

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 : Réseaux et Télécommunications

Par : **ARKOUB Sid Ahmed** et **BELBACHIR Djamel Eddine**

Thème

**Etude et conception d'antennes intelligentes reconfigurables
large bande pour les systèmes de communication**

Radio Cognitive.

Soutenu, le **30 / 06 / 2022**, devant le jury composé de :

Mr ABRI Mehadj

Professeur à l'université de Tlemcen

Président

Mme GOURARI F-Z

MCB à l'université de Tlemcen

Examinatrice

Mr BOUSAHLA Miloud

MCB à l'université de Tlemcen

Encadreur

Remerciements

En premier lieu, je tiens remercier **ALLAH**, le tout puissant et miséricordieux, pour toute la volonté, et le courage qu'il m'a donné pour entamer et finir ce mémoire dans les bonnes conditions.

Je voudrais tout d'abord adresser toute ma gratitude à mon encadreur Monsieur BOUSAHLA Miloud, maître de conférences à la faculté de technologie de l'université de Tlemcen pour m'avoir encadré, orienté et aidé à trouver des solutions pour avancer. Je le remercie également pour sa bonté, sa patience, sa disponibilité tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour le temps qu'il a bien voulu me consacrer.

Mes sincères remerciements vont également s'adresser à Mr ABRI Mehadjji Qui m'a fait l'honneur d'accepter de présider le jury de ce mémoire et aussi à Mme GOURARI F-Z qui a accepté d'examiner notre travail.

Mes remerciements s'entendent également à tous mes enseignants durant les années des études.

A mes parents, je dis grand merci pour leur sens d'encouragement, leurs prières, et leur amour qui a fait de moi ce que je suis aujourd'hui. « Vous avez tout sacrifié pour vos enfants, ni en terme de santé ni efforts, vous m'avez donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. Je redevable d'une éducation dont je suis fier ».

Je remercie mes chères sœurs, qui ont toujours été là pour moi et surtout pour leur encouragement.

Je remercie tous mes Amis pour leur sincère amitié et confiance, et à qui je dois ma reconnaissance et mon attachement.

Enfin, A tous ceux et celles qui m'ont aidé et encouragé de près ou de loin dans la réalisation de ce travail, par leur patience, leurs compétences et leurs interventions adéquates. Il me serait difficile de les citer tous. Qu'ils trouvent ici, l'expression de ma reconnaissance.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail aux êtres qui me sont les plus chers, je cite :

A ma très chère mère

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point de remercier comme il se doit. Je te remercie pour tout le soutien et l'amour que tu me portes depuis mon enfance et j'espère que ta bénédiction m'accompagne toujours.

A mon très cher père

L'épaule solide, et la personne la plus digne de mon estime et de mon respect. Aucune dédicace ne saurait exprimer mes sentiments que dieu te préserve et te procure santé et longue vie.

A mes chères sœurs

Je vous souhaite que du bonheur et de succès et que dieu vous protège et vous garde.

A mes oncles et mes tantes.

A mes cousins et cousines.

A mes professeurs et enseignants.

A tous mes amis et ceux que j'aime.

Résumé

Les antennes reconfigurables offrent de multiples fonctions en changeant leurs propriétés telles que la fréquence de fonctionnement, le diagramme de rayonnement, la polarisation.

Leur diversité et leur agilité créent de nouvelles possibilités d'applications pour les systèmes radio tels que les liaisons par satellite, les réseaux locaux et notamment la radio cognitive.

Dans ce projet, on s'intéressera à l'étude et à la conception, par simulation à l'aide d'un logiciel de simulation électromagnétique, d'antennes reconfigurables en fréquence fonctionnant dans les bandes des standards sans fil actuels. Elles sont basées sur la modification de la géométrie du patch rayonnant.

Mots-clés : Antenne reconfigurable, Diode PIN, Radio cognitive, Système d'antenne intelligent.

Abstract

Reconfigurable antennas offer multiple functions by changing their properties such as operating frequency, radiation pattern and polarization.

Their diversity and agility create new application possibilities for radio systems such as satellite links, local area networks and in particular cognitive radio.

This project will focus on the study and design, by simulation using electromagnetic simulation software, of reconfigurable frequency antennas operating in the bands of current wireless standards. They are based on changing the geometry of the radiating patch.

Keywords : Reconfigurable antenna, PIN diode, Cognitive radio, Intelligent antenna system.

ملخص

توفر الهوائيات القابلة لإعادة التشكيل وظائف متعددة من خلال تغيير خصائصها مثل تردد التشغيل ونمط الإشعاع والاستقطاب.

يخلق تنوعها وخفة حركتها إمكانيات تطبيق جديدة للأنظمة الراديوية مثل وصلات الأقمار الصناعية وشبكات المنطقة المحلية وخاصة الراديو المعرفي.

في هذا المشروع، سوف نركز على الدراسة والتصميم، عن طريق المحاكاة باستخدام برنامج المحاكاة الكهرومغناطيسية، للهوائيات القابلة لإعادة التشكيل بالتردد والتي تعمل في نطاقات المعايير اللاسلكية الحالية. وهي تستند إلى تعديل هندسة الرقعة المشعة.

الكلمات المفتاحية: هوائي قابل لإعادة التشكيل، صمام ثنائي، راديو معرفي، نظام هوائي ذكي

TABLE DES MATIERES

Remerciements	I
Dédicaces	II
Résumé	III
Abstract	IV
ملخص	V
Liste des figures	XI
Liste des tableaux	XIV
Liste des abréviations	XV
INTRODUCTION GENERALE	1
Chapitre I	2
I.1 Introduction	3
I.2 Historique	3
I.3 Définition	3
I.4 Radio logiciel restreinte (SDR)	4
I.5 Relation entre RC et SDR	4
I.6 Composantes de la radio cognitive	5
I.6.1 Emetteur/Récepteur	6
I.6.2 Analyseur de spectre	6
I.6.3 Apprentissage et extraction de connaissances	6
I.6.4 Prise de décision	6
I.7 Cycle de cognition	6
I.7.1 Phase d'observation	7
I.7.2 Orientation	7
I.7.3 Planification	7

I.7.4 Phase de décision-----	7
I.7.5 Phase d'action -----	8
I.7.6 Phase d'apprentissage -----	8
I.8 Fonctionnement de la radio cognitive -----	8
I.8.1 Détection du spectre (Spectrum sensing)-----	8
I.8.2 Gestion du spectre (Spectrum management)-----	8
I.8.2.1 Analyse du spectre -----	9
I.8.2.2 Décision sur le spectre -----	9
I.8.3 Mobilité de spectre-----	9
I.9 Architecture de la radio cognitive-----	10
I.10 Conclusion -----	10
Chapitre II -----	11
II.1 Introduction -----	12
II.2 L'antenne imprimée-----	12
II.2.1 Historique -----	12
II.2.2 Définition-----	12
II.2.3 Les techniques d'alimentation des antennes imprimées -----	13
II.2.3.1 Alimentation par câble coaxial -----	13
II.2.3.2 Alimentation par ligne micro-ruban-----	14
II.2.3.3 Alimentation par couplage électromagnétique -----	15
II.2.3.4 Alimentation par couplage de fente ou d'ouverture -----	15
II.2.4 Les caractéristiques des antennes imprimées -----	16
II.2.4.1 La directivité-----	16
II.2.4.2 Coefficient de réflexion-----	16
II.2.4.3 Impédance d'entrée de l'antenne -----	17
II.2.4.4 Rendement de l'antenne -----	17

II.2.4.5 Le gain-----	18
II.2.4.6 Polarisation de l'antenne-----	18
II.2.5 Les avantages et les inconvénients -----	18
II.2.6 Les domaines d'applications des antennes imprimées-----	19
II.3 Les antennes reconfigurables -----	19
II.3.1 Définition-----	19
II.3.2 Techniques de reconfigurabilité-----	20
II.3.2.1 Diode PIN-----	20
II.3.2.2 Diode varicap -----	21
II.3.2.3 MEMS (Système Micro électromécanique)-----	21
II.3.2.4 Matériaux Agiles-----	22
II.3.3 Classification des antennes reconfigurables-----	22
II.3.3.1 Antennes reconfigurables en fréquence -----	23
II.3.3.2 Antennes reconfigurables en diagramme de rayonnement-----	23
II.3.3.3 Antenne reconfigurable en polarisation -----	24
II.3.4 Les avantages des antennes reconfigurables -----	24
II.4 Conclusion-----	25
Chapitre III-----	26
III.1 Introduction -----	27
III.2 Outil de simulation -----	27
III.3 Antenne proposée 1 -----	27
III.3.1 Résultats de <i>simulation</i> -----	29
III.3.1.1 Coefficient de réflexion-----	29
III.3.1.2 Rapport d'onde stationnaire (VSWR) -----	29
III.3.1.3 Diagrammes de rayonnement -----	30
III.3.1.4 Distribution de courant-----	31

III.4	Antenne proposée 2-----	32
III.4.1	Alimentation par port discret-----	32
III.4.1.1	Résultats de simulation-----	33
III.4.1.1.1	Coefficient de réflexion-----	33
III.4.1.1.2	Rapport d'onde stationnaire (VSWR)-----	34
III.4.1.1.3	Diagrammes de rayonnement-----	34
III.4.1.1.4	Distribution de courant-----	36
III.4.2	Alimentation par wave guide port-----	36
III.4.2.1	Coefficient de réflexion-----	36
III.4.2.2	Rapport d'onde stationnaire (VSWR)-----	38
III.4.2.3	Diagrammes de rayonnement-----	38
III.4.2.4	Distribution de courant-----	40
III.5	Antenne reconfigurable proposée 1-----	40
III.5.1	ETAT1 (OFF OFF)-----	41
III.5.1.1	Coefficient de réflexion-----	41
III.5.1.2	Rapport d'onde stationnaire (VSWR)-----	42
III.5.1.3	Diagrammes de rayonnement-----	42
III.5.1.4	Distribution de courant-----	43
III.5.2	ETAT 2, 3 (OFF ON et ON OFF)-----	44
III.5.2.1	Coefficient de réflexion-----	44
III.5.2.2	Rapport d'onde stationnaire (VSWR)-----	44
III.5.2.3	Diagrammes de rayonnement-----	44
III.5.2.4	Distribution de courant-----	45
III.5.3	ETAT 4 (ON ON)-----	46
III.5.3.1	Coefficient de réflexion-----	46
III.5.3.2	Rapport d'onde stationnaire (VSWR)-----	46

III.5.3.3 Diagrammes de rayonnement -----	46
III.5.3.4 Distribution de courant-----	47
III.6 Antenne proposée reconfigurable 2-----	48
III.6.1 ETAT 1 (off off) -----	48
III.6.1.1 Coefficient de réflexion-----	48
III.6.1.2 Rapport d'onde stationnaire (VSWR) -----	48
III.6.1.3 Diagrammes de rayonnement -----	49
III.6.1.4 Distribution de courant-----	50
III.6.2 ETAT2, 3-----	51
III.6.2.1 Coefficient de réflexion-----	51
III.6.2.2 Rapport d'onde stationnaire (VSWR) -----	51
III.6.2.3 Diagramme de rayonnement -----	52
III.6.2.4 Distribution de courant-----	52
III.6.3 ETAT4-----	53
III.6.3.1 Coefficient de réflexion-----	53
Conclusion générale-----	54
Références -----	55

Liste des figures

Figure I-1: Relation entre radio cognitive et radio logicielle restreinte [8].	5
Figure I-2 : composantes de la radio cognitive.	5
Figure I-3 : cycle de cognition	7
Figure I-4: Architecture de la radio cognitive	10
Figure II-1: une antenne imprimée avec un patch de forme rectangulaire [15].	12
Figure II-2: Les techniques d'alimentation	13
Figure II-3: Alimentation par sonde coaxiale d'une antenne patch	14
Figure II-4: Alimentation par ligne micro ruban	14
Figure II-5 : Alimentation par proximité	15
Figure II-6 : Alimentation au travers d'une ouverture dans le plan de masse.	16
Figure II-7: Schéma équivalent du dispositif à l'émission	17
Figure II-8: L'évolution du champ électrique pour la polarisation linéaire, circulaire et elliptique de gauche à droite, respectivement. Les courbes bleues montrent l'évolution de vecteur champ électrique. Les courbes rouges et vertes montrent les composantes corres.	18
Figure II-9: Antenne imprimée avec fente et diode PIN sur le toit.	20
Figure II-10 : Diode varicap.	21
Figure II-11: (a) Prototype de l'antenne utilisant un substrat de silicone extensible TC5005.	22
Figure II-12 : Illustration de l'agilité fréquentielle.	23
Figure II-13 : La reconfigurabilité du rayonnement en utilisant une antenne filaire à spirale carrée [34].	24
Figure III-1: Géométrie de l'antenne proposée 1 : (a) face supérieure, (b) face inférieure.	28
Figure III-2 : Coefficient de réflexion S11 de l'antenne proposée1.	29
Figure III-3 : VSWR de l'antenne proposée 1.	29

Figure III-4 : Diagramme de rayonnement en 3D (directivité) à la fréquence 5.93GHz.	30
.....	
Figure III-5 : Diagramme de rayonnement en 3D (directivité) à la fréquence 8.3698GHz.	30
.....	
Figure III-6 : Diagramme de rayonnement en 2D ($\phi=0^\circ,90^\circ$) à la fréquence 5.93GHz.	30
.....	
Figure III-7 : Diagramme de rayonnement en 2D ($\phi=0^\circ,90^\circ$) à la fréquence 8.3698GHz.	31
.....	
Figure III-8 : Surface de courant pour la fréquence 5.93GHz.	31
Figure III-9 : Surface de courant pour la fréquence 8.3698GHz.	31
Figure III-10 : Géométrie de l'antenne proposée 2 :(a) face supérieure, (b) face inférieure.	32
.....	
Figure III-11 : VSWR de l'antenne proposée 2.	34
Figure III-12 : Diagramme de rayonnement en 3D (directivité) à la fréquence 6.0885GHz.	34
.....	
Figure III-13 : Diagramme de rayonnement en 3D (directivité) à la fréquence 4.1307GHz.	34
.....	
Figure III-14 : Diagramme de rayonnement en 2D ($\phi=0^\circ,90^\circ$) à la fréquence 6.0885GHz.	35
.....	
Figure III-15 : Diagramme de rayonnement en 2D ($\phi=0^\circ,90^\circ$) à la fréquence 4.1307GHz.	35
.....	
Figure III-16 : Distribution de courant à la fréquence 6.0885 GHz (Figure gauche) et 4.1307GHz (Figure droite).	36
.....	
Figure III-17 : Coefficient de réflexion de l'antenne proposée 2 alimentée par wave guide port.	36
.....	
Figure III-18 : Coefficient de réflexion de l'antenne proposée 2.	38
Figure III-19 : VSWR de l'antenne proposée2.	38
Figure III-20 : Diagramme de rayonnement en 3D (directivité) à la fréquence 3.5599 GHz.	39
.....	

Figure III-21 : Diagramme de rayonnement en 3D (directivité) à la fréquence 7,6401 GHz.	39
.....	
Figure III-22 : Diagramme de rayonnement en 2D à la fréquence 3.5599 GHz.	39
Figure III-23 : Diagramme de rayonnement en 2D a la fréquence 7.6401GHz	40
Figure III-24 : Distribution de courant à la fréquence 3.5599 GHz (Figure gauche) et 7.6401GHz (Figure droite).	40
Figure III-25 : Les Etats de fonctionnement de l'antenne reconfigurable proposée 1. ..	41
Figure III-26 : Coefficient de réflexion S11 (ETAT 1).	41
Figure III-27 : VSWR de l'antenne (ETAT 1).	42
Figure III-28 : Diagramme de rayonnement en 3D (ETAT 1) à la fréquence 6.01 GHZ.	42
.....	
Figure III-29 : Diagramme de rayonnement en 3D (ETAT 1) à la fréquence 8.5301 GHZ.	42
.....	
Figure III-30 : Diagramme de rayonnement en 2D ($\phi=0^\circ, 90^\circ$) à la fréquence 6.01GHz.	43
.....	
Figure III-31 : Diagramme de rayonnement en 2D ($\phi=0^\circ, 90^\circ$) à la fréquence 8.5301GHz.	43
Figure III-32 : Distribution de courant à la fréquence 6.01GHz (Figure gauche) et 8.5301GHz (Figure droite).	43
Figure III-33 : Coefficient de réflexion S11 (ETAT 2, 3).	44
Figure III-34 : VSWR de l'antenne (ETAT 2, 3).	44
Figure III-35 : Diagramme de rayonnement en 3D à la fréquence 6.29GHZ.	45
Figure III-36 : Diagramme de rayonnement en 2D ($\phi=0^\circ, 90^\circ$) à la fréquence 6.29GHZ.	45
.....	
Figure III-37 : Distribution de courant à la fréquence 6.29 GHz.	45
Figure III-38 : Coefficient de réflexion S11 (ETAT 4).	46
Figure III-39 : VSWR de l'antenne (ETAT 4).	46
Figure III-40 : Diagramme de rayonnement en 3D à la fréquence 6.2762 GHZ.	47

Figure III-41 : Diagramme de rayonnement en 2D ($\phi=0^\circ,90^\circ$) à la fréquence 6.2762 GHz.	47
Figure III-42 : Distribution de courant à la fréquence 6.2762 GHz.	47
Figure III-43 : Coefficient de réflexion (ETAT 1).	48
Figure III-44 : VSWR de l'antenne (ETAT 1).	49
Figure III-45 : Diagramme de rayonnement en 3D à la fréquence 6.4337 GHz.	49
Figure III-46 : Diagramme de rayonnement en 3D à la fréquence 3.7328 GHz.	49
Figure III-47 : Diagramme de rayonnement en 2D à la fréquence 6.4337 GHz.	50
Figure III-48 : Diagramme de rayonnement en 2D à la fréquence 3.7328 GHz.	50
Figure III-49 : Distribution de courant à la fréquence 3.7328GHz (Figure gauche) et 6.4337GHz (Figure droite).	51
Figure III-50 : Coefficient de réflexion pour l'Etat 2, 3	51
Figure III-51 : VSWR de l'antenne pour l'Etat 2, 3	51
Figure III-52 : Diagramme de rayonnement en 3D à la fréquence 2.33 GHz.	52
Figure III-53 : Diagramme de rayonnement en 2D à la fréquence 2.33 GHz.	52
Figure III-54 : Distribution de courant à la fréquence 2.33 GHz.	52
Figure III-55 : Coefficient de réflexion (ETAT 4).	53

Liste des tableaux

Tableau III-1: Dimensions de l'antenne proposée 1.....	28
Tableau III-2: Dimensions de l'antenne proposée 2.....	33
Tableau III-3: Dimensions de l'antenne proposée 2 alimentée par wave guide port.	37
Tableau III-4: Les Etats de fonctionnement des diodes.....	41

Liste des abréviations

CR : la radio cognitive

SDR : la radio logiciel restreinte

RF : radio fréquence

RF-MEMS : microsystèmes radiofréquences.

PIN : Positive Intrinsic Negative

Wi-Fi : Wireless Fidelity

MEMS : Micro-Electro-Mechanical-Systems

VSWR : Rapport d'onde stationnaire

INTRODUCTION GENERALE

Une nouvelle technologie s'annonce dans les systèmes de communication sans fil, dénommé la radio cognitive. Cette technologie est apparue grâce à la demande croissante des utilisateurs qui ont des problèmes d'accès au spectre.

Dans le domaine des télécommunications Les antennes reconfigurables (en fréquence, en polarisation et en diagramme de rayonnement) sont devenues intéressantes grâce à leur flexibilité.

Dans ce mémoire, les travaux présentés visent à étudier et à concevoir des antennes reconfigurables en fréquence. Il s'agit alors de concevoir une antenne capable de s'adapter aux conditions changeantes en ajustant sa fréquence de fonctionnement, sa polarisation ou son diagramme de rayonnement, pour atteindre cet objectif, nous avons divisé ce mémoire en trois chapitres :

Le premier chapitre comporte l'étude de la nouvelle technologie radio cognitive, Donc nous allons présenter cette dernière dans ses différents aspects : principes, architecture, fonction, composantes, etc.

Le deuxième chapitre, sera consacré tout d'abord à la présentation des antennes imprimées, leurs techniques d'alimentations et leurs caractéristiques. Ensuite, nous allons définir les différents types d'antennes reconfigurables (en fréquence, en diagramme de rayonnement et en polarisation). Enfin on va citez leurs avantages et inconvénients et leurs principes.

Le dernier chapitre s'intéresse à l'étude et la conception d'antennes reconfigurables en fréquence. Nous allons présenter les différents résultats de simulation de la première antenne proposée alimentée par port discret, sans et avec reconfigurabilité. Ensuite, Nous allons présenter les différents résultats de simulation de la deuxième antenne proposée alimentée par deux types différents d'alimentation (alimentation par port discret, alimentation par wave guide port), sans et avec reconfigurabilité.

Le manuscrit de ce mémoire est finalisé par la présentation des conclusions les plus importantes ainsi que les perspectives que l'on envisage de réaliser.

