

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



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

Domaine : **Sciences et Technologie**
Filière : **Télécommunications**
Spécialité : **Réseaux et Télécommunications**

**Conception d'une Nouvelle Antenne Multi-Bandes à
Polarisation Circulaire**

Présenté par :

TIAB NARIMENE
MOUMED AMIRA

Sous la direction de :

Dr. CHAABANE ABDELHALIM

2021

Résumé :

Ce travail présente une antenne multi bande à polarisation circulaire pour des applications aux communications sans fils. Le logiciel CST a été utilisé pour concevoir l'antenne proposée. L'antenne simulée fonctionne entre 2.79-3.11 GHz, 3.95-11.62 GHz. Un Axial ratio de l'antenne environs de 3 est enregistré autours des fréquences 3 GHz, 6.5 GHz et 10.5 GHz. Un prototype de l'antenne a été fabriqué. L'antenne mesurée fonctionne entre 2.21 -2.41 GHz et 6.49-11.62GHz. Donc, notre antenne pour être utile pour des applications aux communications sans fils.

الملخص:

يقدم هذا العمل هوائي متعدد النطاقات مستقطب دائريًا لتطبيقات الاتصالات اللاسلكية. تم استخدام برنامج CST لتصميم الهوائي المقترح. يعمل الهوائي المحاكي بين 2.79-3.11 جيجاهرتز و 3.95-11.62 جيجاهرتز. يتم تسجيل نسبة محورية للهوائي حوالي 3 حول الترددات 3 جيجاهرتز و 6.5 جيجاهرتز و 10.5 جيجاهرتز. تم صنع نموذج أولي للهوائي. يعمل الهوائي المقاس بين 2.21-2.41 جيجا هرتز و 6.49-11.62 جيجا هرتز. لذا سيكون الهوائي الخاص بنا مفيدًا لتطبيقات الاتصالات اللاسلكية.

Abstract :

This work presents a circularly polarized multiband antenna for wireless communications applications. CST software was used to design the proposed antenna. The simulated antenna operates between 2.79-3.11 GHz, 3.95-11.62 GHz. An axial ratio of the antenna of around 3 is recorded around the frequencies 3 GHz, 6.5 GHz and 10.5 GHz. A prototype of the antenna was made. The measured antenna operates between 2.21 -2.41 GHz and 6.49-11.62GHz. So our antenna to be useful for wireless communications applications.

Dédicace :

Je dédie le bon dieu qui m'a donné la chance de vivre cette période et qui m'a donné la patience pour réaliser ce modeste travail,

Qui le dédie a :

A mes parents et mon mari : Nacer qui ont beaucoup de sacrifiant pour ma bonheur.

A mes frères et mes sœurs, à ma petite fleur Taim.

A ma chère sœur Selasbil.

A mes chers amis : Asma, Hala, Imene, Sihem, Khoula.

A mon binôme Narimene.

Pour tous ceux que j'aime.

A tous les professeurs qui m'ont enseigné tout au long de mon parcours académique.

Merci tous a toute.

Dédicace

Aux êtres les plus chers à mon cœur, mes très chers parents : ma mère Teffaha et mon père Zine El Abidine qui m'ont toujours encouragé et motivé dans mes études, Que dieu me les gardent pour moi. Sans eux je ne serai pas ce que je suis.

A mes adorables sœurs Nada Rayhane, Achouak, Israa Malek et Louza (Wissal), Iman et soumiaà qui je souhaite toute la réussite et le bonheur dans la vie pour leurs encouragements incessants.

A mes meilleures amies, Salma, Khadija, Sofia, Imene et Halima.

A mon mari CHIHAB EL-DINE ISLAM

A mon binôme Amira

A toutes les personnes que je connaisse et que je n'ai pas citées.

A tous ceux que j'aime.

Je dédie cet humble travail

Narimane



Remerciement

Nous remercions tout d'abord Dieu le tout puissant qui nous a accordé la volonté et le courage pour l'accomplissement de ce travail.

Nous exprimons nos remerciements avec un grand plaisir et un grand respect à notre cher promoteur Dr CHAABANE ABDELHALIM qui nous a proposé le sujet de ce mémoire, pour sa disponibilité, sa gentillesse, son soutien et ses encouragements, nous ne le remercions jamais assez.

Nous remercions également tous nos professeurs pendant notre cursus universitaire au sein de l'université de Guelma pour leur soutien et leur accueil chaleureux et sympathique.

Nous tenons à remercier également les membres du Jury pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Et, pour toutes les raisons possibles et imaginables, nous ne remercierons jamais assez nos parents pour leur dévouement.

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

Merci infiniment

Sommaire

Sommaire

Sommaire	
Liste des Figures	
Liste des Tableaux	
Introduction générale.....	2

Chapitre I : Les antennes Planaires (patch)

I -1 Introduction.....	04
I -2 Définition.....	04
I -3 Les différentes formes d'une antenne planaire	04
I-4 Principe de fonctionnement	05
I-4-1.Mécanismes de rayonnement de l'antenne planaire	07
I-5 Structure	09
I-6 Les techniques d'alimentation	10
I-6-1 Alimentation par ligne micro ruban	10
I-6-2 Alimentation par une sonde coaxiale (alimentation coplanaire)	11
I-6-3 Alimentation par Couplage de proximité	12
I-6-4 Alimentation par Couplage d'ouverture (fente)	13
I-6-5 Comparaison entre ces différentes techniques d'alimentations	14
I-7 Caractéristiques de l'antenne Planaire	14
I-7-1 Paramètres électriques	14
I-7-2 Paramètres de rayonnement	17
I-7-3 Polarisation	19
I-8 Les avantages de l'antenne planaire	20
I-9 Les inconvénients des antennes planaires	20
I-10 Conclusion	20

Chapitre II : Les antennes multi bandes

II. 1 Introduction	22
II. 2 Positionnement des antennes multi-bandes	22
II.3 Conception d'antenne multi-bande	22
II.4 Méthodes utilisés pour l'obtention des antennes multi-bandes	23
II.4.1 Technique de fente	23
II.4.2 Technique fractale	23
II.4.3 Combinaison de plusieurs éléments rayonnants	24

Sommaire

II.4.3.1 Alimenter directement par port d'excitation.....	24
II.4.3.2 Alimenter directement les éléments rayonnants adjacents par couplage électromagnétique	24
II.4.3.2.1 Avantages	25
II.4.3.2.2 Inconvénients	25
II.5 À quoi servent les antennes multi bandes ?.....	26
II.6 Types d'antennes multi bandes	26
II.7 L'intérêt des antennes multi bandes	26
II.8 Conclusion	27

Chapitre III : Les antennes à polarisation circulaire

III -1 Introduction	29
III -2 Antenne à polarisation circulaire	29
III -3 Intérêt des antennes à polarisation circulaires	30
III-4 Etats de l'art des antennes patch polarisés circulaires	32
III-4-1 Antenne patch polarisée circulairement à double ou multiple alimentations	32
III-4-2 Antenne patch polarisée circulairement à une seule alimentation	33
III-5 Exemples de techniques utilisées pour avoir la polarisation circulaires	35
III-5-1 Dipôles croisés	35
III-5-2 Antennes patch avec fentes	37
III-5-2-1 Fente en forme de C	37
III-5-2-2 Fente en forme de F	37
III-5-2-3 Fente en forme de S	38
III-5-2-4 fentes croisées	38
III-5-2-3 Patch avec fentes tronqués en coins	39
III -6 Conclusion	41

Chapitre IV : Résultats et Simulation.

IV.1 Introduction	43
IV.2 L'ancienne modèle de l'antenne.....	43
IV.3 Configuration de l'antenne	43
IV.4 Résultats et discussions	45
IV.5 Conclusion	49
Conclusion générale.....	51
Bibliographie	

Liste des figures

Liste des Figures

N° Figure	Titre	N° page
Figure I.1	Géométrie d'une antenne Patch	04
Figure I.2	les formes les plus courantes d'antennes patch	05
Figure I.3	Rayonnement d'une antenne planaire	07
Figure I.4	Le mécanisme de rayonnement des antennes imprimées	08
Figure I.5	Structure de l'antenne planaire	09
Figure I.6	patch avec une alimentation par ligne micro ruban	10
Figure I.7	Alimentation par ligne micro ruban	11
Figure I.8	Alimentation par une sonde coaxiale	11
Figure I.9	Méthode d'alimentation par couplage de proximité	12
Figure I.10	Méthode d'alimentation par couplage d'ouverture	13
Figure I.11	Illustration du coefficient de réflexion en entrée d'une antenne	15
Figure I.12	variation de la résistance d'entrée d'une antenne planaire en fonction du position du point d'alimentation	16
Figure I.13	Différents types de représentation des diagrammes de rayonnement 2D polaire b) 2D cartésien c) 3D	18
Figure I.14	Différents types de polarisation	19
Figure II.1	antenne a fente pour un fonctionnement multi-bande	23
Figure II.2	différents types d'antenne fractales	24
Figure II.3	réseau d'antenne pour un fonctionnement multi-bande	24
Figure II.4	Arrangement coplanaire des patches	25
Figure III.1	Evolution du taux d'ellipticité suivant l'écart d'amplitude et de phase	30
Figure III.2	Les antennes à polarisation circulaire	30
Figure III.3	Géométries de divers patches PC. La ligne pointillée indique la ligne le long de laquelle le point d'alimentation	34

Liste des figures

	est situé	
Figure III.4	Exemple d'une antenne dipôle croisée avec deux alimentations séparées	35
Figure III.5	Antenne patch carrée avec fente en forme de C	37
Figure III.6	Antenne patch avec fente en forme de F	38
Figure III.7	Antenne patch avec fente en forme de S	38
Figure III.8	Patch circulaire avec fente croisée	39
Figure III.9	Patch circulaire avec fente croisée dans le patch et plan de masse	39
Figure III.10	Antenne patch carrée à coin tronqué avec 4 fentes	40
Figure III.11	Antenne elliptique à bords tronqués	40
Figure III.12	Antenne circulaire patch à bords tronqués	41
Figure IV.1	Figure représente l'ancienne modèle de l'antenne proposée	43
Figure IV.2	Configuration de l'antenne conçue	44
Figure IV.3	l'antenne fabriqué.	45
Figure IV.4	Coefficient de réflexion de l'antenne	45
Figure IV.5	VSWR de l'antenne proposée	46
Figure IV.6	Diagramme e rayonnement dans le plan E pour différentes valeurs de fréquence (a) 3 GHz, (b) 6.5 GHz, et (c) 10.5 GHz.	47
Figure IV.7	Diagramme e rayonnement dans le plan H pour différentes valeurs de fréquence (a) 3 GHz, (b) 6.5 GHz, et (c) 10.5 GHz.	48
Figure IV.8	Gain de l'antenne proposée	48
Figure IV.9	Efficacité totale de l'antenne propose.	49
Figure IV.10	Axial ratio de l'antenne proposée	49

Liste des tableaux

Liste des tableaux

N° Tableaux	Titre du tableau	N° page
Tableau I.1	Comparaison entre ces différentes techniques d'alimentations	14
Tableau VI.1	Les dimensions de l'antenne conçue.	44

Introduction générale

Introduction générale :

En raison de la forte demande de la population et de l'industrie, le secteur des télécommunications a connu des progrès technologiques ces dernières années. L'une des applications qui a attiré le plus d'attention dans ce domaine est celle des antennes. Ce sont les éléments de base pour assurer le fonctionnement d'émission ou de réception d'ondes électromagnétiques dans l'atmosphère ou l'espace terrestre.[1] Le rôle d'une antenne est de convertir l'énergie électrique d'un signal en énergie électromagnétique transportée par une onde électromagnétique (ou inversement). [2]

Il est utile de concevoir des antennes multi bandes afin d'éviter l'interférence entre les systèmes fonctionnant en large bandes et les systèmes à bandes étroites. De plus, une antenne à polarisation circulaire est très demandée pour une bonne réception des ondes réfléchies. L'objectif de notre travail est d'étudier, modéliser et de concevoir une antenne patch à polarisation circulaire en utilisant le logiciel CST.

Ce travail se compose de quatre chapitres :

Dans le premier chapitre, on présente les antennes patch planaire et ses différentes formes, leurs principes de fonctionnement et le mécanisme de leur rayonnement et leurs structures avec leurs techniques d'alimentation et leurs caractéristiques.

Le deuxième chapitre est consacré sur les antennes multi bande : définition de base, différents types, intérêt, et les techniques utilisé pour obtenir la fonction multi bande.

Le troisième chapitre est consacré à la présentation des antennes à polarisation circulaire et la conception d'une antenne patch à polarisation circulaire qui fonctionne qu'on $AR < 3$, et des exemples sur les techniques utilisées pour voir la polarisation circulaire.

Le quatrième chapitre est consacré à la présentation des résultats de simulation obtenus par l'antenne simulé et l'antenne mesuré.

On termine notre mémoire par une conclusion générale.

CHAPITRE I

Les antennes Planaires (patch)

Chapitre I : Les antennes Planaires (patch).

I-1 Introduction :

On va faire une courte présentation des antennes planaires (antenne patch) parce qu'elles sont des antennes très populaires de nos jours et très utilisées. Elles sont performantes en termes de résonance de polarisation, l'indépendance d'entrée et de diagramme de rayonnement que on va traiter dans ce chapitre.

I-2 Définition :

L'antenne patch microruban (planaire) est une conception d'une seule couche qui se compose généralement de quatre éléments : le patch (élément rayonnant), le plan de masse, le substrat et la partie alimentation. Elle peut être classée comme un élément résonant. Une fois la fréquence donnée, tout (comme le diagramme de rayonnement, l'impédance d'entrée) est fixé. Le patch est une bande métallique rayonnante très fine ($t \ll \lambda_0$, où λ_0 est la longueur d'onde de l'espace libre). [3]

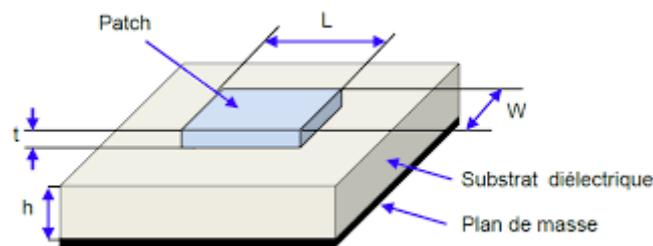


Figure I.1 : Géométrie d'une antenne Patch

I-3 Les différentes formes d'une antenne planaire :

Il existe un grand nombre de formes des antennes patch ; elles ont été conçues pour répondre à des caractéristiques spécifiques. Certains des types les plus courants sont illustrés sur la figure (I .2), pour les fréquences d'ondes millimétriques, les types les plus courants est les plus faciles à appréhender pour la compréhension des mécanismes de rayonnement sont les patches rectangulaires, carrés et circulaires.

Chapitre I : Les antennes Planaires (patch).

