



N° d'ordre :
N° de série :

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

UNIVERSITE D'EL-OUED
FACULTE DE TECHNOLOGIE
Département de Génie électrique

Mémoire pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Option : Télécommunications

***Analyse des performances d'antennes pour
les communications Ultra Large Bande***

Réalisé par : Hamad Amara & Mokeddem Mostafa

Devant le jury composé de :

Mr. KHALIL Abdelatif	MAA	Président
Mr. BOULILA Mohamed	MAA	Examineur
Melle. BOUKAOUS Chahra	MCB	Directrice du mémoire

2016 - 2017

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions ALLAH, le tout puissant sans sa volonté rien n'est possible, qui nous a donné de l'aide, du courage et de la patience pour réaliser ce travail. En premier lieu, nous exprimons nos sincères remerciements et notre profonde gratitude à notre directrice de mémoire **Dr. BOUKAOUS CHAHRA**, pour son initiative dans ce domaine de recherche, pour toute l'aide et la patience. Ses conseils, ses remarques, ses directives scientifiques et pédagogiques, ses encouragements et son soutien qui nous ont été très utiles pour l'accomplissement de ce travail. Nous avons pu bénéficier de ses compétences scientifiques. Nous a remercions pour toutes les connaissances qu'elle nous a apportées.

Nous exprimons aussi nos sincères remerciements au **Dr. GUEMOUH Samia** de l'université de Constantine, pour son aide, ses conseils et son soutien durant la réalisation de ce mémoire.

Nos remerciements les plus respectueux et notre profond respect s'adressent également à nos examinateurs : **Dr. BOULILA Mohamed** et **Dr. KHALIL Abdellatif**, qui nous 'ont fait l'honneur et le plaisir d'examiner notre mémoire soigneusement, en y apportant leurs différentes observations.

Nous remercions également toute l'équipe du Département de Génie Electrique de l'université d'ELOUED.

Enfin nous tenons à remercier nos parents et nos familles pour notre réussite aujourd'hui à cette nouvelle épreuve. Nous ne trouvons pas les mots pour exprimer notre gratitude, alors merci et que Dieu nous aident nous guident à les servir.

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

Résumé

Les communications et en particulier les communications sans fil sont aujourd'hui dans la pleine croissance. On assiste aujourd'hui à un engouement sans précédent du grand public pour les applications de communication multimédia (données, voix, vidéos) et des besoins de débits élevés et de la raréfaction des bandes de fréquence disponibles, il est devenu essentiel de trouver les nouvelles solutions qui répondent à ces exigences. La technologie ultra large bande ULB (UWB) semble une solution très prometteuse. Dans le cadre de notre thèse, nous avons proposé en premier lieu une nouvelle antenne ultra large bande pour des applications ULB.

Dans le cadre de notre étude, nous avons effectué une étude générales de la technologie Ultra Large Bande ainsi que celle des antennes imprimées afin de concevoir une antenne performante fonctionnant en UWB.

L'antenne proposée se compose d'un patch de U slot et deux autres en T slot le tous en superposé sur un substrat diélectrique .cette antenne est de forme rectangulaire et alimenté par une ligne d'impédance adaptée a 50Ω , avec des caractéristiques de rayonnement optimale, et un cout limités.les résultats simules et validés par une méthode numérique d'analyse a l'aide de logiciel de simulation électromagnétique HFSS de ANSOFT.

Mots clés: ULB (Ultra Large-Bande), antennes imprimées, méthode des éléments finies (FEM), optimisation, HFSS.

Abstract

The communications, in particular wireless communication, are today in full growth. Today we are witnessing an unprecedented infatuation of the public for multimedia applications (data, voice and video) and the demand is growing stronger for high speed transfer between communicating devices and mobile footprint. With the increase in the needs of high data-rate and rarefaction for the available frequency bands, it became essential to find new solutions which satisfy these requirements. The ultra-wideband (UWB) seems a solution very promising. In the framework of our thesis, we have proposed in the first place a new antenna ultra-wideband for applications UWB.

In our study, we conducted a detailed study of Ultra Wide Band technology as well as the printed antennas to design an efficient antenna operating in ultra wide-band.

The proposed antenna consists of a patch of U slot and two others in T slot and trell slot the all in superimposed on a dielectric substrate .This antenna is rectangular in shape and powered by a line of impedance adapted to 50Ω , with characteristics of optimal radiation, and a limited cost. The results simulated and validated by a numerical method of analysis with simulation's software, its HFSS of ANSOFT.

Keywords: UWB (Ultra Wide Band), Printed antennas, FEM (finite element method),HFSS, optimization.

الخلاصة :

أن عالم الاتصالات في تطور مستمر ومذهل خاصة مجال الاتصالات اللاسلكية، ونحن نشهد الإقبال الغير مسبوق من طرف الأشخاص مستعملي التكنولوجيا على تطبيقات الوسائط المتعددة من البيانات ، الصور، الصوت و الفيديو مما احدث ثقل وصغر حجم البيانات المنقولة ومن هذا الإشكال ازداد الطلب عن السرعات العالية والحجم الكبير لنقل البيانات وتعتبر تكنولوجيا النطاق الترددي الواسع إحدى الحلول الناجعة لهذا المشكل .

في هذا الإطار تناولنا في مذكرتنا هذه في المقام الأول دراسة عن تكنولوجيا النطاق الترددي الواسع والهوائيات

المطبوعة وقمنا بانجاز هوائي يتلاءم وتقنية النطاق الترددي الواسع جدا

يتكون الهوائي المقترح من داعمة عازلة بها فتحة على شكل U فوقها فراغ ثم آخري بها فتحة على شكل T ثم فراغ ثم شكل ثلاثية الورك هذا الهوائي مستطيل الشكل ومغذي من خط مقاومة قدره 50Ω ، مع خصائص الإشعاع الأمثل وبتكلفة محدودة. نتائج المحاكاة كانت بطريقة العناصر المحدودة عن طريق برنامج HFSS الكلمات المفتاحية :

النطاق الترددي الواسع جدا ، الهوائيات مطبوعة ، طريقة العناصر المحدودة ، برنامج HFSS ، تحسين

خصائص الهوائي

Tables des matières

Remerciements	ii
Résumé	iii
Abstract	iv
: الخلاصة	v
Tables des matières	vi
Introduction générale.....	1
I.1- Introduction	3
I.2- Historique	3
I.3. Définition	4
I.4- La réglementation de l'ULB	5
I.4-1-Réglementation aux USA (en février 2002).....	5
I.4--2-Réglementation hors des Etats Unis.	5
I.5. Comparaison Système ULB / Système A Bande Etroite	6
I.6. Caractéristiques de la technologie ULB	6
I.7. Techniques d'élargissement de la bande passante	8
I.7.1 Combinaison de plusieurs éléments rayonnants	8
I.7.2. La technique de fente	9
I.7.3. La technique fractale	9
I.8- Système ultra large bande (ULB).....	10
I.8-1-Systèmes ULB multi bande (MB-OFDM).....	11
I.8-2-Systèmes ULB impulsionnels (IR -ULB)	11
I.8-2-1-modulation	12
I.8-2-2-Les formes d'impulsions	12
I.9- Applications de l'ULB.....	13
I.9- 1-Détection	13
I.9- 2-Géolocalisation	14
I.9- 3- Systèmes de communication.....	14
I.10- Conclusion	14
II .1.Introduction	15
II .2.Les antennes ULB.....	15
II .3.Classification des antennes ULB	16
II.3.1. Les antennes indépendantes de la fréquence	16
II.3.2. Les antennes élémentaires.....	16

II.3.3. Les antennes à transition progressive	16
II.3.4. Les antennes cornets	17
II .4.Les antennes imprimées	17
II .4.1.Critères de choix d'une antenne	17
II .4.1.1. Représentation en quadripôles	17
II .4.1.2.Diagramme de rayonnement	18
II .4.1.3. Gain d'une antenne	20
II .4.1.4. Directivité d'une antenne	20
II .5.1. 5Angle d'ouverture d'une antenne	20
II .4.1.6. Rendement	21
II .4.1.7. Polarisation	21
II .4.1.8. Coefficient de réflexion S_{11} ou Γ	22
II .4.1.8.2.Impédance d'entrée :	23
II .4.1.9.Bande passante	23
II .5.antenne imprimée.....	23
II .5.1.Structure du patch	24
II .5.2.Elément rayonnant	24
II .5.3. Substrat	24
II .5.4.Techniques d'alimentation	25
II .5.4.1. Alimentation par une ligne micro-ruban	25
II .5.4.2. Alimentation par sonde coaxial	25
II .5.4.3. Alimentation par couplage électromagnétique	26
II .5.4.4. Alimentation par couplage à ouverture	27
II .6.Avantages et inconvénients des antennes patch	27
II .7. Modélisation de l'antenne patch	28
II .7.1.Méthode de cavité	29
II .7.2. Méthode de la ligne de transmission	29
II.8. conclusion.....	32
III-1 Introduction.....	33
III-2 Procédure de simulation	33
III-2.1. Dimensionnement	33
III-2.2. Choix de l'alimentation	34
III-2.3. Implantation dans le logiciel de simulation	34
III-3 Structure proposée.....	34
III-3.1. Structure intermédiaire	35
III-3.3. Structure supérieure.....	36

III-4 .Résultats de Simulations	37
III-4.1 Étude paramétrique	37
III-4.1.1. Influence du Matériau du substrat	38
III-4.1.2. Influence de la hauteur des substrats	43
III-4.1.2 Influence de la position du point d'alimentation.....	43
III-4.1.3 Influence de la couche d'air.....	44
III.4.2 Caractéristique de rayonnement de l'antenne optimisée	45
III.4.2.1 La fréquence 4.2 GHz :	45
III.4.2.2 La fréquence 7 GHz.....	46
III.4.2.3 La fréquence 8 GHz.....	46
III.5. Conclusion.....	47
Conclusion générale et perspectives	48
Références bibliographiques	50
Annexe 1	52
Annexe 2	63

Chapitre 1 : Technologie Ultra Large Bande

Figure I. 1: Limites d'émission pour les systèmes ULB en intérieur et en extérieur.	5
Figure I. 2: Projets de limites d'émission de signaux ULB en Europe et au Japon.	6
Figure I. 3: Ultra large bande et la bande étroite	6
Figure I. 4 : (a) Phénomène de multitrajets dans des liens sans fil. (b) Effets de multitrajets dans les signaux à bande étroite. (c) Effets de trajets multiples dans des impulsions ULB.	7
Figure I. 5 : (a) architecture typique d'émetteur/récepteur à bande étroite. (b) exemple d'une architecture d'émetteur/récepteur ULB.	8
Figure I. 6 : Fréquences pour l'ULB et d'autres systèmes existants sans fils.	11
Figure I. 7 : Spectre de fréquence de l'OFDM	11
Figure I. 8 : Applications du système ULB	13

Chapitre 2 : Généralités sur les antennes imprimées

Figure II. 1 : Quadripôle d'antenne	18
Figure II. 2 : (a) Diagramme de rayonnement en coordonnées polaires ; (b) diagramme de rayonnement en coordonnées polaires à -3dB	19
Figure II. 3 : Diagramme de rayonnement bidimensionnel en coordonnées cartésiennes	19
Figure II. 4 : Répartition relative de l'énergie, Diagramme de rayonnement (en vert)	19
Figure II. 5 : Antenne Yagi (à gauche) et son diagramme de rayonnement (à droite)	20
Figure II. 6 : Types de polarisation	21
Figure II. 7 : Bande passante et coefficient de réflexion.....	23
Figure II. 8 : Géométrie d'une antenne patch.....	24
Figure II. 9 : Géométrie de base de l'antenne patch.	24
Figure II. 10 : Alimentation par ligne micro ruban	25
Figure II. 11 : Alimentation par sonde coaxiale	26
Figure II. 12 : Alimentation par proximité	26
Figure II. 13 : Alimentation par couplage à ouverture	27
Figure II. 14 : Les fentes rayonnantes d'une antenne patch.....	28
Figure II. 15 : Schéma descriptif du modèle de la cavité résonante.	29
Figure II. 16 : (a) : Calcul des paramètres de l'élément rayonnant ; (b) : lignes de champ	29
Figure II. 17 : Extension de la longueur physique L.	30

Chapitre 3 : Conception et simulation

Figure III. 1 : Géométrie et dimension du patch inferieur (a) : Vue de dessus, (b) : 3D par HFSS.....	34
Figure III. 2: Géométrie et dimension du patch inferieur (a) : Vue de dessus, (b) : 3D par HFSS.....	35
Figure III. 3 : Géométrie et dimension du patch inferieur (a) : Vue de dessus, (b) : 3D par HFSS.....	36
Figure III. 4: Géométrie de l'antenne à trois patches empilés (a) : Vue de profil, (b) : Vue latérale par HFSS, (c) : structure globale par HFSS.....	37
Figure III. 5: Amplitude du coefficient de réflexion S11 (Substrat Roger RT 5880 $\epsilon_r = 2.2$).....	38
Figure III. 6: Variation du rapport d'onde stationnaire en fonction de la fréquence.....	39
Figure III. 7: Amplitude du coefficient de réflexion S11 (Substrat RT 6002 $\epsilon_r = 2.94$).....	39
Figure III. 8: Variation du rapport d'onde stationnaire en fonction de la fréquence.....	40
Figure III. 9: Amplitude du coefficient de réflexion S11 (Substrat RO 3003 $\epsilon_r = 3$).....	40
Figure III. 10: Variation du rapport d'onde stationnaire en fonction de la fréquence.....	41
Figure III. 11: Amplitude du coefficient de réflexion S11 (FR4_expo $\epsilon_r = 4.4$).....	41
Figure III. 12: Variation du rapport d'onde stationnaire en fonction de la fréquence.....	42
Figure III. 13: Variation du coefficient de réflexion S_{11} en fonction de h_1	43
Figure III. 14 : Variation du coefficient de réflexion S11 en fonction de la position du point d'alimentation.....	43
Figure III. 15: Effet de la hauteur HA.....	44
Figure III. 16: Effet de la hauteur HA1.....	44
Figure III. 17 : Diagramme de rayonnement en 2D dans le plan E et dans le plan H.....	45
Figure III. 18: Diagramme de rayonnement en 3D dans le plan E et dans le plan H.....	45
Figure III. 19 : Diagramme de rayonnement en 2D dans le plan E et dans le plan H.....	46
Figure III. 20: Diagramme de rayonnement en 3D dans le plan E et dans le plan H.....	46
Figure III. 21 : Diagramme de rayonnement en 2D dans le plan E et dans le plan H.....	47
Figure III. 22: Diagramme de rayonnement en 3D dans le plan E et dans le plan H.....	47

Annexe A

Fig. A. 1: L'interface HFSS.....	52
Fig.A. 2: L'arbre de gestion d'une structure sous HFSS.....	53
Fig.A. 3: le processus HFSS.....	53
Fig. A. 4 : la sélection des unités.....	54
Fig. A. 5: Fenêtre de gestion des différentes modèles à dessiner sur HFSS.....	55

Fig. A. 6: Utilisation des variables dans HFSS.....	55
Fig. A. 7 : Soustraction des objets.	56
Fig. A. 8: Sélection de type de solution.	56
Fig. A. 9: création des conditions aux limites (boundary).	58
Fig. A. 10: Définition d'un Variable non prédéfinie sur HFSS.	58
Fig. A. 11: création d'une excitation.	59
Fig. A. 12: Définition des modes d'excitation.	59
Fig. A. 13: représentation de la ligne d'excitation.	59
Fig. A. 14: normalisation des impédances.	60
Fig. A. 15: Définition de solution d'analyse (fréquentielle).	60
Fig. A. 16: Définition de la plage de fréquence et aussi le type d'analyse.	61
Fig. A. 17: le contrôle de validation.	61
Fig. A. 18: Résultats obtenues par HFSS.....	62

Chapitre 1 : Technologie Ultra Large Bande

Tableau I. 1: Comparaison de deux techniques de plusieurs éléments rayements et fractale.....	10
Tableau I. 2: Comparaison de deux technologies OFDM et radio Impulsionnelles	12

Chapitre 3 : Conception et simulation

Tableau III. 1: dimensions de la structure inférieure	35
Tableau III. 2: dimensions de la structure intermédiaire.....	35
Tableau III. 3: dimensions de la structure supérieure	36
Tableau III. 4: Variation des paramètres S ₁₁ et V _{swr} en fonction de la fréquence de résonance pour un substrat Rogers RT 5880	39
Tableau III. 5: Variation des paramètres S ₁₁ et V _{swr} en fonction de la fréquence de résonance pour un substrat Rogers RT 6002	40
Tableau III. 6: Variation des paramètres S ₁₁ et V _{swr} en fonction de la fréquence de résonance pour un substrat Rogers RO 3003.....	41
Tableau III. 7: Variation des paramètres S ₁₁ et V _{swr} en fonction de la fréquence de résonance pour un substrat FR4_expoy ($\epsilon_r= 4.4$).....	42

Annexe A

Tab. A. 1: Types d'excitations proposées par HFSS	57
---	----

Introduction générale

Le développement rapide de la technologie et le succès commercial des communications sans fils affectent considérablement notre vie quotidienne. Le passage vers le numérique, l'apparition du 3G et du 4G, le remplacement des connections filaires par le Wifi et le Bluetooth, tous ont permis aux consommateurs l'accès à une large gamme d'information. Pour répondre aux besoins croissants des utilisateurs, Les nouvelles technologies pour les systèmes de télécommunication devront démontrer des potentialités très attractives, ce qui nécessitera non seulement le développement de systèmes de communication performants avec un taux de transfert des données très rapides, mais aussi leur adaptation aux besoins spécifiques.

La technologie ULB (ultra large bande) est une des technologies émergentes qui a mobilisé une grande attention des scientifiques et de l'industrie dans le monde entier après la réservation de la bande 3.1-10.6GHz par la FCC (Commission Fédéral des communications) pour les applications radiocommunication. Cette technologie présente les propriétés très intéressantes de pouvoir fournir des taux de transfert très élevés, sur des distances relativement courtes et avec des niveaux de puissance très réduits. Par ailleurs, la puissance d'émission étant du même niveau que celui du bruit, la technique peut cohabiter avec des systèmes à bandes étroites. Grâce à ces avantages, Cette technologie de radiocommunication est perçue comme étant l'avenir des communications sans fil à très haut débit pour les applications grand public.

Suite à l'arrivée des systèmes sans fil à haut débit, dans les produits de consommations, les futures générations d'équipements vont faire appel à des antennes de plus en plus performantes. Celles-ci devront fonctionner sur plusieurs bandes de fréquences ou sur une large bande, tout en présentant un rendement optimal et des caractéristiques constantes, avec un cout limité. A cela s'ajoute bien entendu les problèmes d'intégration et donc le besoin de concevoir une structure compacte, d'encombrement minimal, et n'ayant pas de problèmes de compatibilité électromagnétique avec les circuits électroniques environnants.

Dans le domaine des antennes, les antennes imprimée appelée aussi antenne patch se sont distinguées comme activité innovatrice importante durant les vingt dernières années. Elles sont aujourd'hui implantées dans de nombreux dispositifs électroniques et constituent le type d'antenne privilégié aux fréquences micro-ondes dans les systèmes de communication modernes. Établies sur la technologie des circuits imprimés, elles sont très peu coûteuses à

produire, et offre la possibilité de s'intégrer facilement dans les systèmes utilisés pour l'émission et pour la réception.

Compte tenu du besoin des antennes ultra large bande dans les systèmes de radiocommunications mobiles, ce mémoire a été consacré à la conception et la simulation d'une antenne patch ultra large bande. La suite du présent mémoire traite trois principaux chapitres dont les contenus sont les suivants.

Le premier chapitre du mémoire est consacré à la présentation de la technologie ULB, en rappelant tout d'abord ses caractéristiques et quelques-unes des principales applications qui peuvent tirer avantage de ses performances.

Le second chapitre propose un état de l'art de quelques structures d'antennes ULB existantes, en particulier les antennes imprimées ainsi que leurs caractéristiques.

La conception d'une nouvelle structure d'antenne ULB sera abordée au troisième chapitre. L'optimisation des caractéristiques de rayonnement de l'antenne est obtenue en jouant sur les dimensions et les coordonnées du point d'alimentation afin d'aboutir à une antenne ultra large bande pour des applications multi-bandes en télécommunications.

Nous terminons par une conclusion générale qui résume l'essentiel de ce travail.

I.1- Introduction

L'ULB, technologie en plein développement et l'une des récentes techniques d'accès radio, intéresse de plus en plus la communauté scientifique suite à la demande croissante en débit pour de nombreuses applications sans fil. Les publications de plusieurs articles très complets démontrèrent le potentiel de l'ULB pour les télécommunications haut débit. Les principales caractéristiques de l'ULB, justifient l'engouement actuel du monde des télécommunications pour cette technologie, et attribuent à celle-ci le statut d'un candidat potentiel et prometteur afin de répondre à cette demande en débits de plus en plus élevés. Par ailleurs, la technologie ULB semble bien positionnée particulièrement pour les radiocommunications à courte portée (WLAN, WPAN). Elle offre une alternative, à la fois bas coût et de faible consommation, aux standards existants dans ces réseaux. Elle est devenue l'un des principaux axes de développement et de recherche dans le domaine des communications sans fil lorsqu'en février 2002 la FCC (La Fédéral Communications Commission), organe de régulation américain, a autorisé son utilisation.

Ce chapitre sera articulé de la façon suivante. Nous commençons par un bref historique, une définition de l'ULB et nous donnons un aperçu des applications envisagées. Ensuite, nous présentons l'état des lieux des aspects réglementation et normalisation. Les caractéristiques et les principes de la technologie ULB sont donnés dans la dernière partie.

I.2- Historique

Durant les trois dernières décennies, pour faire face à l'encombrement des bandes de fréquences utilisées pour la transmission d'informations, on a essentiellement cherché à réduire la largeur de bande nécessaire pour transmettre ces informations avec un taux d'erreurs 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. Si le terme "ultra large bande" est relativement récent, le concept lui-même est par contre bien plus ancien :

- ❖ La grande majorité des techniques de transmission actuelles utilisent des modulations avec porteuses (bluetooth, ...). 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.
- ❖ En 1952, des travaux furent menés par Pierce et Hopper, mettant en œuvre une transmission de signaux téléphoniques analogiques, au moyen d'impulsions aléatoires espacées dans

l'espace, cet article semble constituer le premier travail sur la radio par impulsion à accès multiple. [1]

- ❖ Dans les années soixante, Ross et Bennett étudient pour la première fois la propagation d'ondes électromagnétiques d'un point de vue temporel plutôt que d'un point de vue fréquentiel. Dans leur publication, apparaissent pour la première fois, des applications liées à cette nouvelle technique : les communications et les radars. [1]
- ❖ 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 sont effectués, pour la plupart, dans le cadre de programmes confidentiels américains (militaires). [1]
- ❖ 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. [1]
- ❖ En 1998, l'organe de régulation des systèmes de communication des Etats-Unis, la Fédération Communications Commission (FCC), propose une notification d'enquête pour inclure les systèmes ULB dans la réglementation « section 802.15 » qui gouverne les émissions radio libres [1].
- ❖ En 2002, la FCC régleme nte l'ultra large bande: Elle en donne une définition précise, et définit les niveaux de puissance maximale autorisés (- 41 dBm /MHz pour la bande haute) .La FCC a attribué finalement 7.5 GHz de spectre dans de la bande [3.1-10.6 GHz] à l'ULB, et elle a autorisé son utilisation commerciale pour les applications civiles. [2]

I.3. Définition

L'**ultra wideband (UWB)**, ou **Ultra Large Bande** en français (**ULB**) est une technique radioélectrique basée sur la génération d'impulsions à durée très courte qui donne lieu à des composantes spectrales sur une bande de fréquences très large, d'où son nom. L'UWB concerne des technologies de transmission de données sans-fil dont le débit peut atteindre plusieurs centaines de Mbit/s. UWB se présente à la fois comme une évolution de Bluetooth et comme une version sans fil d'USB. La FCC définit l'UWB comme "toute technique radioélectrique qui dispose d'une largeur de bande supérieure à 500 MHz ou supérieure à 25 % de sa fréquence centrale". Ainsi un signal est dit ultra large bande si :

- ❖ Sa bande passante est au minimum de 500 MHz (à -10 dB).
- ❖ Sa bande passante est supérieure à 0.2 :

$$BP = 2 \frac{f_h - f_l}{f_h + f_l} > 0.2 \quad (I-1)$$

Où f_h et f_l désignent respectivement les fréquences limites hautes et basses du spectre de signal, fréquences prises à -10dB. Les deux conditions ne sont pas forcément remplies en même temps.