Chapitre I

La Radio Cognitive

I.1 Introduction

Il est largement reconnu que depuis quelque année les systèmes de communication ont clairement évolué grâce à la demande croissante des utilisateurs de la technologie sans fil. Cette croissance a constaté un problème d'accès au spectre, ce qui a conduit à la recherche des solutions pour résoudre ce problème. Ainsi une nouvelle technologie est apparue qui s'appelle : la radio cognitive.

La radio cognitive est l'un des types de systèmes de communication sans fil qui a la capacité de prédire l'environnement et d'utiliser certaines fréquences qui ne se croisent pas avec d'autres fréquences utilisées par le reste des appareils. Cette technologie est donc amenés à tirer parti de l'existence des bandes de fréquence inoccupées grâce à leurs agilité et la facilité d'écoute et d'adapté à son environnement

Nous allons présenter dans ce chapitre la radio cognitive dans ses différents aspects : principes, architecture, fonction, composantes, etc.

I.2 Historique

L'idée de la radio cognitive est venue et introduite par l'auteur Joseph MITOLA en 1998 et publiée plus tard dans un article de MITOLA et Gerald Q. MAGUIRE en 1999 [1], et en 2000 il l'a publié dans sa thèse de doctorat [2].

MITOLA combine son expérience de la radio logicielle ainsi que sa passion pour l'apprentissage automatique et l'intelligence artificielle pour mettre en place la technologie de la radio cognitive. D'après lui : « Une radio cognitive peut connaître, percevoir et apprendre de son environnement puis agir pour simplifier la vie de l'utilisateur » [3]

I.3 Définition

La cognition est le processus par lequel nous acquérons des connaissances, qui réunit divers processus mentaux allant de l'analyse perceptuelle de l'environnement, des commandes du mouvement, de la mémoire, du raisonnement, des émotions et du langage.

La radio cognitive (CR) est le terme utilisé pour décrire les systèmes dotés d'une capacité de détection et pour identifier son cadre d'utilisation pour lui permettre d'ajuster ses paramètres.

Une approche de l'ingénierie sans fil dans laquelle une radio, un réseau radio ou un système sans fil est doté de la capacité de détecter, rationnellement et intelligemment les aspects de son fonctionnement.

Les termes conscience, rationalité, adaptabilité intelligente sont interprétés comme la capacité à collecter, catégoriser, organiser et préserver les connaissances, tout en appliquant la logique et l'analyse (raisonnement) de l'information et en prenant des décisions opérationnelles pour répondre aux besoins, un objectif connu [4],[5].

I.4 Radio logiciel restreinte (SDR)

La radio logiciel restreinte est définie par un système de communication radio configurable, Il utilise des techniques de traitement numérique du signal sur des circuits numériques programmables. Il a la capacité de s'adapter à différents protocoles de communications radio et répondre aux performances et Possibilité de communication entre les systèmes grâce à sa flexibilité.

La technologie SDR utilise un logiciel pour effectuer des fonctions de traitement du signal radio. Les filtres, les correcteurs d'erreurs, les synchroniseurs, les modulateurs/démodulateurs et les syntoniseurs de fréquence ont tous des logiciels équivalents.

L'objectif de SDR est de dématérialiser l'interface radio complète. Elle participe à la tendance globale des circuits électroniques à devenir des circuits à haute densité d'intégration [6].

I.5 Relation entre RC et SDR

La radio cognitive a la capacité d'adaptation très rapide, modifié les paramètres de la radio (fréquence porteuse, puissance, modulation, bande passante) en fonction de : (L'environnement radio, la situation, les besoins de l'utilisateur, l'état du réseau, la géo localisation...).C'est l'une des principales caractéristiques de la radio cognitive.

La radio logicielle est capable d'offrir les fonctionnalités de flexibilité, de reconfigurabilité et de portabilité inhérentes à l'aspect d'adaptation de la radio cognitive. Par conséquent, cette dernière doit être mise en œuvre autour d'une radio logicielle. En d'autres termes, la radio logicielle est une "technologie habilitante" pour la radio cognitive [7].

Bien que de nombreux modèles différents soient possibles, l'un des plus simples modèles représenté dans la Figure suivante :

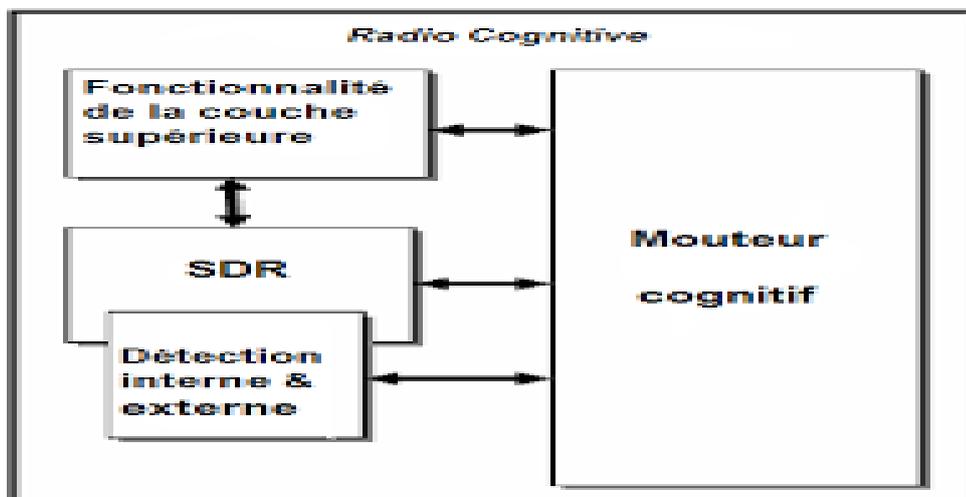


Figure I-1: Relation entre radio cognitive et radio logicielle restreinte [8].

I.6 Composantes de la radio cognitive

Les différentes composantes d'un émetteur/récepteur radio cognitive qui mettent en œuvre ces fonctionnalités sont présentées dans la figure suivante [9].

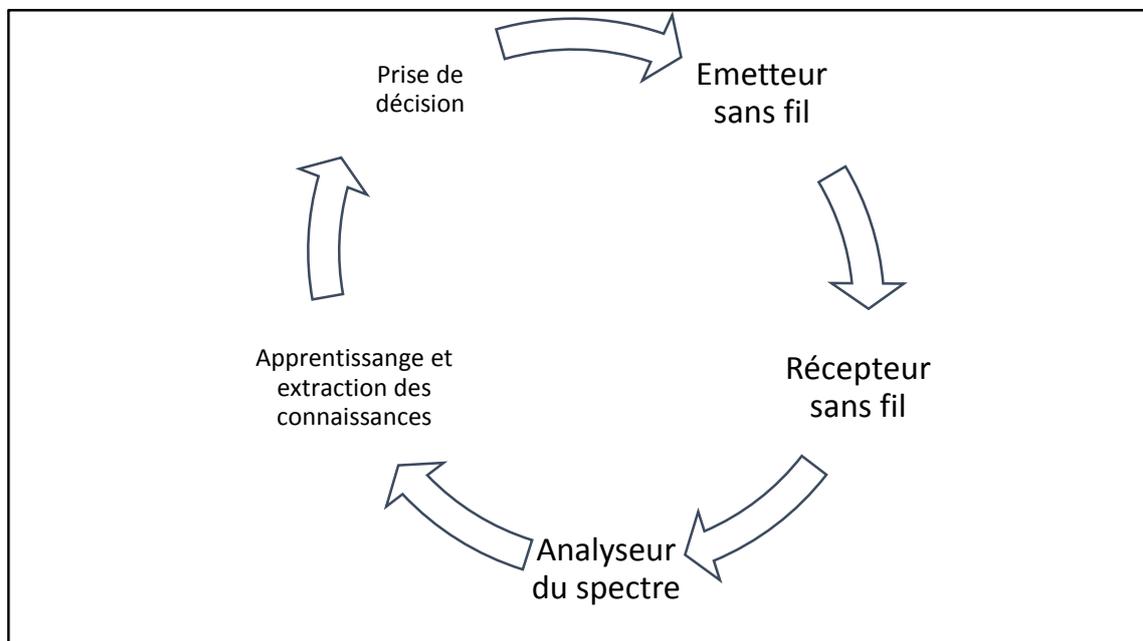


Figure I-2 : composantes de la radio cognitive.

I.6.1 Emetteur/Récepteur

C'est le composant principal avec la fonction de signal Transmission et réception de données. De plus, le récepteur sans fil est également Utilisé pour observer l'activité sur le spectre.

C'est l'un des principaux composants utilisés pour observer les opportunités spectrales, il fait l'objet d'une reconfiguration dynamique en radio cognitive.

I.6.2 Analyseur de spectre

Il utilise le signal mesuré pour analyser l'utilisation du spectre (détecter la signature du signal de l'utilisateur principal et trouver un espace blanc dans le spectre pour l'utilisateur secondaire). Si l'utilisateur secondaire décide d'accéder au spectre, l'analyseur de spectre doit s'assurer que la transmission de l'utilisateur primaire n'est pas interrompue. Dans ce cas, diverses techniques de traitement du signal peuvent être utilisées pour obtenir des informations sur l'utilisation du spectre.

I.6.3 Apprentissage et extraction de connaissances

En utilisant une base de connaissances environnementales construite et maintenue grâce à des algorithmes d'apprentissage et d'extraction de connaissances, la radio cognitive optimise et règle les paramètres de transmission pour atteindre un objectif donné dans diverses situations.

I.6.4 Prise de décision

Après avoir compris l'utilisation du spectre Lorsqu'elles sont disponibles, des décisions concernant l'accès au spectre doivent être prises. Décision optimale dépend de l'environnement, dépend du comportement coopératif de l'utilisateur secondaire, Des solutions peuvent être obtenues en utilisant différentes techniques optimales.

I.7 Cycle de cognition

Le transpondeur de la radio cognitive a la capacité de sentir son environnement, Observer, Apprendre, Recueillir, Evaluer et analyser des informations sur les métriques. Ensuite, Choisir la meilleure configuration et la reconfigurer.

La figure ci-dessous montre ce fonctionnement :

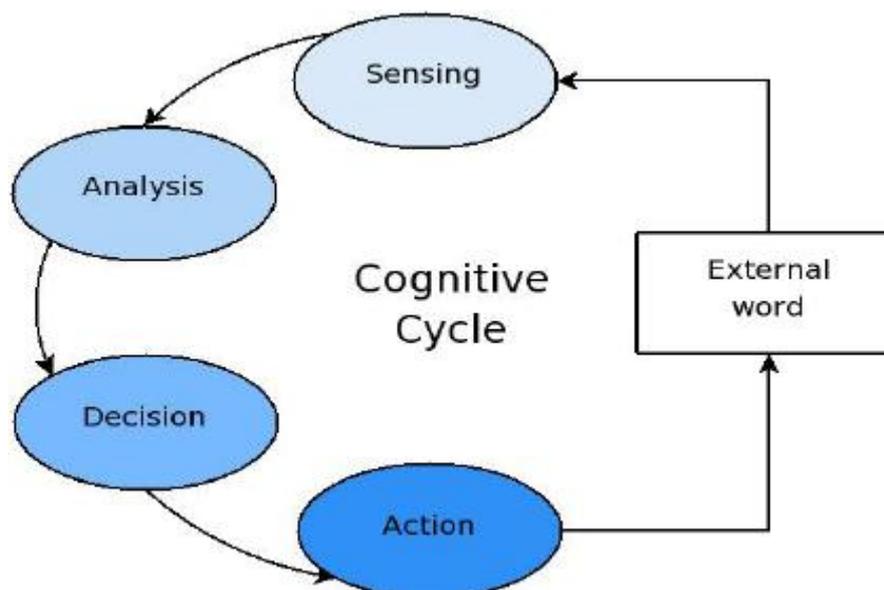


Figure I-3 : cycle de cognition

I.7.1 Phase d'observation

À partir de l'environnement de la RC on peut conclure plusieurs informations comme la fréquence radio, la température, le type de données transmises, l'emplacement et ainsi de suite pour en déduire le contexte de communication.

I.7.2 Orientation

Cette étape est importante pour la priorisation, Trier par affinité ou par besoin, afin que Reportez-vous à la façon de déterminer si une action urgente est requise ou si une planification à long terme est nécessaire.

I.7.3 Planification

Les messages entrants du réseau sont généralement traités en générant un plan (en phase de planification, itinéraire normal). Le plan devrait également inclure les phases de Raisonnement dans le temps. Généralement, les réponses réactives sont préprogrammées ou apprises, tandis que d'autres réponses délibérées sont planifiées.

I.7.4 Phase de décision

Cette étape permet de choisir la meilleure configuration entre les actions candidates.

Exemples de prise de décision et apprentissage en lien avec l'EM :

Taux d'occupation des bandes de fréquence,

Libération de la bande pour un utilisateur primaire,

I.7.5 Phase d'action

Cette phase démarre le processus sélectionné en utilisant l'effecteur sélectionné Accès au monde extérieur ou à l'état interne du RC.

L'accès au monde extérieur consiste principalement à écrire des messages qui doivent être envoyés à l'environnement sous forme audio, ou exprimé dans une autre langue qui convient, puis agir sur l'environnement, comme apporter des modifications à l'environnement au Niveau RF.

I.7.6 Phase d'apprentissage

Dépend de la perception, de l'observation, de la décision et d'action. L'apprentissage initial est réalisé par la phase d'observation où toutes les perceptions sensorielles sont constamment comparées.

L'apprentissage peut se produire quand un nouveau modèle est créé en réponse à une action [10].

I.8 Fonctionnement de la radio cognitive

Voici Les principales fonctions pour un bon fonctionnement de la radio cognitive :

I.8.1 Détection du spectre (Spectrum sensing)

Dans cette phase on s'intéresse à la détection du spectre s'il est libre ou bien occupé donc il faut :

Détectez le spectre inutilisé et partagez-le sans interférences avec les autres utilisateurs.

La détection des utilisateurs primaires est la méthode la plus efficace pour avoir des espaces blancs inutilisés du spectre.

I.8.2 Gestion du spectre (Spectrum management)

Obtenir les meilleures fréquences pour répondre aux demandes de communication des utilisateurs.

Les radios cognitives devraient décider de la meilleure bande de spectre pour répondre aux exigences de qualité de service sur toutes les bandes de fréquences disponibles, donc les fonctions de gestion du spectre sont nécessaires pour les radios cognitives. Ces fonctions de gestion peuvent être classées comme suit [11] :

1.8.2.1 Analyse du spectre

Estimer la qualité du spectre grâce à l'analyse des résultats de la détection du spectre.

La qualité du spectre peut être caractérisée par le rapport signal/bruit, la durée moyenne et la corrélation de la disponibilité des espaces blancs du spectre.

Les utilisateurs de la radio cognitive sont utilisés des nombreuses techniques pour analyser le spectre, tel que les algorithmes d'apprentissages de l'intelligence artificielle.

1.8.2.2 Décision sur le spectre

Cette phase à une relation avec la phase précédente (la phase de l'analyse du spectre), elle est importante pour l'accès au spectre.

Une multitude de règles décisionnelles sont appliquées dans le but de déterminer la ou les bandes les plus adaptées à la transmission en cours [12].

1.8.3 Mobilité de spectre

La mobilité spectrale est définie comme le processus de modification de la fréquence par des utilisateurs de la radio cognitive.

Les réseaux radio cognitifs essayent d'utiliser le spectre de manière dynamique en permettant à des terminaux radio de fonctionner dans la meilleure bande de fréquence disponible, de maintenir les exigences de communication transparentes au cours de la transition à une meilleure fréquence [13].

I.9 Architecture de la radio cognitive

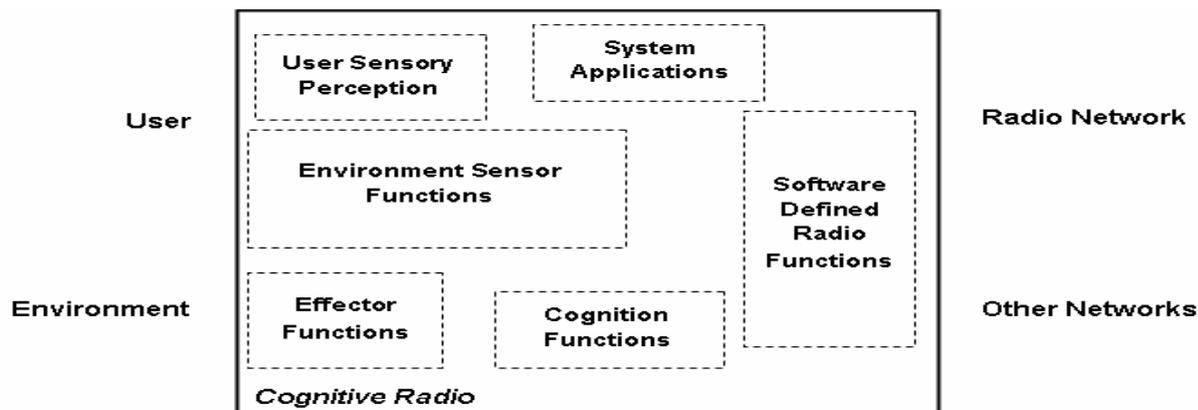


Figure I-4: Architecture de la radio cognitive

Voici l'ensemble minimaliste des six composantes fonctionnelles de la figure précédente :

La perception sensorielle de l'utilisateur intègre des fonctions d'interface tactile (du toucher), d'acoustique, de vidéo, de détection et de perception.

Capteurs environnementaux locaux (localisation, température, accéléromètre, etc.).

Les applications système (services de médias indépendants tels que les jeux en ligne).

Les fonctions de la radio logicielle restreinte (qui comprennent la détection de radiofréquence et SDR pour les applications radio).

Les fonctions cognitives (contrôle du système, planification, apprentissage).

Les fonctions locales effectrices (synthèse de la parole, du texte, des graphiques et des affiches multimédias)

I.10 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté des notions de la radio cognitive (son fonctionnement, son architecture, son cycle de cognition...) qui est l'un des principaux domaines techniques aux frontières des télécommunications.

Dans le chapitre 2, on s'intéressera aux antennes imprimées et aux antennes reconfigurables. Donc on va présenter quelques notions de base qui montre l'importance des antennes reconfigurables qui ont la capacité d'utiliser plus efficacement le spectre de la radiofréquence.

Chapitre II

Les Antennes

Reconfigurables

II.1 Introduction

Avec le développement technologique actuel et l'émergence de nouvelles applications sans fil, les antennes reconfigurables sont devenues très intéressantes. Afin de fournir une réponse dynamique, les antennes reconfigurables incluent un mécanisme interne (tel que des commutateurs RF, des variateurs, des actionneurs mécaniques ou des matériaux accordables) qui permet une redistribution intentionnelle des courants RF sur la surface de l'antenne et produit des changements réversibles dans ses propriétés.

Dans la première partie de ce chapitre nous nous intéressons aux antennes imprimées et dans la seconde partie nous allons présenter les antennes reconfigurables qui ont la capacité d'utiliser plus efficacement le spectre de la radiofréquence.

II.2 L'antenne imprimée

II.2.1 Historique

Le concept des antennes imprimées a été proposé dès 1953 par Deschamps [14]. Mais il n'a été possible de les réaliser efficacement qu'à partir de 1970 (Howel et Muson) grâce à l'arrivée sur le marché de diélectrique à faibles pertes.

II.2.2 Définition

L'antenne est un dispositif qui permet de convertir l'énergie électrique d'un signal en énergie électromagnétique et vice versa.

Elle est très importante dans tous les systèmes de communications sans fil, elle assure la transmission d'un signal porteur d'une information d'un émetteur vers le récepteur via un canal de transmission.

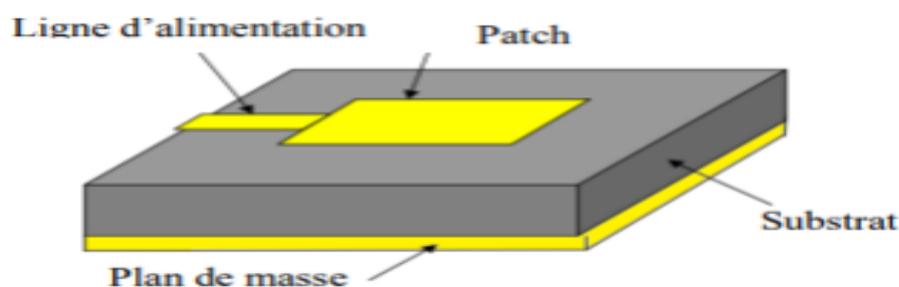


Figure II-1: une antenne imprimée avec un patch de forme rectangulaire [15].

II.2.3 Les techniques d'alimentation des antennes imprimées

L'excitation est un point très important en étudiant des antennes imprimées, elle repose essentiellement sur deux classes d'excitation (Excitations avec et sans contact). En effet, l'énergie est fournie à l'élément rayonnant d'une manière où on peut influencer directement sur son rayonnement et modifier ses performances. L'alimentation de l'antenne dépend de la manière dont l'antenne est intégrée dans le dispositif.

