

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd - Tlemcen -

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Télécommunications

Spécialité : Systèmes des Télécommunications

Par :

TAOURIT Hanane & MOUALEK Nabila

Sujet

Conception et Analyse d'Antennes Microrubans à Polarisation Circulaire

Soutenu publiquement, le 27 /06 /2022 , devant le jury composé de :

Mr MERIAH. S.M

Mr BABA AHMED.M. Z

Mme SELADJI. N

Professeur

MCA

MCB

Université de Tlemcen

Université de Tlemcen

Université de Tlemcen

Président

Examineur

Encadrante

Année universitaire : 2021/2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicaces

Nous dédions ce travail à :

A nos parents

A nos frères et sœurs

A nos deux familles

A tous nos ami(e)s

Nabila et Hanane

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier (ALLAH) le tout puissant qui nous a accordé la volonté et le courage pour l'accomplissement de ce travail.

Nous voudrions exprimer par ce modeste travail notre gratitude, notre reconnaissance, nos grands remerciements à notre encadrante Mme. SELADJI Nawel, Maître de conférences classe B à l'université Abou Bekr-Belkaid – Tlemcen, pour avoir accepté de diriger ce mémoire, pour sa disponibilité, sa gentillesse, son soutien et ses encouragements, ses conseils durant tout le long du travail.

Nos remerciements vont également à Monsieur MERIAH SIDI MOHAMED Professeur à l'université de Tlemcen, pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant de présider le jury de ce mémoire.

Nous exprimons également nos remerciements à monsieur BABA AHMED ZAKARYA, Maître de conférences classe A à l'université de Tlemcen, pour avoir participé au jury et examiné ce travail.

Nous voudrions adresser nos remerciements à tous les enseignants et les personnes du département des télécommunications de la faculté de Technologie de Tlemcen, qui ont veillé à notre formation et pour leur gentillesse et leur disponibilité.

Encore un dernier remerciement à toute personne qui a contribué de près ou de loin dans la réussite de ce modeste travail.

Résumé

L'antenne est un élément indispensable dans un système de communication radiofréquence, elle permet d'émettre et de recevoir des informations sous la forme d'ondes électromagnétiques. Les conceptions actuelles tendent vers l'utilisation d'antennes à faible profil afin de les intégrer facilement au niveau des appareils de communication qui deviennent de plus en plus compacts. Les antennes microrubans semblent être des candidates idéales, elles sont omniprésentes dans plusieurs domaines de communications sans fil.

Plusieurs applications requièrent actuellement des antennes polarisées circulairement car cette propriété intéressante permet de résoudre certains problèmes liés aux trajets multiples et au problème d'alignement entre les antennes émettrice et réceptrice. C'est la raison pour laquelle nous nous sommes intéressés à ce type de polarisation dans le cadre de ce projet.

Notre objectif est de concevoir plusieurs structures d'antennes microrubans à polarisation circulaire, destinées aux applications sans fil telles que les systèmes de positionnement par satellites GNSS et GPS ainsi que les systèmes d'identification radiofréquence RFID. Cette étude permettra de mettre en exergue les différentes techniques utilisées pour obtenir une telle polarisation. Des études paramétriques sont menées afin d'obtenir une antenne performante ayant un gain acceptable et une bande passante adéquate dans laquelle l'antenne possède des propriétés à polarisation circulaire. Les antennes microrubans conçues seront modélisées et simulées sous environnement CST-Microwave Studio, basé sur la méthode intégrale (FIT).

Mots clés : Antennes Microrubans, polarisation circulaire, Rapport Axial, CST-MWS.

Abstract

The antenna is an essential element in the radiofrequency communication system, it allows the transfer of information carried by electromagnetic waves. Current designs tend towards the use of low profile antennas in order to easily integrate them into communication devices which are becoming more and more compact. Microstrip antennas seem to be ideal candidates, they are ubiquitous in several fields of wireless communications.

Several applications currently require circularly polarized antennas because this interesting property solves some problems related to multiple paths and the problem of alignment between the transmitting and receiving antennas. This is the reason why we are interested in this type of polarization within the framework of this project.

Our goal is to design several structures of circularly polarized microstrip antennas, intended for wireless applications such as satellite positioning systems GNSS and GPS as well as radio frequency identification systems RFID. This study will highlight the different techniques used to obtain such a polarization. Parametric studies are carried out in order to obtain an efficient antenna having an acceptable gain and an adequate bandwidth in which the antenna has circular polarization properties. The designed microstrip antennas will be modeled and simulated in a CST-Microwave Studio environment, based on the integral method (FIT).

Keywords: Microstrip antennas, circular polarization, Axial Ratio, CST-MWS.

ملخص

يعد الهوائي عنصرًا أساسيًا في نظام اتصالات التردد اللاسلكي، فهو يسمح بنقل واستقبال المعلومات على شكل موجات كهرومغناطيسية. تميل التصميمات الحالية إلى استخدام هوائيات منخفضة الارتفاع من أجل دمجها بسهولة في أجهزة الاتصال التي أصبحت أصغر حجمًا. يبدو أن الهوائيات المطبوعة هي مرشح مثالي، فهي موجودة في العديد من مجالات الاتصالات اللاسلكية.

تتطلب العديد من التطبيقات حاليًا هوائيات مستقطبة دائريًا لأن هذه الخاصية المثيرة للاهتمام تحل بعض المشكلات المتعلقة بالمسارات المتعددة ومشكلة المحاذاة بين هوائيات الإرسال والاستقبال. هذا هو سبب اهتمامنا بهذا النوع من الاستقطاب في إطار هذا المشروع.

هدفنا هو تصميم العديد من الهياكل من الهوائيات المطبوعة دائرية الاستقطاب، والمخصصة للتطبيقات اللاسلكية مثل أنظمة تحديد المواقع عبر الأقمار الصناعية GNSS و GPS وكذلك أنظمة تحديد تردد الراديو RFID. ستسلط هذه الدراسة الضوء على التقنيات المختلفة المستخدمة للحصول على مثل هذا الاستقطاب. يتم إجراء الدراسات البارامترية من أجل الحصول على هوائي فعال له كسب مقبول وعرض نطاق مناسب يكون للهوائي فيه خصائص استقطاب دائري. سيتم تصميم هوائيات مطبوعة مصممة بواسطة البرنامج الكهرومغناطيسي CST-Microwave Studio ، بناءً على الطريقة المتكاملة (FIT).

الكلمات المفتاحية: الهوائيات المطبوعة، استقطاب دائري، النسبة المحورية، CST-Microwave Studio .

Table des Matières

Dédicaces	i
Remerciements	ii
Résumé	iii
Abstract	iv
ملخص	v
Table des Matières	vi
Liste des figures	ix
Liste des tableaux	xii
Abréviations	xiii
Introduction Générale	1
Chapitre I : La technologie des antennes microrubans	5
I.1 Introduction	5
I.2 Historique	5
I.3 Structure d'une antenne microruban	6
I.4 Fonctionnement D'une antenne Microruban	7
I.5 Différentes formes des antennes microrubans	8
I.6 Alimentation des antennes microrubans	9
I.6.1 Alimentation par contact	9
I.6.1.1 Alimentation par ligne microruban	9
I.6.1.2 Alimentation par sonde coaxiale	10
I.6.2 Alimentation par couplage	10
I.6.2.1 Alimentation Couplée par fente	10
I.6.2.2 Alimentation par couplage de proximité	11
I.7 Caractéristiques de rayonnement	12
I.7.1 Directivité	12
I.7.2 Gain	13
I.7.3 Diagramme de rayonnement	14
I.7.4 Impédance d'entrée	15
I.8 Avantages et inconvénients	15

I.9 Application des antennes microruban :	16
I.10 Conclusion	16
Bibliographie	18
<i>Chapitre II : Antennes microrubans à polarisation circulaire</i>	21
II.1 Introduction	21
II.2 Une antenne microruban à polarisation circulaire	21
II.2.1 Les systèmes mondiaux de positionnement par satellite (GNSS)	21
II.2.2 Les applications de réseaux locaux sans fil (WLAN)	22
II.2.3 Les lecteurs d'identifications Radio Fréquence (RFID)	22
II.3 La polarisation	23
II.3.1 Notion de Polarisation	23
II.3.2 Le rapport axial (AR : Axial Ratio)	23
II.3.3 Types de polarisation	24
II.3.3.1 Polarisation linéaire	24
II.3.3.2 Polarisation circulaire	24
II.3.3.3 Polarisation elliptique	25
II.4 Différentes techniques pour obtenir une polarisation circulaire	25
II.4.1 Alimentation à un seul accès	25
II.4.1.1 Troncature des coins de l'antenne	26
II.4.1.2 Alimentation sur la diagonale d'un élément rayonnant légèrement rectangulaire	27
II.4.1.3 Insertion de stubs	27
II.4.1.4 Insertion de fente dans l'antenne patch	28
II.4.2 Alimentation à double accès	29
II.4.2.1 Ajout d'une ligne quart d'onde	30
II.4.2.2 Utilisation d'un diviseur de puissances Wilkinson	30
II.4.2.3 Insertion d'un coupleur hybride	31
II.5 Les limitations de la polarisation circulaire	31
II.6 Techniques d'amélioration des performances d'une antenne polarisée circulairement	32
II.6.1 Influence du substrat diélectrique	32
II.6.2 Empilement/combinaison de plusieurs éléments rayonnants	32
II.6.3 Insertion de fentes	34
II.7 Conclusion	34
Bibliographie	36

Chapitre III : Simulation de plusieurs structures d'antennes microrubans polarisées circulairement	40
III.1 Introduction.....	40
III.2 Description du Logiciel de Simulation CST.....	40
III.3 Conception de différentes structures antennaires à polarisation circulaire.....	40
III.3.1 Antenne microruban carrée avec quatre patches circulaires intégrés aux coins	40
III.3.1.1 Description de la géométrie de l'antenne	41
III.3.1.2 Etude paramétrique de l'antenne	41
III.3.1.2.1 Cas où les quatre cercles sont identiques	41
III.3.1.2.2 Variation du rayon r_1	42
III.3.1.2.3 Variation du rayon r_2	43
III.3.1.2.4 Variation du rayon r_3	44
III.3.1.2.5 Variation du rayon r_4	44
III.3.1.2.6 Résultats et discussions	45
III.3.2 Antenne microruban à polarisation circulaire ayant quatre fentes carrées	48
III.3.2.1 Description de la géométrie de l'antenne	48
III.3.2.2 Résultats de simulation.....	50
III.3.3 Application des techniques classiques de la polarisation circulaire	53
III.3.3.1 Détermination des paramètres géométriques d'une antenne patch	54
III.3.3.2 Conception d'une antenne imprimée à coins tronqués.....	54
III.3.3.2.a Spécifications techniques	54
III.3.3.2.b Conception d'une antenne microruban polarisée linéairement	55
III.3.3.2.c Géométrie de l'antenne imprimée à coins tronqués	57
III.3.3.2.d Résultats de simulation.....	58
III.3.3.3 Conception d'une antenne imprimée avec fente	60
III.3.3.3.a Géométrie	60
III.3.3.3.b Résultats de simulation.....	63
III.3.3.4 Conception d'une antenne imprimée alimentée sur la diagonale	65
III.3.3.4.a Géométrie et technique appliquée	65
III.3.3.4.b Résultats de simulation.....	66
III.4 Conclusion	68
Bibliographie	69
Conclusion Générale	71

Liste des figures

Chapitre I : La technologie des antennes microrubans

Figure I.1: Structure d'une antenne microruban	6
Figure I.2 : Antenne imprimée fonctionnant sur son mode fondamental.....	8
Figure I.3: Différentes formes du patch microruban.....	8
Figure I.4 : Alimentation par ligne microruban	9
Figure I.5: L'alimentation par une ligne microbande axiale(a), décalée (b) et avec encoches(c).....	10
Figure I.6: Alimentation par sonde coaxiale.....	10
Figure I.7: Alimentation couplée par fente.....	11
Figure I.8: Alimentation par proximité.....	12
Figure I.9: Représentation du diagramme de rayonnement d'une antenne.....	14

Chapitre II : Antennes microrubans à polarisation circulaire

Figure II.1: Rotation d'une onde plane et son ellipse de polarisation en fonction du temps à la position $z = 0$	23
Figure II.2: Différents types de polarisation.....	24
Figure II.3: Troncature des coins de l'antenne	26
Figure II.4: Alimentation sur la diagonale.....	27
Figure II.5: Configuration de l'antenne avec stubs.....	28
Figure II.6: Antenne patch avec fente (a) en forme de C, (b) en forme de F, (c) en forme de S et (d) en forme de croix	29
Figure II.7: Alimentation à double accès (a) par insertion d'une ligne quart d'onde, (b) utilisation du diviseur de puissance Wilkinson, (c) ajout d'un coupleur hybride	30
Figure II.8: Plusieurs configurations de patchs parasites	33
Figure II.9: Augmentation de la bande passante par ajout d'un patch parasite	33
Figure II.10: L'insertion de fentes au niveau du patch	34

Chapitre III : Simulation de plusieurs structures d'antennes microrubans polarisées circulairement

Figure III.1 : Géométrie de l'antenne proposée (a) vue en coupe (b) vue de dessus.	41
Figure III.2: (a) coefficient de réflexion,.....	42
Figure III.3: Rapport axial AR pour différentes valeurs de r_1	43
Figure III.4: Rapport axial AR pour différentes valeurs de r_2	43
Figure III.5: Rapport axial AR pour différentes valeurs de r_3	44
Figure III.6: Rapport axial AR pour différentes valeurs de r_4	45
Figure III.7: (a) Coefficient de réflexion S_{11} et (b) Rapport axial AR en fonction de la fréquence	46
Figure III.8: (a) Coefficient de réflexion S_{11} , (b) Rapport axial AR et gain en fonction de la fréquence de la référence [2]	46
Figure III. 9: Diagramme de rayonnement en 3D à la fréquence 1.575 GHz.....	47
Figure III.10: Diagramme de rayonnement en 2D sur les deux plans : (a) plan xoz et (b) plan yoZ	47
Figure III.11: Diagramme de rayonnement en 2D sur les deux plans selon [2] : (a) xoz et (b) yoZ	48
Figure III.12: Géométrie de l'antenne proposée(a) vue en coupe (b) vue de dessus	49
Figure III.13: (a)Coefficient de réflexion S_{11} et (b) Rapport axial AR en fonction de la fréquence.....	50
Figure III.14: Rapport axial, en fonction de la fréquence ($S_1=S_2$).....	51
Figure III.15: (a) Coefficient de réflexion S_{11} (b) Rapport axial AR et gain en fonction de la fréquence selon la référence [3]	51
Figure III.16: Diagramme de rayonnement en 3D à la fréquence 1.575 GHz.....	52
Figure III.17: Diagramme de rayonnement en 2D sur les deux plans :(a) $\phi=0^\circ$ et (b) $\phi=90^\circ$	52
Figure III.18: Diagramme de rayonnement en 2D sur les deux plans : (a) XOZ et (b) YOZ selon la référence [3]	53
Figure III.19: Spectre des bandes de fréquence du GPS, GLONASS, Compass et Galileo [3].	55
Figure III.20: Antenne microruban carrée à polarisation linéaire	56
Figure III.21: La variation du coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la position du point d'alimentation(x/L) d'une antenne carrée à la fréquence $f_r = 1.6$ GHz.....	56
Figure III.22: (a) Coefficient de réflexion S_{11} et (b) Rapport Axial AR, en fonction de la fréquence... ..	57
Figure III.23: Antenne microruban à coins tronqués.....	58
Figure III.24: Variation du coefficient de réflexion S_{11} et du rapport axial AR en fonction de la position de l'alimentation d'antenne à coins tronqués à $f_r=1.6$ GHz	58
Figure III.25: Coefficient de réflexion S_{11} d'une antenne PC à coins tronqué	59

Figure III.26: Rapport axial AR d'une antenne PC à coins tronqués	59
Figure III.27: Le rayonnement 3D de l'antenne patch à coins tronqués.	60
Figure III.28: Antenne microruban avec une fente.....	61
Figure III.29: Variation du coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la largeur de la fente à la fréquence $f_r=1.6$ GHz.....	61
Figure III.30: Variation du rapport axial AR en fonction de la largeur de la fente à $f_r=1.6$ GHz	62
Figure III 31: Variation du coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la longueur de la fente	62
Figure III.32: Coefficient de réflexion de l'antenne avec une fente.....	63
Figure III.33: Rapport axial d'une antenne avec une fente.	64
Figure III.34: Le rayonnement 3D de l'antenne patch avec une fente.	64
Figure III.35: Antenne microruban à alimentation sur la diagonale ($f_r=2.45$ GHz).....	65
Figure III.36: Variation du coefficient de réflexion S_{11} et du rapport axial AR en fonction de la position de l'alimentation d'une antenne à alimentation sur la diagonale à $f_r=2.45$ GHz.....	66
Figure III.37: Coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence d'une antenne microruban alimentée sur la diagonale.....	67
Figure III.38: Rapport axial AR en fonction de la fréquence d'une antenne microruban alimentée sur la diagonale.	67
Figure III.39: Rayonnement en 3D de l'antenne patch alimentée sur la diagonale.....	68

Liste des tableaux

Table III.1 : Dimensions de l'antenne à quatre fentes carrées.	49
--	----

Abréviations

- UHF** Ultra High Frequency
- NASA** National Aeronautics and Space Administration
- TM** transverse magnétique
- 3D** trois Dimensions
- 2D** deux Dimensions
- S-Parametres** Scattering Parameters
- dB** Décibel
- DBS** Direct Broadcast Satellite
- RADAR** Radio Detection and Ranging.
- CPMA** Circularly Polarized Microstrip Antenna
- WLAN** Wireless Local Area Network
- RFID** Radio Frequency Identification
- GNSS** Global Navigation Satellite System
- GPS** Global Positioning System
- RHCP** Right Hand Circular Polarization)
- LHCP** Left Hand Circular Polarization)
- CP** Polarisation Circulaire
- AR** Axial Ratio
- IEEE** Institut of Electrical and Electronics Engineers.
- EM** Electromagnétique.
- CST** Computer Simulation Technology
- FIT** Finite Integration Technique

Introduction Générale

Introduction Générale

Ces dernières années, le secteur des télécommunications a connu un progrès technologique sans précédent, en raison de la forte demande de la population et de l'industrie. L'attention est particulièrement orientée vers le développement d'un élément clé de ce domaine qui est l'antenne. C'est un dispositif de base qui permet d'assurer le bon fonctionnement d'une liaison d'émission ou de réception d'ondes électromagnétiques dans l'atmosphère [1]. Le rôle principal d'une antenne est de convertir l'énergie électrique d'un signal en énergie électromagnétique transportée par une onde électromagnétique dans l'espace lorsqu'il fonctionne en émission et inversement dans le cas de la réception [2].

La transmission de données à haut débit, liée à la demande toujours croissante des dispositifs mobiles qui deviennent de plus en plus petits, a généré un grand intérêt pour les antennes microrubans qui sont probablement les antennes les plus utilisées actuellement dans les conceptions commerciales compactes. Les avantages principaux de ces antennes sont leur faible poids, leur volume réduit, leur structure à mince épaisseur, leur faible coût de fabrication, leur simplicité, la possibilité de leur mise en réseau et leur conformabilité qui facilite leur implantation sur tout type de support. Cependant, ce type d'éléments rayonnants présente certaines limites, notamment la bande passante étroite et le faible gain [3].

Afin de pallier à tous ces inconvénients, plusieurs recherches sont menées et plusieurs techniques ont vu le jour pour améliorer les performances des antennes microrubans. Malgré cela, il demeure un autre problème qui s'impose dans une transmission radio fréquence qui est celui de la perte de polarisation en raison du type de polarisation utilisé [4]. Ce problème est représenté par une partie de puissance perdue à cause du déphasage angulaire entre la polarisation de l'onde entrante et celle de l'antenne réceptrice. La rotation des appareils dans le cas d'une polarisation linéaire par exemple, surtout dans les extrémités du réseau, est l'une des principales raisons de ce déphasage.

La polarisation circulaire est la solution idéale pour éliminer ce problème de perte de polarisation, car elle permet une orientation arbitraire entre les antennes émettrices et réceptrices, une meilleure mobilité et une réduction des réflexions par trajets multiples. Les antennes qui utilisent ce type de polarisation sont populaires pour de nombreuses applications telles que les communications mobiles, les systèmes de transmission par satellites et les systèmes Radar [5].

Dans le cadre de notre étude, nous nous intéressons à concevoir des antennes microrubans à polarisation circulaire pour répondre aux exigences de certains standards tels que les systèmes de positionnement par satellites GNSS et GPS par exemple. Notre approche de conception est développée à partir d'un logiciel de simulation électromagnétique CST Microwave Studio. Notre travail consiste à utiliser ce logiciel pour calculer le coefficient de réflexion de l'antenne qui détermine son mode de fonctionnement, le rapport axial qui permet d'établir la bande de fréquence dans laquelle la polarisation circulaire est assurée et le gain de l'antenne.

Le manuscrit est réparti en trois chapitres :

Dans le premier chapitre, nous présenterons les généralités sur les antennes microrubans, ainsi que leur structure, leur fonctionnement, leurs différentes formes géométriques ainsi que leurs techniques d'alimentation. Nous examinerons par la suite leurs caractéristiques de rayonnement, et certains procédés permettant d'assurer l'adaptation en impédance. Et pour finir, nous parlerons des avantages et des inconvénients de ces antennes et les différents domaines d'application dans lesquels elles se sont imposées.

Dans le deuxième chapitre, nous allons présenter les antennes microrubans à polarisation circulaire. En premier lieu, nous allons parler de l'intérêt de ce type de polarisation, puis nous allons exposer différentes techniques qui nous permettent d'obtenir une polarisation circulaire, selon que le patch est excité à travers un seul accès ou à travers deux accès d'alimentation. Nous allons par la suite énumérer certaines des limites que peut avoir l'antenne polarisée circulairement notamment en termes de bande passante. Quelques techniques utilisées pour surmonter cette limite seront présentées à la fin de ce chapitre.

Le troisième chapitre sera consacré à la conception de différentes antennes microrubans à polarisation circulaire. Nous allons commencer par une brève présentation du logiciel de simulation CST. Ce simulateur sera exploité en premier lieu pour la conception de deux

structures d'antennes inspirées de la littérature. Une comparaison entre les résultats obtenus par simulation et ceux présentés par certains travaux publiés va nous permettre de valider notre étude. Nous nous sommes intéressés en second lieu à l'application des techniques les plus usuelles de la polarisation circulaire au cas d'une antenne imprimée de forme carrée ou rectangulaire alimentée par câble coaxial. Les dimensions de cette antenne, ainsi que la position du point d'alimentation seront optimisées afin d'obtenir les meilleures performances de l'antenne selon un cahier de charge préétabli au départ.

Bibliographie

- [1] Touati Mohamed Houssemeddine. Conception et Simulation d'une antenne microruban circulaire. Université Mohamed Khider Biskra. 2013 / 2014
- [2] Alexandre Boyer. ANTENNES .INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE TOULOUSE
- [3] B. MEKIMAH, " Etude du fonctionnement en mode bifréquence des patches microbandes empilés et excentrés ", Mémoire de Magister, Université Kasdi Merbah Ouargla ,11/2013
- [4] S. Atchay Jahanath, S.Srinidhi, P.Yamini and D.Venkatesh , Dual Band Microstrip Antenna for Wi-Fi Applications, IJERT, Vol. 7 Issue 04, April-2018.
- [5] Q. W. Lin, H.Wong, X.-Y. Zhang and H.-W. Lai, Printed Meandering Probe-Fed Circularly Polarized Patch Antenna With Wide Bandwidth, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 13, 2014

Chapitre I

La technologie des antennes microrubans

Chapitre I : La technologie des antennes microrubans

I.1 Introduction

Les antennes à réflecteurs sont des dispositifs qui sont largement utilisés dans le domaine des communications spatiales et des systèmes radars. Et pour cause, ces antennes possèdent des caractéristiques intéressantes en termes de rendement, de pureté de polarisation et de largeur de la bande passante. Cependant, leur poids et leur encombrement deviennent deux inconvénients majeurs dans le cas des applications mobiles actuelles. Le problème d'intégration au sein des appareils de communication actuels qui sont de plus en plus petits est un réel handicap. Pour pallier à cela, de nouvelles configurations d'antennes ont été adoptées. Les antennes microrubans étant des structures à faible profil répondent parfaitement à cette problématique malgré leurs performances limitées en termes de gain et de bande passante. Ce type d'antennes a vu le jour, lorsque certains scientifiques ont envisagé l'application de la technologie des circuits imprimés, qui avait largement contribué au développement technologique dans le domaine de l'électronique dans les années soixante, à la conception de structures rayonnantes minces dites antennes microrubans (ou antennes imprimées).

L'objectif de ce chapitre est de présenter brièvement un historique sur les antennes microrubans, leur structure géométrique et leur mode de fonctionnement ainsi que leurs différentes formes. Nous présenterons également certaines des techniques utilisées pour leur alimentation, leurs avantages qui ont favorisé leur présence dans plusieurs domaines d'application et leurs inconvénients.