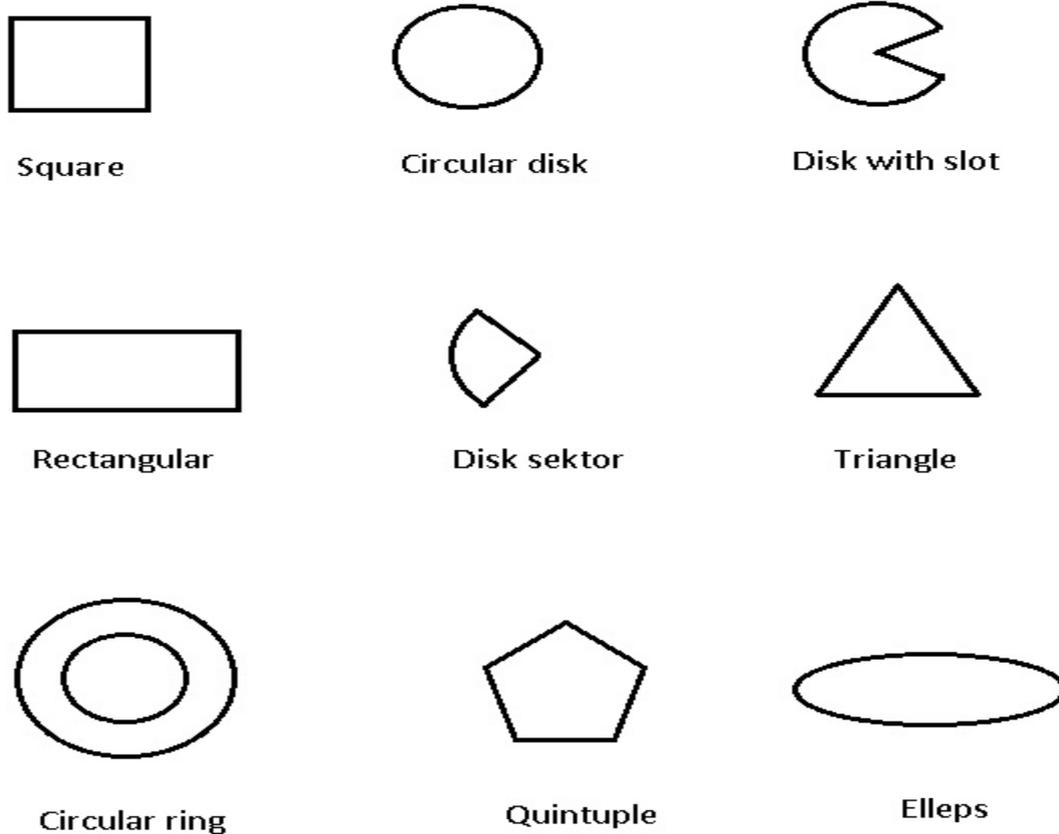


Figure I.2: les formes les plus courantes d'antennes patch

Le choix du substrat est également important, nous devons considérer la température, l'humidité, et d'autres gammes environnementales de fonctionnement. L'épaisseur du substrat h a un effet important sur la fréquence de résonance et la largeur de bande BW de l'antenne. La largeur de bande de l'antenne microruban augmentera avec l'augmentation de l'épaisseur du substrat h mais avec des limites, sinon l'antenne cessera de résonner.[4]

I-4 Principe de fonctionnement :

Afin de comprendre le principe de fonctionnement d'une antenne planaire et déterminer les formules analytiques de son rayonnement et de son impédance d'entrée, nous utilisons deux modèles. On peut dire que l'antenne patch est une ligne microruban ou ligne de transmission dont les deux extrémités sont ouvertes. Les deux discontinuités sont composées de deux extrémités rayonnantes ; la deuxième façon de traiter une antenne plane est de la traiter comme une cavité résonante. Fabriqué à partir de patches ; plan de masse et bords. La cavité est comme la capacité de stocker des charges électriques et de créer un champ électrique basse fréquence entre le patch et le plan de masse. Le champ électrique rayonne le

Chapitre I : Les antennes Planaires (patch).

long de l'axe Z et n'a rien à voir avec Z et l'épaisseur du substrat. En effet, l'épaisseur doit être maintenue comme :

$$h \leq \frac{c}{4f\sqrt{\epsilon-1}} \quad .I.1$$

À mesure que la fréquence augmente, la distribution de charge sur le patch n'est plus uniforme et la distribution de courant et de champ électrique dans le plan xy n'est plus uniforme. Il y aura aussi un champ magnétique. La distribution du champ électrique dans la cavité rectangulaire est donnée par :

$$E_x = E_y = 0 \quad E_x = E_0 = \cos\left(\frac{m\pi x}{L}\right) \cos\left(\frac{n\pi y}{W}\right) \quad .I.2$$

Pour la fréquence de résonance de la cavité (fréquence spécifique) liée à la taille de la cavité rectangulaire, la répartition du champ électrique permet d'optimiser le rayonnement.

$$F_{m,n} = \frac{c}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{\left(\frac{m}{L}\right)^2 + \left(\frac{n}{W}\right)^2} \quad I.3$$

Pour la fréquence de résonance de la cavité (fréquence spécifique) liée à la taille de la cavité rectangulaire, la répartition du champ électrique permet d'optimiser le rayonnement.

Prenons le cas de $L > W$ comme exemple pour étudier la distribution du champ électrique dans la cavité. Lorsque la longueur de la cavité L est approximativement égale à $\lambda / 2$, l'antenne résonnera, comme un dipôle demi-onde. Aux deux extrémités séparées par L, le champ électrique est le plus grand et opposé en phase. Le long de l'axe Y (parallèle à W), le champ électrique est presque uniforme. En revanche, le champ électrique n'est pas uniforme le long de l'axe X (parallèle à L). Il a un minimum et un maximum, et passe par des zéros le long des deux extrémités séparées par W. Cette répartition du champ électrique est liée à l'accumulation de charges de signes opposés sur les bords séparés par L et le courant orienté selon l'axe X.[5]

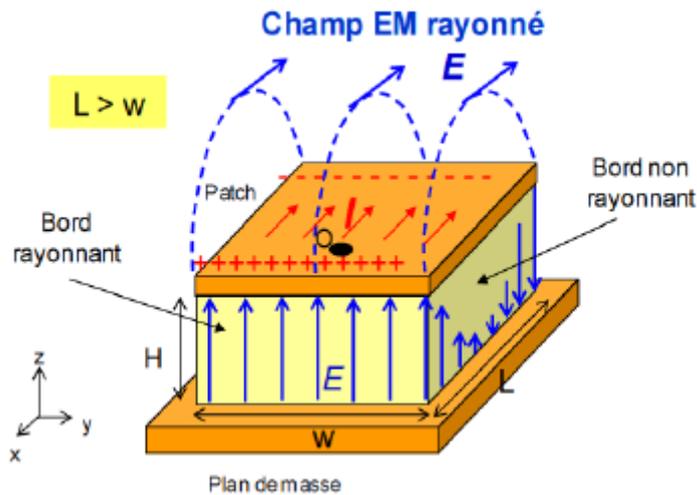


Figure I.3 : Rayonnement d'une antenne planaire

Le champ électrique existant entre le bord du patch et le plan de masse va déborder et contribuer à la génération de champs électromagnétiques rayonnés: le champ électrique maximal généré par le bord séparé par L et le champ électrique de phase opposée aura tendance à s'ajouter de manière constructive et optimale, et générer un rayonnement gravé sur le plan YZ . Par conséquent, ces deux arêtes sont appelées arêtes radiales.

Ceux produits par les bords séparés par W semblent être nuls, et ils ne contribueront pas au rayonnement. Cependant, en raison de ce débordement du champ électrique, la résonance ne se produira pas complètement lorsque la fréquence est égale à la longueur du patch égale à la moitié de la longueur d'onde, et lorsque $L = 0,49\lambda$. Le calcul des performances de l'antenne n'est pas aisé, il repose soit sur des calculs d'analyse et quelques hypothèses simplifiées, soit sur l'utilisation de méthodes numériques précises. Pour les formes géométriques simples, les méthodes d'analyse peuvent être facilement utilisées. Pour des géométries plus complexes, des méthodes numériques doivent être utilisées.

I-4-1. Mécanismes de rayonnement de l'antenne planaire :

Afin de mieux comprendre le mécanisme de rayonnement des antennes imprimées, la littérature scientifique s'appuie généralement sur la théorie optique [6]. Considérez la figure 1.3:

Chapitre I : Les antennes Planaires (patch).

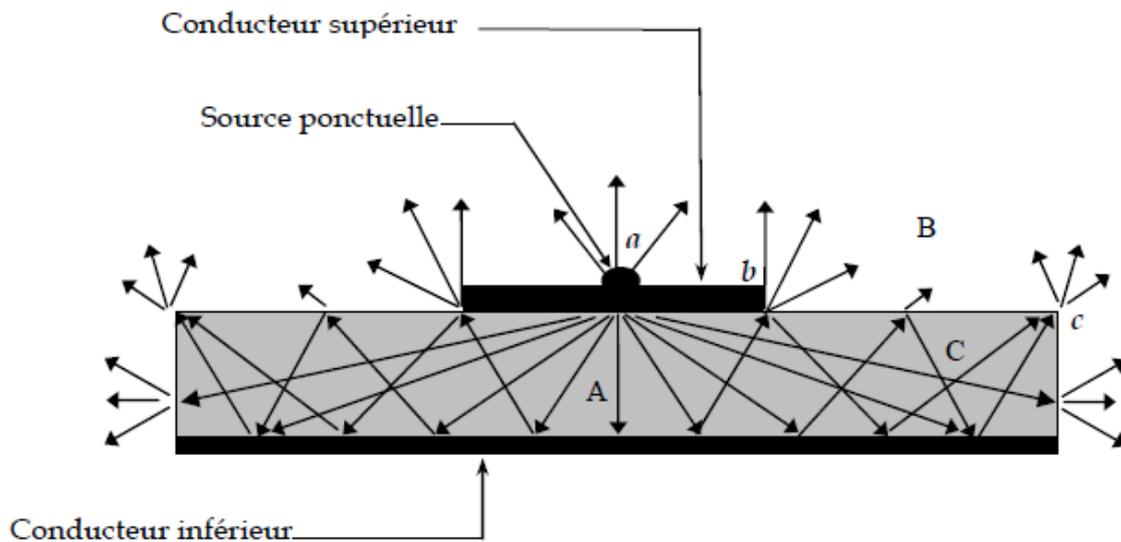


Figure I.4 : Le mécanisme de rayonnement des antennes imprimées.

La source ponctuelle placée en (a) émet un rayonnement uniforme dans toutes les directions. Une partie de ce dernier est réfléchié par le plan de masse puis réfléchié par le conducteur supérieur, et ainsi de suite. Certains de ces rayons tombent sur le bord du conducteur (b), provoquant leur diffraction, de sorte que le champ est décomposé en deux composantes perpendiculaires et tangentes au plan de masse. Par conséquent, nous pouvons considérer trois domaines:

a. Zone A: C'est la zone avec la lumière la plus dense, et le champ électromagnétique s'accumule plus intensément dans cette zone spatiale. Cette fonction est également utilisée pour la propagation le long de la ligne microruban. Aux basses fréquences, le champ est toujours concentré dans cette zone, il peut donc se propager sans rayonnement.

b. Zone B (espace libre) : occupe toute la moitié supérieure de l'antenne et représente une zone dans laquelle le champ est librement dispersé dans l'air et s'ajoute au rayonnement propre de la source. Si nous augmentons la fréquence, bien que l'efficacité soit limitée, ce rayonnement électromagnétique est toujours très important, il affectera donc le travail de l'antenne.

c. Zone C : Certains rayons atteignent la surface séparatrice avec une incidence rasante et restent dans le diélectrique. Ensuite, l'onde de surface est guidée par le bord du diélectrique, et l'onde de surface n'affecte pas directement le rayonnement de l'antenne. Cependant, lorsque

Chapitre I : Les antennes Planaires (patch).

l'onde atteint le bord du substrat (C), une diffraction se produit et un rayonnement parasite est généré.

I-5 Structure :

Les antennes patch sont constituées d'éléments métalliques de toute forme (rectangulaires, circulaires, à fentes ou de formes plus complexes) déposés à la surface d'un substrat diélectrique avec un plan conducteur (plan de masse) de l'autre côté du substrat diélectrique. L'antenne planaire rectangulaire est l'antenne planaire la plus courante, et sa structure est détaillée comme suit.

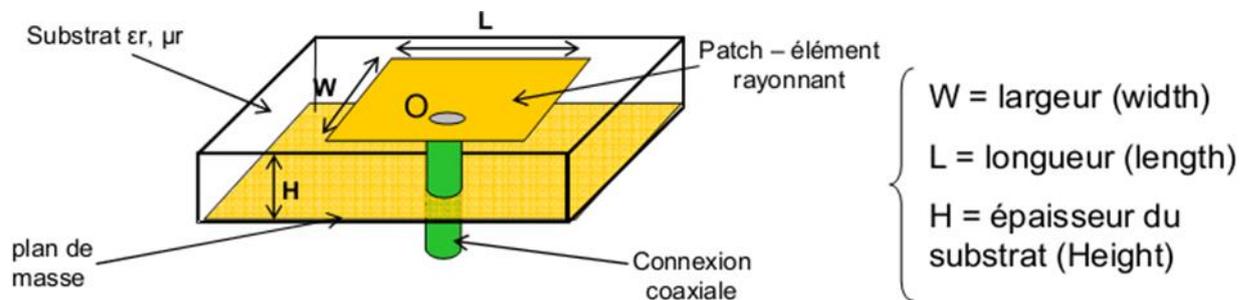


Figure I.5 : Structure de l'antenne planaire

La taille d'une antenne plane est généralement de l'ordre d'une demi-longueur d'onde. Le choix de la longueur est déterminé par la fréquence de résonance donnée à l'antenne. Le plan de masse ne pouvant être infini, il peut être égal à trois ou quatre fois la longueur d'onde, ce qui représente parfois trop d'espace. Un plan de masse plus petit modifiera les caractéristiques de l'antenne. Les caractéristiques du substrat affecteront les caractéristiques de l'antenne. D'une manière générale, sa constante diélectrique doit être très faible, comparée à la longueur d'onde, son épaisseur doit être négligeable, et présenter de faibles pertes (la perte diélectrique est caractérisée par la valeur tangente de la perte $\tan(\delta)$, une valeur typique est d'environ 10^{-3}). Il existe différentes manières de polariser les antennes patch : l'antenne est alimentée par une liaison coaxiale et le connecteur est placé à l'intérieur de l'élément rayonnant.

L'alimentation peut être fournie par une ligne micro-ruban connectée à un côté de l'antenne. L'emplacement du point d'alimentation aura un impact important sur l'impédance d'entrée de l'antenne, et donc son adaptabilité. En outre, vous pouvez également trouver d'autres éléments sculptés autour de l'élément rayonnant, tels que des lignes d'alimentation, des structures adaptatives et un contrôle de phase. La taille physique de l'objet de recherche peut être liée à la longueur d'onde dépendante de la fréquence. Généralement, la longueur électrique est donnée par rapport à la fréquence centrale f_0 . Dans le cas des antennes ULB, le

Chapitre I : Les antennes Planaires (patch).

rapport est généralement donné en utilisant la longueur d'onde associée à la fréquence de fonctionnement basse F_{min} . Cette fréquence est liée à la taille la plus importante de l'antenne.[5]

I-6 Les techniques d'alimentation :

Il existe de nombreuses méthodes pour alimenter une antenne microruban. Les méthodes les plus populaires sont :

1. Alimentation par ligne microruban.
2. Alimentation par une sonde coaxiale.
3. Alimentation par Couplage de proximité.
4. Alimentation par Couplage d'ouverture (fente).

Étant donné que l'antenne rayonne d'un côté du substrat, il est facile de l'alimenter depuis l'autre côté (plan de masse) ou côté composant. La chose la plus importante à considérer est la transmission de puissance maximale avec adaptation d'impédance (l'adaptation de la ligne électrique et de l'impédance d'entrée de l'antenne). Beaucoup de bonnes conceptions sont rejetées en raison d'une mauvaise alimentation. Les concepteurs peuvent construire des antennes avec de bonnes caractéristiques, de bons paramètres de rayonnement et une efficacité élevée, mais si l'alimentation n'est pas bonne, l'efficacité globale sera réduite à un niveau très bas, entraînant le rejet de l'ensemble du système.[5]

I-6-1 Alimentation par ligne micro ruban :

Cette méthode d'alimentation est très largement utilisée car elle est très simple à concevoir et à analyser, et très facile à fabriquer. La figure montre un patch avec une alimentation par ligne microruban (généralement de 50Ω) depuis le côté du patch.

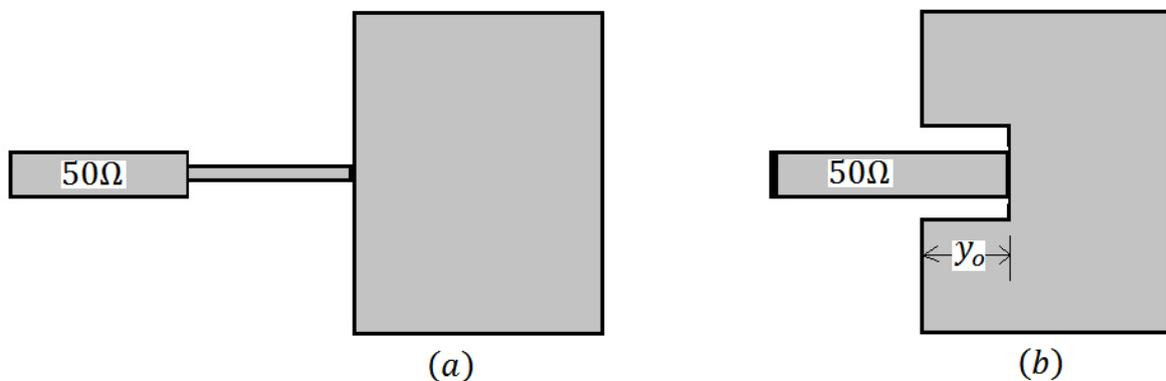


Figure I.6 : patch avec une alimentation par ligne micro ruban.