I.4- La réglementation de l'ULB

I.4-1-Réglementation aux USA (en février 2002)

Les Etats-Unis ont été le premier pays à réglementer l'utilisation de l'ultra large bande : En février 2002, la FCC a limité les niveaux d'émission des signaux ULB (EIRP = 41,3 dBm/MHz) pour un spectre de fréquences allant de 3.1GHz à 10.6 GHz. La figure ci-contre (figure I.1) représente le spectre d'émission imposé par la FCC pour les systèmes opérant en intérieur et en extérieur. [2]

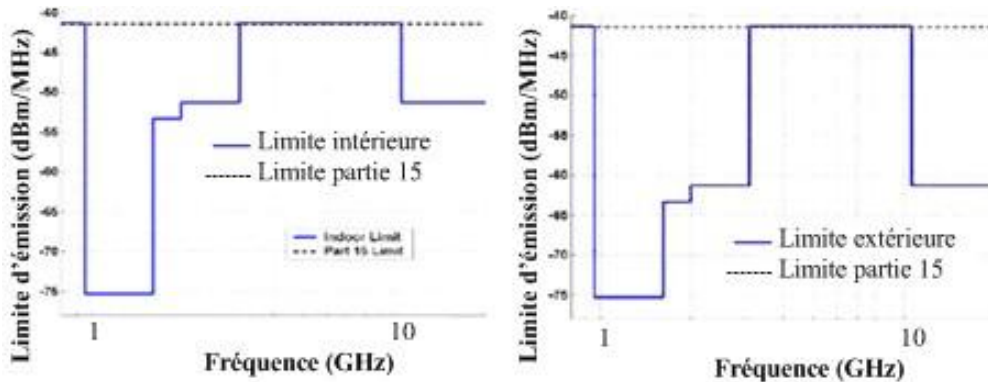


Figure I. 1: Limites d'émission pour les systèmes ULB en intérieur et en extérieur. [3]

I.4-2-Réglementation hors des Etats Unis.

L'Europe et le Japon ont commencé à établir les spécifications de leurs propres spectres d'émission pour les systèmes ULB. L'ETSI, le département européen des standards de télécommunications, a proposé des limites similaires à celle de la FCC ; ce projet est aujourd'hui encore en discussion avec les entreprises impliquées dans le développement de systèmes ULB car le spectre d'émission proposé est plus restrictif que celui défini par la FCC. En juillet 2007, l'ETSI a proposé un standard pour les niveaux d'émissions des signaux ULB (EIRP = -41,3 dBm/MHz) pour un spectre de fréquences allant de 6 GHz à 9 GHz .La figure I.2 montre l'état actuel, en Europe et au Japon, des spectres d'émission pour les systèmes ultra large bande en intérieur et en extérieur : [2]

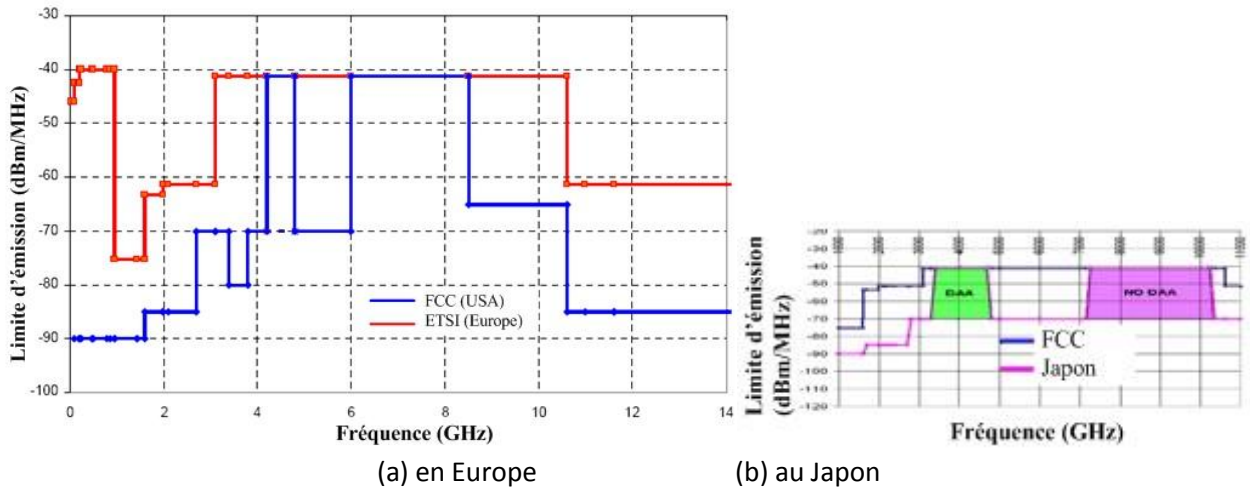


Figure I. 2: Projets de limites d'émission de signaux ULB en Europe et au Japon. [2]

I.5. Comparaison Système ULB / Système A Bande Etroite

Les caractéristiques de la technique ultra large bande (ULB) diffèrent largement la transmission dans le système de l'ULB est basé sur des impulsions de très courtes durées (1 ns) contrairement au système de transmission classique qui est basé sur des ondes sinusoïdales étalées dans le temps ayant de ce fait une densité spectrale de puissance beaucoup plus étroite que celle des signaux ULB.

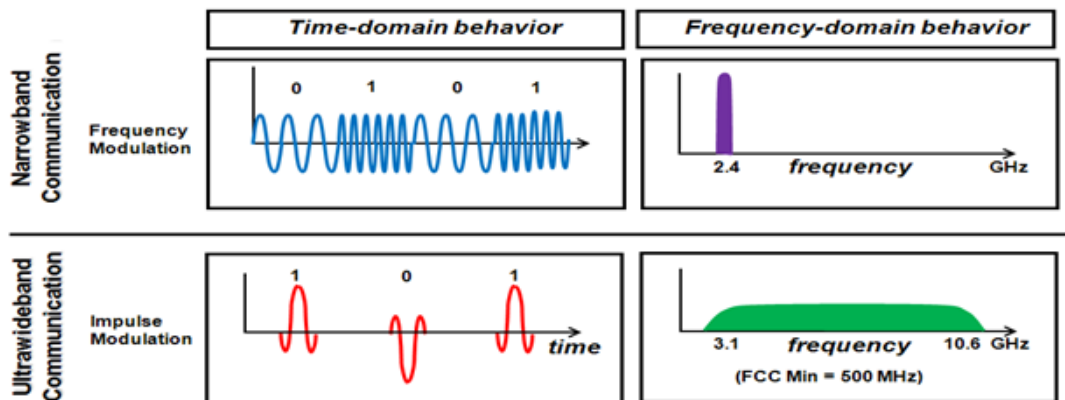


Figure I. 3: Ultra large bande et la bande étroite [2]

I.6. Caractéristiques de la technologie ULB

Les principales caractéristiques de l'ULB :

- Faible dégradations par trajets multiples : la dégradations dû à la propagation par trajets multiples peut réduire l'efficacité des systèmes de communication classiques. Le signal transmis possède une grande largeur de bande, les réflexions multiples avec des

retards inférieurs à la nanoseconde peuvent être résolues et additionnées de manière constructive pour donner un gain comparable à celui d'une propagation par trajet unique direct. [3]

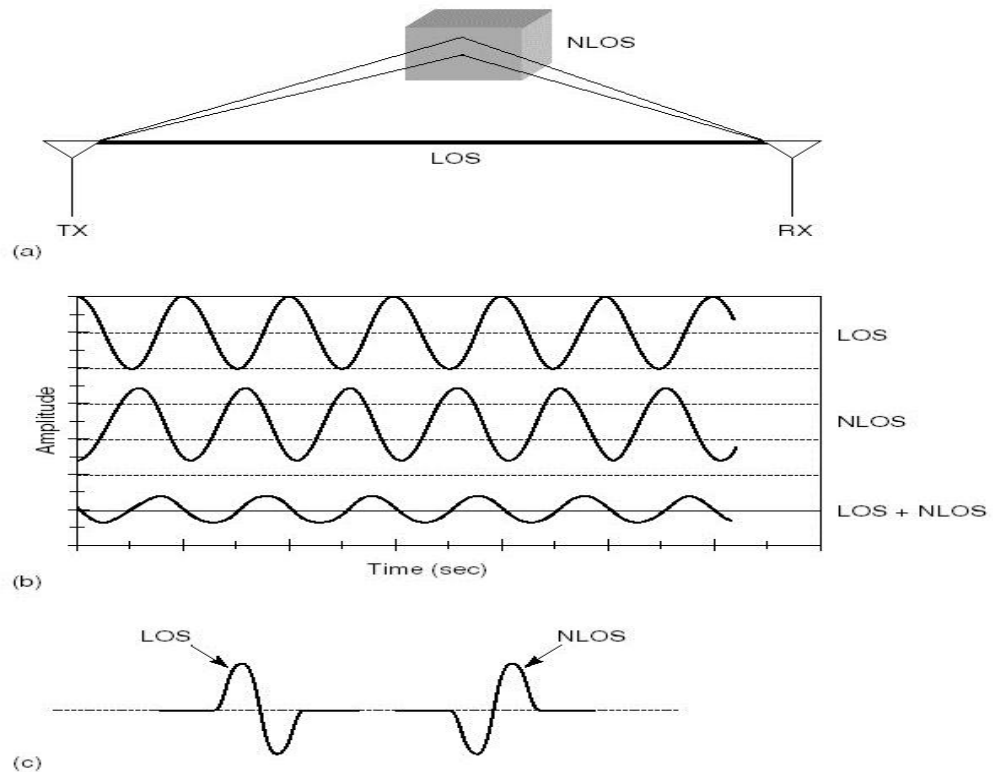


Figure I. 4 : (a) *Phénomène de multitrajets dans des liens sans fil.* (b) *Effets de multitrajets dans les signaux à bande étroite.* (c) *Effets de trajets multiples dans des impulsions ULB.* [3]

- une grande résistance au brouillage : c'est une caractéristique importante des systèmes ULB est leur gain de traitement élevé. [6]
- Transmissions protégées : les signaux ULB sont plus secrets et potentiellement plus difficiles à détecter que grâce à la grande largeur de bande avec une forme proche à celle de bruits, peuvent être transmis à un niveau de densité spectrale de puissance bien inférieur au bruit de fond des récepteurs de radiocommunication classiques, et peuvent être transmis avec un code de synchronisation unique à des millions de bits par seconde. [6]
- Un système simple et moins coûteux : dans la phase de modulation, le système de ULB module des impulsions courtes au lieu qu'un signal sinusoidal dans les systèmes de transmission classique. Dans l'émetteur-récepteur ULB, On ne trouve pas le synthétiseur, ni oscillateur, ni mélangeur, ni amplificateur de puissance. [3]

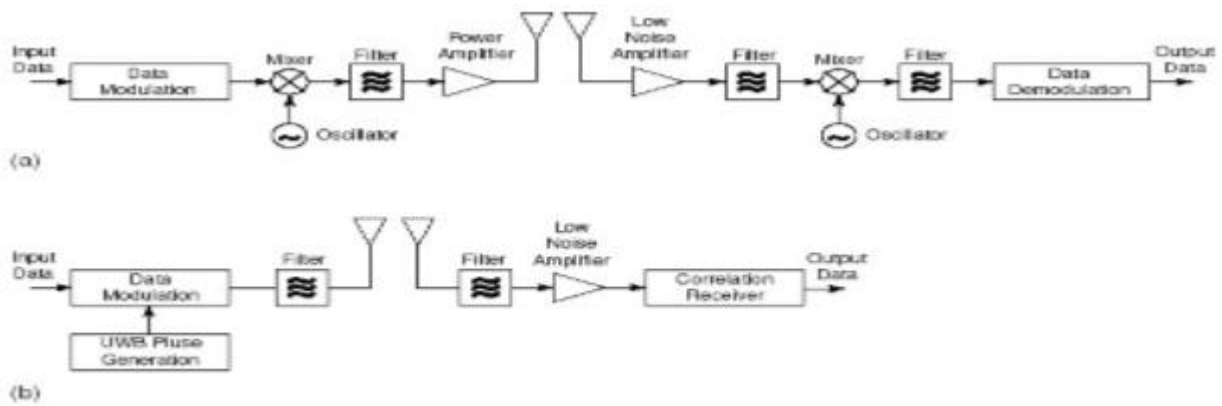


Figure 1. 5 : (a) architecture typique d'émetteur/récepteur à bande étroite. (b) exemple d'une architecture d'émetteur/récepteur ULB. [5]

- une grande puissance de pénétration : Les signaux ULB ont une grande puissance de pénétration dans les murs et les obstacles et ils permettent la localisation de grande précision (par ex. l'imagerie médicale.). [2]
- Un haut débit de transmission : c'est grâce à la grande largeur de bande pour les impulsions ULB. Celle-ci est définie comme étant la quantité de données maximales qui peuvent être transmises par seconde à travers un canal de transmission. La grande capacité du canal des systèmes de communication ULB est obtenue par la formule de capacité de Hartley-Shannon [6]

$$C = B \log_2(1 + SNR) \quad (I-2)$$

Où C représente le débit de transmission, B est la largeur de bande, et SNR est le rapport signal à bruit.

- Capacité de fonctionner avec de faibles SNR : l'équation de Hartley-Shannon permis de conclure que la transmission dans l'ULB résiste aux bruits et aux différents obstacles, en raison de leur grande largeur de bande (BW). [3]

I.7. Techniques d'élargissement de la bande passante

Il existe plusieurs techniques pour élargir la bande passante et stabiliser le diagramme de rayonnement, Dans la suite, nous allons décrire les techniques les plus employées pour l'obtention d'antennes ULB ainsi que les avantages et inconvénients sur les performances radioélectriques qu'elles peuvent apporter. [3]

I.7.1 Combinaison de plusieurs éléments rayonnants

La combinaison de deux ou plusieurs éléments rayonnants (résonateurs) mono-bande de même type ou différents les uns des autres est une technique classique pour obtenir des antennes ULB, l'alimentation des éléments constituant ces antennes ULB peuvent être assuré par deux manières

différente : l'alimentation directe par port d'excitation et l'alimentation par couplage électromagnétique.

Les différents éléments créent leurs propres fréquences de résonance fondamentale et supérieures, le choix des longueurs résonnantes des éléments rayonnants de ces antennes du même ordre de grandeur permet l'obtention d'une large bande passante.

Dans le cas des antennes imprimées l'association de plusieurs éléments rayonnants est assuré, soit par la juxtaposition de ces éléments dans le même plan ou par empilement les uns sur les autres. [3]

I.7.2. La technique de fente

Actuellement, la multiplication et la diversité des standards de communications radio-mobiles tels que : GSM, DCS, UMTS, WLAN, Bluetooth, TV Numérique,.....etc. ont créé un besoin pressant pour des antennes compactes multifréquences et/ou large bande permettant notamment d'assurer la compatibilité des différentes normes ou accéder à de nombreux services à partir du même appareil ce qui incité les chercheurs à trouver des modèles d'antennes de plus en plus complexes faisant généralement appel à des structures court-circuitées ou avec des fentes rayonnantes qui permettent d'abaisser les modes supérieurs. Nous définissons une "fente" comme une ouverture découpée dans une surface conductrice métallique obligeant les courants de surface à allonger leur trajet pour la contourner. L'insertion de fente dans l'élément rayonnant constitue une solution intéressante pour la réduction de taille des antennes.

Lorsque les courants circuleront sur l'élément rayonnant, l'insertion d'une fente pourra créer de nouvelles résonances. Le choix de la forme et de la longueur de ces fentes détermineront les fréquences de fonctionnement de l'antenne et les impédances d'entrée. [3]

I.7.3. La technique fractale

Il est bien connu que le périmètre d'une antenne est un facteur décisif dans la détermination de la fréquence de résonance, parmi les solutions pour augmenter le périmètre d'une surface est l'utilisation des fractales, donc une antenne avec une forme fractale permet d'aboutir à un fonctionnement large bande. Parmi les formes fractales les plus utilisées, il y a celles de Von Kock, de Hilbert et de Sierpinski. [7]

Le tableau suivant récapitule les avantages et les inconvénients des techniques cités dans le paragraphe précédent.

Techniques	Avantages	Inconvénients
Combinaison de plusieurs éléments rayonnants	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Facilité du premier dimensionnement des éléments constitutifs. ➤ Rayonnement relativement identique sur toute la large bande couverte ➤ Bonne efficacité 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Structures généralement encombrantes ➤ Couplage entre éléments pas toujours maîtrisé ➤ Bon positionnement des différents éléments rayonnants délicat ➤ Diagrammes de rayonnement généralement perturbés par les autres éléments rayonnants. ➤ Nombre de ports d'excitation dans le cas d'excitations séparées.
Technique fractale	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Surface occupée très réduite : la compacité résulte du caractère irrégulier des formes fractales. ➤ Résonances multiples : le caractère multibande vient du caractère d'autosimilarité. ➤ Gain très important dans certains cas. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Gain faible dans d'autres cas. ➤ Réalisation très difficile liée à la complexité des formes. ➤ Plus faible bande passante que les antennes spirales. ➤ Difficulté de contrôler la polarisation.

Tableau I. 1: Comparaison de deux techniques de plusieurs éléments rayonnants et fractale

I.8- Système ultra large bande (ULB)

Le système ultra large bande (ULB) possède de nombreux avantages tel que : la saturation du spectre de fréquence, moins coûteux, la simplicité de système haut débits grâce à ces avantages, ULB est très utilisé pour de nombreuses applications. L'ultra large bande, en comparaison à des systèmes classique ou à bande étroite, emploie une grande largeur de bande pour transmettre l'information. La puissance utilisée sur la bande entière est beaucoup plus petite que la puissance employée par les systèmes à bande étroite, très faible interférence lors de la transmission due aux mêmes niveaux de transmission de signale par rapport a celui de bruit des systèmes en utilisant le même spectre, et permettant ainsi de partager le spectre et l'espace avec d'autres technologies établies.

En 2002 la FCC autorise la bande de fréquence entre 3,1 et 10,6 GHz pour la transmission ultra large bande non licenciée. La puissance rayonnée isotrope efficace (EIRP) devrait être inférieure à -41,3 dBm à l'intérieur de la bande de fréquence.

L'utilisation de plusieurs sous bandes et l'envoi des impulsions très courtes ayant la largeur de bande désirée permettaient la découverte de la bande ultra large. [6]

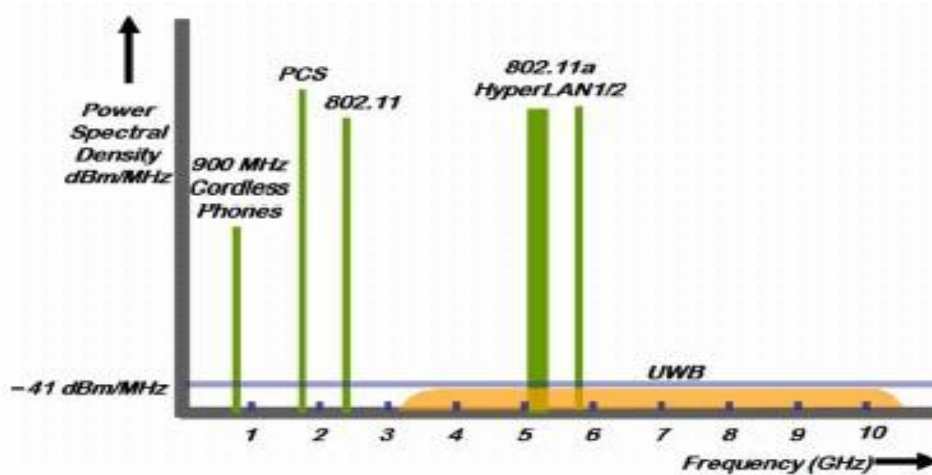


Figure I. 6 : Fréquences pour l'ULB et d'autres systèmes existants sans fils.1 [6]

I.8-1-Systèmes ULB multi bande (MB-OFDM)

L'OFDM (Orthogonal Fréquence Division Multiplexions) multi band (MB-OFDM) consiste à diviser le spectre en cinq groupes avec trois bandes chacun, et le 5^{ème} avec juste deux bandes conformément à l'utilisation dans les régulateurs de normalisation internationale.

Pour transmettre l'information, OFDM distribue les données sur un grand nombre de porteurs qui sont espacés par des fréquences précises. Cette méthode avait été largement étudiée et elle a été mise en œuvre par plusieurs compagnies. [6]

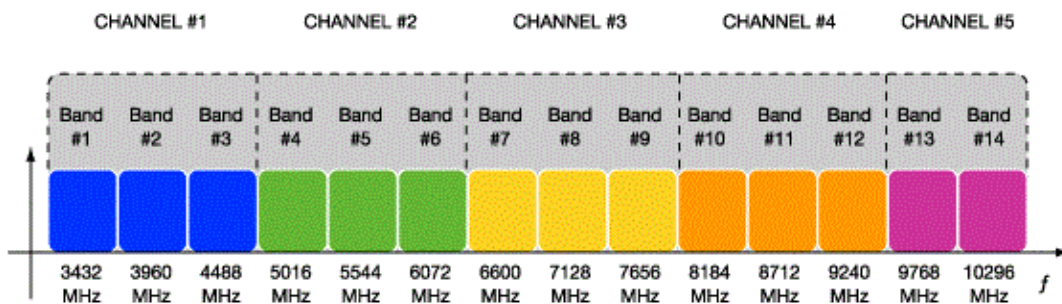


Figure I. 7 : Spectre de fréquence de l'OFDM [9]

I.8-2-Systèmes ULB impulsionnels (IR -ULB)

Ce type d'ULB nommé par Impulse Radio ULB (IR-ULB) consiste à envoyer des impulsions ou un groupe d'impulsions très courtes en temps représentant un bit du signal codé. Afin de couvrir les spécifications exigées par la FCC, les impulsions devraient être au moins 2 ns de large (BW = 500 MHz) et de faibles amplitudes (puissance transmise faible). [1]

Cette exigence rendre les entreprises spécialisées dans ce domaine moins intéressantes sur cette technologie, mais elle est très intéressante pour les chercheurs universitaires ou pour les développeurs de domaines.

1.8-2-1-modulation

Dans un signal ULB, l'information peut être codée dans diverses méthodes. Les systèmes de modulation les plus utilisées sont :

- la modulation par amplitude de l'impulsion (PAM),
- la modulation par position de l'impulsion (PPM),
- la modulation par déplacement de phase à deux états.

1.8-2-2-Les formes d'impulsions

La technologie de radar à une grande expérience dans les impulsions ULB générant des impulsions de puissance élevée de l'ordre de kV.

Technologie	Avantages	inconvénients
OFDM	Bonne efficacité spectrale Robustesse aux trajets multiples (faibles IES) Débits élevés Meilleures performances en conditions réelles Possibilité de supprimer des sous bandes Modification en temps réel	Interférences entre porteuses Dégradation des performances Collisions possibles de porteuses disponibles Émetteurs/récepteurs complexes Consommation supérieure
Radio Impulsionnelles	Bonne efficacité spectrale Robustesse aux trajets multiples car impulsions très brèves Bonne tolérance aux interférences bande étroite Meilleur rapport performances/complexité Technologie déjà éprouvée Émetteurs simples peu coûteux Faible consommation	Portée/débit Performances affectées Complexité des récepteurs

Tableau I. 2: Comparaison de deux technologies OFDM et radio Impulsionnelles [1]

La recherche est basée sur une impulsion optimale à transmettre sans déformation, par la suite, c'est de garder les mêmes caractéristiques mais en utilisant une faible puissance qui peut produire de telles impulsions.

Les formes d'impulsion les plus utilisées sont les signaux gaussiens, et ceux à base d'une porteuse.