I.2 Historique

Le concept des antennes imprimées est apparu pour la première fois en 1953 aux U.S.A grâce à Georges Deschamps. Cependant, le premier brevet reprenant ce concept ne fut déposé qu'en 1956 par Henri Gutton et Georges Baissinot. Il a fallu attendre les années 1970 pour voir apparaître la réalisation des premiers prototypes, notamment grâce à l'amélioration des techniques de photo lithogravure du cuivre et de l'or sur substrat diélectrique, ainsi que des progrès dans la modélisation.

En 1972, John Howell réalisa des antennes imprimées à polarisations linéaire et circulaire en bandes L et UHF pour la NASA. À la même période, Robert Munson de « Ball Aerospace System » conçut une antenne imprimée conformée adaptée à la forme et la circonférence d'un missile [1].

I.3 Structure d'une antenne microruban

L'antenne patch ou microbande, appelée aussi microruban, est un élément transducteur. Elle effectue ainsi deux fonctions fondamentales qui définissent le principe d'une antenne de manière générale. En émission, elle permet de convertir un signal électrique en une onde électromagnétique rayonnée dans l'espace. L'opération inverse est réalisée lorsque l'antenne est utilisée en réception [2].

La configuration basique d'une antenne imprimée se compose d'un élément conducteur appelé patch, imprimé sur la face supérieure d'un substrat diélectrique, dont la face inférieure est complètement ou partiellement métallisée constituant ainsi le plan de masse (**Figure I.1**).

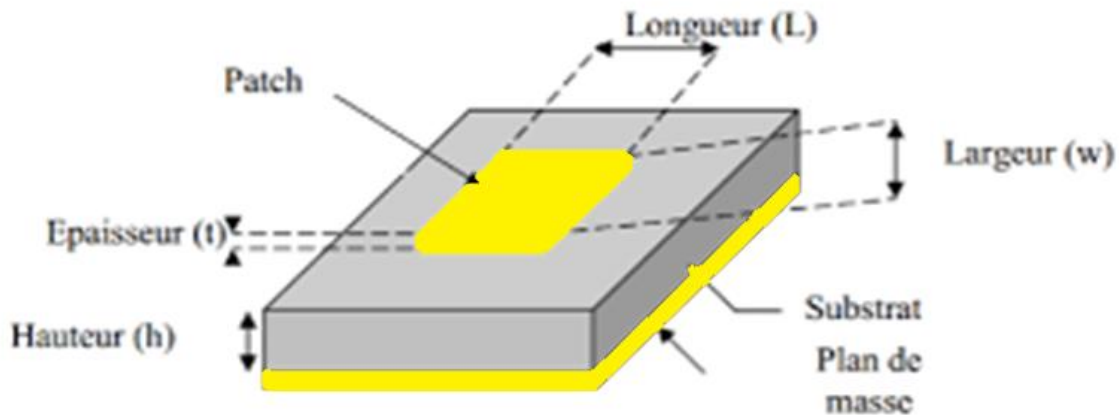


Figure I.1: Structure d'une antenne microruban [3]

Les performances d'une antenne patch dépendent étroitement de la géométrie et des dimensions de tous ses composants. Les paramètres intervenant dans la caractérisation de l'antenne sont :

➤ Le substrat

- ✓ Hauteur du substrat h .
- ✓ Permittivité relative du diélectrique ϵ_r qui ne doit pas être très élevée afin d'éviter les pertes dans le diélectrique.
- ✓ Tangente des pertes $\tan(\delta)$.

➤ Le conducteur

- ✓ La forme géométrique (carré, cercle, triangle etc.).
- ✓ Les dimensions (largeur(W), longueur (L) pour la forme rectangle et rayon pour la forme circulaire).

I.4 Fonctionnement D'une antenne Microruban

Dans son fonctionnement usuel, une antenne imprimée peut être considérée en première approximation comme une cavité résonante imparfaite, présentant des murs magnétiques verticaux à pertes et des murs électriques horizontaux pour des fréquences appelées de résonance, cette cavité emmagasine de l'énergie électromagnétique selon un ensemble de modes de type TM_{mn} [4].

Le rayonnement résultant de cette structure se traduit par des pertes qui s'opèrent au niveau des murs magnétiques. Une partie du signal émis est réfléchi par le plan de masse, puis par le conducteur supérieur et ainsi de suite. La forme et l'orientation des lignes de champs entre les bords de la plaque rayonnante et le plan de masse caractérisent les directions privilégiées du champ rayonné.

En général, le mode fondamental est considéré comme étant le mode de fonctionnement de ce type d'antennes. Ce mode emporte le maximum d'énergie et se caractérise par une répartition du champ électrique en dessous de l'élément rayonnant dont une dimension au moins est égale à une demi-longueur d'onde (**Figure I.2**).

Les courants surfaciques qui sont produits sur l'élément métallique sont dirigés selon l'axe de symétrie passant par le point d'excitation [5].

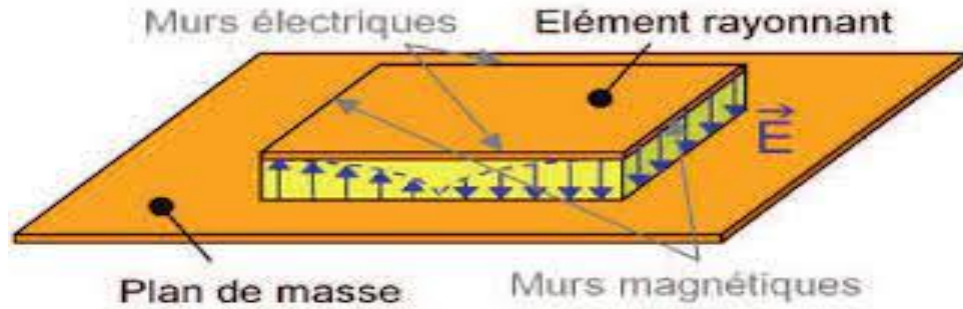


Figure I.2 : Antenne imprimée fonctionnant sur son mode fondamental [6]

I.5 Différentes formes des antennes microrubans

Les différentes formes du patch présentent une grande facilité d'analyse et de fabrication, mais également un diagramme de rayonnement très intéressant, car présentant une faible composante croisée. Les dipôles microrubans ont la particularité de présenter une large bande passante et d'occuper très peu d'espace, ce qui les rend particulièrement adaptés à la réalisation de réseaux d'antennes [7].

La **figure I.3** montre quelques exemples de formes que peut avoir une antenne imprimée.

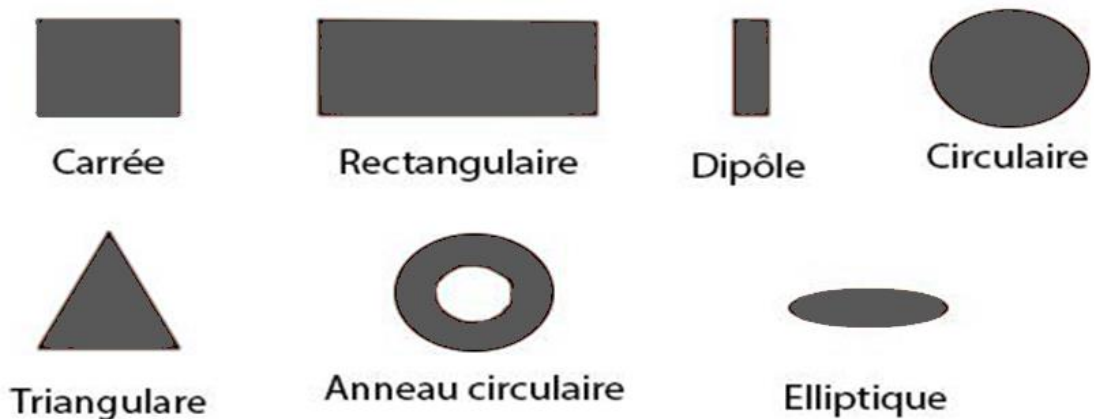


Figure I.3: Différentes formes du patch microruban [3].

Parmi toutes ces formes, l'élément rectangulaire est sans contexte le plus facile à appréhender pour la compréhension des mécanismes de rayonnements des antennes microrubans [8].

I.6 Alimentation des antennes microrubans

Une antenne microruban peut être alimentée par différentes méthodes. Ces méthodes peuvent être classées en deux catégories : alimentation par contact (par sonde ou par ligne microruban), ou alimentation par proximité (couplage électromagnétique par ligne ou par fente).

I.6.1 Alimentation par contact

I.6.1.1 Alimentation par ligne microruban

Cette technique consiste à placer une ligne microruban (généralement de 50Ω) en contact avec l'élément rayonnant (**Figure I.4**). La longueur de la ligne est considérée plus petite que les dimensions du patch. Ce principe assez simple à réaliser fournit la possibilité de fabriquer une structure plane sur un substrat diélectrique. Cet avantage est à l'origine d'une large utilisation d'une alimentation microruban dans les réseaux d'antennes imprimées de différentes formes [9].

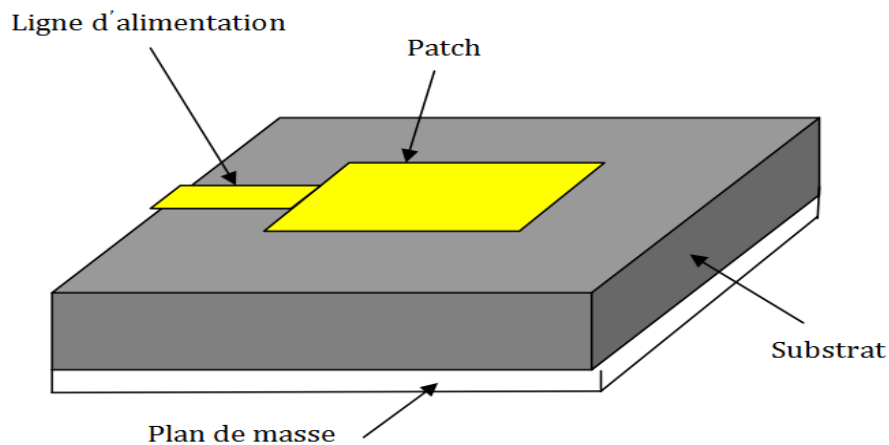


Figure I.4 : Alimentation par ligne microruban [3]

L'alimentation peut se faire par la connexion directe à une ligne microbande dont le point de jonction est sur l'axe de symétrie de l'élément ou décalé par rapport à cet axe de symétrie, si cela permet une meilleure adaptation d'impédance (**Figure I.5**). L'alimentation axiale avec encoches donne de bons résultats [10].

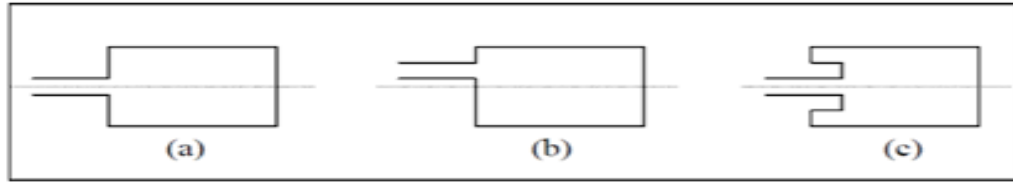


Figure I.5: L'alimentation par une ligne microbande axiale(a), décalée (b) et avec encoches(c) [11].

I.6.1.2 Alimentation par sonde coaxiale

L'alimentation coaxiale ou l'alimentation par sonde est une technique très utilisée pour alimenter les antennes microrubans (**Figure I.6**). Dans ce cas le conducteur intérieur du connecteur coaxial traverse le diélectrique et est soudé au patch, alors que le conducteur externe est relié au plan de masse. Cette alimentation est facile à mettre en œuvre et à adapter. Son rayonnement parasite est faible. Son inconvénient principal est qu'elle fournit une bande passante étroite [12].

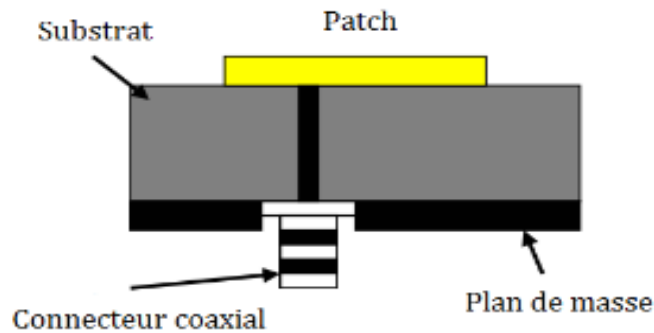


Figure I.6:Alimentation par sonde coaxiale [3]

I.6.2 Alimentation par couplage

I.6.2.1 Alimentation Couplée par fente

Dans ce type d'alimentation, le patch rayonnant et la ligne microruban d'alimentation sont séparés par le plan de masse. Le couplage entre le patch et la ligne d'alimentation est assuré par une fente ou une ouverture insérée au niveau du plan de masse tel que représenté par la **Figure 1.7**.

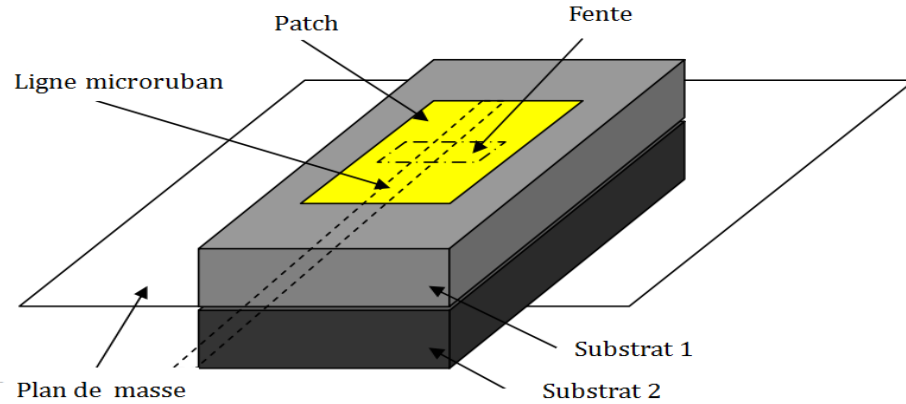


Figure I.7: Alimentation couplée par fente [3].

L'ouverture de couplage est habituellement centrée sous le patch. La quantité de couplage à partir de la ligne d'alimentation au patch est déterminée par la forme, la taille et l'emplacement de l'ouverture. Puisque le plan de masse sépare le patch et la ligne d'alimentation, le rayonnement parasite est minimisé. D'une façon générale, un matériau ayant une constante diélectrique élevée est employé pour le substrat inférieur, alors qu'un matériau épais et ayant une constante diélectrique faible est employé pour le substrat supérieur afin d'optimiser le rayonnement du patch [13].

L'inconvénient majeur de cette technique d'alimentation est qu'elle présente des difficultés au niveau de la fabrication en raison des couches multiples qui augmentent également l'épaisseur de l'antenne. Cette technique d'alimentation fournit aussi une largeur de bande étroite.

1.6.2.2 Alimentation par couplage de proximité

Une meilleure bande passante pouvant atteindre 13% est réalisée en utilisant l'alimentation par couplage de proximité illustrée par la (Figure I.8). L'avantage de cette technique réside dans l'affaiblissement du rayonnement parasite et la facilité du couplage. Ce dernier peut être optimisé par l'ajustement des dimensions de la ligne. Cependant elle est très difficile à mettre en œuvre [14].

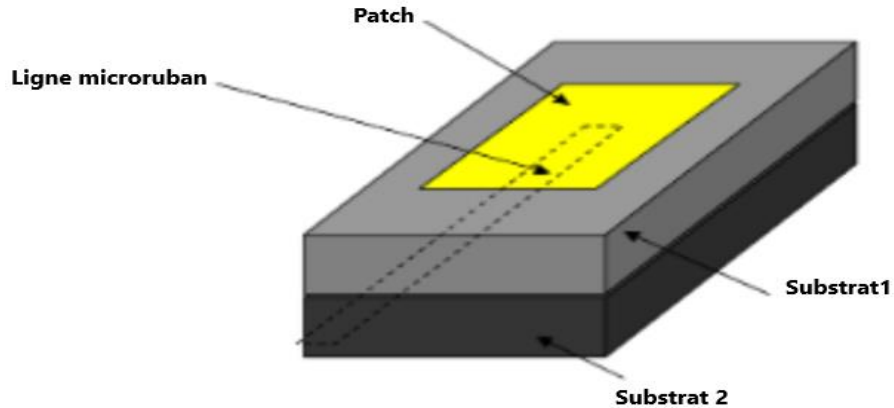


Figure I.8:Alimentation par proximité [3]

I.7 Caractéristiques de rayonnement

Les antennes microrubans possèdent plusieurs caractéristiques. Ces dernières varient selon l'application dans laquelle l'antenne est utilisée. On distingue les caractéristiques suivantes :

I.7.1 Directivité

La directivité est une mesure des propriétés directionnelles d'une antenne par rapport à celles d'une antenne isotrope. La directivité est toujours supérieure à 1 car un radiateur isotrope n'est pas directionnel.

La directivité est définie comme le rapport entre la densité de puissance rayonnée dans une direction de l'espace et la densité de puissance moyenne rayonnée. Elle est également définie par le rapport entre l'intensité de rayonnement de l'antenne et l'intensité moyenne rayonnée par une source isotopique [15]. La directivité s'exprime alors par :

$$D(\theta, \phi) = \frac{U(\theta, \phi)}{U_0} = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{rad}} \quad (I.1)$$

Cette directivité est maximale dans la direction de l'intensité maximale du rayonnement, elle se calcule comme suit :

$$D_{max} = D_0 = \frac{U_{max}}{U_0} = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}} \quad (I.2)$$

D: Directivité (sans dimensions)

θ : Angle d'azimut.

Φ : Angle d'élévation.

D_0 : La directivité maximale

U: Intensité de rayonnement (Watts / unité d'angle solide)

U_{max} : Intensité de rayonnement maximale (Watts / unité d'angle solide)

U_o : Intensité de rayonnement moyenne d'une source isotrope (Watts / unité d'angle solide)

P_{rad} : Puissance totale rayonnée par l'antenne (Watts)

I.7.2 Gain

Le gain d'une antenne **$G(\theta, \phi)$** est défini comme le rapport entre la densité de puissance **P_r** de l'antenne dans une direction donnée et la densité de puissance moyenne rayonnée par une antenne isotrope **P_{ri}** . Sa définition ressemble à celle de la directivité, la différence réside ici dans le fait que nous considérons que l'antenne isotrope rayonne la puissance qui alimente l'antenne **P_e** uniformément dans toutes les directions de l'espace et non la puissance totale rayonnée par l'antenne **P_{rad}** , comme c'est le cas pour la directivité.

$$\mathbf{G}(\theta, \phi) = \frac{P_r(\theta, \phi)}{P_{ri}} \quad \mathbf{(I.3)}$$

La densité de puissance rayonnée par l'antenne isotrope est égale à la puissance injectée à l'entrée de l'antenne **P_e** , divisée par l'angle solide de la sphère qui est de 4π stéradians [16]. Le gain est donné par l'équation suivante :

$$\mathbf{G}(\theta, \phi) = 4\pi \frac{P_r(\theta, \phi)}{P_e} \quad \mathbf{(I.4)}$$

Avec :

G : Le gain de l'antenne.

P_r : La densité de puissance rayonnée [Watts/m²]

P_e : Puissance d'entrée ou d'alimentation de l'antenne [Watts]

θ : Angle d'azimut.

Φ : Angle d'élévation.

Le gain est relié à la directivité par la relation suivante :

$$G(\theta, \eta) = \eta \times D \quad (I.5)$$

η : étant le rendement de l'antenne.

Le gain et la directivité sont souvent exprimés en dB ou en dBi.

I.7.3 Diagramme de rayonnement

Le diagramme de rayonnement d'une antenne présente les variations de la puissance rayonnée par l'antenne dans les différentes directions de l'espace. Il y a généralement une direction de rayonnement maximale autour de laquelle se trouve concentrée une grande partie de la puissance rayonnée.

Les digrammes de rayonnement sont généralement mesurés dans les plans de symétrie, s'il y en a, ou dans les plans principaux nommés plan E et plan H. Ce sont respectivement les plans pour lesquels les champs électrique et magnétique atteignent leurs valeurs maximales [17], ces deux plans sont toujours perpendiculaires l'un à l'autre.

Les différentes parties d'un diagramme de rayonnement sont appelées lobes, ils peuvent être divisés en lobes principaux et lobes secondaires [18]. La représentation graphique peut se faire dans l'espace en 3D, ce qui permettrait une meilleure visualisation du rayonnement de l'antenne, ou alors en 2D dans un repère polaire ou cartésien (**Figure I.9**).

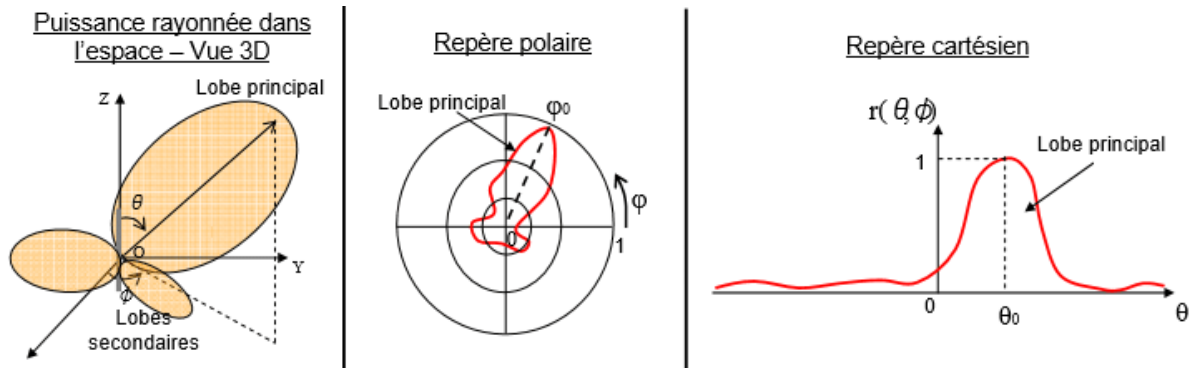


Figure I.9:Représentation du diagramme de rayonnement d'une antenne [3]

I.7.4 Impédance d'entrée

L'impédance d'entrée de l'antenne est l'impédance vue de la part de la ligne d'alimentation à l'entrée de l'antenne. C'est une fonction complexe dépendant de la fréquence ayant une partie réelle et une partie imaginaire.

Cette impédance est donnée par la formule :

$$Z_e = Z_0 \frac{1+S_{11}}{1-S_{11}} \quad (I.6)$$

Z_0 : Impédance caractéristique de la ligne d'alimentation.

S_{11} :Le coefficient de réflexion à l'entrée de l'antenne.

L'impédance d'entrée peut être représentée graphiquement en utilisant l'abaque de Smith.

I.8 Avantages et inconvénients

Les antennes imprimées comportent plusieurs avantages par rapport aux antennes microondes classiques [19-20], Certains avantages sont les suivants :

- Faible poids, encombrement réduit.
- Un coût de fabrication faible.
- Polarisation linéaire et circulaire pour les télécommunications.
- Réseaux d'alimentation et d'adaptation fabriqués simultanément avec l'antenne.
- Antennes multi-bandes, multi-polarisations possibles.
- La tendance à grouper plusieurs patches identiques pour construire des antennes réseaux.
- S'adapte facilement aux surfaces planes et non planes.

À côté de ces avantages, cette technologie souffre des limitations suivantes :

- Une bande passante étroite, des problèmes de tolérance (géométriques et physiques).
- Un gain faible (-6 dB).
- Faible efficacité de rayonnement.
- Une pureté de polarisation faible.
- Supportent uniquement des faibles puissances (100 W).

I.9 Application des antennes microruban :

Vu le développement technologique dans le domaine des télécommunications, l'utilisation des antennes microrubans est devenue nécessaire pour répondre aux nombreuses exigences de la plupart des applications micro-ondes [21]. Parmi ces applications, nous pouvons citer :

- La communication par satellite, comme les systèmes de diffusion (DBS : Direct Broadcast Satellite)
- Doppler et autres radars
- Radioaltimètres
- Systèmes de commande et de contrôle
- Missiles et télémétrie (capteurs adhésifs et fusion d'armes)
- Télédétection et instrumentation environnementale
- Récepteurs de navigation par satellite
- Radio mobile (téléavertisseurs, téléphones et systèmes man-pack)
- Antennes intégrées
- Radiateurs biomédicaux et alarmes anti-intrusion

I.10 Conclusion

La technologie microruban en général, et les antennes microbandes en particulier connaît un succès croissant auprès des industriels et des professionnels des télécommunications, qu'elle soit spatiale ou terrestre. La caractéristique principale de ce type d'antennes, qui fait qu'elles soient toujours d'actualité malgré leurs performances limitées, est le fait qu'elles soient à faible épaisseur ce qui leur permet d'être intégrées facilement aux différents dispositifs de communication actuels. Quant à leurs limites, plusieurs recherches sont déployées afin de rehausser leurs performances et de les améliorer.

