation et les mesures des prototypes dans la figure 15.....	35
Figure II 21: Antennes ULB compacte avec les metamatériaux (a) référence [20] (b) référence [21]	36
Figure III 2: Interface graphique du simulateur HFSS	Error! Bookmark not defined.

Figure III 3: Géométrie de l'antenne patch à ouverture	Error! Bookmark not defined.
Figure III 4: Coefficient de réflexion (S11) de l'antenne patch à ouverture	Error! Bookmark not defined.
Figure III 5: Géométrie de l'antenne patch à ouverture avec un plan de masse réduit sous HFSS	39
Figure III 6: Coefficient de réflexion (S11) de l'antenne patch à ouverture avec un plan de masse réduit	40
Figure III 7: Le coefficient de réflexion S11, pour différentes dimensions du substrat simulé sous HFSS.	41
Figure III 8: Coefficient de réflexion de l'antenne avec différentes valeurs de L_m	41
Figure III 9: Coefficient de réflexion de l'antenne avec différentes valeurs du slot	42
Figure III 10: Coefficient de réflexion sur la gamme de fréquence 0-12 GHz avec $L_m=6.5$	43
Figure III 11: VSWR de l'antenne en fonction de la fréquence	43
Figure III 12: Paramètres Z de l'antenne simulée en fonction de la fréquence	44
Figure III 13: Diagrammes de rayonnement de l'antenne (directivité) en 2D (A) plan H et (B) plan E	44
Figure III 14: Diagrammes de rayonnement de l'antenne en 3D	44
Figure III 15: Antenne patch à ouverture avec un plan de masse alimentée par une ligne coplanaire (CPW).	45
Figure III 16: Coefficient de réflexion (S11) en fonction de fréquence	46
Figure III 17: VSWR de l'antenne de base	46
Figure III 18: Paramètres Z de l'antenne de base	47
Figure III 19: Diagrammes de rayonnement de l'antenne (directivité) en 2D	47
Figure III 20: Diagrammes de rayonnement de l'antenne en 3D	48
Figure III 21: le plan de masse avec ouverture carré	Error! Bookmark not defined.
Figure III 22: Coefficient de réflexion avec variation de la largeur	Error! Bookmark not defined.
Figure III 23: Coefficient de réflexion avec variation de largeur	Error! Bookmark not defined.
Figure III 24: l'antenne ULB optimisée, la face avant d'antenne ULB et la face arrière d'antenne ULB.	Error!

Bookmark not defined.

Figure III 25: S ₁₁ en (db) en fonction de la fréquence en GHz	Error! Bookmark not defined.
Figure III 26: VSWR en fonction de la fréquence	Error! Bookmark not defined.
Figure III 27: Diagramme de rayonnement en 3D	Error! Bookmark not defined.
Figure III 28: Paramètres Z de l'antenne	Error! Bookmark not defined.

Liste des tableaux :

Tableau I 1: Récapitulatif des caractéristiques des antennes ULB [I.14].	18
Tableau III 1: Paramètres géométrique de l'antenne patch à ouverture	38
Tableau III 2: Dimension du substrat	40
Tableau III 3: Différentes valeurs prises par L_m	41
Tableau III 4: Différentes valeurs prises par fente (slot)	42
Tableau III 5: Paramètres géométrique de l'antenne patch à ouverture avec un plan de masse réduit	42
Tableau III 6: Paramètres géométrique de l'antenne étudiée	45

Acronymes et abréviations

ULB	ultra large bande
FCC	Federal communication commission
EIRP	Equivalent Isotropic Radiated Power
GPR	Ground Penetrating Radar
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
CPW	coplanar waveguide
TSA	Tapered Slot Antennas

HFSS High Frequency Structure Simulation

Résumé :

Les communications ultra large bande (ULB) nécessitent des antennes spécialement adaptées à leur technologie. Les antennes patches sont la meilleure solution, puisque ces antennes présentent des caractéristiques très avantageuses par rapport aux antennes classiques, notamment leurs faibles dimensions et leur intégration sur tout type de surface. Les antennes patches qui sont des structures coplanaires ou des structures ayant un plan de masse partiel, donnent généralement une bande passante large par rapport aux structures simples. Dans notre travail, nous avons choisi d'étudier deux structures : la première est une antenne patch avec un plan de masse réduit alimentée par une ligne microruban puis par une ligne coplanaire. Pour la deuxième structure on crée des encoches sur le plan de masse en gardant toujours une alimentation coplanaire. Le but de cette étude est de calculer les caractéristiques électromagnétiques d'antennes en termes de coefficient de réflexion (S_{11}), et diagramme de rayonnement. L'analyse de ces deux structures d'antennes est effectuée en utilisant le logiciel commercial de modélisation électromagnétique Ansoft HFSS.

Abstract :

Ultra-wideband (ULB) communications require antennas specially adapted to their technology. Patch antennas are the best solution, since these antennas have very advantageous characteristics compared to conventional antennas, in particular their small dimensions and their integration on any type of surface. Patch antennas, which are coplanar structures or structures having a partial ground plane, generally give a wide bandwidth compared to simple structures. In our work, we have chosen to study two structures: the first is a patch antenna with a reduced ground plane fed by a microstrip line then by a coplanar line. For the second structure, notches are created on the ground plane while always keeping a coplanar power supply. The purpose of this study is to calculate the electromagnetic characteristics of antennas in terms of reflection coefficient (S_{11}), and radiation pattern. The analysis of these two antenna structures is carried out using the commercial electromagnetic modeling software Ansoft HFSS.

ملخص :

تتطلب اتصالات النطاق العريض (ULB) هوائيات مكيّفة خصيصًا لتقنيّتها. هوائيات التصحيح هي الحل الأفضل ، حيث تتميز هذه الهوائيات بخصائص مفيدة للغاية مقارنةً بالهوائيات التقليدية ، ولا سيما أبعادها الصغيرة وتكاملها على أي نوع

من الأسطح. هوائيات التصحيح ، وهي هياكل متحدة المستوى أو هياكل لها مستوى أرضي جزئي ، تعطي عمومًا نطاقًا تردديًا عريضًا مقارنة بالهياكل البسيطة. في عملنا ، اخترنا دراسة هيكلين: الأول هو هوائي التصحيح مع مستوى أرضي منخفض يغذيه خط microstrip ثم خط متحد المستوى. بالنسبة للهيكل الثاني ، يتم إنشاء الشقوق على مستوى الأرض مع الاحتفاظ دائمًا بمصدر طاقة متحد المستوى. الغرض من هذه الدراسة هو حساب الخصائص الكهرومغناطيسية للهوائيات من حيث معامل الانعكاس (S11) ونمط الإشعاع. يتم إجراء تحليل هذين الهوائيين باستخدام برنامج النمذجة الكهرومغناطيسية التجارية Ansoft HFSS.

Introduction générale

Introduction générale

Aujourd'hui les antennes planaires connaissent un grand intérêt à cause de leurs nombreuses utilisations. En effet, les domaines d'utilisation privilégiés des antennes à micro-ruban sont les communications sans fils qui sont dans la pleine croissance avec l'augmentation des besoins de débits élevés et de la réfraction des bandes de fréquence disponible, il est devenu essentiel de trouver des nouvelles antennes qui répondent à ces exigences. La technologie ultra large bande ULB semble une solution très prometteuse. C'est dans ce cadre que s'inscrit notre travail, il s'agit de concevoir et d'étudier des antennes patch adaptés aux systèmes ultra large bande dans un spectre de fréquence allant de 3,1 à 10,6 GHz. Le présent manuscrit comporte trois chapitres

Dans le premier chapitre nous présenterons des généralités sur la technologie ultra large bande et les antennes planaires, en commençant par un bref historique des définitions et des généralités, des caractéristiques et de la réglementation ULB ainsi que les différents types d'application des systèmes ULB.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude des caractéristiques des antennes planaires compactes. Il décrit aussi les techniques de réduction et de miniaturisation. En fin, on donne une classification des antennes ULB.

Le troisième chapitre, présente la mise en œuvre du simulateur HfSS. Tout d'abord on commence par analysée et optimisée une structure d'antenne large bande, par la suite cette antenne est modifiée à fin d'élargir sa bande passante. Les résultats obtenus sont discutés et commentés et des conclusions sont tirées.

Ce mémoire se termine par une conclusion générale sur les travaux présentés.

Chapitre 1

Etat de l'art sur la technologie ULB et les antennes planaires

I. Introduction

Les communications à bande ultra large diffèrent des autres technologies de communication car elles utilisent des impulsions extrêmement étroites (radiofréquence) pour communiquer entre un émetteur et un récepteur.

Dans ce chapitre, nous présenterons la technologie ULB. Ainsi que les propriétés qui en font une technologie innovante et particulière, et les nombreux domaines d'application où ces propriétés peuvent être exploitées. Ensuite, nous aborderons les différents types d'antennes ULB. Enfin, nous énumérons les avantages et les inconvénients de cette technique.

I.1. Généralités sur la technologie Ultra Large Bande

I.1.1. Historique

Durant ces trois décennies, pour faire face à l'encombrement des bandes de fréquences utilisées pour la transmission d'information, on a essentiellement cherché à réduire la largeur de bande nécessaire pour transmettre ces informations avec un taux d'erreur acceptable. Ce n'est que récemment-une dizaine d'années- que le concept d'ultra large bande a retrouvé un intérêt principalement suscité par le développement des transmissions à courte distance.

La grande majorité des techniques de transmission actuelles utilisent des modulations avec porteuses (Bluetooth, wifi..).

Si le terme ultra large bande est relativement récent, le concept lui-même est par contre bien plus ancien. Dès la fin du 19^{ème} siècle, Heinrich Hertz avait eu l'idée d'utiliser des décharges électriques pour produire des ondes électromagnétiques, c'était la base de la technique ultra large bande. Dans les années 60, Ross et Bennett étudient pour la première fois la propagation d'ondes électromagnétique d'un point de vue temporel plutôt que fréquentiel. Dans leur application apparaît des applications liées à cette nouvelle technique à savoir: les communications et les radars. Dans les années 1970-1994, la majorité des travaux vise à améliorer certains sous- systèmes de cette nouvelle technique. A cette époque, on lui donne plusieurs noms : technologie « sans porteuse », ou en « bande de base » ou encore « technologie impulsionnelle ». C'est en 1989 que le terme Ultra Large Bande apparaît dans une publication du ministère de la défense aux Etats-Unis. Les travaux concernant cette technologie se sont effectués, pour la plupart, dans le cadre de programmes confidentiels américains (militaires). En 1994, la confidentialité des travaux liés à l'Ultra Large Bande est levée : la recherche se développe de façon importante aussi bien dans l'industrie que dans les

universités. En 2002, la FCC (Federal communication commission) l'organisme de régulation des communications américains, réglemente l'Ultra Large Bande. Elle en donne une définition précise, et définit les niveaux de puissance maximale autorisés (-41dB/MHz pour la bande haute) [I.1].

I.1.2. Définition de l'Ultra Large Bande

Ultra large band ou ULB est un terme général utilisé pour désigner une technologie d'accès radio qui est étudiée sous différents noms. On peut citer deux termes : radio à large bande passante relative, radio à capacités de quadrature [I.2]. En définissant la bande passante relative selon :

$$B = 2 \frac{f_{max} - f_{min}}{f_{max} + f_{min}} \quad (1.1)$$

avec :

f_{max} : la fréquence de coupure supérieure à -3dB.

f_{min} : la fréquence de coupure inférieure à -3dB.

De plus, la FCC définit une antenne ULB comme toute antenne avec une bande passante supérieure à 500 MHz. Les fréquences les plus hautes et les plus basses de la bande passante sont définies par la FCC comme les fréquences auxquelles la puissance rayonnée est à moins de -10 dB de sa valeur maximale [I.3].

I.1.3. Caractéristiques de la technologie ULB

I.1.3.1. Densité spectrale de puissance

(DSP en abrégé, Power Spectral Density ou PSD en anglais) comme étant le carré du module de la transformée de Fourier, divisé par le temps d'intégration, (ou, plus rigoureusement, la limite quand T tend vers l'infini de l'espérance mathématique du carré du module de la transformée de Fourier du signal, on parle alors de densité spectrale de puissance moyenne). Ainsi, si x est un signal \widehat{x} et sa transformée de Fourier, la densité spectrale de puissance vaut [I.4]:

$$T_x = \frac{|\widehat{x}|^2}{\Delta T} \quad (1.2)$$

La figure I.1 illustre l'idée générale de la coexistence de l'ULB avec des technologies à bande étroite et large bande.

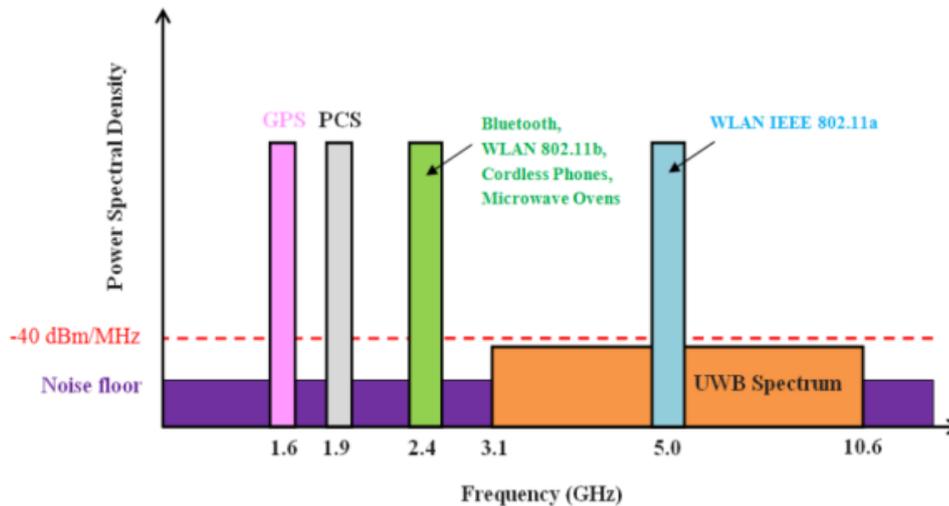


Figure I.1: Comparaison de la DSP d'un signal à bande étroite et la DSP d'un signal ULB [I.4].

I.1.3.2. Caractéristique de pénétration

L'un des avantages les plus importants des systèmes ULB est l'impulsion, où les ondes ULB peuvent facilement pénétrer les murs, les portes et d'autres objets dans les bâtiments. Cet avantage est démontré par la relation entre la fréquence (f) et la longueur d'onde (λ), lorsque la fréquence augmente, la longueur d'onde devient très courte. La fréquence et la longueur d'onde sont liées à la vitesse de la lumière (c) par l'équation suivante :

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1.3)$$

I.1.3.3. Capacité du canal

La capacité du canal est le plus grand avantage de la technologie ULB. Le théorème de Shannon exprime la relation entre la capacité du canal, le rapport signal sur bruit et la bande passante du système ULB est donnée par l'équation (1.4) :

$$C = B \log_2(1 + SNR) \quad (1.4)$$

où C est la capacité du canal, B est la bande passante du canal et SNR est le rapport signal sur bruit sur toute la bande passante. La capacité du canal augmente linéairement avec la bande passante, et elle diminue si le rapport signal sur bruit diminue de manière logarithmique. Le

débit d'information augmente rapidement en augmentant la bande passante du système de transmission et en améliorant le rapport signal sur bruit [I.5].

I.1.4. Réglementations de la technologie ULB

Des réglementations pour la technologie ULB sont proposées par les gouvernements et le gouvernement fédéral pour définir les opérations technologiques et assurer la sécurité publique. La bande ULB chevauche plusieurs applications telles que les bandes liées à l'imagerie pour les applications médicales, les bandes de système de communication sans fil (WLAN) et les applications basées sur la localisation. La FCC a établi une réglementation complète pour la technologie ULB le 14 février 2002. La FCC définit trois types de systèmes ULB, avec des fréquences attribuées à UWB dans les bandes de fréquences inférieures à 0,96 GHz (Géo-Radar et systèmes radar automobiles), de 1,99 GHz à 10,6 GHz (systèmes d'imagerie pour applications médicales) et de 3,1 GHz à 10,6 GHz (systèmes de communication sans fil) [I.6].

Le Spectre d'émission exigé par la FCC aux Etats-Unis est présenté dans la figure I.2.

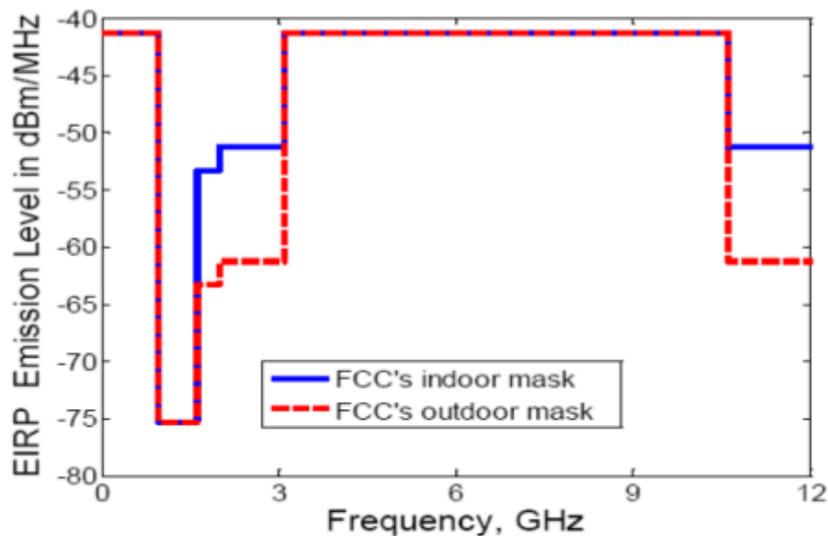


Figure I.2: Spectre d'émission intérieur (indoor) et extérieur (outdoor) aux Etats-Unis[I.6].

Le niveau de puissance EIRP (Equivalent Isotropic Radiated Power) dans la bande ULB est très faible, $EIRP = -41,3$ dBm/MHz, et la même puissance est observée dans les spectres d'émission intérieur et extérieur dans la bande entre 10,6 GHz et le niveau 3,1 GHz pour une bonne séparation entre les autres systèmes. Le Tableau I.1 présente les niveaux de puissance de quelques applications liées aux systèmes ULB [I.6].

Tableau I.1: Différents domaines d'application de l'Ultra Large Bande [I.6].