Chapitre I : Les antennes Planaires (patch).

Dans cette méthode une ligne micro ruban est connecte directement au bord du patch rayonnant. La longueur de la bande conductrice est plus petite par rapport au patch.[7]

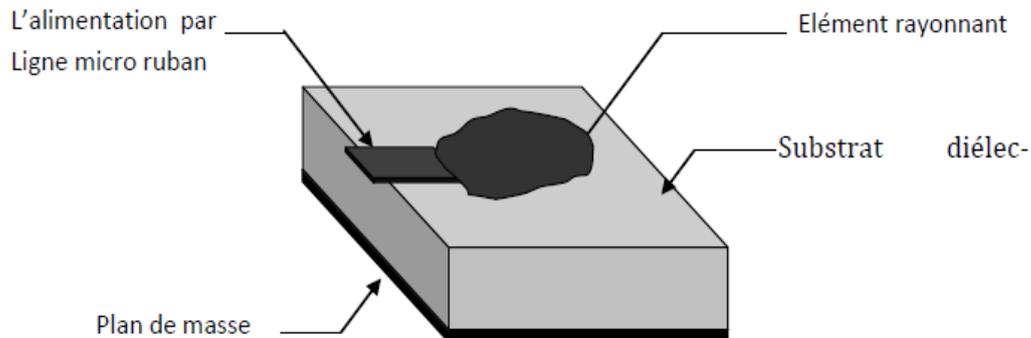


Figure I.7 : Alimentation par ligne micro ruban

I-6-2 Alimentation par une sonde coaxiale (alimentation coplanaire) :

Le couplage de l'alimentation à l'antenne patch à travers une sonde est un moyen très simple, bon marché et efficace. Si le concepteur ajuste le point d'alimentation à 50Ω , alors il lui suffit d'utiliser un câble coaxial de 50Ω avec un connecteur coaxial de type N. Le connecteur coaxial de type N est couplé à la face arrière de l'antenne microruban (le plan de masse) et le connecteur central du coaxial passera à travers le substrat et sera soudé au patch, comme indiqué sur la figure.[8]

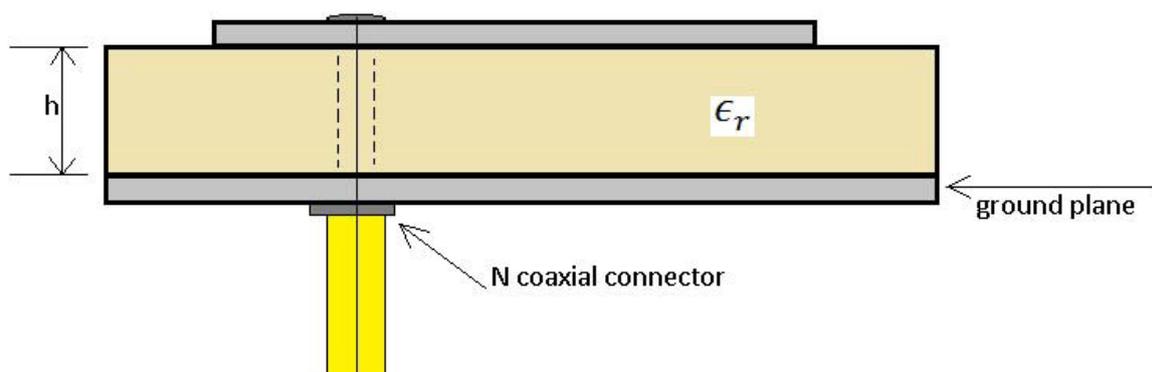


Figure I.8: Alimentation par une sonde coaxiale

Cette méthode d'alimentation a l'avantage de positionner l'alimentation sous l'élément rayonnant et à utiliser une ligne non rayonnante (coaxiale), ce qui diminue fortement de

Chapitre I : Les antennes Planaires (patch).

rayonnement parasite, et qu'elle peut être appliquée à n'importe quel endroit choisi à l'intérieur du patch, avec une facilité de fabrication.

Cependant, cette méthode présente des inconvénients au niveau du diagramme de rayonnement.[8]

I-6-3 Alimentation par Couplage de proximité :

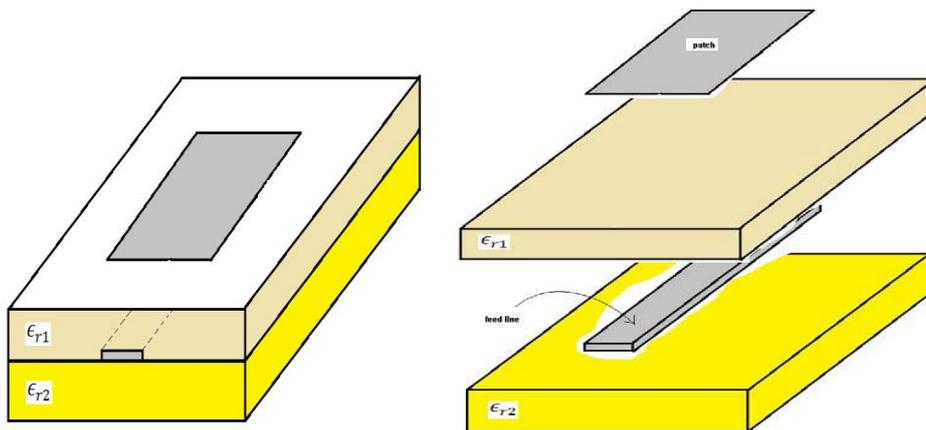


Figure I.9: Méthode d'alimentation par couplage de proximité

Le couplage de proximité implique l'utilisation de deux substrats ϵ_{r1} et ϵ_{r2} . Le patch est en haut, le plan de masse est en bas et la micro-ruban est connectée à l'alimentation et est située entre les deux substrats, comme illustré sur la figure (). Ce type est également appelé « alimentation micro-ruban à couplage électromagnétique ». Le principe de ce mécanisme est que le comportement entre le patch et la ligne d'alimentation de la bande est capacitif. L'analyse et la conception de cette antenne sont plus compliquées que celles discutées dans les sections précédentes, car le concepteur doit considérer la capacité de couplage entre le chargeur de bande et le patch et le circuit résonant équivalent RL-C, qui représente le patch et les deux substrats (calcul de ϵ_{r1} et ϵ_{r2}). Le condensateur de couplage de l'antenne peut être conçu pour l'adaptation d'impédance d'antenne.

L'avantage principal de cette technique est qu'elle élimine le rayonnement parasite due à l'alimentation et fournit une largeur de bande très élevée (plus que 13%), en raison de l'augmentation globale de l'épaisseur de l'antenne microbande. Parmi les inconvénients de cette méthode d'alimentation nous citons la difficulté de fabrication à cause des deux couches diélectrique nécessitant un alignement approprié, ainsi que la difficulté d'intégration de dispositifs actifs.[8]

Chapitre I : Les antennes Planaires (patch).

I-6-4 Alimentation par Couplage d'ouverture (fente) :

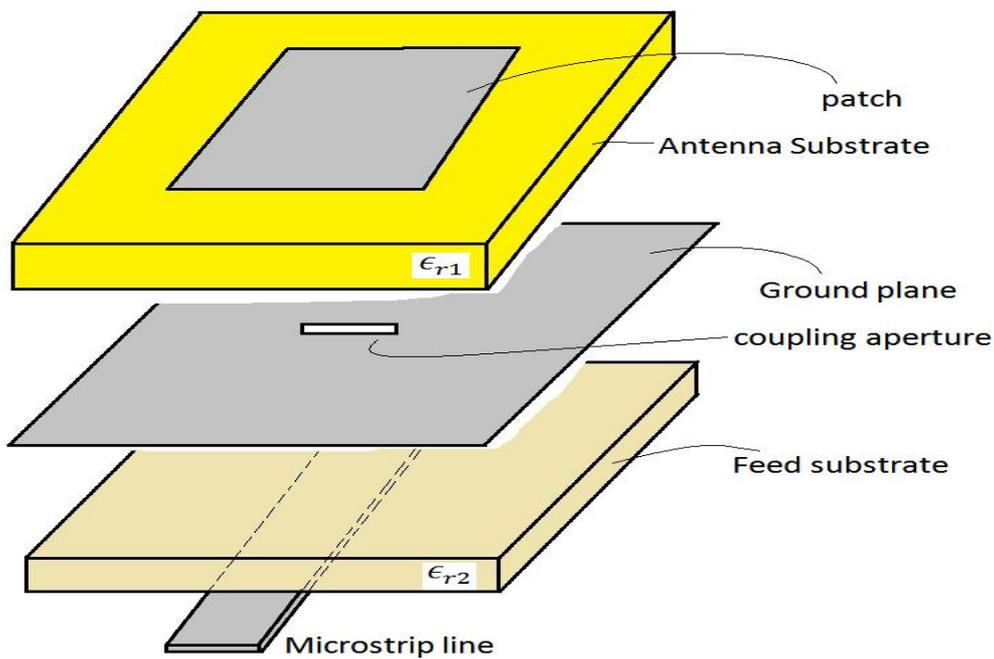


Figure I.10: Méthode d'alimentation par couplage d'ouverture

La figure I.9 montre les couches de l'antenne patch microstrip utilisant le mécanisme d'ouverture. Le plan de masse présente une ouverture en forme de cercle ou de rectangle et sépare deux substrats : le substrat supérieur ϵ_{r1} sur lequel se trouve le patch et le substrat inférieur ϵ_{r2} sur lequel se trouve la ligne d'alimentation en microruban. Ce type de couplage permet d'obtenir une bande passante plus large. Une autre propriété de ce type est que le rayonnement de la ligne d'alimentation est réduit par l'effet de blindage du plan de masse. Cette caractéristique améliore la pureté de la polarisation.[9]

Chapitre I : Les antennes Planaires (patch).

I-6-5 Comparaison entre ces différentes techniques d'alimentations :

Caractéristiques	Alimentation par ligne micro ruban	Alimentation coaxial	Alimentation couplée par proximité	Alimentation couplée par ouverture
Rayonnement parasite de l'alimentation	Plus	Plus	Moins	Minimum
Fiabilité	Meilleur	Pauvre à cause de soudure	Bon	Bon
Facilité de fabrication	Facile	Soudure et forage requis	Alignement requis	Alignement requis
Adaptation d'impédance	Facile	Facile	Facile	Facile
Bande passante (réalisé avec adaptation d'impédance)	2-5%	2-5%	2-5%	13%

Tableau I.1 : Comparaison entre ces différentes techniques d'alimentations

I-7 Caractéristiques de l'antenne Planaire :

Plusieurs paramètres contrôlés par la fréquence sont utilisés pour compléter la caractérisation de l'antenne. La définition de ces paramètres est normalisée par les normes IEEE faisant autorité dans le domaine des télécommunications. Trois paramètres principaux peuvent être distingués, comme décrit ci-dessous. [10]

I-7-1 Paramètres électriques :

On a trois paramètres :

1. Coefficient de réflexion S_{11} .
2. Impédance d'entrée.
3. Le ROS ou Le VSWR
4. La bande passante.

Chapitre I : Les antennes Planaires (patch).

Coefficient de réflexion S11

Comme mentionné précédemment, l'antenne transmet des ondes électromagnétiques du milieu de guidage vers l'espace libre, et vice versa. Cette transition doit s'effectuer de la manière la moins brutale possible. En effet, l'énergie électromagnétique maximale émise par la source devrait atteindre l'antenne pour rayonner dans l'espace libre. Pour cette raison, les guides doivent être soigneusement conçus pour éviter que les ondes électromagnétiques ne soient réfléchies par des discontinuités soudaines à la fréquence de fonctionnement de l'antenne. Si tel est le cas, l'énergie sera réfléchie vers la source, des interférences destructrices sont susceptibles de se produire et des ondes dites stationnaires sont générées dans le milieu guidé. Ce milieu devient un élément de stockage de l'énergie électromagnétique et ne remplit plus le rôle de sa carte de propagation. I.10.

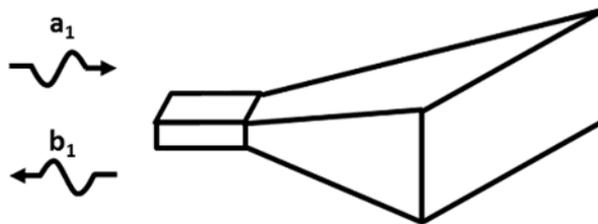


Figure I.11: Illustration du coefficient de réflexion en entrée d'une antenne.

Pour mesurer l'énergie de ces sources de retour, le coefficient de réflexion est calculé en fonction de la fréquence. Le coefficient de réflexion est le rapport de l'onde réfléchie b_1 à l'onde incidente (ou de rentrée) a_1 (Figure II-2). Habituellement enregistré comme Γ ou S_{11} . Il est généralement exprimé en décibels (dB). Rappelons le lien entre la grandeur exprimée en décibels et la grandeur exprimée en grandeurs naturelles dans l'équation :

$$S_{11dB} = 20 \times \log_{10}(|S_{11}|) \quad I.4$$

Par conséquent, nous pouvons voir que le paramètre S_{11} devrait être le plus petit dans la conception de l'antenne. Le coefficient de réflexion est un paramètre important car il permet de définir d'autres notions importantes dans les caractéristiques de l'antenne. En effet, grâce au coefficient de réflexion, il est possible de définir la notion d'adaptation et la bande de fréquence (bande passante) où l'antenne a un coefficient de réflexion inférieur à un certain niveau (généralement -10dB).

Chapitre I : Les antennes Planaires (patch).

Impédance d'entrée :

L'impédance d'entrée de l'antenne est l'impédance vue de la part de la ligne d'alimentation au niveau de l'antenne.

Cette impédance est donnée par la formule I.5 :

$$Z_{in} = Z_0 \frac{1 + S_{11}}{1 - S_{11}} \quad \text{I.5}$$

Z_0 = Impédance caractéristique de la ligne d'alimentation, en générale égale 50Ω .

Les équations ci-dessous permettent de déterminer approximativement la résistance d'entrée d'une antenne patch rectangulaire :

$$R_{in} = \frac{1}{2G_1}, \quad G_1 = \frac{W^2}{90l^2} \text{ si } \frac{W}{l_0} \ll 1, \quad G_1 = \frac{W^2}{120l^2} \text{ si } \frac{W}{l_0} \gg 1 \quad \text{I.6}$$

L'effet de la position du point d'alimentation peut être pris en compte. Placer le point de polarisation au milieu de l'antenne planaire conduit à l'impédance d'entrée nulle et à une dégradation du rayonnement.

$$R_{pos} = R_{in} \cos^2\left(\frac{\pi x}{L}\right) \leftrightarrow x = \frac{L}{\pi} \arccos\left(\sqrt{\frac{R_{pos}}{R_{in}}}\right) \quad \text{I.7}$$

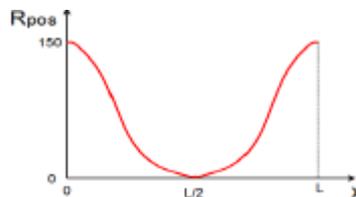


Figure I.12: variation de la résistance d'entrée d'une antenne planaire en fonction du position du point d'alimentation

Le ROS ou Le VSWR :

Standing wave ratio (VSWR) ou VSWR en anglais signifie voltage standing wave ratio, tout comme le coefficient de réflexion reflète l'adaptation ou la désadaptation d'impédance entre deux composants (antenne et circuit émetteur).