Dans ce chapitre, nous avons commencé par parler du développement des antennes imprimées depuis leur création dans les années 50 jusqu'à nos jours, en passant par leur structure géométrique, les différentes formes qu'elles peuvent avoir et leur mode de fonctionnement. Plusieurs techniques sont utilisées pour leur alimentation. Certaines de ces

techniques ont été présentées dans ce chapitre. Nous avons également cité les principales caractéristiques de rayonnement d'une antenne qui permettent d'évaluer ces performances, comme par exemple le gain, la directivité, le rendement et le diagramme de rayonnement. Finalement, nous avons précisé les différents avantages et inconvénient de ce type d'antennes ainsi que les domaines de leur application.

Comme il a été mentionné dans ce chapitre, les antennes peuvent être polarisées linéairement ou circulairement. La polarisation circulaire présente certains avantages très intéressants. Ceci fera l'objet du prochain chapitre.

Bibliographie

- [1] G. Kossiavas, R. Staraj, C. Luxey, A. Papiernik, "Antennes imprimées- Bases et principes", Technique de l'ingénieur, Référence E3310, 05/ 2007.
- [2] R.MANSOUR, " Étude d'une antenne microruban à Bande interdite Électromagnétique(BIE) 1D à défauts", Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master Académique, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA.
- [3] GUENNACH Mohamed "Conception-d-une-antenne-pifa-multibandes-pour applications - sans-fil". mémoire de Master, Université Sidi Moha med Ben Abdellah Faculté des Sciences et Techniques, juin 2016.
- [4] P.B. Katehi, D.R. Jackson and N.G. Alexopoulos," Microstrip dipoles ", Handbook of microstrip antennas, Peter Peregrinus Ltd, London, UK, pp.275-310, 1989.
- [5] Paul F. Combes, "Micro-ondes, circuits passifs, propagation, antennes", pp 299-323, Série Dunod, Paris 1997.
- [6] François Grange. Matériaux composites pour antenne miniature intégrée. Matière Condensée [condmat]. Université Rennes 1, 2010. Français.
- [7] D. Aissaoui, " Analyse a l'aide de modèles équivalents d'antennes imprimées alimentées par ligne adaptées ", Mémoire de Magister, Université de Abou Baker Belkaid Tlemcen , 03/2007.
- [8] A. Dada " Antenne microruban de forme circulaire à substrats cristaux photoniques" mémoire de Master, Institut d'électronique, Université de M'sila, juin 2014
- [9] L. I. Basilio, M. A. Khayat, J. Williams , S. A. Long, "The dependence of the input impedance on feed] position of probe and microstrip line fed patch antennas", IEEE transactions Antennas Propagat, Vol. 49, pp. 45-47, Janvier 2001.
- [10] Odile Picon et Coll, "Les Antennes, théorie, conception et applications," Dunod, Paris, 978-2-10-051989-7, 2009
- [11] Pr.A.LATIF «Atelier Mesure des Principales Caractéristiques d'Antenne Microstrip Patch Rectangulaire »

- [12] K. BOUFELDJA " Modélisation et Synthèse de réseaux périodiques et non périodiques d'antennes microrubans par l'application d'un Algorithme Génétique-Flou" thèse de Doctorat, Institut d'électronique, Université Abou-BekrBelkaid-Tlemcen, Février 2011.
- [13] C. A. Balanis, "Antenna theory—analysis and design", 2nd edition, John Wiley & Sons, Inc, 1997.
- [14] Mme. Yamina tighil doctorat en sciences - tidentification des antennes micorubans multicouches par la methode spectrale et les reseaux de neurones-univesite ferhat abbas - setifufas(ALGERIE)
- [15] Constantine A. Balanis {Antenna Theory: Analysis and Design} April 1982
- [16] L. MOUSTAFA, "Conception d'antennes à Bande Interdite Electromagnétique large bande et multi bandes à base de méta surfaces," Université de Limoges, Thèse de doctorat 22 septembre. 2009
- [17] L. CHOUTI " Contribution à l'étude d'antennes imprimées rectangulaires double bande et multi bandes tenant compte de l'effet de couplage " thèse de Magister, Institut d'électronique, Université de Constantine, 2009.
- [18] D. G. Fang, "Antenna-Theory-and-Micro-Strip-Antennas," Taylor & Francis Group, 2010
- [19] R. J. James and P. S. Hall, "Handbook of microstrip antennas", Peter Peregrinus, NY, 1989.
- [20] J. R. James, P. S. Hall and C. Wood, "Microstrip antenna: Theory and design", Peter Peregrinus, London, UK, 1981.
- [21] R. Garg {Microstrip Antenna Design Handbook (Artech House Antennas and Propagation Library)}

Chapitre II

Antennes microrubans à polarisation circulaire

Chapitre II : Antennes microrubans à polarisation circulaire

II.1 Introduction

Avec l'utilisation émergente des applications sans fil, la communauté radio fréquence a toujours besoin de concevoir des antennes miniatures, légères et peu coûteuses qui peuvent facilement être intégrées à des systèmes de communication de petite taille. Selon les applications sans fil mondiales d'aujourd'hui, les antennes microruban à polarisation circulaire (CPMA : Circularly Polarized Microstrip Antenna) offrent plus de flexibilité pour les appareils sans fil portatifs et portables en raison de leur insensibilité à l'orientation de l'appareil et aux effets de trajets multiples. Ces antennes conviennent mieux aux communications sans fil telles que les applications WLAN, RFID et GNSS [1-3].

II.2 Une antenne microruban à polarisation circulaire

La plupart des systèmes de communication utilisent une polarisation linéaire (verticale ou horizontale) ou circulaire (gauche ou droite). L'intensité maximale du signal entre deux systèmes est obtenue lorsque leurs antennes utilisent des polarisations identiques. Beaucoup d'applications militaires et spatiales requièrent une polarisation circulaire qui peut être aussi une solution intéressante dans le domaine civil afin de contourner les défauts d'alignement entre l'émetteur et le récepteur et pour atténuer les pertes de polarisation causées par les trajets multiples. La polarisation circulaire peut également permettre de surmonter les effets des déviations, de propagation et des réflexions au sol pour les applications satellitaires.

Par conséquent, les antennes patch à polarisation circulaire sont considérées comme un choix idéal dans plusieurs applications telles que les lecteurs d'identification par radiofréquence RFID, les réseaux locaux sans fil WLAN et les systèmes de communication par satellite GNSS [4].

II.2.1 Les systèmes mondiaux de positionnement par satellite (GNSS)

Les systèmes de communication par satellite jouent un rôle de plus en plus important dans les systèmes de communication moderne. La communication par satellite présente de nombreux

avantages, tels qu'une large couverture, une grande capacité de communication, une qualité de transmission élevée et une mise en réseau rapide. Avec l'utilisation généralisée des communications par satellite, des exigences plus élevées ont également été imposées à la conception des antennes dans les systèmes de communication par satellite. Une antenne à polarisation circulaire peut être moins affectée par les interférences par trajets multiples et elle est également insensible à l'effet de rotation Faraday. De plus, il n'y a pas d'exigence stricte de direction pour l'antenne d'émission et de réception en comparaison avec l'antenne à polarisation linéaire [5]. Par conséquent, les antennes à polarisation circulaire sont largement utilisées dans les systèmes de navigation et de communications par satellite (GPS, Galileo, GLONASS).

II.2.2 Les applications de réseaux locaux sans fil (WLAN)

La croissance exponentielle dans le domaine des communications sans fil a entraîné une augmentation de la demande d'antennes à polarisation circulaire qui sont de nature unidirectionnelle. Les antennes CPMA sont en mesure d'offrir une connexion fiable entre l'émetteur et le récepteur car la polarisation des antennes est toujours alignée. De plus, l'antenne avec rayonnement à polarisation circulaire droite (RHCP : Right Hand Circular Polarization) rejette intrinsèquement le signal ayant un rayonnement à polarisation circulaire gauche (LHCP : Left Hand Circular Polarization) et vice versa, ce qui est utile pour la suppression des interférences multi-trajets.

Par conséquent, l'antenne à polarisation circulaire est souhaitable dans les applications WLAN pour surmonter le problème d'évanouissement par trajets multiples et améliorer les performances du système [6].

II.2.3 Les lecteurs d'identifications Radio Fréquence (RFID)

Pour les systèmes de communication à polarisation linéaire, l'antenne de réception et l'antenne d'émission doivent être alignées pour éviter tout décalage de polarisation. Ce qui n'est pas nécessaire si la polarisation est circulaire. Il convient de mentionner que si un signal idéal polarisé circulairement est reçu par une antenne à polarisation linéaire, la perte est de 3 dB, quelle que soit l'orientation de l'antenne de réception [7]. Cette propriété est particulièrement utile pour les systèmes RFID (Radio Frequency Identification), car elle garantit la détection de l'étiquette portable quelle que soit son orientation.

II.3 La polarisation

II.3.1 Notion de Polarisation

La polarisation d'une onde électromagnétique rayonnée est déterminée par l'orientation du champ électrique de l'onde. Il s'agit de la figure tracée en fonction du temps par l'extrémité du vecteur champ à un endroit fixe dans l'espace, et le sens dans lequel elle est tracée, comme observé le long de la direction de propagation (**Figure II.1**).

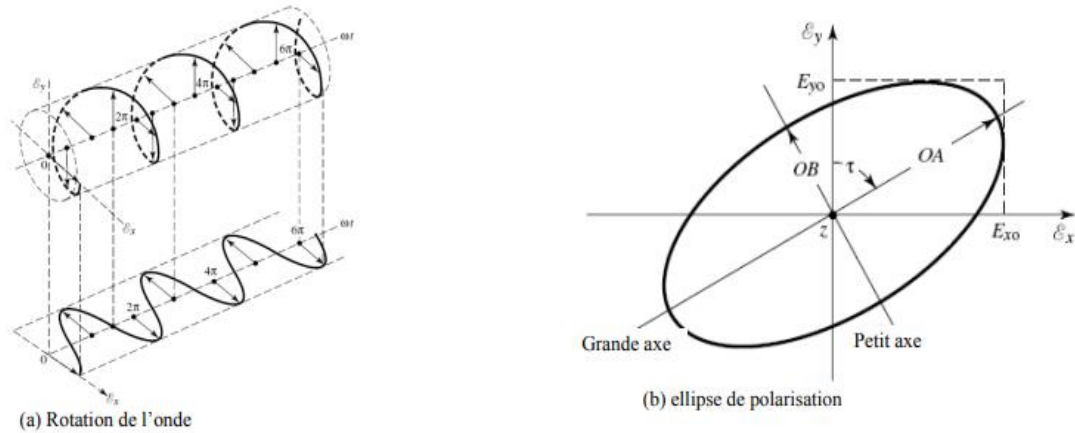


Figure II.1: Rotation d'une onde plane et son ellipse de polarisation en fonction du temps à la position $z = 0$ [8].

II.3.2 Le rapport axial (AR : Axial Ratio)

Pour caractériser une polarisation, le taux d'ellipticité ou rapport axial est pris en compte. Il est défini par le standard IEEE comme étant le rapport entre les axes majeur et mineur dans une polarisation elliptique (**figures II.1.b**). On peut définir ce rapport comme suit :

$$AR = \frac{\text{axe majeur}}{\text{axe mineur}} = \frac{OA}{OB} \quad \text{Avec } 1 \leq AR < \infty \quad (\text{II.1})$$

Théoriquement, le rapport axial est égal à 1 (0 dB) pour obtenir une polarisation circulaire, mais en pratique il est impossible d'obtenir une polarisation circulaire parfaite (le rapport axial égale à 0 dB). Nous admettons que la polarisation est circulaire lorsque la valeur du rapport axial est entre 0 à 3 dB. La bande passante est mesurée à 3 dB.

Le rapport axial peut être exprimé en dB comme suit :

$$AR(dB) = 20 \log \left(\frac{OA}{OB} \right) \text{ Avec } 0 \leq AR < \infty \quad (\text{II.2})$$

II.3.3 Types de polarisation

La polarisation peut être classifiée selon 3 types : linéaire, circulaire, ou elliptique. En général la figure tracée est une ellipse, et le champ serait polarisé elliptiquement. Les polarisations linéaire et circulaire sont des cas particuliers de la polarisation elliptique. La **Figure II.2** illustre les différentes polarisations d'une onde qui se propage.

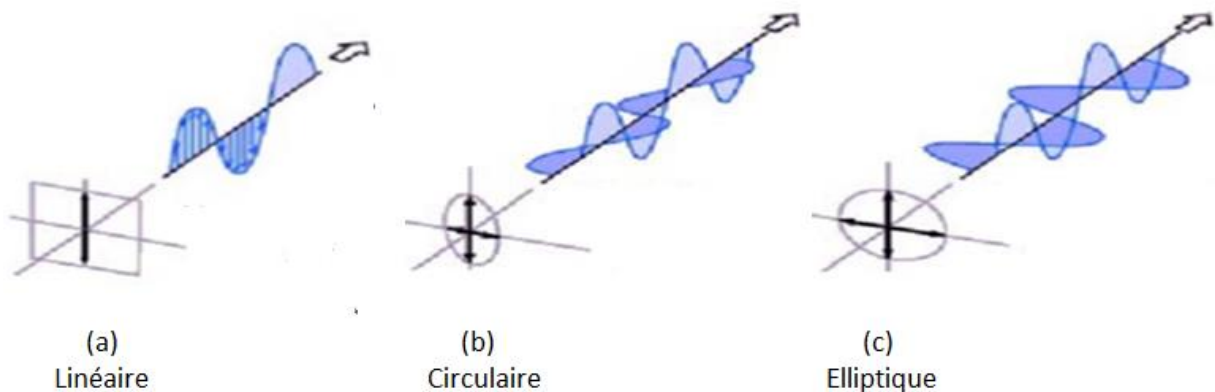


Figure II.2: Différents types de polarisation [8].

II.3.3.1 Polarisation linéaire

La polarisation est de type linéaire si le vecteur champ électrique de l'onde rayonnée par l'antenne est toujours dans la même direction (**Figure II.2.a**). Ce qui s'explique par des composantes en phase.

En polarisation linéaire, si les lignes de champ électrique sont parallèles à la surface de la terre on parle alors de polarisation horizontale, et si les lignes de champ électrique sont perpendiculaires à la surface de la terre, la polarisation est dite verticale. Le rapport axial pour la polarisation linéaire pure est infini.

II.3.3.2 Polarisation circulaire

Les conditions nécessaires et suffisantes pour une polarisation circulaire représentée par la **Figure II. 2.b** sont :

- Le champ (électrique ou magnétique) doit avoir deux composantes linéaires orthogonales.
- Les deux composantes doivent avoir la même amplitude.
- Les deux composantes doivent avoir une différence de phase multiple impaire de 90° .

Les rapports axiaux sont souvent indiqués pour les antennes dans lesquelles la polarisation souhaitée est circulaire. La valeur idéale du rapport axial pour les champs à polarisation circulaire est de 0 dB.

II.3.3.3 Polarisation elliptique

Le champ électrique d'une onde électromagnétique plane représente la somme vectorielle de deux composantes orthogonales, généralement les composantes horizontale et verticale. Ces composantes sont caractérisées par leurs amplitudes et leurs phases relatives qui les séparent. On dit que l'onde harmonique temporelle est polarisée elliptiquement si la pointe du vecteur de champ électrique trace un lieu elliptique dans l'espace (**Figure II.2.c**). Ceci est réalisé lorsque la différence de phase entre les composantes est différente des multiples de 90° (indépendamment de leurs amplitudes)

II.4 Différentes techniques pour obtenir une polarisation circulaire

Les antennes patchs rayonnent principalement des ondes polarisées linéairement si des alimentations conventionnelles sont utilisées sans aucune modification. Cependant, des polarisations circulaires et elliptiques peuvent être obtenues en utilisant certaines dispositions d'alimentation ou en appliquant de légères modifications aux éléments rayonnants. La polarisation circulaire peut être obtenue si deux modes orthogonaux d'amplitude égale sont excités avec une différence de phase de 90° entre eux. Cela peut être fait en ajustant les dimensions physiques du patch en utilisant un seul, ou plusieurs points d'alimentations.

II.4.1 Alimentation à un seul accès

Les antennes à polarisation circulaire à alimentation unique reçoivent actuellement beaucoup d'attention. Une alimentation unique permet une réduction de la complexité de la structure, de son poids et facilite l'intégration des dispositifs antennaires au sein des composants électroniques. Une antenne imprimée alimentée en un seul point est capable de générer une polarisation circulaire dans le cas où deux modes orthogonaux de mêmes amplitudes et en quadrature de phase sont excités. Ceci se fait généralement en perturbant l'élément rayonnant

et/ou en choisissant judicieusement la position du point d'alimentation. Quelques configurations pour obtenir une polarisation circulaire par une seule source d'excitation sont abordées dans ce qui va suivre.

II.4.1.1 Troncature des coins de l'antenne

La technique du coin tronqué consiste à couper deux coins du patch carré. La troncature des coins du patch conduit à un chemin de courant asymétrique le long de la diagonale. L'alimentation excite donc directement un mode et l'autre est excité par l'irrégularité de la géométrie carrée du patch. Le sens de la polarisation dépend des deux coins tronqués, c'est pourquoi des solutions pour la reconfigurabilité de la polarisation ont été proposées en couvrant ou en découvrant la troncature.

Dans les travaux présentés par la référence [9], les auteurs J. Leon Valdes et al. ont examiné la polarisation d'une antenne patch avec des coins tronqués (**Figure II.3**). La polarisation de cette antenne est linéaire quand les quatre coins sont tronqués. La modification de la symétrie de l'antenne va permettre l'installation de deux modes orthogonaux (TM_{01} et TM_{10}) générés à la même fréquence de résonance et par conséquent, une polarisation circulaire droite RHCP si les deux coins 1 et 3 sont tronqués ou une polarisation circulaire gauche LHCP si les deux autres coins (2 et 4) sont tronqués.

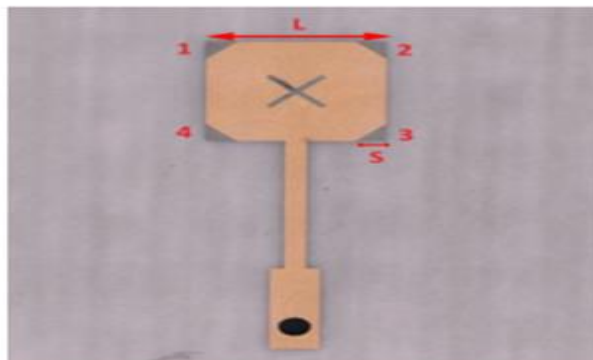


Figure II.3: Troncature des coins de l'antenne [9]

Cette méthode n'aboutit cependant à aucune réduction de taille des antennes microruban à polarisation circulaire [10].

II.4.1.2 Alimentation sur la diagonale d'un élément rayonnant légèrement rectangulaire

L'alimentation est située sur la diagonale d'un patch légèrement rectangulaire afin d'exciter deux modes (**Figure II.4**). La différence de phase est obtenue en introduisant une petite différence entre la longueur et la largeur du patch, ce qui fait que les deux modes résonnent à des fréquences légèrement différentes. Cette différence doit être inversement proportionnelle au facteur de qualité Q de l'antenne. Cette méthode permet d'obtenir une bande passante d'impédance beaucoup plus large que celle d'un patch équivalent polarisé linéairement. Cependant, la bande passante du rapport axial est étroite et également inversement proportionnelle au facteur de qualité Q [11]. Etant donné que le facteur est toujours inversement proportionnel à la bande passante.

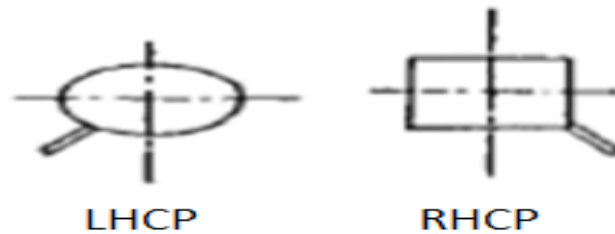


Figure II.4:Alimentation sur la diagonal [11].

II.4.1.3 Insertion de stubs

L'excitation de deux modes orthogonaux permettant l'obtention d'un rayonnement à polarisation circulaire est possible par l'intégration de stubs au niveau du pavé métallique de l'antenne [12] [13].

L'étude de cette technique a été développée dans l'article [13]. L'antenne proposée est illustrée dans la **Figure II.5**. Il s'agit d'un patch de forme carrée ayant quatre stubs. La polarisation circulaire CP est réalisée par la différence de longueur des stubs. L'étude a montré que la position du stub (paramètre d) avait une influence sur la fréquence de résonance du coefficient de réflexion S_{11} . Par contre, la position du système d'alimentation (paramètre s) a un impact direct sur la fréquence pour laquelle nous obtenons un rapport axial minimal.

Ces 2 fréquences ne sont pas forcément identiques. Un choix judicieux de la largeur du stub (w) permet de coïncider ces 2 fréquences.

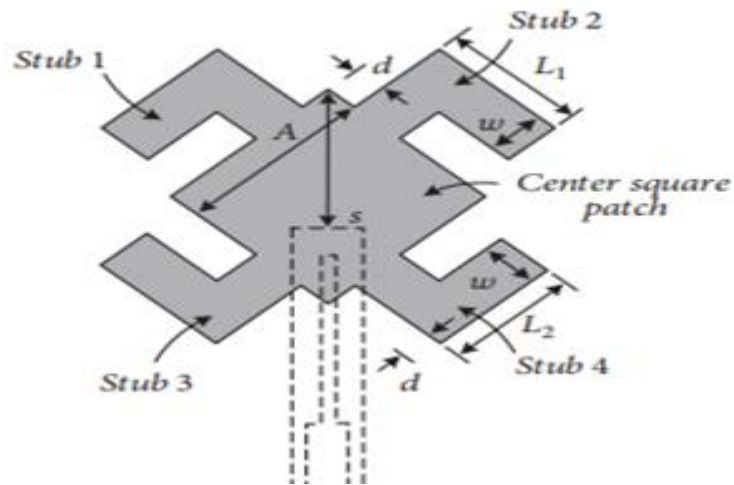


Figure II.5: Configuration de l'antenne avec stubs [13].

II .4.1.4 Insertion de fente dans l'antenne patch

L'insertion d'une ou de plusieurs fentes de formes arbitraires dans une antenne patch microruban donne la perturbation nécessaire pour produire une polarisation circulaire. Il suffit que ces fentes se trouvent sur les diagonales de l'antenne microruban carrée. La forme et les dimensions de la fente découpée peuvent également permettre un élargissement de la bande passante et une réduction de la taille de l'antenne [14].

Plusieurs formes de gravure ont été proposées dans la littérature, dans le but de générer une polarisation circulaire tout en assurant la compacité de l'antenne telle qu'une fente en forme de C (**Figure II.6.a**) [15], une fente en forme de F au centre d'un patch carré comme indiqué sur la **Figure II.6.b** [16], une fente en forme de S comme représenté par la **Figure II.6.c** [17] ou encore une fente en forme de croix (**Figure II.6.d**) [18]. Il a été démontré que le paramètre relatif au périmètre des fentes agissait directement sur la bande de fréquence de fonctionnement de l'antenne et sur son rayonnement à polarisation circulaire.

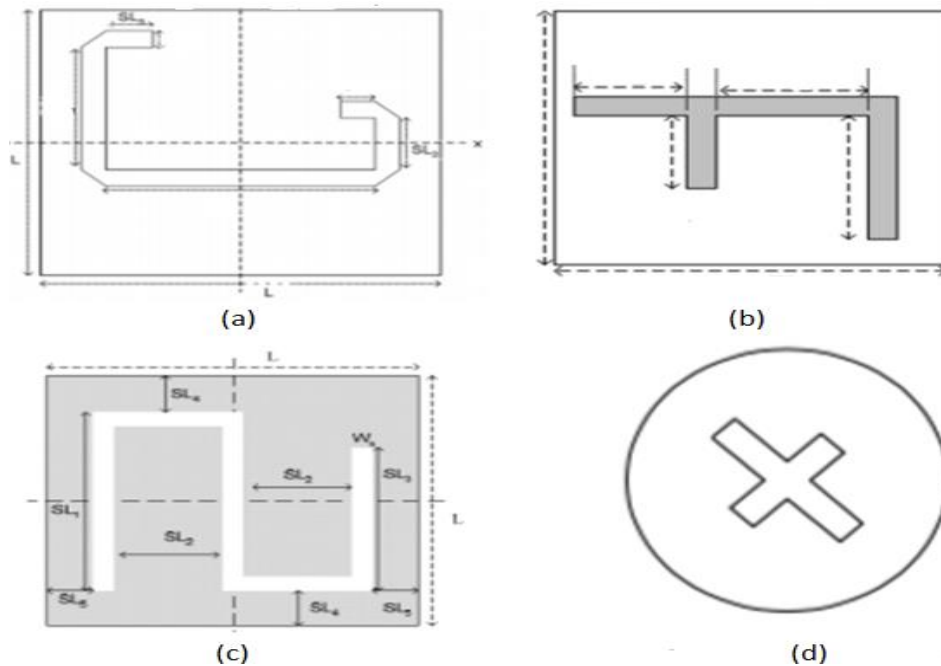


Figure II.6: Antenne patch avec fente (a) en forme de C [15], (b) en forme de F [16], (c) en forme de S [17]. et (d) en forme de croix [18]

II.4.2 Alimentation à double accès

Dans ce cas, l'élément rayonnant est alimenté par deux points distincts symétriques par rapport à son centre mais positionnés sur des axes orthogonaux. Le rôle des deux alimentations est de générer deux champs de même amplitude en quadrature de phase. L'avantage de cette technique est d'améliorer la largeur de bande du rapport axial, car elle ne dépend pas de l'élément perturbateur de mode inséré au niveau de l'élément rayonnant.