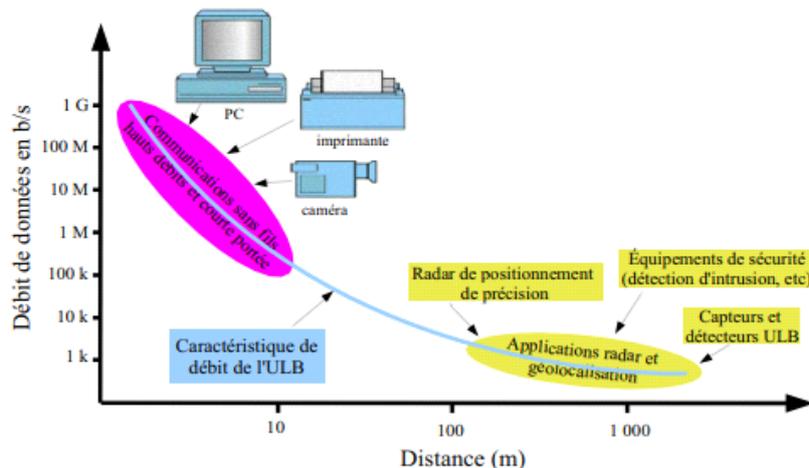
Bande de fréquence (MHz)	Niveau d'EIRP dans le spectre d'émission intérieure (dBm/MHz)	Niveau d'EIRP dans le spectre d'émission extérieure (dBm/MHz)
960-1610	-73.3	-73.3
1610-1900	-53.3	-63.3
1900-3100	-51.3	-61.3
3100-10600	-41.3	-41.3

I.1.5. Différents domaines d'application de l'Ultra Large Bande

En février 2002, La FCC a résumé les principales applications possibles de la technologie ULB à [I.7]:

- Bande de fréquences 24 GHz et 77 GHz : applications liées aux véhicules
- Bande de fréquence <1 GHz: radar GPR et radar "see through wall"
- Bande 1.99-10.6 GHz: Applications médicales (imagerie).
- Bande 3.1-10.6 GHz: Système de communications sans fil et applications liées à la localisation.

La figure (I.3) illustre les différentes applications ULB.

**Figure I.3:** Différentes applications ULB [I.7].

Les systèmes ULB ont la tendance à être des applications à courte portée et à haut débit telles que les communications sans fil, les systèmes de localisation et de suivi de précision et les technologies d'imagerie radar.

I.2. Les antennes Ultra Large Bandes

I.2.1. Antennes indépendantes de la fréquence

Les antennes indépendantes de la fréquence sont connues depuis longtemps, elles ont été inventées par RUMSEY en 1957. Ces antennes sont complètement définies par leurs dimensions angulaires. Les performances de l'antenne (diagramme de rayonnement, impédance d'entrée) sont indépendantes de la fréquence ; pour ce type d'antenne, si l'on multiplie toutes les dimensions de l'antenne par un facteur X , les performances de l'antenne restent les mêmes, mais la fréquence de fonctionnement est augmentée du même facteur X . Partant de ce principe, si la taille relative de l'antenne est trouvée égale à toutes les longueurs d'onde par transformation continue, les caractéristiques de l'antenne restent constantes à toutes les fréquences. Une antenne ne doit donc être constituée que d'éléments déductibles les uns des autres par similitude, et sa structure n'est donc définie que par des angles et est infinie.

L'expression générale de leur forme géométrique est donnée par l'équation (1.5).

$$r = e^{\alpha(\varphi+\varphi_0)}F(\theta) \quad (1.5)$$

Où r , θ , φ sont les coordonnées sphériques, α et φ_0 deux constantes et F une fonction ne dépendant que de θ .

I.2.1.1. Les antennes équiangulaires

Les antennes équiangulaires est un type d'antennes utilisée dans les systèmes de télécommunications, notamment dans les réseaux sans fil. Elles se caractérisent par le fait qu'elles sont disposées de manière équidistante autour d'un point central, formant ainsi un agencement équiangulaire. L'une des principales caractéristiques des antennes équiangulaires est leur directivité. La directivité est une mesure de la capacité d'une antenne à concentrer la puissance du signal dans une direction donnée. Avec un agencement équiangulaire, il est possible d'obtenir une directivité relativement élevée dans toutes les directions, ce qui peut permettre une meilleure couverture et une meilleure réception du signal.

I.2.1.1.1. L'antenne spirale logarithmique

L'antenne spirale logarithmique est une structures dont la géométrie peut être entièrement défini par l'angle...[I.8]. De plus, à chaque fréquence seule une certaine zone de l'antenne correspondant à une longueur d'onde participe au rayonnement, ce qui atténue fortement les courants en dehors de cette zone. Elle satisfait donc aux conditions de conception d'une

antenne indépendante de la fréquence. L'équation des coordonnées polaires (ρ, θ) de la spirale logarithmique est :

$$\rho(\theta) = \rho_0 e^{\alpha\theta} \quad (1.6)$$

Avec le rayon vecteur ρ comme origine, le coefficient α définit l'expansion de la spirale. Cette équation met en évidence l'homotopie qui existe avant la rotation : si une partie de P_0 rayonne à la fréquence f_0 , alors pour les fréquences $f_1 < f_0$, il y aura une partie de P plus de long, P_1 est la longueur de période f_1/f_0 par rapport à P_0 . Cette partie de P_1 rayonne en f_1 exactement de la même manière que P_0 rayonne en f_0 . Cette propriété caractérise une antenne indépendante de la fréquence. Pour que l'antenne ait une impédance constante et indépendante de la fréquence, il faut également que la largeur de la partie rayonnante soit proportionnelle à la longueur du bras, augmentant ainsi le centre de l'hélice lorsque le point d'alimentation de l'antenne est déplacé. A cet effet, le dessin de la métallisation de l'antenne est formé par une bande entourée de deux hélices au même centre. La figure (I.4) illustre l'Antenne spirale logarithmique.

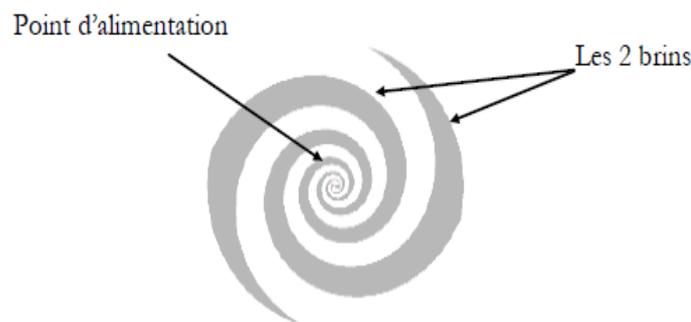


Figure I.4: Antenne spirale logarithmique [I.8].

I.2.1.1.2. L'antenne spirale conique

L'antenne à hélice conique est une version 3D de l'antenne à hélice logarithmique. Par conséquent, son principe de fonctionnement isométrique est le même. Les antennes sont de même taille sur une très large bande de fréquence. Ici, l'hélice qui forme l'antenne est imprimée sur un cône diélectrique, qui sert également de support à la structure.

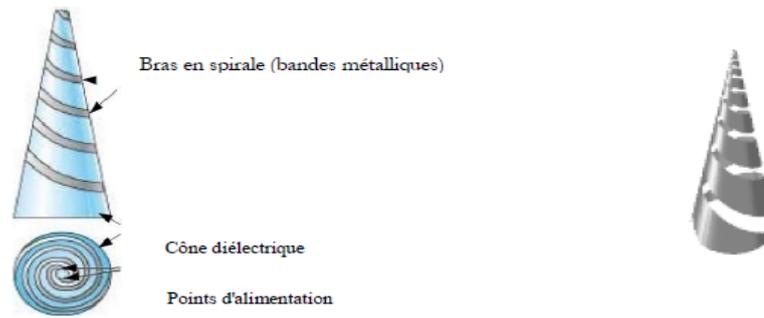


Figure I.5: Antennes spirales coniques [8].

De même que pour l'antenne spirale plane, la structure conique peut être constituée soit d'une seule spirale et donc nécessiter de l'utiliser conjointement avec un plan de masse (mais dans certains cas cette configuration diminue la bande passante), soit de deux brins de même centre imbriqués et excités en opposition de phase. La structure devient alors symétrique (Figure I.5).

I.2.1.2. L'antenne à spirale d'Archimède

L'antenne spirale d'Archimède (Figure I.6) se présente sous la forme de deux spirales imbriquées entourant le même centre d'expansion, imprimées sur un substrat plan servant de support structurel.

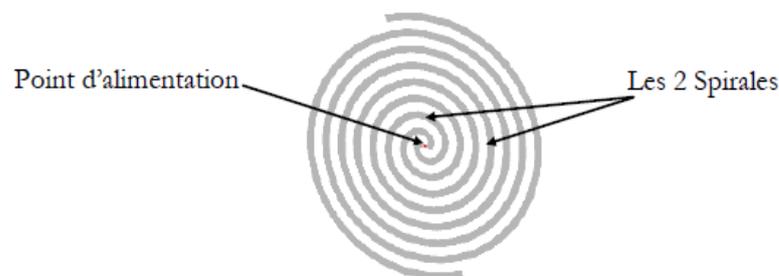


Figure I.6: Antenne spirale d'Archimède [I.9].

Cette antenne présente des propriétés analogues à celles de la spirale logarithmique [I.9]. Ainsi, sa très large bande passante de plusieurs octaves est bornée par les dimensions extrêmes de la spirale, et l'encombrement de la structure est de l'ordre d'une longueur d'onde à la fréquence la plus faible. Du fait de son dessin auto complémentaire, son impédance d'entrée est théoriquement de $188,5 \Omega$ (en réalité, son impédance varie typiquement de 120 à 200Ω). Son rayonnement est le même que pour une antenne spirale logarithmique, à savoir bidirectionnel suivant les directions normales au plan de l'antenne, et de polarisation circulaire. Le centre de phase de l'antenne varie également avec la fréquence car la zone

participant au rayonnement de l'antenne se trouve sur un anneau de diamètre d'environ λ/π . Il en découle un caractère dispersif de rayonnement de l'antenne comme décrite en [I.9].

I.2.1.2.1. Les antennes log-périodiques

Les antennes log-périodiques introduites en 1959 par DUHAMEL et ISBELL de l'université de l'Illinois s'appuient sur le concept d'antennes dimensionnées pour toutes les fréquences mais apportent un caractère périodique plutôt que linéaire aux structures. En effet, les antennes indépendantes de la fréquence subissent un phénomène de répétition dans leur structure qui induit une répétition en fréquence de leurs caractéristiques. Cependant cette évolution idéalement linéaire (antennes équiangulaires), peut également être périodique: l'antenne est alors constituée d'éléments rayonnants qui se déduisent les uns des autres en multipliant leurs dimensions d'un facteur $\tau = f/f$. Ces éléments se répètent ainsi avec une période $\ln(\tau)$ fonction du logarithme de la fréquence, d'où l'appellation d'antennes « log-périodiques » [I.10]. La figure (I.7) illustre les différents types d'antennes log-périodiques.

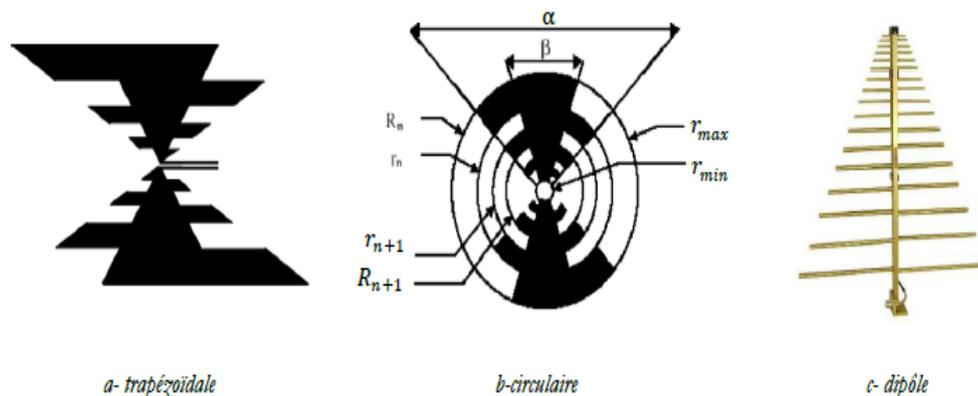


Figure I.7: les différents types d'antennes log-périodiques [I.10].

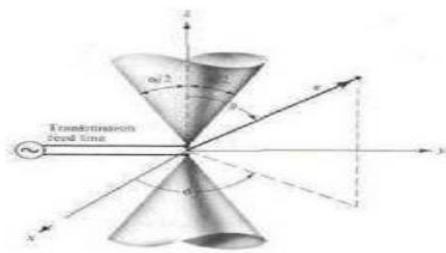
I.2.2. Antennes élémentaires

On distingue deux grandes catégories dans les antennes élémentaires, les antennes volumiques qui ont des géométries tridimensionnelles (3D), et leurs dérivées bidimensionnelles (2D) ; dans ce second type on trouve souvent dans la littérature des formes imprimées sur un diélectrique où le plan de masse est parallèle à l'élément rayonnant, et des formes non imprimées qui possèdent un plan de masse perpendiculaire.

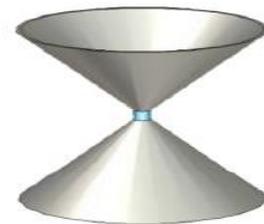
I.2.2.1. Les antennes volumiques (3D)

I.2.2.1.1. Antenne biconique

L'antenne biconique a été inventée en 1943 par Schelkunoff [I.11]. Le concept de l'antenne biconique est basé sur le fait que les dipôles construits avec des fils plus épais offrent une plus grande bande passante que les dipôles construits avec des fils plus fins. Ce concept peut être étendu pour atteindre une plus grande bande passante en utilisant des conducteurs évasés. En fait, l'antenne biconique est tronquée. En effet, lorsque le cône est tronqué, une partie de l'énergie est réfléchi à l'extrémité de l'antenne, l'antenne biconique est donc finalement considérée comme un guide d'onde qui se termine à la charge. L'antenne biconique standard a une bande passante supérieure à 100 % avec un diagramme de rayonnement omnidirectionnel, la polarisation est linéaire et le gain maximal typique pour ce type d'antenne est de 4 dB. La figure (I.8) illustre les antennes biconiques.



a- antenne biconique infinie [3]



b- antenne biconique finie

Figure I.8: Antennes biconique [I.11].

I.2.2.1.2. Antenne discône

L'antenne discône est une antenne biconique dont un des cônes est remplacé par un plan de masse de dimensions infini par rapport à la longueur d'onde la plus basse (Figure I.9). La masse est généralement de forme circulaire ce qui fait que la structure totale de l'antenne est constituée d'un disque et d'un cône (d'où son appellation).



Figure I.9: Antenne discône [I.11].

Si elle conserve certaines des propriétés d'une antenne biconique, le remplacement du deuxième cône par un plan de masse lui confère des propriétés intéressantes. L'antenne à un diagramme de rayonnement omnidirectionnel dans le plan horizontal, et son gain est légèrement plus élevé que celui d'une antenne biconique finie du fait de l'utilisation d'un plan de masse fini. [I.11].

I.2.2.2. Les monopôles plans

De nombreuses études ont été menées sur différentes formes de monopôles planaires sur un plan de masse infini. Les structures triangulaires et circulaires, et dans une moindre mesure les structures carrées, présentent généralement de bonnes bases d'antennes avec des propriétés large bande, et leur optimisation conduit à des formes de monopôles très variables. Ces éléments rayonnants sont montés perpendiculairement au plan de masse, et une étude a montré que leur inclinaison (par exemple pour limiter l'encombrement) réduit fortement leur bande passante [I.11].

I.2.2.2.1. Le monopôle circulaire/elliptique

L'antenne monopôle circulaire est constituée d'un disque plat rayonnant monté sur un plan de masse. Les dimensions de ce plan de masse doivent être au moins égales à une longueur d'onde à la fréquence la plus basse d'adaptation de l'antenne afin d'éviter les réflexions. Cependant, des performances satisfaisantes peuvent également être obtenues avec un plan de masse de dimensions inférieures à une demi-longueur d'onde à la fréquence la plus basse [I.11]. L'écartement entre le disque et ce plan de masse est un paramètre à optimiser puisqu'il influe sur la largeur de bande de l'antenne. La figure (I.10) illustre la structure d'une antenne monopôle circulaire.

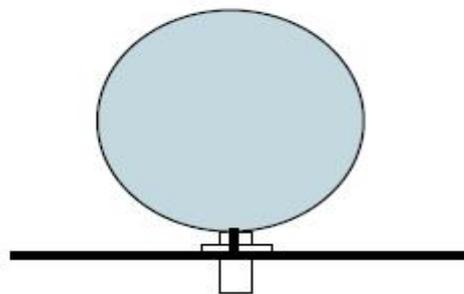


Figure I.10: Antenne monopôle circulaire [I.11].

I.2.2.2.2. Le monopôle triangulaire

Le monopôle triangulaire est la version planaire de l'antenne conique qui est constitué d'un triangle plat rayonnant monté sur un plan de masse. L'évolution de son comportement en fonction de ses dimensions suit globalement celle des structures triangulaires (antenne papillon) ou coniques (antennes biconique et discône). Cependant, une étude comparative de ce type d'antennes a été menée par Brown et Woodward [I.11], et met en avant quelques différences entre la structure plane et son équivalent en trois dimensions, en termes d'adaptation et de rayonnement. La figure (I.11) illustre le monopôle triangulaire.

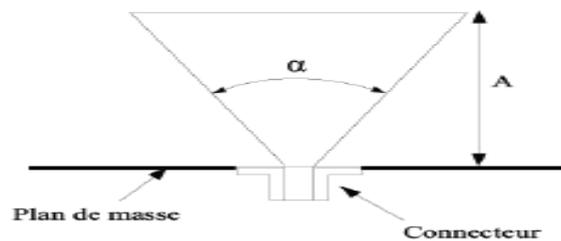


Figure I.11: Le monopôle triangulaire[I.11].

I.2.2.2.3. Les antennes monopôles planaires

Les antennes monopôles planaires sont généralement des dérivés des deux autres structures en vrac et des antennes monopôles planaires, qui sont moins encombrées et ont une bande passante limitée par rapport aux autres antennes.

I.2.2.2.4. Antenne papillon

L'antenne papillon (Bow-tee) est une version planaire de l'antenne biconique (Figure I.12) avec une structure symétrique. Le courant est principalement concentré sur les bords de la structure, ce qui permet d'utiliser des techniques de mise en œuvre filaire en termes d'éléments d'application exposés au vent (Antenne papillon). Elle peut également être réalisée dans une fente sur une plaque métallique ou un substrat, ce qui permet d'obtenir une structure asymétrique. De cette façon, son alimentation peut être assurée par des câbles coaxiaux sans l'utilisation de baluns ou d'adaptateurs d'impédance. Les antennes Bowie ont de moins bonnes performances en termes de bande passante que les antennes biconiques, qui sont limitées par la tronçure de l'antenne. Cependant, son impédance d'entrée varie plus avec la fréquence qu'une antenne biconique finie de même taille. Cela se traduit par une qualité d'adaptation et une bande passante inférieures, mais les deux peuvent atteindre des valeurs supérieures à 100%. Le diagramme d'antenne présente un rayonnement de type dipôle, qui est

omnidirectionnel dans un plan perpendiculaire au plan de l'antenne. Le gain ainsi obtenu est compris entre 0 et 3dB [I.12].