Les principales techniques d'alimentation utilisées sont :

Alimentation par câble coaxial

Alimentation par ligne micro-ruban

Alimentation par couplage électromagnétique

Alimentation par couplage de fente ou d'ouverture

L'alimentation par ligne micro-ruban et l'alimentation par câble coaxial sont les techniques les plus utilisées dans les antennes imprimées.

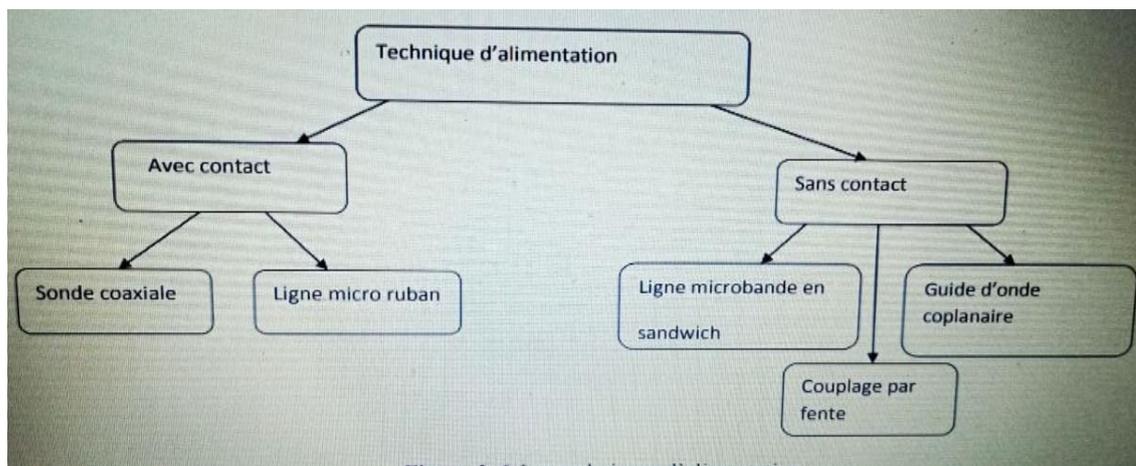


Figure II-2: Les techniques d'alimentation

II.2.3.1 Alimentation par câble coaxial

Grace à sa simplicité et sa facilité d'adaptation L'alimentation par câble coaxial est devenue très utilisée dans les antennes micro-ondes

Les composantes principales du câble coaxial sont :

Conducteur externe : Il est relié au plan de masse.

Conducteur interne : Il est relié au patch rayonnant.

L'avantage principal de ce type d'alimentation est qu'elle peut être appliquée à n'importe quel endroit choisi à l'intérieur du patch, avec une facilité de fabrication.

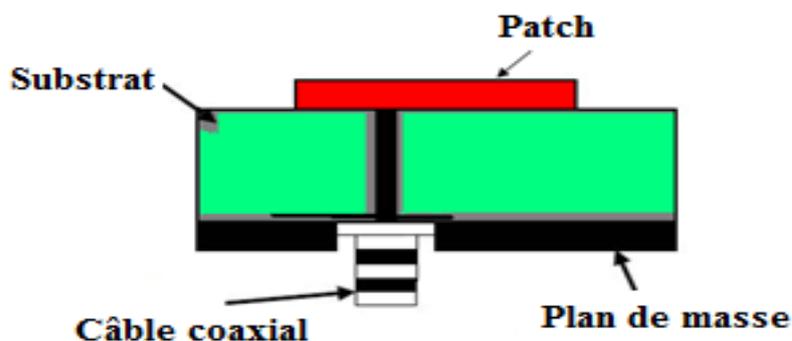


Figure II-3: Alimentation par sonde coaxiale d'une antenne patch

II.2.3.2 Alimentation par ligne micro-ruban

La ligne micro ruban est de largeur plus petite par rapport au patch, elle est gravée avec le patch en même temps. Elle est très utilisée dans les réseaux d'antennes imprimées de différentes formes [16].

L'alimentation peut se faire par la connexion directe à une ligne micro ruban, dont le point de jonction est situé 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. L'alimentation axiale avec encoche donne de bons résultats [17], [18].

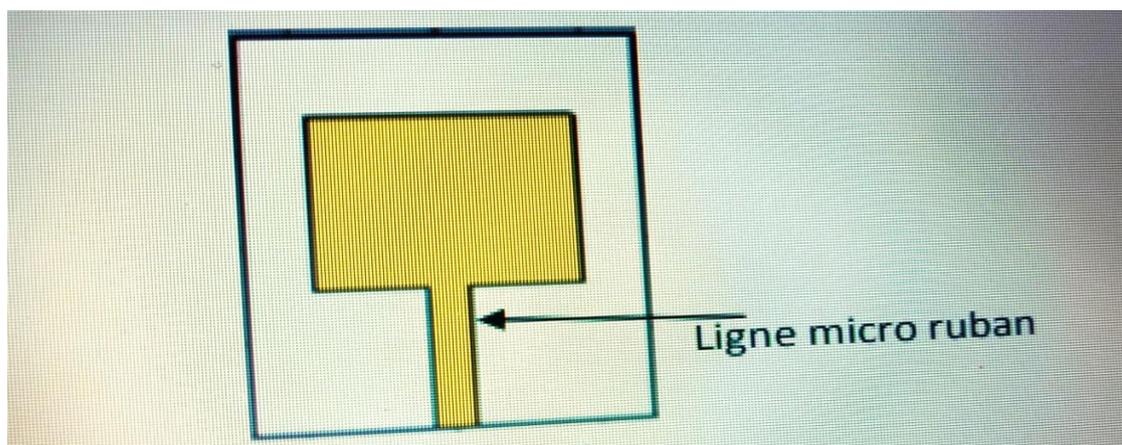


Figure II-4: Alimentation par ligne micro ruban

II.2.3.3 Alimentation par couplage électromagnétique

L'antenne est constituée de deux substrats diélectriques entre lesquels est située la ligne d'alimentation. L'élément rayonnant est imprimé sur le substrat supérieur (Figure ci-dessous).

L'excitation se fait par couplage électromagnétique. Cette technique permet d'améliorer la bande passante mais elle est difficile à réaliser [19].

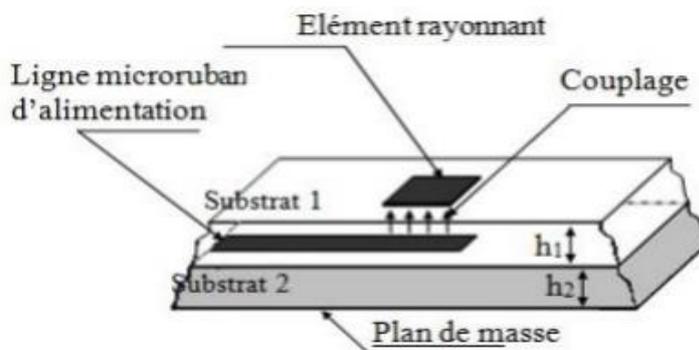


Figure II-5 : Alimentation par proximité

II.2.3.4 Alimentation par couplage de fente ou d'ouverture

L'élément rayonnant et la ligne micro-ruban d'alimentation sont placés de part et d'autre du plan de masse. La fente de couplage dans le plan de masse permet la circulation de l'énergie entre la ligne d'alimentation et l'élément rayonnant (figure II-6). Cette méthode nécessite un positionnement précis de la fente [20]. Elle apporte les avantages suivants :

Isolation du circuit d'alimentation par l'intermédiaire du plan de masse. De ce fait, un rayonnement parasite faible, en fait ce rayonnement parasite se situe au-dessous du plan de masse, ce qui n'est pas la direction de propagation.

Adaptation facile à réaliser en raison de grand nombre de paramètres comme la taille de l'ouverture et la longueur du stub de la ligne d'alimentation.

Mais cette technique présente quelques inconvénients, tels que :

Faible bande passante, mais peut être amélioré en jouant sur l'épaisseur du diélectrique et en superposant plusieurs éléments rayonnants.

Difficile à mettre en œuvre.

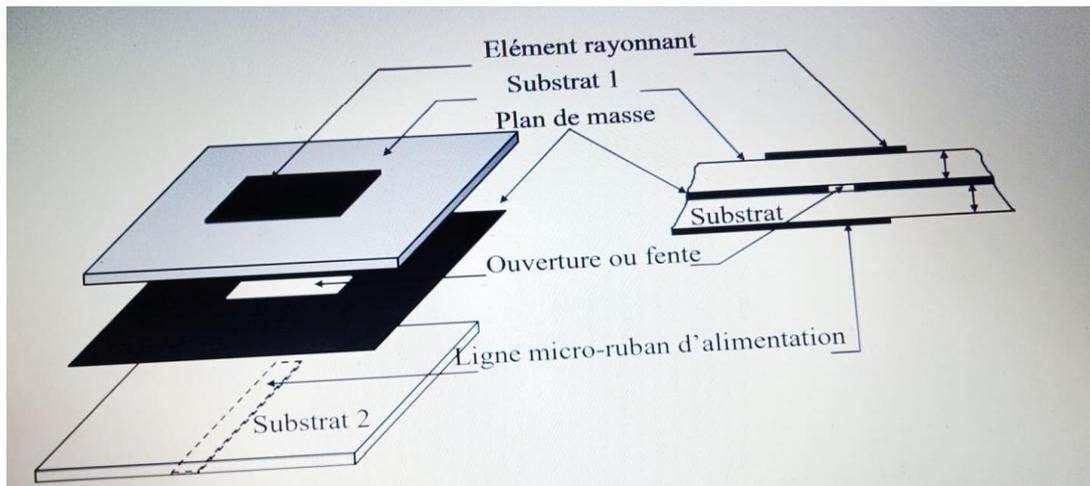


Figure II-6 : Alimentation au travers d'une ouverture dans le plan de masse.

II.2.4 Les caractéristiques des antennes imprimées

Dans les communications sans fil Chaque antenne est caractérisée par plusieurs paramètres importants, et chaque paramètre donne une idée sur le fonctionnement et la performance de rayonnement d'antenne sous étude.

Une antenne peut être caractérisée par :

II.2.4.1 La directivité

La directivité $D(\theta, \varphi)$ d'une antenne dans une direction (θ, φ) est le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction donnée (θ, φ) et la puissance que rayonnerait une antenne isotrope [21] [22]

$$D(\theta, \varphi) = \frac{p(\theta, \varphi)}{p_r/4\pi} = 4\pi \frac{p(\theta, \varphi)}{p_r} \quad (\text{II.1})$$

II.2.4.2 Coefficient de réflexion

Le coefficient de réflexion S_{11} exprime l'absorption de l'énergie par l'antenne.

La valeur de ce paramètre varie en fonction de la fréquence. Afin d'assurer une bonne adaptation dans la bande de fréquence désirée, nous imposons le critère suivant $|S_{11}| \leq -10$ dB [23].

$$S_{11} = -10 \log \left(\frac{P_{in}}{P_{ref}} \right) (\text{dB}) \quad (\text{II.2})$$

II.2.4.3 Impédance d'entrée de l'antenne

En ce qui concerne l'émission et conformément à la théorie des circuits linéaires, l'antenne peut être représentée par un dipôle d'impédance d'entrée complexe :

$Z_e(f) = Re(f) + jXe(f)$ Chargeant à la sortie du circuit émetteur, modélisé par une source d'impédance interne : $Z_s(f) = Rs(f) + jXs(f)$. Précisons que f est la fréquence de résonance de l'antenne.

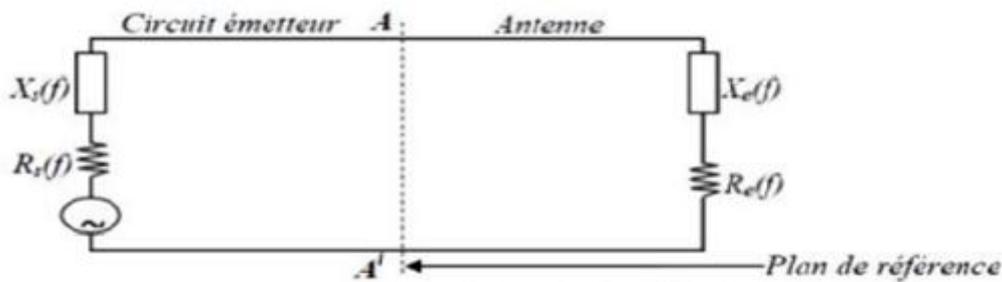


Figure II-7: Schéma équivalent du dispositif à l'émission

D'une part, la partie réelle de l'impédance d'entrée $Re(f)$ caractérise la puissance dissipée par l'antenne sous forme de rayonnement et de pertes diverses dans sa structure (effet Joule, onde de surface, etc.) et d'autre part, la partie imaginaire $Xe(f)$, d'interprétation plus délicate est liée à la puissance réactive concentrée au voisinage immédiat de l'antenne et au déphasage. 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 l'expression :

$$Z_{in} = Z_0 \frac{(1 + S_{11})}{(1 - S_{11})} \quad (II.3)$$

Z_0 = impédance caractéristique de la ligne d'alimentation.

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

II.2.4.4 Rendement de l'antenne

Le rendement de l'antenne est le rapport entre la puissance rayonnée et la puissance fournie à l'antenne, soit :

$$\eta = \frac{P_R}{P_f} \quad (II.4)$$

Ce rapport caractérise la perte à l'intérieur de l'antenne.

II.2.4.5 Le gain

Il est défini par :

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

Où D = directivité de l'antenne

II.2.4.6 Polarisation de l'antenne

Généralement, il existe trois types de polarisation : linéaire, circulaire et elliptique.

Si le chemin du vecteur de champ électrique suit une ligne, l'antenne est dite linéairement polarisée.

Si le vecteur champ électrique tourne selon un cercle, elle est dite à polarisation circulaire.

On parle de polarisation verticale si le plan E (électrique) est perpendiculaire au sol, s'il est parallèle au sol, on parle de polarisation horizontale.

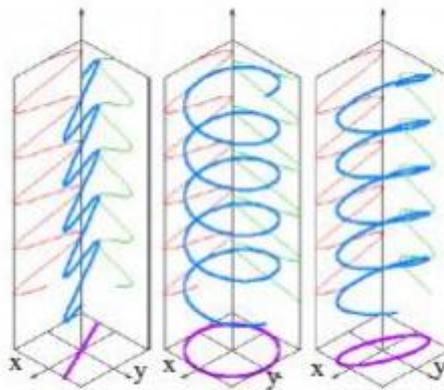


Figure II-8: L'évolution du champ électrique pour la polarisation linéaire, circulaire et elliptique de gauche à droite, respectivement. Les courbes bleues montrent l'évolution de vecteur champ électrique. Les courbes rouges et vertes montrent les composantes cosinus et sinus.

II.2.5 Les avantages et les inconvénients

Les antennes patch micro-ruban ont plusieurs avantages qui les rendent attrayantes pour beaucoup d'applications. Elles couvrent une large gamme de fréquence de 100 MHz à 100 GHz [24].

Ces avantages sont :

Un poids léger et un volume petit.

Possibilité d'intégration des éléments actifs, directement sur le même substrat (oscillateurs, Amplificateurs, modulateurs,...).

Simple, robustes et non encombrantes.

La faculté de se conformer à des surfaces courbes (ailes, d'avions, missiles,...).

Faible coût de fabrication, par conséquent peuvent être fabriquées en grande quantité.

Une épaisseur et un encombrement minimes.

Elles peuvent être polarisées linéairement ou circulairement par simple changement de la position d'alimentation.

D'autre part, elles présentent quelques inconvénients tels que :

Faible rendement.

Faible puissance d'émission.

Pureté de polarisation difficile à obtenir.

Faible bande passante (1 à 5 %).

II.2.6 Les domaines d'applications des antennes imprimées

Les domaines d'applications des antennes imprimées sont de plus en plus variés, les principales applications sont [25] :

La téléphonie mobile.

Les radars.

Les télécommunications spatiales.

La télémétrie des missiles et la télésurveillance.

Guidage des missiles et télédétection.

II.3 Les antennes reconfigurables

II.3.1 Définition

Une antenne reconfigurable est définie comme étant capable de changer ses caractéristiques de fonctionnement (fréquence de fonctionnement, bande passante, polarisation, diagramme de rayonnement) d'une manière dynamique après sa fabrication.

Les caractéristiques de l'antenne changent grâce au changement dans l'un de ses paramètres électriques, optiques, physiques (modification mécanique), même durant le fonctionnement de l'antenne en temps réel. Ces changements permettent à l'antenne de

s'adapter au changement de l'environnement et aux contraintes liées aux systèmes de communications [26].

II.3.2 Techniques de reconfigurabilité

Pour obtenir les performances promises par l'utilisation d'antennes reconfigurables, on doit être capable de trouver de manière efficace les paramètres optimaux de configuration.

Il existe différents types de techniques de reconfiguration des antennes. Ils sont principalement électriques (par exemple en utilisant RF-MEMS ou une diode PIN ou des variateurs), optiques, physiques (principalement mécaniques).

II.3.2.1 Diode PIN

Une diode PIN est non passante (état OFF) lorsqu'elle est polarisée en inverse, et elle est passante (état ON) lorsque la polarisation est dans le sens direct. Yang et Rahmat Samii ont présenté dans [27], une antenne micro ruban sur laquelle est taillée une fente verticale et sur laquelle une diode PIN est ajoutée (Figure II-9).

Lorsque la diode est à l'état ON, le courant horizontal principal ne change pas beaucoup comparé au cas sans la fente. L'antenne résonne ainsi à 4,75GHz. Par contre, lorsque la diode est OFF, le courant horizontal est forcé de faire un détour autour de la fente et de parcourir ainsi un trajet plus long. Lorsque la diode est à l'état ON, l'antenne perd cependant 1 dB de gain. Cela est dû aux pertes introduites par la diode [28].

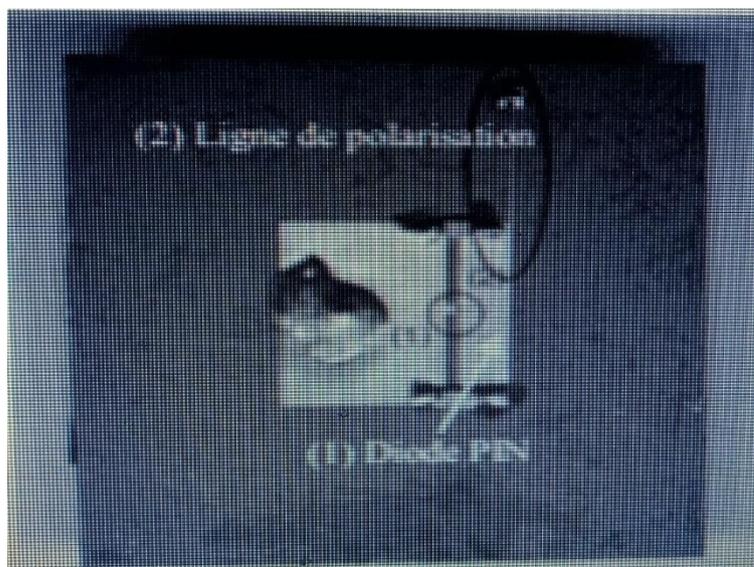


Figure II-9: Antenne imprimée avec fente et diode PIN sur le toit.

II.3.2.2 Diode varicap

Une diode varicap aussi appelée varactor (acronyme pour variable reactor) ou même variable capacitance diode est une diode qu'on peut l'utiliser comme un condensateur variable grâce à sa capacité qui peut varier avec la tension inverse utilisée à ses bornes (Figure II-10).

La complexité du circuit de polarisation augmente avec le nombre de diodes varicap nécessaires pour rendre l'antenne reconfigurable [29].



Figure II-10 : Diode varicap.

II.3.2.3 MEMS (Système Micro électromécanique)

Un MEMS est un microsystème ou bien une machine qui possède des composants mécaniques et électroniques. Selon leur conception, les MEMS peuvent être utilisés pour diverses fonctions (figure II-11). Généralement, ils peuvent remplacer les condensateurs ou les commutateurs dans les structures d'antennes de la même manière que les diodes varicap ou PIN. Cependant, ils ont besoin d'une tension d'activation très élevée, mais comme ils ne consomment presque pas de courant, les pertes sont très faibles. Leurs inconvénients restent en premier lieu la haute tension dont ils ont besoin (parfois jusqu'à 60V) et en second lieu, le coût relativement élevé de leur fabrication.

Cependant, les performances des MEMS ne cessent de s'améliorer. En effet, des interrupteurs MEMS avec des tensions d'actuation de 6V ont par exemple vu le jour [30].