Les techniques les plus évoquées dans la littérature permettant d'avoir deux modes d'amplitudes égales avec un déphasage de 90° sont : l'ajout d'une ligne quart d'onde (**Figure II.7.a**) [19-20], l'utilisation d'un diviseur de puissance Wilkinson (**Figure II.7.b**) [21] ou l'insertion d'un coupleur hybride (**Figure II.7.c**) [22].

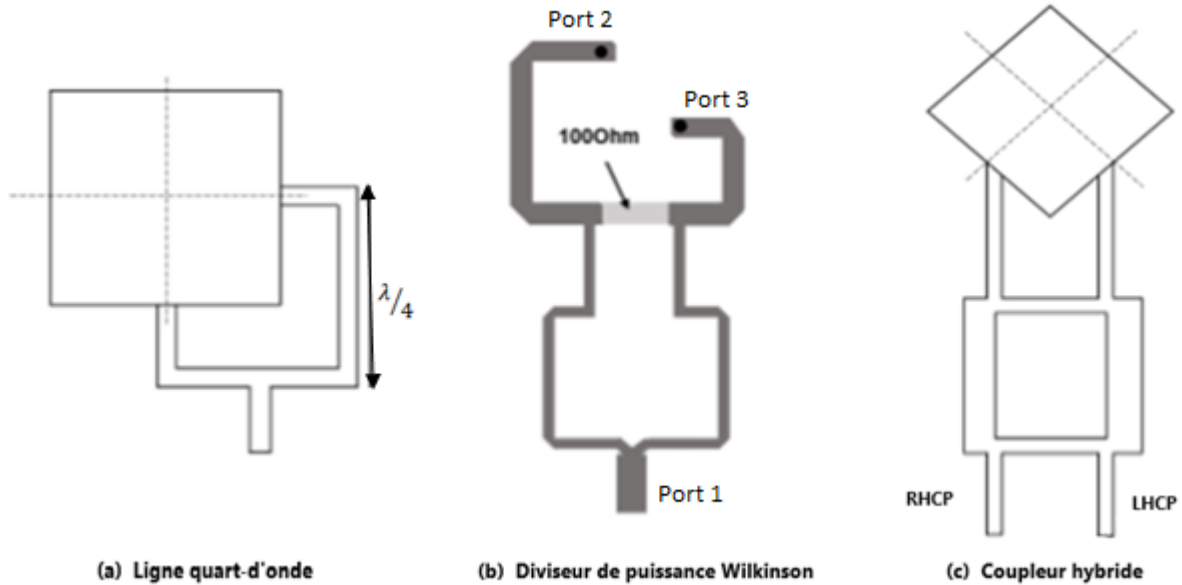


Figure II.7:Alimentation à double accès (a) par insertion d'une ligne quart d'onde[19-20], (b) utilisation du diviseur de puissance Wilkinson[21], (c) ajout d'un coupleur hybride[22]

II.4.2.1 Ajout d'une ligne quart d'onde

On peut obtenir la polarisation circulaire dans le cas des antennes patch avec un déphasage de 90° au niveau du circuit d'alimentation en ajoutant des lignes de compensation de longueur $\lambda/4$ tel qu'on peut le voir dans la **Figure II.7.a**. Malheureusement ce type d'alimentation présente une mauvaise isolation entre les ports d'excitation et la bande passante du rapport axial AR sera dans ce cas limitée et très étroite [19-20].

II.4.2.2 Utilisation d'un diviseur de puissances Wilkinson

Le diviseur de puissance de Wilkinson est un réseau à trois ports tel que l'illustre la **Figure II.7.b**. On suppose que tous les ports sont adaptés et qu'une bonne isolation entre les deux ports de sortie est assurée. Lorsqu'un signal entre dans le port 1, il se divise en sortie en deux signaux de même amplitude et de même phase aux niveaux des ports 2 et 3. En raison de la symétrie, chaque borne de la résistance d'isolation est au même potentiel, par conséquent aucun courant ne la traverse. La résistance est donc découplée de l'entrée.

Les diviseurs de puissances classiques de type Wilkinson sont en général à faible bande en quadrature de phase avec une bonne isolation entre les deux ports de sortie [21].

II.4.2.3 Insertion d'un coupleur hybride

Les coupleurs hybrides (**Figure II.7.c**) sont des éléments très largement utilisés en hyperfréquences. Ils permettent de répartir également la puissance avec des signaux en quadrature de phase sur leurs ports de sorties. Cette quadrature est obtenue en choisissant judicieusement les valeurs des longueurs des lignes et des impédances caractéristiques.

Pour générer une polarisation circulaire, le coupleur hybride est préférable par rapport aux autres techniques, telles que les irrégularités dans le patch ou la géométrie d'alimentation, car il permet de fournir une large bande et une polarisation circulaire robuste. Cela réduit la sensibilité de l'antenne aux tolérances de fabrication et aux décalages de fréquence provoqués par la courbure de l'antenne [22].

II.5 Les limitations de la polarisation circulaire

Les antennes à polarisation circulaire offrent de nombreux avantages, mais elles sont difficiles à concevoir. Certains de leurs principaux inconvénients sont la bande passante étroite, le faible gain et l'excitation des ondes de surface qui réduisent l'efficacité du rayonnement.

Les antennes microruban à polarisation circulaire sont couramment utilisées dans les appareils de communication sans fil pour leurs caractéristiques discrètes, peu coûteuses et légères. Malgré ces avantages, ce type d'antenne souffre de la présence d'onde de surface électromagnétique (EM) qui se propage au niveau du substrat, et qui contribue à la dégradation des performances et du gain de l'antenne. De plus, l'onde de surface augmente la polarisation croisée de l'antenne, limitant ainsi l'utilité de l'antenne.

Les principales caractéristiques d'une antenne patch à polarisation circulaire est le taux d'ellipticité (Axial Ratio « AR » en anglais) ou la bande de fréquences en polarisation circulaire avec $AR \leq 3$ dB. Il faut savoir que cette valeur est la valeur standard et acceptable dans la majorité des applications. Pour respecter le critère de 3dB pour le rapport axial AR, il faut que la différence d'amplitude soit inférieure à 3 dB avec un déphasage parfait entre les deux composantes. Ou alors, il faut un écart de phase inférieur à 20° avec un équilibre d'amplitude parfait. Cela signifie qu'il est très facile de détériorer cette spécification surtout à des fréquences élevées [23].

Comme il est bien connu, la bande passante de fonctionnement d'une antenne à polarisation circulaire est définie comme une bande de fréquences dans laquelle la bande passante d'impédance ($S_{11} \leq -10$ dB) et celle où le rapport axial (AR) ≤ 3 dB se chevauchent. Un autre inconvénient des antennes à polarisation circulaire est le fait que la bande passante se trouve être réduite d'avantage lorsque la fréquence de résonance de coefficient S_{11} et celle du minimum du rapport axial AR ne sont pas identiques.

II.6 Techniques d'amélioration des performances d'une antenne polarisée circulairement

Différentes techniques ont été envisagées pour élargir la bande passante de fonctionnement d'une antenne microruban à polarisation circulaire.

II.6.1 Influence du substrat diélectrique

Dans les antennes patch polarisées circulairement, la principale limitation est la bande passante étroite. Cette dernière peut être élargie en modifiant les paramètres caractérisant le substrat diélectrique, à savoir :

1. Augmenter l'épaisseur du substrat.
2. Réduire sa permittivité diélectrique.

La première solution n'est pas très utilisée car elle favorise la présence des ondes de surfaces. D'autant plus que les substrats disponibles dans le commerce possèdent des hauteurs et des caractéristiques standards que nous ne pouvons modifier à notre guise.

La solution serait de choisir un substrat ayant une hauteur raisonnable, pour garder le caractère à faible profil de l'antenne imprimée, et une permittivité diélectrique pas très élevée.

II.6.2 Empilement/combinaison de plusieurs éléments rayonnants

D'autres méthodes permettant l'amélioration de la bande passante incitent à utiliser des résonateurs couplés à l'antenne, qui elle-même est considérée comme un résonateur. Parmi les solutions proposées, nous pouvons rajouter un ou plusieurs patchs supplémentaires qui peuvent être positionnés à côté du patch principal tels que le montre la **Figure II.8**. Ces patchs de dimensions différentes (patchs parasites) fonctionnent à une fréquence proche de celle du patch principal ce qui aurait pour conséquence d'élargir la bande de fréquence. Plus le nombre de

patches est grand et plus la bande du rapport axial augmente. Nous pouvons atteindre une bande passante de plus de 20% avec la configuration illustrée dans la **Figure II.8.c** [24].

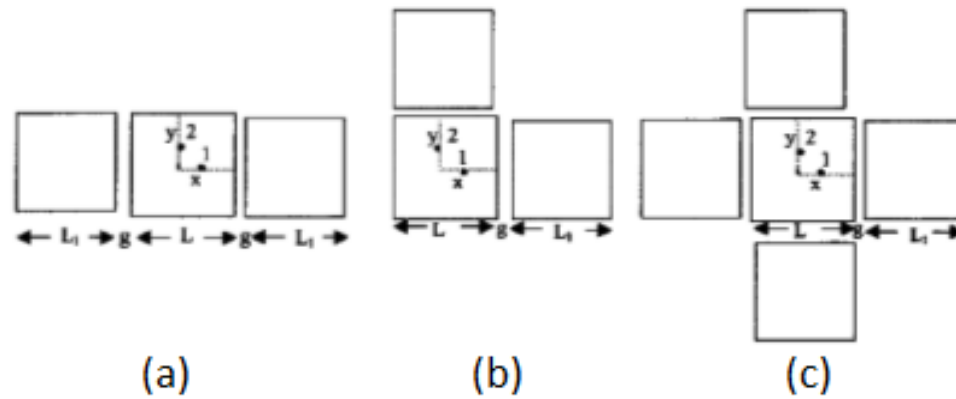


Figure II.8:Plusieurs configurations de patches parasites [24]

Les patches parasites de dimensions appropriées peuvent également être empilés en dessus du patch principal comme nous pouvons le voir dans la **Figure II.9**. L'intérêt de cette technique par rapport à la première est qu'il est possible de garder une taille transverse de l'antenne identique à un patch élémentaire, seule la hauteur est modifiée.

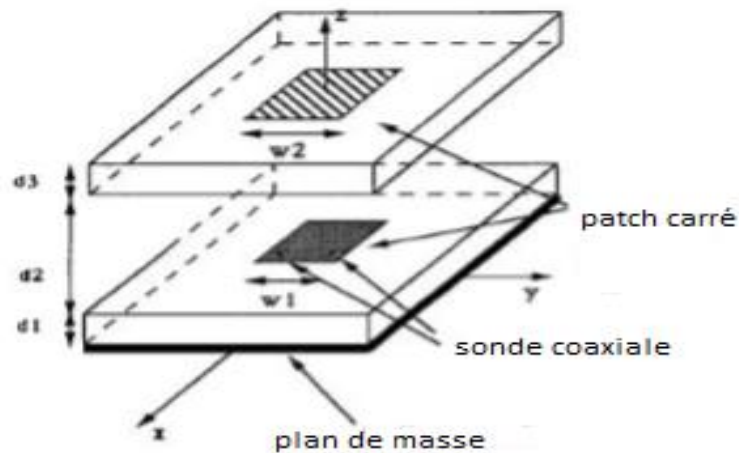


Figure II.9:Augmentation de la bande passante par ajout d'un patch parasite [24]

Ces deux techniques, bien que très efficaces dans l'élargissement de la bande passante, peuvent être très encombrantes en termes de volume, ce qui rendrait leur implémentation dans les appareils de communication actuels très difficile.

II.6.3 Insertion de fentes

Parmi les techniques qui assurent la polarisation circulaire c'est d'introduire des fentes, comme il a été présenté au paragraphe § II.4.1.4. Nous savons également que l'insertion de fentes au niveau du patch est l'une des techniques qui permettait sa miniaturisation. La conséquence d'une telle technique est une réduction inévitable des performances en termes de bande passante et de gain.

Mais, l'insertion d'une fente dans le pavé rayonnant permet non seulement un allongement des trajets des courants mais aussi la création de nouvelles résonances. Cette technique de concevoir des antennes multi bandes à polarisation circulaire peut être utilisée pour élargir la bande passante et améliorer le rapport axial. A la différence des deux techniques précédentes, l'ajout de fente permet de garder l'aspect compact et peu encombrant de la structure. A noter que seulement des formes spéciales de fentes peuvent être utilisées pour améliorer les performances d'une antenne patch [25]. Quelques exemples sont illustrés dans la **Figure II.10**.

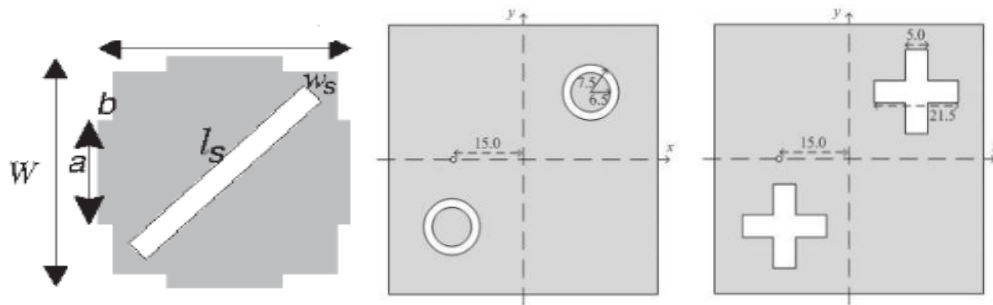


Figure II.10:L'insertion de fentes au niveau du patch [25]

II.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les antennes microrubans à polarisation circulaire. En premier lieu, nous avons parlé des intérêts de ce type d'antennes, puis nous avons expliqué en détail les différentes techniques qui nous permettent d'obtenir une polarisation circulaire, selon que le patch est excité à travers un seul accès ou deux accès d'alimentation. Nous avons par la suite énumérer certaines des limites que pouvait avoir l'antenne polarisée circulairement notamment en terme de bande passante. Quelques techniques utilisées pour surmonter cette limite sont présentées à la fin de ce chapitre.

Le chapitre suivant sera consacré à la présentation de plusieurs structures d'antennes microrubans conçues sous environnement CST sur lesquelles des techniques permettant d'assurer un rayonnement à polarisation circulaire sont appliquées. Une confrontation entre nos résultats de simulation avec ceux présentés dans la littérature sera également abordée.

Bibliographie

- [1] K. Geary, J. H. Schaffner, H. Hsu, H. J. Song, J. S. Colburn and E. Yasan, "Single-Feed Dual-Band Stacked Patch Antenna for Orthogonal Circularly Polarized GPS and SDARS Applications", IEEE 68th Vehicular Technology Conference, pp. 1-5, Calgary, 2008.
- [2] K. Agarwal, Nasimuddin, A. Alphones, "RIS-Based Compact Circularly Polarized Microstrip Antennas," *IEEE Trans. Antenna Propagate*, vol.61, no.2, February 2013.
- [3] S.kumar, "design and analysis of microstrip antenna for circular polarization," *university school of information, communication and technology*, pp. 80-81, New Dalhi, 2016.
- [4] W.-S. Yoon, J.W. Baik, H.-S. Lee, S. Pyo, S.-M. Han and Y. S. Kimm, "A reconfigurable circularly polarized microstrip antenna with a slotted ground plane," *IEEE Antenna and wireless propagation letters*, Vol. 9, pp. 1161- 1164, 2010.
- [5] W. Alshrafi, U. Engel, and T. Bertuch, "Compact controlled reception pattern antenna for interference mitigation tasks of global navigation satellite system receivers," *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, vol. 9 (6), pp. 593-601, Apr. 2015.
- [6] E.Semouchkina, G.Semouchkin, M.Lanagan, I.Ivanchenko, A.Korolev , and N.Popenko, "Enhancement of Circular Polarization Output in Square Patch Microstrip Antennas ," *34th European Microwave Conference*, pp.1333-1336, Amsterdam, 2004.
- [7] J. Garcia, A. Arriola, F. Casado, X. Chen, J. I. Sancho, and D. Valderas, "Coverage and read range comparison of linearly and circularly polarised radio frequency identification ultra- high frequency tag antennas," *IET Microwaves, Antennas and Propagation*, 2012.
- [8] Projet de Physique P6 STPI/P6/2014 – 45.
- [9] J. Leon Valdes, L. Huitema, E. Arnaud, D. Passerieux, A. Crunteanu , "Antenne reconfigurable en polarisation dans la bande millimétrique en utilisant l'activation optique des matériaux à changement de phase" *,XXIèmes Journées Nationales Microondes* , Caen ,14-17 mai 2019.

- [10] Nasimuddin, Z. N. Chen, and X. Qing, "Asymmetric-Circular Shaped Slotted Microstrip Antennas for Circular Polarization and RFID Applications," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, AP-58, pp. 3821-3828, December 2010.
- [11] Adam Z. Narbudowicz "Advanced Circularly Polarised Microstrip Patch Antennas," *Technological University, Dublin* 2013.
- [12] S. B. Vignesh, Nasimuddin and A. Alphones, "Stubs-Integrated-Microstrip Antenna Design for Wide Coverage of Circularly Polarised Radiation," *IET Microwave Antennas & Propagation*, vol. 11, no. 4, pp. 444-449, 2016.
- [13] Y.Sung, "Axial Ratio-Tuned Circularly Polarized Square Patch Antenna with Long Stubs", *International Journal of Antenna and Propagation*, 2018.
- [14] Marwa Shakeeb "Circularly-Polarized-Microstrip Antenna" *CONCORDIA UNIVERSITY SCHOOL OF GRADUATE STUDIES*, Dec 2010.
- [15] Nasimuddin, Z.N.Chen, Xianming Qing, "Single Fed Circularly Polarized Microstrip Antenna with C-Slot," in proceedings of the Microwave Conference, 2008, pp. 1-4.
- [16] Nasimuddin, Y. Yong, Z.N. Chen, A. Alphones, "Circularly Polarized F-Shaped Slot Microstrip Antenna with Wide Beamwidth," in proceedings of the European Microwave Conference, EuMC , 2009 , pp. 1531–1534.
- [17] H. Iwasaki; "A Circularly Polarized Small-Size Microstrip Antenna with a Cross Slot", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 44, issue. 10, 1996, pp. 1399-1401.
- [18] J.-S. Row, C.-Y. Ai "Compact Design of Single-Feed Circularly Polarised Microstrip Antenna" *IEEE Electronics Letters*, vol.40, issue: 18, 2004, pp. 1093-1094.
- [19] M. Khan, Z. Yang, S. Member and K. Warnick, "Dual -Circular-Polarized High-Efficiency Antenna for Ku-Band," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 13, pp. 1225-1236, January 2014.

- [20] A. Roy, C. Ghosh, and S. Kumar Parui, "Highly Isolated Dual-Polarized Microstrip Patch Antenna Using Defected Microstrip Structure," *International Journal of Soft Computing and Engineering*, Vol No.2, Issue No.3, pp. 2231-2307, July 2012.
- [21] A. Hassan, F. Elhefnawi, A. Z. Elsherbeni, M. Hendi and S. Elramly, "Compact Dual Circularly-Polarized Microstrip Antennas," *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, pp. 1-4, Toronto, 2010.
- [22] A. Dierck, H. Rogier, and F. Declercq, "A Wearable Active Antenna for Global Positioning System and Satellite Phone," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 61, no. 2, pp. 532-538, February 2013.
- [23] S.Shichang, Qi Luo and FuguoZhu, "Circularly Polarized Antennas," *University of Kent*, UK, 2014.
- [24] K. T. V. REDDY - G. KUMAR "Dual-feed gap-coupled square microstrip antennas for broadband circular polarization", *Journal of Microwave and Optical Letters*, Vol. 26, Issue 6, Pages 399 – 402
- [25] MarwaShakeeb"Circularly Polarized MicrostripAntenna", *CONCORDIA UNIVERSITY SCHOOL OF GRADUATE STUDIES*, Dec2010.

Chapitre III

*Simulation de plusieurs structures
d'antennes microrubans polarisées
circulairement*

Chapitre III : Simulation de plusieurs structures d'antennes microrubans polarisées circulairement

III.1 Introduction

L'objectif de ce chapitre est la conception et la simulation de plusieurs structures d'antennes microrubans polarisées circulairement. Ceci est réalisé lorsque le rapport axial AR est inférieur à 3 dB. La bande de fréquence de fonctionnement de l'antenne est bien évidemment déterminée lorsque le coefficient de réflexion S_{11} est inférieur à -10 dB. Le logiciel de simulation CST (computer simulation technologie) a été utilisé pour concevoir ces antennes.

Dans un premier temps, différentes antennes microrubans présentées dans la littérature ont été conçues et simulées sous CST afin de valider notre utilisation de ce logiciel.

En second lieu, notre maîtrise de la conception d'une antenne microruban sous CST, nous a permis d'appliquer différentes techniques pour obtenir la polarisation circulaire à un seul accès dans le cas d'une antenne microruban de forme rectangulaire ou carrée. Ce travail nous a permis de montrer l'impact des paramètres géométriques de la structure sur le fonctionnement de l'antenne afin de répondre aux exigences d'un cahier de charge prédéfini.

III.2 Description du Logiciel de Simulation CST

Le simulateur CST (Computer Simulation Technology) Microwave Studio est basé sur la méthode des intégrales finies FIT (Finite Integration Technique) développée par Weiland en 1977 [1]. Il permet l'analyse rapide et précise des dispositifs à haute fréquence tels que les antennes, les filtres ...etc. Cet outil est très avantageux en termes de temps de calcul.

III.3 Conception de différentes structures antennaires à polarisation circulaire

Tout d'abord, nous allons commencer la conception de deux configurations d'antenne à polarisation circulaire, présentées dans la littérature.

III.3.1 Antenne microruban carrée avec quatre patches circulaires intégrés aux coins

Dans la référence [2], une antenne microruban à polarisation circulaire CPMA (circularly polarized microstrip antenna) est proposée pour les systèmes de navigation par satellite

GNSS/GPS fonctionnant à la fréquence 1.575 GHz. Afin d'optimiser l'antenne et d'assurer un rayonnement à polarisation circulaire, quatre patchs de forme circulaire sont intégrés asymétriquement aux coins d'un élément rayonnant carré.

III.3.1.1 Description de la géométrie de l'antenne

L'antenne est constituée d'un patch carré d'une largeur $L = 43,15 \text{ mm}$ placé sur un substrat carré d'une largeur $L_s = 70 \text{ mm}$ caractérisé par une permittivité relative de 3.4, une tangente diélectrique de perte $tg\delta = 0,0027$ et une épaisseur $h = 3,048 \text{ mm}$. Le patch est alimenté via une ligne coaxiale d'impédance caractéristique 50Ω positionnée sur l'axe x à une distance $x_0 = 10 \text{ mm}$ du centre du radiateur microruban, tel que nous pouvons le voir dans la **figure III.1**.

Quatre patchs circulaires sont situés sur les lignes diagonales aux points de coordonnées $[(\pm p, \pm p)]$, où $p = L/2$ de l'antenne microruban comme illustré sur la **Figure III.1.b**.

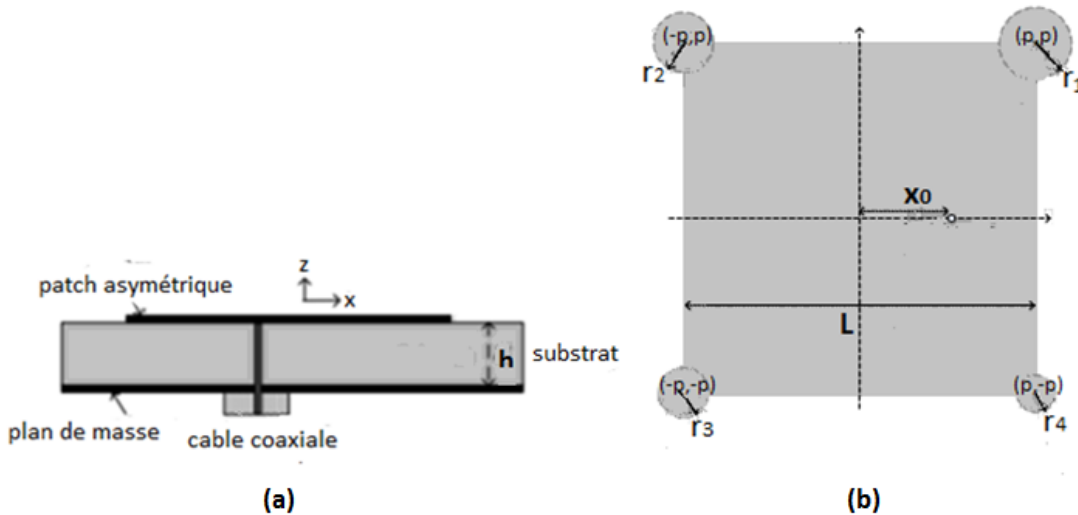


Figure III.1 : Géométrie de l'antenne proposée (a) vue en coupe (b) vue de dessus [2].