Figure I.12: Antenne papillon [I.12].

I.2.2.2.5. Les antennes circulaire planaire

Une antenne planaire ULB imprimée sur un diélectrique est plus pratique qu'une antenne planaire monopôle. Ils ont les mêmes paramètres géométriques, donc des géométries différentes peuvent être trouvées dans les deux configurations. En raison de sa taille, les antennes monopôles planaires peuvent être facilement intégrées dans les circuits RF et les dispositifs ULB [I.13]. La figure (I.13) illustre quelques géométries d'antennes planaires.

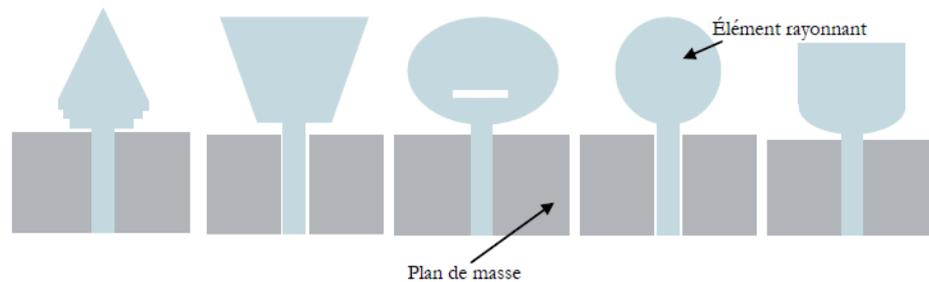


Figure I.13: Quelques géométries d'antennes planaires [I.13].

L'élément rayonnant planaire est essentiellement gravé sur un substrat diélectrique, et le plan de masse peut être coplanaire (CPW) avec l'élément rayonnant ou faire partie du substrat diélectrique. L'élément rayonnant peut être alimenté par câble microruban ou coaxial. Le plan de masse peut être modifié pour améliorer la bande passante. La figure (I.14) présente la structure d'une antenne circulaire planaire.

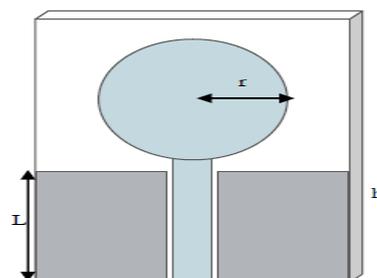


Figure I.14: Antenne circulaire planaire CPW [I.13].

I.2.3. Antennes à transition progressive

L'antenne à fente à transition progressive ou antenne à fente conique (TSA) est la plus représentative de la technologie microruban. Ils ont été introduits en 1974 par Lewis et Gibson avec l'antenne Vivaldi. Ils sont constitués généralement en des lignes de rainures qui s'élargissent le long d'un profil donné jusqu'à ce qu'elles deviennent finalement discontinues. Le profil de ces ouvertures peut avoir des formes différentes selon les spécifications de rayonnement requises. Par conséquent, les antennes Vivaldi ou ETSA ont des profils de transition exponentiels ou elliptiques et se caractérisent par une faible polarisation croisée. D'autres types de transitions ont été étudiés, tels que les antennes à fente à transition conique linéaire (LTSA), à ligne brisée (BLTSA) ou à constante exponentielle (CWSA). Les antennes TSA conviennent à des bandes passantes très larges de 125% à 170%. Leurs diagrammes de rayonnement sont unidirectionnels dans le plan du substrat et présentent de faibles niveaux de polarisation croisée. Leur directivité augmente avec la fréquence et les gains atteints par ces antennes peuvent aller jusqu'à 10 dB selon le type de profil [I.13]. La figure (I.15) présente les antennes à transition progressive.

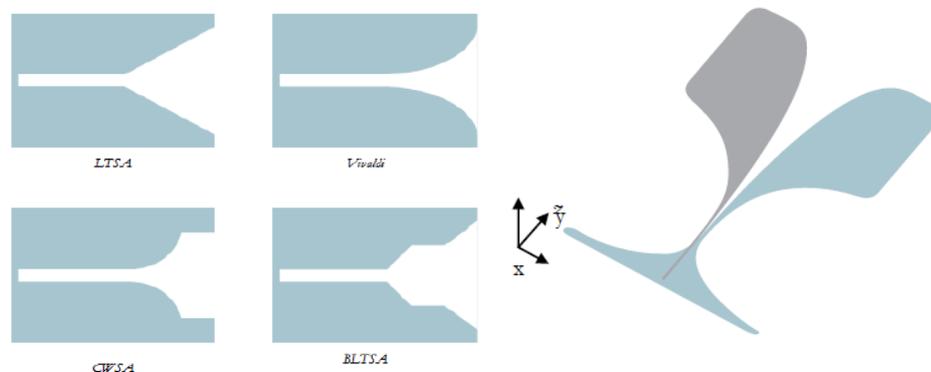


Figure I.15: Les antennes à transition progressive [I.13].

I.3. Récapitulatif des caractéristiques des antennes

Afin de comparer ces besoins spécifiques avec les capacités des antennes ULB présentées dans ce chapitre, leurs principales caractéristiques sont résumées dans le tableau I.2. Les performances des antennes sont regroupées selon les spécifications spécifiées en fonction de l'adéquation, de la taille et du rayonnement. Ce format a pour but de synthétiser les données accumulées dans ce chapitre et de justifier le choix des structures d'antennes à retenir [I.14]. Le Tableau I.2 ci-dessous est la représentation des performances globales atteignables par ces antennes, afin de pouvoir mettre plus aisément en avant leurs avantages et inconvénients.

Tableau I.2: Récapitulatif des caractéristiques des antennes ULB [I.14].

	ADAPTATION			DIMENSIONS		RAYONNEMENT		
	Bande passante	Impédance d'entrée (Ω)	Ajustements	2D/3D	Taille	Diagramme	Polarisation	Dispersive
Spirale logarithmique	>150 %	75 à 100	Symétriseur Adaptateur d'impédance	2D	$2\lambda/\pi$	Bidirectionnel	Circulaire	Oui
Spirale conique	>150 %	Variable	Aucun	3D	Variable	Unidirectionnel	Circulaire	Oui
Spirale d'Archimède	>150 %	120 à 200	Symétriseur Adaptateur d'impédance	2D	$2\lambda/\pi$	Bidirectionnel	Circulaire	Oui
Log périodique circulaire	150 %	50 à 188	Symétriseur	2D	λ	Bidirectionnel	Linéaire	Oui
Log périodique trapézoïdale	150 %	50 à 150	Symétriseur	2D	λ	Bidirectionnel	Linéaire	Oui
Dipôle log périodique	130 %	50 à 100	Aucun	2D ou 3D	Variable	Unidirectionnel	Linéaire	Oui
Biconique	120 à 150 %	> 100	Symétriseur Adaptateur d'impédance	3D	$\lambda/2$	Omnidirectionnel	Linéaire	Non
Discône	150 %	> 80 *	Aucun	3D	$\lambda/4^{**}$	Omnidirectionnel	Linéaire	Non
Papillon	>100 %	> 100 *	Symétriseur Adaptateur d'impédance	2D	$\lambda/2$	Omnidirectionnel	Linéaire	Non
Monopôle circulaire (planaire)	>100 %	> 100 *	Aucun	2D	$\lambda/4$	Omnidirectionnel	Linéaire	Non
Monopôle circulaire	160 %	50	Aucun	3D	$\lambda/4^{**}$	Omnidirectionnel	Linéaire	Non
Monopôle triangulaire	120 %	50	Aucun	3D	$\lambda/4^{**}$	Omnidirectionnel	Linéaire	Non
TSA's	125 à 170 %	50	Aucun	2D	$>\lambda/2$	Unidirectionnel	Linéaire	Non

1.4. Conclusion

Dans ce premier chapitre nous avons donné une représentation générale de la technologie ULB, en commençant par des généralités et des définitions, des caractéristiques ensuite on a expliqué le réglementation du système ULB ainsi que quelques applications dans cette bande de fréquence. En fin nous avons terminé par cité quelques exemples d'antennes ULB. Le prochain chapitre sera consacré à l'application de cette technologie aux antennes planaires.

Bibliographie

- [I.1]TALEB et MAHRI, conception d'antennes papillons (bowtie) pour applications Ultra Large Bande, mémoire de master en télécommunication, université Abou BakrBelkaid, 2011- 2012.
- [I.2] Rabia Yahya, l'étude et la réalisation des antennes Ultra Large Bande à double polarisation, mémoire de Maitre ès sciences en télécommunication-3404, université du Québec INRS-ÉMT, 2011.
- [I.3] Pascal PAGANI, caractérisation et modélisation du canal de propagation radio en contexte Ultra Large Bande, pour obtenir le titre de docteur en Electronique, Institut national des sciences appliquées de RENNES, novembre 2005.
- [I.4] J. D. Dyson, "The Equiangular Spiral Antenna," IRE Trans. Antennas & Propagation, vol. AP-7, pp181-187, April 1959.
- [I.5] L. Babour "étude et conception d'antennes ultra large bande miniaturisées en impulsionsnel" thèses, institut polytechnique de Grenoble, pp. 05, 2009.
- [I.6] J. Liang "Antenna Study and Design for Ultra Wideband Communication Applications" thèses, University of London United Kingdom, pp. 17-18-26-148, 2006.
- [I.7]W. Yuanfan. "Design of Band-Notched Characteristics for Compact UWB Monopole Antennas", thèses, The University of Hong Kong, pp. 18-19, 2012.
- [I.8]R. S. K. P. C.LUXEY, "Antennes imprimées Techniques et domaines d'application E3311," Techniques de l'Ingénieur, pp. 1-9.
- [I.9]J.Roger, "Antennes techniques Traité d'Electronique E3284," Techniques de l'Ingénieur, pp. 45-46.
- [I.10]Z. N. Chen, "Experiments on Input Impedance of Titled Planar monopole Antenna," Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 26, N°3, Aug. 2003.
- [I.11]O. M. W. G.H.Brown, "Experimentally Determined Radiation Characteristics of Conical and Triangular Antennas," RCA review, pp. 425-452, 1952.
- [I.12]R. R. L. A .Kerkhoff, "The Use of the Genetic Algorithm Approach in the Design of UltraWideband Antennas," IEEE Radio and Wireless Conference (RA WCON), Boston, Aug.2001..
- [I.13]M. D. O. M. B. & J. E. B.Allen, Ultra Widbend Antennas And Propagation For Communications,Radar and Imaging. John Wiley & Sons, 2007.
- [I.14]Z. N. e. a. Cheng, "Planar antennas," IEEE Microwave Magazine, vol. Vol.7 issue 1, pp. 63-73, 2006

Chapitre 2 : Généralités sur les antennes planaires compactes ULB

II.Introduction

Les antennes sont des éléments indispensables pour assurer l'émission ou la réception des ondes électromagnétiques dans l'atmosphère terrestre ou dans l'espace. Elles sont présentes dans tous les systèmes de communication sans fil (radio, télévision, téléphonie mobile, ...).

Le deuxième chapitre de notre travail est destiné à présenter dans le cas général l'antenne ULB et ses caractéristiques électromagnétiques comme le diagramme de rayonnement, le gain et Bande passante fréquentielle.... etc et les techniques de miniaturisation des antennes compactes ULB. À la fin de ce chapitre nous allons présenter Différentes Structures des antennes ULB compactes.

II.1. Définition de l'antenne

L'une des définitions les plus justes d'une antenne est donnée dans la norme IEEE des définitions des termes pour les antennes. D'après cette norme, une antenne est un moyen de rayonnement ou de réception des ondes radio [1]. Plus concrètement, c'est un dispositif qui reçoit des signaux d'une ligne de transmission, les convertit en ondes électromagnétiques et les diffuse dans l'espace libre lorsque l'antenne est en mode d'émission. En mode de réception, elle capte tout simplement les ondes électromagnétiques incidentes et les reconvertit en signaux. La Figure II.1 en fait une illustration très simple.

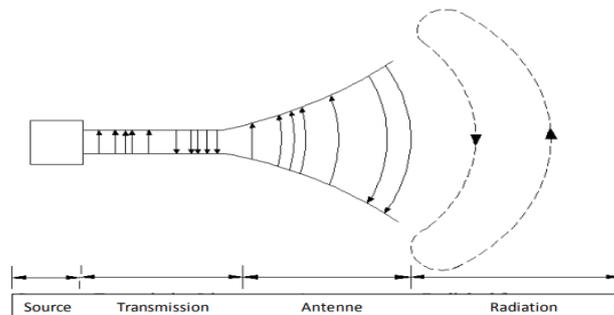


Figure II 1:Rayonnement d'une antenne

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

Une bonne conception de l'antenne peut assouplir les exigences du système et améliorer la performance globale du système.

II.2. caractéristiques importantes des antennes ULB

II.2.1. Bande passante fréquentielle

La bande passante (BP) est simplement définie comme la différence entre les fréquences haute F_{\max} et fondamentale F_{\min} utilisées par l'antenne. Il existe différentes représentations de la bande passante, comme la bande relative (BR) (par rapport à la fréquence centrale f). Nous pouvons également exprimer la bande passante en pourcentage en multipliant la bande relative par 100. D'autre part, la fréquence centrale (f) est généralement définie comme la moyenne arithmétique des fréquences F_{\max} et F_{\min} . Des définitions alternatives de la fréquence centrale existent également. Selon cette définition, la fréquence centrale est calculée comme une moyenne géométrique plutôt que l'arithmétique des fréquences F_{\max} et F_{\min} , qui sont généralement définies comme des fréquences qui limitent la bande de fréquence sur laquelle les performances de l'antenne en termes d'impédance satisfont un objectif préalablement fixé auparavant. Par exemple, un niveau de -10 dB en S est requis.

$$B_p = f_{\max} - f_{\min} \quad (2.1)$$

$$B_R = B_p / f_c \quad (2.2)$$

$$B_R \% = \frac{B_p}{f_c} \times 100 \quad (2.3)$$

$$f_c = \frac{1}{2}(f_{\max} + f_{\min}) \quad (2.4)$$

Dans le cadre des antennes ULB, la définition la plus couramment utilisée est celle de la FCC, qui inclut le calcul d'une bande passante de -10 dB. Pour les systèmes ULB, la FCC exige une bande passante supérieure à 500 MHz ou une bande passante relative supérieure à 0,2. Notez que la FCC utilise une définition arithmétique de la fréquence centrale. La Figure II 2 illustre la bande passante fréquentielle.

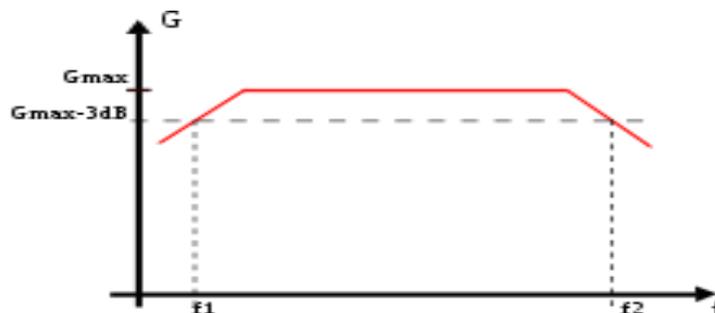


Figure II 2: bande passante fréquentielle

En effet, les systèmes ULB imposent des spécifications non seulement sur l'adaptation de l'antenne, mais aussi sur le gain, le diagramme de rayonnement, la distorsion et d'autres caractéristiques. Par conséquent, la bande de fréquence dont les performances d'antenne satisfont aux spécifications requises définit sa bande passante d'utilisation.

II.2.2. Diagramme de rayonnement, gain et directivité

Le diagramme de rayonnement représente les variations de la puissance rayonnée par l'antenne dans les différentes directions de l'espace. Il indique les directions dans lesquelles la puissance rayonnée est maximale et il est obtenu par la mesure du champ électrique [2]. La fonction caractéristique de rayonnement (θ, φ) de l'antenne permet d'avoir une vision globale du rayonnement. Elle est définie comme étant le rapport de la puissance transmise dans une direction donnée (θ, φ) à la puissance P_{\max} de la direction où le rayonnement est maximale (équation (2.6)[3]:

$$P(\theta, \varphi) = \frac{P_a}{4\pi} \quad (2.5)$$

La Figure II. 3 illustre le diagramme de rayonnement d'une antenne patch rectangulaire.

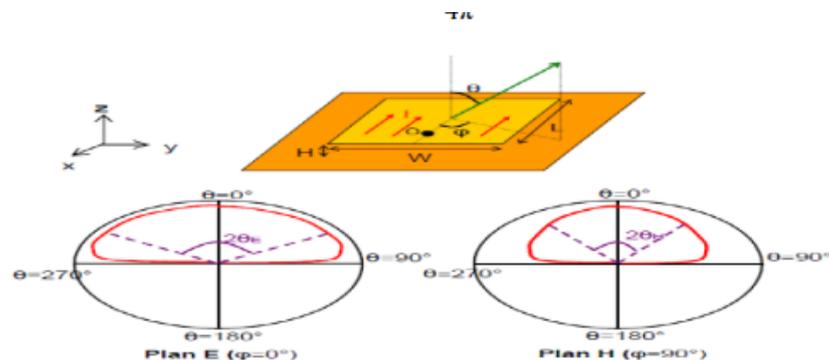


Figure II.3: Diagramme de rayonnement d'une antenne patch rectangulaire.

La propriété de rayonnement la plus préoccupante est la distribution spatiale à deux ou à trois dimensions (2D ou 3D) de l'énergie rayonnée en fonction de la position de l'observateur le long d'un chemin ou d'une surface de rayon constant. Dans la pratique, le modèle à trois dimensions est parfois nécessaire et peut être construit en une série de modèles à deux dimensions. Pour la plupart des applications pratiques, quelques graphiques du diagramme en fonction de φ pour certaines valeurs particulières de la fréquence, ainsi que quelques graphiques en fonction de la fréquence pour certaines valeurs particulières de θ fourniront la

plupart des informations utiles nécessaires, où φ et θ sont les deux axes dans un système en coordonnées sphériques.[1]

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

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

Directivité et gain : La directivité d'une antenne spécifie comment son rayonnement est concentré sur certaines directions de l'espace. Pour définir la propriété d'orientation pour le diagramme de rayonnement d'une antenne, on utilise le concept de directivité D . C'est en fait le rapport entre l'intensité du rayonnement (U) dans une direction donnée de l'antenne et de la sources isotropes U_0 . Afin de calculer l'intensité de rayonnement U_0 d'une source isotrope, on divise la puissance rayonnée totale P_{rad} par 4π . La formule de directionnalité est donc :

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (2.6)$$

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

$$G = e_{rad} D \quad (2.7)$$

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

$$G = 4\pi \frac{\text{(intensité de rayonnement)}}{\text{puissance totale}} = 4\pi \frac{U(\theta, \varphi)}{p_{in}} \quad (2.8)$$

II.2.3 Autres paramètres

- Puissance rayonnée : La puissance rayonnante est définie comme la puissance traversant une sphère qui a un rayon infini. Cette puissance rayonnée doit intégrer le vecteur de Poynting dans une sphère, définie comme suite:

$$\vec{p} = R_e (\vec{E} \times \vec{H}^*) \quad (2.9)$$

La puissance totale rayonnée est définie par:

$$W = \int_0^\pi \int_0^{2\pi} k(\theta, \varphi) d\Omega \quad (2.10)$$

- Impédance d'entrée : Considérons une antenne dont on peut définir les deux bornes d'entrée A et B. Soient V_e la tension entre les bornes A et B et I_e le courant d'alimentation de l'antenne. L'impédance d'entrée de l'antenne est donnée par :

$$Z_e = \frac{V_e}{I_e} \quad (2.11)$$

- Bande d'utilisation : La définition de la bande d'utilisation fait intervenir des notions très diverses. Elle peut être limitée par:
- Le rapport d'onde stationnaire maximal autorisé ROS (inadéquation Antennes associées à des systèmes d'émission et/ou de réception) pour
Par exemple $ROS < 2$;
 - Modifications du gain d'antenne ;
 - Distorsion du diagramme de rayonnement en fonction de la fréquence.