Le ROS est donné par:

$$\text{VSWR} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad \text{I.8}$$

Γ : est coefficient de réflexion (S_{11}).

Chapitre I : Les antennes Planaires (patch).

Une méthode pour juger l'efficacité de l'antenne qui fonctionne sur toute la gamme de fréquence est la mesure du VSWR. Un VSWR < 2 assure une bonne performance.

Bande passante (BP) :

Pour les antennes bande étroite la bande passante est généralement exprimée en relatif par rapport à la fréquence centrale.

$$BP(\%) = \left[\frac{f_{max} - f_{min}}{f_c} \right] 100 \quad I.9$$

f_{max} : fréquence maximal.

f_{min} : fréquence minimal.

f_c : fréquence de central ou fréquence de résonance.

Pour les antennes plus large bande une autre manière d'exprimer la bande passante est donnée en équation :

$$BP = f_{max}/f_{min} \quad I.10$$

Une antenne est dite à large bande si $f_{max}/f_{min} = 2$.

I-7-2 Paramètres de rayonnement :

Diagramme de rayonnement :

Le diagramme de rayonnement est la représentation spatiale de l'antenne, et il existe trois types de rayonnement omnidirectionnel, bidirectionnel, directionnel et isotrope. La densité de puissance rayonnée par l'antenne est répartie dans l'espace environnant selon sa géométrie et son adaptabilité. Le diagramme de rayonnement est utilisé pour représenter graphiquement cette distribution. Ils sont donnés dans la "zone éloignée", généralement en points de référence en coordonnées polaires. Si la distance entre le point de calcul et l'antenne satisfait aux conditions données dans l'équation, le champ électromagnétique est considéré dans la zone éloignée. Ces graphiques peuvent être représentés en graphiques 2D (polaire ou cartésien) ou 3D (figure I.12).[11]

$$R > \frac{2D^2}{\lambda} \quad I.11$$

D : la dimension la plus grande de l'antenne.

λ : la longueur d'onde associé à la fréquence de fonctionnement de l'antenne.

Chapitre I : Les antennes Planaires (patch).

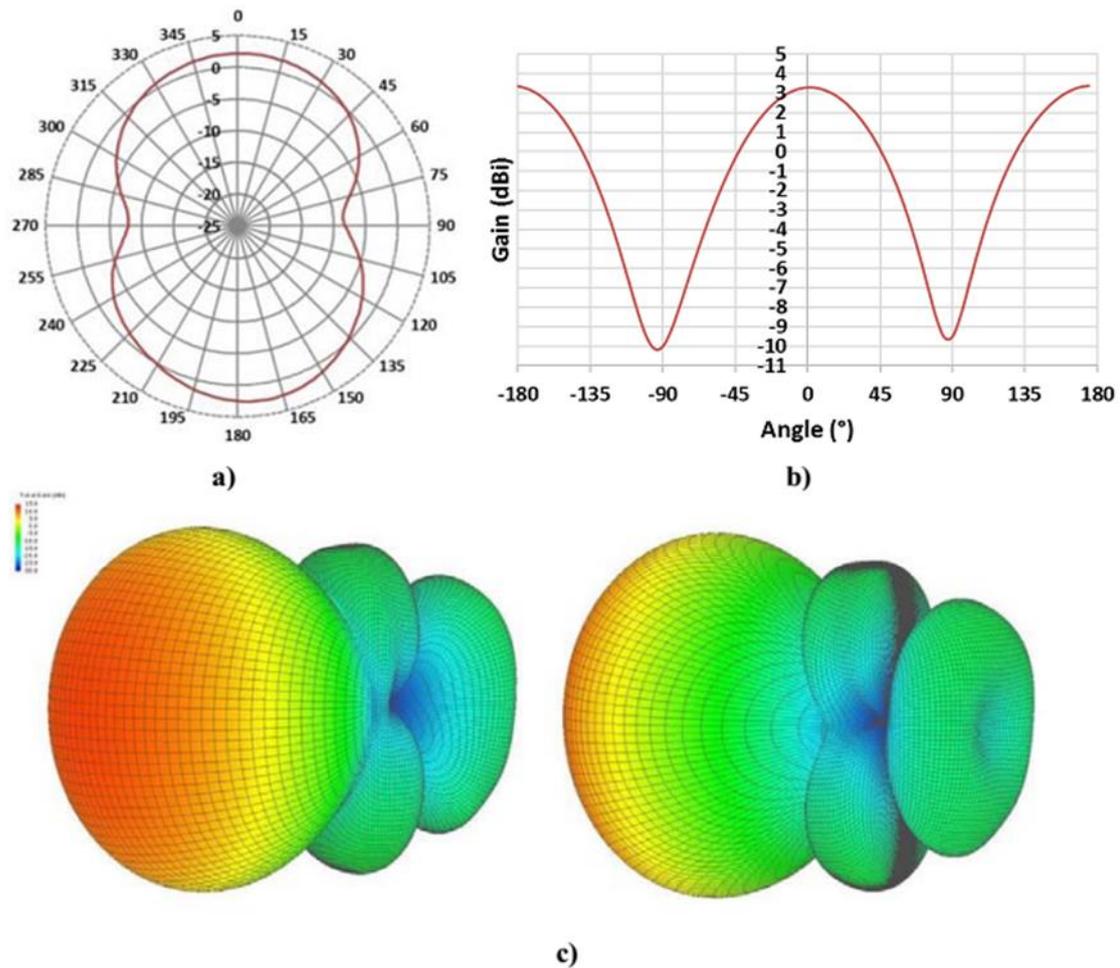


Figure I.13: Différents types de représentation des diagrammes de rayonnement

a) 2D polaire b) 2D cartésien c) 3D.

Sur ces diagrammes il est possible de préciser plusieurs paramètres permettant d'évaluer les performances en rayonnement de l'antenne :

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{Prad} \quad \text{I.12}$$

- La directivité D de l'antenne est le rapport de l'intensité de rayonnement dans une direction donnée à l'intensité de rayonnement U_0 d'une antenne isotrope de même puissance que l'antenne étudiée. L'intensité radiante U_0 est calculée en divisant la puissance radiante totale par 4π .

Si elle n'est pas spécifiée, la directivité d'antenne implique sa valeur maximum, c.à.d D_0

$$D_0 = \frac{U_{max}}{U_0} = \frac{4\pi U_{max}}{Prad} \quad \text{I.13}$$

Chapitre I : Les antennes Planaires (patch).

- Le gain d'antenne G est linéairement lié à la directivité par l'efficacité de rayonnement de l'antenne e_{rad} . Selon, le gain absolu d'antenne est : " le rapport de l'intensité, dans une direction donnée, à l'intensité de rayonnement qui serait obtenue si la puissance admise par l'antenne étaient rayonnées de façon isotropique" Le gain d'antenne est défini par:

$$G = e_{\text{rad}} D = \frac{4\pi U}{P_{\text{in}}} \quad \text{I.14}$$

- Une antenne avec un gain faible tend à être omnidirectionnelle, alors qu'une antenne avec un gain élevé tend à être plus directive et rayonne une grande partie de sa puissance dans certaines directions. Le gain maximal d'une antenne est particulièrement important pour des applications ULB puisque les organismes de normalisation de chaque pays tendent de limiter les niveaux de puissance des émetteurs ULB pour éviter l'interférence avec des services de bande étroite opérant dans les mêmes bandes.

I-7-3 Polarisation :

Les ondes électromagnétiques sont caractérisées par leur direction de propagation, leur amplitude et leur direction dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation. Ces paramètres dépendent du temps. L'évolution de la direction de l'onde au cours du temps permet de définir la polarisation de l'antenne dans une direction de propagation donnée. La polarisation peut être linéaire, circulaire ou elliptique, comme le montre la figure ci-dessous:

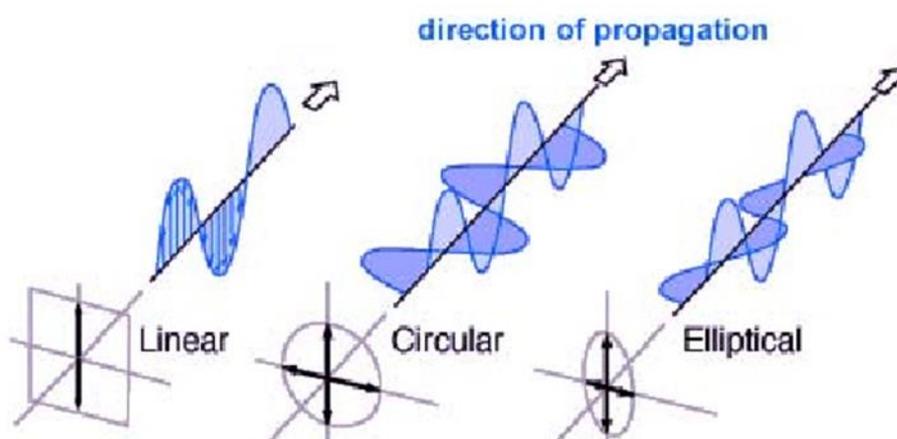


Figure I.14: Différents types de polarisation.

Chapitre I : Les antennes Planaires (patch).

I-8 Les avantages de l'antenne planaire :

Les antennes planaire présentent de nombreux avantages :

- Faible poids, encombrement réduit, configurations conformes possibles.
- Faible coût de fabrication, production en masse possible.
- Polarisation linéaire et circulaire pour les télécommunications.
- Antennes multi bandes, multi polarisations possibles.
- Compatibilité avec les circuits hybrides et MMIC (Microwave Monolithic Integrated Circuit).
- Réseaux d'alimentation et d'adaptation fabriqués simultanément avec l'antenne.[8]

I-9 Les inconvénients des antennes planaires :

Les antennes patch ont de nombreux inconvénients :

- Bande passante étroite, souvent associée avec les problèmes de tolérances (géométrique et physique).
- Génération faible gain (6dB).
- La plupart des antennes rayonnent uniquement dans le demi-plan.
- Supportent uniquement des faibles puissances (quelques dizaines de watts).
- Circuit d'alimentation parfois très complexe.
- Rayonnement parasite de l'alimentation. [8]

I-10 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons fait une présentation pour les antennes planaire, les différentes formes d'une antenne planaire comme rectangle, triangle. Nous avons également abordé le principe de fonctionnement et le mécanisme de leur rayonnement et son structure, les techniques d'alimentation, les caractéristiques de l'antenne patch et enfin les avantages et les inconvénients des antennes planaires.

Chapitre II

Les antennes multi bandes

Chapitre II : Les antennes multi bandes.

II. 1 Introduction :

Dans un système de communication les antennes c'est l'ensemble des composants qui nécessitant une étude particulière. L'importance pour les antennes multi-bandes ne fait qu'agrandir, surtout afin de diminuer le nombre d'antennes embarquées en combine plusieurs applications sur une même antenne. La progression en ce qui concerne la multiplication des bandes de fréquences ont généré un besoin croissant d'antennes multi-bandes. En fait, L'utilisation de ces antennes s'est généralisée dans différentes systèmes de télécommunications.

II. 2 Positionnement des antennes multi-bandes :

En comparaison à la large bande, les télécommunications civiles et militaires emploient de plus en plus de bandes de fréquences. Cet usage exhaustif du spectre des fréquences radio a éveillé un majeur intérêt pour les équipements qui permettent de couvrir simultanément deux ou plusieurs bandes de fréquences. D'où l'importance des antennes multi bandes. Par définition, une antenne multibande est une antenne qui fonctionne dans deux ou plusieurs bandes de fréquences et qui a des performances assez similaires dans ces bandes de fréquences. Le fonctionnement de l'antenne sur une bande de fréquences entraîne en général un accord "raisonnable" de l'antenne pour toutes les fréquences de cette bande de fréquences. Les antennes multi-bandes sont plus sélectives que les antennes à large bande. En d'autres termes, il ne laisse passer que la bande de fréquences d'intérêt comme filtre. Pour les antennes à large bande, certaines applications peuvent nécessiter un circuit de suppression. Un autre avantage des antennes multibandes est qu'elles utilisent des composants rayonnants indépendants dans chaque bande de fréquence. De plus, il est aisé de changer la couverture d'une des bandes de fréquences sans modifier la couverture des autres bandes de fréquences de l'antenne. Le changement de couverture de bande de fréquence est obtenu par le changement de l'élément rayonnant responsable de cette bande de fréquence [12].

II.3 Conception d'antenne multi-bande :

L'antenne multi bande définit comme une antenne résonnant sur au moins deux fréquences avec les mêmes exigences (adaptation, valeur du coefficient de réflexion, gain ...). La fréquence de résonance d'une antenne détermine sa fréquence de fonctionnement, c'est-à-dire. La fréquence à laquelle la partie imaginaire de son impédance d'entrée est nulle. Ceci permet, pour la plupart, une réflectance minimale. Le fonctionnement d'une antenne sur une bande de fréquence se fait par une adaptation « raisonnable » toutes les fréquences de la

Chapitre II : Les antennes multi bandes.

bande. Les antennes multi bandes sont des dispositifs conçus pour fonctionner dans plusieurs bandes de fréquence [13].

II.4 Méthodes utilisés pour l'obtention des antennes multi-bandes :

Les méthodes mises en œuvre pour faire résonner l'antenne en fréquence sont très diverses et reposent sur plusieurs concepts. Les sous-sections suivantes décrivent les concepts les plus courants utilisés pour obtenir des antennes multibandes [14].

II.4.1 Technique de fente :

Ces dernières années, le nombre de standards de communication a augmenté (GSM 900, DCS 1800, UMTS, WLAN, BLUETOOTH, etc.). Ces normes incitent fortement les chercheurs à rechercher des modèles d'antennes de plus en plus complexes, ils utilisent généralement des structures de court-circuit ou utilisent des fentes qui permettent de réduire le rayonnement dans le mode supérieur.

La Figure II.1 montre certaines formes d'antennes à fente [14].

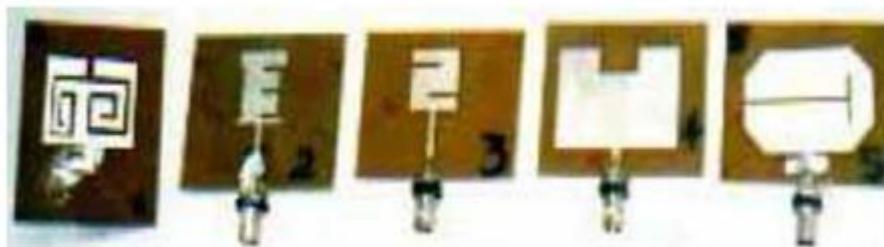


Figure II.1: antenne a fente pour un fonctionnement multi-bande

II.4.2 Technique fractale :

Ce sont des antennes très spéciales qui peuvent réaliser un fonctionnement multi-bandes grâce à des formes fractales. Les fractales sont une solution efficace pour augmenter le périmètre de la surface. Évidemment, la circonférence de l'antenne est un facteur clé pour déterminer la fréquence de résonance. Une antenne fractale avec un périmètre donné couvrant une surface plus petite qu'une antenne carrée similaire. La Figure II.2 montre certains types d'antennes fractales [14].