III.3.1.2 Etude paramétrique de l'antenne

III.3.1.2.1 Cas où les quatre cercles sont identiques

On première étape, il serait intéressant d'étudier le comportement de cette antenne lorsque les rayons des quatre cercles sont identiques, à savoir : $r_1 = r_2 = r_3 = r_4$.

La variation du coefficient de réflexion S_{11} , ainsi que celle du rapport axial AR en fonction de la fréquence sont illustrées dans la **figure III.2.a** et **b** respectivement.

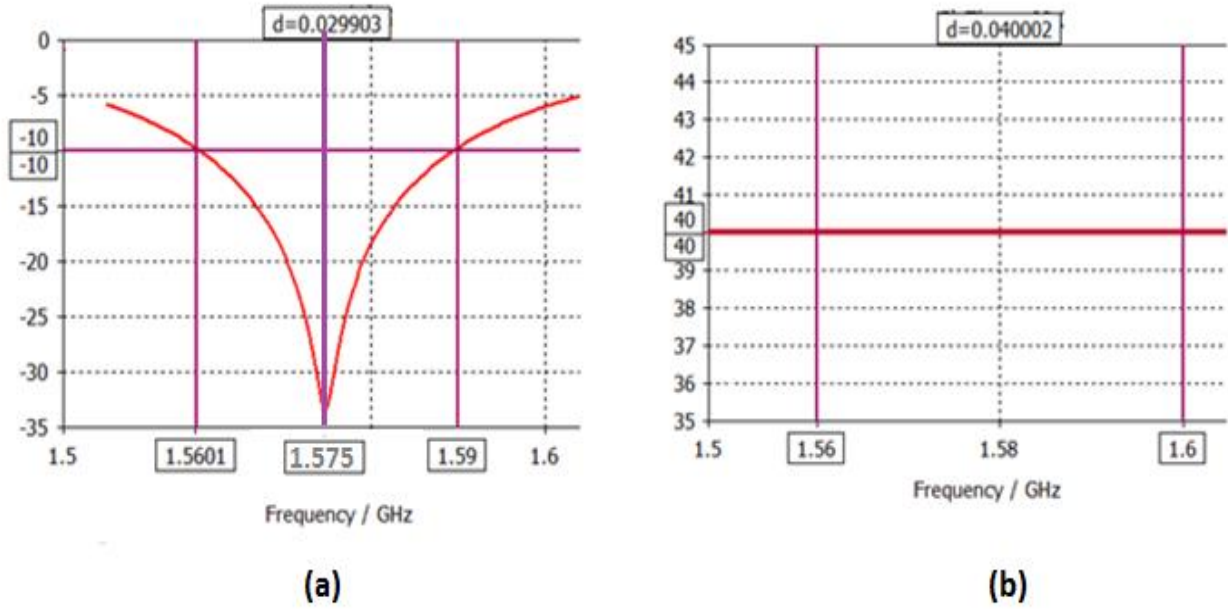


Figure III.2: (a) coefficient de réflexion,

(b) Rapport axial, en fonction de la fréquence ($r_1 = r_2 = r_3 = r_4$).

Nous pouvons constater que l'antenne résonne à la fréquence 1.575 GHz. La bande passante mesurée à -10 dB est de 29.9 MHz. Cependant, nous remarquons que le rapport axial reste à 40 dB ce qui veut dire que l'antenne est à polarisation linéaire.

Dans ce qui va suivre, nous allons modifier les rayons des quatre cercles dans le but d'obtenir une polarisation circulaire.

III.3.1.2.2 Variation du rayon r_1

La variation du rapport axial en fonction de la fréquence pour différentes valeurs du rayon r_1 est illustrée dans la **Figure III.3**. Les autres paramètres ont été fixés à : $r_2 = 5,15mm$, $r_3 = 4,0mm$, $r_4 = 3,0mm$.

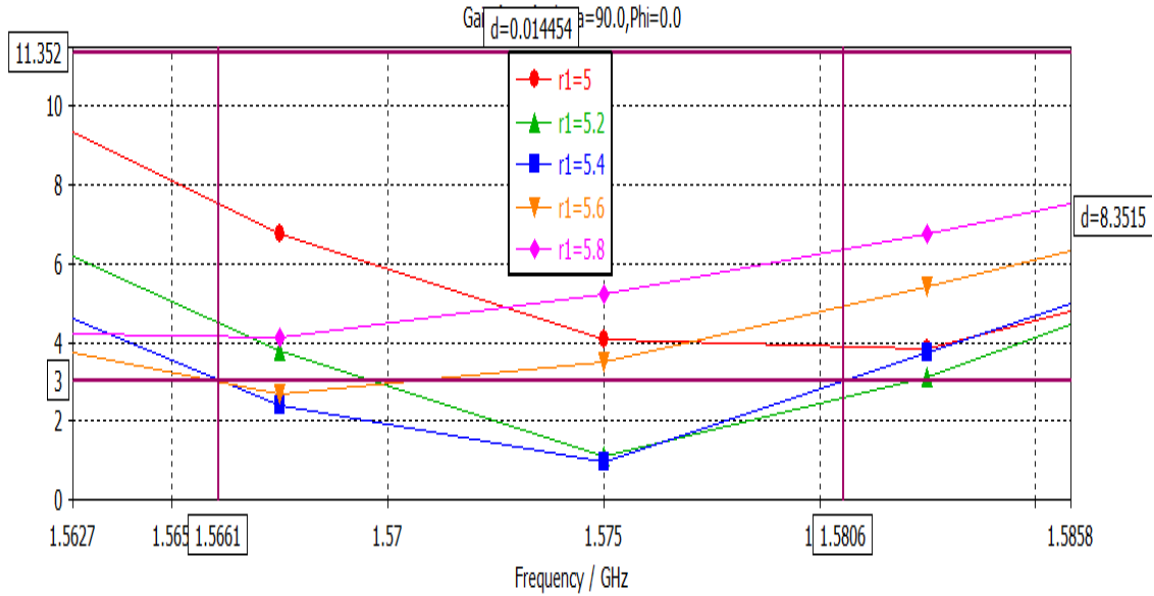


Figure III.3: Rapport axial AR pour différentes valeurs de r_1 .

D'après cette Figure III.3, un rapport axial minimal est obtenu lorsque $r_1 = 5,4mm$ et cela à la fréquence 1.575 GHz désirée.

III.3.1.2.3 Variation du rayon r_2

Nous allons à présent varier le paramètre r_2 en fixant les autres rayons à : $r_1 = 5,4mm$, $r_3 = 4,0mm$, $r_4 = 3,0mm$. La réponse fréquentielle du rapport axial est représentée dans la figure III.4.

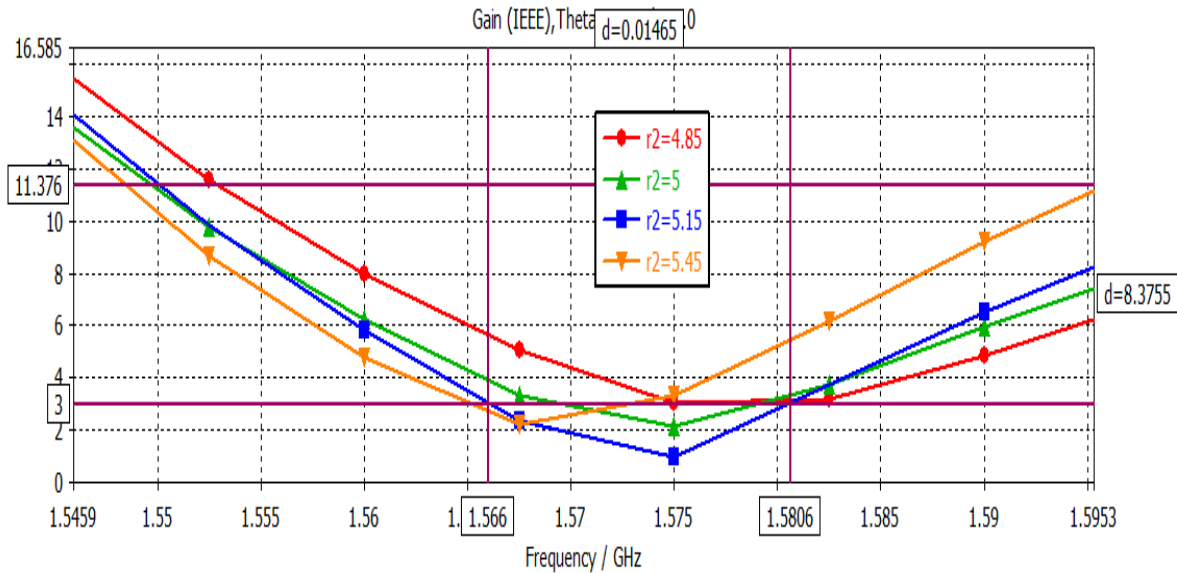


Figure III.4: Rapport axial AR pour différentes valeurs de r_2

Nous remarquons que lorsque le rayon r_2 est supérieur à 5.15 mm, la fréquence qui correspond à un AR minimal est décalée par rapport à la fréquence désirée qui est 1.575 GHz. Pour les valeurs inférieures à 5.15 mm, la bande de fréquence pour laquelle nous avons une polarisation circulaire devient très petite, voire même inexistante. Le meilleur résultat est donc celui pour lequel $r_2 = 5.15\text{mm}$.

III.3.1.2.4 Variation du rayon r_3

Nous allons varier le rayon r_3 de 3.6 à 4.4mm en gardant les autres rayons à $r_1 = 5,4\text{mm}$, $r_2 = 5,15\text{mm}$ et $r_4 = 3,0\text{mm}$, tel que nous pouvons le voir dans la **figure III.5**.

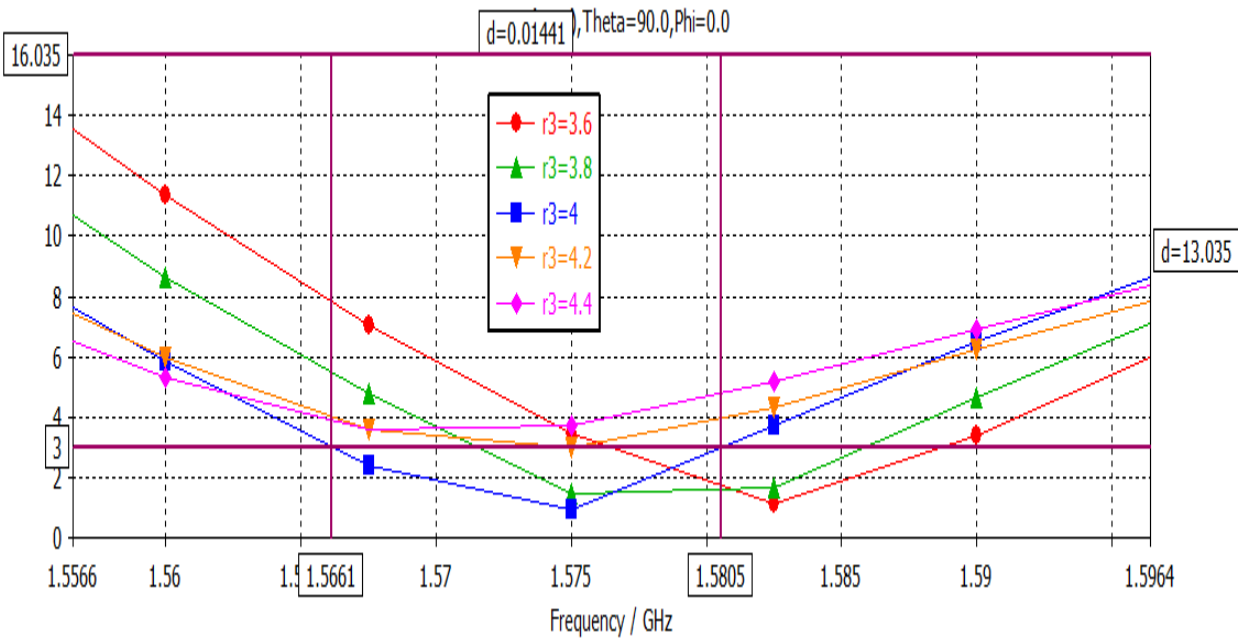


Figure III.5:Rapport axial AR pour différentes valeurs de r_3

Pour obtenir une polarisation circulaire autour de la fréquence de résonance de l'antenne qui est de 1.575 GHz, la valeur $r_3 = 4\text{mm}$ semble être la plus appropriée.

III.3.1.2.5 Variation du rayon r_4

Nous faisons varier le rayon du plus petit patch circulaire intégré r_4 de 2.6 à 3.4mm. Les résultats sont tracés à la **Figure III.6**, avec $r_1 = 5,4\text{mm}$, $r_2 = 5,15\text{mm}$, $r_3 = 4,0\text{mm}$.

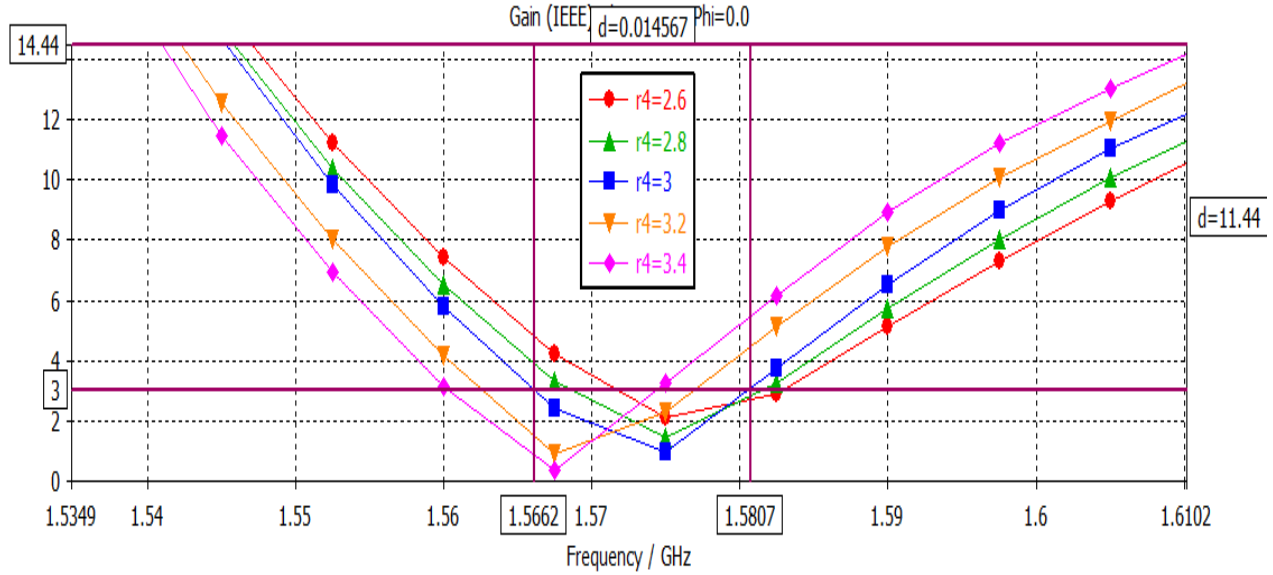


Figure III.6: Rapport axial AR pour différentes valeurs de r_4 .

Nous remarquons que si le rayon r_4 est inférieur à 3mm, le rapport axial augmente et nous perdons la polarisation circulaire. Par contre, si r_4 est supérieur à 3 mm la fréquence de résonance est décalée, nous obtenons une polarisation circulaire mais pas autour de 1.575GHz exigée par le standard GNSS/GPS. Le meilleur compromis est donc pour $r_4 = 3$ mm.

III.3.1.2.6 Résultats et discussions

D'après l'étude précédente nous pouvons constater que la polarisation circulaire de cette antenne est très sensible aux rayons des patches circulaires intégrés aux quatre coins de l'élément principal.

L'antenne proposée, en prenant les valeurs optimales des rayons ($r_1 = 5,4mm$, $r_2 = 5,15mm$, $r_3 = 4,0mm$ et $r_4 = 3,0mm$) présente une polarisation circulaire avec une bande passante d'impédance mesurée à -10 dB de 53,62 MHz, telle que l'illustre la **Figure III.7(a)**. La bande passante du rapport axial AR mesurée à 3 dB est de 15 MHz, telle que le montre la **Figure III.7(b)**.

La **figure III.8** présente les résultats publiés par la référence [2]. Une bande passante en impédance de 56 MHz (1.556 - 1.612 GHz) est assurée et un rapport axial inférieur à 3 dB est obtenu de 1.568GHz à 1.592GHz, soit une bande passante de 24 MHz. Nous constatons une bonne concordance entre nos résultats et ceux de l'article.

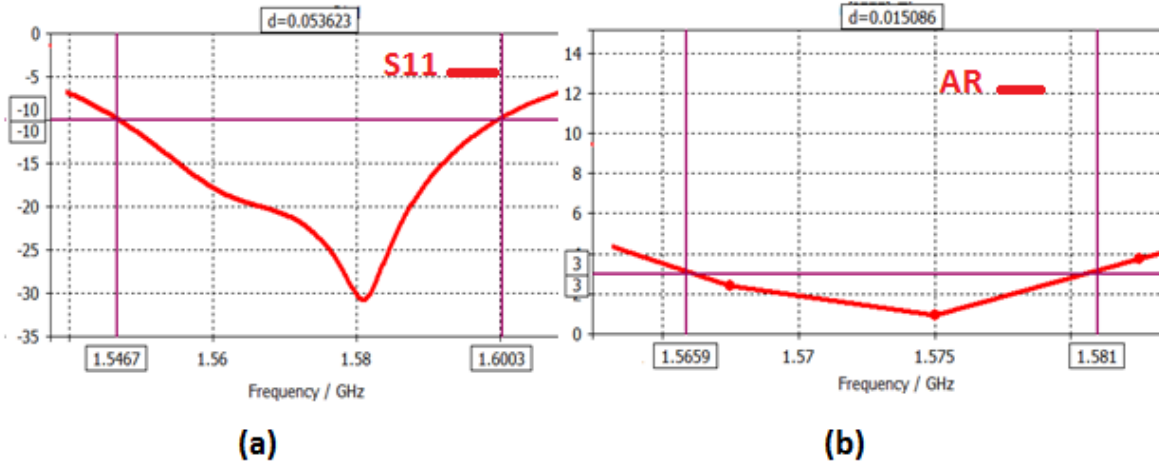


Figure III.7: (a) Coefficient de réflexion S_{11} et (b) Rapport axial AR en fonction de la fréquence

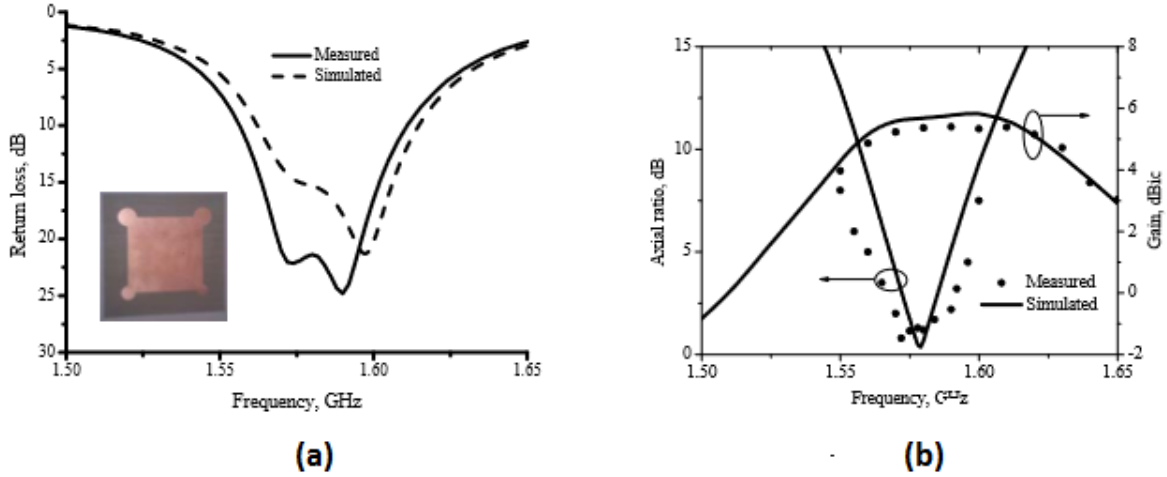


Figure III.8:(a) Coefficient de réflexion S_{11} , (b) Rapport axial AR et gain en fonction de la fréquence de la référence [2]

Une représentation à 3D du rayonnement de l'antenne ainsi conçue à la fréquence 1.575GHz est représentée par la figure III.9. Le gain maximal est de 5,7 dB ce qui très comparable à celui de l'article 5.25 dB (figure III.8.b).

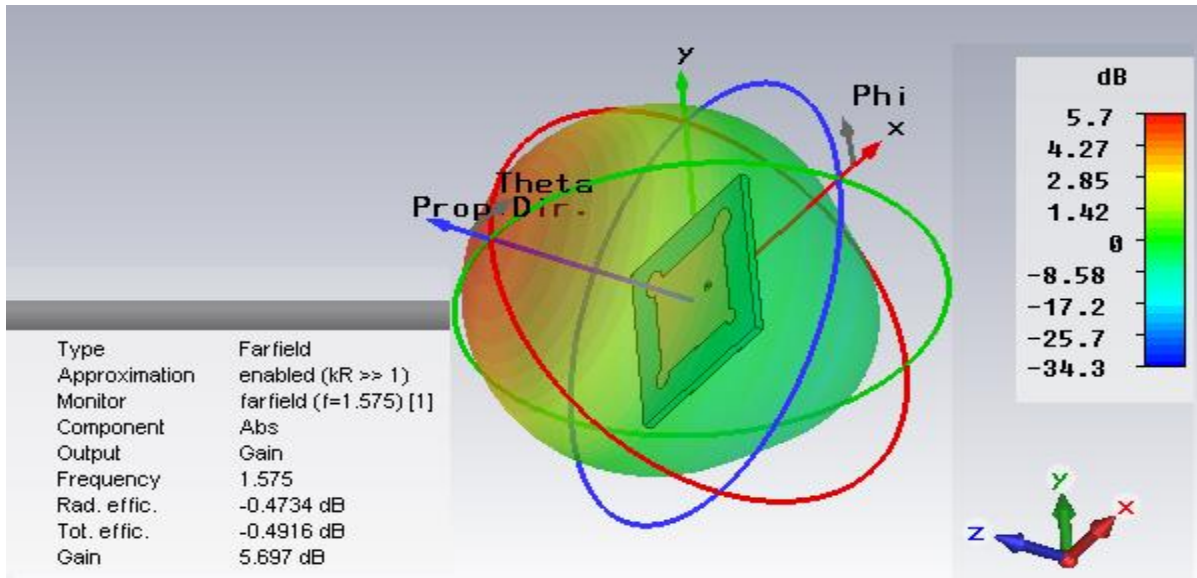


Figure III. 9: Diagramme de rayonnement en 3D à la fréquence 1.575 GHz.

Les résultats des diagrammes de rayonnement en 2D de l'antenne sont montrés sur les Figures III.10.a et III.10.b pour les deux plans principaux à $\phi=0^\circ$ et $\phi=90^\circ$ respectivement.

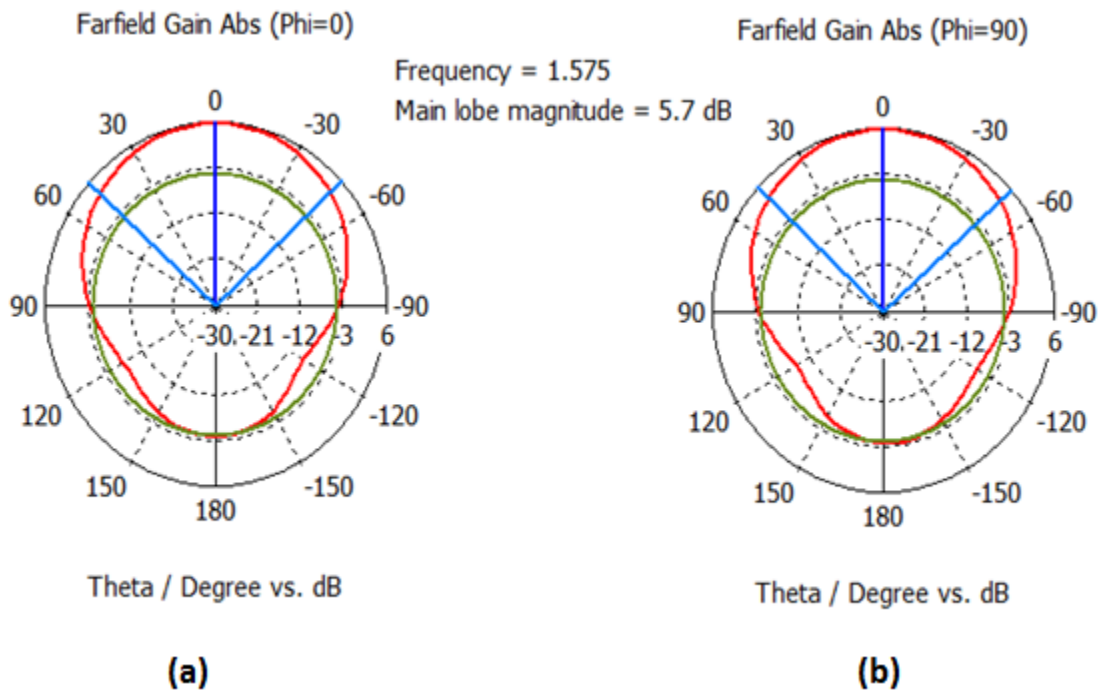


Figure III.10: Diagramme de rayonnement en 2D sur les deux plans : (a) plan xoz et (b) plan yoZ

La Figure III.11 présente les diagrammes de rayonnement publiés par la référence [2].