II.3. Technique de miniaturisation des antennes compactes ULB

II.3.1. Paramètres du substrat

La variation des paramètres du substrat joue un rôle très important pour minimiser la taille des antennes micro-ruban, la technique est plus connue dans le domaine de miniaturisation des antennes, cette technique base sur deux paramètres, l'épaisseur de substrat h et la constante diélectrique (permittivité ϵ_r)[5] Il y a une relation entre la fréquence de résonance de l'antenne et la permittivité relative ϵ_r donnée par :

$$F = \frac{C}{2L\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.11)$$

Où C est la vitesse de la lumière et L la longueur du patch.

II.3.2. Utilisation de court circuit

Il est également connu l'utilisation de court-circuit pour réduire la taille d'antenne. Cette technique peut réduire de moitié la longueur physique de l'antenne et garde la fréquence de

résonance fixe. Il existe plusieurs types de court-circuit tel que la broche de court-circuit (shorting-pin), la plaque de court-circuit (shorting-plate) et le mure de court-circuit (shorting-wall) comme le montre dans la Figure II.4 [6].

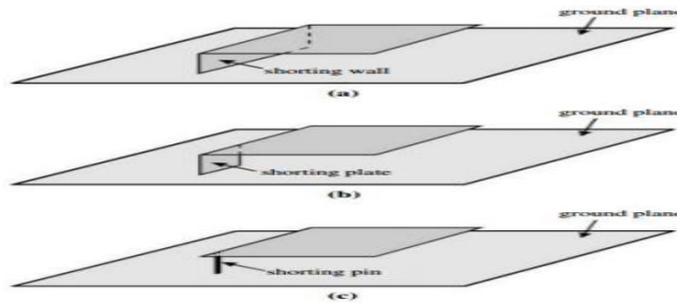


Figure II.4: Géométrie d'une antenne patch avec : (a) mure de court circuit (shorting-wall), (b) plaque de court circuit (shorting-plate) et (c) broche de court circuit (shorting-pin).[6]

II.3.3. Créations des fentes et des encoches dans le patch et le plan de masse

Cette méthode est basée sur l'intégration des fentes (slots) ou des encoches (Notch) pour faire des méandres sur la trajectoire de courant dans la surface de patch alimenté pour obtenir une fréquence de résonance réduite. Cette méthode est très efficace pour obtenir une réduction importante de la taille de l'antenne à une fréquence de fonctionnement fixe. La Figure II.5 (a) présente une antenne patch avec des fentes rectangulaires gravées sur l'élément rayonnant pour allonger la distribution du courant et Figure II.5 (b) qui représente une antenne patch avec deux encoches triangulaire pour rendre le chemin de courant plus long. La Figure II.5 (c) illustre une autre conception intéressante d'une antenne micro-ruban compacte. Pour cette antenne, les fentes sont intégrées dans le plan de masse de l'antenne pour réduire le facteur de qualité et pour élargir la bande passante de l'antenne [7].

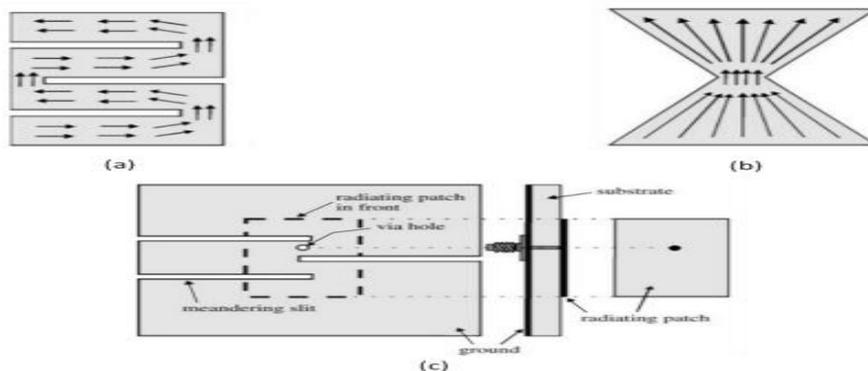


Figure II.5: Géométrie d'une antenne patch compact avec : (a) fentes dans l'élément rayonnant, (b) encoche dans le patch et (c) fentes dans le plan de masse [7].

II.4. Etat de l'art des antennes ULB compactes

Les travaux de recherche en cours se concentrent sur les antennes ULB omnidirectionnelles, puisque tous les efforts visent à améliorer le domaine des communications sans fil. Principalement les appareils mobiles qui nécessitent un diagramme de rayonnement omnidirectionnel. Dans cette partie nous allons essayer de classer différents types d'antennes microruban compactes fonctionnant dans la bande de fréquence ULB (3,1 GHz - 10,6 GHz). Il existe plusieurs types d'antennes ULB compactes, et chaque type est classé selon ses caractéristiques électromagnétiques et géométriques. L'application et le domaine d'utilisation de telles antennes jouent un rôle important dans cette classification.

II.4.1. Antennes monopoles compactes ULB

Les monopôles planaires (à la fois ultra large bande et compacts) ont plusieurs propriétés intéressantes. Une petite antenne unipolaire ULB constituée d'un élément rayonnant circulaire et d'un plan semi-sol est proposée dans [8]. Cette antenne se compose d'un élément rayonnant circulaire et un demi-plan de masse.

La conception peut être modifiée en introduisant un raccord en forme de L dans le plan de masse, une alimentation conique pour une meilleure adaptation d'impédance et en gravant deux fentes dans le plan de masse. La Figure II 6 illustre la géométrie d'une antenne monopole planaire compact ULB.

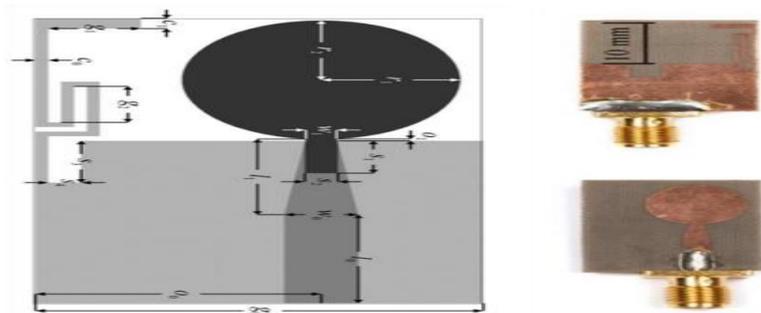


Figure II.6: Géométrie d'une antenne monopole planaire compact ULB (patch circulaire) [8].

La forme compacte de l'antenne est obtenue en utilisant un méandre pour prolonger le trajet du courant. La modification introduite du plan de masse et l'ajustement simultané de tous les paramètres géométriques par une optimisation efficace conduisent à une taille très compacte (15,8 mm × 22 mm) comme le montre la figure II.7. La vérification expérimentale confirme l'exactitude de la méthode de conception [8].

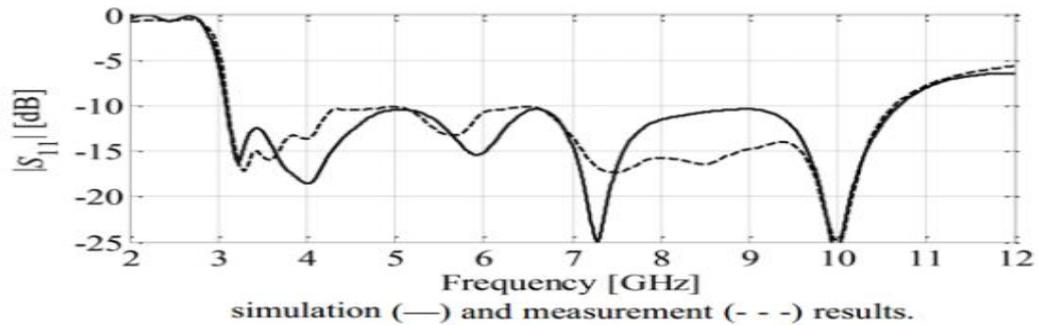


Figure II.7: Paramètre S de l'antenne monopole planaire compact ULB (patch circulaire) [8].

Un autre prototype d'antenne monopole planaire très compacte ULB proposé par [9]. L'antenne est très petite à seulement 11 mm x 16 mm et possède une bande de fréquence très large couvrant la plage comprise entre 3,9 GHz et 21,4 GHz. L'antenne est constituée de plusieurs paires d'encoches progressivement intégrées dans un patch rectangulaire. Ces lacunes sont Utilisées pour stabiliser le diagramme de rayonnement dans le plan H et élargir la bande passante. La Figure II.8 illustre la géométrie d'une antenne monopole planaire compact ULB.

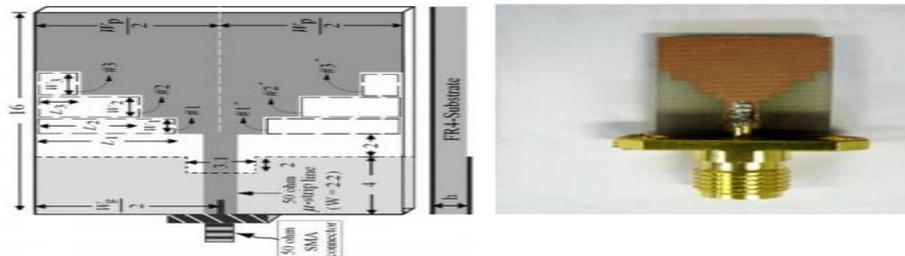


Figure II. 8: Géométrie d'une antenne monopole planaire compact ULB (patch avec des encoches)[9].

La Figure II.9 donne la variation du rapport d'onde stationnaire (VSWR) de l'antenne monopole planaire compact ULB (patch avec des encoches).

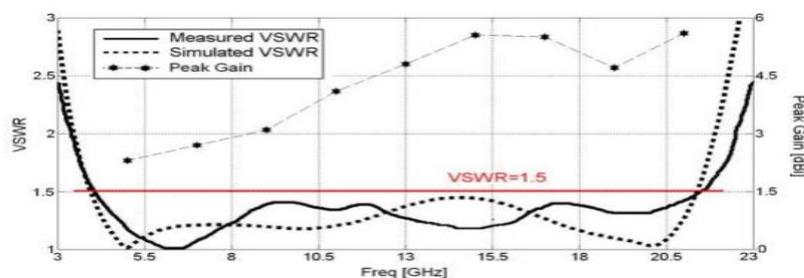


Figure II.9: Rapport d'onde stationnaire (VSWR) de l'antenne monopole planaire compact ULB (patch avec des encoches) [9].

II.4.2. Antennes compactes ULB avec une ligne coplanaire

Les antennes monopôles utilisant la technologie d'alimentation filaire coplanaire (CPW) sont devenues très importantes pour les applications ULB, notamment en raison de la faible dispersion, de la simplicité de mise en œuvre des circuits et de la facilité d'intégration avec des dispositifs actifs ou des circuits intégrés. Alimenté par une antenne monopôle circulaire fils coplanaires (CPW), cette antenne est présentée dans [10]. Le couplage électromagnétique du SRR (Split Ring Resonator) au CPW produit une réjection de fréquence. La figure II.10 montre une antenne ULB dont la fréquence est supprimée par une paire de SRR. Ces SRR sont placés symétriquement et au-dessous de l'antenne [10].

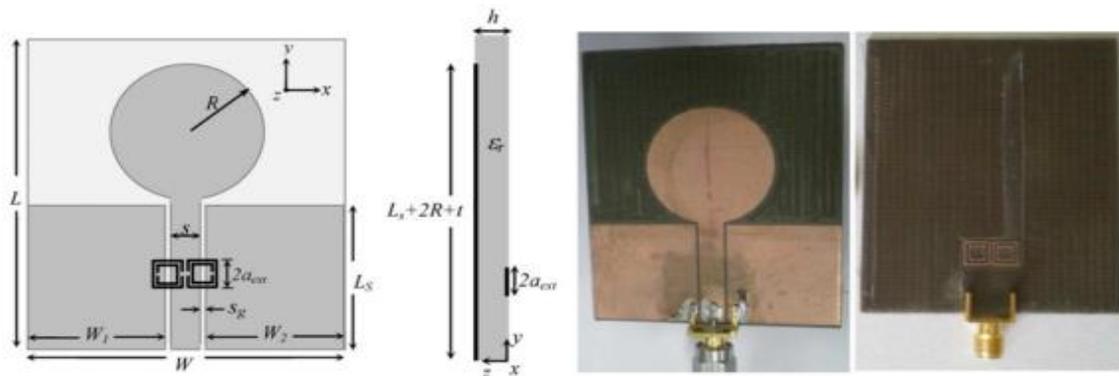


Figure II.10: Géométrie et photographie d'antenne compacte ULB (CPW-UWB antenna) avec SRR pour la rejection des bandes[10].

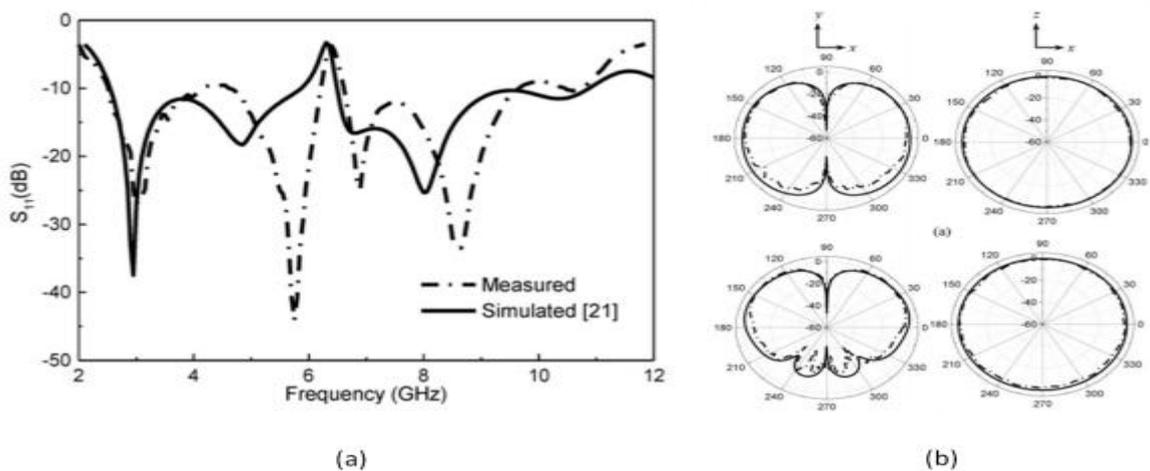


Figure II.11: Résultats concernant l'antenne compacte ULB (CPW-UWB antenne) : (a) les paramètres S et (b) diagramme de rayonnement[10].

Les résultats obtenus sur la figure II.2 montrent qu'une antenne unipolaire compacte alimentée par un fil coplanaire (CPW) a la caractéristique d'élargir considérablement la bande de fréquence de l'antenne, et montre également que le SRR intégré dans l'antenne produit une encoche (Notched-Band) qui a pour rôle d'obtenir la bande de fréquence souhaitée. Le diagramme de rayonnement de cette antenne est omnidirectionnel dans le plan H et bidirectionnel dans le plan E.

II.4.3. Antennes fractales ULB

Une fractale est une technique itérative de géométrie mathématique avec des caractéristiques similaires. Plusieurs structures mathématiques sont des fractales, par exemple, les triangles de Sierpinsky, les fractales de Von Koch, les fractales de Hilbert et les Fractales de Mandelbrot, etc. Le terme fractal a été inventé par Mandelbrot [11]. Les fractales ont des propriétés uniques qui peuvent être attrayantes pour les concepteurs d'antennes, leur capacité de remplissage d'espace permet la miniaturisation des antennes. Plusieurs travaux ont été réalisés dans le domaine des antennes fractales ultra large bande à fin de réduire la taille des antennes et élargir leur bandes passantes. L'antenne proposée est générée par la combinaison de fractale de Koch et la géométrie hexagonale. La procédure récursive pour la génération de la géométrie fractale de Koch est présentée dans la figure II.3. Dans cette conception, la géométrie Koch est appliquée sur les bords du monopôle hexagonal ainsi que sur le plan de masse. L'application de la géométrie Koch, offre des phénomènes de miniaturisation et à large bande dans la conception d'antennes. La figure II.13 présente les résultats de simulation des paramètres S.

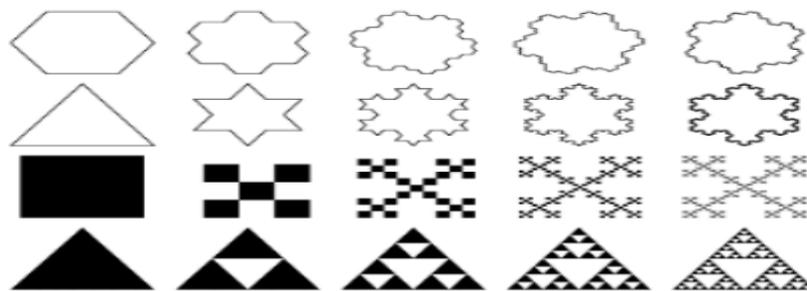


Figure II.12: Géométries fractales [11].

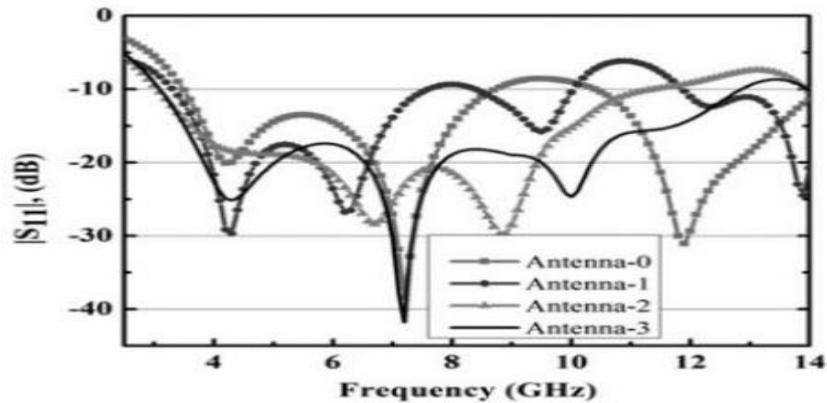


Figure II.4: Résultats du paramètre S de l'évolution d'une antenne pour obtenir une bande ULB par le fractal de Koch [11].