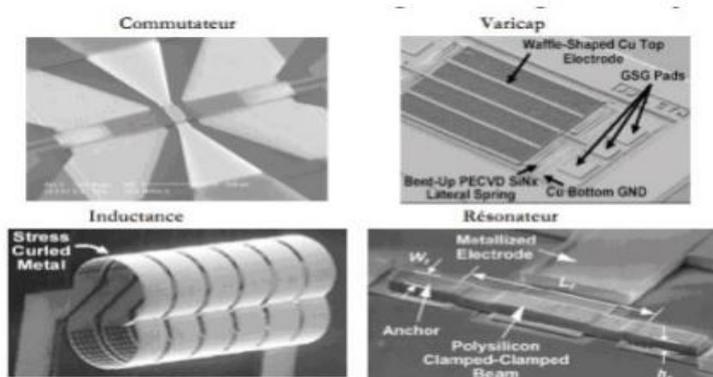


Figure II-11 : Exemples de composants MEMS [31].

II.3.2.4 Matériaux Agiles

Les matériaux dits "agiles" ou même "intelligents" sont le plus souvent utilisés comme substrat dont les propriétés électromagnétiques (permittivité et/ou perméabilité) peuvent être modifiées via une commande externe (par l'application d'un champ électrique et/ou magnétique) assurant ainsi l'agilité des antennes [32].

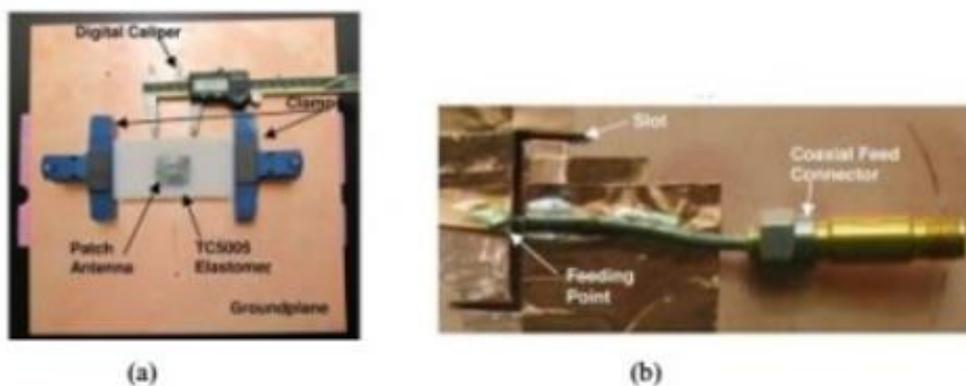


Figure II-11: (a) Prototype de l'antenne utilisant un substrat de silicone extensible TC5005. (b) Vue de dessus et vue de dessous [33].

II.3.3 Classification des antennes reconfigurables

Selon la fonctionnalité des antennes reconfigurables on peut les classifier en trois grandes familles :

- Antennes agiles en fréquence.
- Antennes agiles en diagramme de rayonnement.
- Antennes agiles en polarisation.

II.3.3.1 Antennes reconfigurables en fréquence

La commutation consiste à permettre à l'antenne de commuter entre plusieurs bandes, à l'aide d'interrupteurs (diodes PIN par exemple). Cette commutation facilite la modification des fréquences de fonctionnement de l'antenne. À l'aide de composants de type diodes varicap, Les antennes accordables en fréquence offrent en revanche la possibilité de faire varier de façon continue une ou plusieurs fréquences de résonance.

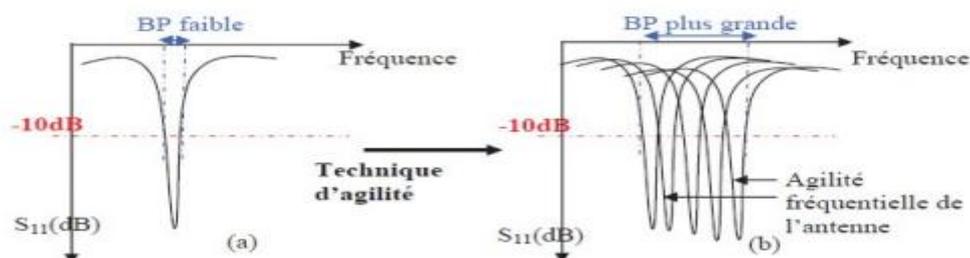


Figure II-12 : Illustration de l'agilité fréquentielle.

La méthode la plus classique de reconfigurer une antenne en fréquence c'est de modifier la longueur électrique de l'élément rayonnant. Pour cela, un ou plusieurs interrupteurs, tel que diode PIN, RF-MEMS..., sont intégrés à l'élément rayonnant.

II.3.3.2 Antennes reconfigurables en diagramme de rayonnement

Il existe plusieurs concepts de reconfiguration de diagramme, parmi ces techniques, on trouve l'utilisation de diode PIN, de MEMS et des photoconducteurs.

La reconfigurabilité du rayonnement permet à l'antenne d'adapter son diagramme de rayonnement et de maintenir sa fréquence de fonctionnement. Les réseaux d'antennes sont souvent utilisés pour remplir cette tâche [34].

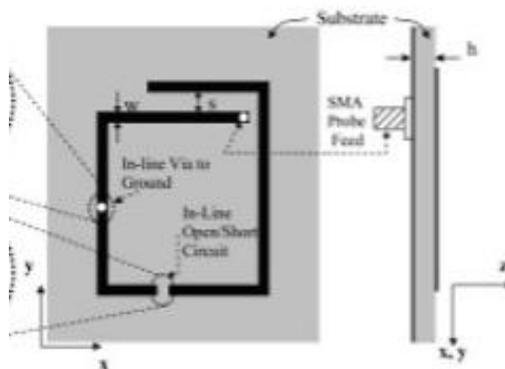


Figure II-13 : La reconfigurabilité du rayonnement en utilisant une antenne filaire à spirale carrée [34]

II.3.3.3 Antenne reconfigurable en polarisation

C'est le dernier type de reconfiguration, il permet de changer la polarisation d'une antenne (horizontale/verticale, gauche ou droite de la polarisation circulaire, etc.). Ce type de configuration permet d'augmenter la fiabilité et de fournir un degré de liberté supplémentaire (diversité) [35].

Les techniques utilisées pour d'autres types de reconfigurabilité peuvent également s'appliquer ici. En effet, il est possible de modifier la polarisation de l'antenne en ajoutant, par exemple, des fentes afin de perturber les lignes de courant.

II.3.4 Les avantages des antennes reconfigurables

Les antennes reconfigurables peuvent prendre en charge plusieurs normes sans fil, et offrent les mêmes performances que celle de plusieurs antennes. Par conséquent, les antennes reconfigurables ont les avantages suivants :

- Faible coût.
- Simple intégration et bonne isolation entre les différents radios standards.
- Meilleur filtre radio défini par logiciel adaptable au nouvel environnement
- Modifier la fonctionnalité selon la mission.
- Ajustez rapidement les caractéristiques de rayonnement de l'antenne pour assurer le bon fonctionnement du système.

II.4 Conclusion

Dans ce deuxième chapitre nous avons présenté des généralités sur les antennes imprimées et les antennes reconfigurables et leur nécessité dans le domaine des télécommunications.

La première partie de ce chapitre a été consacré à la présentation des antennes imprimées, leurs techniques d'alimentations et leurs caractéristiques. Ensuite, dans la seconde partie de ce même chapitre nous avons présenté les différents types d'antennes reconfigurables (en fréquence, en diagramme de rayonnement et en polarisation) ainsi que leurs avantages et inconvénients et leurs principes.

Chapitre III

Etude et Conception

D'antennes

Reconfigurables

III.1 Introduction

Dans ce chapitre on s'intéresse à l'étude et à la conception d'antennes reconfigurables en fréquence en utilisant le logiciel CST.

Ce chapitre présente la conception de deux antennes agiles en fréquence. Nous allons commencer à présenter l'antenne proposée 1 de forme rectangulaire et l'antenne proposée 2 de forme circulaire qui satisfont les caractéristiques ULB. L'antenne proposée 2, inspirée de la littérature [36], va valider notre approche de conception et nous aider dans la conception.

Ensuite nous présentons dans la seconde partie de ce chapitre les deux antennes proposées reconfigurables en fréquence en utilisant la technique d'insertion de diodes PIN. Les antennes proposées doivent présenter de bonnes performances sur la bande de fréquence 3.1- 10.6 GHz.

III.2 Outil de simulation

Au cours des dernières années, un logiciel a été apparu et commercialisé avec succès qui s'appelle le CST. La facilité d'utilisation de ce logiciel permet de l'utiliser souvent pour l'étude des antennes imprimées.

Cet outil de simulation électromagnétique conçu par la société CST permet de faire la conception et la simulation de plusieurs types d'antennes.

III.3 Antenne proposée 1

Nous avons présenté dans la figure ci-dessous la géométrie de la première antenne proposée. Cette antenne est constitué d'un patch imprimé sur un substrat de type Rogers RT5880 (permittivité diélectrique $\epsilon_r = 2.2$, épaisseur $h=1\text{mm}$) de dimensions $LS = 54.8\text{mm}$ et $WS = 40.75\text{mm}$. Deux fentes rectangulaires sont insérées sur l'élément rayonnant ($8.375 * 7.36 \text{ mm}^2$). Sur la face arrière du substrat, est imprimé un plan de masse, en cuivre, partiel. Ses dimensions sont une épaisseur de 0,018 mm, une largeur de 36.16mm et une longueur de

11.66 mm. Une encoche est insérée dans le plan de masse, de longueur $LC=10\text{mm}$ et de largeur $WC=7\text{mm}$. L'alimentation est faite par port discret.

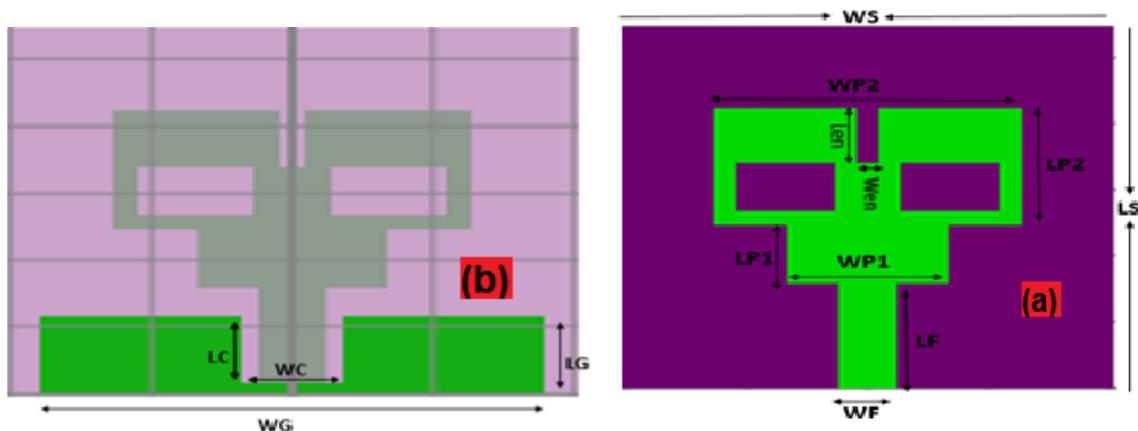


Figure III-1: Géométrie de l'antenne proposée 1 :(a) face supérieure, (b) face inférieure.

Les dimensions de l'antenne sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Paramètre	Valeur (mm)
<i>WS</i>	40.75
<i>LS</i>	54.82
<i>WF</i>	4.88
<i>LF</i>	15.81
<i>WP1</i>	13.25
<i>LP1</i>	8.79
<i>WP2</i>	25.25
<i>LP2</i>	17.62
<i>WG</i>	36.16
<i>LG</i>	11.66
<i>Wen</i>	2
<i>Len</i>	8.25

Tableau III-1: Dimensions de l'antenne proposée 1.

III.3.1 Résultats de simulation

III.3.1.1 Coefficient de réflexion

La figure ci-dessous montre le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.

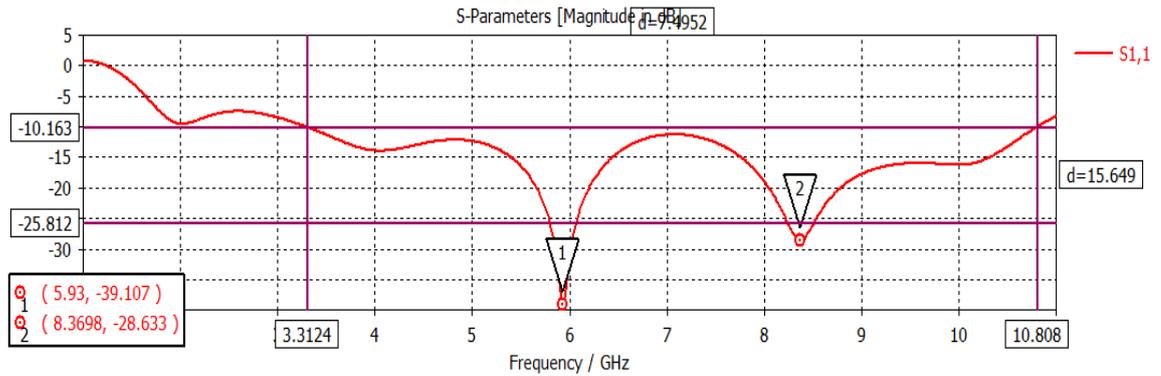


Figure III-2 : Coefficient de réflexion S11 de l'antenne proposée 1.

Ce résultat nous montre la présence de résonances aux fréquences 5.93GHz et 8.3698GHz avec une perte de retour de -39.107db et -28.633 respectivement. La bande passante en impédance, mesurée à -10 dB, s'étale de 3.3124 GHZ à 10.808GHz, soit une largeur de 7.4956 GHZ ce qui montre que l'antenne est bien adaptée.

III.3.1.2 Rapport d'onde stationnaire (VSWR)

La figure ci-dessous montre la variation du VSWR en fonction de la fréquence.

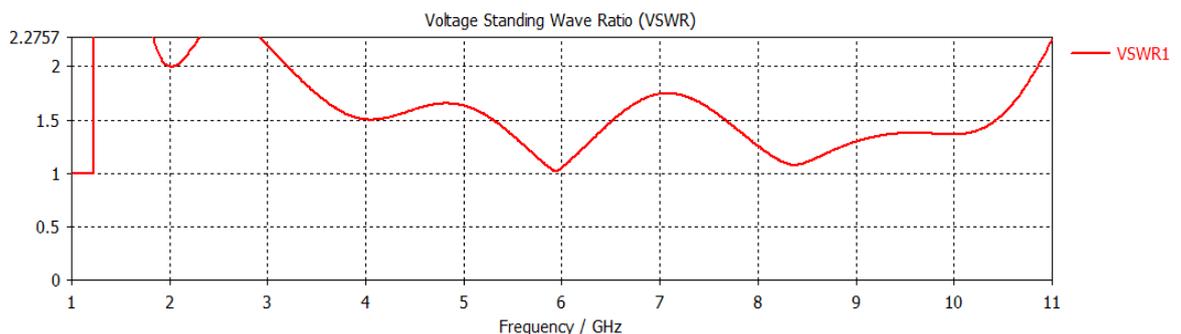


Figure III-3 : VSWR de l'antenne proposée 1.

On remarque que le rapport d'ondes stationnaires est inférieur à 2 aux deux fréquences de résonance 5.93GHz et 8.3698GHz, ce qui montre que l'antenne est bien adaptée.

III.3.1.3 Diagrammes de rayonnement

Les figures ci-dessous montrent les diagrammes de rayonnement en 3D et en 2D à la fréquence 5.93GHz et 8.3698Ghz.

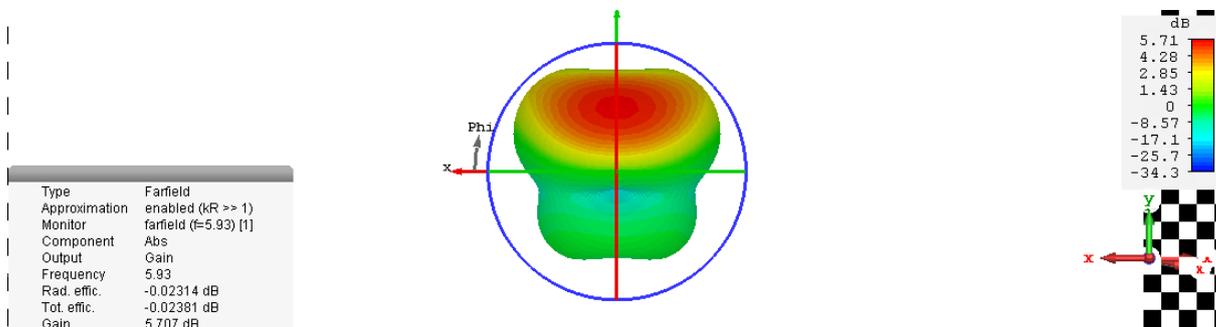


Figure III-4 : Diagramme de rayonnement en 3D (directivité) à la fréquence 5.93GHZ.

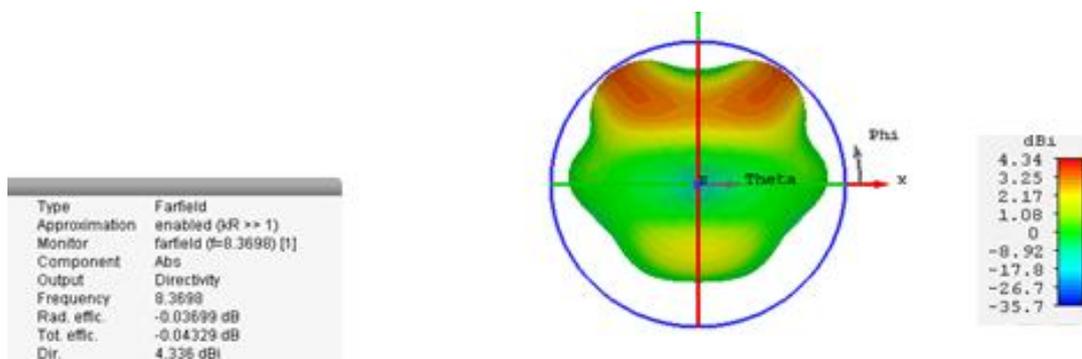


Figure III-5 : Diagramme de rayonnement en 3D (directivité) à la fréquence 8.3698GHZ.

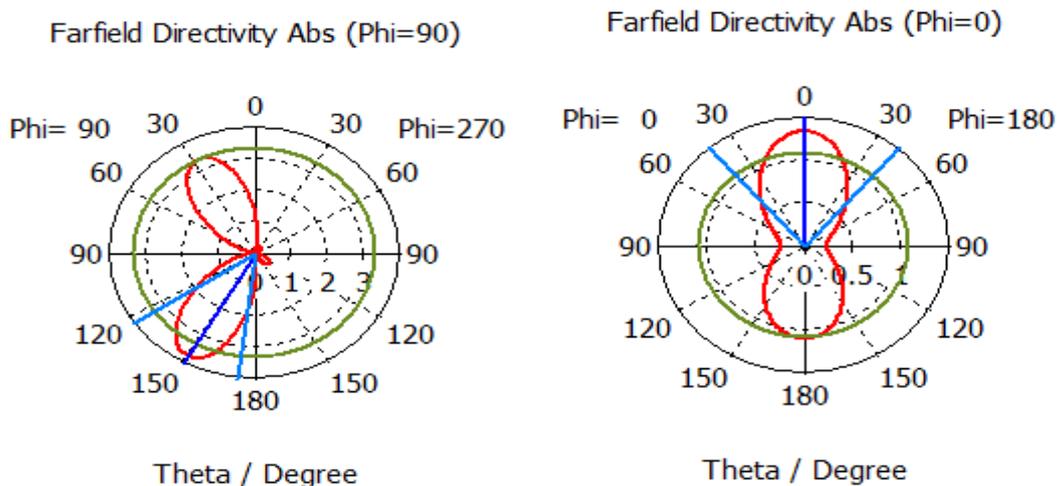


Figure III-6 : Diagramme de rayonnement en 2D (phi=0°,90°) à la fréquence 5.93GHz.

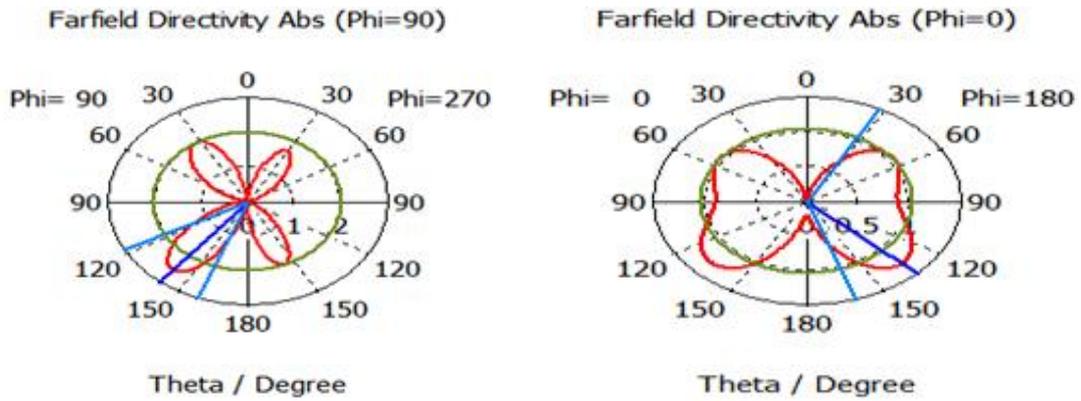


Figure III-7 : Diagramme de rayonnement en 2D ($\phi=0^\circ, 90^\circ$) à la fréquence 8.3698GHz.