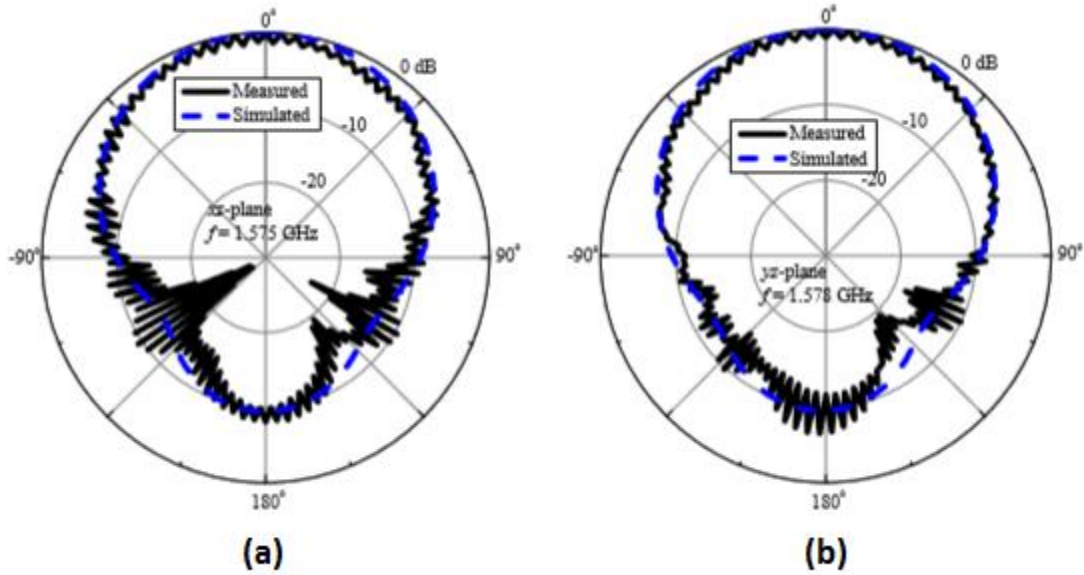


Figure III.11:Diagramme de rayonnement en 2D sur les deux plans selon [2] : (a) xoz et (b) yoz .

Cette antenne est capable de générer un rayonnement à polarisation circulaire et couvrir la bande GNSS/GPS L1 dont la fréquence centrale est de 1575.42 MHz avec des bandes passantes acceptables et un gain très intéressant.

III.3.2 Antenne microruban à polarisation circulaire ayant quatre fentes carrées

Dans la référence [3], les auteurs ont proposé une antenne microruban polarisée circulairement, destinée à servir les systèmes de navigation par satellite GNSS fonctionnant à la fréquence 1.575 GHz. Quatre fentes carrées en forme d'anneau sont insérées symétriquement le long des diagonales d'un patch de forme carrée afin d'assurer à la fois un rayonnement à polarisation circulaire et la réduction de la taille de l'antenne.

III.3.2.1 Description de la géométrie de l'antenne

La configuration de l'antenne proposée est illustrée par la **Figure III.12. a**. Les emplacements des quatre fentes en anneau carré sont situés symétriquement à une distance s par rapport aux deux axes principaux de l'antenne, telle que $s = L/4$. Ce qui implique que les fentes vont se trouver le long des directions diagonales du patch carré, comme illustré par la **Figure III.9.b**. Le rayonnement à polarisation circulaire est obtenu en imposant une légère différence entre la largeur des fentes qui va inciter l'antenne à générer deux modes orthogonaux de même amplitude et d'une différence de phase de 90° .

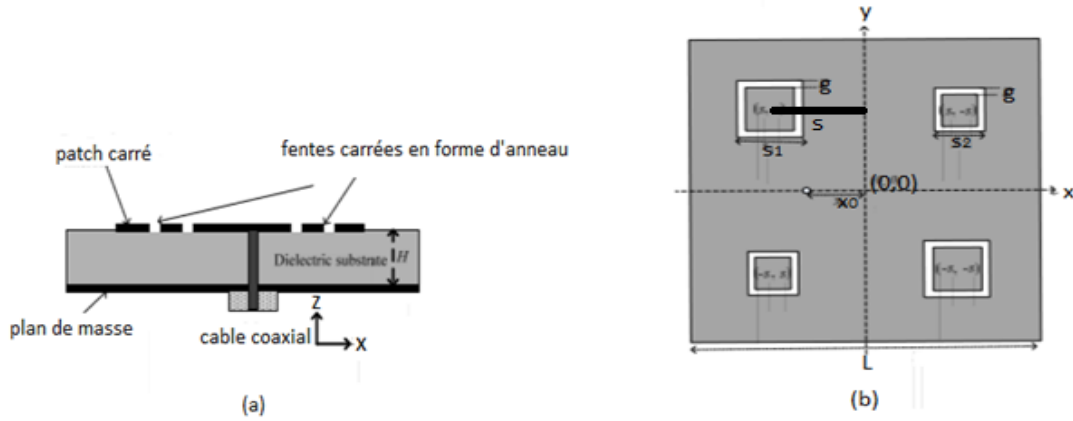


Figure III.12:Géométrie de l'antenne proposée(a) vue en coupe (b) vue de dessus [3]

Les dimensions de l'antenne proposée ainsi que les caractéristiques du substrat utilisé sont présentées dans le **tableau III.1**.

Paramètres	Description	Valeur
H	Hauteur de substrat	5 mm
ϵ_r	constant diélectrique du substrat	3.4
$tg\delta$	tangente de perte	0.0027
Ls	Longueur du substrat	60 mm
L	Longueur du patch	46.5 mm
x_0	Position de l'excitation	8.5 mm
s_1	Longueur de la 1ère fente carrée	13.2 mm
s_2	Longueur de la 2ème fente carrée	8.3 mm
g	Largeur de l'anneau	0.8 mm

Table III.1 : Dimensions de l'antenne à quatre fentes carrées.

III.3.2.2 Résultats de simulation

L'antenne proposée est simulée à l'aide du « CST Microwave Studio ». Les résultats obtenus après simulation, à savoir le coefficient de réflexion et le rapport axial sont représentés par les **figures III.13.a** et **III.13.b** respectivement.

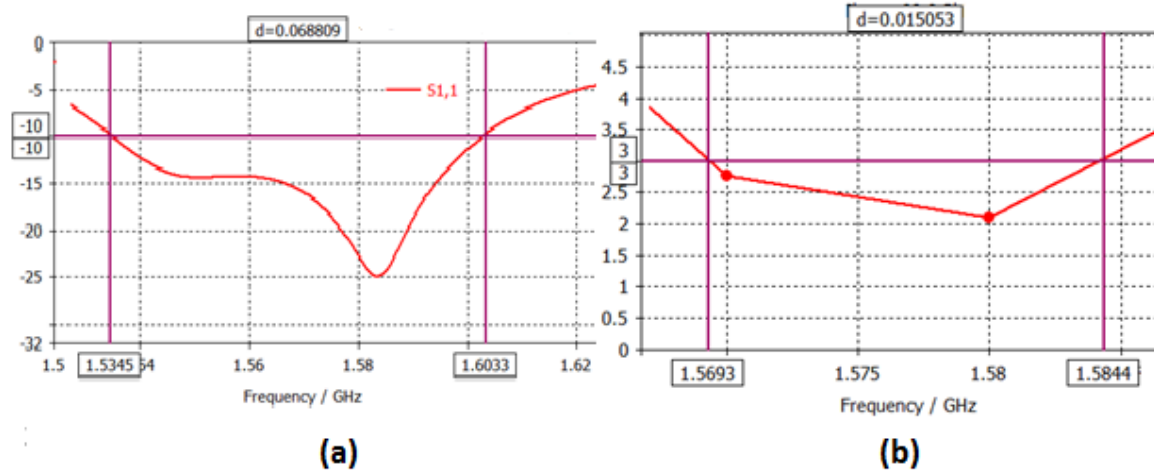


Figure III.13: (a) Coefficient de réflexion S_{11} et (b) Rapport axial AR en fonction de la fréquence.

D'après la **Figure III.13.a**, l'antenne présente une résonance à la fréquence 1.583 GHz, la largeur de la bande passante mesurée à -10 dB est de 68.8 MHz (1,53-1,60GHz).

La bande passante du rapport axial mesurée à 3 dB est de 15 MHz (1,56-1,58 GHz) telle que le montre la **Figure III.13.b**.

Il serait aussi intéressant d'étudier le comportement de cette antenne lorsque la largeur des fentes est identique, à savoir : $S_1=S_2$. La variation du rapport axial AR en fonction de la fréquence dans ce cas est illustrée dans la **Figure III.14**.

Nous remarquons que le rapport axial est égal à 40 dB ce qui veut dire que l'antenne est à polarisation linéaire lorsque la symétrie des fentes est parfaite et que leurs dimensions sont identiques.

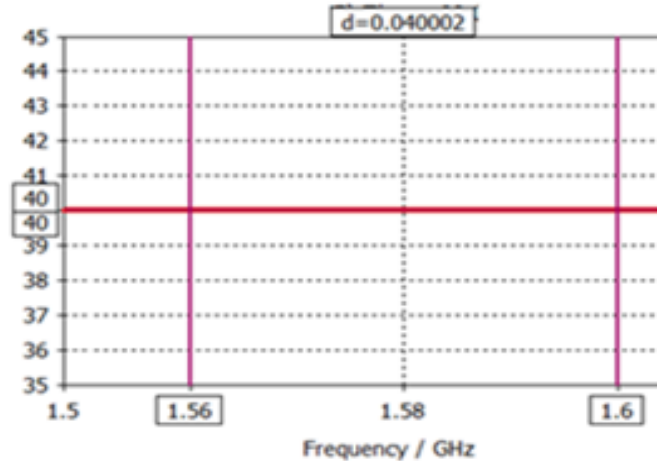


Figure III.14: Rapport axial, en fonction de la fréquence ($S_1=S_2$)

La Figure III.15 présente les résultats publiés par la référence [3]. La bande passante en impédance est de 80 MHz (1.545- 1.625 GHz) et la bande de fréquence pour un rapport axial AR inférieur à 3 dB, est de 25 MHz (1.56-1.585 GHz). Nous constatons une bonne concordance entre nos résultats et ceux de l'article.

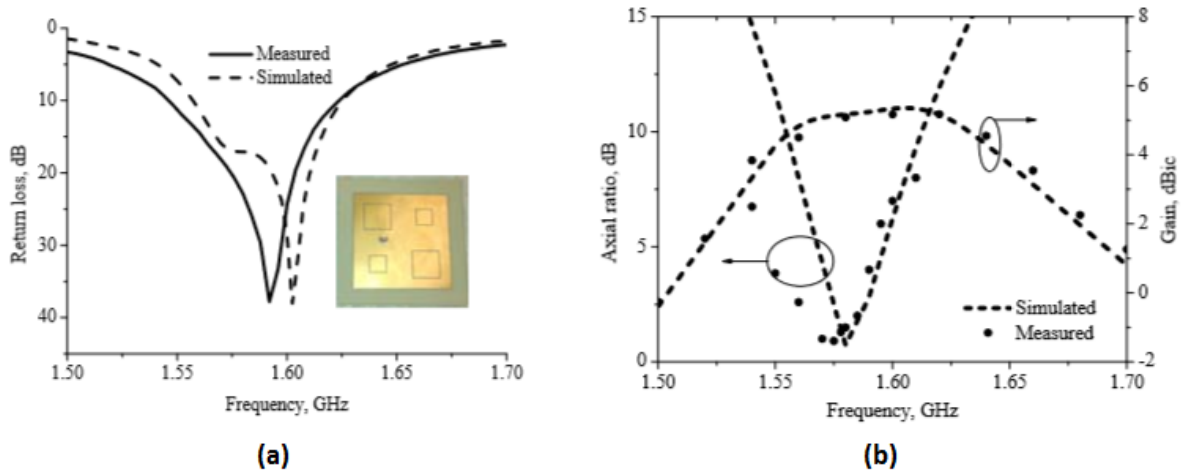


Figure III.15: (a) Coefficient de réflexion S_{11} (b) Rapport axial AR et gain en fonction de la fréquence selon la référence [3]

Le gain de l'antenne à la fréquence 1,575 GHz est de 5.7 dB, tel que le montre la Figure III.16. Il est comparable à celui présenté par l'article (Figure III.15.b).

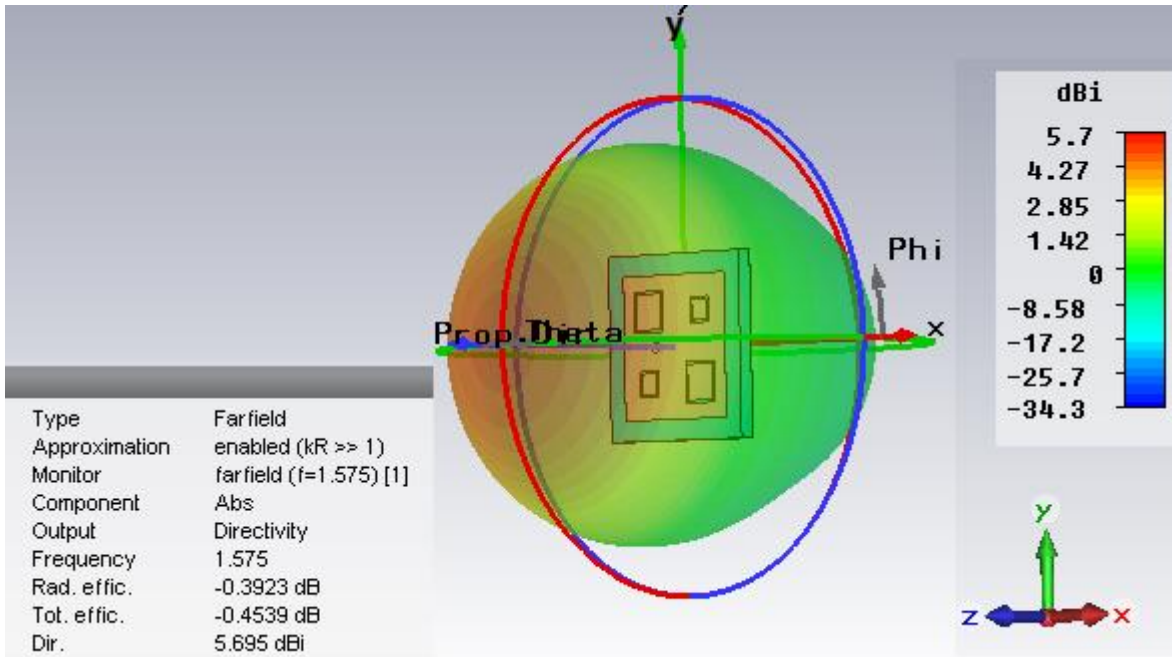


Figure III.16: Diagramme de rayonnement en 3D à la fréquence 1.575 GHz

Les résultats des diagrammes de rayonnement en 2D des deux antennes simulée et publiée par la référence [3] sont respectivement montrés sur les Figures III.17 et III.18 au niveau des deux plans principaux.

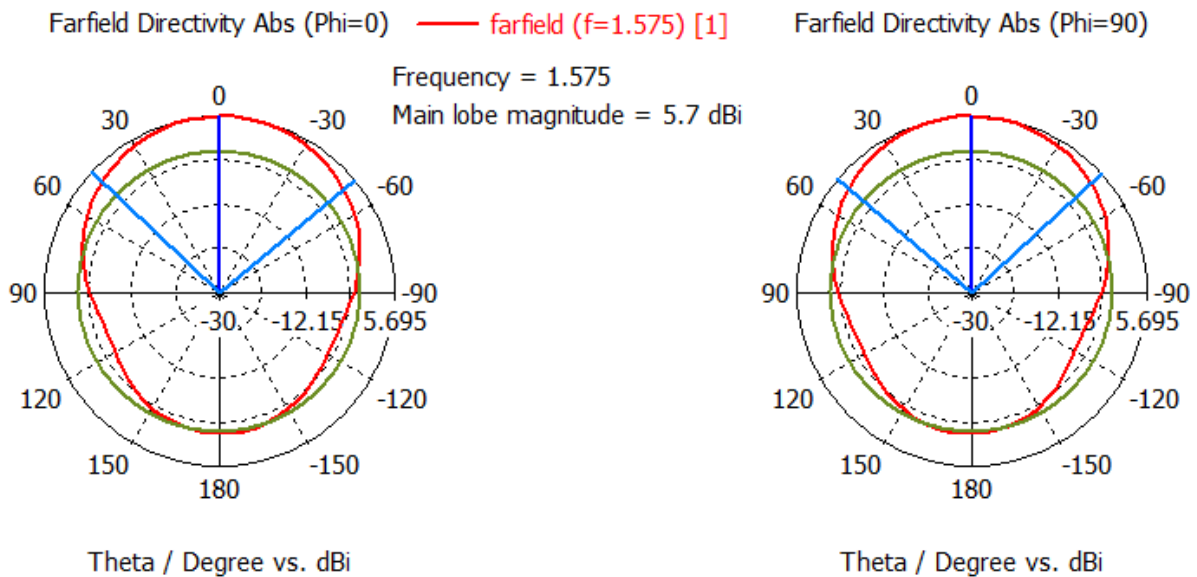


Figure III.17: Diagramme de rayonnement en 2D sur les deux plans : (a) $\phi=0^\circ$ et (b) $\phi=90^\circ$

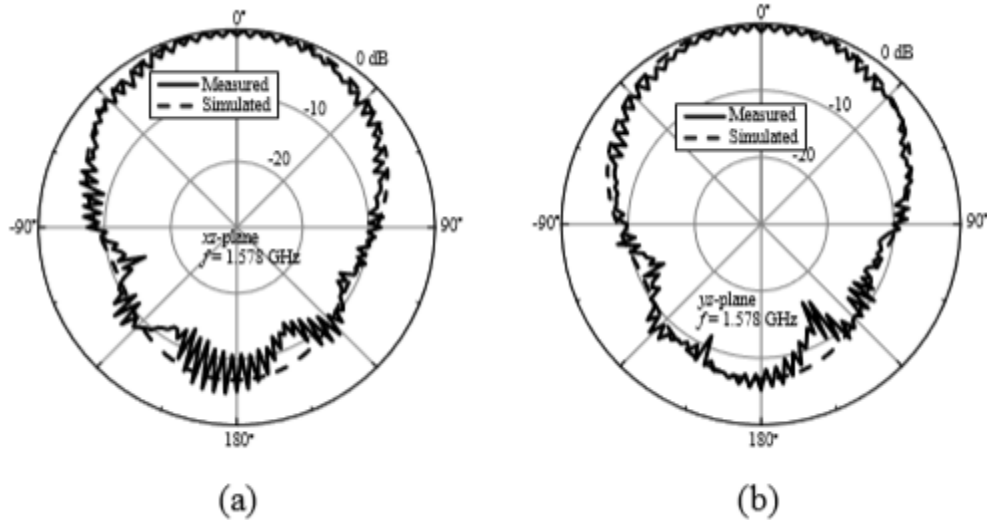


Figure III.18:Diagramme de rayonnement en 2D sur les deux plans : (a) XOZ et (b) YOZ selon la référence [3]

Nous remarquons que les résultats de simulation obtenus sont très en accord avec ceux de l'article.

Grace à la présence des fentes carrées, positionnées sur les deux diagonales de l'antenne patch, une polarisation circulaire a pu être réalisée autour de la fréquence 1575,42 MHz du standard GNSS/GPS L1.

L'étude des deux structures précédentes sous CST a abouti à des résultats très comparables à ceux présentés dans la littérature. Ceci valide notre utilisation du logiciel de conception électromagnétique CST. Nous pouvons à présent concevoir des antennes à polarisation circulaire, en appliquant les techniques les plus usuelles [4], en tentant de répondre aux exigences d'un cahier de charge que nous définissons au départ.

III.3.3 Application des techniques classiques de la polarisation circulaire

Notre conception va se faire en deux étapes. En premier lieu, nous déterminons les dimensions d'une antenne patch de forme rectangulaire à partir de la fréquence de résonance que l'on désire avoir et des caractéristiques du substrat diélectrique choisi au départ. En appliquant une technique d'alimentation classique, cette antenne sera polarisée linéairement. En seconde étape, nous allons appliquer trois des techniques les plus répandues qui permettent d'avoir un rayonnement à polarisation circulaire, à savoir : la troncature des coins de l'antenne, l'insertion d'une fente sur la diagonale de l'antenne et l'alimentation sur la diagonale de l'antenne.

III.3.3.1 Détermination des paramètres géométriques d'une antenne patch

La détermination des paramètres géométriques d'une antenne imprimée rectangulaire se fait grâce à des formules simplifiées qui nécessitent la connaissance de la constante diélectrique du substrat (ϵ_r), son épaisseur h et la fréquence de résonance (f_r).

Nous commençons par déterminer la largeur W du patch qui se calcule par la relation :

$$W = \frac{c}{2f_r\sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{III.1})$$

Avec : $c = 3.10^8$ m/s : vitesse de la lumière dans le vide

Par la suite nous déterminons la permittivité effective ϵ_{reff} du milieu :

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\frac{1 + 12h}{w} \right]^{-1} \quad (\text{III.2})$$

Cette équation est donnée pour $W/h > 1$.

La longueur du patch qui résonne à la fréquence imposée au départ est donnée par :

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad (\text{III.3})$$

Avec :

L_{eff} : La longueur effective du patch, déterminée par la formule (III.4).

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_r\sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (\text{III.4})$$

Et :

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{w}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0.3) \left(\frac{w}{h} + 0.8 \right)} \quad (\text{III.5})$$

III.3.3.2 Conception d'une antenne imprimée à coins tronqués

III.3.3.2.a Spécifications techniques

Nous proposons de concevoir une antenne patch polarisée circulairement à alimentation à un seul accès fonctionnant dans la bande de fréquence du système GNSS/GLONASS/G1 1593 – 1612 MHz de fréquence centrale égale à 1.6 GHz (**Figure III.19**)

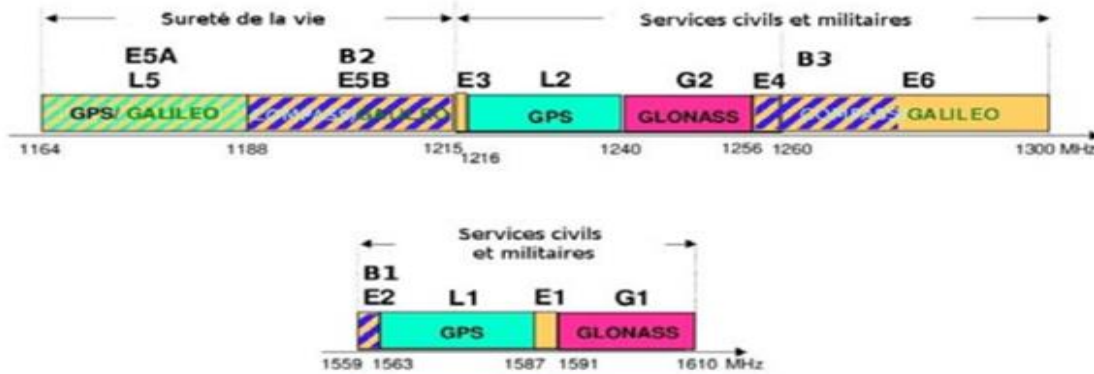


Figure III.19:Spectre des bandes de fréquence du GPS, GLONASS, Compass et Galileo [5].

Le substrat utilisé est le FR-4 ayant une constante diélectrique (ϵ_r) égale à 4.4, une tangente de perte ($tg\delta$) de 0,02 et une hauteur h de 1.6mm. Ce substrat est et à faible coût et très répandu sur le marché, ce qui justifie notre choix.

III.3.3.2.b Conception d'une antenne microruban polarisée linéairement

En suivant les spécificités du cahier de charges que nous nous sommes imposées et en utilisant les formules (III.1 a III.5) présentées dans le paragraphe § III.3.3.1, l'antenne rectangulaire doit avoir une largeur $W= 57.05 \text{ mm}$ et une longueur $L= 44.42 \text{ mm}$ afin de résonner à la fréquence 1,6 GHz. Comme nous cherchons à avoir un patch de forme carrée, ces dimensions ont été réajustées après simulation à $W=L=45.2\text{mm}$. La longueur et la largeur du substrat utilisés sont $L_s = W_s=76 \text{ mm}$.