II.4.4. Les antennes à fentes ULB

Une antenne à fente est constituée par une surface métallique, généralement un plan plat, avec un trou ou une fente découpée. La fente émet des ondes électromagnétiques de la même manière qu'une simple antenne dipôle. La forme et la taille de la fente, ainsi que la fréquence de résonance, déterminent la distribution du courant et le diagramme de rayonnement. Ses diagrammes de rayonnements sont à peu près omnidirectionnels.

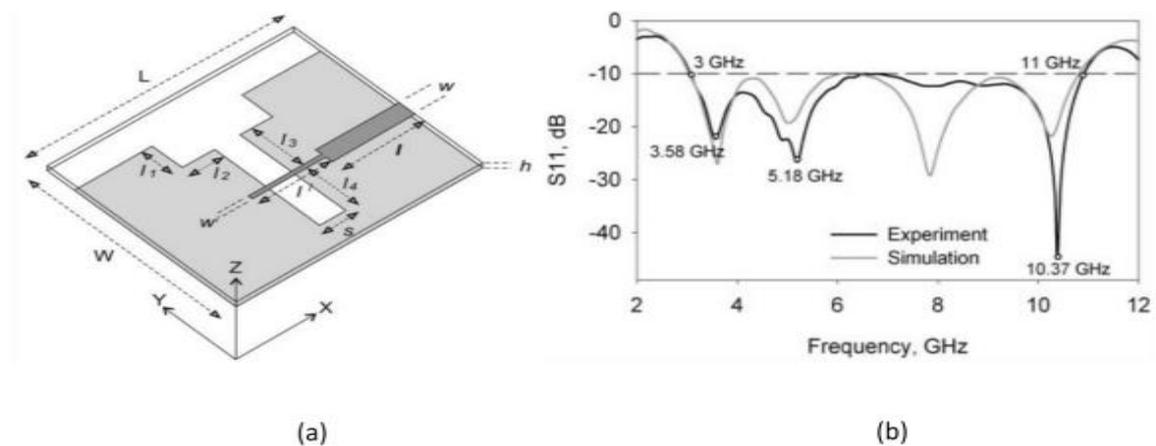


Figure II.14: Antenne à fente pour les applications ULB : (a) la géométrie d'antenne (b) les résultats des paramètres S [13].

Les principaux avantages d'une antenne à fentes sont sa taille, sa simplicité de conception et sa robustesse. Les antennes à fentes ont l'avantage de pouvoir produire des diagrammes de rayonnement bidirectionnel avec une largeur de bande plus grande [13]. Les figures II.14 et II.15 présentent deux prototypes d'antennes à fente ultra large bande [14] et [15]. Les

résultats des simulations et les résultats expérimentaux présentent l'efficacité et les avantages des antennes à fentes.

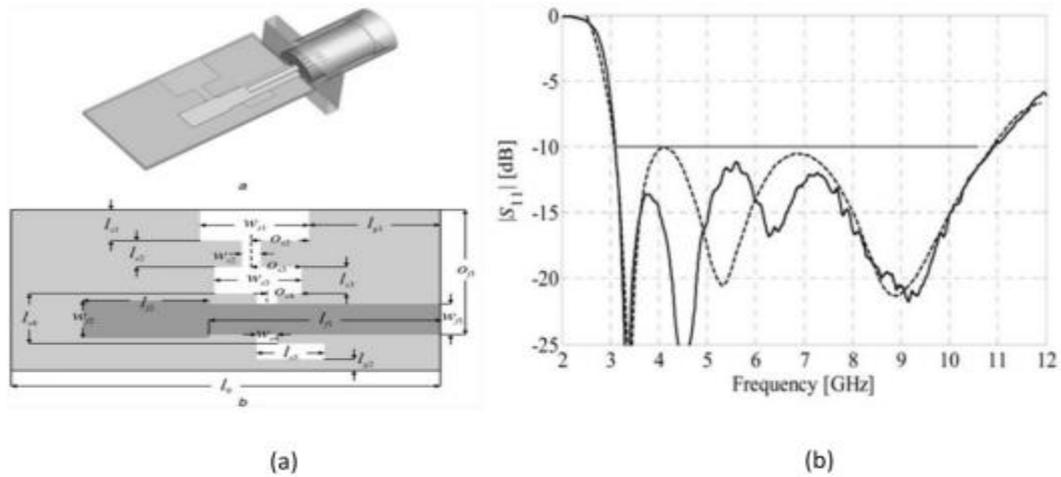


Figure II.15: Conception d'une antenne à fente ULB compacte : (a) la géométrie d'antenne (b) les résultats des paramètres S [14].

II.4.5. Antennes ULB avec polarisation circulaire

La polarisation circulaire est l'un des types de polarisation couramment utilisés dans les systèmes de communications sans fils actuels, car elle offre une meilleure mobilité et une meilleure pénétration que la polarisation linéaire, ce qui limite l'orientation de l'antenne de réception par rapport à celle de l'émetteur. L'antenne à polarisation circulaire peut avoir de nombreux types et structures différentes, le principe de base étant de rayonner deux composantes de champs orthogonaux d'amplitudes égales, mais en quadrature de phase. Les antennes à fentes avec alimentation coplanaire (CPW) sont largement utilisées dans de nombreuses applications militaires et commerciales en raison de leurs caractéristiques attrayantes telles que la largeur de bande passante, la couche métallique unique, le faible encombrement et l'intégration facile avec des périphériques actifs ou MMIC. Le prototype au-dessous illustré dans la figure II.16 présente une antenne à fente à large bande avec une polarisation circulaire (CPSSA) [16].

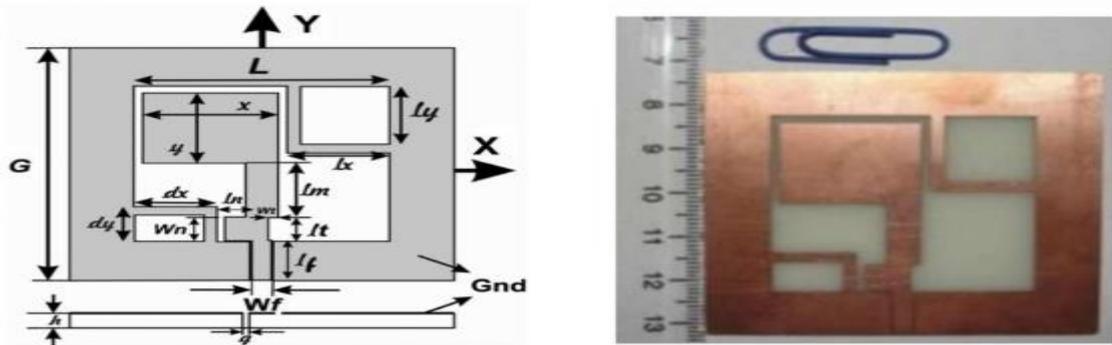


Figure II.16: Géométrie et photographie d'antenne à fente ULB (CPW-feed slot antenna) avec une polarisation circulaire large bande[16].

Le prototype se compose d'un plan de masse carré, de deux bandes en forme de L inversé, d'une fente qui a été coupée et retirée du chargeur et d'un embout vertical qui a été incorporé dans la structure du chargeur. Les deux principales caractéristiques de cette conception sont la bande passante d'impédance améliorée et une autre bande passante de rapport axial élargie (ARBW). La figure II.5 montre la comparaison entre les résultats mesurés et simulés pour l'antenne prototype de la figure II.6. La gamme de fréquences couvre la bande de fréquences ULB et le rapport axial (ARBW) inférieur à 3 dB couvre un tiers de la bande de fréquences de fonctionnement.

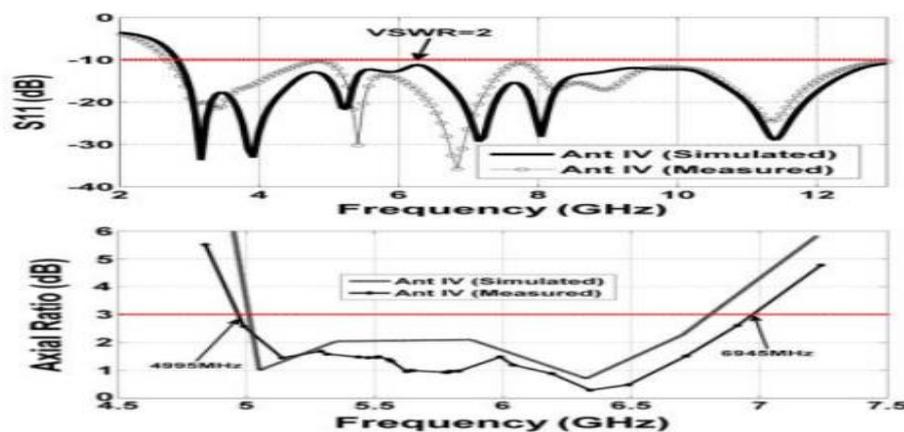


Figure II.17: Comparaison entre les résultats de simulation et les mesures de prototype d'antenne [16].

II.4.6. Antennes ULB reconfigurables

La reconfigurabilité est le changement dynamique du fonctionnement d'une antenne en termes de fréquence, de diagramme de rayonnement ou de polarisation. Ce changement est réalisé grâce à des technologies et des mécanismes de commutation utilisant des diodes PIN, des

commutateurs électromécaniques (RF-MEMS), des diodes vari cap et des Switch optiques , ou en intégrant des matériaux tels que des ferrites et des liquides cristallins. Les antennes reconfigurables sont utilisées dans de multiples domaines et dans de multiples applications, telles que les antennes ULB, les antennes MIMO (Multiple Input Multiple Output), les antennes multi bandes, les antennes fractales et la radio cognitive. Pour les applications ULB, reconfigurabilité pour contrôler le fonctionnement des fréquences rejetées dans la bande ULB, comme le montre les figures (II.18 et II.19) [17]. Ces figures représentent une antenne ULB compacte avec deux bandes de fréquences rejetées contrôlables par des diodes PIN.

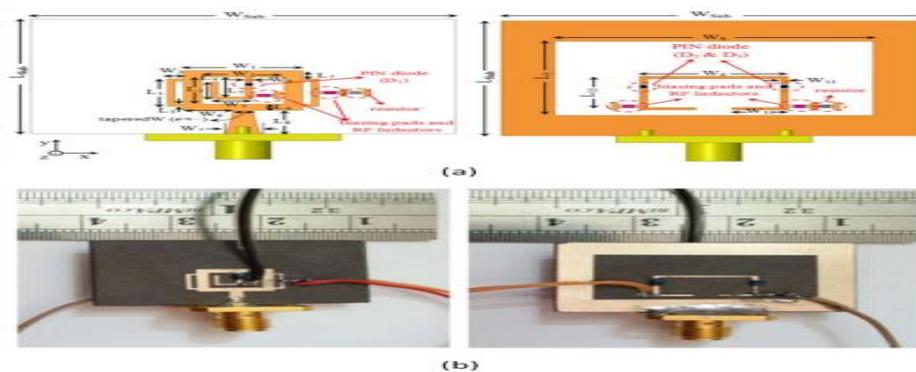


Figure II.18: Géométrie et photographie d'antenne ULB avec des bandes rejetées[17].

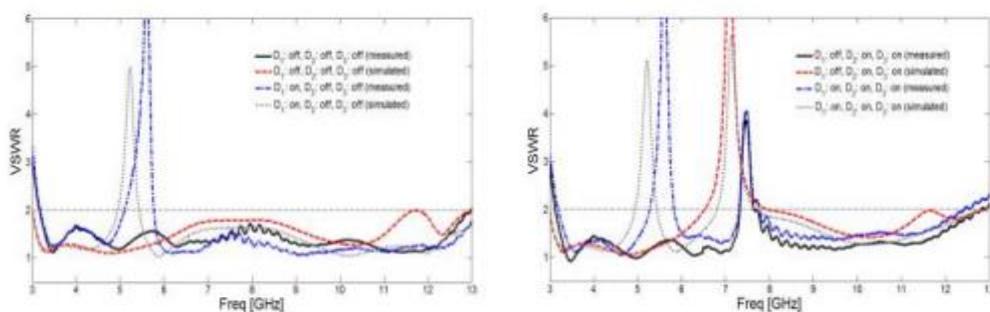


Figure II.19: Comparaison entre les résultats de simulation et les mesures de la position des diodes [17].

Une antenne ULB à fente compacte reconfigurable pour les applications radio cognitive est illustrée dans la Figure II.20 [18]. Le principe de fonctionnement de cette antenne est basé sur l'intégration des fentes sous forme des escaliers, ces fentes sont raccordées entre elles par des diodes PIN. L'antenne proposée fonctionne selon deux modes (selon la position des diodes ON/OFF): le mode ULB et le mode de communication pour différentes applications à bande étroite ou large bande.

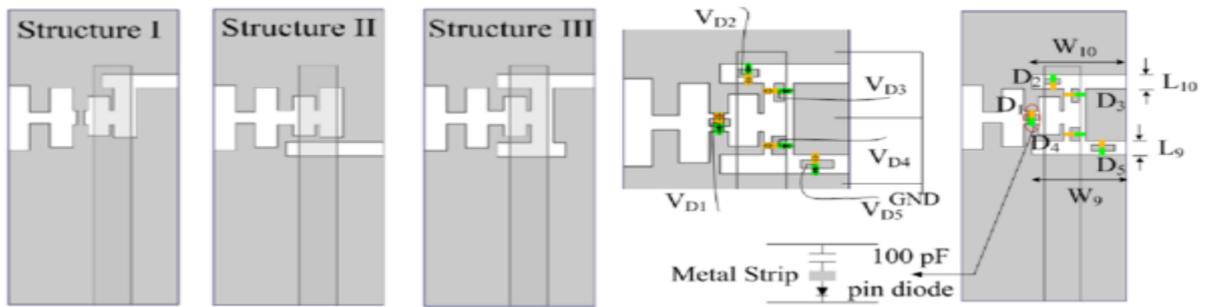


Figure II.20: Antenne à fente compacte ULB reconfigurable [18].

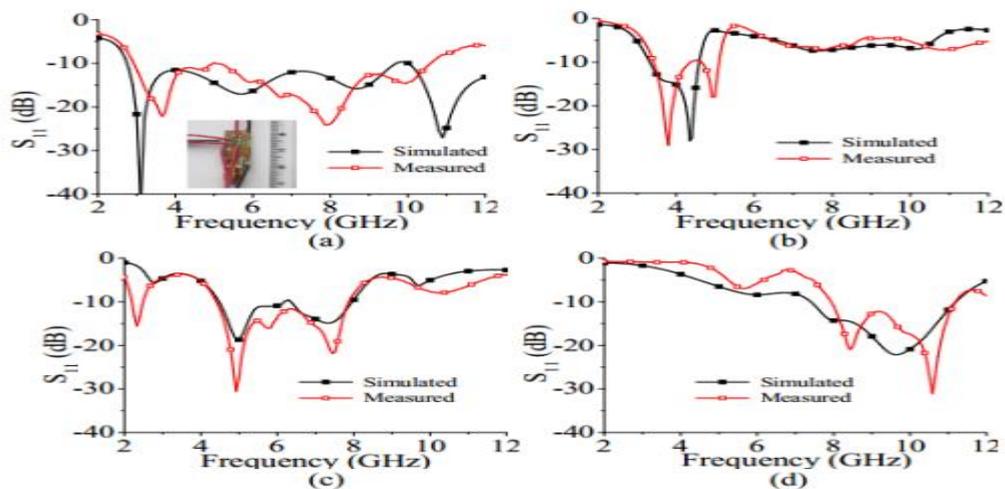


Figure II.21: Comparaison entre les résultats de simulation et les mesures des prototypes de la figure 20 [18]

La figure II.21 présente les résultats des coefficients de réflexion simulés et mesurés de différents cas de commutation de diodes PIN. Différents états de commutation des diodes PIN couvrent les différentes bandes de communication sans fils. Structure-I (Figure II.21(b)) peut être utilisé pour la communication dans la bande WiMAX (3,3 GHz - 3,8 GHz), alors que la Structure-II (Figure II.21(c)) est destinée à la communication WLAN (5,15 GHz - 5,85 GHz), la Structure-III (Figure II.21 (d)) convient à la bande X (8 GHz - 11 GHz) et la combinaison entre les trois structures (Figure II- 21(a)) donnent la bande ULB (3.1 GHz - 10.6 GHz).

II.4.7. Antennes ULB avec des métamatériaux

Les métamatériaux sont des structures électromagnétiques artificielles (matériaux à permittivité négative ou perméabilité magnétique) qui ont des propriétés qui n'existent pas dans la nature. Les métamatériaux sont utilisés dans les antennes pour minimiser et réduire la taille de l'antenne, élargir la bande passante, réduire le couplage entre les antennes (antennes MIMO et réseaux d'antennes) et augmenter le gain d'antenne [19]. La figure II.22(a) montre

une antenne microruban compacte à base de métamatériaux pour les applications ULB [20]. L'antenne est constituée d'un élément rayonnant et de deux couches de méta matériau sur un plan de masse. La figure II 22(b) montre une antenne compacte utilisant des structures de métamatériaux pour des applications ULB [21]. Constituée de quatre éléments en métamatériaux et de trois fentes rectangulaires sur un plan de masse, l'antenne est alimentée par une ligne micro ruban.

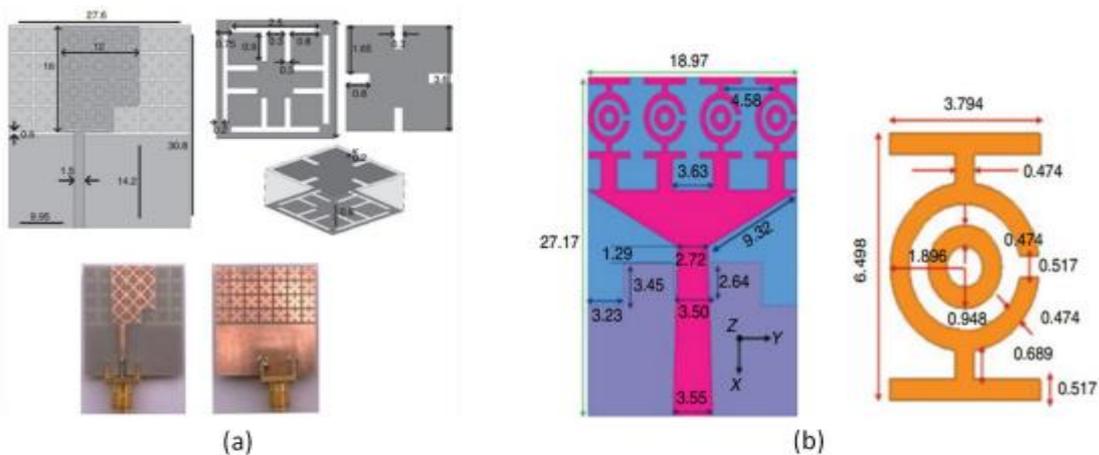


Figure II.22: Antennes ULB compacte avec les metamatériaux (a) [20] et (b) [21].