Pour conclure, ces deux technologies, bien que très différents et concurrentielles, sont tout de même deux approches toutes aussi modernes et performantes des nouvelles connections sans fil à haut débit, le tableau suivant récapitule les avantages et les inconvénients de ces deux technologies, du point de vue performances, adaptabilité et faisabilité. [1]

I.9- Applications de l'ULB

La technologie ULB est présentée comme une solution très intéressante et innovatrice pour un grand nombre d'applications qui sont généralement classées en trois catégories : la détection, la géolocalisation et les communications sans fil. Cette dernière demande un très haut débit à courte portée, alors que les deux premiers ne nécessitent pas un gros débit d'information. Les possibilités de l'utilisation commerciales sont présentées sur la Figure I- 8.

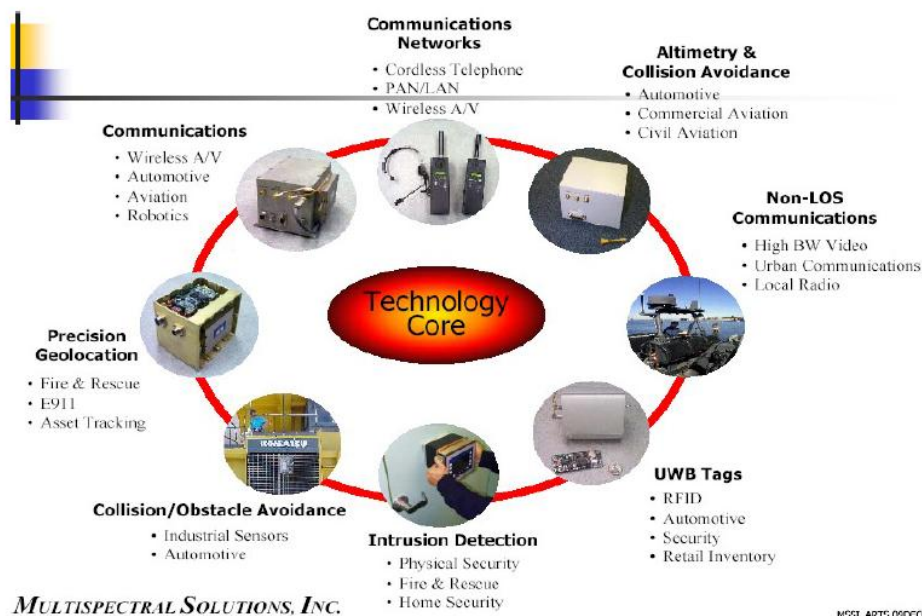


Figure I. 8 : Applications du système ULB [10]

I.9- 1-Détection

Cette catégorie comprend la pénétration du sol (GPR), d'imagerie de l'intérieur des murs, d'imagerie médicale, d'imagerie pour l'exploitation minière et d'imagerie de surveillance. Et qu'elle fiable pour la mesure exacte de distance. Pour ces applications, la

transmission se fait par des impulsions très rapides et très courte durée, car la résolution des systèmes est proportionnelle à la largeur de bande de l'impulsion. [3]

I.9- 2-Géolocalisation

Il est essentiel dans plusieurs applications militaires et commerciales de connaître l'emplacement d'objet de petites dimensions et parfois sur de très grandes distances. D'un point de vue commercial, ULB est applicable dans identification radio fréquence, sécurité et automobile, a titre d'exemple amélioration d'activation des Air bag grâce à l'utilisation des radars d'avertissement de collision qu'ils sont intégrés au système de navigation du véhicule. [3]

I.9- 3- Systèmes de communication

L'ULB est utilisée dans de nombreuses application dans le domaine des communications sans fil tels que : la connexions entre les différents composants de système multimédia, dans les systèmes embarqués en automobiles, en aviation et robotique. Ce système est aussi utilisé pour la conception des réseaux sans fil publique ou privé dans les immeubles à bureaux, les salles de réunion et de conférence et les endroits publics (par exemple les aéroports ou les centres commerciaux). [11]

Ses hautes capacités de débit en font également une excellente concurrente pour les réseaux personnels sans fil (WPAN), locaux (WLAN), ainsi que pour les équipements de téléphonie sans fil et le home cinéma.

I.10- Conclusion

Grâce à sa simplicité, l'efficacité, le faible coût et la rapidité de mise en service, la technologie ULB gagne de plus en plus le terrain d'utilisation dans divers domaines.

Les restrictions rigoureuses sur la puissance transmise (inférieurs à 0.5mW maximum) ont sensiblement limité le domaine d'applications des ULB aux applications à débit élevé et de courte portée ou à faible débit et de longue portée.

L'ULB consiste un véritable système pour développer les réseaux WPAN (les communications courte portée et de débit élevé; les applications multimédia et le remplacement de câbles). Pour cela les recherches sont toujours en cours pour développer et exploiter totalement les avantages du système ULB.

II .1.Introduction

Dès l'origine, l'antenne a été adoptée comme élément de base pour transmettre les ondes électromagnétiques par rayonnement. Elle joue deux rôles réciproques: la transmission et la réception. Le choix de l'antenne se fait en fonction des contraintes de l'application telles que la bande de fréquence, gain, coût, couverture, poids, etc.. Ainsi, l'antenne doit présenter un rendement optimal et des caractéristiques constantes sur une très large bande de fréquences. A cela s'ajoute bien entendu les problèmes d'intégration et donc le besoin de concevoir une structure d'encombrement minimal, sans toutefois détériorer ses performances. Parce qu'elles répondent de façon fiable aux exigences des systèmes, les antennes imprimées sont abondamment sollicitées à l'heure actuelle.

Afin d'atteindre l'objectif, qui est la conception des antennes ultra large bande, il est d'abord très important de prendre connaissance des différents types d'antennes ULB et de leurs caractéristiques principales, ainsi que des configurations qui sont capables d'offrir les caractéristiques désirées.

Dans ce chapitre, nous nous intéresserons en premier lieu aux antennes ULB planaires et à leurs différentes configurations. Ensuite, nous ferons une étude générale sur les antennes et leurs caractéristiques tout en insistant sur un type d'antenne particulier, en l'occurrence l'antenne patch imprimées, en présentant le principe de fonctionnement leurs avantages, inconvénients ainsi que les différentes techniques d'alimentation.

II .2.Les antennes ULB

La caractéristique première qui sert à distinguer une antenne ULB des antennes usuelles est, tout naturellement, la largeur de la bande passante. D'après l'approche de la FCC, la largeur de la bande passante représente une bande relative instantanée au-dessus de 0,2. Les antennes ULB peuvent être classées en trois catégories selon les applications :

- DC to daylight : cette classe regroupe les antennes conçues pour avoir une bande passante maximale.
- Multi narrowband : cette classe regroupe les antennes conçues pour recevoir ou détecter les signaux qui traversent une grande plage de fréquence à bande étroite. Ces antennes utilisent exclusivement des sous bandes étroites à un moment donné.
- Antennes ULB modernes :cette classe des antennes conçues pour la bande de fréquence 3.1- 10.6 GHz avec autorisation de la FCC. La différenciation entre ces derniers et autres antennes ULB de classe traditionnelle réside dans deux points essentiels :

- La première, ces antennes privilégient le respect d'un certain masque spectral imposé par la FCC : $EIPR = -41,3$ [12].
- La deuxième, ces antennes consomment la quasi-totalité de la bande passante à un instant donné, donc ils doivent être ultraperformante dans sa bande passante d'utilisation. Cette performance est évaluée à travers la stabilité de l'impédance et du diagramme de rayonnement à travers toute la bande. [7]

II.3. Classification des antennes ULB

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

II.3.1. Les antennes indépendantes de la fréquence

Théoriquement, les antennes indépendantes de la fréquence sont composées d'éléments susceptibles de se déduire les uns des autres par homothétie. Elles ont la particularité de présenter un diagramme de rayonnement, une impédance d'entrée ainsi qu'une polarisation virtuellement inchangée sur une bande de fréquences quasiment infinie. Leur géométrie permet d'avoir une bande passante de l'ordre d'une décade. Pour cette classe d'antennes, il existe plusieurs groupes mais les plus connus sont : les antennes équi-angulaires (antenne spirale logarithmique, antenne spirale conique) et les antennes log- périodiques. [13]

II.3.2. Les antennes élémentaires

En général, cette catégorie d'antennes ULB est considérées comme une évolution des monopôles ou de dipôle simples. En effet une caractéristique exploitée de ces antennes est que leur bande passante augmente avec le diamètre, et donc la surface, de leur cylindre rayonnant. Ce qui résulte la présence des antennes de forme différentes, on peut mentionner; l'antenne biconique, l'antenne triangulaire, l'antenne elliptique, ainsi que les monopôles plans sur plan de masse. Ces antennes sont relativement compactes car elles conservent les caractéristiques de rayonnement omnidirectionnel ainsi que les règles de dimensionnement [1] .

II.3.3. Les antennes à transition progressive

Les antennes à transition progressives s'appuient sur l'idée selon laquelle, une antenne peut être considérée comme étant une région de transition entre un guide d'onde ou tout autre système d'alimentation et l'espace libre.

Ainsi cette catégorie est inspirée des lignes de transmission dont l'impédance caractéristique est constante sur une très large bande de fréquences. L'augmentation d'impédance

caractéristique de cette structure jusqu'à celle du vide est assuré par adaptation de la ligne au un circuit d'alimentation d'antenne, suivie d'une région de transition. Les antennes teartrod, cornet coaxial omnidirectionnel et TSA (tapered slot antenna). [1]

II.3.4. Les antennes cornets

Avec des propriétés intrinsèques larges bande, les antennes cornets serrent de transition, d'élargissement du guide d'onde, afin de rayonner efficacement le signal dans l'espace libre [1].

Cette catégorie des antennes peuvent rayonner fidèlement l'impulsion transmise sans élargissement par des oscillations parasites grâce à leur caractère très peu dispersif, c'est pour cette raison, elles sont utilisés dans la transmission de brèves impulsions

Ces antennes sont classées en deux grandes familles :

- Les cornets à parois lisses tel que : cornet sectoral dans le plan E, cornet sectoral dans le plan H, cornet pyramidal et cornet conique.
- Les cornés rainurés tel que : corrugated horn et ridged horn.

Cependant, elles sont encombrantes avec un poids qui nuit leur intégration dans les systèmes de communications. Par conséquent, leur coût de production est élevé.

II .4.Les antennes imprimées

Les antennes sont des dispositifs qui ont pour fonctions de transformer les ondes guidées, en ondes se propageant dans l'espace libre, et de capter les ondes de l'espace pour les conduire vers les circuits. Ce sont des adaptateurs d'impédances entre l'espace et les circuits. [1]

II .4.1.Critères de choix d'une antenne

Pour choisir un modèle d'antenne pour une application donnée, il faut veiller aux principaux paramètres, à savoir : la fréquence de travail, la directivité, le gain, l'impédance et la puissance rayonnée. Une antenne peut être caractérisée par :

II .4.1.1. Représentation en quadripôles

Une antenne peut être représentée comme un quadripôle (Figure II.1), défini par les paramètres S : [14]

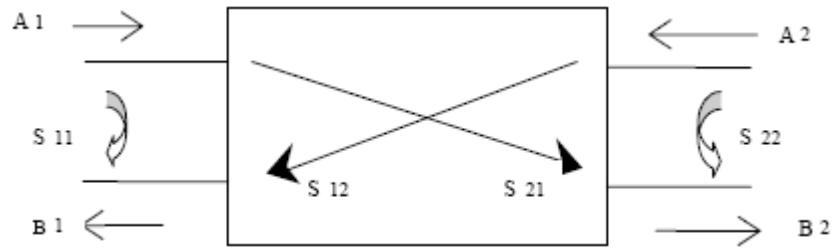


Figure II. 1 : Quadripôle d'antenne [14]

A1, A2, B1 et B2, sont des ondes de puissance

On a les relations suivantes :

$$B1 = S11 \cdot A1 + S12 \cdot A2 \quad [14]$$

$$B2 = S21 \cdot A1 + S22 \cdot A2 \quad [14]$$

Le coefficient S11 correspond à la réflexion en entrée des quadripôles lorsque A2= 0. [14]

Le coefficient S12 représente la transmission de la puissance entrant en sortie vers l'entrée lorsque A1= 0. [14]

Le coefficient S21 est le gain du quadripôle lorsque A2= 0. [14]

Le coefficient S22 est la réflexion en sortie du quadripôle lorsque A1= 0. [14]

II .4.1.2. Diagramme de rayonnement

II .4.1.2.1. Définition

La répartition dans l'espace de l'énergie rayonnée ou reçue est caractérisée par le diagramme de rayonnement de l'antenne. Le diagramme de rayonnement peut être exprimé soit :

- Par la représentation de la répartition de la puissance par unité d'angle solide dans la

$$\text{direction d'angle solide : } r(\theta, \varphi) = \frac{P(\theta, \varphi)}{P_{max}} \quad (II - 1)$$

Où : P_{max} est la densité de puissance maximale

- En fonction du champ rayonné $E(\theta, \varphi) \left(\frac{V}{m} \right)$

$$P(\theta, \varphi) = \frac{1}{2} \cdot \frac{|\vec{E}|^2}{120} \left(\frac{W}{m^2} \right) \quad (II - 2)$$

II .4.1.2.2 Représentation graphique

La connaissance de ces diagrammes est de grande importance. Il est plus facile de faire des coupes, l'une par un plan vertical et l'autre par un plan horizontal. Il y a plusieurs représentations graphiques possibles. Le diagramme de rayonnement peut être représenté en :

- En coordonnées polaires :

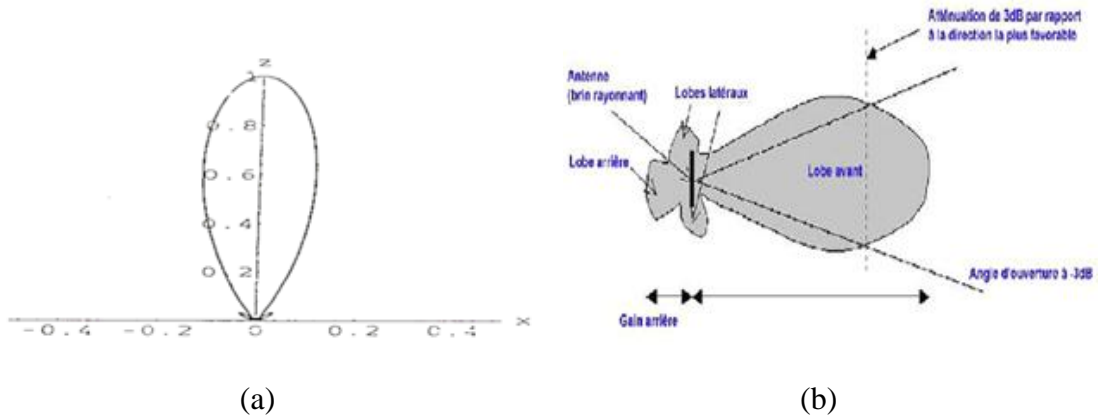


Figure II. 2 : (a) Diagramme de rayonnement en coordonnées polaires ; (b) diagramme de rayonnement en coordonnées polaires à -3dB . [16]

- En coordonnées cartésiennes :

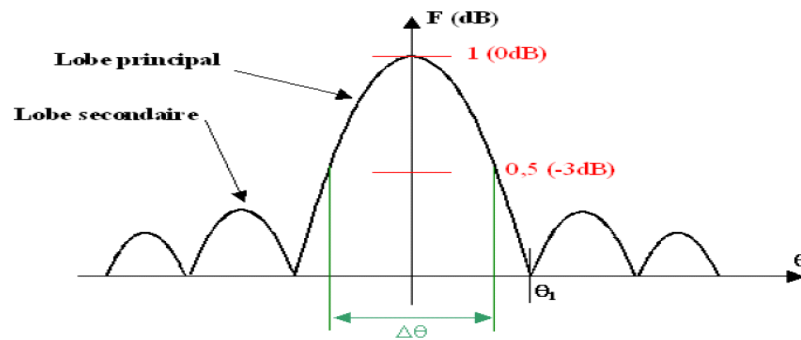


Figure II. 3 : Diagramme de rayonnement bidimensionnel en coordonnées cartésiennes [16]

II .4.1.2.3. Exemples de diagrammes de rayonnement :

Exemple 1 :

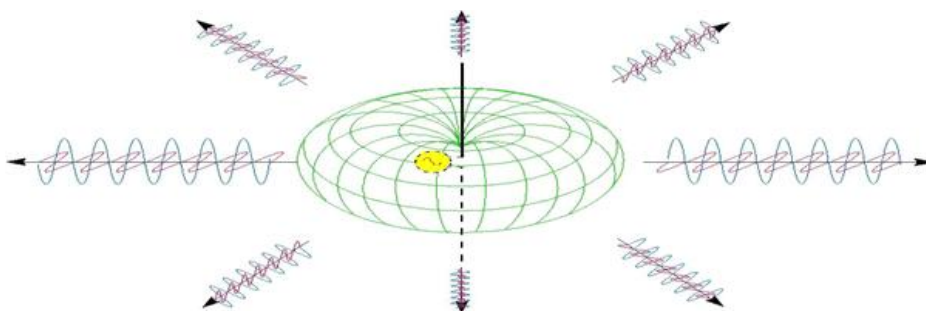


Figure II. 4 : Répartition relative de l'énergie, Diagramme de rayonnement (en vert) [16]

Exemple 2 :

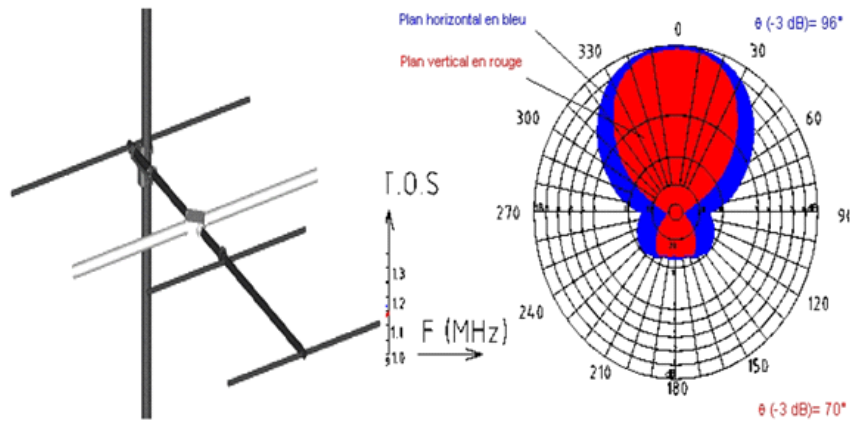


Figure II. 5 : Antenne Yagi (à gauche) et son diagramme de rayonnement (à droite) [16]

II .4.1.3. Gain d'une antenne

Le gain d'une antenne est le rapport entre la densité de puissance moyenne rayonnée par l'antenne dans la direction (θ, φ) et la densité de puissance à rayonnement isotrope, les deux antennes étant alimentées par la même puissance.

$$G(\theta) = \frac{2r(\theta)}{\int_0^\pi r(\theta) \sin \theta d\theta} \quad (II - 3)$$

Avec : θ : Angle entre une direction courante et l'axe de l'antenne.

Le gain et le diagramme de rayonnement sont intimement liés, on pourra calculer le gain d'une antenne connaissant son diagramme de rayonnement. Le gain maximum de l'antenne exprimée en dB est donné par :

$$G_{max} = 10 \log_{10}(G) \quad (II - 4)$$

II .4.1.4. Directivité d'une antenne

La directivité d'une antenne est le rapport de la puissance rayonnée par unité d'angle solide dans la direction (θ, φ) à la puissance que rayonnerait la source isotrope de référence par unité d'angle solide pour une même puissance totale rayonnée. [16]

$$D(\theta, \varphi) = 4\pi * \frac{P(\theta, \varphi)}{\eta p_a} \quad (II - 5)$$

II .5.1. 5 Angle d'ouverture d'une antenne

L'angle d'ouverture d'une antenne est l'angle de direction pour lequel la puissance rayonnée est la moitié (-3dB) de la puissance rayonnée dans la direction la plus favorable. [11]

II .4.1.6. Rendement

Le rendement η d'une antenne traduit sa capacité à transmettre la puissance électrique en entrée P_A sous forme de puissance rayonnée P_R . On le définit comme le rapport entre la puissance totale rayonnée par une antenne et la puissance qui lui est fournie. [11]

$$\eta = \frac{P_r}{P_f} \quad (II - 6)$$

II .4.1.7. Polarisation

La polarisation d'une antenne est la polarisation de l'onde plane générée par cette antenne dans une direction bien déterminée.

Par convention, la polarisation d'une onde plane correspond à la variation du champ électrique E au cours du temps par rapport à un point d'observation fixe. [17]

Il existe trois types de polarisations : rectiligne, circulaire et elliptique (Figure II- 6).

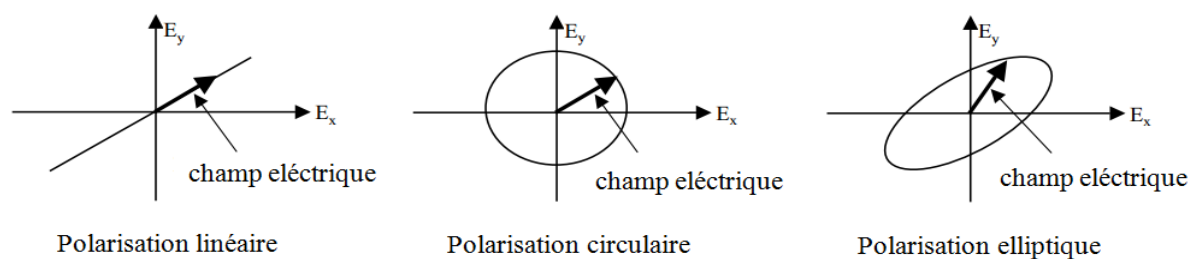


Figure II. 6 : Types de polarisation [16]

a) Polarisation rectiligne

Une onde est polarisée rectilignement, si son champ électrique garde la même direction au cours du temps par rapport à un observateur fixe.

Il y a deux types de polarisation rectiligne : la polarisation horizontale et verticale, cette appellation est définie par rapport au sol (surface de propagation). La première est recommandée pour des communications terrestres longues distances en raison des réflexions du sol, par contre la deuxième, s'avère intéressante pour les communications en ville ou dans les bâtiments, car elle augmente les réflexions multiples sur les parois. [16]

b) Polarisation circulaire

Une onde est polarisée circulairement, si son champ électrique décrit un cercle au cours du temps par rapport à un observateur fixe.

Par conséquent, deux cas particuliers sont à souligner : gauche et droite, la première lorsque le champ électrique tourne dans le sens des aiguilles d'une montre pour un observateur fixe placé sur l'antenne, la deuxième, dans le cas contraire (convention IEEE).

La polarisation circulaire trouve son utilisation dans les communications avec des objets en mouvement (train, avion, ...). [16]

c) Polarisation elliptique

Une onde est dite en polarisation elliptique, si son champ électrique décrit une ellipse au cours du temps par rapport à un observateur fixe.

C'est le cas général, lorsque les composantes du champ électrique varient sans relations particulière entre eux. De même que pour la polarisation circulaire, deux types de polarisation sont déterminés : gauche et droite. [16]

II .4.1.8. Coefficient de réflexion S_{11} ou Γ

II .4.1.8.1 Adaptation et rapport d'onde stationnaire

On dit qu'une antenne est parfaitement adaptée lorsque son impédance d'entrée (Z_e) est égale à l'impédance de la ligne d'alimentation (Z_c), sinon on démontre qu'il apparaît un coefficient de réflexion S_{11} ou. [1]

$$\Gamma = \frac{z_e - z_c}{z_e + z_c} = \frac{\text{onde réfléchie}}{\text{onde incidente}} \quad (\text{II} - 7)$$

Z_e : Impédance d'entrée de l'antenne ($Z_e = R + jX$)

Z_c : Impédance caractéristique de la ligne.

Le rapport d'ondes stationnaires (ROS) est défini comme suit :

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

Une antenne résonne si la partie imaginaire de son impédance d'entrée est nulle (Pratiquement on prend le minimum de la partie imaginaire),

Pour $\Gamma \rightarrow 0 \Rightarrow \text{Re}\{Z_e\} \approx Z_c$

Et dans laquelle la directivité de l'antenne est maximal, et le gain est plus élevé, c'est à dire le rayonnement est plus directif, et c'est la définition pour déterminer la fréquence de résonance.