Dans la figure ci-dessus on remarque que le rayonnement est concentré dans la partie supérieure de l'antenne pour les deux fréquences de résonance. Nous avons obtenu un gain de 5.73 dB à la fréquence 5.93 GHz et 4.34 dB à la fréquence 8.3698 GHz.

III.3.1.4 Distribution de courant

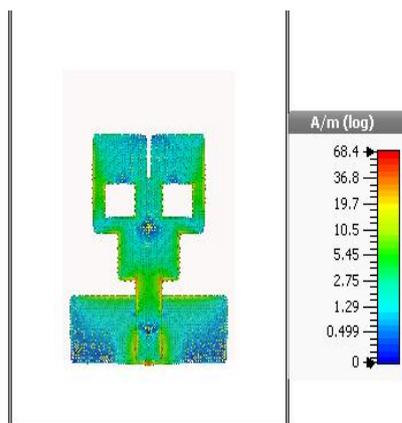


Figure III-8 : Surface de courant pour la fréquence 5.93GHz.

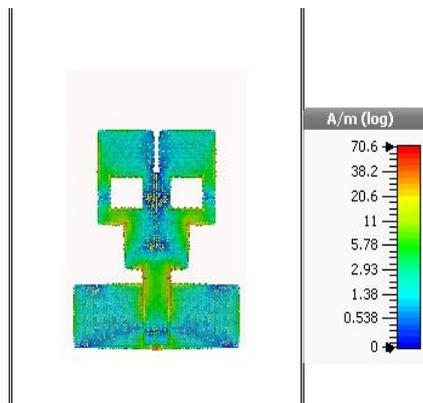


Figure III-9 : Surface de courant pour la fréquence 8.3698GHz.

On remarque qu'un fort courant est localisé dans la ligne d'alimentation aux deux fréquences de résonances.

III.4 Antenne proposée 2

La deuxième antenne conçue est inspirée de la littérature [36]. La géométrie de cette antenne proposée est présentée dans la figure 3-10 dans laquelle le patch est imprimé sur un substrat Rogers RT5880 (permittivité diélectrique $\epsilon_r=2.2$, épaisseur $h=1\text{mm}$) de dimensions $LS=53.8756\text{mm}$ et $WS=40.6526\text{mm}$. Deux fentes circulaires sont insérées sur l'élément rayonnant d'un rayon de 4mm . Le plan de masse partiel en cuivre est imprimé sur la face arrière du substrat. Ses dimensions sont une épaisseur de $0,018\text{ mm}$, une largeur de 30 mm et une longueur de 11.555 mm . Dans le plan de masse nous avons inséré une encoche de longueur $LC=10\text{mm}$ et de largeur $WC=8\text{mm}$.

Pour cette antenne nous avons utilisé deux techniques d'alimentation, par port discret et ensuite par Wave Guide Port.

III.4.1 Alimentation par port discret

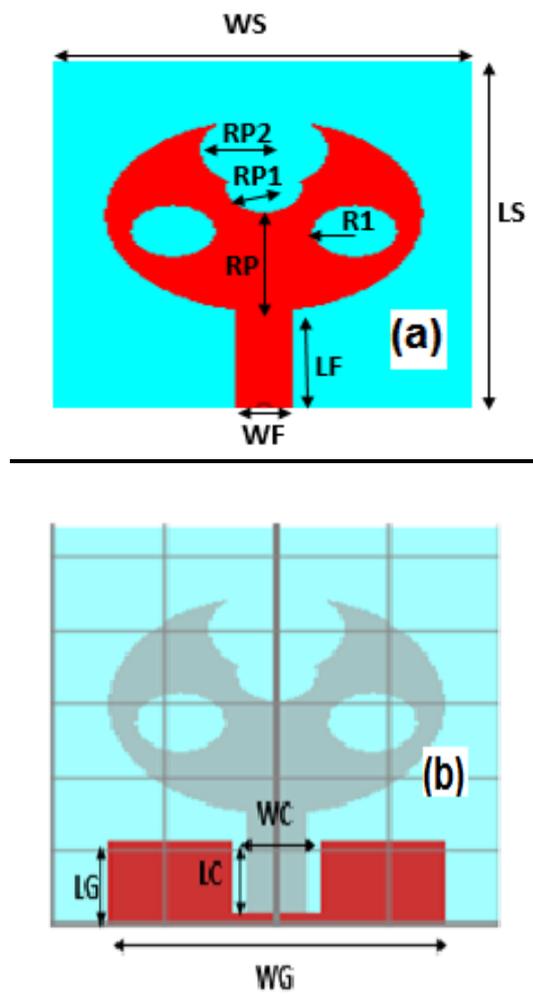


Figure III-10 : Géométrie de l'antenne proposée 2 :(a) face supérieure, (b) face inférieure.

Les dimensions de l'antenne proposée 2 sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Paramètres	Valeur (mm)
<i>WS</i>	40.65
<i>LS</i>	53.87
<i>WF</i>	5.13
<i>LF</i>	15.5
<i>RP</i>	15
<i>RP1</i>	3.61
<i>RP2</i>	6
<i>LG</i>	11.55
<i>WG</i>	30
<i>WC</i>	8
<i>LC</i>	10
<i>RI</i>	4

Tableau III-2 : Dimensions de l'antenne proposée 2.

III.4.1.1 Résultats de simulation

III.4.1.1.1 Coefficient de réflexion

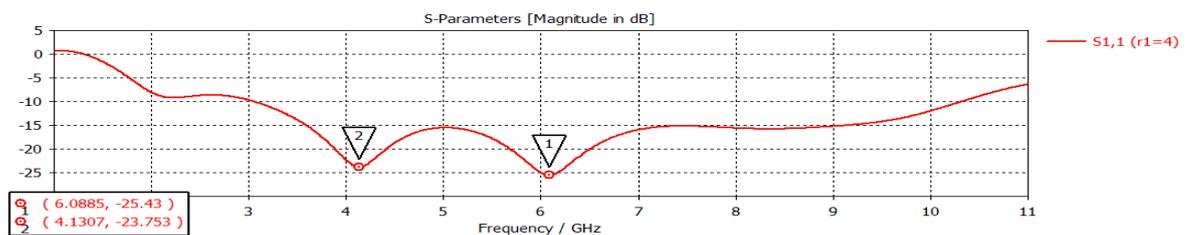


Figure III-11 : Coefficient de réflexion de l'antenne proposée 2.

Ce résultat nous montre la présence de résonances aux fréquences 6.0885GHz et 4.1307GHz avec une perte de retour de -25.43db et -23.753db respectivement. La bande passante en impédance, mesurée à -10 dB, s'étale de 3 GHz à 10.55GHz, soit une largeur de 7.55 GHz ce qui montre que l'antenne est bien adaptée.

III.4.1.1.2 Rapport d'onde stationnaire (VSWR)

La figure ci-dessous montre la variation du VSWR en fonction de la fréquence.

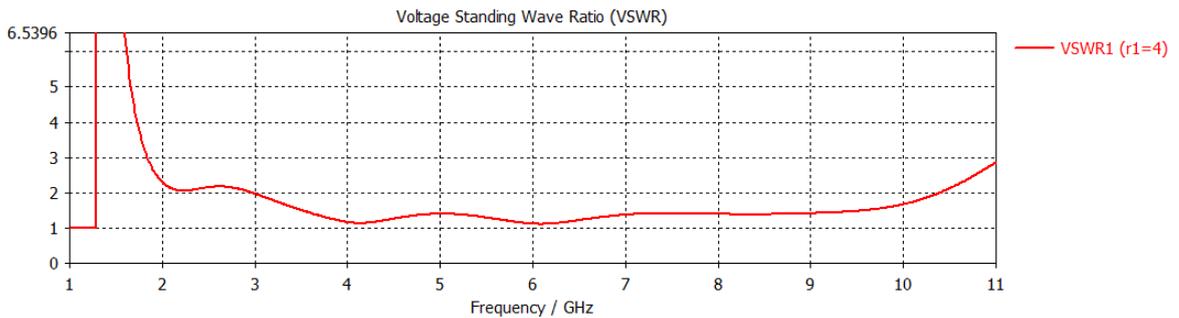


Figure III-11 : VSWR de l'antenne proposée 2.

On remarque que le rapport d'ondes stationnaires est inférieur à 2 aux deux fréquences de résonance 6.0885GHz et 4.1307GHz, ce qui indique que l'antenne est bien adaptée.

III.4.1.1.3 Diagrammes de rayonnement

La figure ci-dessous montre les diagrammes de rayonnement en 3D et en 2D aux fréquences 6.0885GHz et 4.1307GHz.

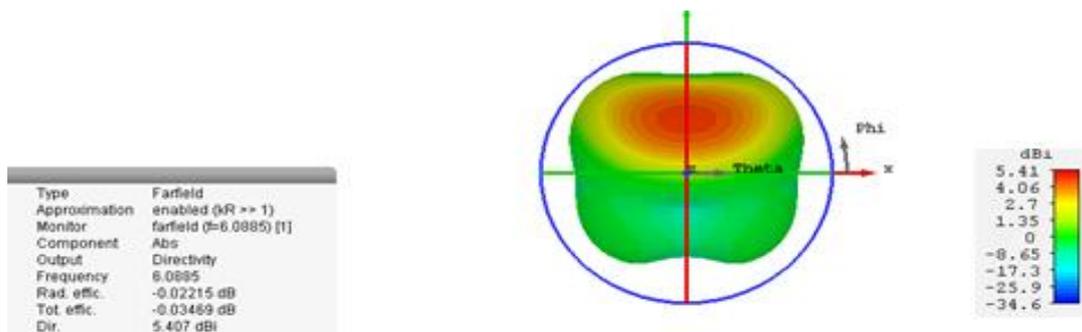


Figure III-12 : Diagramme de rayonnement en 3D (directivité) à la fréquence 6.0885GHz.

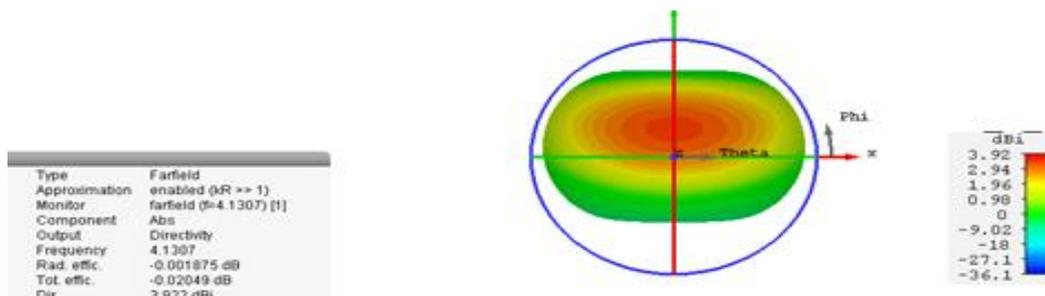


Figure III-13 : Diagramme de rayonnement en 3D (directivité) à la fréquence 4.1307GHz.

Dans La figure III-14 on remarque que le rayonnement est concentré dans la partie supérieure de l'antenne pour la fréquence de résonance 6.0885 GHz et dans la partie centrale de l'antenne pour la fréquence 4.1307 GHz. Le gain obtenu à la fréquence 6.0885 GHz est de 5.41dB et à la fréquence 4.1307 GHz il est de 3.92 dB.

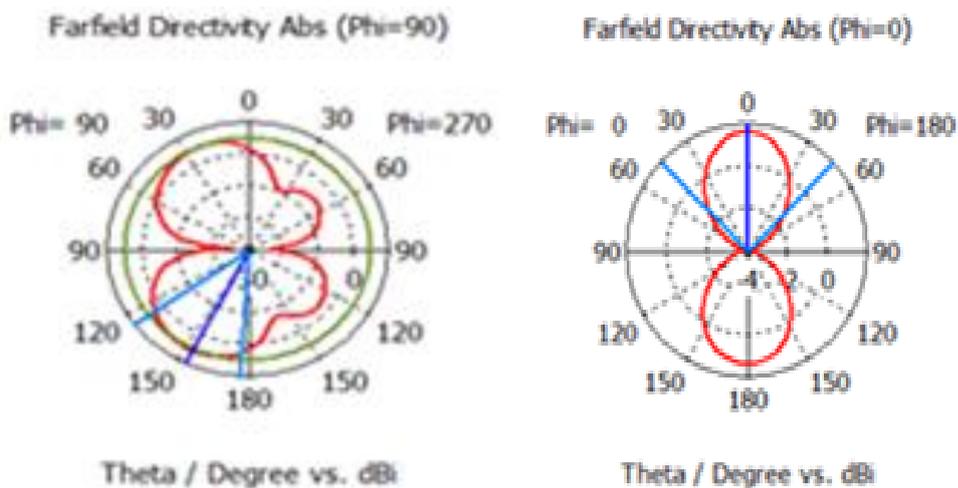


Figure III-14 : Diagramme de rayonnement en 2D (phi=0°,90°) à la fréquence 6.0885GHz.

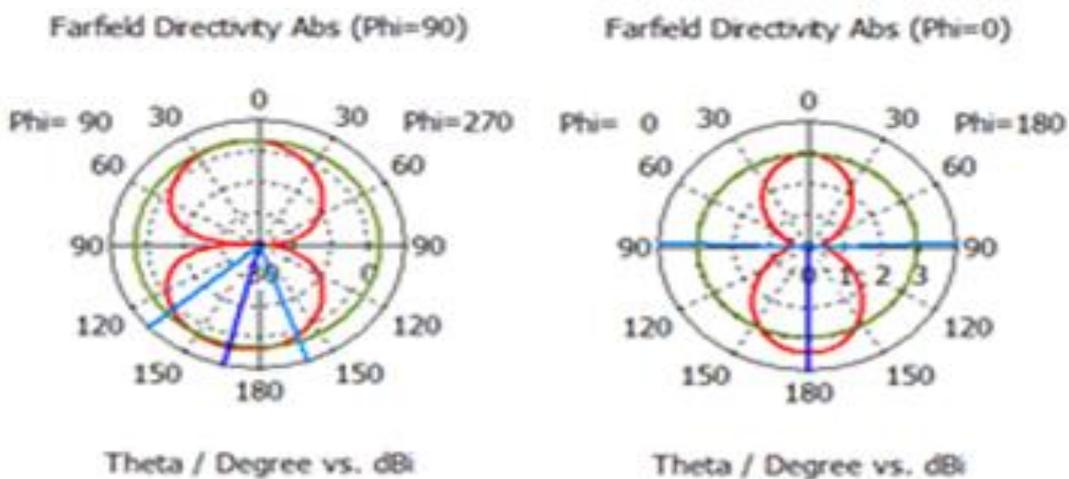


Figure III-15 : Diagramme de rayonnement en 2D (phi=0°,90°) à la fréquence 4.1307GHz.

III.4.1.1.4 Distribution de courant

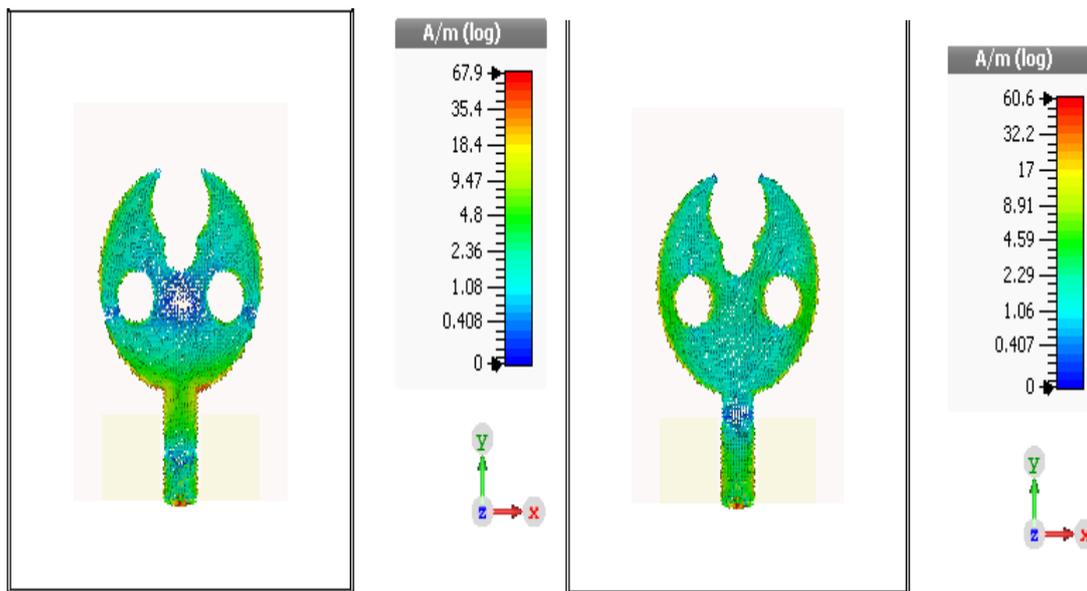


Figure III-16 : Distribution de courant à la fréquence 6.0885 GHz (Figure gauche) et 4.1307GHz (Figure droite).

III.4.2 Alimentation par wave guide port

Cette partie représente les résultats de simulation de notre antenne proposée 2 mais en utilisant une alimentation par wave guide port.

III.4.2.1 Coefficient de réflexion

La figure suivante représente le coefficient de réflexion de l'antenne proposée 2 avec alimentation par wave guide port.

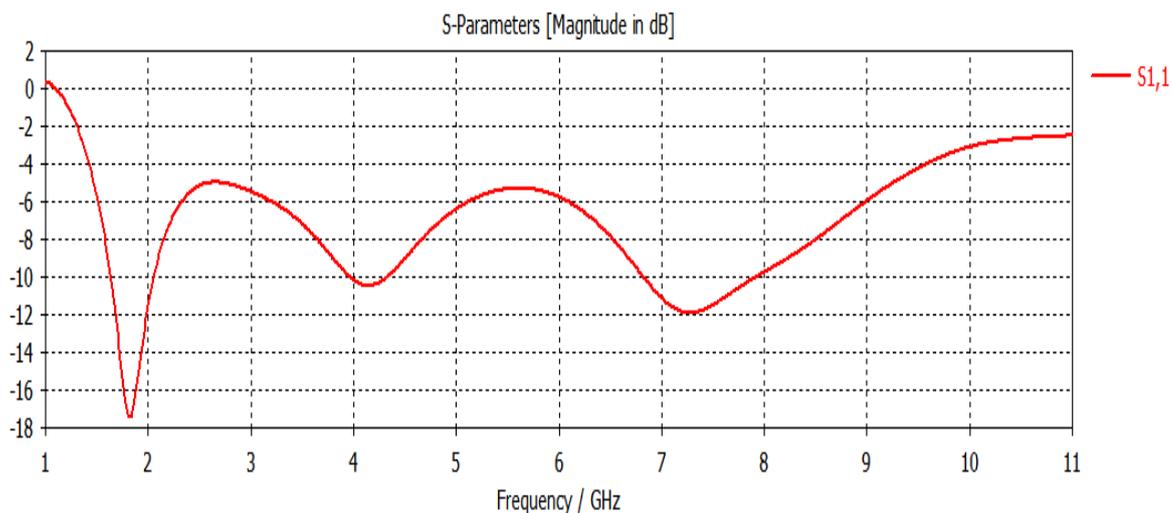


Figure III-17 : Coefficient de réflexion de l'antenne proposée 2 alimentée par wave guide port.

Nous remarquons que l'antenne n'est pas bien adaptée et donc et il faut l'optimiser pour améliorer encore l'adaptation dans la bande de fréquence 3.1-10.6Ghz.

Le tableau suivant montre les dimensions de l'antenne proposée 2 alimentée par wave guide port après optimisation.

Paramètres	Valeur (mm)
<i>WS</i>	85.07
<i>LS</i>	94
<i>WF</i>	2.93
<i>LF</i>	27.09
<i>RP</i>	28
<i>RP1</i>	10
<i>RP2</i>	12
<i>LG</i>	26
<i>WG</i>	85.07
<i>WC</i>	2.13
<i>LC</i>	2.13
<i>RI</i>	8
<i>HS</i>	1.6
<i>em</i>	0.035

Tableau III-3 : Dimensions de l'antenne proposée 2 alimentée par wave guide port.

La figure suivante représente le coefficient de réflexion de l'antenne proposée 2 alimentée par wave guide port après optimisation.