II.5. Conclusion

Dans ce chapitre, la vue d'ensemble des antennes microruban compactes et la dernière technologie des antennes ULB et les caractéristiques des antennes ULB compactes sont introduites. Nous commençons par décrire les concepts théoriques des antennes microruban compactes. Dans cette partie du chapitre, les géométries et les techniques d'alimentation des antennes microruban sont illustrées pour comprendre le fonctionnement de ces antennes, ce qui est le travail fondamental de ce chapitre. Les caractéristiques adaptatives et de rayonnement sont introduites pour montrer les avantages des antennes microruban par rapport aux autres types d'antennes. Dans ce chapitre, nous décrivons également la géométrie des antennes compactes et les techniques de miniaturisation pour réduire la taille des antennes microruban ULB. Plusieurs travaux connexes liés à la recherche de pointe liée à la conception d'antennes ULB compactes ont été réalisés. Dans cette partie, plusieurs travaux qui montrent les différentes techniques utilisées dans les antennes ULB compactes sont présentés et discutés.

Bibliographie

- [1] Constantine A. Balanis, “Antenna Theory Analysis and Design”, 2005, John Wiley & Sons, INC.
- [2] Deghfel Walid, Merzougui Rami, “Etude et conception d’antenne ultra large bande ULB à bande rejetée”, Mémoire de Master, Université de M’sila, 2017.
- [3] Odile Picon et coll « LES ANTENNES Théorie, conception et application » Préface de Maurice Bellanger, Paris, 2009
- [4] D. T. Paris and F. K. Hurd, “Basic Electromagnetic Theory”, McGraw-Hill Book Co., New York, 1969.
- [5] K-L. WONG. “Compact and Broadband Microstrip Antennas” JOHN WILEY & SONS, INC., New York, 2002.
- [6] K. L. Wong, C. L. Tang, and H. T. Chen, “A compact meandered circular microstrip antenna with a shorting pin” *Microwave Opt. Technol. Lett.* Vol.15, 147–149, 1997.
- [7] C. K. Wu, K. L. Wong, and W. S. Chen, “Slot-coupled meandered microstrip antenna for compact dual-frequency operation” *Electron. Lett.* Vol. 34, 1047–1048, 1998.
- [8] A. Bekasiewicz and S. Koziel, “Structure and Computationally Efficient Simulation Driven Design of Compact UWB Monopole Antenna”, *IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS*, VOL. 14, pp. 1282-1285, 2015.
- [9] R. Zaker, and A. Abdipour, “A Very Compact Ultrawideband Printed Omnidirectional Monopole Antenna”, *IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS*, VOL. 09, pp. 471-473, 2010.
- [10] Siddiqui, J.Y., Saha, C., Antar, Y.M.M. “Compact SRR loaded UWB circular monopole antenna with frequency Notch characteristics” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 2014, 62, (8), pp. 4015-4020
- [11] S. Joseph, “design and analysis of compact cpw-fed multiband antennas incorporating uwb applications”, thèses, Cochin university of science and technology, kochi, 2016.
- [12] S. Tripathi, A. Mohan, S. Yadav, “Hexagonal fractal ultra-wideband antenna using Koch geometry with bandwidth enhancement”, *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, Vol. 8, Iss. 15, pp. 1445–1450, 2014.
- [13] M. F. Adaramola, E. B. Balogun, “Performance Analysis of Stepped-Slot Antenna for Wireless Aeronautical Communication Services”, *Computer Engineering and Intelligent Systems*, Vol.7, No.4, pp. 12-25, 2016.
- [14] M. Gopikrishna, D. D. Krishna, C. K. Aanandan, P. Mohanan, and K. Vasudevan. “DESIGN OF A MICROSTIP FED STEP SLOT ANTENNA FOR UWB COMMUNICATION”, *Microwave Opt. Technol. Lett.*, Vol. 51, No. 4, 2009
- [15] A. Bekasiewicz, S. Koziel. “Structure and EM-driven design of novel compact UWB slot antenna”, *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, Vol. 11, Iss. 2, pp. 219–223, 2017.
- [16] J. Pourahmadazar, Ch. Ghobadi, J. Nourinia, N. Felegari, and H. Shirzad. “Broadband CPW-Fed Circularly Polarized Square Slot Antenna with Inverted-L Strips for UWB Applications” *IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS*, VOL. 10, pp. 369-372, 2011.

- [17] H. Oraizi, and N. V. Shahmirzadi. “Frequency- and time-domain analysis of a novel UWB reconfigurable microstrip slot antenna with switchable notched bands”, IET Microwaves, Antennas & Propagation, Vol. 11, pp. 1127-1132, 2017.
- [18] Srivastava, G., Mohan, A., Chakrabarty, A. “Compact Reconfigurable UWB slot antenna for cognitive radio applications” IEEE Antennas Wireless Propag Lett., vol.16, pp. 1139- 1142, 2016
- [19] R. Yahya, A. Nakamura, M. Itami, and T. A. Denidni, “A novel UWB FSS-based Polarization Diversity Antenna” IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS, VOL. 16, pp. 2525-2528, 2017.
- [20] G.K. Pandey, H.S. Singh, P.K. Bharti and M.K. Meshram. “Metamaterial-based UWB antenna”, Electronics letters, Vol. 50, No. 18, pp. 1266–1268, 2014.
- [21] M.M. Islam, M.T. Islam, M. Samsuzzaman, and M.R.I. Faruque. “Compact metamaterial antenna for UWB applications”, Electronics letters, Vol. 51, No. 16, pp. 1222–1224, 2015.

Chapitre 3

**Etude et simulation des
antennes planaires
compactes Ultra large bande.**

III.1 Introduction

Après avoir étudié les antennes planaires en technologie large bande dans le chapitre précédent de ce mémoire, nous consacrons le présent chapitre à la conception et à l'étude des structures d'antennes microruban large bande, l'antenne de base est une antenne patch rectangulaire avec un plan de masse réduit. Par la suite on effectués des modifications sur cette antenne : en précédant en premier lieu à une excitation avec une ligne coplanaire (PCW) puis en second lieu on insère des ecoches dans le plan de masse et en étudie à chaque fois l'effet de ces modifications sur les caractéristiques de l'antenne. Les deux structures d'antennes ont été conçues et analysées à l'aide du logiciel commercial de modélisation électromagnétique Ansoft HFSS en calculant les caractéristiques électromagnétiques des antennes en termes de coefficient de réflexion (S_{11}) et du diagramme de rayonnement et en vérifiant pour les structures étudiés leur adaptation en donnant l'impédance d'entrée et le rapport d'onde stationnaires.

III.2 Présentation du logiciel Ansoft HFSS

Le logiciel HFSS (High Frequency Structure Simulation) v13.0 d'Ansoft Corporation est un logiciel commercial qui calcule des champs électromagnétiques dans le domaine fréquentiel en résolvant localement les équations de Maxwell. Pour cela, il faut construire des objets en trois dimensions et leur assigner des caractéristiques (type de matériau, taille, épaisseur, Il est également nécessaire de spécifier les sources électromagnétiques. Il est possible de paramétrer le système et de faire varier ces paramètres lors de la simulation. L'un des intérêts de HFSS est sa capacité de donner directement les paramètres S, Y, Z en fonction de la fréquence. La figure III.1 représente l'interface graphique de ce simulateur HFSS.

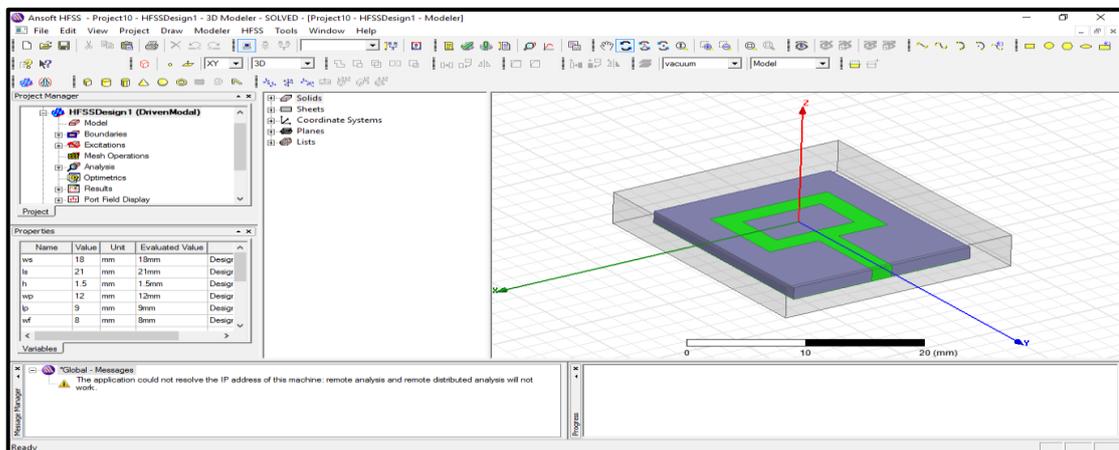


Figure III.1: Interface graphique du simulateur HFSS

III.3. Analyse de l'antenne patch à ouverture

III.3.1. Géométrie de l'antenne

On a commencé par simuler une antenne patch rectangulaire à ouverture alimentée par une ligne micro-ruban. La géométrie de l'antenne proposée est illustrée par la figure III.2. Le patch est imprimé sur un substrat de type FR4 de permittivité relative $\epsilon_r = 4.4$, de tangente de pertes $\tan \delta = 0.02$ et d'épaisseur $h = 1.5\text{mm}$. La structure repose sur un plan de masse partiel. Les paramètres géométriques de l'antenne sont regroupés dans le tableau III.1.

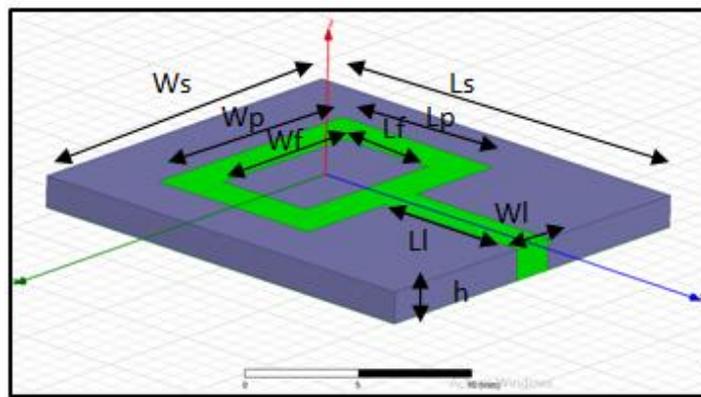


Figure III.2: Géométrie de l'antenne patch à ouverture.

Tableau III.1: Paramètres géométriques de l'antenne patch à ouverture.

Paramètres	Valeurs (mm)
L-substrat (L_s)	21
W-substrat (W_s)	18
h-substrat (h)	1.5
L-patch (L_p)	9
W-patch (W_p)	12
Les L-fente (L_f)	5
W-fente (W_f)	8
L-ligne (L)	8
W-ligne (W)	2

III.3.2. Résultats de simulation

III.3.2.1. Coefficient de réflexion(S_{11}) et bande passante

Selon la figure III.3 représentant le coefficient de réflexion de l'antenne patch à ouverture en fonction de la fréquence, on remarque que cette dernière a une fréquence de résonance de 12.30GHz et une bande passante allant de 10.50GHz à 12.50GHz ce qui ne satisfait pas l'exigence des applications ULB [3.1-10.6] GHz.

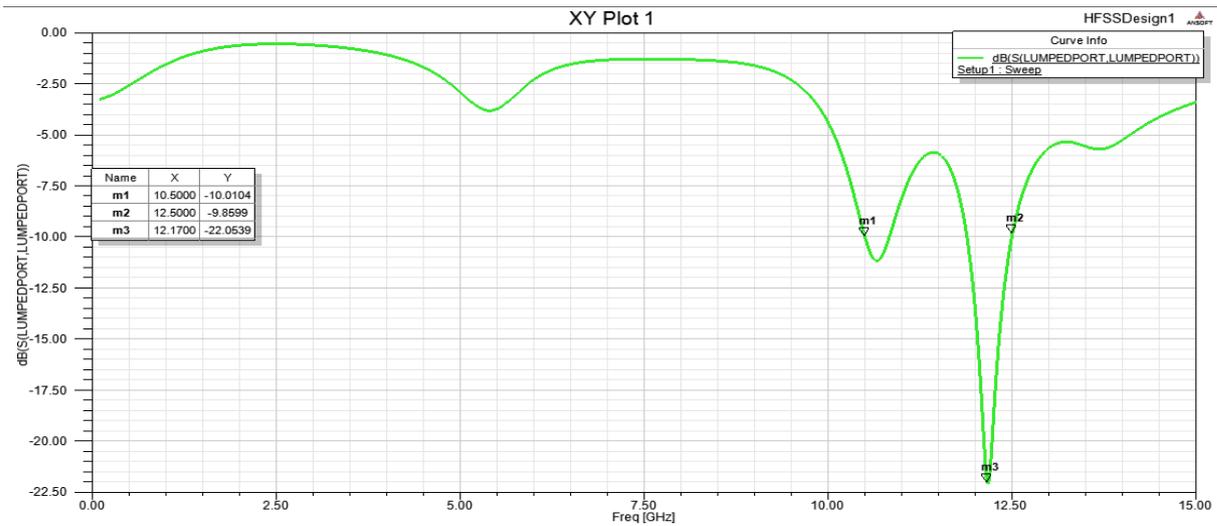


Figure III.3 : Coefficient de réflexion (S_{11}) de l'antenne patch à ouverture.

L'expression de la bande passante en pourcentage est :

$$f_1 = 10.50 \text{ GHz} \quad f_2 = 12.50 \text{ GHz}$$

$$B_p = f_2 - f_1 = 2 \text{ GHz}$$

$$B_R(\%) = \frac{B_p}{f_1 + f_2} \cdot 2 = 17.39$$

III.4. Analyse d'une antenne patch à ouverture avec un plan de masse réduit

III.4.1. Géométrie de l'antenne

Un projet HFSS pour l'antenne patch à ouverture avec un plan de masse réduit à été créé et la vue en perspective de l'antenne avec le domaine de calcul et le système d'axe est montrée dans la figure III.4.

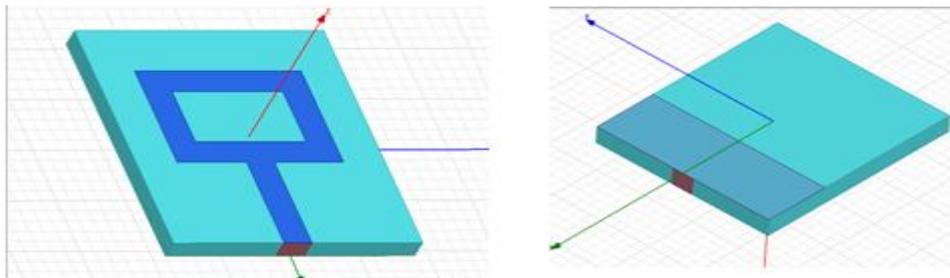


Figure III.4: Géométrie de l'antenne patch à ouverture avec un plan de mass réduit sous HFFS.

III.4.2. Résultats de simulation

III.4.2.1. Coefficient de réflexion (S_{11}) et bande passante

La figure III.5 montre que L'antenne considérée présente une adaptation de -30dB autour d'une fréquence de résonance situé à 7.74 GHz. En plus d'une largeur de bande qui respecte la norme ULB.

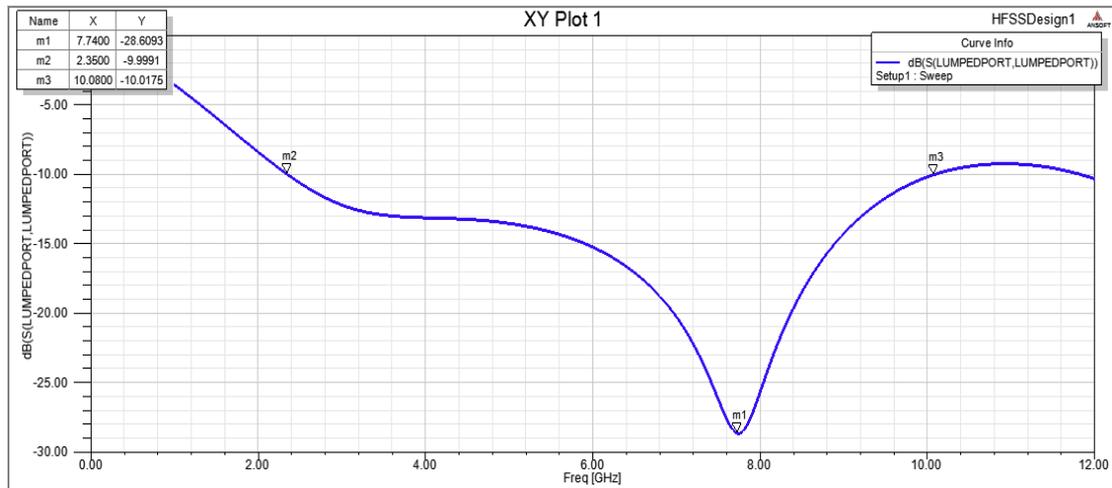


Figure III.5: Coefficient de réflexion (S_{11}) de l'antenne patch à ouverture avec un plan de masse réduit .

III.5. Etude paramétrique et optimisation de l'antenne

III.5.1. Effet de la hauteur du substrat

L'optimisation de l'antenne consiste à faire varier les paramètres géométriques à fin d'obtenir une structure d'antenne optimale servant de structure de base par la suite durant cette étude . On comme ici par modifier la hauteur h du substrat (Tableau III.2) et voir l'effet correspondant.

Tableau III.2: Dimensions du substrat.

Paramètre « h »	Valeur (mm)
h_1	1.3
h_2	1.5
h_3	1.7

III.5.1.1. Résultats de simulation du coefficient de réflexion S_{11}

En faisant varier la dimension h correspondant à la hauteur du substrat, on remarque d'après la figure III.6 illustrant les différentes variations du coefficient S_{11} correspondant aux valeurs prises par h on remarque que la meilleur bande passante est obtenu pour $h = 1.5\text{mm}$.



Figure III.6: Variation du coefficient de réflexion S_{11} , pour différentes valeurs de h .

III.5.2. Effet de la largeur du plan de masse

Le deuxième paramètre qu'on a optimiser durant cette étude est la largeur du plan de masse. Pour cela des simulations du coefficient S_{11} sont effectuées pour quelques valeurs du paramètre L_m représentant la largeur du plan de masse (Tableau III.3).