II.4.1.8.2. Impédance d'entrée :

L'impédance d'entrée de l'antenne est l'impédance vue de la part de la ligne d'alimentation au niveau de l'antenne. Cette impédance est donnée par la formule :

$$Z_e = Z_c \frac{(1+S_{11})}{(1-S_{11})} \quad (II - 9)$$

Z_c = impédance caractéristique de la ligne d'alimentation.

II.4.1.9. Bande passante

La bande passante d'une antenne est déterminé par le domaine de fréquence dans lequel le rayonnement de l'antenne présente les caractéristiques sollicitées. Elle correspond au transfert maximal de puissance : du générateur vers l'antenne dans le cas d'émission (puissance d'alimentation), et de l'antenne vers le récepteur dans le cas de réception (puissance collectée).

La bande passante peut aussi être définie en fonction du coefficient de réflexion, à condition que le diagramme de rayonnement ne change pas sur cette bande. Généralement, elle est prise où le coefficient de réflexion en dB est inférieur à -10 dB, c'est-à-dire là où 90% de la puissance fournie à l'antenne est transformée et le reste est réfléchi. [7]

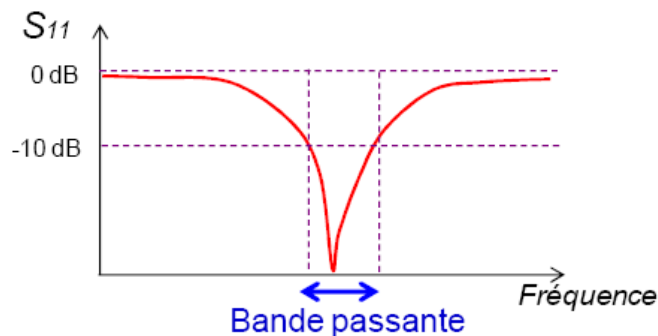


Figure II. 7 : Bande passante et coefficient de réflexion [7]

On exprime souvent la bande passante, LB en un pourcentage exprimant le rapport de la bande à la fréquence centrale f_0

$$LB = \frac{f_2 - f_1}{f_0} \quad (II - 10)$$

II.5. antenne imprimée

Dans la terminologie anglo-saxonne, on désigne par le terme « patch » (en l'occurrence : *pastille* ou *pavé* en français) toute antenne imprimée ou encore « antenne microruban ». On les nomme ainsi car les premières antennes imprimées rectangulaires étaient constituées par une partie de ligne microruban rayonnante. [17] D'une manière générale, les antennes patches présentent les avantages d'une ligne microruban (faible masse, faible encombrement, structure plane, faible coût) et il est facile de créer un réseau de quelques dizaines d'éléments. Cependant,

leur bande passante reste faible (quelques pourcents), leur gain reste moyen (~ 30 dB pour les réseaux) et elles ne sont pas capables de transmettre une puissance de plus de quelques dizaines de watts. [6]

II .5.1.Structure du patch

Une antenne patch est une antenne dont l'élément rayonnant est une métallisation imprimée. Elle est constituée d'un plan de masse, d'un substrat diélectrique, et d'une métallisation dont les formes peuvent être variables. [6]

II .5.2.Elément rayonnant

Les éléments rayonnants peuvent être de toutes natures géométriques. Les plus simples sont des rectangles, des cercles, des triangles. La forme la plus répandue est le rectangle excité en un point de l'un de ses axes de symétries. [19]

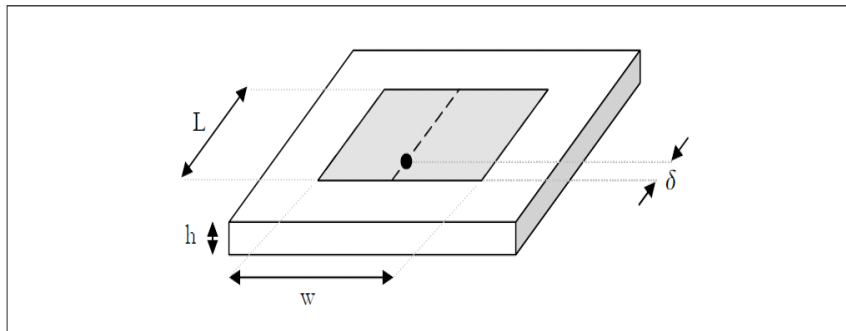


Figure II. 8 : Géométrie d'une antenne patch. [17]

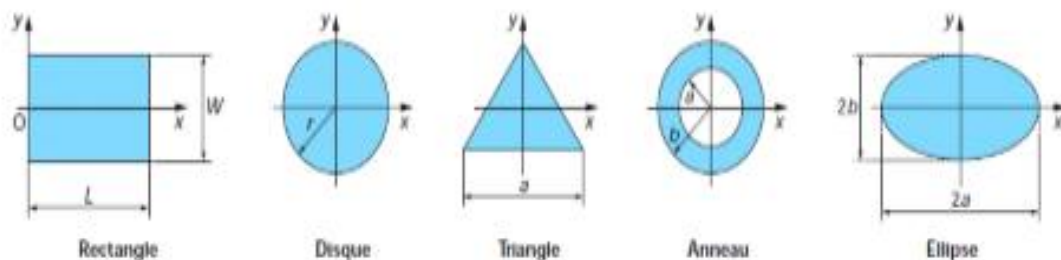


Figure II. 9 : Géométrie de base de l'antenne patch. [17]

II .5.3. Substrat

Le substrat est caractérisé par sa permittivité (généralement $1 \leq \epsilon_r \leq 12$), sa hauteur h par rapport au plan de masse ($h \ll \lambda$, $0.003\lambda \leq h \leq 0.05\lambda$) et sa tangente de pertes diélectrique $\tan \delta$ (de l'ordre de 10^{-3}). [20] Pour la conception des antennes imprimées, on trouve par exemple : des composites à bases de fibres de verre téflon ($2 < \epsilon_r < 3$, $\tan \delta = 10^{-3}$), du polypropylène ($\epsilon_r = 2.2$, $\tan \delta = 3 \cdot 10^{-4}$) mais également des mousses synthétiques ($\epsilon_r = 1.03$, $\tan \delta = 10^{-3}$). [21]

II .5.4. Techniques d'alimentation

L'alimentation joue un rôle très important dans la conception des antennes, elle peut influencer éventuellement le rayonnement et modifier ses caractéristiques. Traditionnellement, il existe quatre modes d'alimentation pour un patch : [3]

- L'antenne patch peut être excitée directement :
 - soit par une sonde coaxiale,
 - soit par une ligne micro ruban.
- Il peut également être excité indirectement en utilisant
 - un couplage électromagnétique
 - ou un couplage d'ouverture et une alimentation coplanaire d'un guide d'onde, auquel cas il n'y a pas un contact direct métallique entre la ligne d'alimentation et le patch.

La technique d'alimentation influence l'impédance d'entrée et les caractéristiques de l'antenne et constitue un paramètre de conception important [3]

II .5.4.1. Alimentation par une ligne micro-ruban

Dans ce type d'alimentation, une ligne conductrice (généralement d'impédance 50Ω), de largeur plus petite que celle du patch, est connectée à l'un des bords de ce dernier (Figure II-10). Ce type d'alimentation est facile à fabriquer et simple à adapter à la résonance (choix judicieux de la position d'alimentation ou insertion d'encoches), mais elle présente plus de pertes si la hauteur du substrat augmente, et ce à cause de l'apparition des ondes de surface et la génération de rayonnement parasite [22].

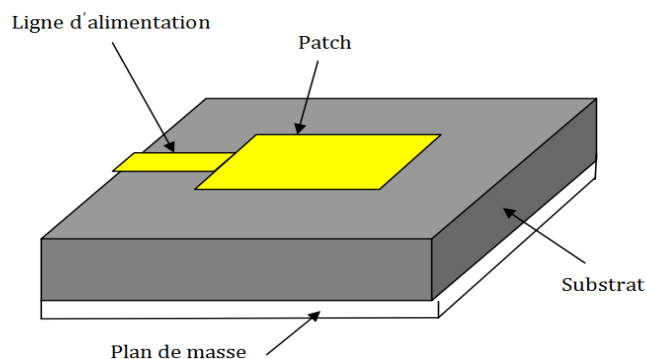


Figure II. 10 : Alimentation par ligne micro ruban [23]

II .5.4.2. Alimentation par sonde coaxial

En alimentation par sonde coaxial, le conducteur interne du connecteur coaxial est soudé au patch en traversant le milieu diélectrique tandis que le connecteur extérieur est connecté au plan de masse (Figure II 2). Parmi les avantages de cette technique :

- la possibilité d'exciter l'élément rayonnant à n'importe quel endroit pour assurer l'adaptation,
- la réduction de rayonnement parasite.
- et simplicité de fabrication.

Par contre, son inconvénient majeur est la diminution de la bande passante (bande étroite) ainsi que la difficulté de modélisation du probe pour un substrat épais ($h > 0.02\lambda$) . [22]

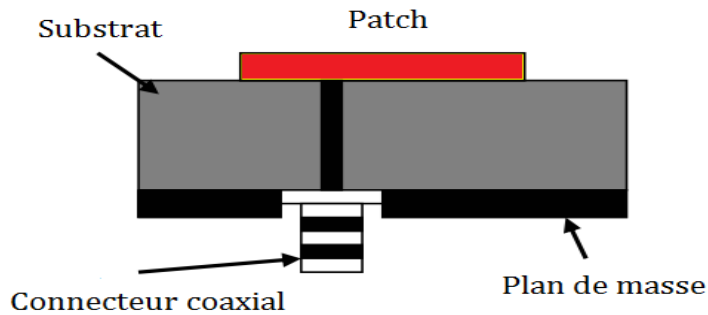


Figure II. 11 : Alimentation par sonde coaxiale [23]

II .5.4.3. Alimentation par couplage électromagnétique

Une antenne patch couplé électro magnétiquement est montrée sur la Fig. 11. Le couplage électromagnétique est également connu sous le nom de couplage de proximité.

La ligne d'alimentation est placée entre le patch et le plan de masse, qui est séparé par deux milieux diélectriques. [3]

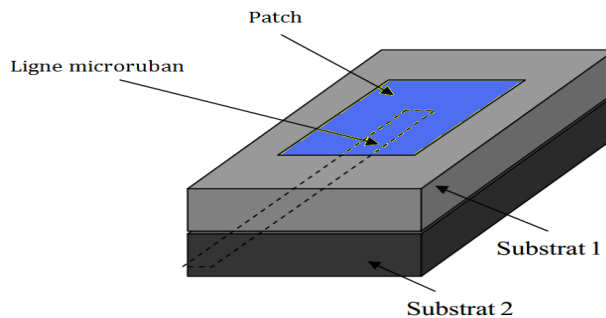


Figure II. 12 : Alimentation par proximité [23]

Les avantages de cette configuration d'alimentation comprennent :

- ✓ l'élimination du rayonnement parasite du réseau d'alimentation ;
- ✓ Le choix entre deux milieux diélectriques différents, l'un pour le patch et l'autre, pour permettre d'optimiser les performances individuelles ;
- ✓ Et une augmentation du bande passante due à l'augmentation de l'épaisseur globale du substrat du l'antenne patch.

Les inconvénients sont que les deux couches doivent être alignées correctement et que l'épaisseur globale de l'antenne augmente. [3]

II .5.4.4. Alimentation par couplage à ouverture

Dans l'alimentation par couplage à ouverture ou couplage par fente, le patch et la ligne d'alimentation sont séparés par le plan de masse. Ce dernier, contient une fente qui assure le couplage entre la ligne micro ruban d'alimentation et l'élément rayonnant, comme représenté sur la figure. 12. [3]

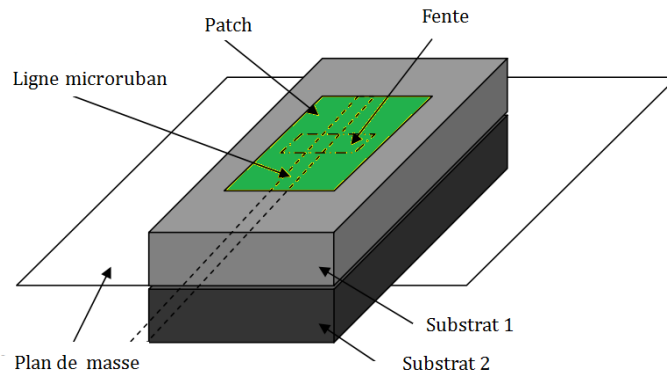


Figure II. 13 : Alimentation par couplage à ouverture [23]

Pour minimiser le rayonnement parasite, le substrat inférieur doit être choisis mince et de permittivité élevée, tandis que le substrat supérieur doit être épais et de faible permittivité [3].

L'inconvénient majeur de ce procédé réside dans la difficulté de fabrication due à l'utilisation de deux couches diélectriques ce qui engendre également l'augmentation de l'épaisseur de l'antenne. On note que la bande passante générée est étroite [3].

II .6. Avantages et inconvénients des antennes patch

Les antennes Microstrip présentent de nombreux avantages comparés aux antennes micro-ondes classiques et leurs applications couvrent le large domaine de fréquence (100 MHz à 100 GHz). [1] Certains avantages sont les suivants :

- Faible poids, encombrement réduit, configurations conformes possibles.
- Faible coût de fabrication, production en masse possible.
- Polarisation linéaire et circulaire pour les télécommunications.
- Antennes multibandes, multipolarisations possibles.
- Compatibilité avec les circuits hybrides et MMIC (Microwave Monolithic Integrated Circuit).
- Réseaux d'alimentation et d'adaptation fabriqués simultanément avec l'antenne. [6]

Toutefois, les antennes microruban ont également des limitations que ne présentent pas les antennes traditionnelles :

- Bande passante étroite, souvent associée avec les problèmes de tolérance (géométriques et physiques) ; Généralement faible gain (6 dB).
- La plupart des antennes rayonnent uniquement dans le demi-plan.
- Supportent uniquement des faibles puissances (100 mW).
- Pertes de rayonnement par ondes de surfaces. [6]

Ces limitations sont connues depuis plusieurs années et des progrès considérables ont été réalisés depuis pour améliorer les performances des antennes patch. Notamment, leur bande passante peut être augmentée jusqu'à 70 % en utilisant une configuration multicouche et leur gain peut s'accroître de 30 % en mettant en réseau plusieurs antennes. L'introduction de la couche de substrat en métamatériau, de dimensions sub-longueurs d'ondes, permet d'améliorer également les performances d'une antenne patch ordinaire. [6]

II .7. Modélisation de l'antenne patch

La modélisation d'une antenne patch peut se réaliser de deux manières : Si le patch est rectangulaire, il peut être simulé simplement par une portion de ligne de transmission ; s'il est de forme quelconque, elle peut être simulée comme une cavité qui correspond au substrat compris entre l'élément rayonnant et le plan de masse. [7]

Le mécanisme de rayonnement d'une antenne patch rectangulaire se comprend aisément à partir de sa forme géométrique. Lorsqu'on excite la ligne d'alimentation avec une source RF, une onde électromagnétique va se propager sur cette ligne puis va rencontrer l'élément rayonnant (de largeur plus grande que la ligne, donc plus apte à rayonner). Une distribution de charge va s'établir à l'interface Substrat / Plan de masse, sur et sous l'élément rayonnant. En fait le rayonnement du patch peut être modélisé par celui de deux fentes parallèles distantes de la longueur L et de dimensions $W \cdot h$. La théorie de l'électromagnétisme nous fournit alors les expressions des champs rayonnés par le patch à une certaine distance d'observation. [7]

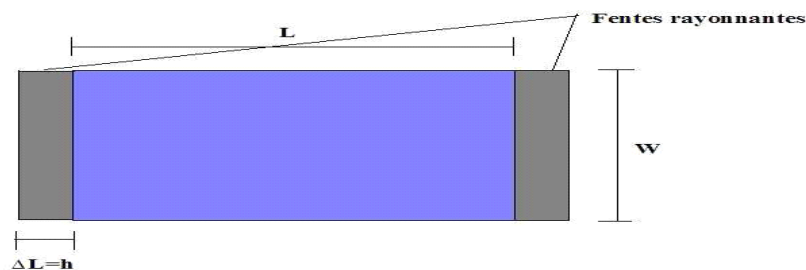


Figure II. 14 : Les fentes rayonnantes d'une antenne patch [7]

II .7.1.Méthode de cavité

Si nous nous intéressons maintenant à la distribution des charges, nous pourrions montrer par l'étude des composantes tangentielles du champ magnétique que le patch rectangulaire peut se modéliser.

Comme une cavité avec 4 murs magnétiques (bords de la cavité) et 2 murs électriques (formés par les métallisations et dans l'approximation que la composante normale du champ électrique est constante).

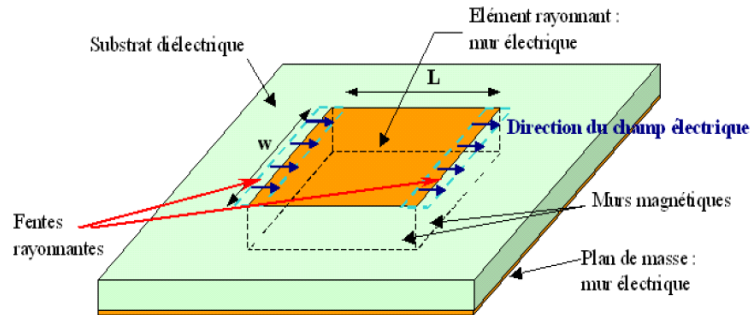


Figure II. 15 : Schéma descriptif du modèle de la cavité résonante. [17]

En posant les équations de propagations avec les conditions aux limites adéquates, on détermine assez facilement les fréquences de résonances de l'antenne patch rectangulaire [23]:

$$f_{min} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{\left(\frac{m}{\pi W_{eff}}\right)^2 + \left(\frac{m}{\pi L_{eff}}\right)^2} \quad (II - 6)$$

II .7.2. Méthode de la ligne de transmission

Le modèle de la ligne de transmission est le plus simple car il fournit de bonnes interprétations physiques. C'est une méthode des plus adaptées aux patches rectangulaires. Elle permet de les modéliser par des tronçons de lignes micro-rubans dont les caractéristiques sont bien connues [7, 24]

Ce modèle représente l'antenne patch par deux fentes de largeur W et de hauteur h (Figure 2. 16), séparée par une ligne de transmission de longueur L .

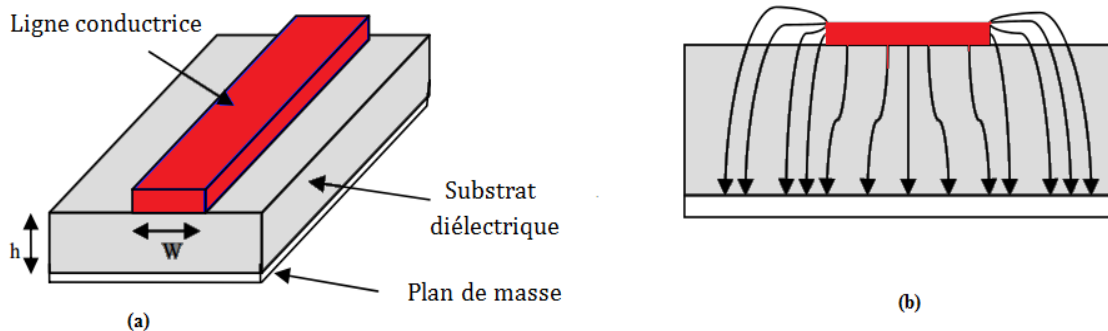


Figure II. 16 : (a) : Calcul des paramètres de l'élément rayonnant ; (b) : lignes de champ [23]

La détermination des paramètres géométriques de l'élément rayonnant est basée sur le :

- ↪ Calcul de la permittivité effective en fonction de la largeur du patch W .
- ↪ Et le calcul de la longueur L du patch en fonction de la permittivité effective.

Sachant que la propagation des ondes dans une ligne micro-ruban s'effectue à la fois dans le milieu diélectrique et dans l'air. Du point de vue modélisation, les deux milieux sont remplacés par un unique milieu effectif caractérisé par un constant diélectrique exprimé par [24]:

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} (1 + 12h/W)^{-1/2} \quad (II - 7)$$

Le patch rectangulaire représente une longueur effective, car le rayonnement se base sur la longueur réelle ainsi que les deux fentes. Pour le patch rectangulaire la longueur L est étendue de deux ΔL (Figure II 17)

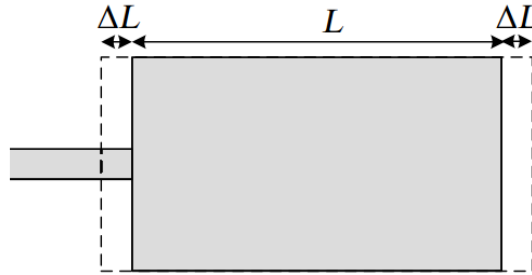


Figure II. 17 : Extension de la longueur physique L . [23]

Cette extension en L est donnée par la formule de Hammerstad [21]:

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8\right)} \quad (II - 8)$$

La longueur effective L_{eff} du patch devient alors ;

$$L_{eff} = L + 2\Delta L \quad (II - 9)$$

Pour une fréquence donnée f_r la longueur effective est donnée par :

$$f_r = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon_{reff}}} = \frac{\lambda_g}{2} \quad (II - 10)$$

Où λ_g est la longueur d'onde guidée dans milieu effectif.

Cependant, la largeur du patch W est calculée à partir de la formule [21]:

$$W = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} \quad (II - 11)$$

b. Résistance d'entrée

L'impédance d'entrée dépend de plusieurs paramètres, tels que la constante diélectrique, l'épaisseur et la largeur du substrat, ainsi que la position du point d'alimentation. La résistance d'entrée est déterminée par : [21]

$$R_{in} = \frac{1}{G} \quad (II - 12)$$

Où

$$G = \begin{cases} \frac{W^2}{90\lambda_0^2} & \text{si } \frac{W}{\lambda_0} \ll 1 \\ \frac{W^2}{120\lambda_0^2} & \text{si } \frac{W}{\lambda_0} \gg 1 \end{cases} \quad (II - 13)$$

La résistance d'entrée change de valeur en insérant des encoches dans l'une des bords rayonnants.

Si le patch est alimenté par une ligne micro-ruban d'impédance caractéristique Z_c , placée à une distance x_0 , la résistance d'entrée est donnée par [23]:

$$R_{in}(X = X_0) = R_{in}(X = 0) \cos^2\left(\frac{\pi}{L} X_0\right) \quad (II - 14)$$

La directivité d'une antenne patch dans la direction normale à son élément rayonnant est donnée par les relations suivantes [23]:

$$D = \frac{1}{15G} \left(\frac{W}{\lambda_0}\right)^2 \quad (II - 15)$$

$$\begin{aligned} \text{si } \frac{W}{\lambda_0} \gg 1 \quad G &= \frac{W}{120\lambda_0} \Rightarrow D = \frac{8W}{\lambda_0} \\ \text{si } \frac{W}{\lambda_0} \ll 1 \quad G &= \frac{W^2}{90\lambda_0} \Rightarrow D = 6 \\ \text{si } \frac{1}{3} < \frac{W}{\lambda_0} < 3 \quad G &= \frac{W}{120\lambda_0} - \frac{1}{60\pi^2} \end{aligned} \quad (II - 16)$$

Les angles d'ouverture dans le plan E et H sont déterminées par [23] :

$$2\theta_{E3dB} = 2 \arccos \sqrt{\frac{1}{7}(3\beta_0^2 L + \beta_0^2 h^2)} \quad (II - 17)$$

$$2\theta_{H3dB} = 2 \arccos \sqrt{2\left(1 + \frac{\pi W}{\lambda_0}\right)} \quad (II - 18)$$

→ le calcul de la conductance G de la fente rayonnante

→ le calcul de la résistance d'entrée R_{in}

→ Si R_{in} est très grande, on calcule $R_{in}(X = X_0)$ en insérant des encoches dans le patch.