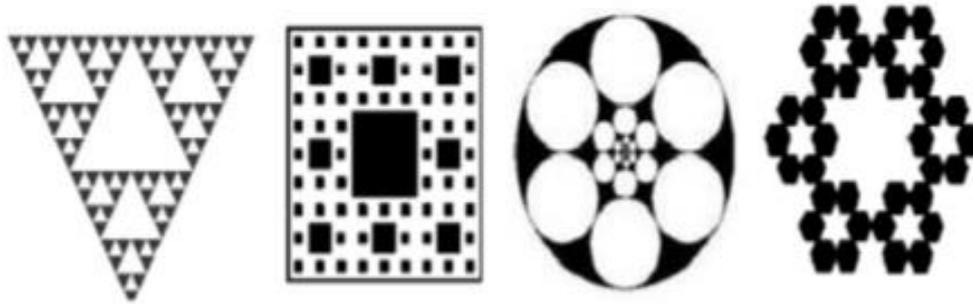


Figure II.2: différents types d'antenne fractales

II.4.3 Combinaison de plusieurs éléments rayonnants :

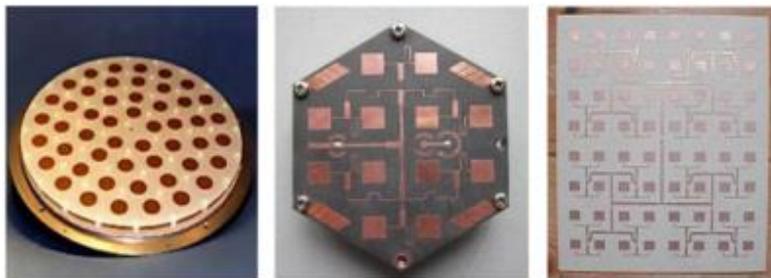


Figure II.3: réseau d'antenne pour un fonctionnement multi-bande

La technique la plus traditionnelle pour obtenir une antenne multibande consiste à combiner deux ou plusieurs éléments rayonnants monobande (résonateurs). Ces éléments monobande peuvent être du même type ou différents. En termes d'excitation, les composants qui composent ces antennes multibandes peuvent être fournis de deux manières différentes :

II.4.3.1 Alimenter directement par port d'excitation :

Ces éléments sont appelés éléments actifs ou directeurs

II.4.3.2 Alimenter directement les éléments rayonnants adjacents par couplage électromagnétique :

Ces éléments sont appelés éléments parasites ou éléments passifs. Les différents composants rayonnants de ces antennes génèrent leur propre fréquence fondamentale et des fréquences de résonance plus élevées. Si vous souhaitez obtenir une bande passante plus large, vous devez choisir le même ordre de grandeur de la longueur de résonance de ces composants. Si vous préférez travailler sur plusieurs bandes de fréquences différentes, alors

Chapitre II : Les antennes multi bandes.

vous devez ajuster la taille de chaque résonateur différemment. En combinant les deux principes ci-dessus, des antennes à large bande et multibandes peuvent être produites simultanément. Dans le cas d'antennes imprimées (telles que des patches), le lien multi-composants rayonnants peut se faire de deux manières diverses : ces éléments sont disposés côte à côte sur un même plan, ou ils sont empilés les uns sur les autres. Deux méthodes. La combinaison existe aussi, mais le coût est une augmentation significative du volume global de l'antenne [14].

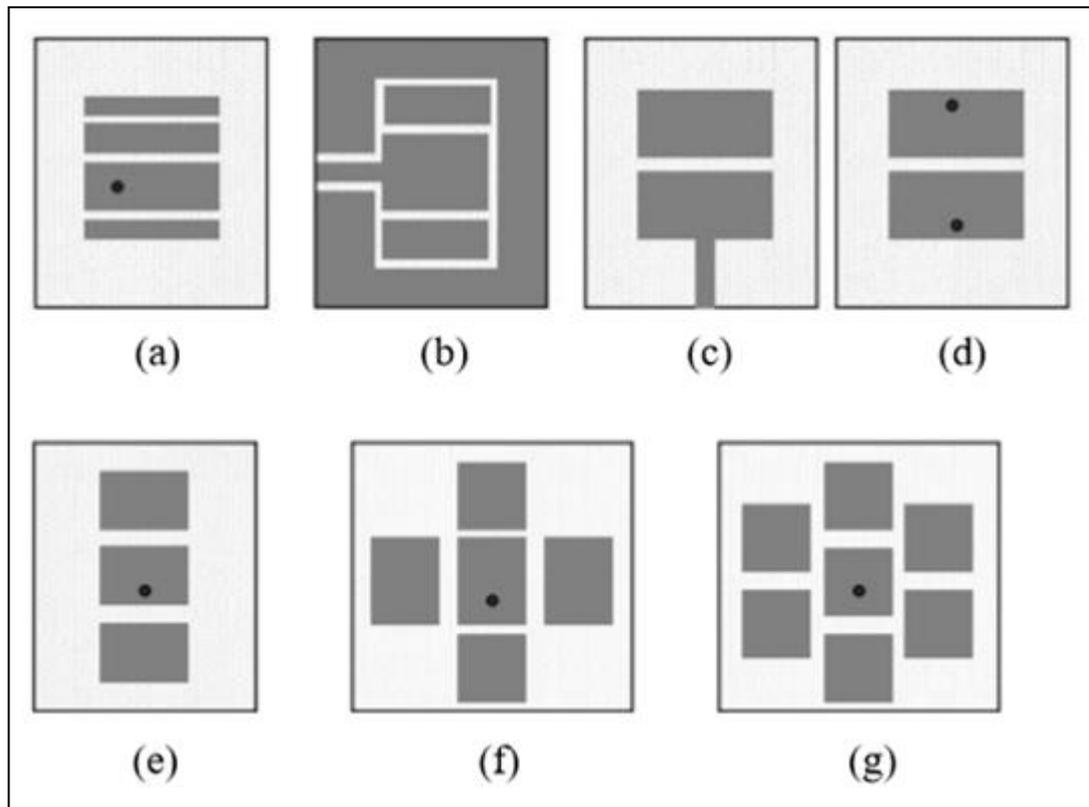


Figure II.4: Arrangement coplanaire des patches.

II.4.3.2.1 Avantages :

- Il est facile de déterminer la taille des éléments constitutifs pour la première fois.
- Relativement le même rayonnement sur toute la bande passante couverte.
- fonctionne bien [14].

II.4.3.2.2 Inconvénients :

- Structures en générale volumineuse.
- L'appariement entre composants pas toujours maîtrisé.
- Le nombre de ports d'excitation dans le cas d'une seule excitation[14].

Chapitre II : Les antennes multi bandes.

II.5 À quoi servent les antennes multi bandes ?

Les antennes multi bandes sont conçues pour fonctionner à plusieurs bandes de fréquences, telles que les bandes VHF et UHF élevées. Ils sont également utilisés dans les fréquences cellulaires, 4G, 3G, 2G et Wi-Fi, et conviennent à toute application où l'appareil est connecté à Internet ou à un réseau. Les antennes multi bandes permettent de sélectionner électroniquement divers groupes dans la plage de fréquences [15].

II.6 Types d'antennes multi bandes :

Fournir différents types d'antennes multi bandes :

- Les antennes extérieures sont étanches, résistantes aux UV et omnidirectionnelles.
- Une antenne dipôle a deux éléments conducteurs identiques, tels que des fils ou des tiges métalliques, pour obtenir une résonance de fréquence. • Les antennes directionnelles reçoivent ou émettent des signaux dans une direction spécifique.
- L'antenne cadre a une bobine ou un tube pour recevoir un signal ou une charge équilibré[15].

II.7 L'intérêt des antennes multi bandes :

Les antennes multi bandes vont devenir de plus en plus importantes, notamment avec la réduction du nombre d'antenne aérienne et au sol dans certaines applications sur une même antenne.

La majorité des antennes multi bandes sont déclarées aux fréquences de fonctionnement actuelle car la relation entre ces fréquences n'est pas indépendante et facile à contrôler.

De plus, sous des fréquences de fonctionnement différentes, les diagrammes de rayonnement de ces antennes sont souvent peu proches et difficiles à modifier.

De plus, sous des fréquences de fonctionnement différentes, le rayonnement de ces antennes est souvent peu proche et difficile à modifier.

Dans ce cas, une nouvelle topologie d'antenne multi bande avec un rapport de fréquence de résonance indépendant et facile à régler est proposée. La taille simple de cet élément rayonnant d'antenne lui donne l'avantage de la flexibilité, c'est-à-dire qu'il peut être facilement modifié pour répondre à d'autres applications ou bandes de fréquences [12].

Chapitre II : Les antennes multi bandes.

II.8 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons abordé le sujet des antennes multi bandes. Premièrement nous avons parlé sur le positionnement des antennes multi bandes par rapport au large bande, puis nous avons discuté la définition de base d'une antenne multi bande et pour obtenir une antenne multi bande nous avons expliqué en détail comment obtenir une antenne multi bande.

Enfin, nous avons présenté les usages et les types d'antennes multi bandes, et expliqué l'intérêt des antennes multi bandes.

Chapitre III

Les antennes à polarisation circulaire

Chapitre III : Les antennes à polarisation circulaire.

III -1 Introduction :

L'antenne patch est l'une des antennes les plus couramment utilisées dans les applications qui nécessitent une polarisation circulaire. Ce chapitre porte sur la conception d'une antenne patch à polarisation circulaire qui fonctionne qu'on $AR < 3$, et des exemples sur les techniques utilisées pour voir la polarisation circulaire.

III -2 Antenne à polarisation circulaire :

Tout d'abord, pour obtenir une polarisation circulaire, il faut, de manière générale, que les deux composantes orthogonales (E_θ et E_ϕ) du champ électrique aient la même amplitude et soient en quadrature de phase. Deux grandes catégories d'antenne à polarisation circulaire existent. La première est une antenne à polarisation linéaire dont la polarisation change par le biais d'un élément extérieur (polariseur). La seconde est une antenne qui crée elle-même sa polarisation circulaire. De nombreuses recherches ont été publiées sur ce type de polarisation en utilisant différentes technologies. Le paragraphe suivant en donne quelques exemples non exhaustifs ainsi que les principales caractéristiques comme le taux d'ellipticité (Axial Ratio (AR) en anglais), la bande de fréquences en polarisation circulaire avec $AR < 3$ dB, notée dans tout qui suit par 3 dB AR. Il faut savoir que cette valeur est la valeur standard, acceptable dans la majorité des applications. Dans d'autres domaines, ce paramètre peut être diminué, ou augmenté à 6 dB. Le graphe suivant (Figure III .1) illustre l'influence d'une erreur d'amplitude ou de phase sur le taux d'ellipticité. Pour respecter le critère 3 dB 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.[19]

Chapitre III : Les antennes à polarisation circulaire.

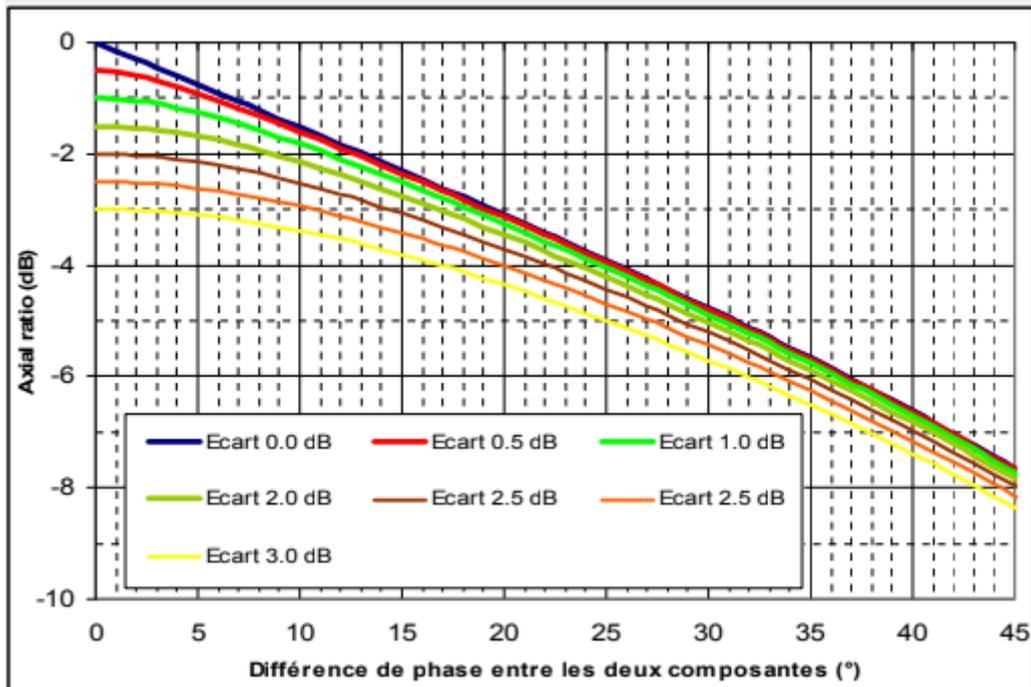


Figure III.1: Evolution du taux d'ellipticité suivant l'écart d'amplitude et de phase

III -3 Intérêt des antennes à polarisation circulaires :

Pour générer une polarisation circulaire, deux composantes orthogonales du champ électrique sont nécessaires. Ces composantes doivent être égales en amplitude, mais déphasées de $\pm 90^\circ$ (donc situées aux pôles de la sphère de Poincaré). [20]

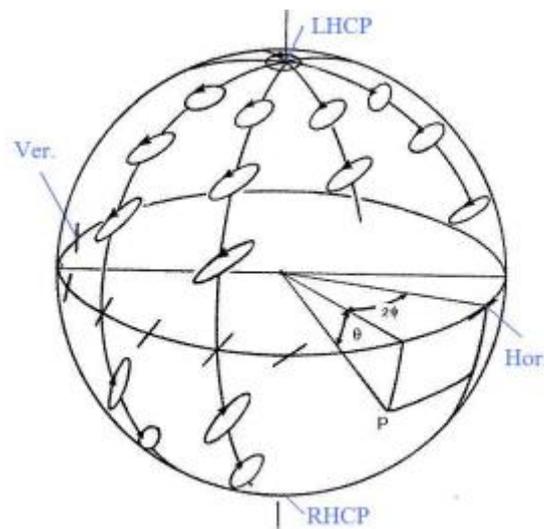


Figure III.2: Les antennes à polarisation circulaire

Chapitre III : Les antennes à polarisation circulaire.

Les antennes à polarisation circulaire sont difficiles à concevoir, mais elles offrent de nombreux avantages :

- **Immunité à la rotation de Faraday :** L'effet Faraday provoque une rotation du plan de polarisation. Cette rotation est proportionnelle à la composante du champ magnétique dans la direction de la propagation. Cela pose un problème dans les parties supérieures de l'atmosphère terrestre, où le plasma hautement ionisé génère des champs magnétiques puissants. Toutefois, l'intensité de ce champ varie en fonction de nombreux facteurs difficiles à prévoir (heure du jour, année, activité solaire, etc.). Pour une polarisation linéaire, cela entraînerait un décalage de la polarisation du signal. La polarisation circulaire est immunisée contre cet effet, car les deux composantes orthogonales sont égales en magnitude et tournées de la même façon. magnitude et tournées du même angle. C'est la principale raison pour laquelle l'utilisation de la PC dans presque tous les systèmes de communication par satellite. [21]
- **Atténuation de la propagation par trajets multiples :** Une onde polarisée circulairement, après réflexion sur une surface plane et conductrice, devient contre-polarisée (c'est-à-dire que l'onde PC de droite devient PC de gauche et vice versa). Cela permet à l'antenne de filtrer le signal réfléchi est un avantage considérable pour les systèmes de navigation, notamment par satellite. Elle présente également des avantages pour les communications à haut débit de données dans les environnements intérieurs, car elle réduit les interférences entre les signaux directs et réfléchis.[22]
- **Pertes de polarisation dues à un mauvais positionnement :** Pour les systèmes de communication à polarisation linéaire, l'antenne de réception et l'antenne d'émission doivent être alignés pour éviter tout décalage de polarisation. Pour la PC, cela n'est pas nécessaire. Il convient de mentionner que si un signal idéal de PC est reçu par une antenne à polarisation linéaire, la perte est de 3 dB, quelle que soit l'orientation de l'antenne de réception. Cette propriété est particulièrement utile pour les systèmes RFID, car elle garantit la détection de l'étiquette portable quelle que soit son orientation.[23][24]

Chapitre III : Les antennes à polarisation circulaire.