Ce patch est alimenté par câble coaxial, le point d'alimentation est positionné sur l'axe de l'antenne pour obtenir une polarisation linéaire. La géométrie de cette antenne est représentée par la **Figure III.20**.

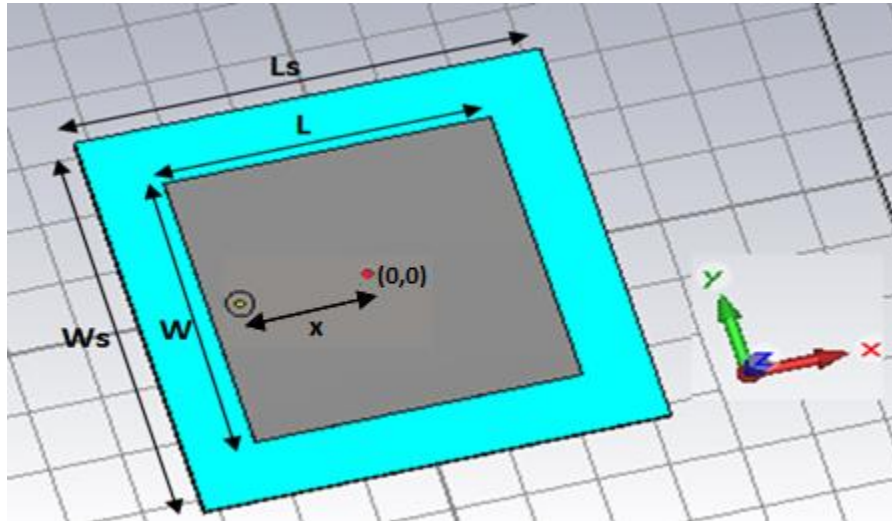


Figure III.20: Antenne microruban carrée à polarisation linéaire

L'emplacement du point d'alimentation a une influence directe sur le niveau d'adaptation de l'antenne avec le système qui l'alimente. La Figure III.21 montre la variation du coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la position du point d'alimentation x et cela à la fréquence de résonance 1.6 GHz.

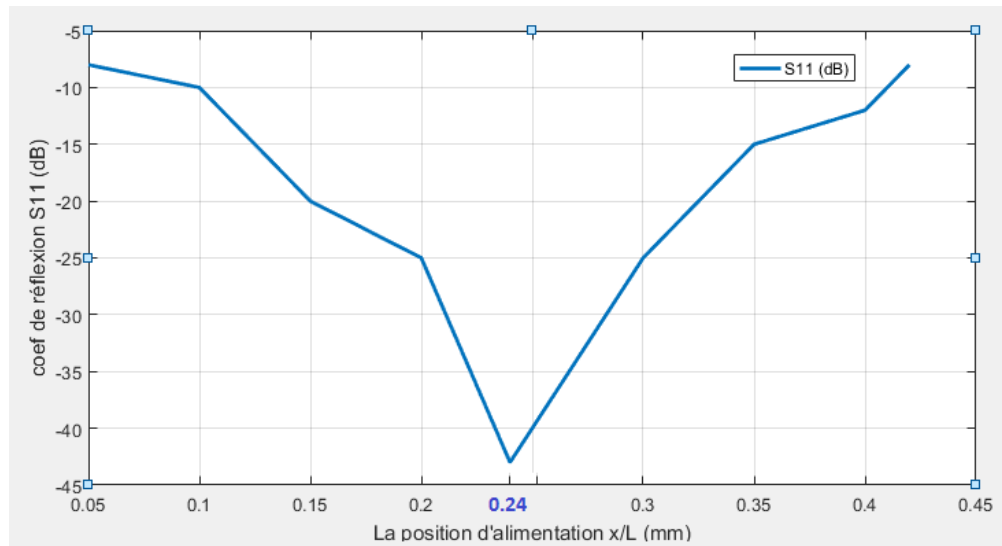


Figure III.21: La variation du coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la position du point d'alimentation (x/L) d'une antenne carrée à la fréquence $f_r = 1.6$ GHz

Nous constatons une meilleure adaptation d'impédance pour un rapport x/L égal à 0.24 ce qui correspond à la position optimale $x = 10,9\text{mm}$. La variation du paramètre S_{11} et du

rapport axial en fonction de la fréquence de l'antenne ainsi conçue est illustrée par les **Figures III.22(a) et III.22(b)** respectivement.

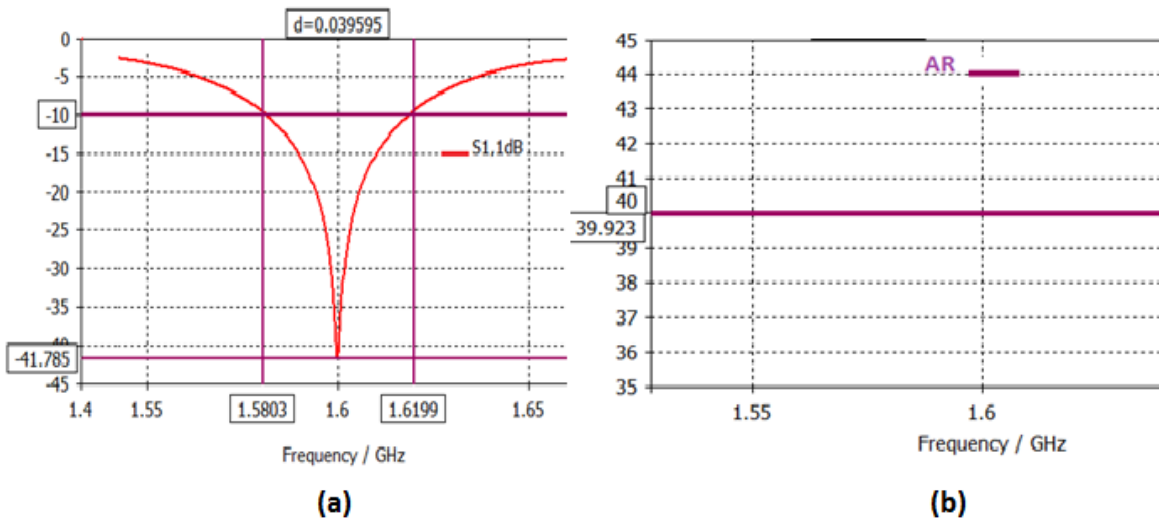


Figure III.22: (a) Coefficient de réflexion S_{11} et (b) Rapport Axial AR, en fonction de la fréquence.

La **Figure III.22.a** fait apparaître une résonance à 1.602GHz avec un niveau S_{11} de - 41.78 dB. La bande passante mesurée à -10 dB est de 39.59 MHz. Cependant, nous remarquons que le rapport axial reste à 40 dB ce qui est veut dire que l'antenne est à polarisation linéaire.

III.3.3.2.c Géométrie de l'antenne imprimée à coins tronqués

Dans le but de rendre l'antenne carrée à polarisation circulaire, nous allons appliquer une troncature sur deux coins opposés du patch, telle que le montre la **Figure III.23**.

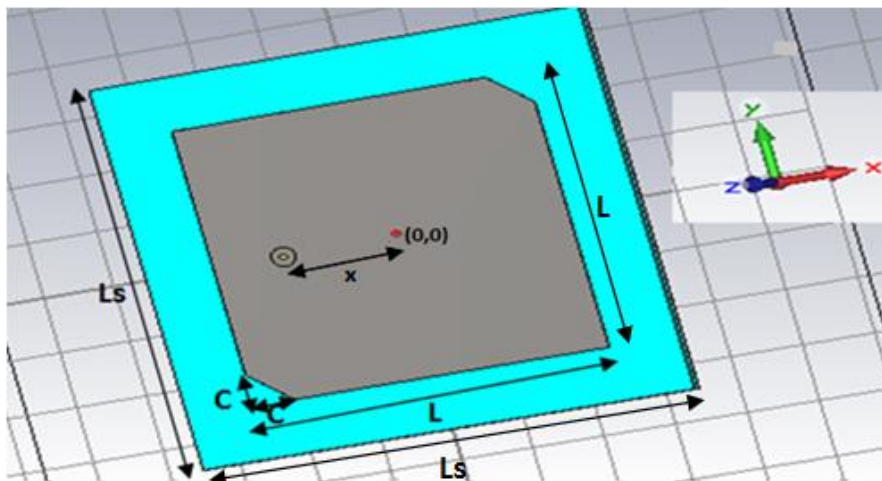


Figure III.23:Antenne microruban à coins tronqués

Après simulation, nous avons constaté un décalage de la fréquence de résonance vers une fréquence plus élevée, ce qui nous a conduit à augmenter les dimensions de l'antenne pour revenir vers la résonance convoitée qui est 1.6 GHz. Les nouveaux paramètres géométriques sont : $L=W=46$ mm et $c=5.66$ mm. Une étude sur l'emplacement de l'alimentation coaxiale et son impact sur le degré d'adaptation d'impédance de l'antenne a été menée. La **Figure III.24** montre la variation du coefficient de réflexion S_{11} et le rapport axial AR, à la fréquence 1.6 GHz, en fonction du rapport x/L .

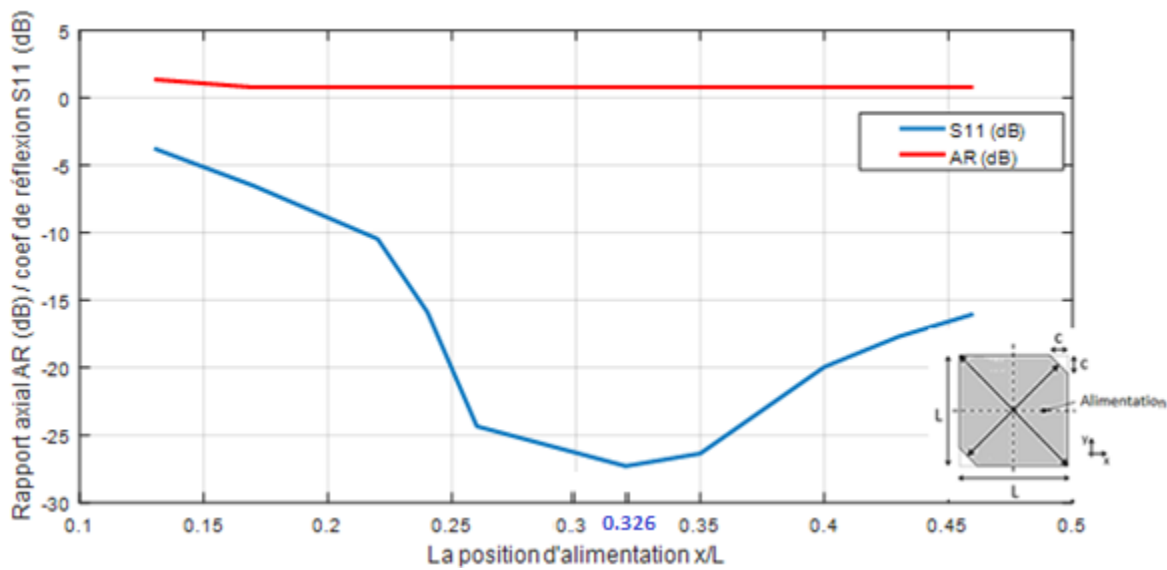


Figure III.24:Variation du coefficient de réflexion S_{11} et du rapport axial AR en fonction de la position de l'alimentation d'antenne à coins tronqués à $f_r=1.6$ GHz

Nous remarquons que la position du point d'alimentation n'a aucune influence sur le rapport axial. Elle a un impact conséquent sur l'adaptation de l'antenne. La position optimale d'après ce graphe est pour $x/L = 0.326$ qui correspond à $x = 15$ mm.

III.3.3.2.d Résultats de simulation

Le module du coefficient de réflexion, ainsi que le rapport axial en fonction de la fréquence de l'antenne à coins tronqués conçue sont représentés par la **Figure III.25** et la **Figure III.26** respectivement.

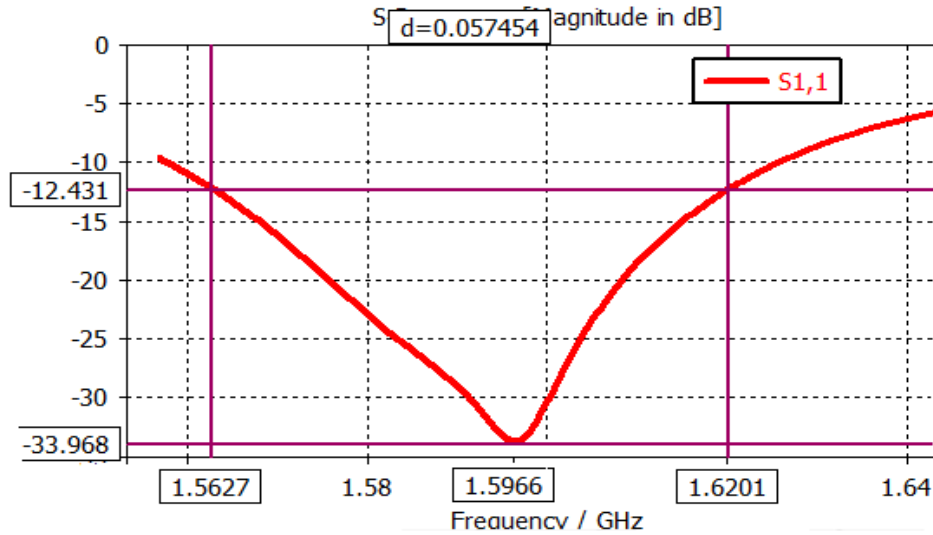


Figure III.25: Coefficient de réflexion S_{11} d'une antenne PC à coins tronqué

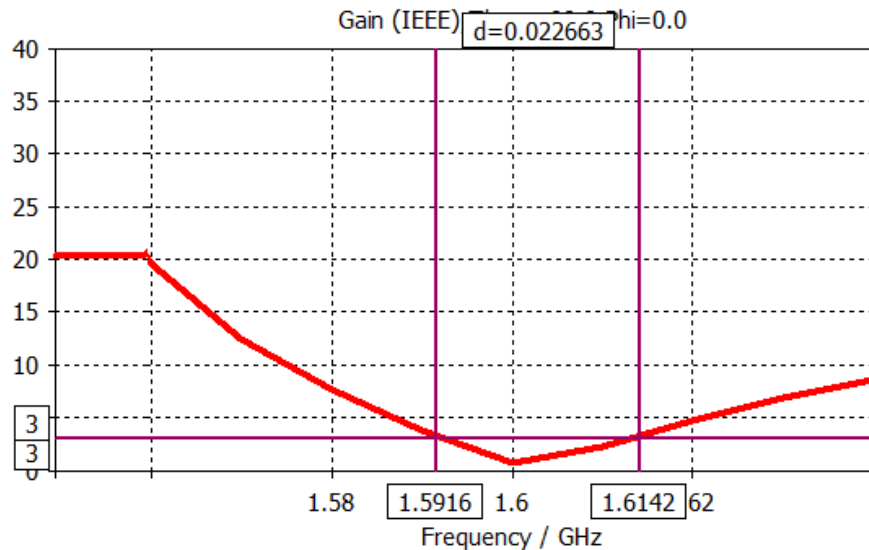


Figure III.26: Rapport axial AR d'une antenne PC à coins tronqués

Nous remarquons la présence d'une résonance à 1.596 GHz avec un niveau du paramètre S_{11} de -33.96 dB. La bande passante s'étale de 1.562 GHz à 1.62 GHz (soit de 57.45 MHz). Un rapport axial inférieur à 3 dB est obtenu sur une bande de fréquence de 22.68 MHz (de 1.591 GHz à 1.614 GHz), bande dans laquelle le rayonnement est à polarisation circulaire. Cette antenne permet de couvrir la bande GLONASS G1 (1593 – 1612) MHz. Le rayonnement à trois dimensions de cette antenne est représenté dans la **Figure III.27**. Un gain maximal de 1.63 dB est réalisé avec cette antenne.

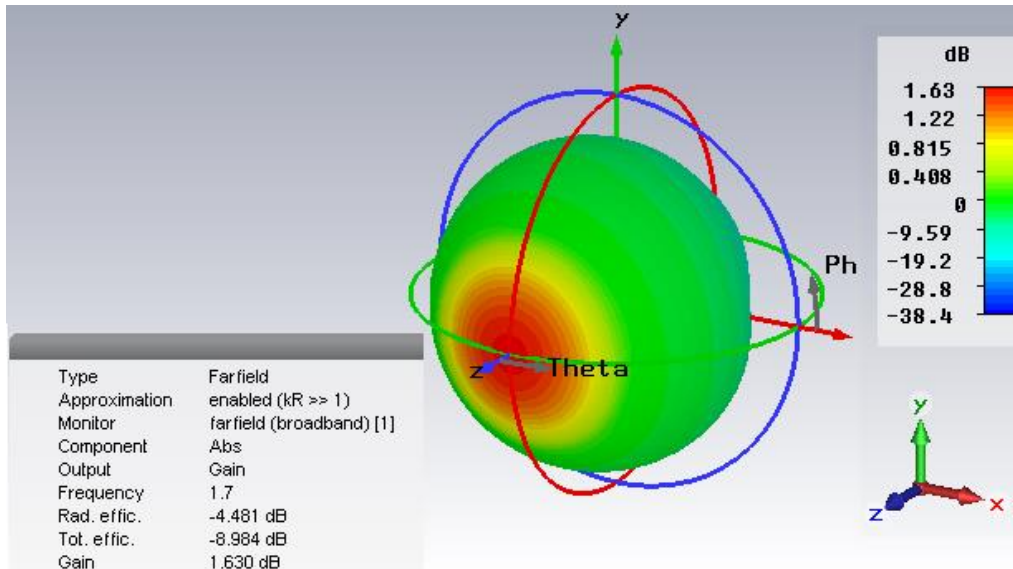


Figure III.27: Le rayonnement 3D de l'antenne patch à coins tronqués.

III.3.3.3 Conception d'une antenne imprimée avec fente

III.3.3.3.a Géométrie

Une autre configuration géométrique qui permet d'obtenir une polarisation circulaire est d'insérer une fente rectangulaire de dimensions $X_5 \times Y_5 mm^2$ au milieu du patch avec un angle de 45° par rapport à l'axe horizontal, tel que nous pouvons le voir dans la **figure III.28**. Le patch de forme carrée étudié précédemment, pour lequel les dimensions ont été réajustées à $L = W = 45 mm$ afin de servir le standard GNSS, est placé sur un substrat diélectrique de taille $64.2 \times 64.2 mm^2$. La face inférieure de ce substrat est entièrement recouverte d'une couche métallique qui forme le plan de masse. L'antenne est alimentée par une sonde coaxiale de 50 Ohm, placée à une distance $x = 13mm$.

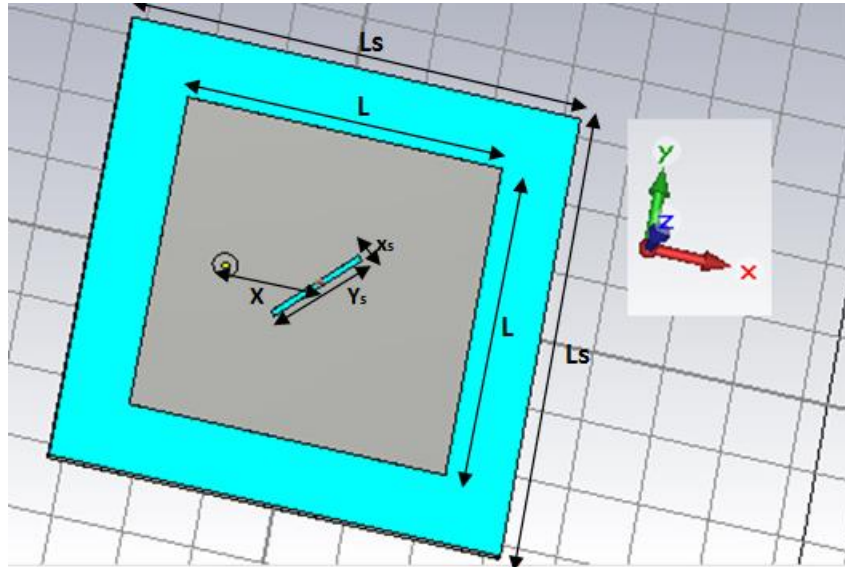


Figure III.28: Antenne microruban avec une fente.

Les dimensions de la fente rectangulaire agissent sur le comportement de l'antenne. Les deux figures ci-dessous tracées sous Matlab, illustrent l'influence de la largeur de la fente sur le coefficient de réflexion et sur le rapport axial.

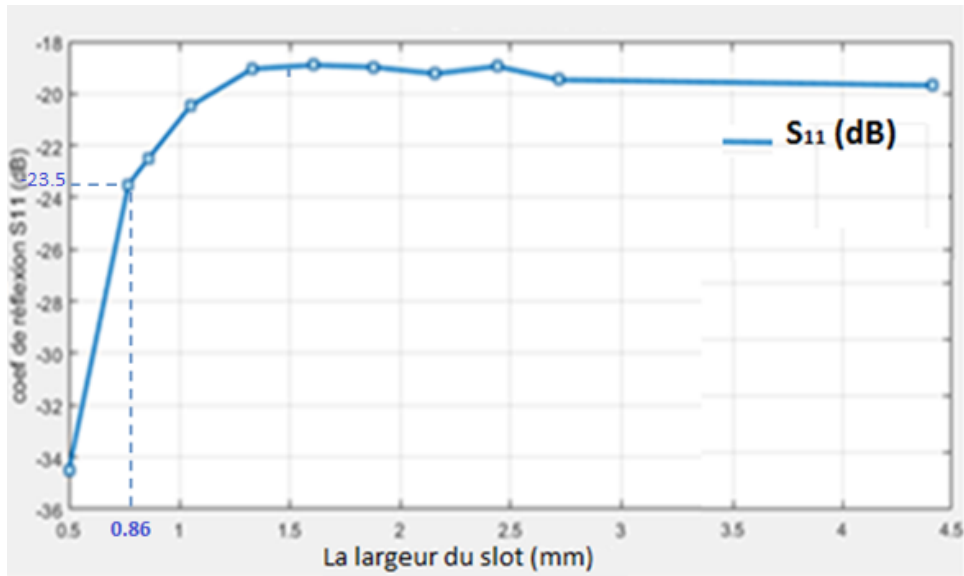


Figure III.29: Variation du coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la largeur de la fente à la fréquence $f_r=1.6$ GHz

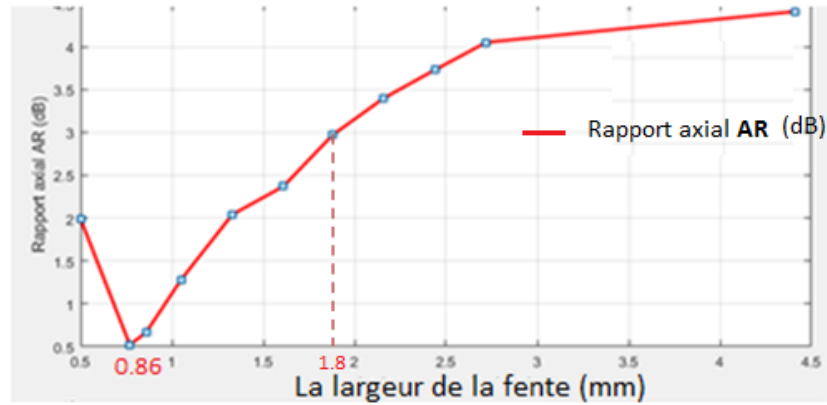


Figure III.30: Variation du rapport axial AR en fonction de la largeur de la fente à $f_r=1.6$ GHz

D'après ces représentations graphiques, nous remarquons qu'à partir de la valeur $X_s=1.8$ mm, le rapport axial devient supérieur à 3 dB, l'antenne n'est plus à polarisation circulaire. Un rapport axial minimal de 0.5 dB est obtenu pour $X_s=0.86$ mm. Le coefficient de réflexion correspondant à cette largeur de fente est de -23.5dB. Il s'agit là du meilleur compromis entre adaptation d'impédance et rapport axial.

Nous nous intéressons à présent à l'influence de la longueur de la fente sur le fonctionnement de l'antenne. La **Figure III.31** représente la variation du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence pour différentes valeurs de la longueur de la fente Y_s .