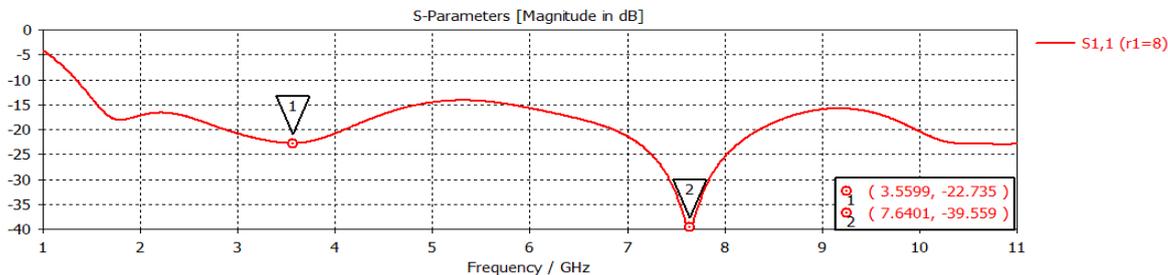


Figure III-18 : Coefficient de réflexion de l'antenne proposée 2.

Nous remarquons qu'on a obtenu une bonne adaptation de l'antenne, avec la présence de deux fréquence de résonance $fr1 = 3.5599$ GHz avec une perte de retour de -22.735 db, $fr2 = 7.6401$ GHz avec une perte de retour de -39.559 ce qui montre qu'on a bien optimisé la géométrie de l'antenne.

III.4.2.2 Rapport d'onde stationnaire (VSWR)

La figure ci-dessous montre la variation du VSWR en fonction de la fréquence.

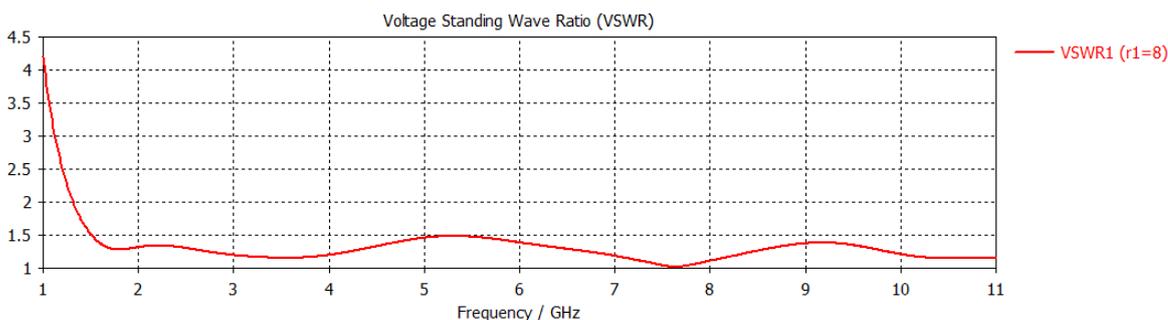


Figure III-19 : VSWR de l'antenne proposée2.

III.4.2.3 Diagrammes de rayonnement

La figure ci-dessous montre les diagrammes de rayonnement en 3D et en 2D aux fréquences 3.5599GHz et 7.6401Ghz.

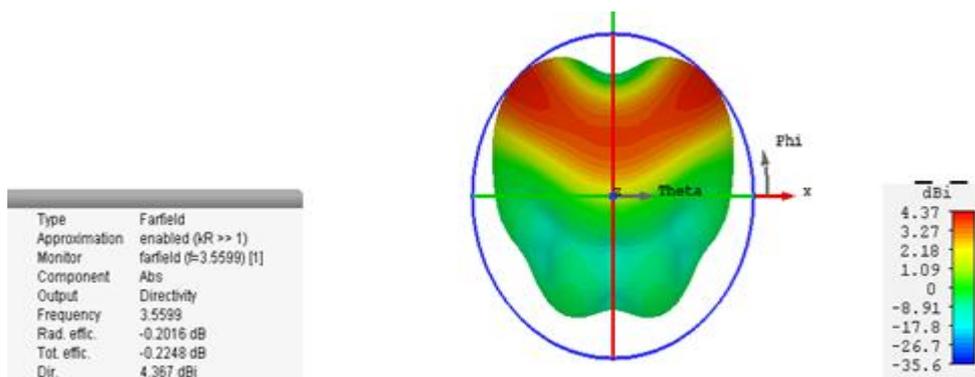


Figure III-20 : Diagramme de rayonnement en 3D (directivité) à la fréquence 3.5599 GHz.

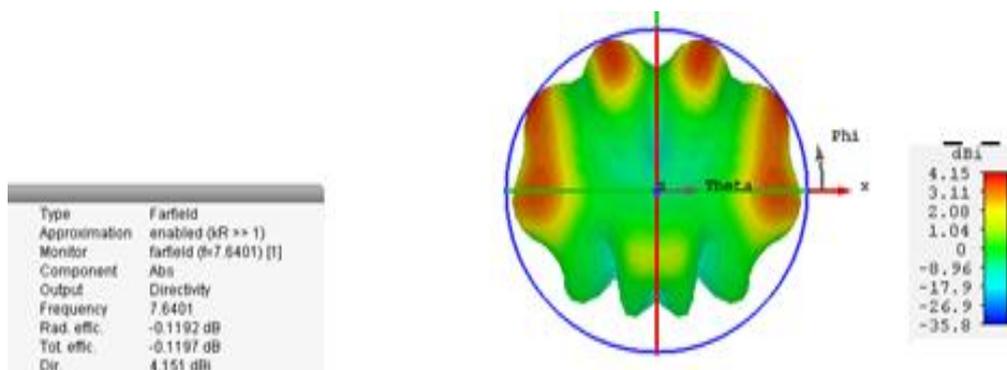


Figure III-21 : Diagramme de rayonnement en 3D (directivité) à la fréquence 7,6401 GHz.

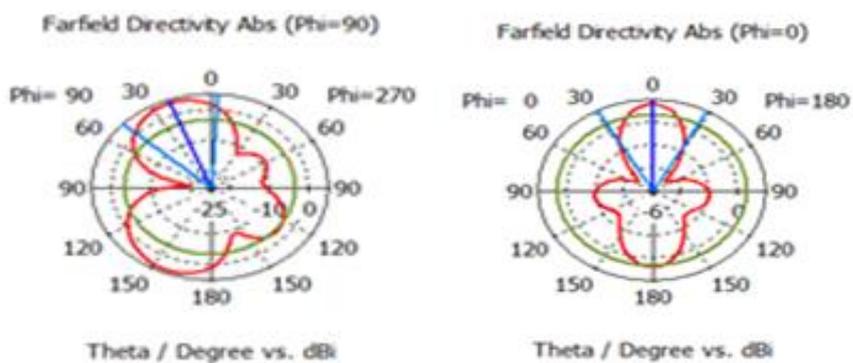


Figure III-22 : Diagramme de rayonnement en 2D à la fréquence 3.5599 GHz.

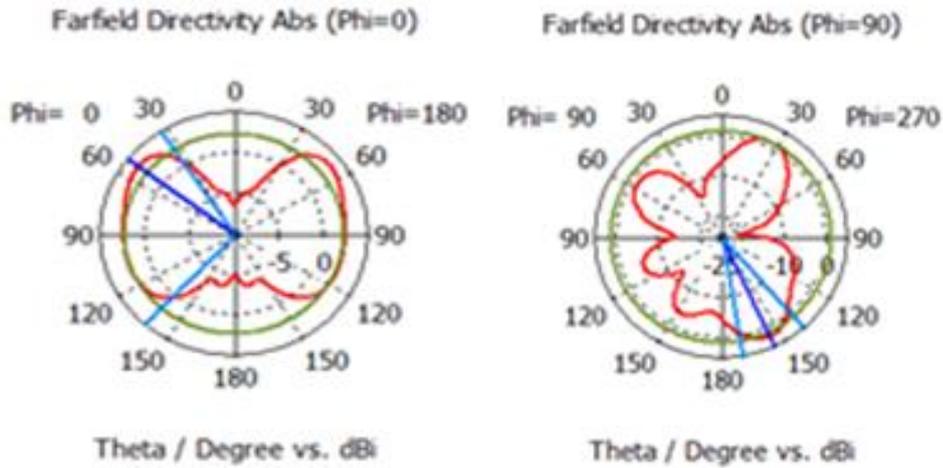


Figure III-23 : Diagramme de rayonnement en 2D a la fréquence 7.6401GHz

III.4.2.4 Distribution de courant

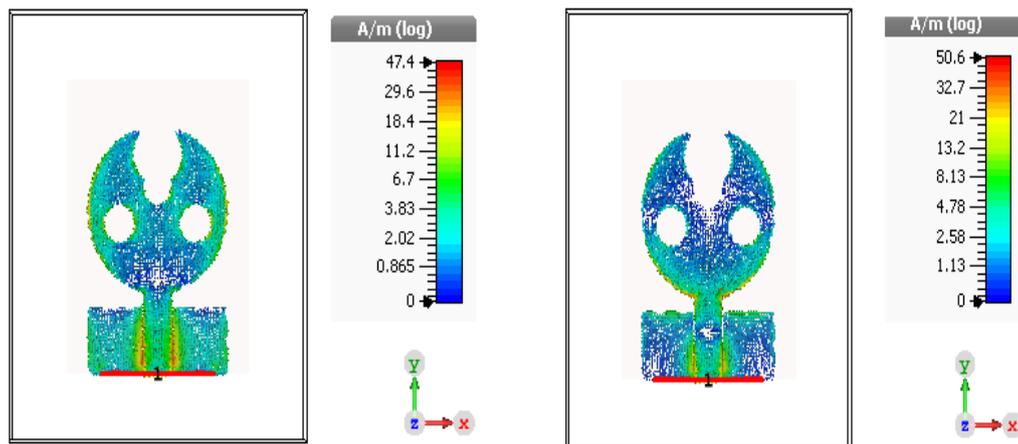


Figure III-24 : Distribution de courant à la fréquence 3.5599 GHz (Figure gauche) et 7.6401GHz (Figure droite).

III.5 Antenne reconfigurable proposée 1

Pour rendre notre antenne proposée 1 reconfigurable, nous avons utilisé la technique d'insertion des diodes PIN. Dans la figure III-8 nous avons ajouté deux rectangles de longueur 6 mm et de largeur 4 mm de part et d'autre du patch. Dans l'état ON, les diodes sont remplacées par des morceaux de lignes de longueur 0.6mm et de largeur 1mm, alors que dans l'état OFF elles sont remplacées par un circuit ouvert.

Nous distinguons quatre états de fonctionnement des diodes qui sont représentés dans le tableau suivant :

ETAT	D1	D2
ETAT1	OFF	OFF
ETAT2	OFF	ON
ETAT3	ON	OFF
ETAT4	ON	ON

Tableau III-4 : Les Etats de fonctionnement des diodes.

La figure suivante représente les états de fonctionnement de l'antenne reconfigurable proposée 1.

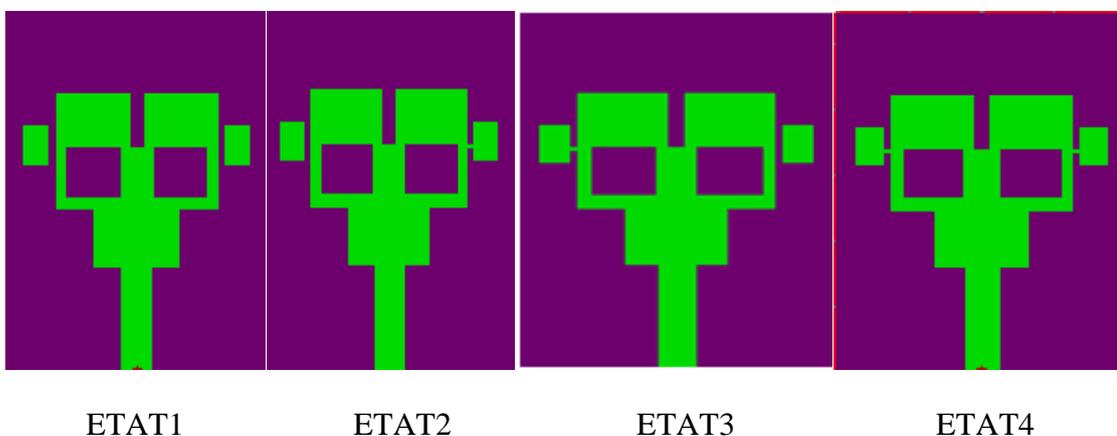


Figure III-25 : Les Etats de fonctionnement de l'antenne reconfigurable proposée 1.

III.5.1 ETAT1 (OFF OFF)

III.5.1.1 Coefficient de réflexion

La figure ci-dessous montre le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.

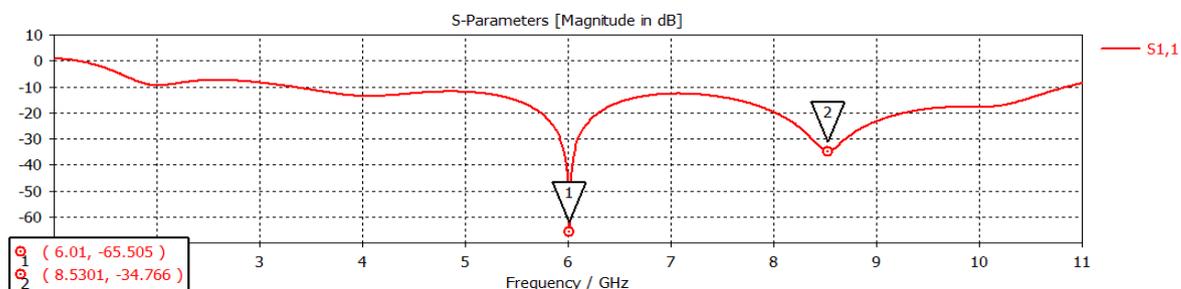


Figure III-26 : Coefficient de réflexion S11 (ETAT 1).

Ce résultat nous montre l'augmentation de la fréquence de résonances aux fréquences 6.01 GHz et 8.5301GHz avec une perte de retour de -65.505db et -34.766db respectivement. Ce qui montre que l'ajout des 2 lignes a fait une très bonne adaptation de l'antenne.

III.5.1.2 Rapport d'onde stationnaire (VSWR)

La figure ci-dessous montre la variation du VSWR en fonction de la fréquence. Ce rapport d'ondes stationnaires est inférieur à 2 dans la bande de fréquence désirée.

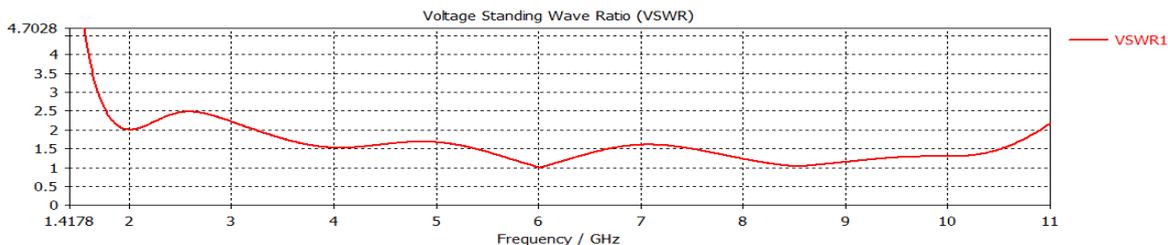


Figure III-27 : VSWR de l'antenne (ETAT 1).

III.5.1.3 Diagrammes de rayonnement

Les figures ci-dessous montrent les diagrammes de rayonnement en 3D et en 2D à la fréquence 6.01GHz et 8.5301Ghz.

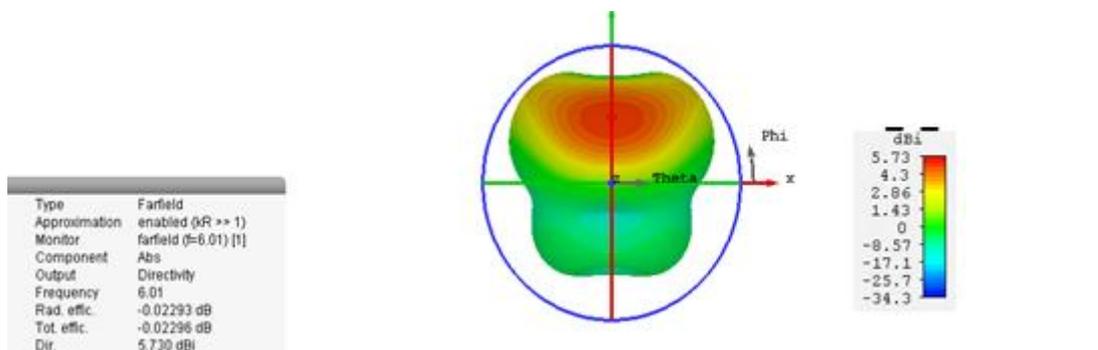


Figure III-28 : Diagramme de rayonnement en 3D (ETAT 1) à la fréquence 6.01 GHz.

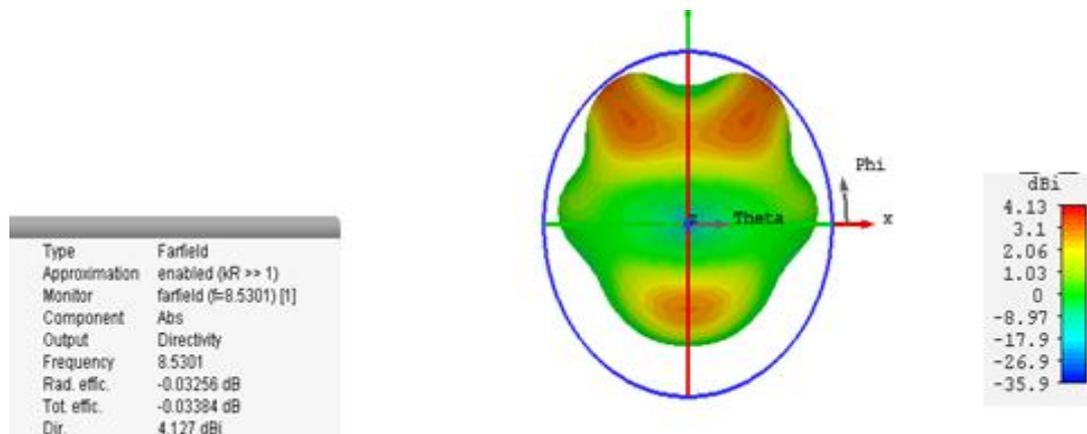


Figure III-29 : Diagramme de rayonnement en 3D (ETAT 1) à la fréquence 8.5301 GHz.

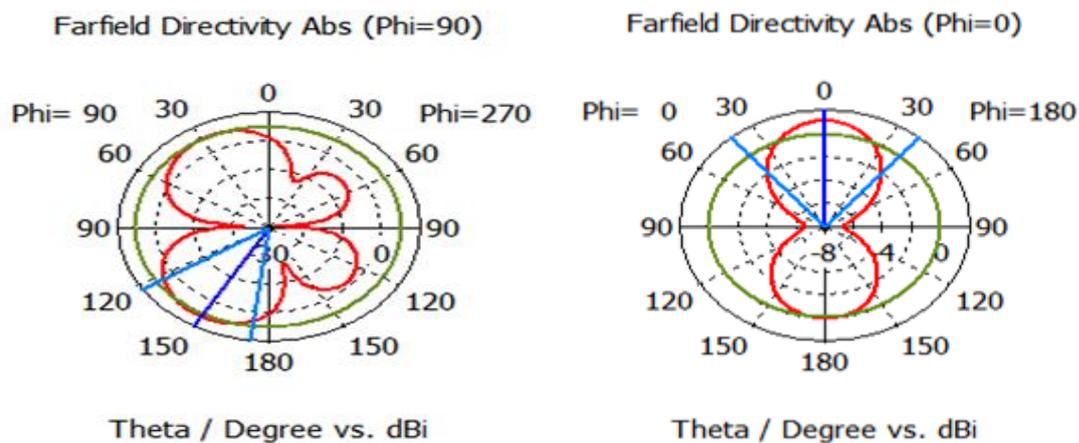


Figure III-30 : Diagramme de rayonnement en 2D ($\phi=0^\circ, 90^\circ$) à la fréquence 6.01GHz.

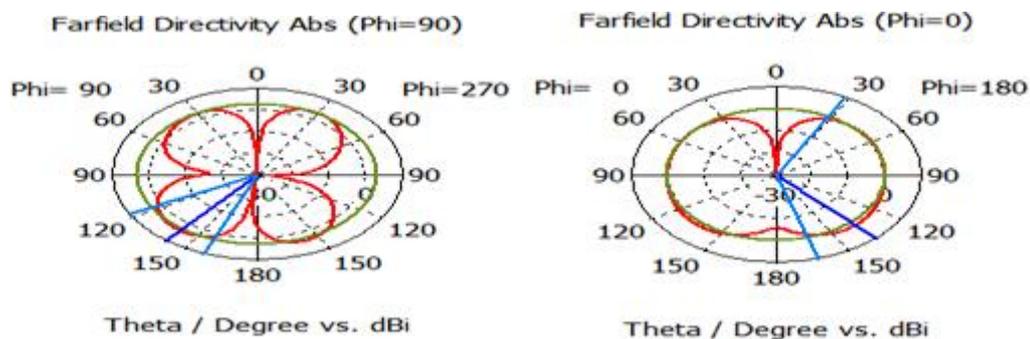


Figure III-31 : Diagramme de rayonnement en 2D ($\phi=0^\circ, 90^\circ$) à la fréquence 8.5301GHz.