III-4 Etats de l'art des antennes patch polarisés circulaires :

Les antennes patch à micro ruban sont probablement les géométries les plus couramment utilisées pour la polarisation circulaire. Elles sont constituées d'une carte de circuit imprimé (PCB) diélectrique avec un patch conducteur (agissant comme un résonateur) imprimé sur une face et un plan de masse sur l'autre. Contrairement à certaines autres antennes (par exemple les dipôles croisés), l'introduction du mode orthogonal n'augmente pas les dimensions du patch, car même pour les antennes à polarisation linéaire, la largeur doit être de taille comparable à la longueur pour contrôler la résistance d'entrée. Les structures PC des patches microbandes peuvent être divisées en types d'alimentation unique et d'alimentation multiple, ce qui détermine le mécanisme de génération du PC. Ces types sont présentés ci-dessous.[25]

III-4-1 Antenne patch polarisée circulairement à double ou multiple alimentations :

Les antennes patch à double alimentation nécessitent un diviseur de puissance et un polariseur, ce qui augmente la complexité et l'encombrement de l'antenne. L'avantage est d'améliorer la largeur de bande du rapport axial, car elle ne dépend pas de l'élément perturbateur de mode. En fonction des caractéristiques de la bande passante du déphaseur utilisé, la bande passante du rapport axial de l'antenne peut être aussi large que la bande passante totale de l'impédance bande d'impédance complète. Une façon très pratique d'alimenter ces antennes est d'utiliser un coupleur hybride. Cette solution présente l'avantage supplémentaire de permettre d'obtenir simultanément un RHCP et un LHCP, selon le port d'entrée du coupleur hybride qui est excité. Bien que les coupleurs hybrides classiques nécessitent beaucoup plus d'espace que les simples déphaseurs, une méthode de miniaturisation a récemment été proposée par Ferrero et al. [25] Cette méthode intègre des condensateurs pour remplacer deux branches à 90° . De plus, en remplaçant les condensateurs à valeur fixe par des tractoristes, on peut obtenir une antenne quadripolaire, avec deux polarisations circulaires (lorsque les tractoristes sont activés) et deux polarisations linéaires (lorsqu'ils sont désactivés). Bien que l'utilisation de plus de deux alimentations puisse sembler redondante, il a été démontré par Sun et al que ces antennes ont une largeur de bande de rapport axial beaucoup plus large que les antennes à double alimentation. L'utilisation de quatre alimentations permet également d'exciter des modes supérieurs dans le patch, comme l'a démontré Huang. Pour cette configuration, les points d'alimentation sont situés à différents angles dans un patch circulaire. Trois configurations discutées dans utilisent des points d'alimentation situés à 45° (pour le mode TM_{21}), 30° (pour TM_{31}) et $67,5^\circ$ (pour TM_{41}). Le

Chapitre III : Les antennes à polarisation circulaire.

déphasage n'est pas proportionnel à l'angle et est soit de 0° , 90° , 180° et 270° pour les modes d'ordre impair. et 270° pour les modes d'ordre impair (TM_{11} et TM_{31}), ou deux entrées décalées de 0° et deux de 90° pour les modes d'ordre pair pour les modes d'ordre pair (TM_{21} et TM_{41}). La motivation de cette est de réaliser un faisceau conique CP, dont l'angle peut être conçu dans une peut être conçu dans la gamme de 35° à 70° . [26]

III-4-2 Antenne patch polarisée circulairement à une seule alimentation :

L'utilisation d'une seule alimentation a l'avantage de la simplicité et d'un réseau d'alimentation plus petit, sans avoir besoin d'incorporer des déphaseurs et des diviseurs de puissance. D'un autre côté, cela implique que les deux modes orthogonaux et le déphasage. D'autre part, cela implique que les deux modes orthogonaux et le décalage de phase requis pour la PC doivent être générés en interne par la géométrie de l'antenne. Il existe de nombreuses méthodes pour y parvenir, les plus courantes étant les suivantes sont présentées dans la figure

Pour la technique du patch presque carré (Fig. III.3.a), l'alimentation est située sur la diagonale du patch afin d'exciter deux modes. 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. Autour de la fréquence de résonance, les performances de l'antenne passent d'une réactance capacitive (moitié inférieure de l'abaque de Smith) à une réactance inductive (partie supérieure de l'abaque de Smith). Par conséquent, dans la plage de fréquences comprise entre les deux résonances, un mode aura une réactance positive et l'autre - négative. En ajustant ces valeurs, on peut obtenir un déphasage de 90° . Ceci est réalisé en introduisant une petite différence Δ entre la longueur et la largeur du patch (voir Fig. a). Cette différence doit être inversement proportionnelle au facteur de qualité (Q) de l'antenne, c'est-à-dire qu'un Q plus faible nécessite un Δ plus grand. Cette méthode permet d'obtenir une bande passante d'impédance beaucoup plus large que celle d'un patch équivalent polarisé linéairement, mais la bande passante du rapport axial est étroite et également inversement proportionnelle à Q. [20]

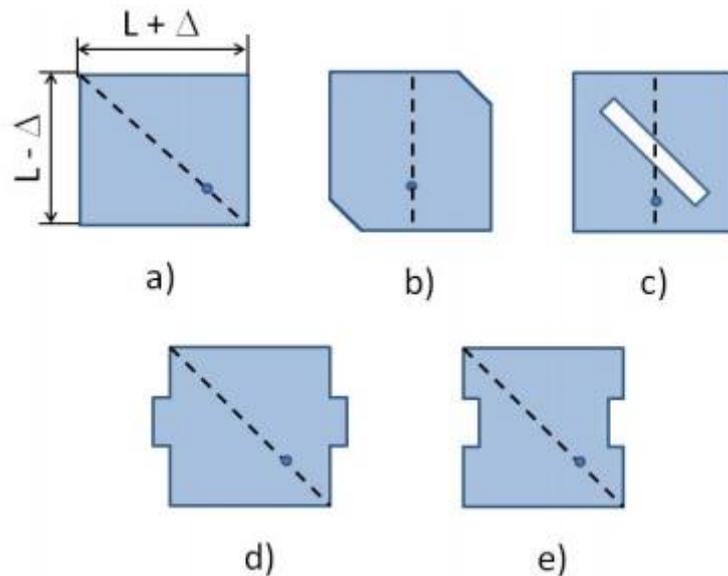


Figure III.3: Géométries de divers patches PC. La ligne pointillée indique la ligne le long de laquelle le point d'alimentation est situé.

La technique du coin tronqué (Fig III.3 .b) consiste à couper deux coins du patch rectangulaire, situés sur une diagonale. L'alimentation est située au milieu de l'un des bords. Elle 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 reconfiguration de la polarisation ont été proposées en couvrant et découvrant la troncature.

Pour ces types d'antennes, il peut être difficile d'obtenir une bonne adaptation d'impédance, en alimentant le patch directement à partir d'une ligne microruban de 50Ω . Pour les antennes à polarisation linéaire, une alimentation par insertion peut être utilisée. Cependant les deux fentes introduites dans le patch par cette technique vont perturber le courant pour le mode orthogonal et par conséquent dégrader la polarisation circulaire.

Au lieu des coins tronqués, une fente diagonale peut être introduite dans le patch (Fig. III.3 .c). Elle agit de la même manière que le coin tronqué, la fente étroite divisant l'énergie en deux modes orthogonaux avec un déphasage approprié. Nasimuddin et al ont également démontré qu'un ensemble de fentes circulaires peut être mis en œuvre, à condition qu'il y ait une asymétrie dans la structure pour exciter deux modes orthogonaux dans la structure pour exciter deux modes orthogonaux.

Alternativement, la fente peut être située parallèlement au bord du patch et l'alimentation située sur la diagonale. En principe, ce travail est similaire à celui du patch presque carré,

Chapitre III : Les antennes à polarisation circulaire.

mais la différence de fréquence de résonance est générée non pas par le patch plus long, mais par le fait que le patch est plus long non pas par le patch plus long, mais par le fait que le courant circule autour de la fente. Cette méthode est également très pratique pour introduire la reconfigurable de la polarisation. En introduisant une diode à broche, un commutateur MEMS ou tout autre composant approprié, la fente peut être court-circuitée ou non, ce qui permet de passer de la polarisation RHCP à la polarisation LHCP. Une méthode intéressante pour une antenne patch alimentée par un guide d'ondes coplanaire (CPW) a été proposée par Huang et Wong .Dans cette méthode, la perturbation de mode est réalisée par une fente inclinée à 45° dans un plan de masse, faisant saillie des deux côtés de l'alimentation CPW. Le patch utilisé est un carré régulier et les deux structures de perturbation et d'alimentation sont situées sur la couche du plan de masse. Enfin, et ce n'est pas le moins important, un stub dépassant du bord (figure d) ou une section retirée du bord (figure e), ou la combinaison des deux, peuvent être utilisés pour générer un déphasage de 90° . De telles structures - lorsqu'elles sont correctement conçues - introduisent une inductance et une capacité qui génèrent le déphasage. [20]

III-5 Exemples de techniques utilisées pour avoir la polarisation circulaires :

III-5-1 Dipôles croisés :



Figure III.4: Exemple d'une antenne dipôle croisée avec deux alimentations séparées.

Les dipôles croisés (Fig.III-4) sont également utilisés pour générer une polarisation circulaire, lorsqu'ils sont alimentés avec le déphasage approprié. En raison d'une limitation géométrique, elles génèrent généralement une polarisation de sens opposé (c'est-à-dire RHCP et LHCP) dans les directions avant et arrière. Cela s'accompagne de nulles ou d'un

Chapitre III : Les antennes à polarisation circulaire.

rayonnement à polarisation linéaire sur les côtés. Cela rend ce type d'antenne convient donc parfaitement aux communications linéaires à circulaires. Dans ce type de communication, l'antenne PC est utilisée (généralement comme antenne de réception) afin de minimiser le décalage de polarisation avec une antenne à orientation linéaire orientée de manière aléatoire. Comme l'antenne d'émission est polarisée linéairement, le sens de la PC est d'une importance secondaire. Cette méthode est particulièrement utile pour les applications RFID et WLAN. Un avantage supplémentaire pour cette dernière application Un avantage supplémentaire pour cette dernière application est le fait que les antennes à fente ou dipôles ont généralement une bande d'impédance plus large que les antennes patch.

La présence d'un faisceau LHCP arrière dans une antenne RHCP est un inconvénient évident pour les applications de navigation par satellite. Pour surmonter ce problème, un réflecteur espacé de $\lambda_0/4$ peut être mis en œuvre pour réfléchir le LHCP indésirable et - le signal PC réfléchi changeant de polarisation - augmenter le gain RHCP. Le prix à payer pour cela est l'augmentation de la taille de l'antenne et la complexité de fabrication. L'une des plus anciennes méthodes de génération de CP consiste à utiliser deux dipôles, croisés à un angle de 90° . Les dipôles sont alimentés avec un déphasage de 90° . Cette technique offre une bande passante plus large que les antennes patch, car de nombreuses techniques ont été développées pour augmenter la bande passante d'impédance d'un dipôle. La largeur de bande du rapport axial d'une antenne dipôle croisée est donc limitée par le réseau d'alimentation, c'est-à-dire par la gamme de fréquences pour laquelle un déphasage stable de 90° peut être produit avec des amplitudes égales. Toutefois, grâce aux déphaseurs à large bande et à ultra large bande proposés par Abbosch, ce problème devrait être résolu dans un avenir proche. Il est également possible d'accorder les deux dipôles pour qu'ils résonnent à des fréquences légèrement différentes, comme l'a démontré Bolster. Il s'agit en principe d'une technique similaire à celle du patch presque carré et elle souffre du même problème de largeur de bande relativement étroite. Un autre inconvénient du dipôle croisé est sa complexité et sa facilité de fabrication. Habituellement, le déphaseur est implémenté comme un circuit externe, situé derrière l'antenne. Baik et al ont proposé d'intégrer le déphaseur dans l'antenne, en faisant une connexion en arc de $\lambda_0/4$ de long entre les bras. Cela a permis la mise en œuvre d'un dipôle croisé utilisant deux couches de métallisation (une seule couche de substrat) avec une seule alimentation. Un autre développement par Lin et al. L'antenne est également réalisée sur un seul substrat avec une métallisation à deux couches.[20]

Chapitre III : Les antennes à polarisation circulaire.

III-5-2 Antennes patch avec fentes :

La découpe d'une fente dans une antenne patch donne la perturbation nécessaire pour produire une polarisation circulaire. La forme et les dimensions de la fente découpée permettent également d'élargir les bandes passantes. [27]

III-5-2-1 Fente en forme de C :

En découpant une fente en forme de C dans une antenne microruban à patch carré comme le montre la figure et en montant le substrat sur une couche de mousse, on obtient une bonne polarisation circulaire. La structure de l'antenne est alimentée par la méthode d'alimentation par couplage d'ouverture. Les dimensions de la fente sont utilisées pour optimiser la conception de l'antenne en faveur du rapport axial et de l'adaptation d'impédance. Le rapport axial mesuré à 3 dB et les largeurs de bande d'impédance à 10 dB sont respectivement de 3,1 % et 16,4 %. [28]

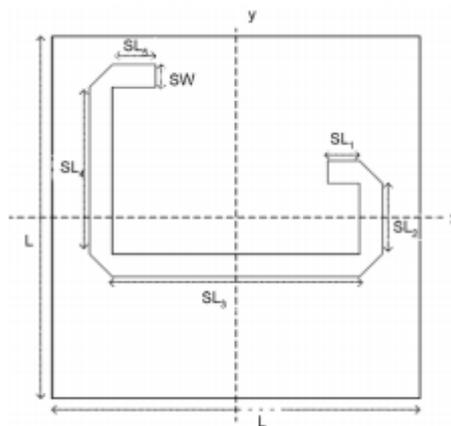


Figure III.5: Antenne patch carrée avec fente en forme de C

III-5-2-2 Fente en forme de F :

Découpe d'une fente en forme de F au centre d'un patch carré comme indiqué sur la figure et alimentation par couplage d'ouverture. Bonne polarisation circulaire avec un rapport axial de 3 dB et des largeurs de bande d'impédance de 10 dB, soit respectivement 3,2 % et 5,62 %. [29]

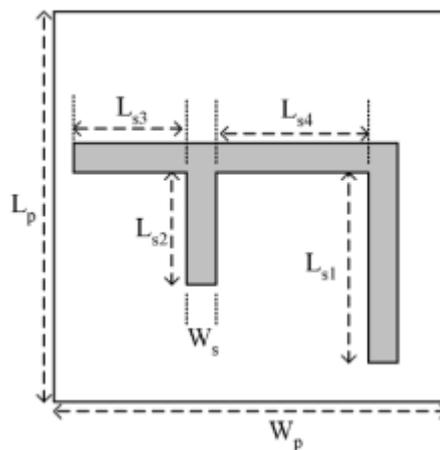


Figure III.6: Antenne patch avec fente en forme de F

III-5-2-3 Fente en forme de S :

Découpe d'une fente en forme de S dans une antenne patch carrée comme indiqué sur la figure et alimentée par un couplage d'ouverture. Un fonctionnement bi-bande a été obtenu. Rapport axial à 3 dB : 3,6 % et 1,1 % tandis que les largeurs de bande d'impédance à 10 dB sont respectivement de 15 et 3,5 %. [30]

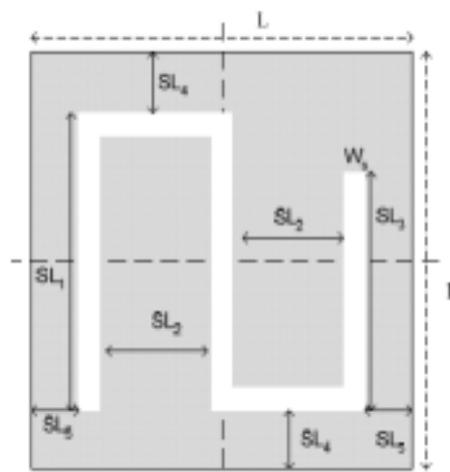


Figure III.7: Antenne patch avec fente en forme de S

III-5-2-4 fentes croisées :

En insérant une fente croisée dans une antenne patch circulaire comme le montre la figure, on obtient une antenne compacte à polarisation circulaire. L'optimisation des dimensions de la fente croisée et du rapport entre les deux bras affecte le rapport axial, les bandes passantes d'impédance et la taille de l'antenne de façon spectaculaire. L'augmentation

Chapitre III : Les antennes à polarisation circulaire.

de la longueur de la fente diminue la fréquence de résonance, ce qui réduit la taille de l'antenne. L'antenne est alimentée par une alimentation de proximité et, lors des tests, le rayon de l'antenne était 36 % plus petit que l'antenne sans fente croisée. [30]



Figure III.8: Patch circulaire avec fente croisée.