II.8. conclusion

Dans ce chapitre on a présenté un état de l'art de différents types d'antennes ULB qui sont communément utilisées, ainsi que leurs caractéristiques générales. Les antennes ont des propriétés et des caractéristiques, selon lesquelles elles sont valorisées. Alors, pour assurer un bon fonctionnement, il faut choisir celle la plus adaptée à l'application envisagée. Dans notre cas, nous avons constaté que les antennes imprimées sont un bon choix pour concevoir les antennes ULB, à cause de leurs caractéristiques attractives.

III-1 Introduction

La simulation est une étape indispensable pour la réalisation réelle d'une antenne, puisqu'elle nous guide et nous oriente vers la bonne sélection des paramètres statiques et des conditions de fonctionnement selon l'objectif fixé à priori. Donc l'objectif de simulation est de mettre en évidence les caractéristiques spécifiques des antennes afin de pouvoir les concevoir. Si on veut optimiser les paramètres de la structure, il s'avère incontournable de bien s'arrêter sur la phase de conception de l'antenne, et d'employer un logiciel adéquat.

Dans ce chapitre nous abordons la problématique de conception et d'analyse, par simulation, des performances d'antennes adaptées aux systèmes de communication ULB. Les résultats attendus doivent respecter les conditions suivantes :

- Une largeur de bande supérieure à 500 MHz ou la bande fractionnaire est supérieure à 20%.
- Un coefficient de réflexion inférieur à -10dB ($TOS < 2$) déterminé à partir de la bande

Un premier travail sur une antenne planaire multicouche avec fente sera alors proposé. Nous essayons ensuite d'optimiser avec l'outil de simulation les caractéristiques de l'antenne, en jouant sur les dimensions et les coordonnées du point d'alimentation. À partir de cette étude paramétrique, nous pouvons déduire les paramètres importants affectant les performances d'adaptation de l'antenne proposée. Le but de cette optimisation est l'obtention d'une antenne qui se rapproche des caractéristiques désirées.

III-2 Procédure de simulation

Cette étape consiste à schématiser la structure réelle qu'on souhaite simuler. Les étapes de la procédure de simulation sont :

III-2.1. Dimensionnement

Comme une première approche les dimensions du patch, vont être calculées. Pour cela on choisit la fréquence de résonance et le type du substrat (la permittivité ϵ_r et la hauteur h) selon le besoin et l'application envisagée, ensuite on dimensionne la structure (calcul des dimensions) en introduisant les équations théoriques (Chapitre II) dans l'environnement MATLAB (voir annexe). Selon le cas, on pourra calculer :

- la largeur du patch W ,
- l'extension ΔL
- La permittivité effective ϵ_{reff}
- la longueur physique du patch L ,

III-2.2. Choix de l'alimentation

Une fois les dimensions calculées, on procède au choix de l'alimentation. Les éléments rayonnants peuvent être alimentés par diverses techniques comme on a vu dans le chapitre précédent. Dans notre étude, l'alimentation de l'antenne est assurée par un câble coaxial à travers un connecteur SMA d'une impédance caractéristique 50Ω . Le conducteur intérieur du connecteur coaxial s'étend à travers le diélectrique et il est soudé au patch inférieur, alors que le conducteur extérieur est relié au plan de masse.

III-2.3. Implantation dans le logiciel de simulation

Après l'obtention des dimensions appropriées de l'antenne à simuler, nous allons introduire ces dimensions avec tous les paramètres physiques de l'antenne dans l'environnement du logiciel de simulation électromagnétique Ansoft HFSS (voir annexe 1) [1], qu'on a choisi pour cette étude. Les caractéristiques de la structure étudiée peuvent être visualisées sous différentes formes : paramètres [S], lieu d'impédance, diagramme de rayonnement à deux ou trois dimensions, représentation des densités de courants, etc...

III-3 Structure proposée

L'architecture de cette antenne est la combinaison des techniques d'empilement et de fentes. L'antenne se compose d'un plan de masse de dimension $50 \times 40 \text{ mm}^2$, et de trois structures empilées les unes sur les autres.

III-3.1. Structure inférieure

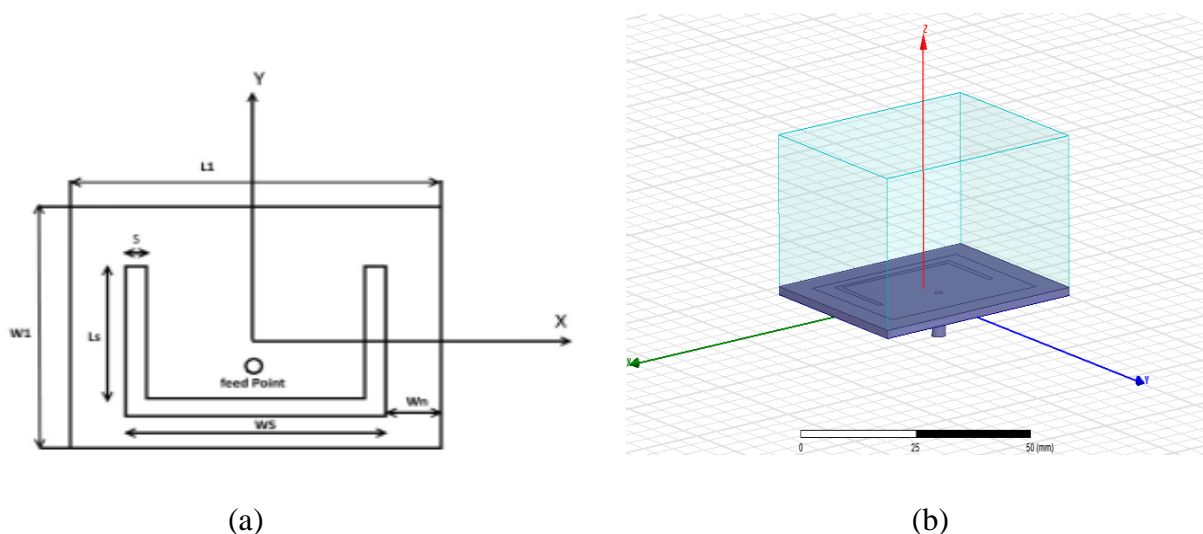


Figure III. 1 : Géométrie et dimension du patch inférieur (a) : Vue de dessus, (b) : 3D par HFSS

Comme montré sur la figure III.1, cette structure se compose d'un patch (P1) de dimension $w_1 \times l_1$, ou on a inséré une fente de forme U de longueur L_S et de largeur W_s , avec une largeur de fentes.

Les dimensions de la structure inférieure sont regroupées dans le tableau suivant

L1	W1	LS	WS	Wn	S
39.4 mm	29.4 mm	15 mm	18 mm	4 mm	1.2 mm

Tableau III. 1: dimensions de la structure inférieure

III-3.1. Structure intermédiaire

Dans cette structure, on a aussi utilisé la technique des fentes, par l'introduction d'un slot de forme T dans le patch (P2).

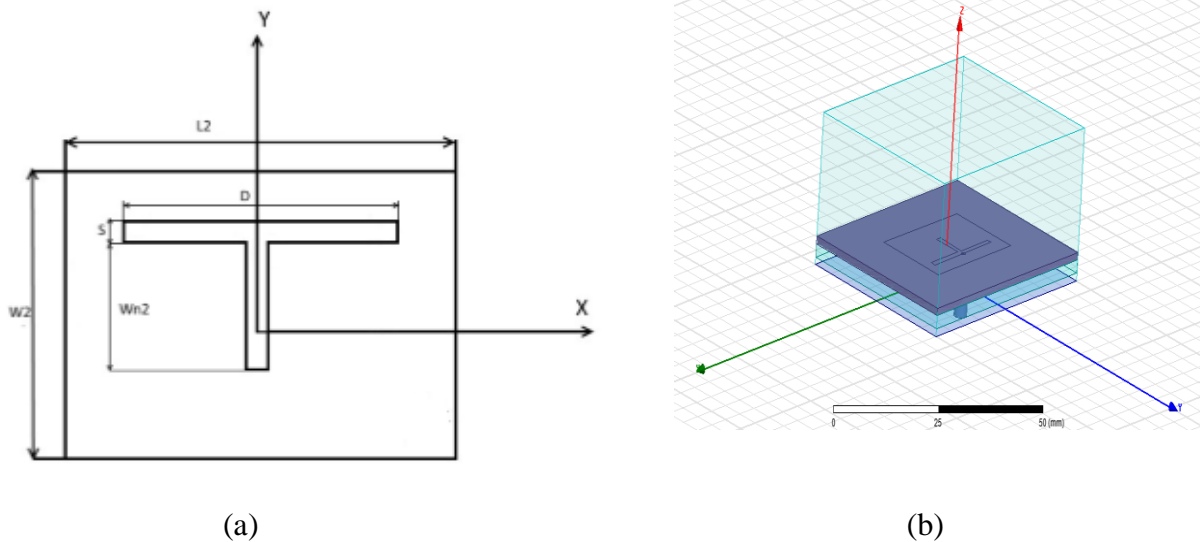


Figure III. 2: Géométrie et dimension du patch inférieur (a) : Vue de dessus, (b) : 3D par HFSS

Le tableau (III.2) regroupe les dimensions de cette structure

L2	W2	D	Wn2	S
26 mm	18 mm	18 mm	15 mm	1.2 mm

Tableau III. 2: dimensions de la structure intermédiaire

III-3.3. Structure supérieure

Un slot de forme trefle est inséré dans le patch P3.

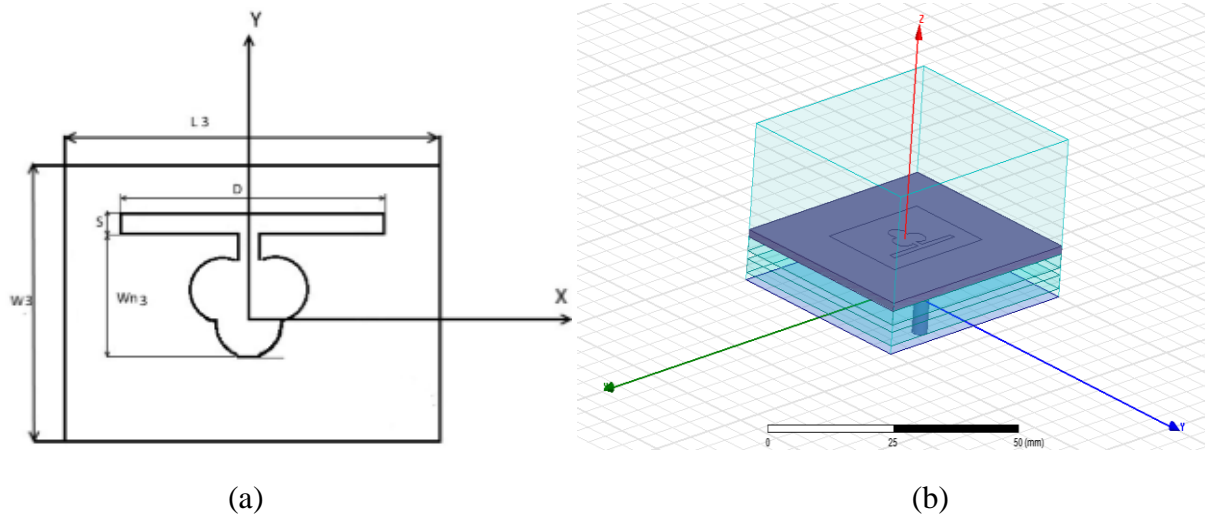


Figure III. 3 : Géométrie et dimension du patch inférieur (a) : Vue de dessus, (b) : 3D par HFSS

Ses principales dimensions sont regroupées dans le tableau ci-dessus (Tableau III.3)

L3	W3	D	Wn3	S
26 mm	18 mm	18 mm	15 mm	1.2 mm

Tableau III. 3: dimensions de la structure supérieure

Ces trois éléments rayonnants sont déposés sur la surface supérieure de trois substrats de dimension $W_s \times L_s$, de même nature, d'épaisseur $h=1.2\text{mm}$, séparés par des couches d'air h_{a1} et h_{a2} respectivement. L'alimentation de l'antenne multicouche est assurée par une sonde coaxial placé au point de coordonnées (X_f, Y_f) , d'une impédance caractéristique 50Ω , qui excite directement le patch p1 dans ce cas-là, il sera appelé patch actif, alors que les deux autres patches p2 et p3 appelés parasites, sont alimentés par couplage électromagnétique. Les dimensions des patches sont optimisées de manière à ce que la limite des bandes individuelles de chaque patch seront en quelque sorte juxtaposées, et la structure finale à trois patches aura une large bande passante. En d'autres termes, les tailles des deux patches juxtaposés sont principalement déterminées par la plus faible des deux fréquences de fonctionnement.

La figure III - 4 montre la géométrie et les dimensions de la structure proposée

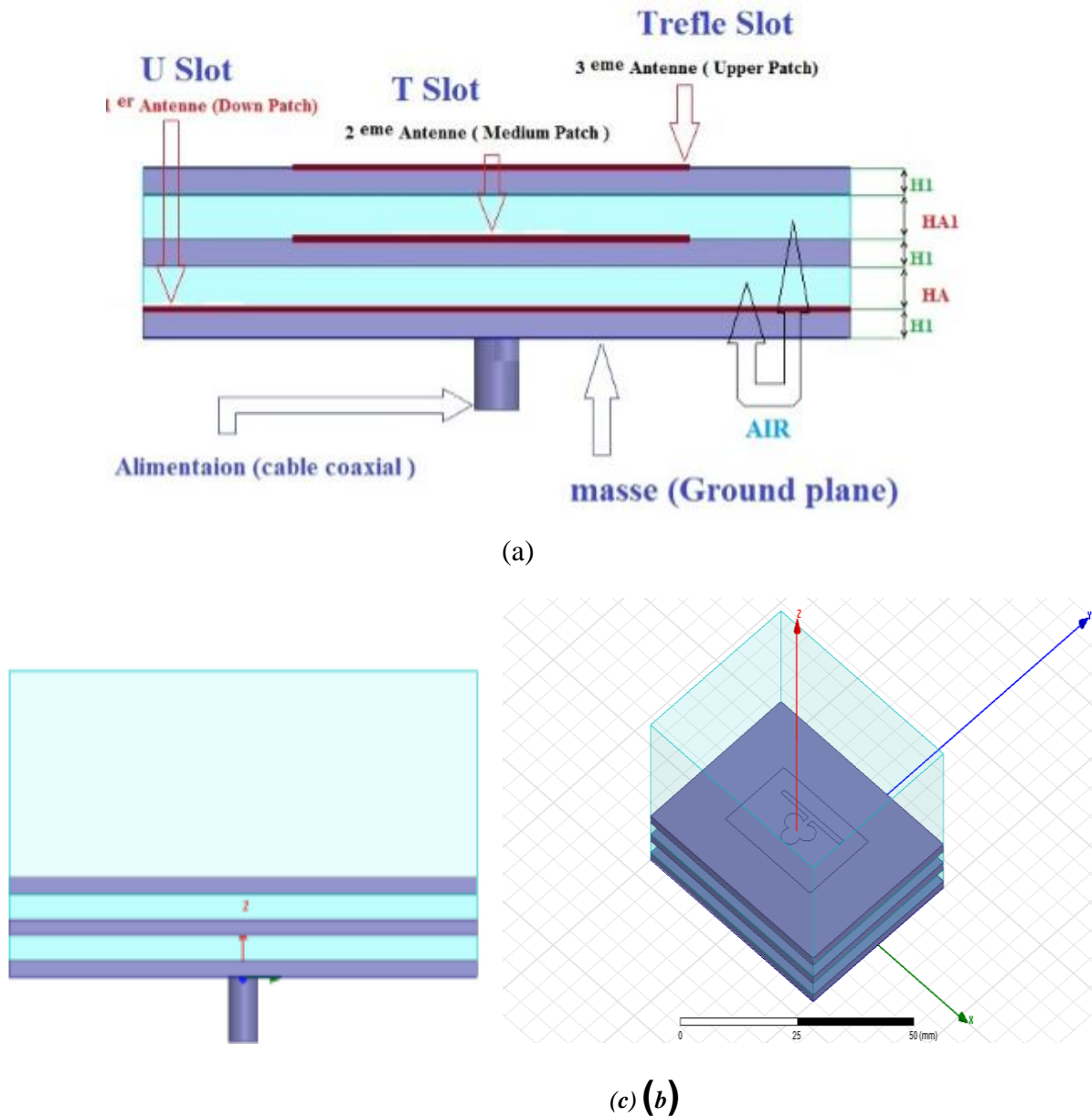


Figure III. 4: Géométrie de l'antenne à trois patches empilés (a) : Vue de profil, (b) : Vue latérale par HFSS, (c) : structure globale par HFSS

III-4 .Résultats de Simulations

Dans cette section nous allons présenter les différents résultats des caractéristiques de l'antenne proposée en passant par une phase d'optimisation des performances de l'antenne.

III-4.1 Étude paramétrique

Cette partie est consacrée à l'étude de l'influence de quelques paramètres physiques définissant la géométrie de l'antenne proposée sur la fréquence de résonance. Une étude paramétrique a été menée pour comprendre les effets des divers paramètres, notamment en

termes d'adaptation sur une large bande de fréquences, afin de les optimiser et d'aboutir à une structure finale efficace.

III-4.1.1. Influence du Matériau du substrat

Le but du matériau du substrat d'antenne est principalement à fournir un support mécanique pour les éléments rayonnants et de maintenir l'espacement de précision requis entre le patch et son plan de masse. Le choix du matériau approprié pour une antenne ULB devrait être basé sur la taille du patch souhaité, la bande passante, la perte d'insertion, la stabilité thermique, le coût, etc. Pour les applications commerciales, le coût est l'un des critères les plus importants dans la détermination du type de substrat.

Pour caractériser l'influence du substrat sur la fréquence de résonance et la bande passante de l'antenne, nous avons tracé les variations de coefficient de transmission S11 et Les variations de taux d'onde stationnaire (TOS) ou bien (VSWR) (Voltage State Wave Ration en anglais) en fonction de la fréquence pour différents type de matériaux.

❖ 1^{er} cas : Rogers RT 5880

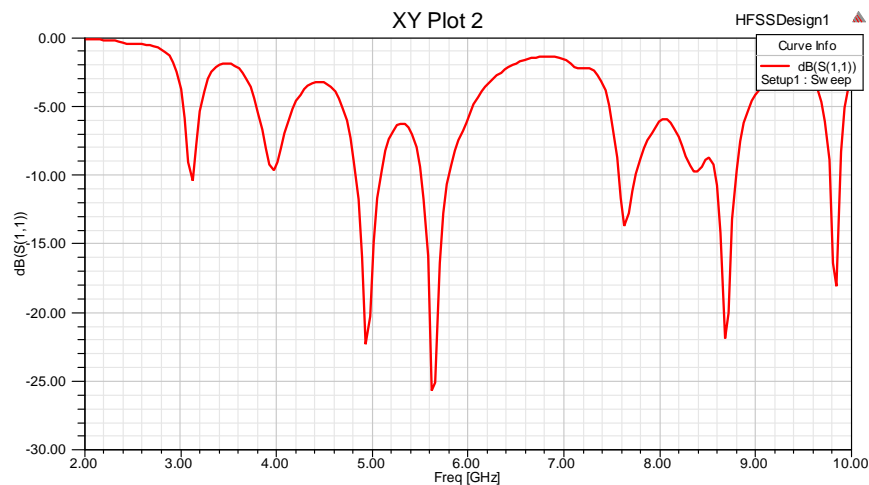


Figure III. 5: Amplitude du coefficient de réflexion S11 (Substrat Roger RT 5880 $\epsilon_r = 2.2$)

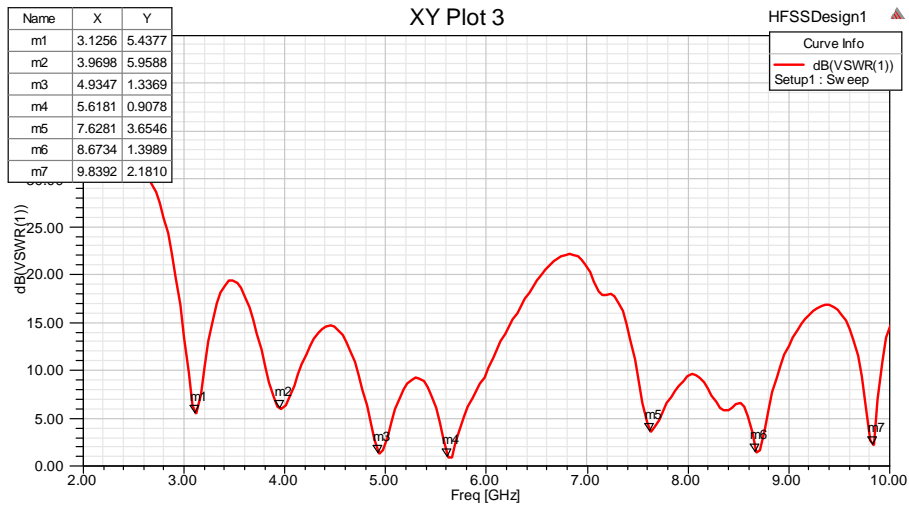


Figure III. 6: Variation du rapport d'onde stationnaire en fonction de la fréquence

Fr	3.12	3.96	4.93	5.61	7.62	8.67	9.83
S11	-10.09	-9.85	-24.00	-25.18	-17.56	-24.00	-16.00
Vswr	5.43	5.95	1.33	0.90	3.65	1.39	2.18

Tableau III. 4: Variation des paramètres S11 et Vswr en fonction de la fréquence de résonance pour un substrat Rogers RT 5880

On voit que la largeur de la bande s'étale de 3.12 à 9.83 GHz, mais l'antenne est mal adaptée. L'antenne est bien adaptée, pour une valeur minimale de rapport axial < 2 dB :

- VSWR = 0.9078 dB correspondant à la fréquence de résonance $f_0 = 5.6181$ GHz.
- VSWR = 1.3369 dB correspondant à la fréquence de résonance $f_0 = 4.9347$ GHz.
- VSWR = 1.3989 dB correspondant à la fréquence de résonance $f_0 = 8.6374$ GHz.

Comme remarque On peut utiliser cette antenne comme antenne multibande.

❖ 2^{ème} cas : Rogers RT 6002

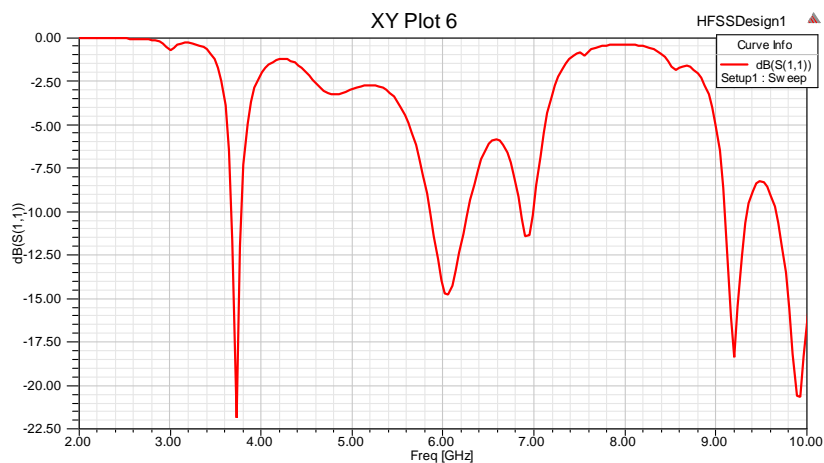


Figure III. 7: Amplitude du coefficient de réflexion S11 (Substrat RT 6002 $\epsilon_r = 2.94$)

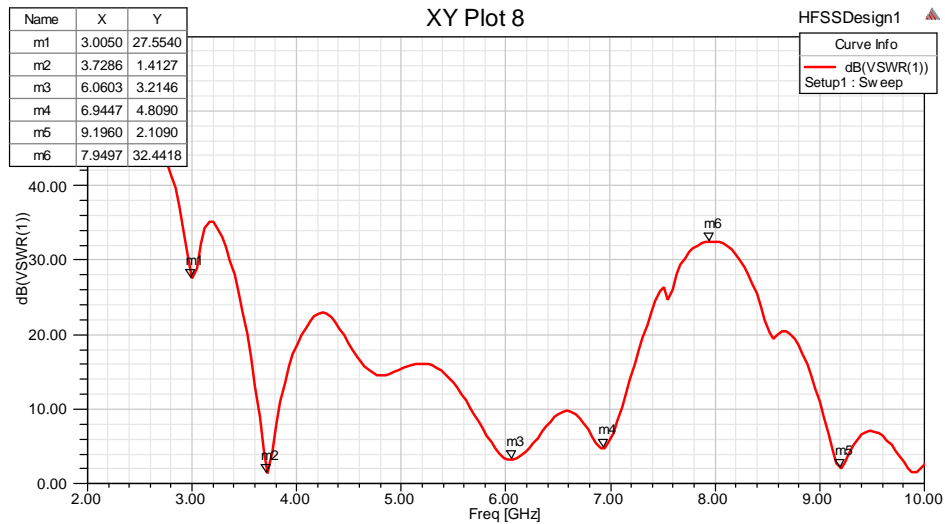


Figure III. 8: Variation du rapport d'onde stationnaire en fonction de la fréquence

Fr	3.72	6.06	6.94	7.94	9.19
S11	-22.00	-14.89	-11.00	-18.00	-20.50
Vswr	1.41	3.21	4.80	32.44	2.10

Tableau III. 5: Variation des paramètres S11 et Vswr en fonction de la fréquence de résonance pour un substrat Rogers RT 6002

La bande s'étale de 3.72 à 9.19 GHz, on peut constater une légère amélioration en adaptation par rapport à la structure précédente, mais l'antenne reste toujours mal adaptée.