Tableau III. 3: Différentes valeurs prises par L_m

Paramètre « L_m »	Valeur (mm)
L_{m1}	6
L_{m2}	6.5
L_{m3}	6.75
L_{m3}	6.25

III.5.2.1. Résultats de simulation du coefficient de réflexion S_{11}

Les illustrations de la figure III.7 mettant en évidence l'évolution du coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la variation de la largeur du plan de masse, montre que les performances de l'antenne sont optimisées pour un plan de masse de largeur $L_m = 6.5$ mm.

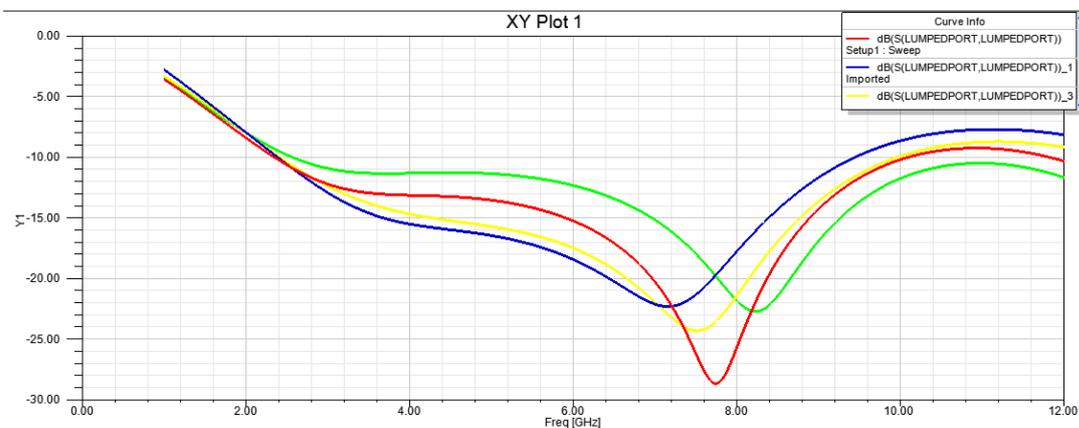


Figure III.7: Variations du coefficient de réflexion de l'antenne pour différentes valeurs de L_m .

III.5.3. Effet des dimensions du slot

En fin on optimise l'antenne en faisant varier les dimensions de la fente (slot). Le tableau III.4 présente les différentes dimensions prise par le slot durant cette optimization.

Tableau III.4: Différentes valeurs prises par la fente (slot)

	l_f	w_f
Fente1	4	7
Fente2	5	8
Fente3	6	9

III.5.3.1. Résultats de simulation du coefficient de réflexion S_{11}

La figure III.8 illustre les variations du coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence pour différentes dimensions de la fente. On peut constater que la structure de l'antenne est optimisée pour un slot de dimensions ($w_f = 8\text{mm}$, $L_f = 5\text{mm}$).

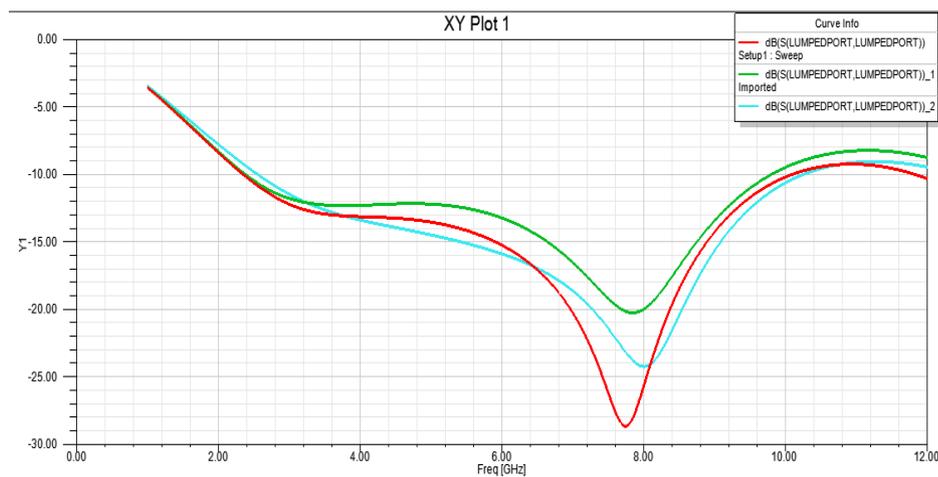


Figure III.8: Variations du Coefficient de réflexion de l'antenne pour différentes dimensions du slot.

III.6. L'antenne patch optimisée

A partir des études paramétriques menées précédemment, nous pouvons déduire les paramètres finaux qui donnent la bande passante la plus large (Tableau III.5).

Tableau III.5: Paramètres géométriques optimisés.

Paramètres	Valeurs (mm)
h-substrat (h)	1.5
L-fente (L_f)	5
W-fente (W_f)	8
L-plan de masse (L_m)	6.5

III.6.1. Résultats de simulation

III.6.1.1 Coefficient de réflexion(S_{11}) et bande passante

La figure III.9 mettant en évidence la variation du coefficient de réflexion de l'antenne une fois optimisée. La fréquence de résonance est à 7.74GHz avec bande passante estimée à 7.73GHz et une bande passante relative de 124,37%.

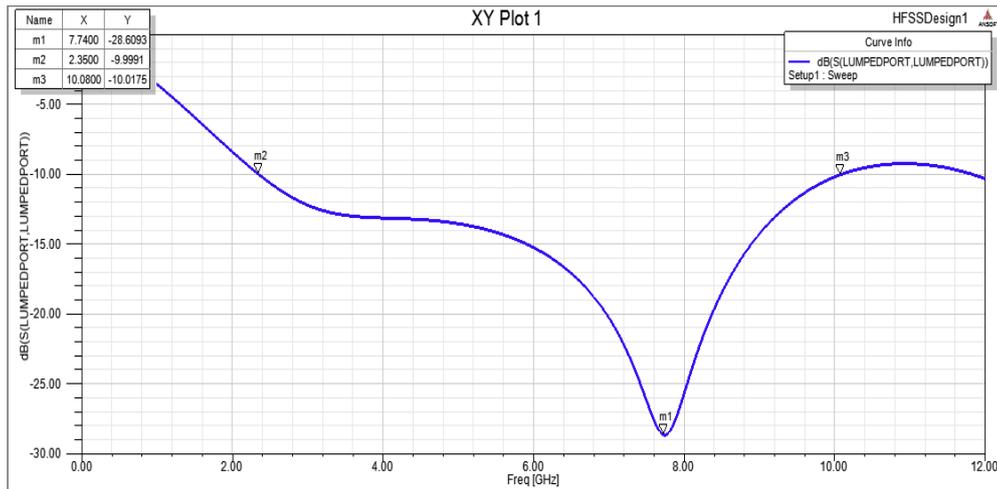


Figure III.9: Coefficient de réflexion de l'antenne optimisée.

III.6.1.2. Rapport d'onde stationnaire (VSWR)

Selon la figure III.10 représentant les variations des rapports d'ondes stationnaires en fonction de la fréquence on remarque que l'antenne simulée est bien adaptée dans la gamme ULB (VSWR < 2).

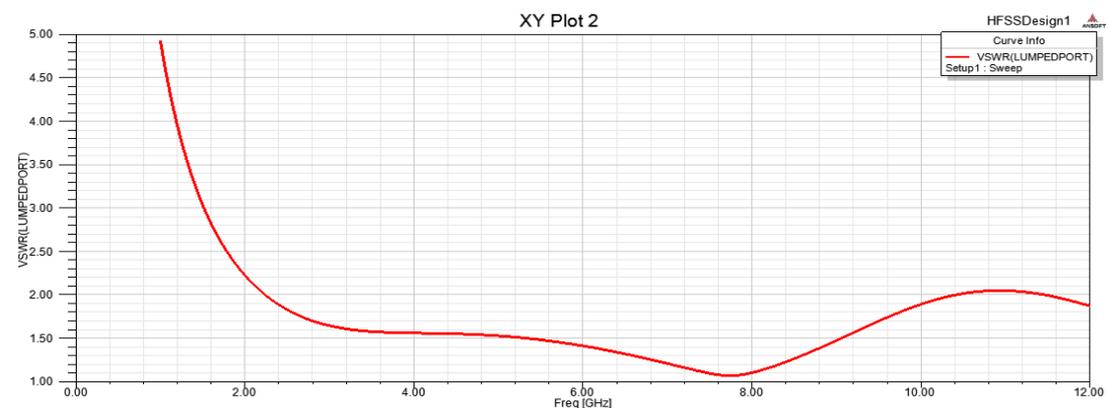


Figure III.10: VSWR de l'antenne optimisée en fonction de la fréquence.

III.6.1.3. Paramètres Z de l'antenne simulée

La figure III.11 représentant l'impédance à l'entrée de l'antenne ULB à double polarisation avec ces parties réelle et imaginaire montre que l'adaptation de l'antenne est assurée du

fait qu'on a pu ramener le 50Ω de la ligne d'alimentation à l'entrée du patch une fois la fréquence atteint la valeur de la résonance.



Figure III.11: Paramètres Z de l'antenne simulée en fonction de la fréquence

III.6.1.4. Diagrammes de rayonnement

La figure III.12 montre que les diagrammes de rayonnement de l'antenne optimisée sont simulés dans les plans du champ électromagnétique (y-z) à la fréquence 8.9 GHz. On remarque que ces diagrammes de rayonnement sont comparables à ceux d'une antenne dipôle et qu'ils sont stables sur toute la bande. Par ailleurs, les diagrammes de rayonnement sont symétriques parce que le patch à une forme symétrique autour de l'axe z. Tandis que la figure III.13 représente le diagramme de rayonnement en 3D du champ E total de l'antenne optimisée.

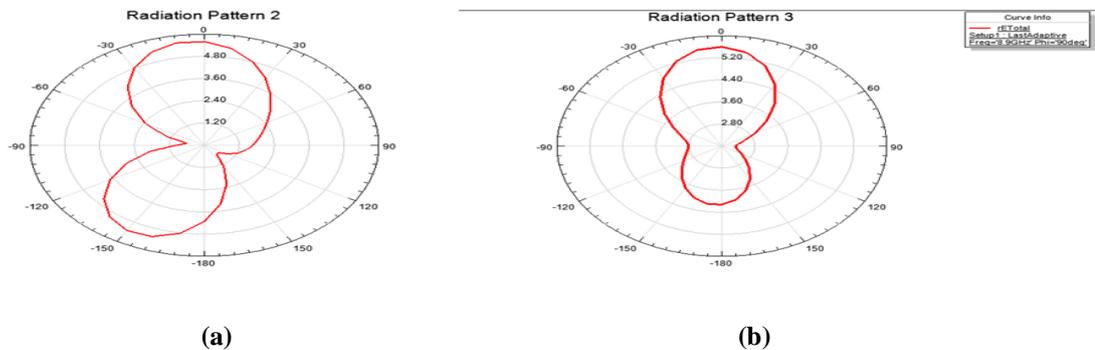


Figure III.12: Diagrammes de rayonnement de l'antenne optimisée (directivité) en 2D (a) plan H et (b) plan E



Figure III.13: Diagramme de rayonnement de l'antenne en 3D

III.7. Analyse d'antenne patch à ouverture avec un plan de masse réduit alimentée par une ligne coplanaire (CPW).

III.7.1. Géométrie de l'antenne simulée

La figure III.14 montre la vue en perspective des faces supérieure et inférieure de l'antenne patch à ouverture mais cette fois ci alimentée par une ligne coplanaire. proposée pour simulation. Le tableau III.6 regroupe les valeurs des dimensions de l'antenne proposée pour simulation .

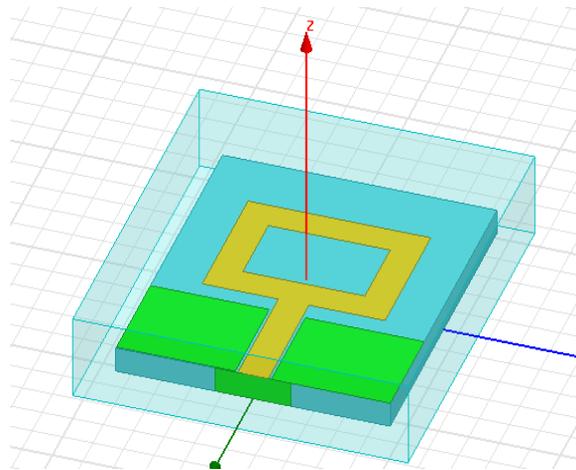


Figure III.14: Antenne patch à ouverture avec un plan de masse réduit alimentée par une ligne coplanaire (CPW).

Tableau III.6: Paramètres géométrique de l'antenne étudiée.

Paramètres	Valeurs (mm)
L-substrat (L_s)	21
W-substrat (W_s)	18
h-substrat (h)	1.5
L-patch (L_p)	9
W-patch (W_p)	12
L-fente (L_f)	5
W-fente (W_f)	8
L-ligne (L_l)	8
W-ligne (W_l)	2
L-masse1 (L_{m1})	6.7
W-masse1 (W_{m1})	7.8
L-masse2 (L_{m2})	6.7
W-masse2 (W_{m2})	7.8

III.7.2. Résultats de simulation

III.7.2.1 Coefficient de réflexion et bande passante

Le résultat obtenu pour le coefficient de réflexion de la structure d'antenne optimisée dans la bande [1-12 GHz] est représenté dans la Figure III.15. Cette antenne présente deux pics en fréquence $fr1 = 2.84\text{GHz}$, $fr2 = 10.01\text{GHz}$ avec des coefficients de réflexion respectivement en dB $|S_{11}| = -25.13\text{dB}$ et -23.32dB . Donc en comparaison avec le résultat précédent on peut constater que notre antenne a une bande passante plus large que celle réalisée dans l'antenne patch à ouverture avec un plan de masse réduit.

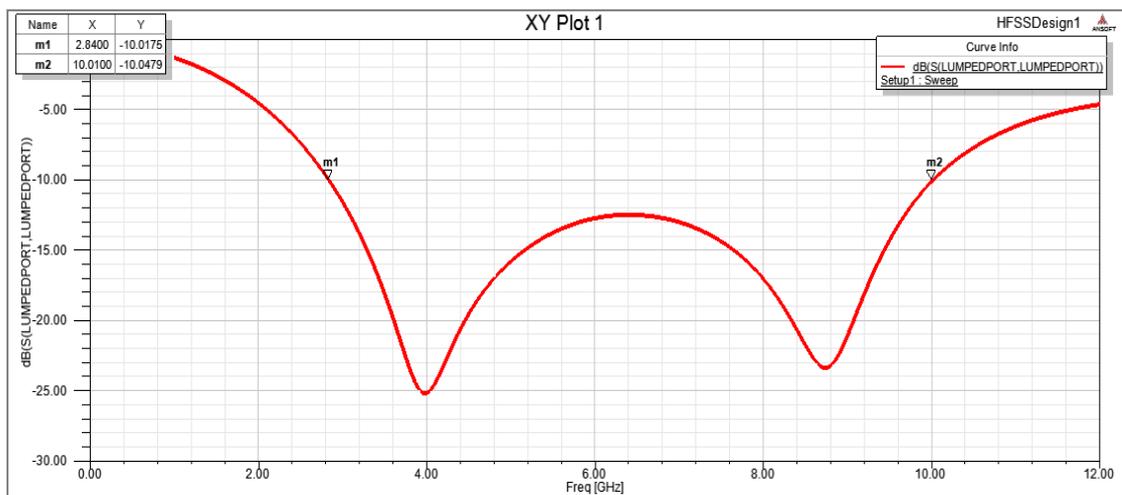


Figure III.15: Coefficient de réflexion (S_{11}) de l'antenne alimentée par une ligne coplanaire (PCW).

III.7.2.2. Rapport d'onde stationnaire (VSWR)

D'après la figure III.16 représentant les variations du rapport d'ondes stationnaire en fonction de la fréquence on remarque que l'antenne simulée est bien adaptée dans la gamme ULB ($VSWR < 2$).

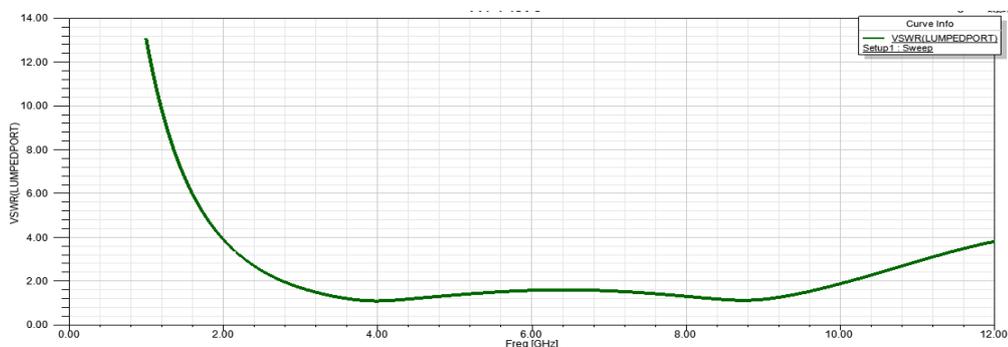


Figure III.16: VSWR de l'antenne alimentée par une ligne coplanaire (CPW)..

III.7.2.3 Paramètres Z de l'antenne de base

La figure III.17 représentant l'impédance à l'entrée de l'antenne ULB alimentée par une ligne coplanaire avec ces parties réelle et imaginaire montre que l'adaptation de l'antenne est assurée du fait qu'on a pu ramener le 50Ω de la ligne d'alimentation à l'entrée du patch une fois la fréquence atteint les valeurs de la résonance.

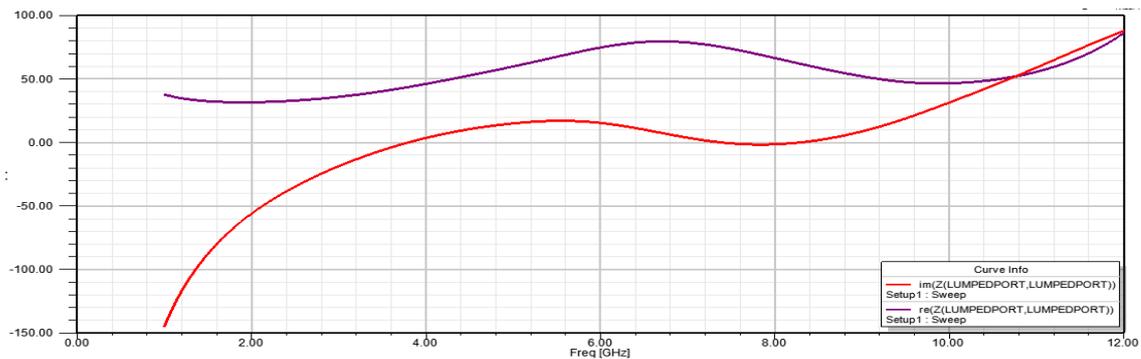


Figure III 17: Paramètres Z de l'antenne

III.7.2.4. Diagrammes de rayonnements

Le diagramme de rayonnement est une caractéristique importante d'une antenne. En effet, le diagramme de rayonnement d'une antenne nous renseigne sur la façon avec laquelle l'antenne dirige son rayonnement dans une direction ou une autre dans l'espace. On a tracé les diagrammes dans un plans principe de l'antenne: le plan E. Les figures (III.18) représentent le diagramme de rayonnement simulé dans le plan E ($\varphi = 0$) . et la figure III.19 représente le Diagramme de rayonnement en 3D.