L'antenne patch avec de grandes longueurs de fentes croisées aura une fréquence de fonctionnement réduite. Mais le rapport de fente croisée est principalement déterminé par la longueur de la fente, donc le rapport sera proche de 1, ce qui sera difficile à fabriquer. L'incorporation d'une fente croisée supplémentaire à bras égal dans le plan de masse, comme le montre la figure, permet de produire une antenne plus compacte et plus facile à fabriquer. La fente croisée dans le plan de masse n'a pratiquement aucun effet sur la largeur de bande de polarisation circulaire. La fente croisée de masse a réduit la fréquence de fonctionnement de $\approx 13\%$. [31]

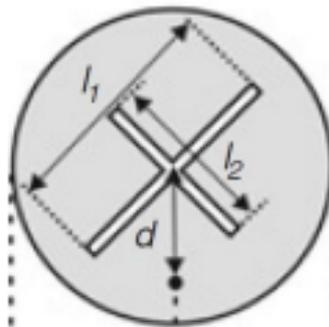


Figure III.9 : Patch circulaire avec fente croisée dans le patch et plan de masse

III-5-2-3 Patch avec fentes tronqués en coins :

L'antenne patch microstrip carrée à coins tronqués est l'une des premières et des plus célèbres techniques de base pour générer une polarisation circulaire dans les antennes patch. La littérature ouverte est très riche en matière d'antenne microruban carrée à coins tronqués [4, 15, 41]. L'insertion de 4 fentes de longueur égale aux 4 coins d'une antenne patch

Chapitre III : Les antennes à polarisation circulaire.

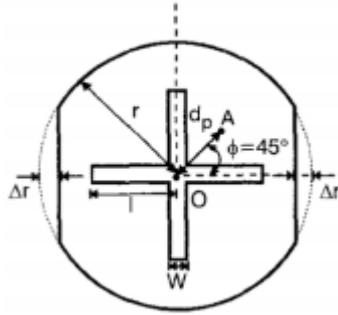


Figure III.12 : Antenne circulaire patch à bords tronqués

III -6 Conclusion :

Dans ce chapitre, on présente les antennes à polarisation circulaire, leurs intérêts. On a concentré surtout aux antennes patch polarisés circulaires et les techniques possibles pour avoir une polarisation circulaire.

Chapitre IV

Résultats et Simulation

Chapitre IV : Résultats et Simulation.

IV.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons étudier et analyser les résultats de simulations issus d'une antenne multi bande à polarisation circulaire alimentée par une ligne coplanaire. Le logiciel de simulation CST (compter simulation technologie) Microwave Studio a été utilisé pour concevoir l'antenne proposée. Le simulateur CST est développé par une compagnie allemande, il est utilisé pour la simulation électromagnétique basée principalement sur la méthode des intégrations finies.

IV.2 L'ancienne modèle de l'antenne :

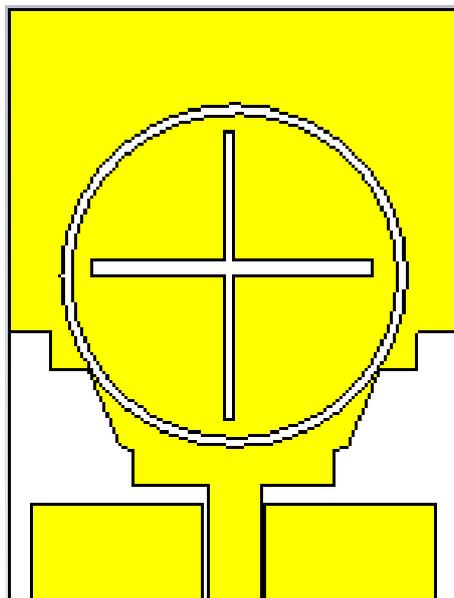


Figure VI.1 : Figure représente l'ancienne modèle de l'antenne proposée.

Après les modifications sur l'antenne patch on a réussi une antenne multi bande à polarisation circulaire Les dimensions totales $31 \times 23.5 \text{ mm}^2$. Cette antenne a été conçue en utilisant le logiciel CST v.2016.

IV.3 Configuration de l'antenne :

La figure (IV.2) représente la configuration de l'antenne multi-bande à polarisation circulaire proposée. Cette antenne a été imprimée sur FR4-Epoxy de permittivité 4.3 et d'épaisseur 1.5mm. Les dimensions totales $31 \times 23.5 \text{ mm}^2$. Cette antenne a été conçue en utilisant le logiciel CST v.2016.

Chapitre IV : Résultats et Simulation.

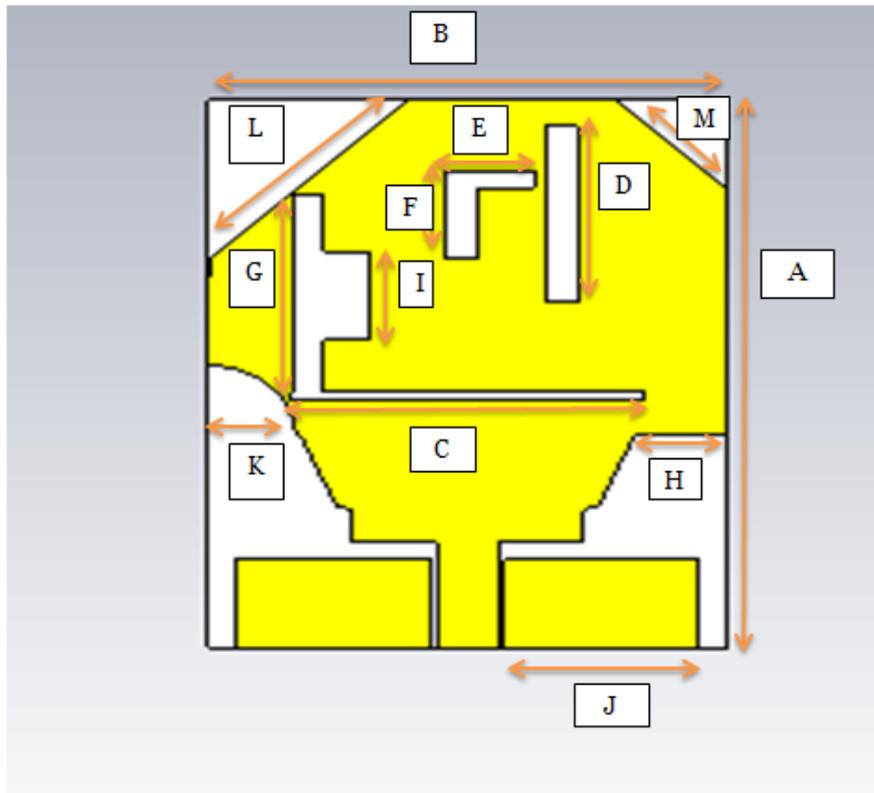


Figure IV.2 : Configuration de l'antenne conçue.

A	31.00mm
B	23.50mm
C	16.00mm
D	10.00mm
E	04.00mm
F	05.00mm
G	11.10mm
H	04.21mm
I	05.00mm
J	08.84mm
K	04.00mm
L	12.73mm
M	07.07mm

Tableau VI.1 : Les dimensions de l'antenne conçue.

Chapitre IV : Résultats et Simulation.

IV.4 Résultats et discussions :

Les figures (IV.4) et (IV.5) indiquent que l'antenne fonctionne presque autour des bandes : 2.79-3.11 GHz, 3.95-11.62 GHz avec une légère augmentation autour de 7.5 GHz. Tandis que, l'antenne mesuré indique que le prototype fabriqué fonctionne autour des bandes 2.21 -2.41 GHz et 6.49-11.62GHz.

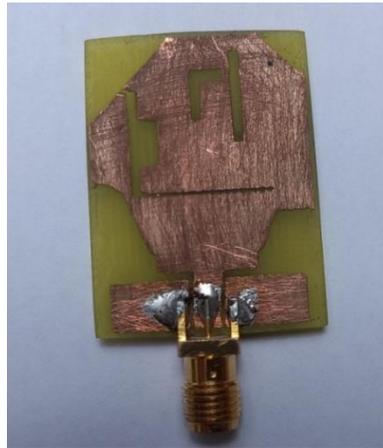


Figure IV.3 : l'antenne fabriqué.

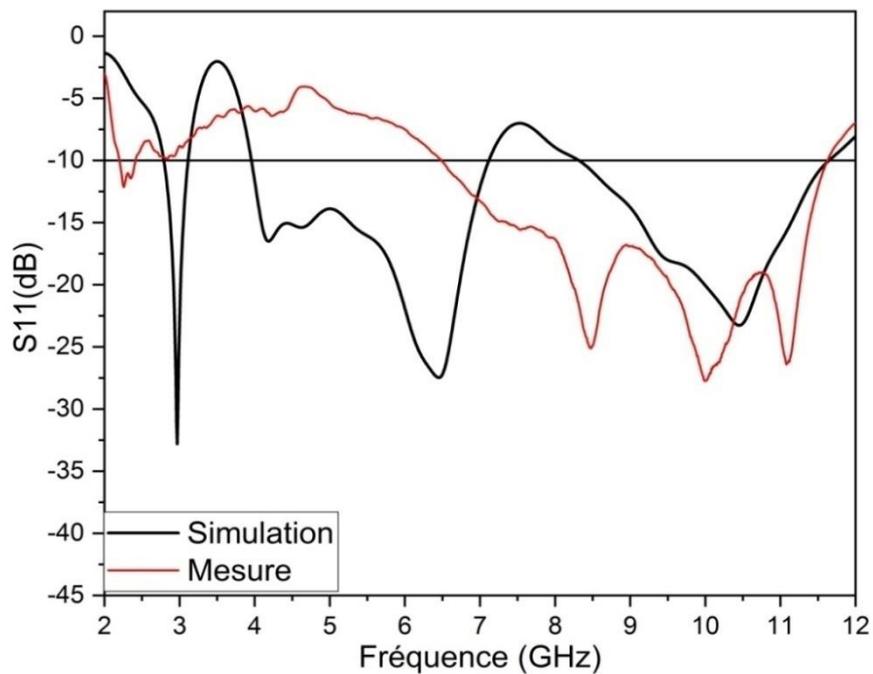


Figure IV.4 : Coefficient de réflexion de l'antenne

Chapitre IV : Résultats et Simulation.

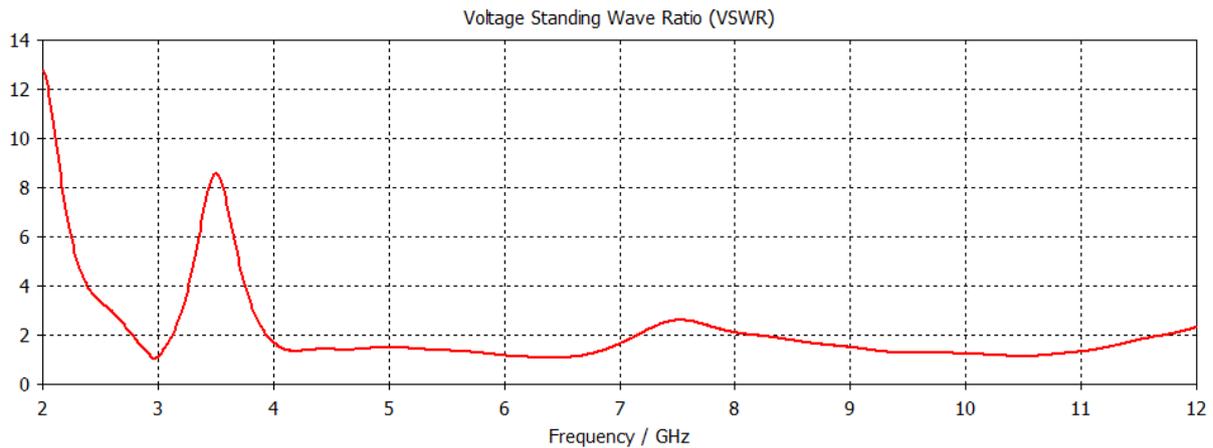
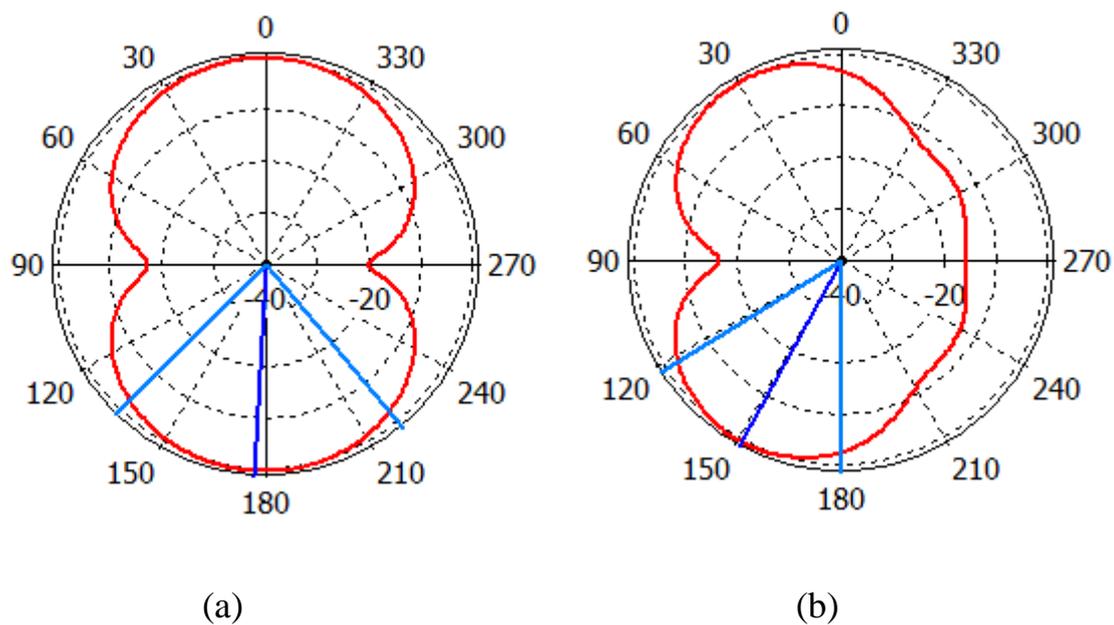
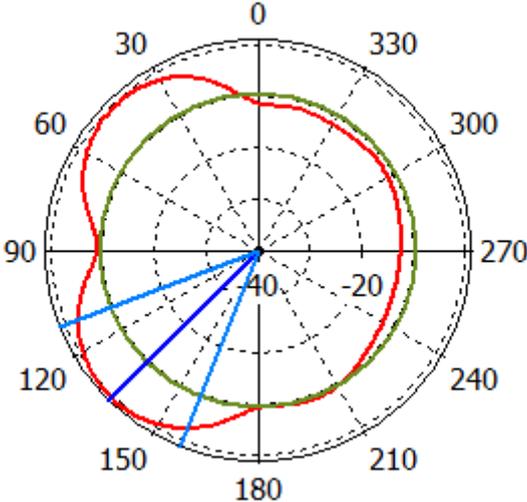


Figure IV.5 : VSWR de l'antenne proposée.

Figure (IV.6) et Figure (IV.7) représentent les diagrammes de rayonnement dans les deux plans E et H, respectivement pour différentes valeurs de fréquences. Des diagrammes de rayonnement en forme de chiffre huit ont été obtenus dans le plan E. Tandis que, des diagrammes de rayonnement en forme de cercle ont été obtenus dans le plan H. Les diagrammes de rayonnement subissent de légères déformations avec l'augmentation de la fréquence.

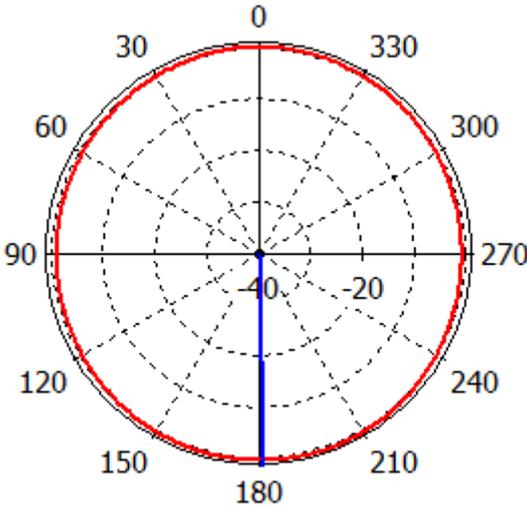


Chapitre IV : Résultats et Simulation.