L'antenne est bien adaptée, pour une valeur minimal de rapport axial < 2dB :

- VSWR = 1.41278 dB correspondant à la fréquence de résonance $f_0 = 3.7286$ GHz.
- VSWR = 1.3369 dB correspondant à la fréquence de résonance $f_0 = 4.9347$ GHz

❖ 3^{eme} cas : Rogers RO 3003

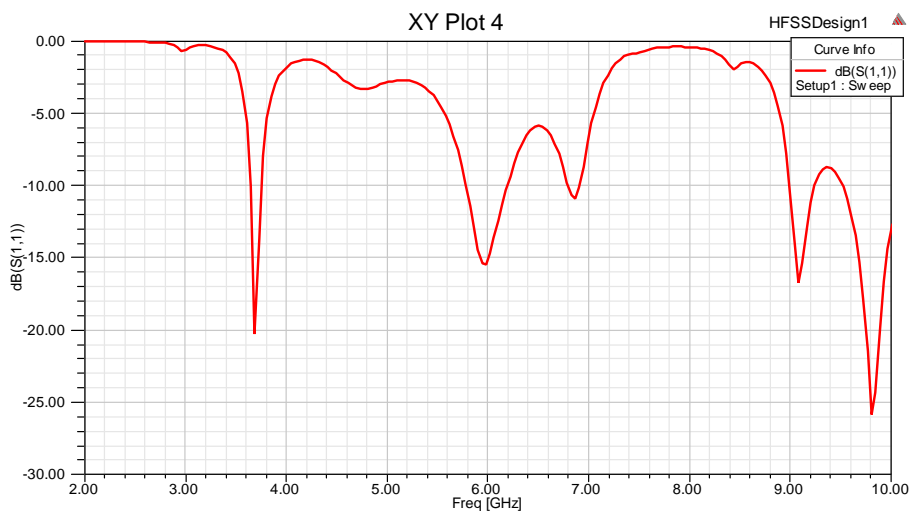


Figure III. 9: Amplitude du coefficient de réflexion S11 (Substrat RO 3003 $\epsilon_r = 3$)

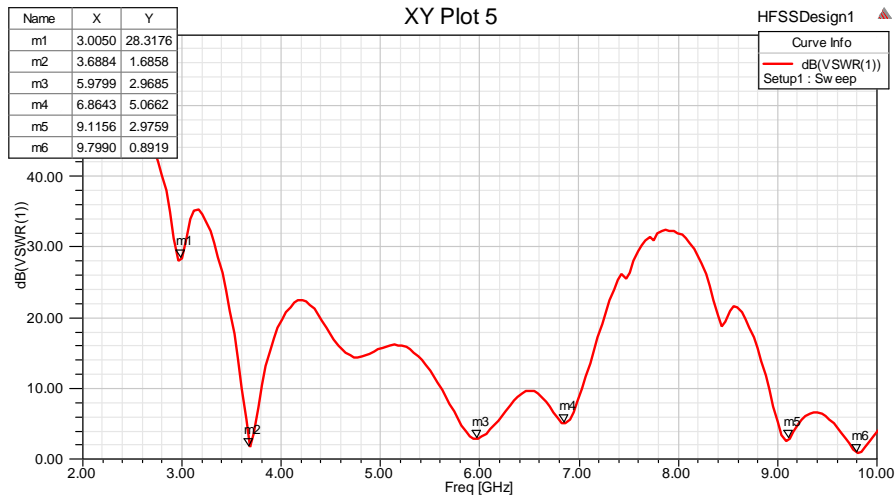


Figure III. 10: Variation du rapport d'onde stationnaire en fonction de la fréquence

.Fr	3.68	5.97	6.86	9.11	9.79
S_{11}	-20.00	-15.50	-11.00	-16.77	-26.00
Vswr	1.68	2.96	5.06	2.97	0.89

Tableau III. 6: Variation des paramètres S_{11} et Vswr en fonction de la fréquence de résonance pour un substrat Rogers RO 3003

La bande s'étale de 3.68 à 9.79 GHz, il y'a une amélioration de l'adaptation sur une très large bande, mais elle est insuffisante.

L'antenne est bien adaptée, pour une valeur minimal de rapport axial < 2dB :

- VSWR = 1.6858 dB correspondant à la fréquence de résonance $f_0 = 3.6884$ GHz.
- VSWR = 0.8919 dB correspondant à la fréquence de résonance $f_0 = 4.9347$ GHz.

❖ 4^{eme} cas : le substrat FR4_expoy ($\epsilon_r = 4.4$)

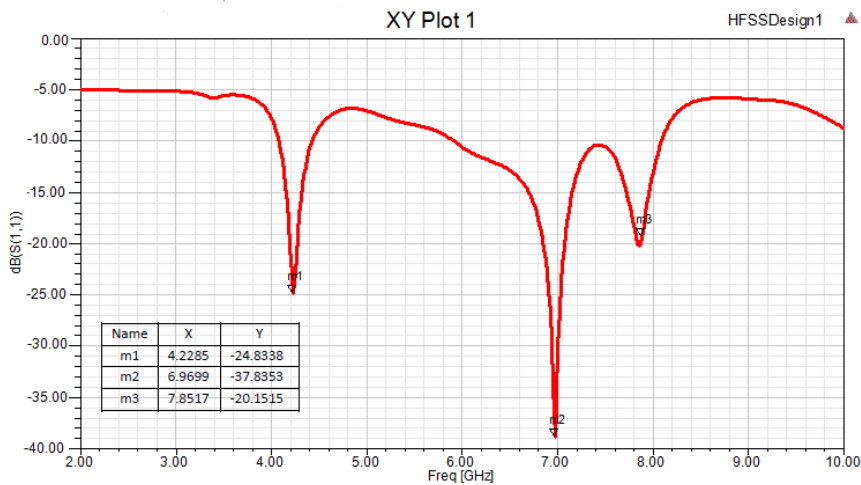


Figure III. 11: Amplitude du coefficient de réflexion S_{11} (FR4_expoy $\epsilon_r = 4.4$)

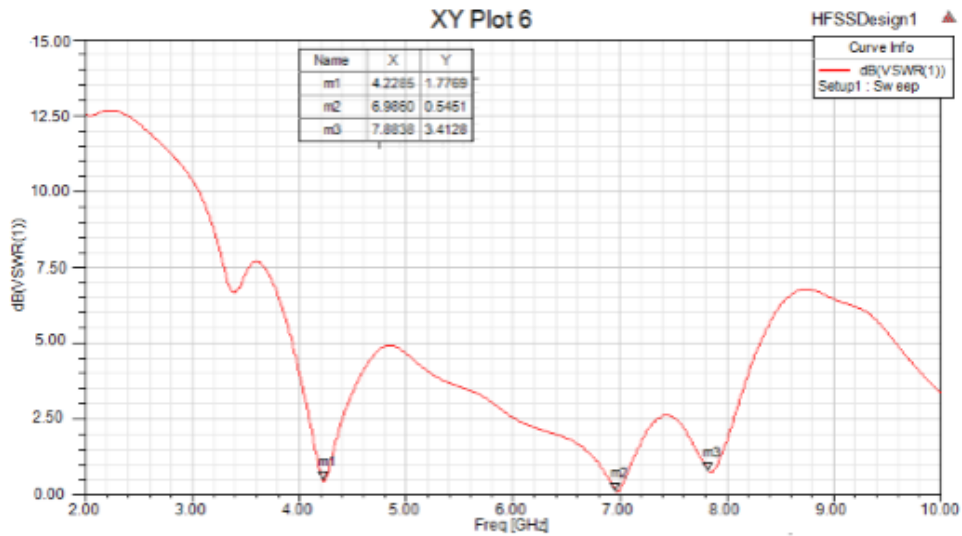


Figure III. 12: Variation du rapport d'onde stationnaire en fonction de la fréquence

Fr (GHz)	4.22	6.96	7.85
S11 (d B)	-24.83	37.83	-20.15
Vswr (dB)	1.77	0.54	3.41

Tableau III. 7: Variation des paramètres S_{11} et V_{swr} en fonction de la fréquence de résonance pour un substrat FR4_expoxy ($\epsilon_r = 4.4$)

L'antenne est bien adaptée, pour une valeur minimale de rapport axial < 2 dB :

- $V_{SWR0} = 1.77$ dB correspondant à la fréquence de résonance $f_0 = 4.2285$ GHz.
- $V_{SWR0} = 0.549$ dB correspondant à la fréquence de résonance $f_0 = 6.9880$ GHz.

L'antenne est assez bien adaptée sur la bande [4.2-8]. Cette largeur de bande couvrant les applications dans la bande C à savoir les systèmes de communication par satellites.

D'après cette étude, nous constatons que :

- ✓ l'adaptation s'améliore légèrement en augmentant la permittivité du substrat.
- ✓ une adaptation est assurée sur une très large bande passante pour le substrat type Epoxy fr4
- ✓ le substrat type Epoxy fr4 présente un bon rapport prix/qualité, de ce fait, notre choix va se porter sur ce dernier dans la suite de notre étude.

III-4.1.2. Influence de la hauteur des substrats

Afin d'étudier l'influence de la hauteur des substrats sur les caractéristiques de l'antenne, nous allons tracer les coefficients de réflexion S_{11} pour différentes valeurs de h_1 .

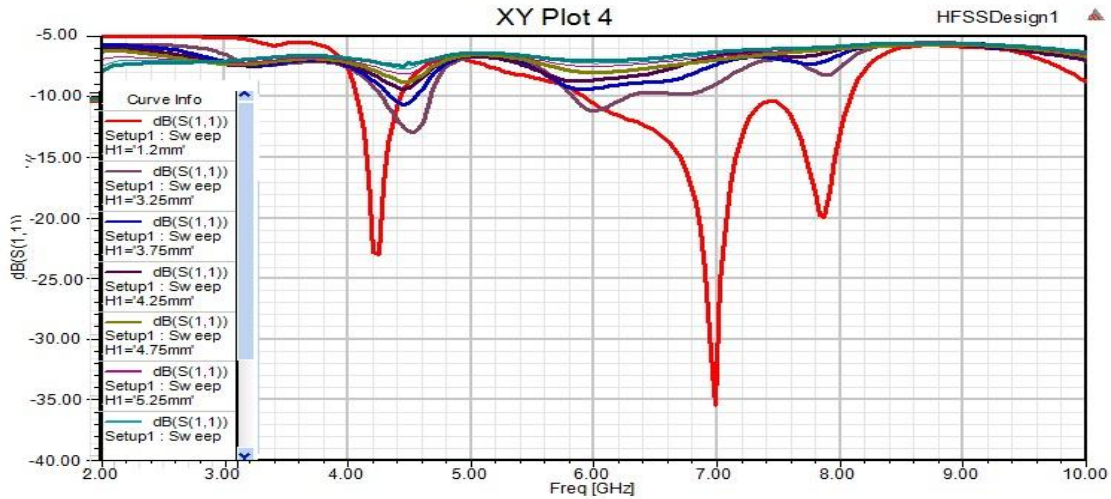


Figure III. 13: Variation du coefficient de réflexion S_{11} en fonction de h_1

La Figure III.13 montre les résultats de la simulation du paramètre S_{11} de l'antenne pour différentes valeurs de h_1 , on peut constater clairement l'augmentation de la largeur de bande avec une bonne adaptation pour une hauteur $h_1 = 1.2\text{mm}$

III-4.1.2 Influence de la position du point d'alimentation

Le choix de la position du point d'alimentation est un facteur très important pour optimiser l'adaptation de l'antenne. La figure représente la variation du coefficient de réflexion S_{11} pour différentes valeurs du point d'alimentation. On a procédé au changement du point d'alimentation pour différentes valeurs jusqu'à avoir une bonne optimisation des résultats.

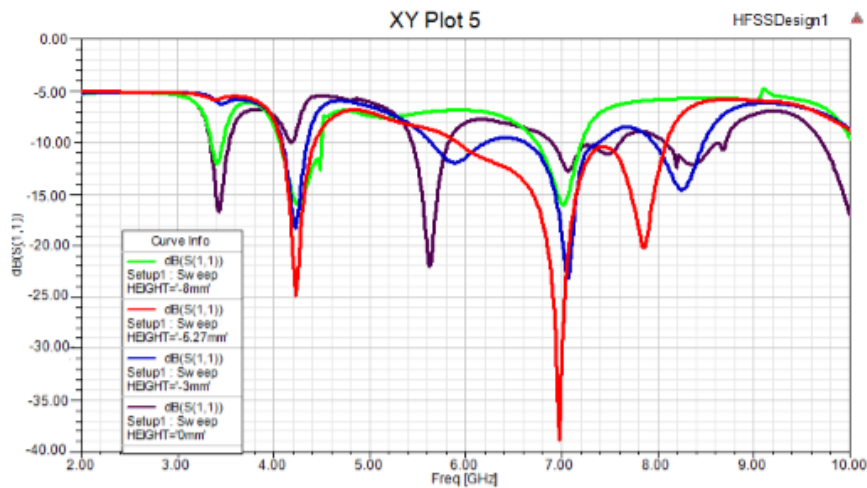


Figure III. 14 : Variation du coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la position du point d'alimentation

En analysant les courbes de la Figure III.14, on constate que pour des variations de la position d'alimentation selon l'axe y allant de $y = 0$ mm à -8 mm, nous obtenons une meilleure adaptation concernant les trois fréquences avec une large bande passante pour une position

$$y = -5.27 \text{ mm}$$

III-4.1.3 Influence de la couche d'air

On sait bien que deux couches d'air sont utilisées dans notre structure :

La 1ere de hauteur H_a sépare le 1^{er} et le 2^{ème} substrat, l'autre de hauteur H_{A1} sépare le 2^{ème} et le 3^{ème} substrat

❖ 1^{er} cas : Valeur $ha1$ est fixée à 2mm, et on fait varier ha de 0 à 8 mm

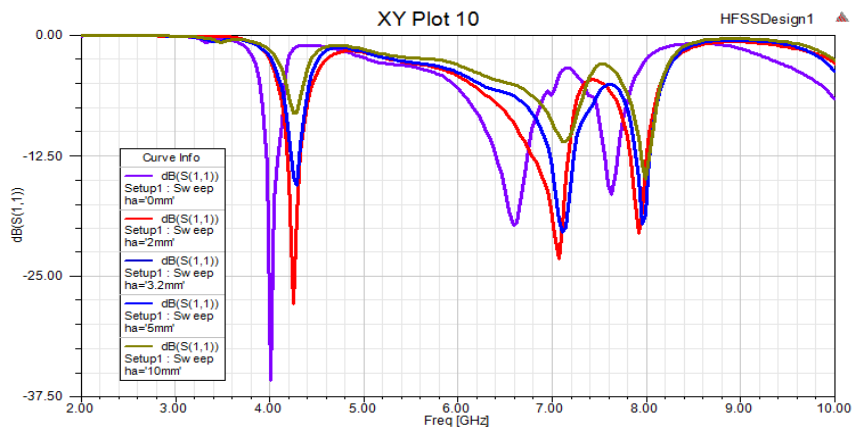


Figure III. 15: Effet de la hauteur H_A

❖ 2^{ème} cas : la valeur HA est fixée à 2 mm, et on fait varier $HA1$ de 0 à 8 mm

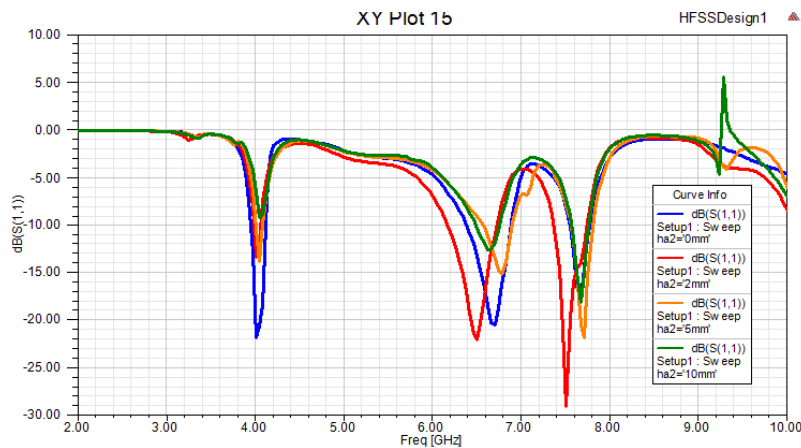


Figure III. 16: Effet de la hauteur H_{A1}

Les Figure III.15 et III.16 montrent les résultats de la simulation du paramètre S_{11} de l'antenne pour différentes valeurs de H_A , et H_{A1} respectivement on peut constater clairement que H_A et

HA1 n'affectent pas beaucoup la largeur de bande ,par contre plus La valeur de HA et HA1 augmentent plus il y a une diminution du coefficient de réflexion.

III.4.2 Caractéristique de rayonnement de l'antenne optimisée

La précédente partie, relative à l'optimisation de l'antenne , a permis de mettre en évidence le rôle des paramètres critiques sur les différents caractéristiques de l'antenne, nous pouvons déduire une antenne multicouche optimisée dans cette partie fonctionnant dans la bande fréquentielle [3.1-10] GHz, avec des niveaux d'adaptation qui restent en dessous de -10 dB.

Les figures ci-dessous représentent le diagramme de rayonnement de l'antenne multicouche dans le **plan E** et dans le **plan H** aux fréquences : 4.2 GHz, 7Ghz et 8Ghz. De même une représentation du gain en 3D est tracée.

III.4.2.1 La fréquence 4.2 GHz :

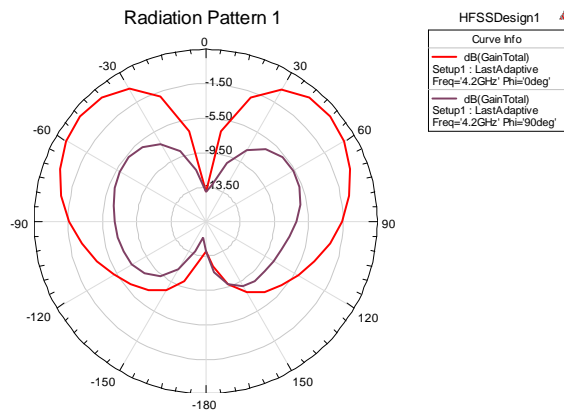


Figure III. 17 : Diagramme de rayonnement en 2D dans le plan E et dans le plan H

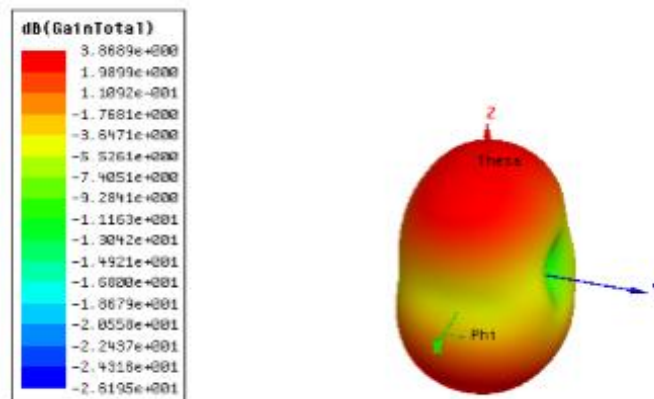


Figure III. 18: Diagramme de rayonnement en 3D dans le plan E et dans le plan H

Le gain maximal de cette antenne est de l'ordre de 3.86 dB

III.4.2.2 La fréquence 7 GHz

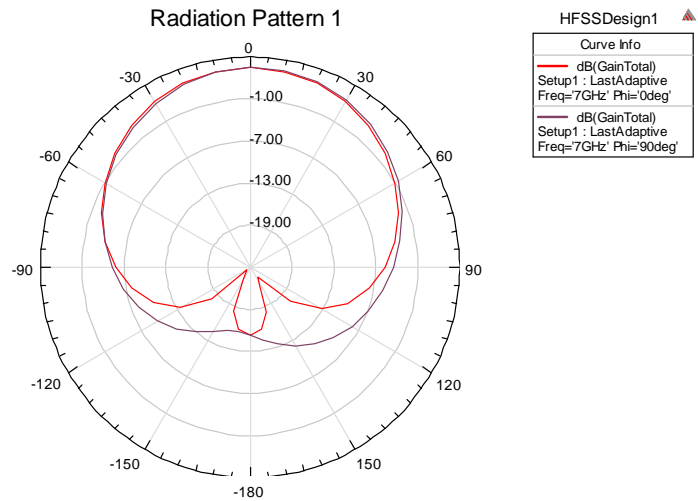


Figure III. 19 : Diagramme de rayonnement en 2D dans le plan E et dans le plan H

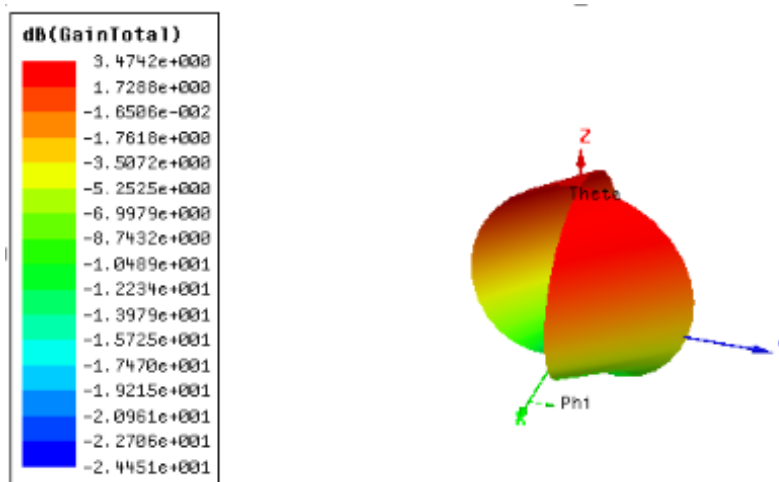


Figure III. 20: Diagramme de rayonnement en 3D dans le plan E et dans le plan H

Le gain maximal de cette antenne est de l'ordre de 3.47 dB

III.4.2.3 La fréquence 8 GHz

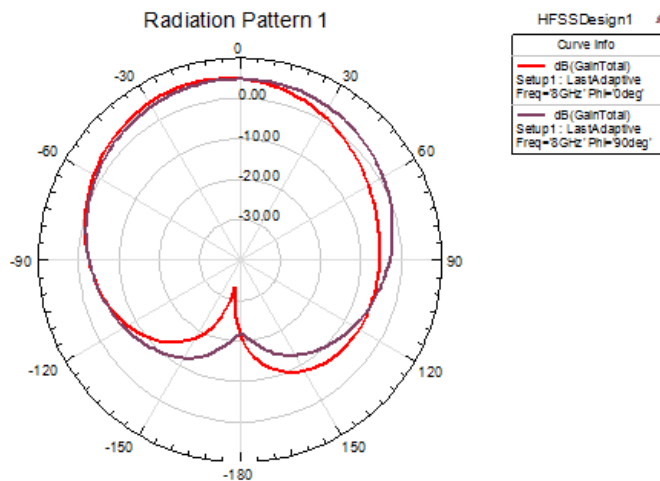


Figure III. 21 : Diagramme de rayonnement en 2D dans le plan E et dans le plan H

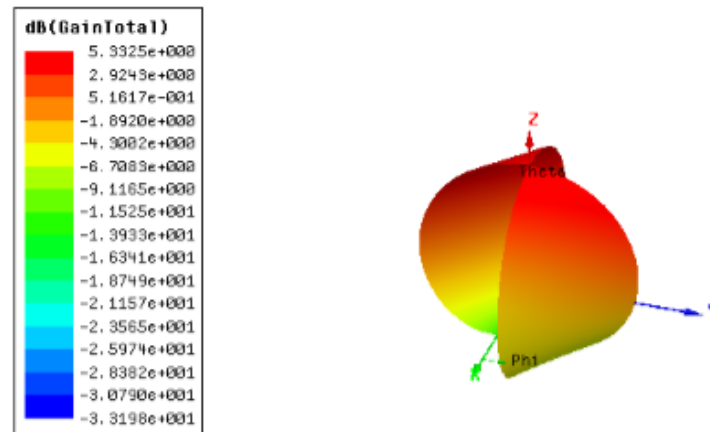


Figure III. 22: Diagramme de rayonnement en 3D dans le plan E et dans le plan H

On remarque que les diagrammes de rayonnement sont presque omnidirectionnels. Ils présentent une bonne stabilité sur toute la bande de fréquence convoitée et cela au niveau des deux plans principaux E et H. Le gain est en général assez modeste mais acceptable.