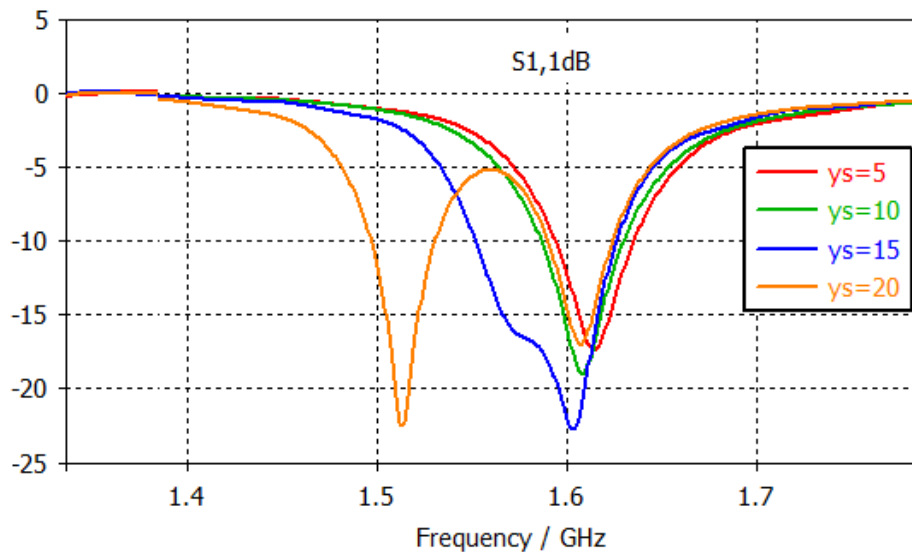


Figure III 31: Variation du coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la longueur de la fente

Comme nous pouvons le voir, la variation de la longueur de la fente Y_s influe sur la fréquence de résonance de l'antenne. La fente insérée étant considérée comme un résonateur, au même titre que l'antenne patch, sa présence peut faire apparaître une seconde résonance, conditionnée par la longueur de la fente. Nous pouvons constater ce phénomène pour le cas $Y_s=20\text{mm}$ (une première résonance à 1.513 et une autre à 1.607). Un choix judicieux de la longueur Y_s permet de rapprocher ces deux résonances afin d'élargir la bande passante, c'est le cas où $Y_s = 15\text{mm}$.

III.3.3.3.b Résultats de simulation

Les résultats de simulation du paramètre S_{11} et du rapport axial de cette antenne (lorsque $X_s=0.86\text{mm}$ et $Y_s=15\text{mm}$) sont représentés par les **Figures III.32 et III.33**.

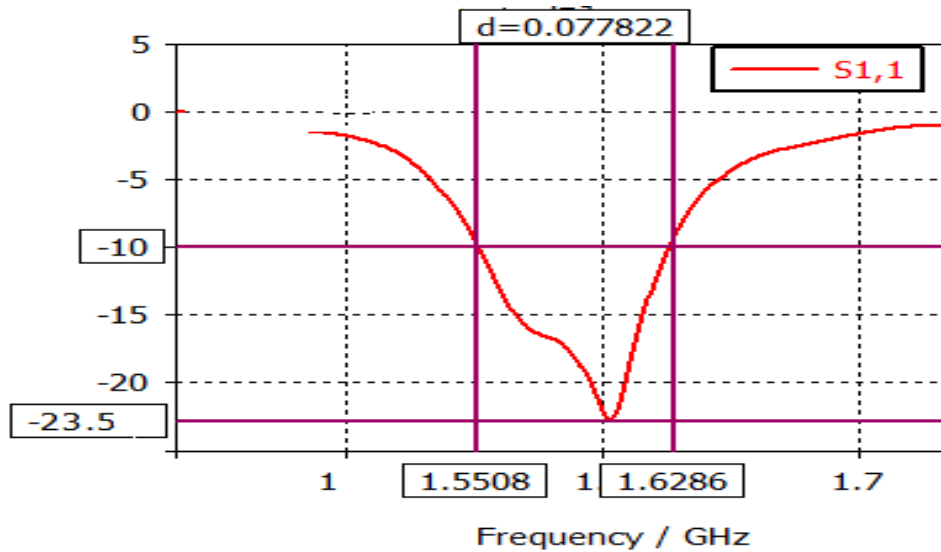


Figure III.32: Coefficient de réflexion de l'antenne avec une fente.

Nous observons un coefficient de réflexion S_{11} de -23.5 dB à la fréquence de résonance 1.6 GHz. La bande passante en adaptation de cette antenne est de 77.82 MHz allant de 1551.1 à 1628 MHz.

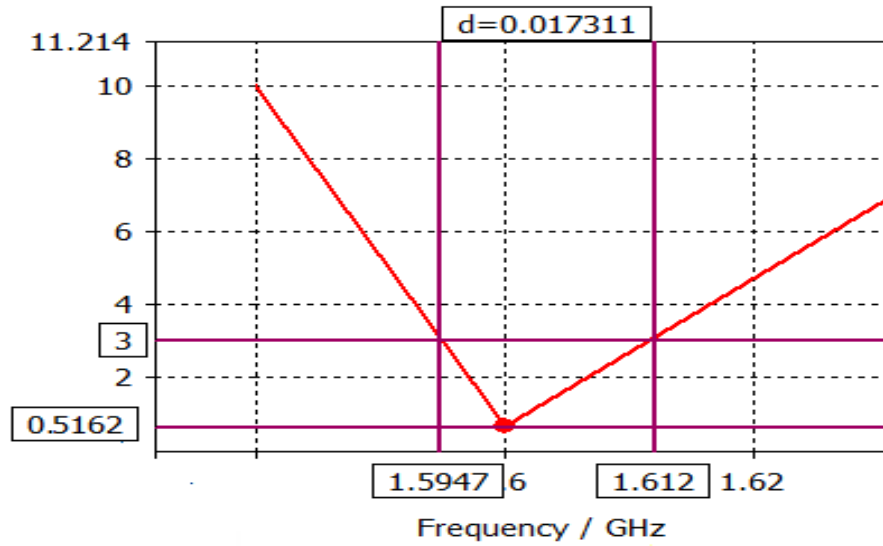


Figure III.33: Rapport axial d'une antenne avec une fente.

La bande de fréquence dans laquelle nous avons le caractère à polarisation circulaire mesurée à 3 dB de la réponse du rapport axial en fonction de la fréquence est de 18 MHz (de 1.594 GHz à 1.612 GHz).

Le diagramme de rayonnement de l'antenne patch avec fente rectangulaire en 3D est illustré par la Figure III.34. Un gain maximal de 1.33 dB est réalisé avec cette antenne.

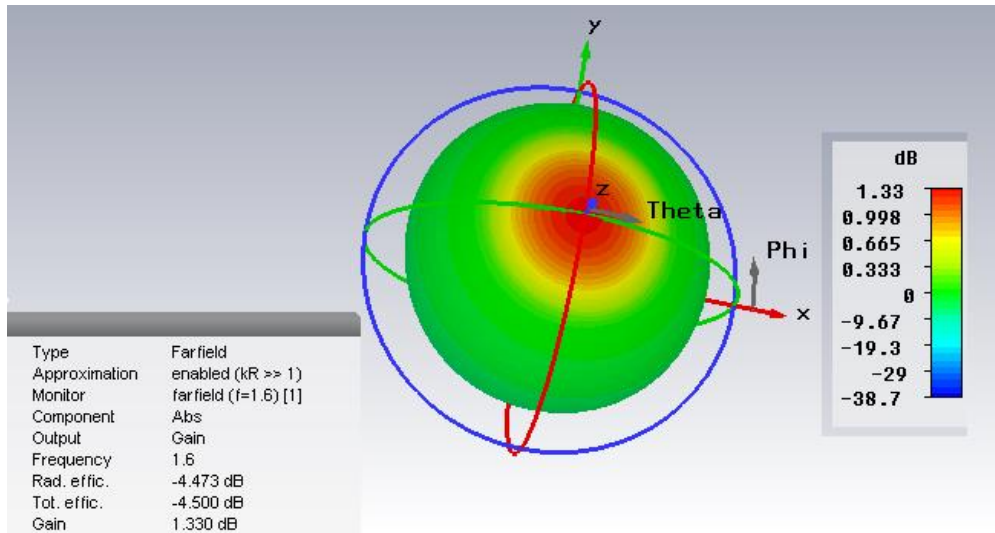


Figure III.34:Le rayonnement 3D de l'antenne patch avec une fente.

Cette technique d'insertion de fente sur l'élément rayonnant principal est très utilisée. Elle permet à la fois de réduire les dimensions de l'antenne, d'obtenir la polarisation circulaire et d'élargir la bande passante de l'antenne.

III.3.3.4 Conception d'une antenne imprimée alimentée sur la diagonale

III.3.3.4.a Géométrie et technique appliquée

Dans ce paragraphe, nous nous proposons d'étudier une antenne patch de forme rectangulaire qui doit répondre aux critères du cahier de charges suivant :

- La fréquence de résonance $f_r=2.45$ GHz pour servir le standard RFID.
- La bande de fréquence doit s'étaler de 2446 à 2454 MHz.
- Un rayonnement à polarisation circulaire.

La technique que nous allons appliquer est celle de l'alimentation sur la diagonale de l'antenne. Pour cela, il est nécessaire que l'antenne soit légèrement rectangulaire (légère différence entre la longueur et la largeur de l'antenne). Le substrat diélectrique utilisé est le FR4 de permittivité relative $\epsilon_r=4.4$ et une hauteur $h=1.6$ mm.

L'antenne proposée est illustrée par la **Figure III.35**. La largeur et la longueur de cette antenne sont **W=28.7mm** et **L=27mm** respectivement. Les dimensions du substrat supportant l'antenne sont **W_s=48mm** et **L_s=46.5mm** respectivement.

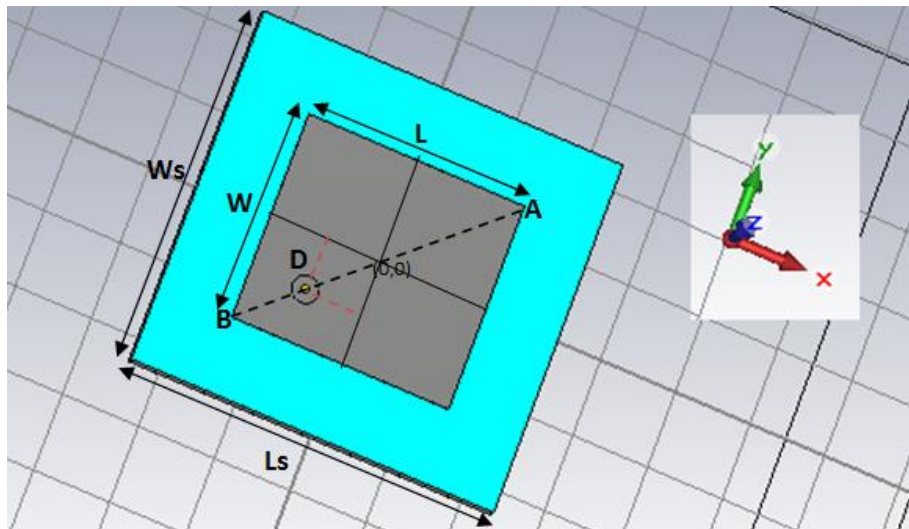


Figure III.35: Antenne microruban à alimentation sur la diagonale ($f_r=2.45$ GHz)

Une étude paramétrique est effectuée par rapport à la position du point d'alimentation sur la diagonale de l'antenne. La **Figure III.36** montre la variation du coefficient de réflexion ainsi que le rapport axial en fonction de la position de la sonde coaxiale déterminée par le rapport BD/AB (**Figure III.35**) et cela à la fréquence de résonance de 2.45 GHz.

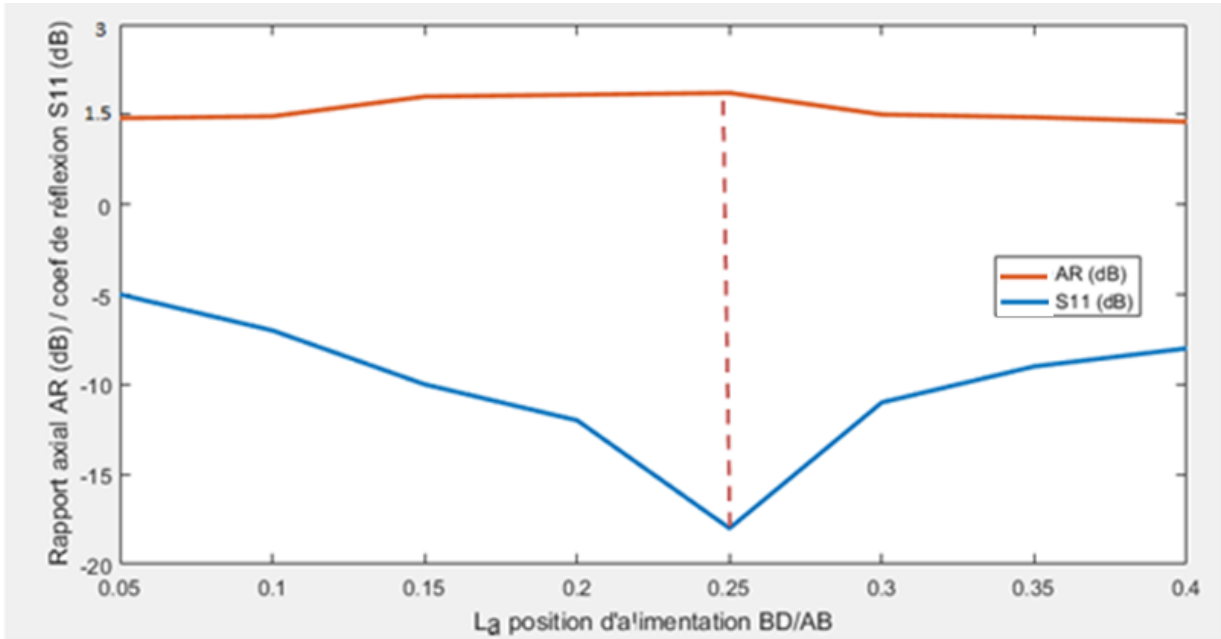


Figure III.36: Variation du coefficient de réflexion S_{11} et du rapport axial AR en fonction de la position de l'alimentation d'une antenne à alimentation sur la diagonale à $f_r=2.45$ GHz.

Nous constatons que la polarisation de l'antenne est circulaire en n'importe quel point de la diagonale. En effet, le rapport axial reste toujours autour de 1.5 dB lorsque nous déplaçons la sonde sur la diagonale. Cependant, le module du coefficient de réflexion subit une variation. Le meilleur compromis qui correspond à la meilleure adaptation d'impédance est obtenu lorsque $X = W/4$ et $Y = L/4$.

III.3.3.4.b Résultats de simulation

En appliquant la position optimale du point d'alimentation (soit $X=6.75$ mm et $Y= 4.1$ mm), les résultats de la simulation de la structure en termes de coefficient de réflexion et de rapport axial sont illustrés par les **Figures III.37** et **III.38** respectivement.

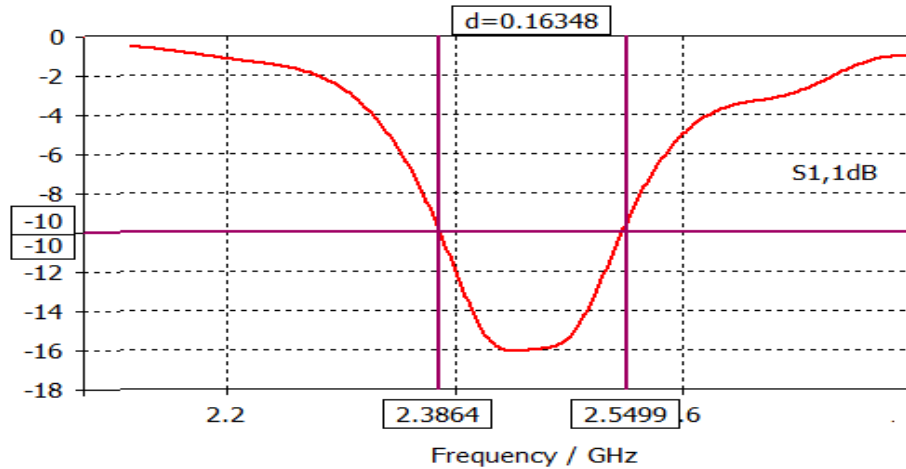


Figure III.37: Coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence d'une antenne microruban alimentée sur la diagonale.

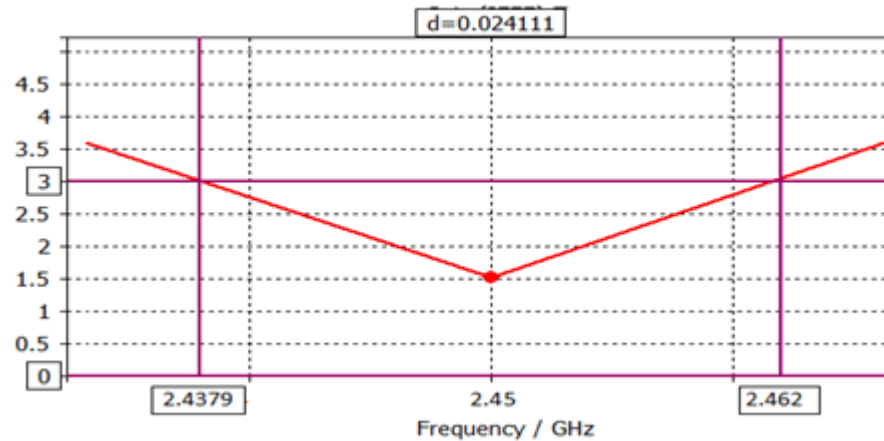


Figure III.38: Rapport axial AR en fonction de la fréquence d'une antenne microruban alimentée sur la diagonale.

L'antenne conçue résonne à la fréquence 2.45 GHz. Le niveau du paramètre S_{11} à cette fréquence est de -16 dB. La bande passante mesurée à -10 dB s'étale de 2.386 GHz à 2.55 GHz, soit une bande passante de 163,48 Mhz.

Un rapport axial de 1.5 dB est obtenu à cette fréquence (**Figure III.38**). L'antenne simulée est à polarisation circulaire sur une bande de fréquence mesurée à 3 dB de 24.11 MHz (soit de 2.437 GHz à 2.462 GHz).

Nous présentons dans la **Figure III.39** le rayonnement de l'antenne patch alimentée sur la diagonale en 3D.

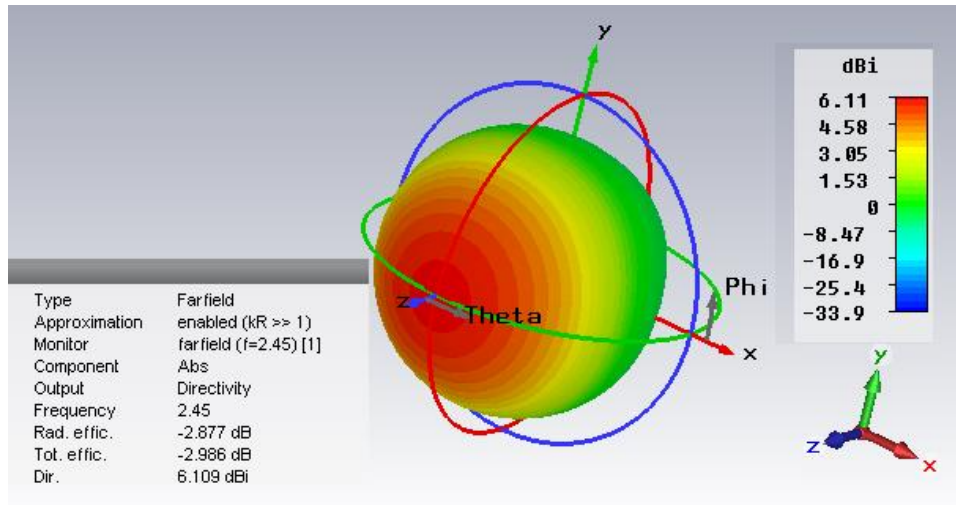


Figure III.39: Rayonnement en 3D de l'antenne patch alimentée sur la diagonale.

D'après la figure ci-dessus, nous pouvons constater un gain de 6.11dBi autour la fréquence de 2.45 GHz.

Cette technique a permis de concevoir une antenne qui répond aux exigences du standard RFID 2.45 GHz, avec des caractéristiques intéressantes en termes de bande passante en impédance, de gain et de polarisation circulaire. En comparaison avec les deux premières techniques, nous pouvons conclure qu'avec une alimentation sur la diagonale, la bande passante en impédance est nettement meilleure, le gain de l'antenne ainsi conçue est également amélioré.

III.4 Conclusion

Dans ce chapitre, plusieurs structures d'antennes microrubans à polarisation circulaire ont été présentées. Nous avons commencé par valider notre utilisation du logiciel de conception électromagnétique CST, en analysant des structures présentées dans la littérature. Des résultats similaires ont été obtenus. Nous nous sommes intéressés par la suite à l'application des techniques les plus usuelles de la polarisation circulaire, appliquées au cas d'une antenne imprimée de forme carrée ou rectangulaire alimentée par câble coaxial. Les dimensions de cette antenne, ainsi que la position du point d'alimentation sont optimisées afin d'obtenir les meilleures performances de l'antenne.

Bibliographie

- [1] Michael Grelier, "Miniaturisation des antennes large bande à l'aide de matériaux artificiels," *Thèse de doctorat en Electronique et communication*, Télécom Paris Tech, 2011.
- [2] Nasimuddin, Y. S. Anjani, and A. Alphones, "A Wide-Beam Circularly Polarized Asymmetric-Microstrip Antenna," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol.63, No. 8, PP.3764–3768, Aug.2015.
- [3] Nasimuddin, Xianming Qing, and ZhiNing Chen, "A Compact Circularly Polarized Slotted Patch Antenna for GNSS Applications", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol.62, No.12, December 2014.
- [4] C.SHARMA,member,IEEE,and KULDIP C.GUPTA,senior member,IEEE, "Analysis and Optimized Design of Single Feed Circularly Polarized Microstrip Antenna ,"*IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol.31, No. 6, PP.949–955, November 1983.
- [5] A. Ghion J. Dantepal L. Ries A. DeLatour J.-L. Issler and J.A. Avila-Rodriguez , "Compass signal structure and first measurements", *forschung.unibw-muenchen.de*, 2007

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Le progrès technologique dans le domaine des télécommunications a mené vers le développement de l'ensemble des dispositifs constituant un système de liaison radiofréquence, notamment les antennes. Elles représentent des éléments indispensables dans un système de communication sans fil. Parmi les types d'antennes qui sont les plus répandues de nos jours, les antennes microrubans ou antennes imprimées ont su prendre une place importante dans les applications actuelles, de part leurs caractéristiques attrayantes et leur faible profil.

Dans le cadre de ce travail, nous nous sommes intéressés à la conception de différentes structures d'antennes microrubans à polarisation circulaire et cela afin de résoudre le problème d'alignement auquel doivent s'incliner les antennes émettrices et réceptrices si elles sont polarisées linéairement, au risque de perdre une partie importante de la puissance transmise. Ces antennes ont été conçues et simulées sous le logiciel électromagnétique CST.

Dans le premier chapitre nous avons présenté un état de l'art sur les antennes microrubans avec leurs différentes formes, leur structure, ainsi que leur mode de fonctionnement. Plusieurs techniques peuvent être appliquées à ces antennes pour les alimenter. Chaque technique présente ses avantages et ses inconvénients. De part leurs caractéristiques de rayonnement, les antennes microrubans sont actuellement très présentes dans plusieurs domaines d'application dans le monde des télécommunications.

Dans le deuxième chapitre, nous avons présenté les antennes microrubans à polarisation circulaire. En premier lieu, nous avons parlé des intérêts de ce type de polarisation face au problème d'alignement des antennes dans une liaison et aux trajets multiples. Par la suite, nous avons expliqué en détail les différentes techniques qui nous permettent d'obtenir une polarisation circulaire, selon que le patch est excité par un seul accès ou par deux accès d'alimentation. Nous avons par la suite énuméré certaines des limites que pouvait avoir l'antenne polarisée circulairement, notamment en terme de bande passante. Quelques techniques utilisées pour surmonter ces limites ont été brièvement présentées et proposées.

Dans le troisième chapitre, l'analyse et la conception de cinq structures d'antennes microrubans à polarisation circulaire ont été abordées. L'ensemble des simulations ont été réalisées par le logiciel de simulation électromagnétique CST-MWS.

Nous avons entamé notre étude par des structures d'antennes microrubans à polarisation circulaire publiées dans la littérature. Ceci nous a permis de nous familiariser avec le logiciel CST et de valider son utilisation. Une étude paramétrique sur certaines dimensions géométriques a permis de montrer l'impact de chaque élément sur le fonctionnement de l'antenne et de l'optimiser afin de servir les exigences des standards GNSS et GPS fonctionnant à la fréquence 1.575 GHz. Les résultats simulés étaient très comparables à ceux présentés dans la littérature.

Nous nous sommes intéressés par la suite à l'application des techniques les plus usuelles de la polarisation circulaire, appliquées au cas d'une antenne imprimée de forme carrée ou rectangulaire alimentée par câble coaxial. Il s'agit de la technique des coins tronqués, de l'insertion d'une fente rectangulaire sur la diagonale de l'antenne et enfin l'application du point d'alimentation sur la diagonale d'une antenne légèrement rectangulaire. Nous avons pu démontrer l'efficacité de chacune de ces techniques. Les résultats obtenus étaient satisfaisants en termes de bande passante, de polarisation circulaire et de gain. Les dimensions des antennes conçues, ainsi que la position du point d'alimentation ont été optimisées afin d'obtenir les meilleures performances de l'antenne et répondre au cahier de charge que nous nous sommes imposés au départ pour servir le standard GLONASS G1 1.6 GHz et le standard RFID 2.45 GHz.