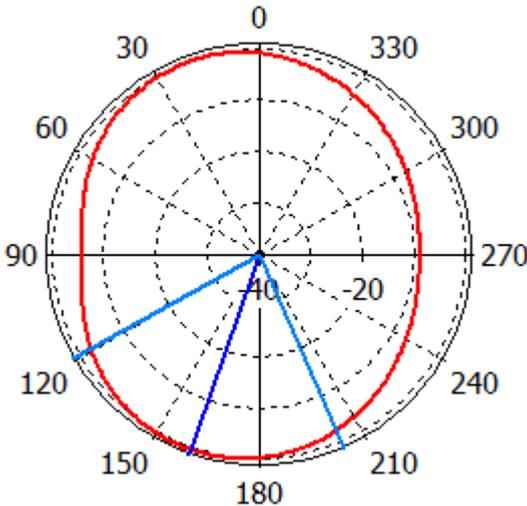


(c)

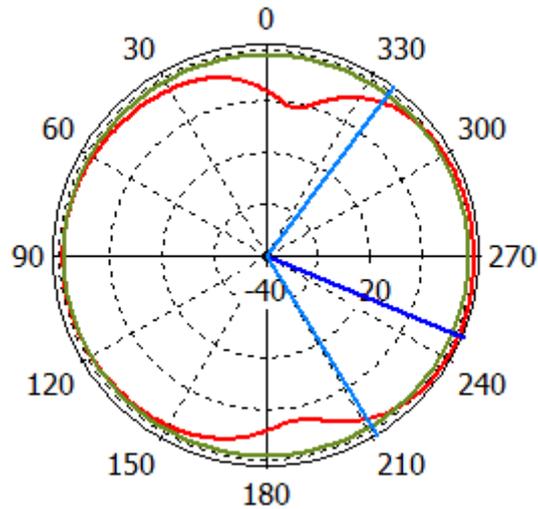
Figure IV.6: Diagramme e rayonnement dans le plan E pour différentes valeurs de fréquence (a) 3 GHz, (b) 6.5 GHz, et (c) 10.5 GHz.



(a)



(b)



(c)

Figure IV.7: Diagramme e rayonnement dans le plan H pour différentes valeurs de fréquence (a) 3 GHz, (b) 6.5 GHz, et (c) 10.5 GHz.

La figure (IV.8) montre que l'antenne à un gain croissant sauf aux tours des bandes rejetées. Un gain max d'environ 6.68dBi a été obtenu.

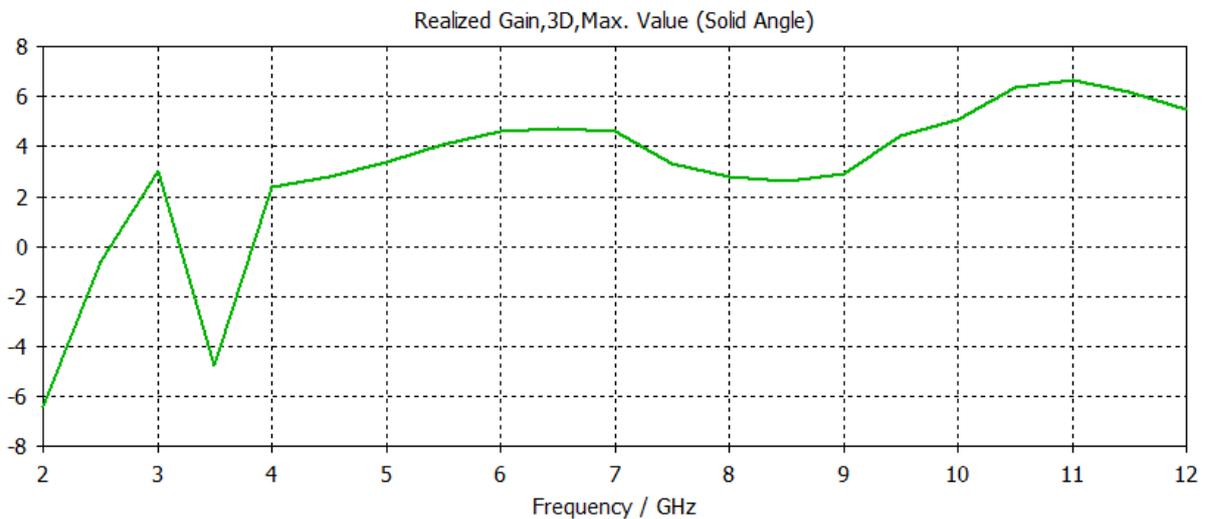


Figure IV.8: Gain de l'antenne proposée.

Figure (IV.9) montre que l'antenne proposée a une efficacité presque supérieur à 90 %.

Chapitre IV : Résultats et Simulation.

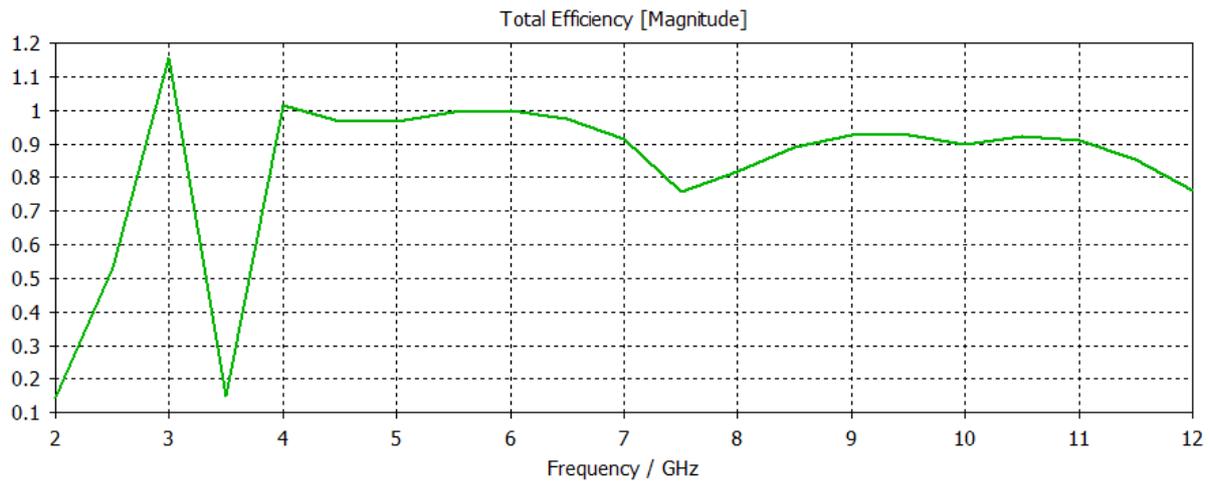


Figure IV.9: Efficacité totale de l'antenne proposée.

Figure (IV.10) qui représente axial ratio en fonction de la fréquence indique que notre antenne est polarisée circulairement au tour des bandes 3.5 GHz , 7 GHz , et 11 GHz .

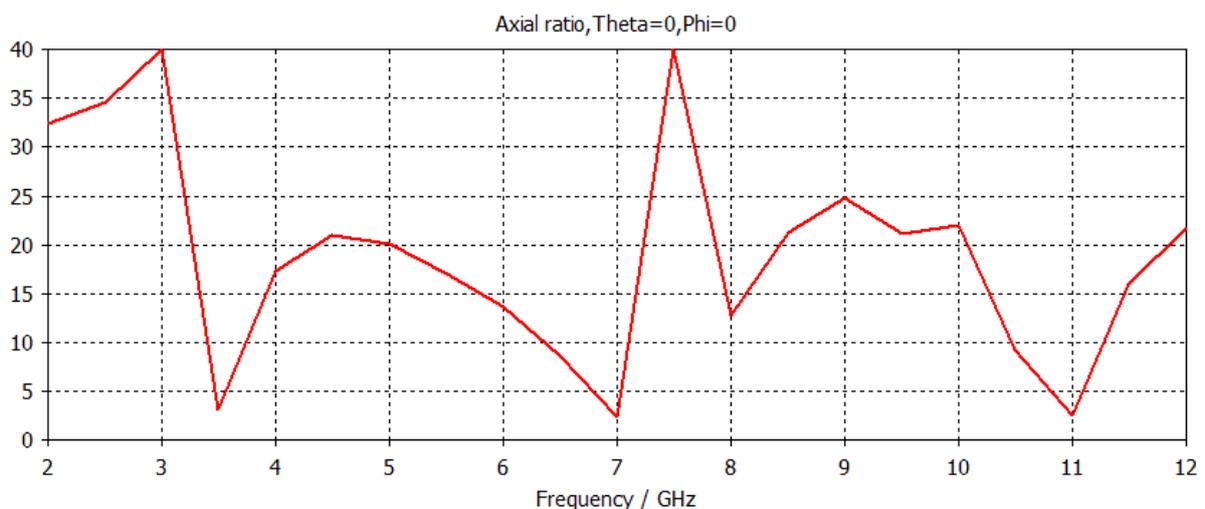


Figure IV.10: Axial ratio de l'antenne proposée.

IV.5 Conclusion :

Dans ce chapitre, on a conçu une antenne planaire multi bande à polarisation circulaire alimentée par une ligne coplanaire en utilisant le logiciel CST. L'antenne conçue a été réalisée et mesurée en utilisant un analyseur de réseau Rohde & Schwaz. L'antenne mesuré indique que le prototype fabriqué fonctionne autour des bandes 2.21 -2.41 GHz et 6.49-11.62GHz. De plus, l'Axial ratio de l'antenne simulée indique qu'elle a une polarisation circulaire autour des fréquences 3 GHz, 6.5 GHz, 10.5 GHz.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale :

L'antenne est un élément important dans le domaine de la communication pour émettre et recevoir des informations sous la forme d'ondes électromagnétiques, elle est également utilisée dans plusieurs domaines tels que les systèmes de détection, de satellites et d'avions de surveillance, des réseaux de communications et GPS automobiles et de communications par satellite grâce au système. [1]

D'abord, l'antenne mesurée fonctionne aux bandes mentionnées 2.21 -2.41 GHz et 6.49-11.62GHz. De plus, l'Axial ratio de l'antenne simulée indique qu'elle a une polarisation circulaire autour des fréquences 3 GHz, 6.5 GHz, 10.5 GHz.

Les résultats simulés indiquent aussi que l'antenne simulée présente des diagrammes de rayonnement omnidirectionnels sur toutes les bandes de fonctionnement.

Comme perspectives, on propose dans les futurs travaux de concevoir des nouvelles antennes plus performantes et à des dimensions réduites pour diverses applications.

Bibliographie

Bibliographie

Référence :

- [1] :Touati Mohamed Houssemeddine. Conception et Simulation d'une antenne micro-ruban circulaire. Université Mohamed Khider Biskra. 2013 / 2014
- [2] : Alexandre Boyer.ANTENNES .INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE TOULOUSE
- [3]: A. Balanis, third edition,Hoboken, NJ: WileyAntenna theory: analysis and design / Constantine, 2005, ISBN 047166782X (hbk.)
- [4]: Ahmed FatthiAlsager "Design and Analysis of Microstrip Patch Antenna Arrays" HÖGSKOLOLAN I BORÅS Institutionen ingenjörshögskolan.2011
- [5]: Ouallil Lamia « Simulation des antennes sous HFSS (High Frequency Structure Simulator).Université mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou.2012/2013.
- [6]: "Contribution à l'étude d'Antennes Forte Gain. Applications dans le Domaine Millimétrique" Thèse de Doctorat – n° 14-2003 - U.E.R des sciences -Université de LIMOGES- Mai 2003.
- [7]: Yi. Huang and K. Boyle, John Wiley & sons Antennas from Theory to Practice/ 2008, ISBN 978-0-470-51028-5.
- [8] :Diaoui Rida "Conception d'une nouvelle antenne ULB avec caractéristique de suppression de plusieurs bandes (WLAN, WiMax) Université 8Mai 1945-Guelma, Mai2013.
- [9]:Ramesh G. Artech house Microstrip antenna design handbook/ 2001, ISBN 0-89006-513-6
- [10] :DahmaniSabra,KouadriKawther "Etude et conception des antennes planaires ULB à base de méta matériaux ",Université 8Mai1945-Guelma,2019.
- [11]: D. Orban, G.J.K. Moernaut, "The Basics of Patch Antennas",Orban Microwave Products,2010.
- [12] :Sami Hebib. Nouvelle topologie d'antennes multi-bandes pour applications spatiales. Thèse. Université de Toulouse. 16 Dec 2008
- [13] :Brahimi Ali. Etude de la Technologie des Antennes Multi-bandes pour les Applications Spatiales. Université des Sciences et de la Technologie d'Oran MOHAMED BOUDIAF. 2009

Bibliographie

- [14] :Amina MEFTAH et Rabia OUZZIR Conception des nouvelles topologies des antennes multi fonctionnelles UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID TLEMCEN 2016-2017
- [15] :<https://fr.rs-online.com/web/c/informatique-et-peripheriques/modules-et-composants-sans-fils/antennes-multi-bandes/>
- [16] Abdelhalim Chaabane, Djelloul Aissaoui, "A Compact Notched Band Ultra Wideband Multiple Input Multiple Output Antenna with Good Diversity Performance," Second International Conference on Electrical Engineering ICEEB'2018, December 2-3 2018, Biskra, Algeria.
- [17] Djelloul Aissaoui, Abdelhalim Chaabane, Ahcene Boualleg, Mohammed Guerroui, "Coplanar Waveguide-Fed UWB Slotted Antenna with Notched-band Performance," Periodica Polytechnica Electrical Engineering and Computer Science, vol 65, no. 1, 69-73, 2021.
- [18] Abdelhalim Chaabane, Omar Mahri, Djelloul Aissaoui, Nassima Guebgoub, "Multiband Stepped Antenna for Wireless Communication Applications", Informacije. MEDEM, vol. 50, no. 4, 275-285, 2020.
- [19]:Steven (Shichang) GAO, Qi Luo and FuguoZhu"CIRCULARLY POLARIZED ANTENNAS"University of Kent, UK, 2014.
- [20]: Adam Z. Narbudowicz "Advanced Circularly PolarisedMicrostrip Patch Antennas" Technological University Dublin2013.
- [21]: K. Davies and E. K. Smith, "Ionospheric effects on satellite land mo-bile systems," IEEE Antennas and Propagation Magazine, Dec 2002.
- [22]:J. L. Volakis, R. C. Johnson, and H. Jasik, Antenna Engineering Hand-book, 4th ed. McGraw—Hill Book Company, 2007.
- [23]: B. R. Elbert, Introduction to Satellite Communication, 2nd ed. ArtechHouse, 1999.
- [24]: 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..
- [25]:——, "A novel quad-polarization agile patch antenna," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 57, no. 5, pp. 1563–1567, May2009.

Bibliographie

- [26]:W. L. Langston and D. R. Jackson, "Impedance, axial-ratio, and receive-power bandwidths of microstrip antennas," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 52, no. 10, pp. 2769–2774, Oct 2004.
- [27]:Marwa Shakeeb "Circularly Polarized Microstrip Antenna" CONCORDIA UNIVERSITY SCHOOL OF GRADUATE STUDIES, Dec 2010.
- [28]: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.
- [29]: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.
- [30]: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.
- [31]: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.
- [32]:Wen-Shyang Chen, Chun-Kun Wu, Kin-Lu Wong, "Novel Compact Circularly Polarized Square Microstrip Antenna," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 49, Issue. 3, 2001, pp. 340 – 342.
- [33]:Wen-Shyang Chen, Chun-Kun Wu, Kin-Lu Wong, "Compact Circularly-Polarised Circular Microstrip Antenna with Cross-Slot and Peripheral Cuts," IEEE Electronics Letters, vol. 34, issue 11, 1998 , pp.1040-104.
- [34] Abdelhalim Chaabane, Omar Mahri, Djelloul Aissaoui, Nassima Guebgoub, "Multiband Stepped Antenna for Wireless Communication Applications," Informacije. MEDEM, vol. 50, no. 4, 275-285, 2020.