III.5. Conclusion

Dans ce chapitre, on a présenté une procédure générale de conception d'une antenne ULB.

La stratégie de simulation a été basée sur le dimensionnement de l'antenne à l'aide de Matlab, puis l'intégration des paramètres structuraux obtenus de l'antenne sous l'environnement HFSS. Une étude de l'influence de quelques paramètres définissant la géométrie de l'antenne sur la conception des antennes imprimées ULB a été effectuée. Les caractéristiques obtenues pour l'antenne proposée (Bande passante, diagramme de rayonnement) confirment son aptitude dans des systèmes de communication ultra large bande.

Conclusion générale et perspectives

L'émergence des outils de communication radio-mobiles tels que : la norme GSM ou la nouvelle norme UMTS ou les technologies sans fil (WLAN, Bluetooth) incitent les ingénieurs à concevoir des dispositifs miniaturisés avec un taux de transfert de données très rapides, exigeant à la fois des composants à large bande et à multi bandes. Pour répondre à ces besoins croissants de communication sans fil à haut débit, ces dispositifs doivent faire appel à des antennes avec des potentialités très attractives telles que : compacité, faible coût de fabrication, large bande passante et encombrement minimal. Compte tenu du besoin des antennes ultra large bande dans les systèmes de radiocommunications mobiles, l'objectif de ce mémoire était de concevoir et de modéliser une antenne destinée pour les systèmes ultra large bande dans un spectre de fréquence allant de 3.1 à 10.6 GHz.

Après une étude détaillée de la technologie ultra large bande et les antennes imprimées avec leurs paramètres d'adaptation pour les fréquences large suivi des caractéristiques a considérés pour leurs développement et d'une étude conceptuelle d'une structure d'antenne planaire adaptée aux systèmes de communication ULB.

Nous avons donc abordé les différentes étapes nécessaires à la modélisation de cette antenne à travers une nouvelle stratégie basée sur la combinaison entre la méthode analytique pour le dimensionnement de l'antenne et la méthode numérique pour la simulation de la structure. Une étude paramétrique a été menée qui nous a permis de se rapprocher du meilleur cas réel pour adapter la structure à la bande de fréquence souhaitée. Le comportement de notre antenne a été analysé en fonction des paramètres de conception : la géométrie de l'antenne et le point d'alimentation sur les caractéristiques électromagnétique (le diagramme de rayonnement). Les résultats obtenues montrent que cette antenne possède une bonne qualité d'intégration et d'adaptation, où les propriétés d'émission/réception en terme de coefficient de réflexion s_{11} sont satisfaisantes (amplitude inférieure à -10 dB) sur une gamme de fréquence allant de 4GHz à 8 GHz, avec un gain moyen et un rayonnement quasi-omnidirectionnel. A la base de cet ensemble d'avantages, cette antenne pourrait être employée dans les applications de télécommunication par satellites.

Plusieurs perspectives peuvent être envisagées pour cette étude. Tout d'abord, il paraît intéressant de continuer les recherches sur les antennes imprimées en optimisant ces structures

et en proposant d'autres formes. Egalement, pour valider les résultats d'antennes simulées, il est important soit :

- de réaliser les structures proposées et effectuer des mesures sur ces différentes configurations qui donnent des résultats promoteurs pour une application industrielle ;

Ou

- de déduire un modèle mathématique à partir du circuit électrique de l'antenne pour présenter leurs caractéristiques.

Références bibliographiques

- [1] N. Fortino, «Conception et caractérisation d'antennes imprimées pour systèmes Ultra-Large-Bande impulsions» Nice, 2010.
- [2] L. LABOUR, «Etude et conception d'antennes ultra large bande» Grenobl, 7 mai 2009.
- [3] M. K. OMAR, «Conception et modélisation d'une antenne pour les communications ULB» oran, 2013.
- [6] S. Somia, Etude et caractérisation d'antenne imprimées pour système ULB Thème Magister, université Biskra, 2015.
- [7] A. KAMLI, conception d'une antenne patch ultra-large bande (3.1 Ghz-10.6 Ghz) Thème de M.Sc, Université du Québec, 2011.
- [10] t. george.c, uwb and applications.
- [11] Z. Ahmed, «Etude et conception d'antenne standards et a bandes rejetées,» tlemcen, 2014.
- [12] R. Yahya, «l'etude et la realisation des antennes ULB a double polarisation,» 2011.
- [13] C. Requin, «Antennes quasi-auto-complementaires pour terminaux mobiles multi-standards,» 2013.
- [14] L. CHUSSEAU, «Paramètres S - Antennes,» Montpellier, 2006.
- [16] A. Boyer, «Antennes -support de cours,» Toulouse, 2011.
- [17] Z. K. DJALAL, «Etude et conception antenne ultra large bande,» tlemcen, 2011.
- [19] D. M. P. & D. H., The Analysis and Design of Microstrip Antennas and Arrays.
- [20] A. K. Bhattacharyya, , ,,,Long rectangular patch antenna with a single feed ""',IEEE Transactions on Antennas and Propagations, Vol. 38 , N°. 7, pp. 987-993,, July 1990.
- [21] C. A. Balanis, , ,,,Antenna theory analysis and design""',2eme edition ,, John Wiley and Sons, 1997.
- [22] L. BABOUR, «Etude et conception d'antennes ultra large bande,» Grenobl, 7 mai 2009.
- [23] G. Mohamed, «Conception d'une antenne ''PIFA'' multibandes pour applications sans fil,» Fès, 2016.
- [24] M. Diblang, «Développement du concept de l'antenne a résonateur BIE pour la génération de la polarisation circulaire,» Limoges, 2006.
- [25] A. Bada et F. Fateh, «La Qualité de Service avec le protocole RPL dans l'Internet des Objets,» Mémoire de Master, Université Batna 2, 2016.
- [26] S. Nefti et M. Sedrati, «PSNR and Jitter Analysis of Routing Protocols for Video Streaming in Sparse MANET Networks, using NS2 and the Evalvid Framework.",» International Journal of Computer Science and Information Security (IJCSIS), arXiv preprint arXiv:1604.03217., vol. 14, n° 13, 2016.
- [27] H. Xiao, W. K. Seah, A. Lo et K. C. Chua, «A flexible quality of service model for mobile ad-hoc networks,» In Vehicular Technology Conference Proceedings, 2000. VTC 2000-Spring. IEEE 51st, vol. 1, pp. 445-449, 2000.

- [28] M. Sedrati et H. Taleb, «Impact of routing protocols on the quality of transmission for video streaming,» Proceedings of the International Conference on Internet of things and Cloud Computing. ACM, 2016., p. 81, 22 - 23 March 2016.
- [29] D. M. Pozar, “ Microstrip antennas”, IEEE, Vol. 80, N° .1, pp. 79-91, January 1992.
- [30] d. grenier, Antennes et propagation radio, 2017.

Annexe 1

I. Introduction

Dans cet annexe, on va exposer le simulateur HFSS (High Frequency Structure Simulator), et on va détailler son processus de fonctionnement (la création des structures, l'analyse, l'excitation, les conditions aux limites,...). Ensuite on va analyser un exemple d'antenne pour enfin comparer les résultats.

HFSS est un logiciel qui calcule le comportement électromagnétique d'une structure. Pour analyser ce comportement en détails, le logiciel met à notre disposition des outils d'interprétation post-traitement. Il effectue une modélisation électromagnétique par résolution des équations de Maxwell à l'aide de la méthode des éléments finis.

Un projet HFSS est un dossier qui contient un (ou plusieurs) modèle(s) appelé(s) **design**, chaque modèle contient une structure géométriques conditions aux limites et les matériaux utilisés, ainsi que les solutions de champs électromagnétiques et les interprétations post-traitement. Tous ces composants peuvent être atteints par la fenêtre **Project Manager** dans l'environnement HFSS.

Dans ce chapitre on s'intéresse aux différents aspects de ce logiciel utilisé dans notre projet.

II. L'interface HFSS

L'interface et l'arbre HFSS sont présentés respectivement sur les figures A.1 et A.2.

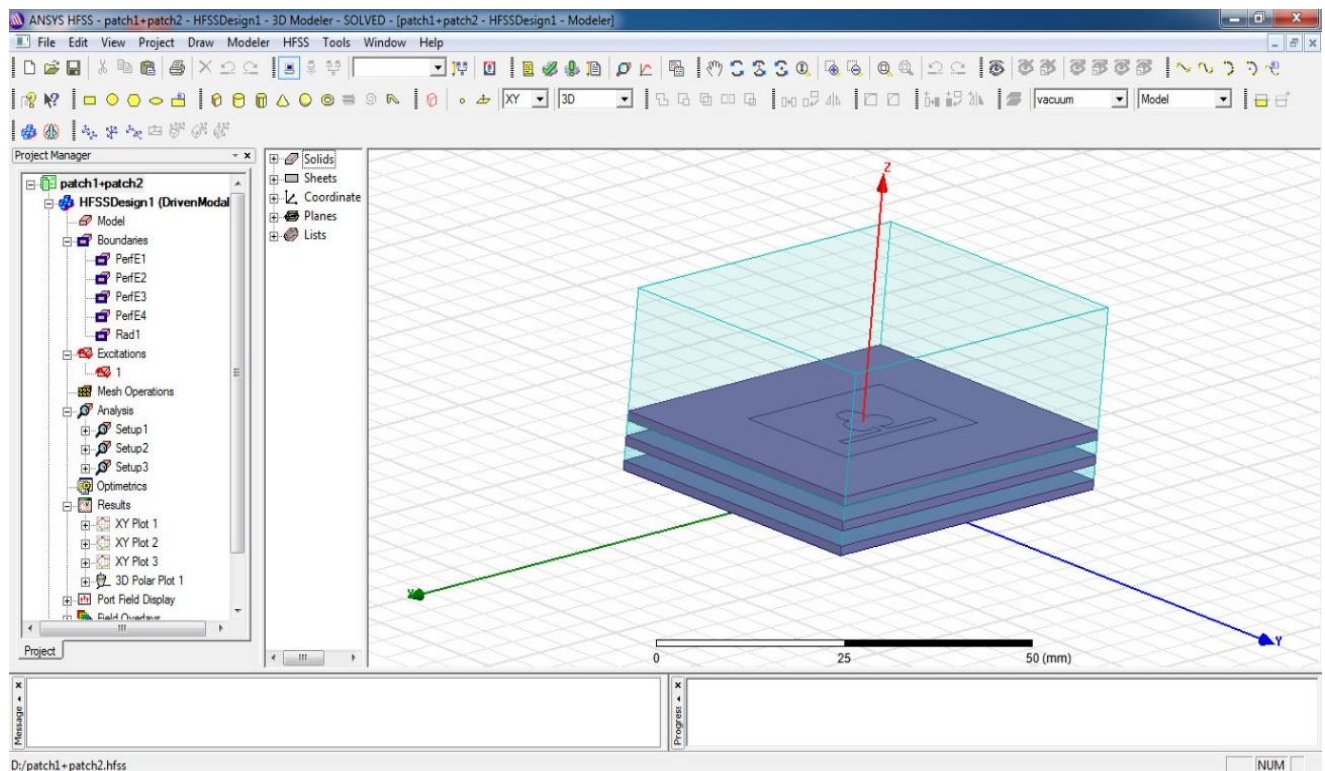


Fig. A. 1: L'interface HFSS.

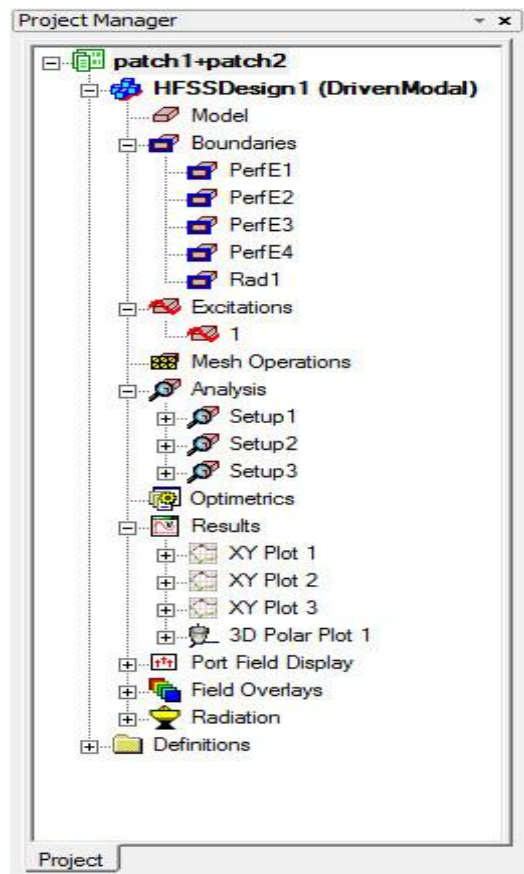


Fig. A. 2: L'arbre de gestion d'une structure sous HFSS.

III. Le processus de HFSS :

Le processus HFSS se déroule comme suit (figure A.3).

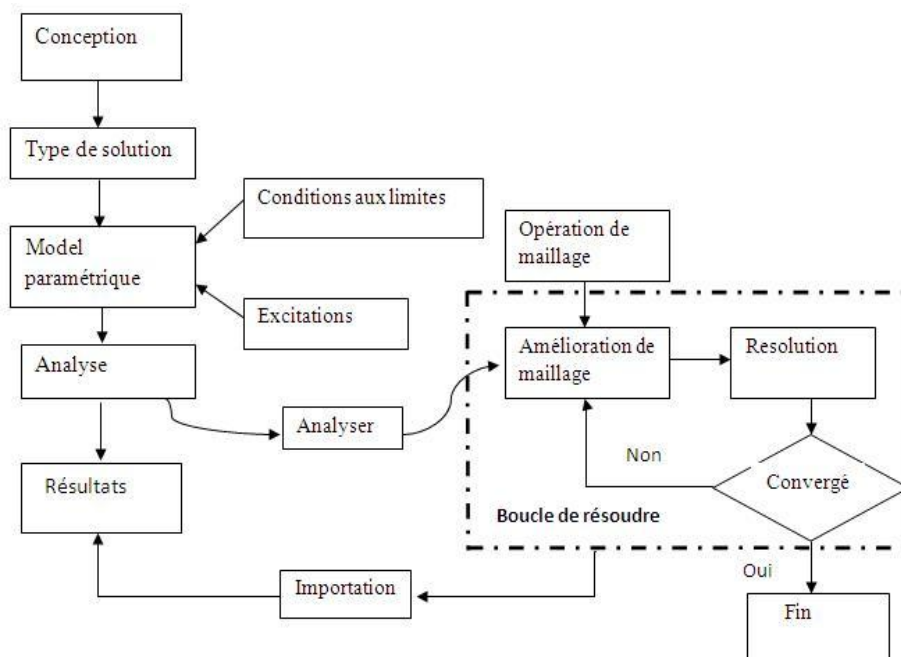


Fig. A. 3: le processus HFSS

IV. Création des projets

Sur le menu File, cliquer New. Vous spécifiez le nom du projet quand vous le sauvez utiliser le chemin : File>Save ou File>Save As. Pour un projet précédemment sauvé on utilise la commande : File > Open.

Pour concevoir une structure sur HFSS, suivre ce procédé général. Noter qu'après avoir inséré une conception, vous n'avez pas besoin d'exécuter les étapes séquentiellement, mais elles doivent être accomplies avant qu'une solution puisse être produite.

❖ Insérer une conception de HFSS dans un projet.

1) Sur le menu de projet, cliquer sur Insert HFSS Design.

HFSS Design par défaut, où n est l'ordre dans lequel la conception a été ajoutée au projet. La fenêtre du modéliser 3D apparaît à la droite de la fenêtre de gestion de projet. Nous pouvons maintenant créer modèle de la géométrie.

Nous pouvons choisir le **Rescale** à la nouvelle option d'unités pour adapter les dimensions aux nouvelles unités. Dégager le **Rescale** à la nouvelle option d'unités (par défaut) pour convertir les dimensions en nouvelles unités sans changer la structure.

Cliquer sur OK pour appliquer les nouvelles unités au modèle.

La nouvelle conception est énumérée dans l'arbre de projet. Elle est appelée

❖ Placement des unités du modèle de la mesure

Nous pouvons alors choisir de montrer les dimensions du modèle dans les nouvelles unités, ou adapter les dimensions du modèle aux nouvelles unités.

Pour placer les unités du modèle de la mesure :

1. Sur le menu du modéliseur 3D, cliquer sur **units**. La zone de dialogue d'unités de modèle d'ensemble apparaît (figure A.4).

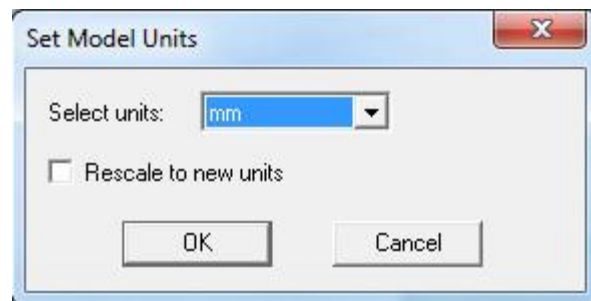


Fig. A. 4 : la sélection des unités.

2. Choisir les nouvelles unités pour le modèle à partir de la liste déroulante d'unités choisies.

❖ Dessiner un modèle :

Pour créer une structure en 3D il suffit de la dessiner avec les outils mis à disposition par le logiciel. Ici, nous ne décrivons que les parties les plus difficiles à mettre en œuvre

s pouvez créer les objets 3D en employant les commandes de l'aspiration de HFSS (HFSS > Draw > commandes). Des objets sont dessinés dans la fenêtre du modéliseur 3D (figure A.5).

A. Utilisation des variables du projet

HFSS nous permet de définir les variables pour les associer à certains paramètres de la structure, comme les dimensions, les propriétés des matériaux... (figure A.6).

L'utilisation des variables pour associer les dimensions simplifie les éventuels changements de ce dernier. Par exemple dans notre cas pour changer les excitations et dimensions du plot il suffit de changer la valeur de la variable correspondante.

Pour déterminer une variable, il faut sélectionner **Project > Project Variables** et entrer son nom, sa valeur et son unité. Une fois qu'une variable a été définie on peut utiliser son nom en place de sa valeur. HFSS nous permet aussi d'utiliser des fonctions mathématiques de variables définies.

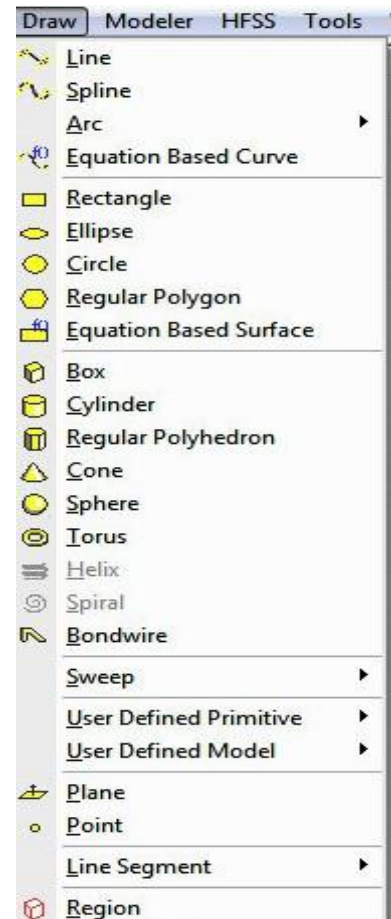


Fig. A. 5: Fenêtre de gestion des différentes modèles à dessiner sur HFSS.

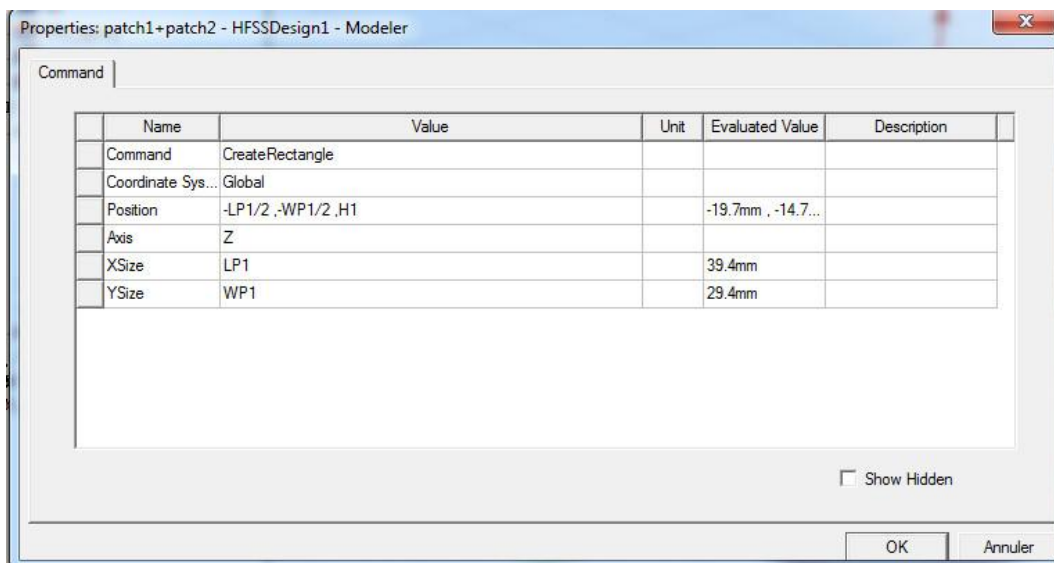



Fig. A. 6: Utilisation des variables dans HFSS

b. Soustraction des objets (figure A.7)

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

- ✓ On dessine l'objet principal ainsi que les objets qu'on souhaite soustraire de celui-ci.
- ✓ On sélectionne l'objet principal.
- ✓ En appuyant sur le bouton **CTRL** on sélectionne les objets que l'on veut soustraire.
- ✓ On clique sur **Subtract** 
- ✓ Objets listés dans la partie "**Tool Parts**" sont à soustraire des objets listé sous "**Blank Parts**".
- ✓ Si l'on veut que HFSS garde une copie des objets soustraits on coche l'option **Clone tool objects before subtract**.
- ✓ On appuie sur **OK**.