III.5.1.4 Distribution de courant

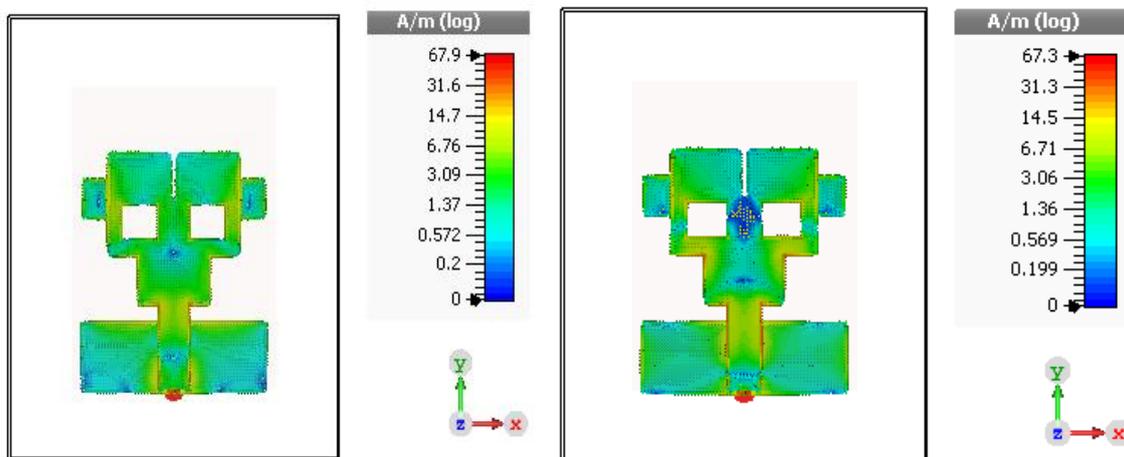


Figure III-32 : Distribution de courant à la fréquence 6.01GHz (Figure gauche) et 8.5301GHz (Figure droite).

III.5.2 ETAT 2, 3 (OFF ON et ON OFF)

Nous avons obtenu les mêmes résultats pour les 2 états des diodes OFF ON et ON OFF.

III.5.2.1 Coefficient de réflexion

La figure ci-dessous montre le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.

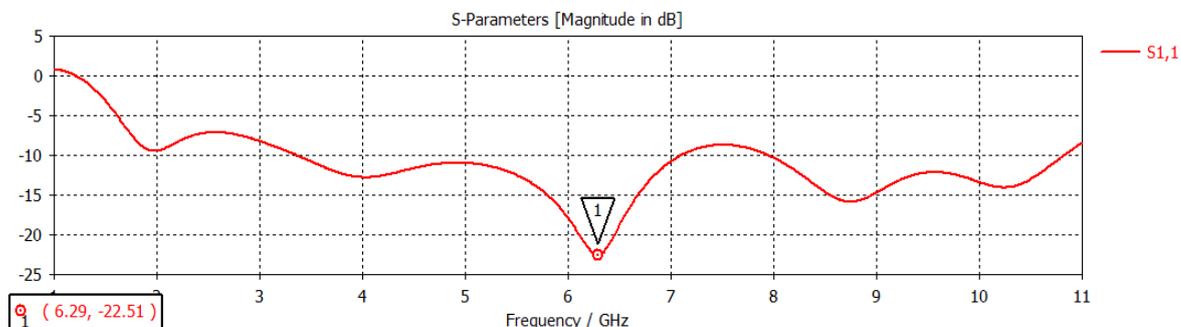


Figure III-33 : Coefficient de réflexion S11 (ETAT 2, 3).

Nous remarquons la présence d'une fréquence de résonance à la fréquence de 6.29 GHz avec une perte de retour de -22.51db.

III.5.2.2 Rapport d'onde stationnaire (VSWR)

La figure ci-dessous montre la variation du VSWR en fonction de la fréquence.

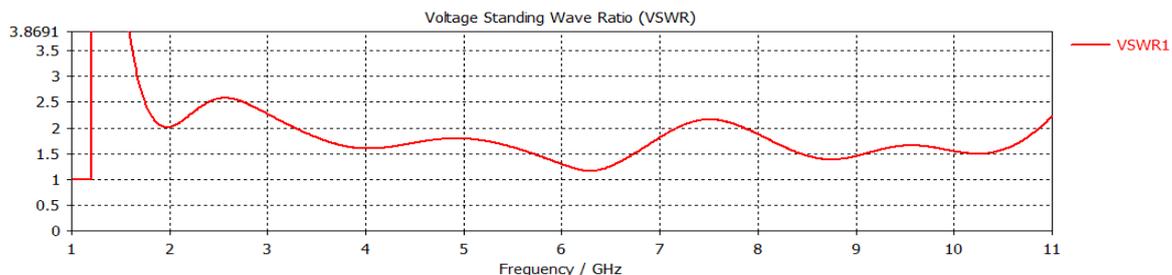


Figure III-34 : VSWR de l'antenne (ETAT 2, 3).

Le rapport d'ondes stationnaires est inférieur à 2 (entre 1 et 2) autour de la fréquence de résonance 6.29 GHz.

III.5.2.3 Diagrammes de rayonnement

Les figures ci-dessous montrent les diagrammes de rayonnement en 3D et en 2D à la fréquence 6.29 GHz.

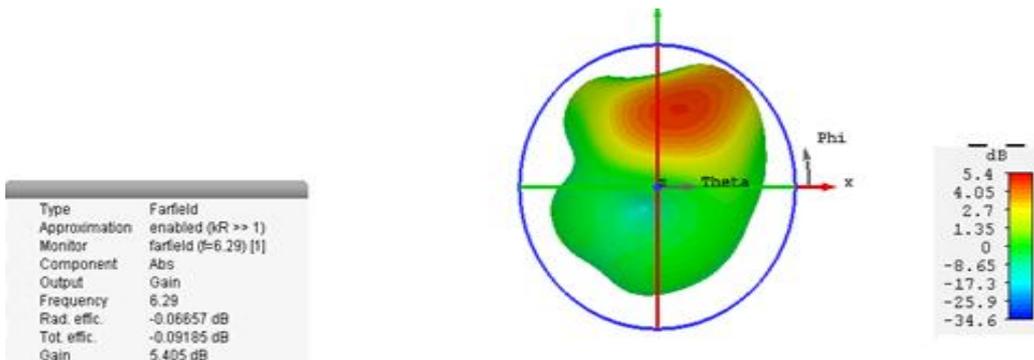


Figure III-35 : Diagramme de rayonnement en 3D à la fréquence 6.29GHZ.

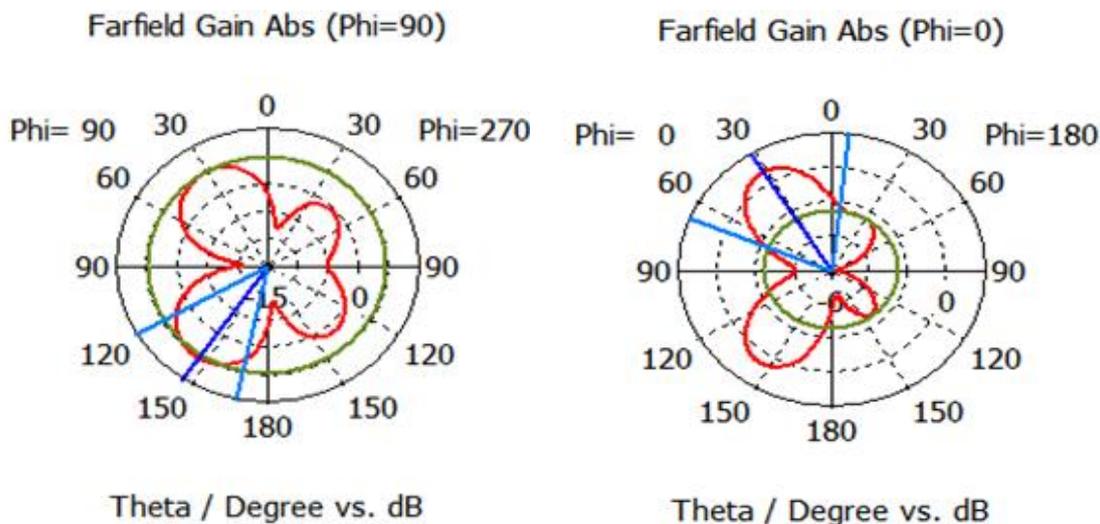


Figure III-36 : Diagramme de rayonnement en 2D ($\phi=0^\circ, 90^\circ$) à la fréquence 6.29GHZ.

III.5.2.4 Distribution de courant

La distribution de courant à la fréquence 6.29 GHz est représentée sur la figure suivante.

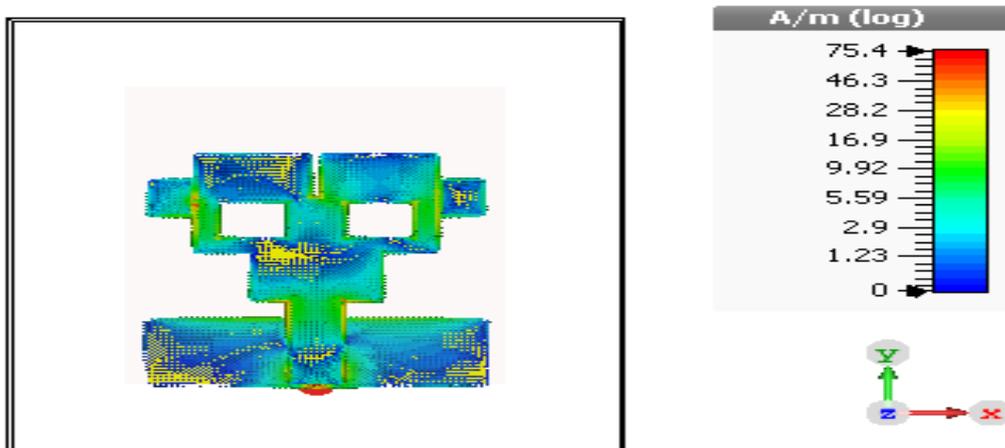


Figure III-37 : Distribution de courant à la fréquence 6.29 GHz.

III.5.3 ETAT 4 (ON ON)

III.5.3.1 Coefficient de réflexion

La figure suivante montre le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence pour l'état des diodes ON ON.

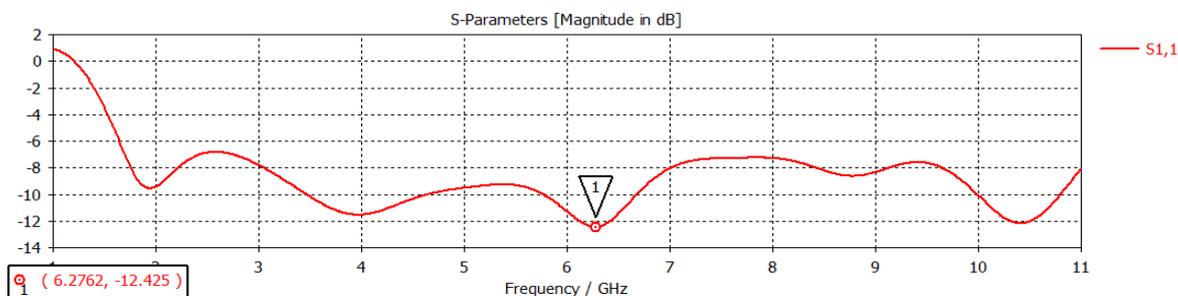


Figure III-38 : Coefficient de réflexion S11 (ETAT 4).

Nous remarquons la présence d'une fréquence de résonance à 6.2762GHz avec une perte de retour de -12.425db.

III.5.3.2 Rapport d'onde stationnaire (VSWR)

La variation du VSWR en fonction de la fréquence est montrée sur la figure ci-dessous.

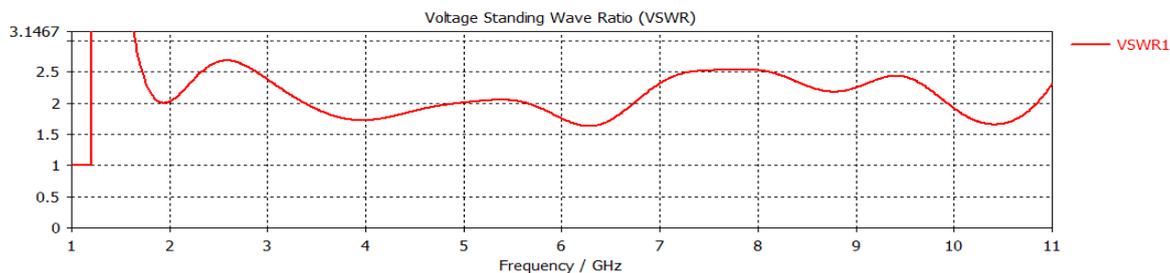


Figure III-39 : VSWR de l'antenne (ETAT 4).

Le rapport d'ondes stationnaires est inférieur à 2 autour de la fréquence de résonance 6.2762 GHz.

III.5.3.3 Diagrammes de rayonnement

Les figures suivantes montrent les diagrammes de rayonnement en 3D et en 2D à la fréquence 6.2762GHz pour l'état des diodes ON ON.

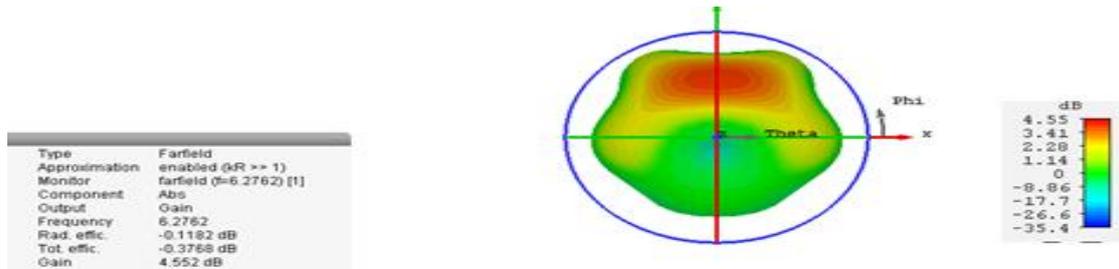


Figure III-40 : Diagramme de rayonnement en 3D à la fréquence 6.2762 GHz.

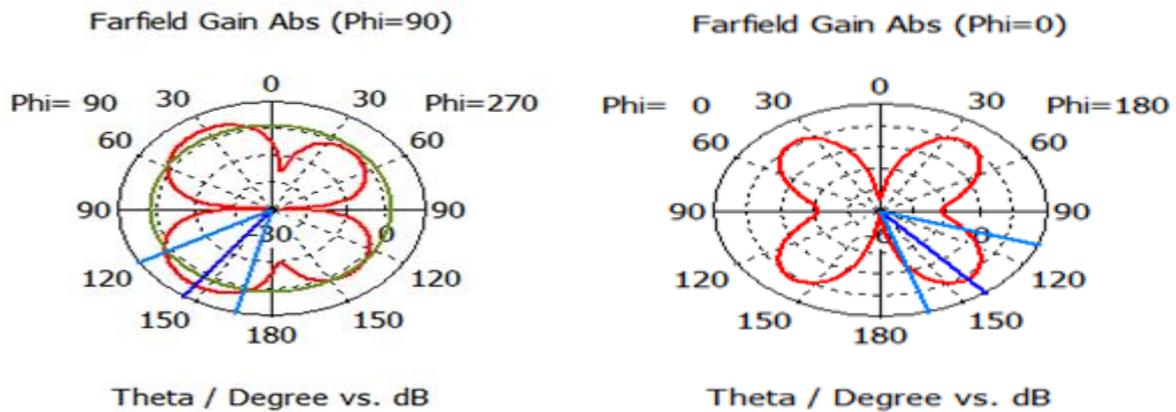


Figure III-41 : Diagramme de rayonnement en 2D (phi=0°,90°) à la fréquence 6.2762 GHz.

III.5.3.4 Distribution de courant

La distribution de courant à la fréquence 6.29 GHz, pour l'état des diodes ON ON, est montrée sur la figure suivante.

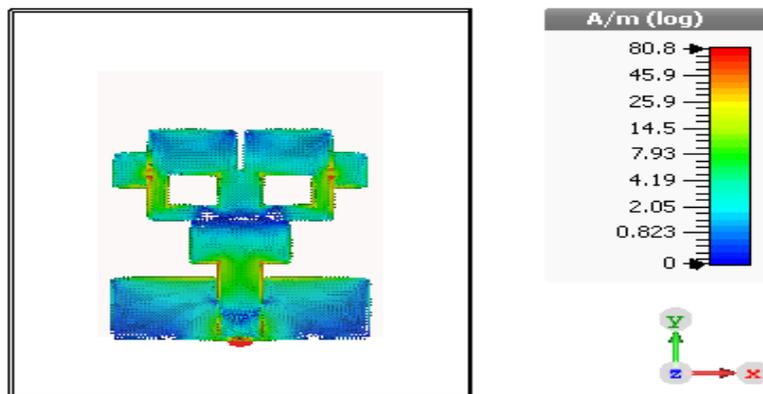
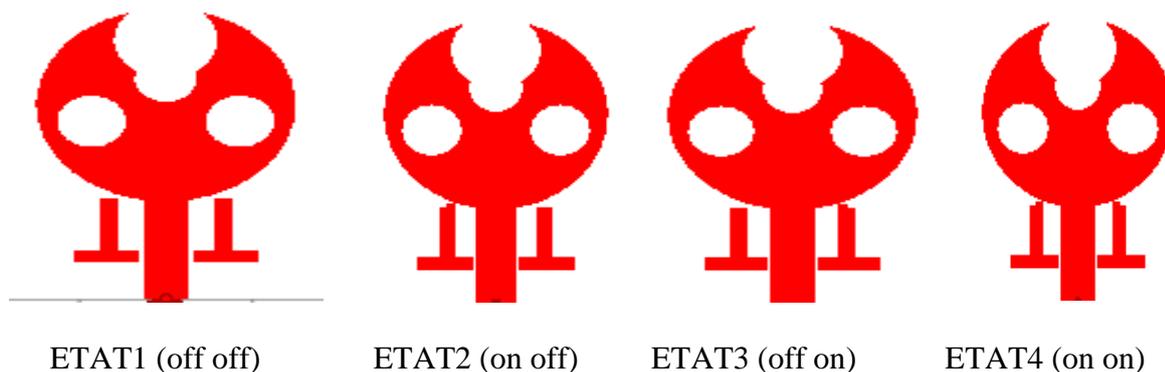


Figure III-42 : Distribution de courant à la fréquence 6.2762 GHz.

III.6 Antenne proposée reconfigurable 2

Toujours en utilisant des diodes PIN pour rendre notre antenne proposée 2 reconfigurable, nous avons ajouté une forme en T inversé de part et d'autre du patch. La figure suivante montre les différents états de l'antenne reconfigurable proposée 2.



III.6.1 ETAT 1 (off off)

III.6.1.1 Coefficient de réflexion

La figure ci-dessous montre le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.

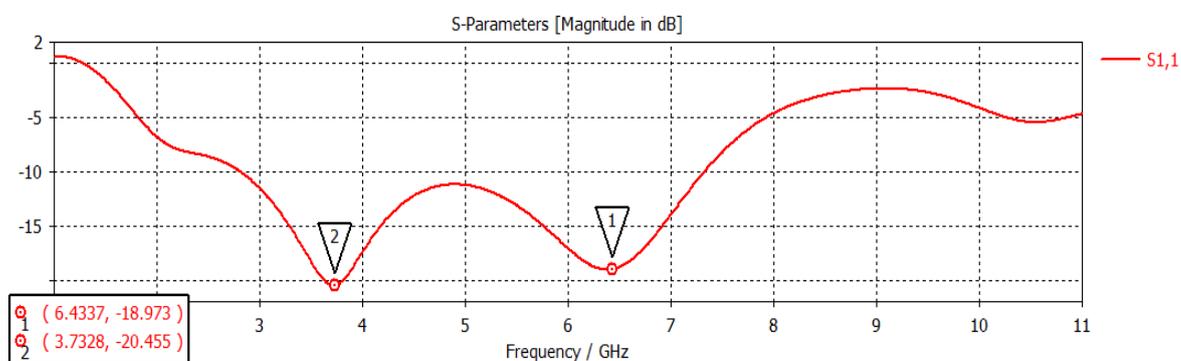


Figure III-43 : Coefficient de réflexion (ETAT 1).

III.6.1.2 Rapport d'onde stationnaire (VSWR)

La figure ci-dessous montre la variation du VSWR en fonction de la fréquence.