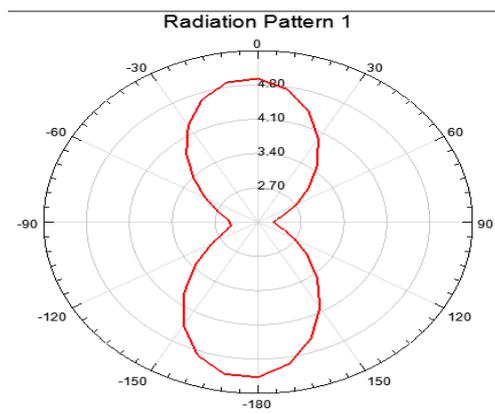


Figure III.18: Diagrammes de rayonnement en 2D de l'antenne de l'antenne alimentée par une ligne (CPW).

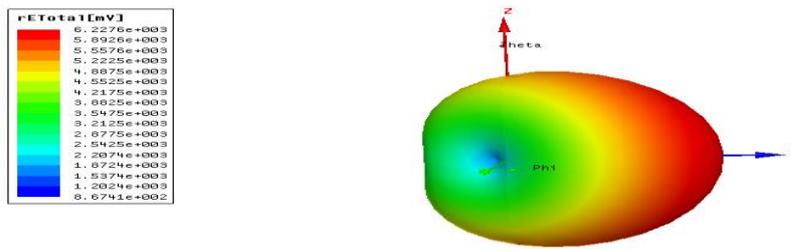


Figure III.19: Diagramme de rayonnement en 3D de l'antenne alimentée par une ligne (CPW).

III.8. Analyse d'antenne patch à ouverture avec un plan de masse réduit avec encoches alimentée par une ligne coplanaire (CPW).

III.8.1. Géométrie du plan de masse avec des encoches

La figure III.20 représente le plan de masse réduit modifiée par création des encoches de dimensions (w_c , L_c).

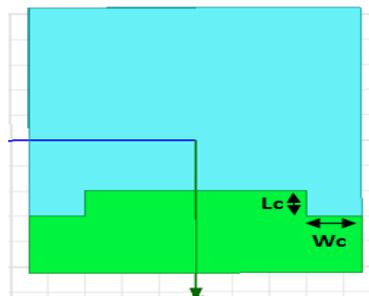


Figure III.20: Plan de masse avec des encoches.

La structure d'antenne obtenue est simulée en faisant varier les valeurs w_c et L_c à fin d'arriver à une un model optimal. La premier étape consiste à fixer L_c puis faisant varier la dimension w_c . La figure III.21 représente le coefficient de réflexion S_{11} correspondant.

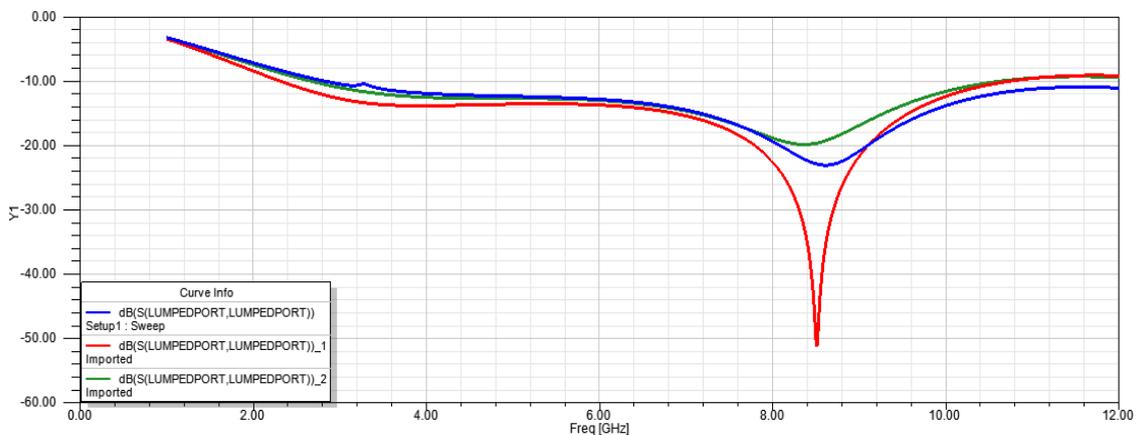


Figure III.21: Coefficient de réflexion pour différentes valeurs de w_c .

Ainsi on remarque que le coefficient S_{11} est minimiser pour $w_c = 3\text{mm}$.

Une fois w_c est fixée on chercher par la suite la valeur de L_C donnant une structure optimale de l'antenne étudiée par la création des ces encoches. Plusieurs simulations sont été faites et la meilleur et celle qui est pour $L_2 = 2\text{mm}$ (Figure III.22).

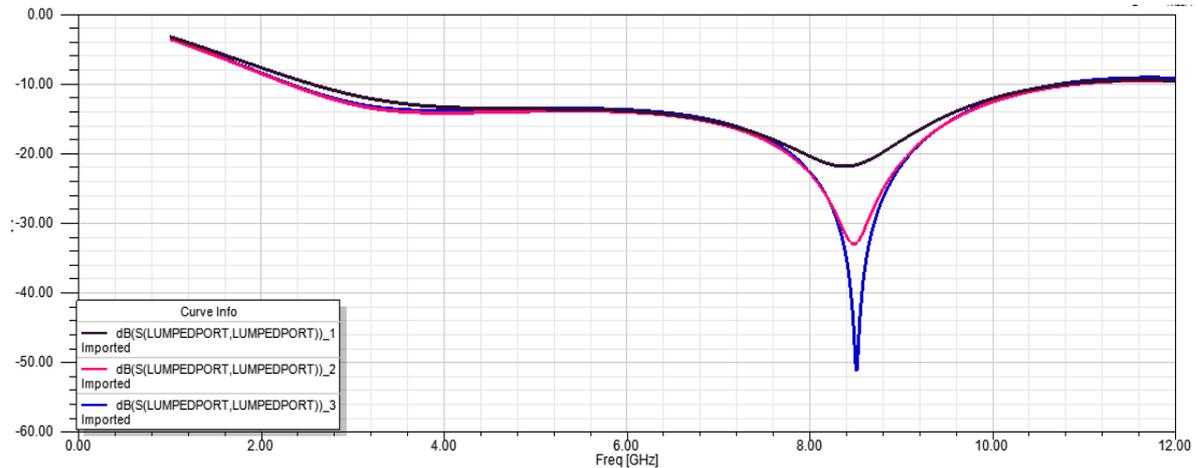


Figure III.22: Coefficient de réflexion pour différentes valeurs de w_c .

En fin, Le tableau III.7 regroupe les différents valeurs des paramètres géométriques de l'antenne optimisée après créations des encoches sur le plan de masse.

Tableau III 7: Paramètres géométriques de l'antenne avec des encoches sur le plan de masse.

Paramètres	Valeurs (mm)
L-substrat (L_s)	21
W-substrat (W_s)	18
h-substrat (h)	1.5
L-patch (L_p)	9
W-patch (W_p)	12
L-fente (L_f)	5
W-fente (W_f)	8
L-ligne (L_l)	8
W-ligne (W_l)	2
Lc	2
Wc	3

III.8.2. Résultats de simulation de l'antenne optimisée

III.8.2.1. Coefficient de réflexion S_{11} et bande passante

La figure III.23 montre l'évolution du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence pour l'antenne après avoir remplacer la ligne d'alimentation micror-uban par une ligne coplanaire et par la suite créer des encoches symétriques sur le plan de masse

réduit. Il bien visible que les performances de l'antenne sont améliorées en terme de bande passante et adaptation.

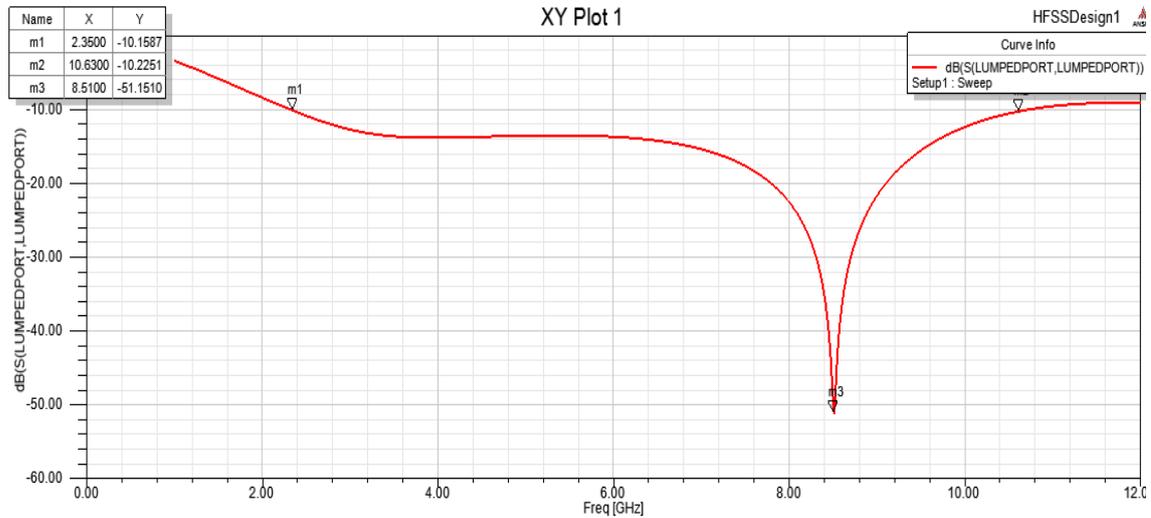


Figure III.23: Coefficient de réflexion pour l'antenne avec des encoches sur le plan de masse.

$$f_1 = 2.35 \text{ GHz} \qquad f_2 = 10.63 \text{ GHz}$$

$$B_p = f_2 - f_1 = 8.28 \text{ GHz}$$

$$B_R(\%) = \frac{B_p}{f_1 + f_2} \cdot 2 = 127.58\%$$

III.8.2.1. Rapport d'ondes stationnaires (VSWR) de l'antenne optimisée

La figure III.24 montre que l'antenne optimisée présente un rapport d'onde stationnaire (VSWR) inférieur à deux sur la bande de fréquence ULB ce qui montre une bonne adaptation de la structure simulée.

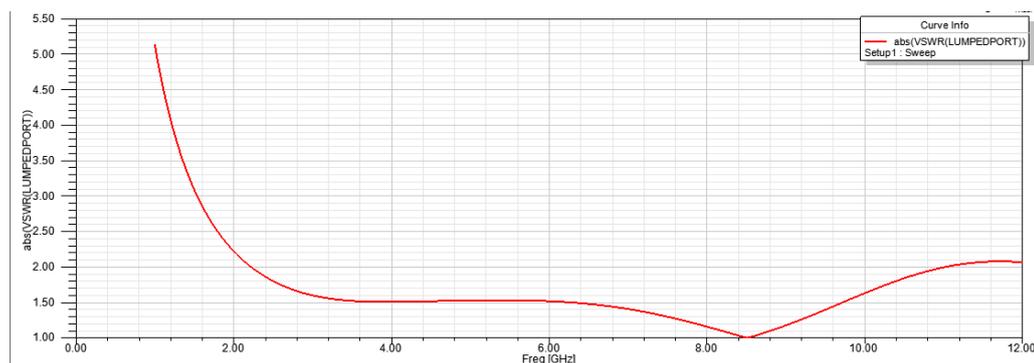


Figure III.24: VSWR de l'antenne avec des encoches sur le plan de masse.

III.8.2.2. Paramètres Z de l'antenne optimisée

La figure III.25 représentant la variation de l'impédance l'antenne montre que l'antenne est toujours adaptée à 50Ω.

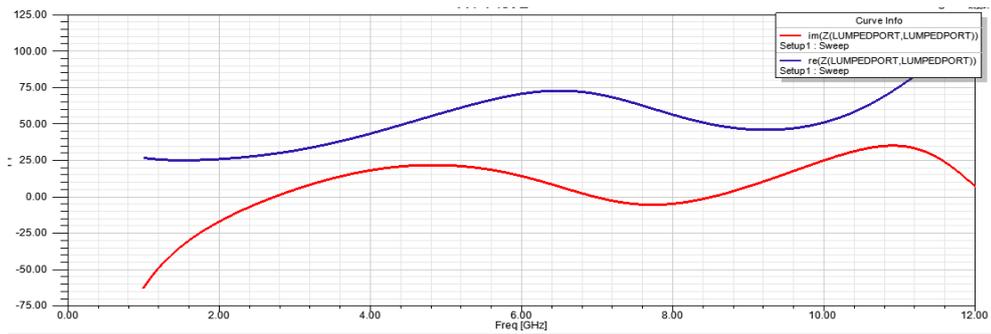


Figure III.1: Paramètres Z de l’antenne avec des encoches sur la pln de masse.

III.8.2.3. Diagrammes de rayonnements de l’antenne optimisée

III.8.2.3. Diagrammes de rayonnements

Le diagramme de rayonnement décrit la répartition spatiale de la puissance émise par l’antenne. La figure III.27 représente le champ E total dans le plans E et H correspondant à une antenne de structure ULB. Alors que la figure III.28 représente la directivité de cette dernière en 3D .

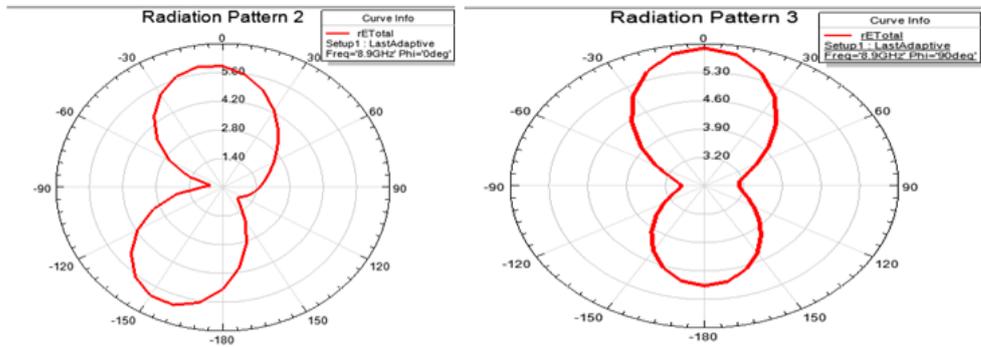


Figure III 2: Diagrammes de rayonnement de l’antenne avec des encoches sur le plan de masse

(directivité) en 2D plan E et plan H

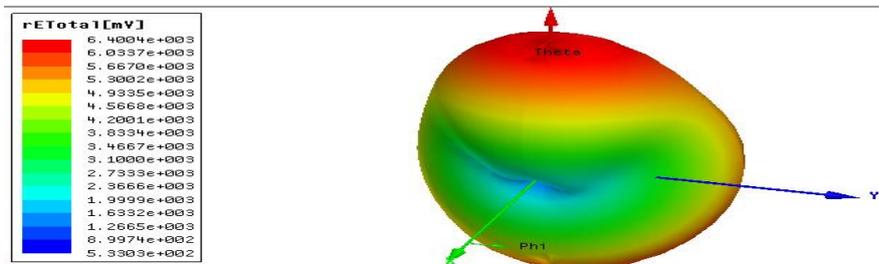


Figure III 3 :Diagrammes de rayonnement de directivité en 3D de l’antenne avec encoches

sur le plan de masse

III.9. Conclusion

Dans ce dernier chapitre, différentes études ont été menées sur la ligne d'alimentation et l'ouverture rayonnante ainsi que la variation de la largeur du plan de masse et la création des encoches en vue d'adapter nos structures à la bande de fréquence souhaitée et de mieux comprendre l'influence des différents paramètres géométriques sur les performances de ces d'antennes en calculant à chaque fois les caractéristiques électromagnétiques d'antennes en termes de coefficient de réflexion (S_{11}), et diagramme de rayonnement en utilisant le logiciel commercial de modélisation électromagnétique Ansoft HFSS.

Conclusion générale

les antennes planaires connaissent un grand intérêt chez les chercheurs à cause de leurs nombreuses utilisations. En effet, les domaines d'utilisation privilégiés des antennes à micro-ruban sont les communications en haute fréquences tels que les communications spatiales, les systèmes militaires, le positionnement par satellite GPS, la navigation aérienne ou terrestre, les réseaux informatiques sans fil WLAN, les nouveaux domaines tels que la médecine et le téléphone mobile. Cette large et importante utilisation de ces antennes est due essentiellement aux divers avantages qu'elles peuvent offrir par rapport aux antennes classiques tels que : faible poids, volume et épaisseur, coût de fabrication très faible, une production en série facile, possibilité de mise en réseau et l'intégration d'éléments discrets et la conformabilité facilitant l'implantation sur tout type de support. Actuellement, plusieurs structures d'antennes ont été étudiées pour satisfaire cette forte demande d'antennes et plusieurs techniques de miniaturisation et d'élargissement de bande passante ont été développées.

Les travaux exposés dans ce mémoire de master s'inscrivent dans le domaine de la conception d'antennes pour systèmes ultra large bande dans un spectre de fréquence allant de **[3.1 à 10,6 GHz]**, qui est destinée principalement à des applications en communications et en imagerie microondes.

Dans le premier chapitre, nous avons représenté la technologie ultra large bande qu'il permet en effet d'atteindre des débits de plusieurs centaines mégabits par seconde, . Ensuite, nous aborderons les différents types d'antennes ULB. Enfin, nous énumérons les avantages et les inconvénients de cette technique.

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation des paramètres fondamentaux de la technologie ULB et à la présentation des diverses applications et caractéristiques des antennes ULB. d'autre part, il existe plusieurs paramètres d'antenne couramment utilisés, y compris la bande de fréquences, le diagramme de rayonnement, la directivité, le gain, l'impédance d'entrée. Dans ce chapitre, nous décrivons également la géométrie des antennes compactes et les techniques de miniaturisation pour réduire la taille des antennes microruban UWB.

Le troisième chapitre, présente notre étude et conception et optimisation des antennes patch ultra-large bande avec un plan de masse réduit et alimentée par une ligne coplanaire.

Dans la continuité de ce mémoire, comme perspective à notre travail, on peut étendre l'étude à d'autres structures d'antennes ULB à bandes rejetées destinées à être utilisées dans d'autres domaines de communication sans fils.