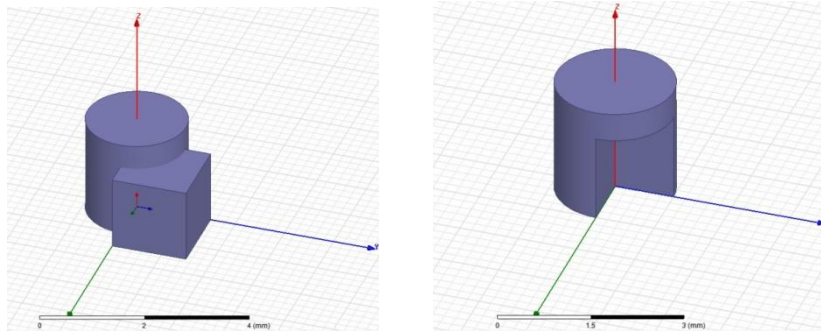


Fig. A. 7 : Soustraction des objets.

V. Types de solution dans HFSS

La première étape de faire une simulation est de déterminer le mode de solution qu'on souhaite réaliser. Les types d'accès et les résultats obtenus dépendent du type de solution sélectionnée. Alors Sur le menu de HFSS, cliquer sur **solution Type** et la fenêtre de dialogue de type de solution apparait (figure A.8).

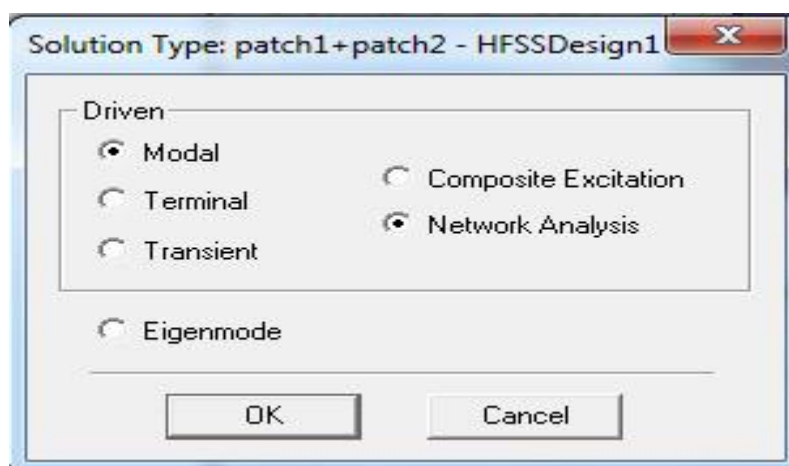


Fig. A. 8: Sélection de type de solution.

La deuxième étape est de Choisir le type de modèle dans les types de solution.

HFSS met à notre disposition trois différents types de solution, chacun optimisé pour un problème spécifique :

- **Driven Modal** : On utilise ce type quand on veut calculer les paramètres **S modal-based** d'une structure passive en haute fréquence comme les lignes coplanaires, les guides d'ondes et les cavités résonantes. Dans ce cas les paramètres S seront calculés en fonction des ondes incidentes et réfléchies.
- **Driven Terminal** : On utilise ce type quand on veut calculer les paramètres **S modal-based** de lignes de transmission à plusieurs conducteurs. Dans ce cas les paramètres S seront calculés en fonction de la tension et du courant aux accès.
- **Eigenmode**: On utilise ce type pour calculer les modes de résonance d'une structure. Le logiciel fournira la fréquence de résonance de la Structure et la distribution du champ électromagnétique à ces fréquences.

VI. Excitation d'une structure

Après avoir dessinée une structure, pour que le logiciel soit capable de faire la simulation, il faut exciter la structure.

❖ Standards types d'excitation utilisés par HFSS

Il existe différents types d'excitation, listés dans le tableau (Tab A.1). Le plus souvent, on utilise des Wave Ports mais dans notre cas on ne peut pas utiliser ce type d'accès parce que les surfaces qui sont relié aux excitations se trouvent dans la structure. Donc on utilise d'autre type d'accès (les accès localisés ou "Lumped Port" dans HFSS) .Ces accès sont automatiquement adaptés aux générateurs internes et les charges de HFSS (50ohm).

Types excitations	Commentaires
Wave Port	Représente la surface à travers laquelle un signal entre ou sort d'une structure.
Lumped Port	Représente la surface interne à travers laquelle un signal entre ou sort d'une structure.
Incident Wave	Représente une onde propageant impactant sur la structure
Voltage	Représente un champ électrique constant à travers des points d'excitations
Current	Représente un courant électrique constant à travers des points d'excitations
Magnetic Bias	Utilisé pour définir un champ interne qui polarise un objet 3D en ferrite

Tab. A. 1: Types d'excitations proposées par HFSS

VII. Conditions aux limites :

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

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

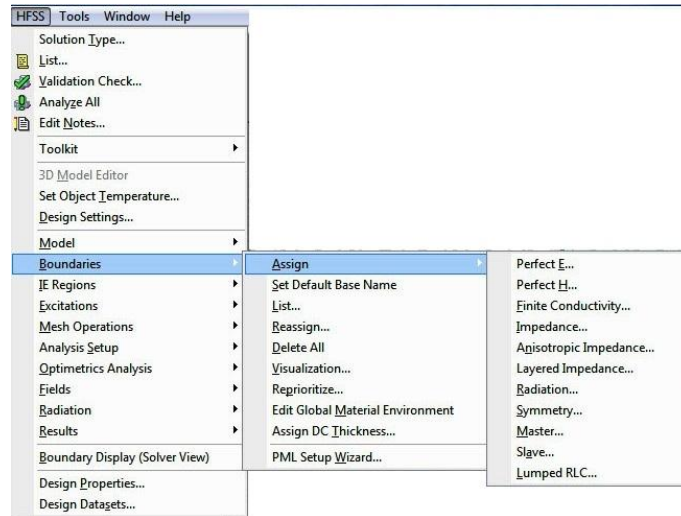


Fig. A. 9: création des conditions aux limites (boundary).

VIII. Génération des rapports

Une fois que la simulation est finie, on utilise les rapports pour consulter les résultats obtenus. Pour créer un rapport, on sélectionne **HFSS ► Results ► Create Report** et choisit le type du rapport (paramètres S ou les champs) et son format d'affichage (rectangulaire, sur l'abaque de Smith, polaire,...). La fenêtre de création des **Traces** s'ouvre. On choisit la quantité que l'on veut tracer et on appuie sur **OK**.

On peut aussi définir les relations mathématiques à partir des résultats obtenus : dans la fenêtre

Traces on appuie sur **Output variables...** et on entre l'expression et le nom de variable que l'on veut définir.

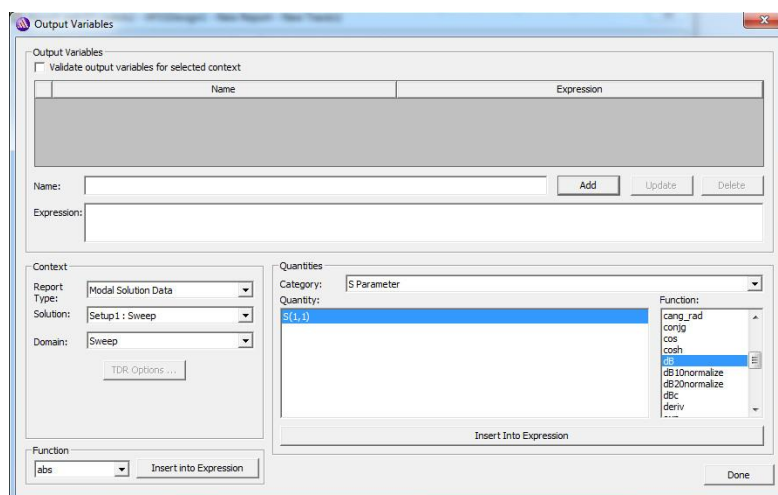


Fig. A. 10: Définition d'un Variable non prédéfinie sur HFSS.

IX. Les étapes à suivre pour créer une excitation

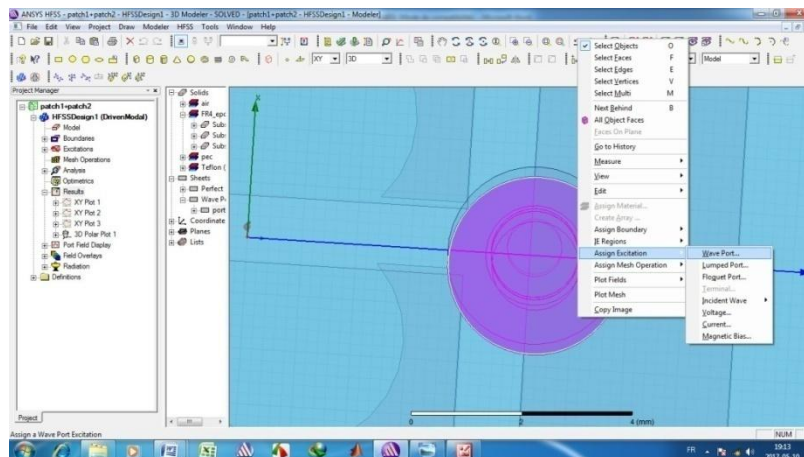


Fig. A. 11: création d'une excitation.

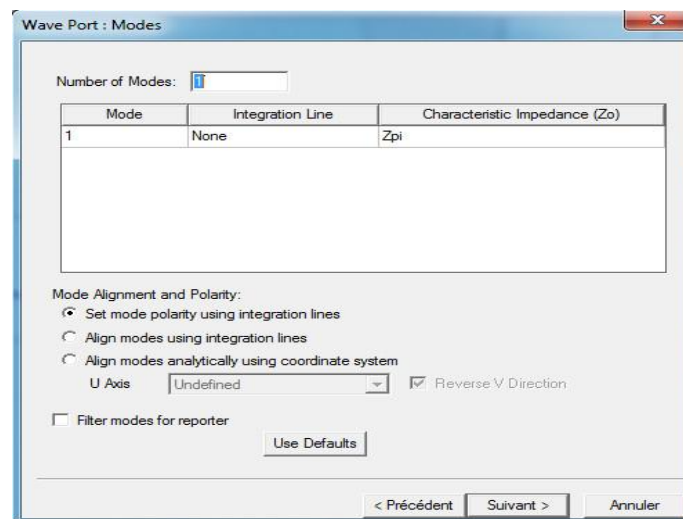


Fig. A. 12: Définition des modes d'excitation.

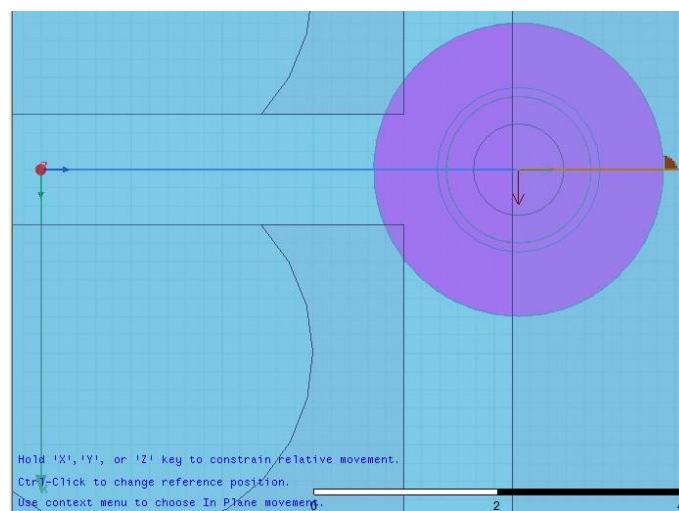


Fig. A. 13: représentation de la ligne d'excitation.

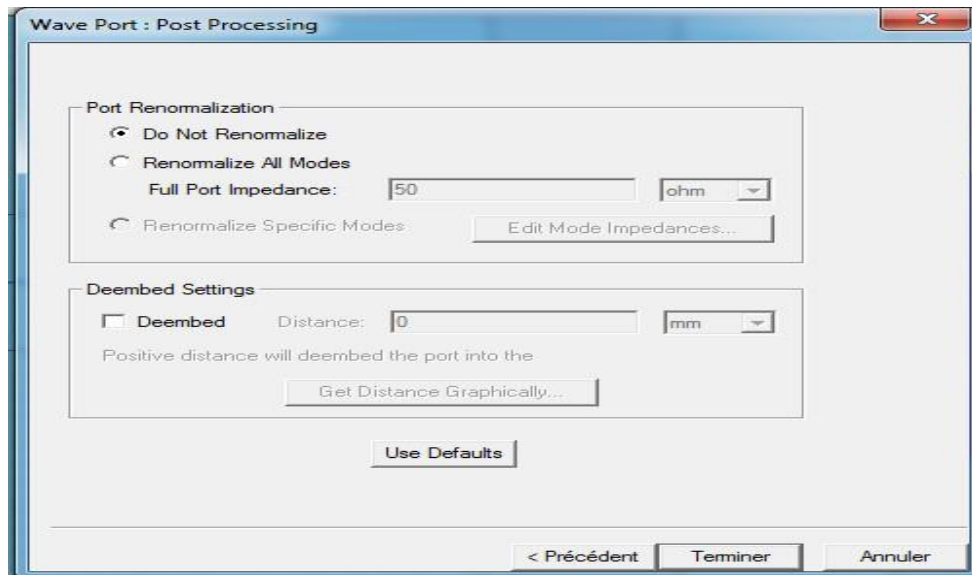


Fig. A. 14: normalisation des impédances.

❖ L'analyse :

C'est la partie la plus intéressante après la création de structure, dans la quel on précise la plage de fréquence et le type de pas (Figures A.15, A.16).

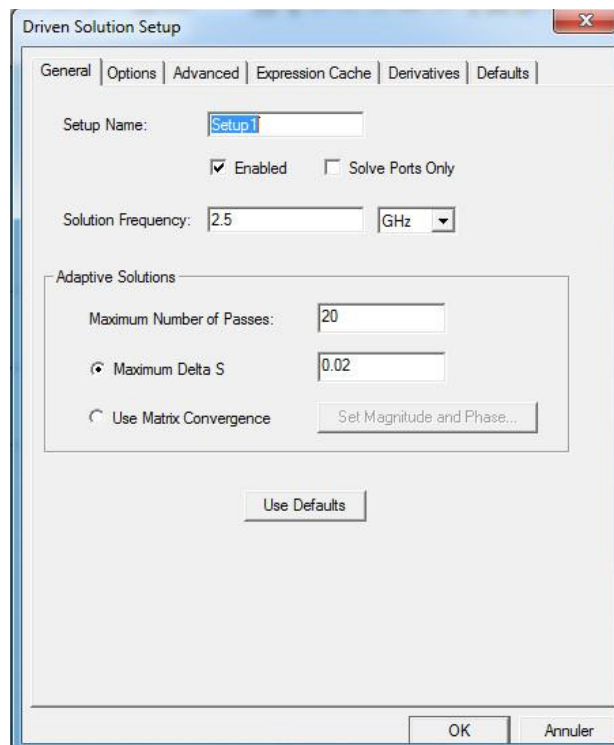


Fig. A. 15: Définition de solution d'analyse (fréquentielle).

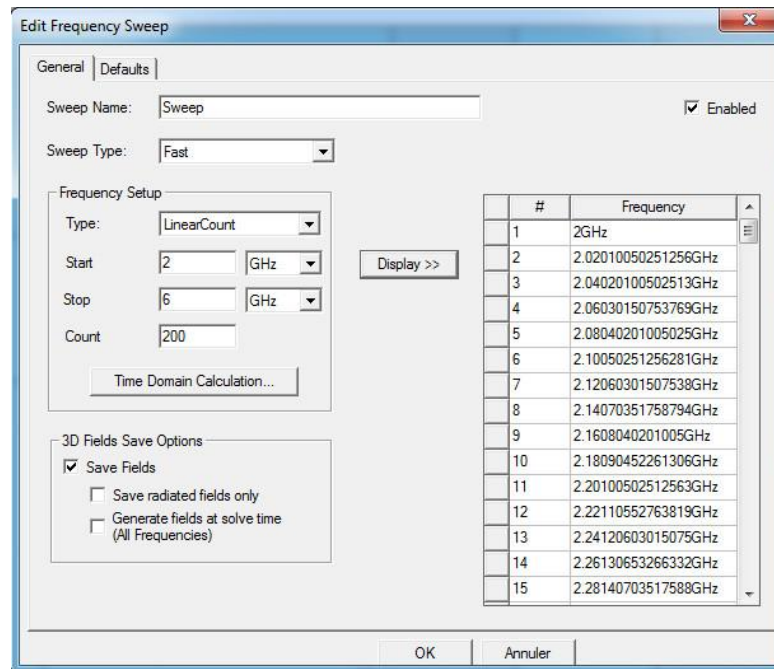


Fig. A. 16: Définition de la plage de fréquence et aussi le type d'analyse.

❖ Validation :

Cette étape est responsable pour la détection des erreurs de conception et l'analyse et même chose pour l'excitation et les conditions aux limites.

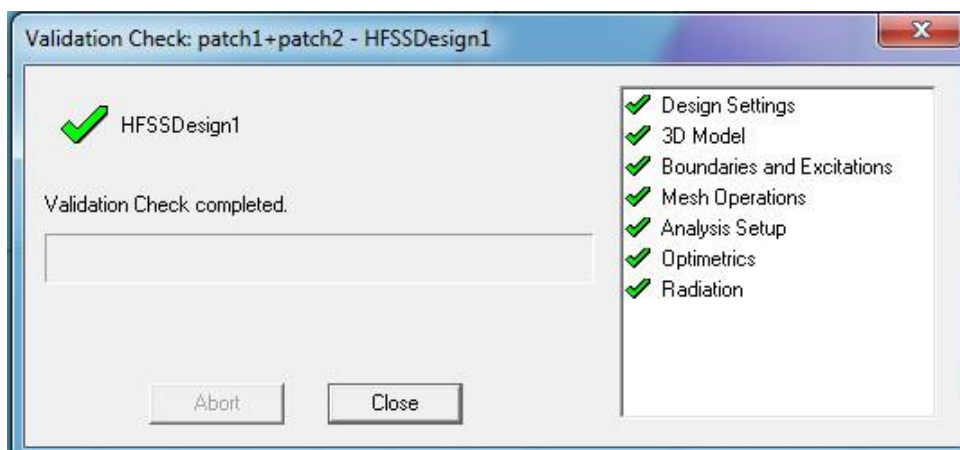


Fig. A. 17: le contrôle de validation.

❖ Les résultats

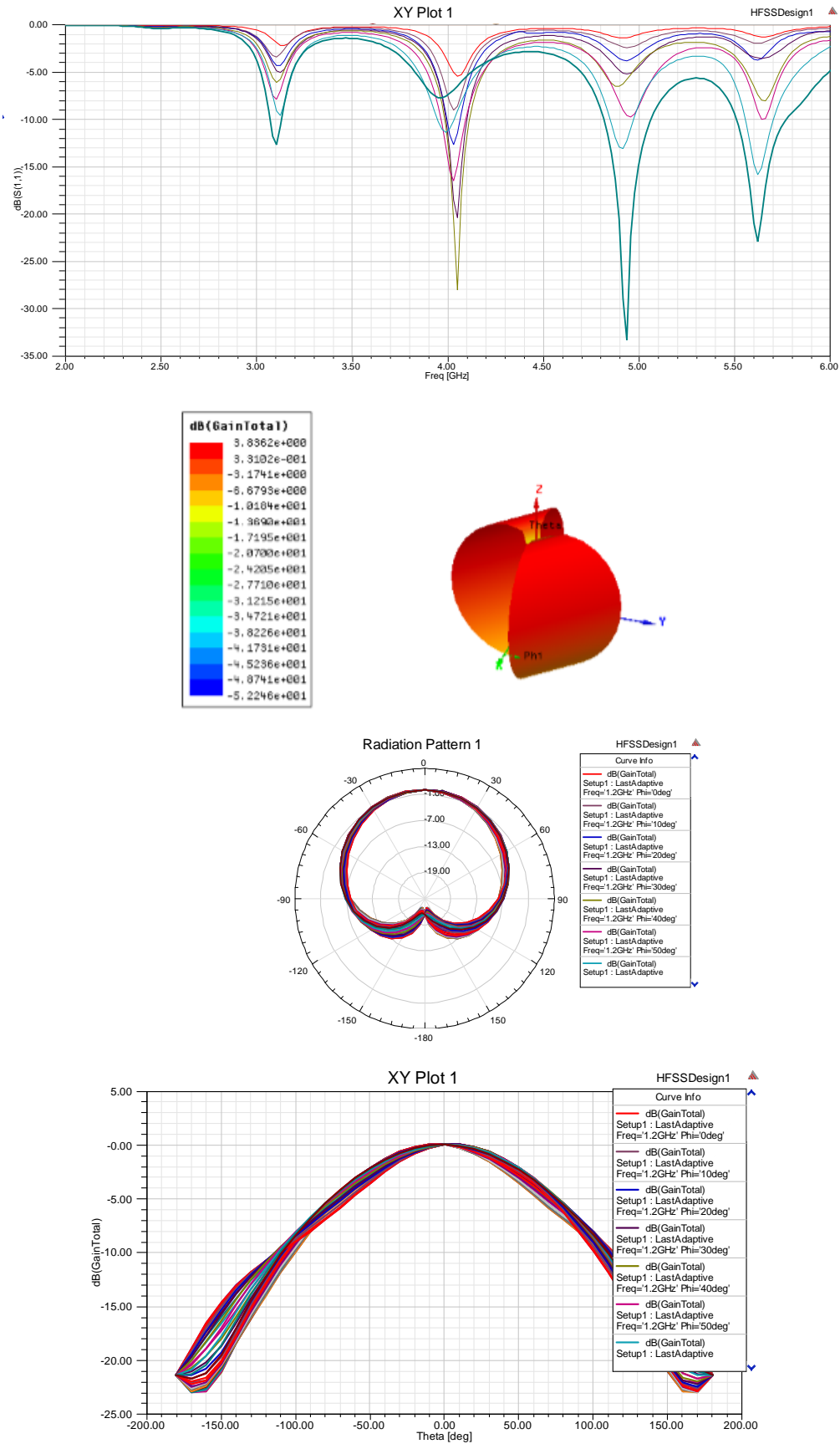


Fig. A. 18: Résultats obtenues par HFSS.

Annexe 2

Calcul des dimensions théoriques du patch

Pour simplifier et précisé le calcul on va poser les équations précédentes sur un logiciel de calcul (MATLAB),

```
function[] = calcul_Antenne
global k0 W L
f = input( ' Donnez le fréquence de Résonance f on Ghz: ');
Er = input ( ' donnez diélectrique constant de substrat Er ');
h = input( 'donnez la hauteur de substrat h in mm: ');
h=h/1000; f=f*1e9; c = 3e8; k0=2*pi*f/c; Rin = 50;
W = ( c / ( 2 * f ) ) * ( ( 2 / ( Er + 1 ) )^0.5);
Er_eff = (Er+1)/2 + (( Er -1 )/2)*(1/(sqrt(1+(12*(h/W)))));
L_eff = c/(2*f*sqrt(Er_eff));
a1 = ( Er_eff + 0.3 ) * ( ( W / h ) + 0.264 );
a2 = ( Er_eff - 0.258 ) * ( ( W / h ) + 0.8 );
delta_L = (0.412 * ( a1 / a2 )) * h;
L = L_eff - 2*delta_L; t = 0:pi; g1(t);
I1 = quad(@g1,0,pi); G1 = I1/(120*pi*pi);
g12(t);
I12 = quad(@g12,0,pi); G12 = I12/(120*pi*pi);
yo = (L/pi)*(acos(sqrt(2*Rin*(G1+G12))));
lambdaeff=(c/f)*sqrt(Er_eff);
LGP = (lambdaeff/4)*2+L; WGP = (lambdaeff/4)*2+W;
LGP1 = L+6*h; WGP1 = W+6*h;
str=['width = ', num2str(W*1000), ' mm']
str=['length = ', num2str(L*1000), ' mm']
str=['the inset feed point distance = ', num2str(yo*1000), ' mm']
str=['minimum GP length = ', num2str(LGP*1000), ' mm']
str=['minimum GP width = ', num2str(WGP*1000), ' mm']
str=['minimum GP length = ', num2str(LGP1*1000), ' mm']
str=['minimum GP width = ', num2str(WGP1*1000), ' mm']
end.
```