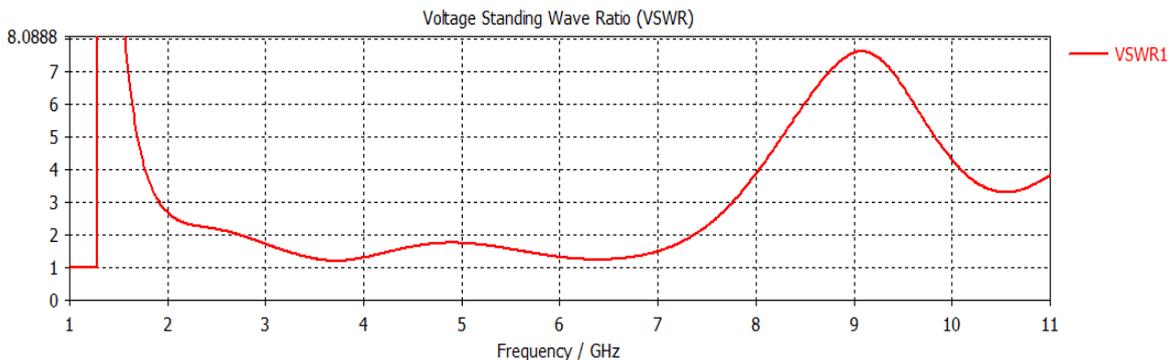


Figure III-44 : VSWR de l'antenne (ETAT 1).

III.6.1.3 Diagrammes de rayonnement

Les figures suivantes montrent les diagrammes de rayonnement en 3D et en 2D pour l'état des diodes off off.

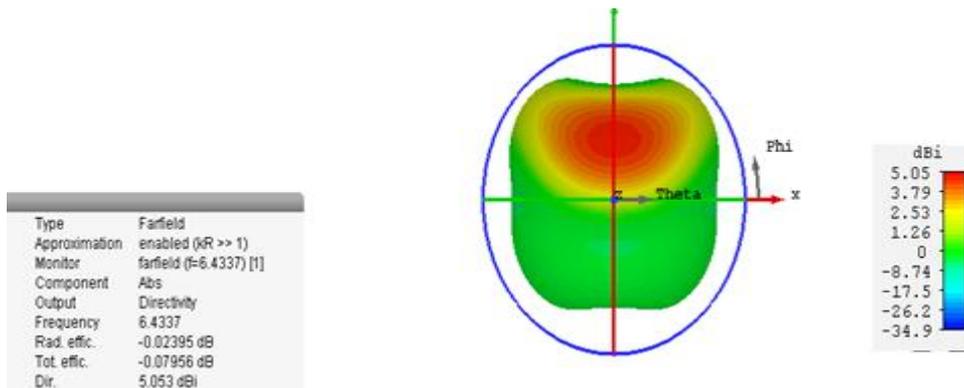


Figure III-45 : Diagramme de rayonnement en 3D à la fréquence 6.4337 GHz.

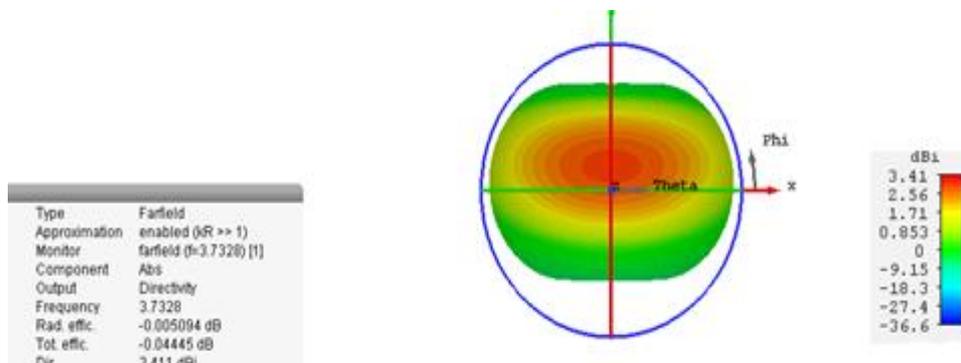


Figure III-46 : Diagramme de rayonnement en 3D à la fréquence 3.7328 GHz.

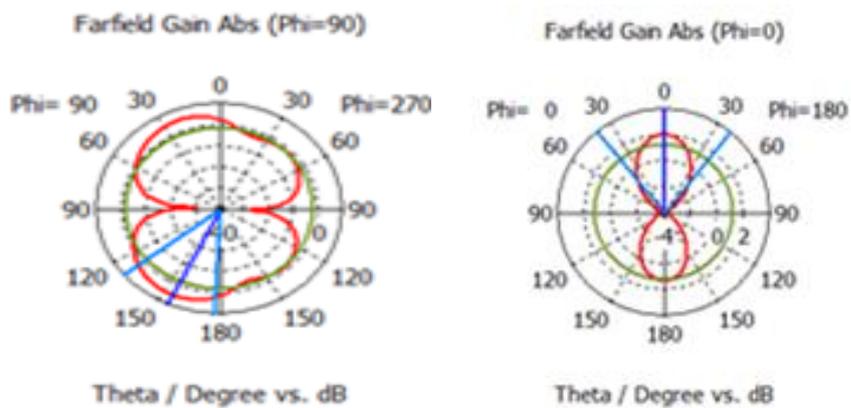


Figure III-47 : Diagramme de rayonnement en 2D à la fréquence 6.4337 GHz.

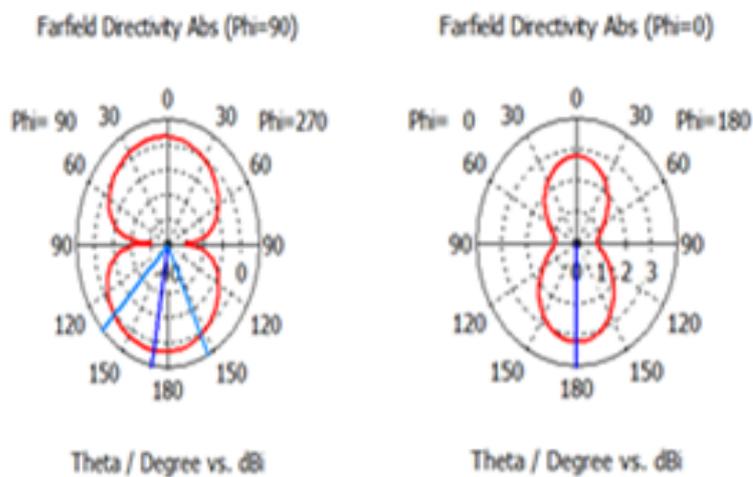


Figure III-48 : Diagramme de rayonnement en 2D à la fréquence 3.7328 GHz.

III.6.1.4 Distribution de courant

La distribution de courant pour l'état des diodes off off est montrée sur la figure suivante.

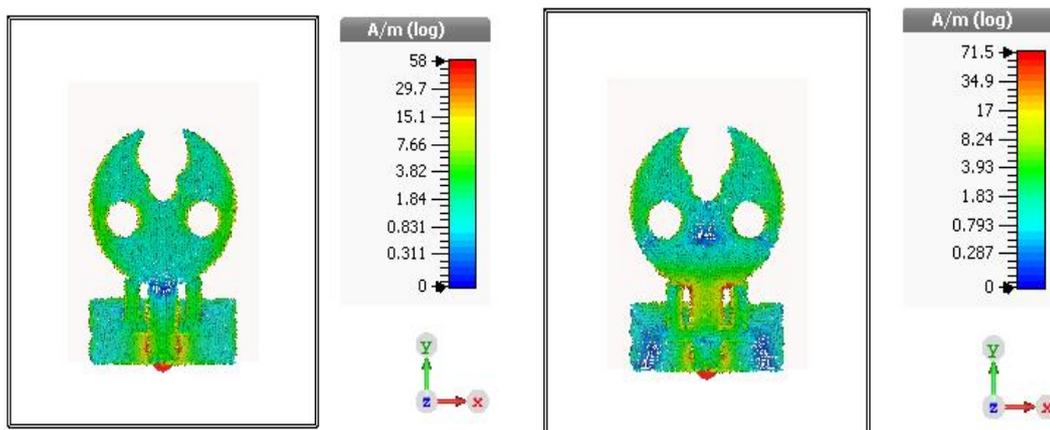


Figure III-49 : Distribution de courant à la fréquence 3.7328GHz (Figure gauche) et 6.4337GHz (Figure droite).

III.6.2 ETAT2, 3

III.6.2.1 Coefficient de réflexion

La figure ci-dessous montre le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence pour l'état 2 et 3.

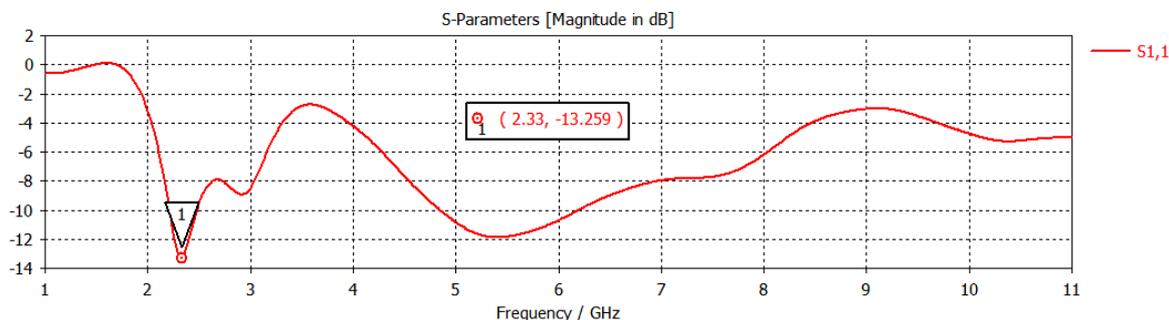


Figure III-50 : Coefficient de réflexion pour l'Etat 2, 3

III.6.2.2 Rapport d'onde stationnaire (VSWR)

La figure ci-dessous montre la variation du VSWR en fonction de la fréquence pour l'état 2 et 3.

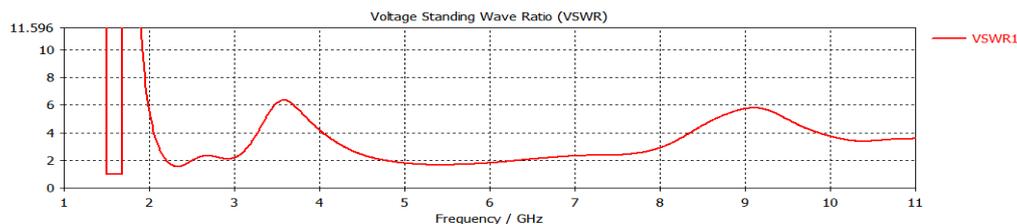


Figure III-51 : VSWR de l'antenne pour l'Etat 2, 3

III.6.2.3 Diagramme de rayonnement

Les figures suivantes montrent les diagrammes de rayonnement en 3D et en 2D pour l'état 2 et 3.

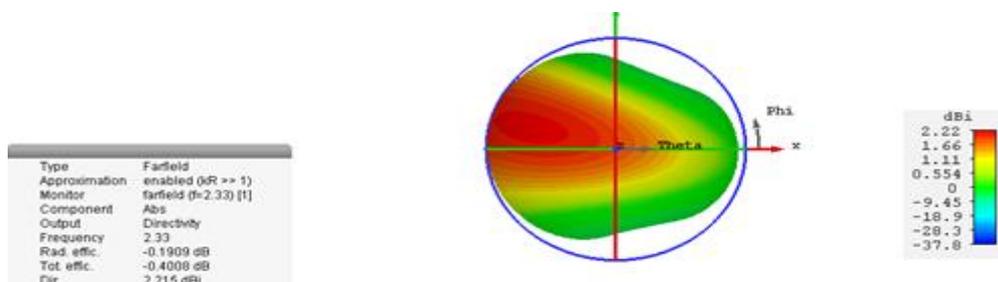


Figure III-52 : Diagramme de rayonnement en 3D à la fréquence 2.33 GHz.

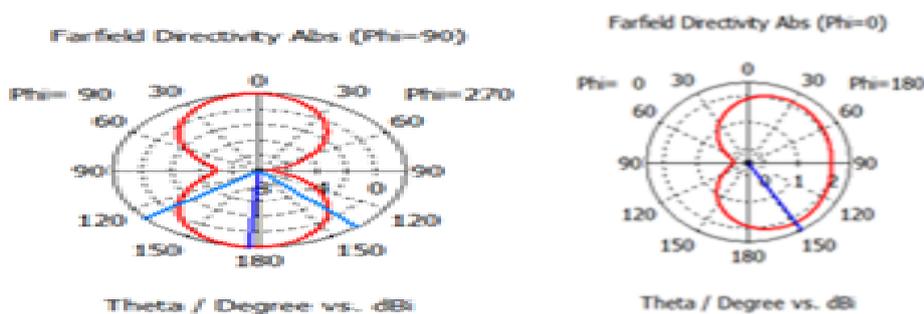


Figure III-53 : Diagramme de rayonnement en 2D à la fréquence 2.33 GHz.

III.6.2.4 Distribution de courant

La distribution de courant pour l'état 2 et 3 est montrée sur la figure suivante.



Figure III-54 : Distribution de courant à la fréquence 2.33 GHz.

III.6.3 ETAT4

III.6.3.1 Coefficient de réflexion

La figure ci-dessous montre le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence pour l'état 4.

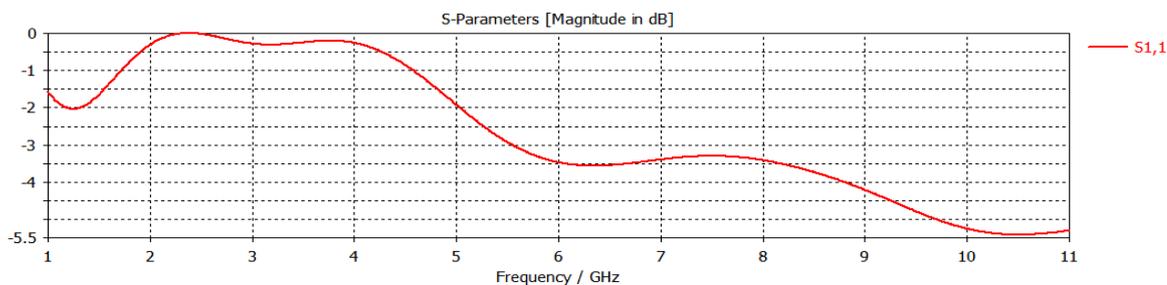


Figure III-55 : Coefficient de réflexion (ETAT 4).

Nous remarquons que l'adaptation n'est pas bonne pour cet état des diodes. Donc on ne va pas utiliser cet état.

III.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les résultats de simulation de deux antennes reconfigurables en fréquence conçues à l'aide du logiciel CST qui est un logiciel puissant et facile à utiliser.

Nous avons commencé par présenter la conception de deux antennes ULB. La deuxième antenne proposée inspirée de la littérature nous a aidé à valider notre approche de conception.

Dans la deuxième partie de ce chapitre nous avons présenté la conception de deux antennes reconfigurables en fréquence en utilisant la technique d'insertion des diodes PIN. Les résultats de simulation obtenus par le logiciel CST ont montré que les antennes conçues présentent de bonnes performances.

Conclusion générale

Dans le domaine des télécommunications les antennes reconfigurables (en fréquence, en polarisation et en diagramme de rayonnement) sont devenues intéressantes grâce à leur flexibilité. Une antenne reconfigurable est capable de s'adapter aux conditions changeantes en ajustant sa fréquence de fonctionnement, sa polarisation ou son diagramme de rayonnement.

Le travail présenté dans ce mémoire a porté sur les antennes reconfigurables en fréquence pour la radio cognitive.

Dans le premier chapitre nous avons présenté la radio cognitive qui est une nouvelle technologie apparue ces dernières années grâce à la demande croissante des utilisateurs qui ont un problème d'accès au spectre. Nous avons présenté cette technologie dans ses différents aspects : principes, architecture, fonction, composantes, etc.

Le deuxième chapitre, a été consacré tout d'abord à la présentation des antennes imprimées, leurs techniques d'alimentations, leurs caractéristiques ainsi que leurs avantages et inconvénients. Ensuite, nous avons présenté les différents types d'antennes reconfigurables (en fréquence, en diagramme de rayonnement et en polarisation).

Deux antennes reconfigurables ont été conçues dans le troisième chapitre. Pour cela, nous avons d'abord conçu deux antennes ULB, ensuite nous avons utilisé la technique d'insertion de diodes PIN pour rendre ces deux antennes reconfigurables en fréquence.

Les résultats de simulation obtenus par le logiciel CST ont montré que les antennes conçues présentent de bonnes performances avec une très bonne adaptation.

La perspective à notre travail est d'essayer des réseaux linéaires d'antennes reconfigurables dans le but d'améliorer les performances des antennes conçues en termes de gain et de directivité.

Références

- [1] J. Mitola and G. Maguire “Cognitive radio: Making software radios more personal”, IEEE Personal Communications August 1999.
- [2] Mitola, J. « Cognitive Radio: An Integrated Agent Architecture for Software Define d Radio». Thèse de Doctorat. 2000
- [3] AMRAOUI Asma, WASSILA BAGHLI, and Badr BENMAMMAR. « Amélioration de la fiabilité du lien sans fil pour un terminal radio cognitive mobile ». Les 12èmes Journées Doctorales en Informatique et Réseaux (JDIR'11). 2011
- [4] Cognitive Radio Working Group (2008). “Cognitive radio definition and nomenclature” (SDRF-06-P-0009-V1.0.0). Technical report, The Wireless Innovation Forum, retrieved on September 24, 2012, [http://www.sdrforum.org/pages/documentLibrary/documents/SDRF-06-P-0009-V100CRWG Defs.pdf](http://www.sdrforum.org/pages/documentLibrary/documents/SDRF-06-P-0009-V100CRWGDefs.pdf)
- [5] Kolodzy, P (2001). “Next generation communications”. Kickoff meeting, in: Proceedings of the Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA'01).
- [6] N. J. Drew, P. Tottle, « IC Technologies and Architectures to Support the Implementation of Software Define Radio Terminals », ACTS, Mobile Communications Summit, Rhodes, June 8-11, 1998.
- [7] Haykin S., « Cognitive radio: Brain empowered wireless communications », IEEE journal on selected areas in communications, vol. 23 no. 2, February 2005.
- [8] A. Amraoui, W. Baghli « synthèse de profils applicatifs dans le cadre des réseaux radio cognitive », 4 juillet 2011.
- [9] Yang, Z., Cheng, G., Liu, W., Yuan, W., & Cheng, W. (2008). “Local coordination based routing and spectrum assignment in multi-hop cognitive radio networks”. Mobile Networks and Applications, 13(1–2), 67–81.
- [10] I. Ngom et L. Diouf, “la radio cognitive”, université Lille 1 USTL, 2008

- [11] S. A. Ratsirarson, T. Rakotonirina, N. M. V Ravonimanantsoa, L. De Télécommunication, D. Signal, and I. L. Tasi, « Analyse Des Différents Types Des Fonctions De La Radio Cognitive. ». Rapport de recherche, Université d'Antananarivo, Madagascar, p.
- [12] Y. Hssaine, « Optimisation de la QOS dans un réseau de radio cognitive en utilisant les algorithmes génétiques », mémoire de Master, Université de Abou Bakr Belkaid, Tlemcen, Juin 2014
- [13] Mitola J. and Maguire G., « Cognitive radio: Making software radios more personal », IEEE Personal Communications, Page(s): 13-18, August 1999.
- [14] K. R. Carver, J. W. Mink, « Microstrip Antenna Technology », IEEE Trans. on Antennas and Propagation, vol AP-29, N°1, pp 2 -24, January 1981
- [15] D. M. Pozar, “Microstrip Antenna Aperture Coupled to a Microstrip Line” Elect Letters, vol. 21, pp. 49-50, Jan.1985.
- [16] M. Titaouine, « Analyse des antennes microrubans de forme arbitraire par la Méthode des moments et le modèle généralisé de la cavité », Thèse de Doctorat, Université de Sétif, 09/2007.
- [17] B. Zaoui, « Modélisation d'une antenne micro ruban compacte », Master académique, Université Echahid Hamma Lakhdar El oued, 06/2015.
- [18] 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 trans Antennas Propagat, vol. 49, pp. 45-47, 01/2001.
- [19] B. Belentepe, “A Simple Equivalent Model for Electromagnetically Coupled Microstrip Patch Antenna”, Journée Internationale de Nice sur les antennes, France, Symposium proceeding, pp. 91-94, Nov1994.
- [20] D.M. Pozar, “Microstrip Antenna Aperture Coupled to a Microstrip Line” Elect Letters, vol. 21, pp. 49-50, Jan.1985
- [21] Ziane cherif Abderrahmanet Benhaddoudi abderrahim, « Conception, modélisation et réalisation d'une antenne micro ruban triangulaire miniature ULB », Mémoire de Fin d'Etudes MASTER. Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent, 2016/2017.

- [22] Rabih A Slim, « Conception Antenne WIFI », Rapport MDR. Université Antonine Faculté des Ingénieurs en Télécommunications, Informatique.
- [23] Mohamed Mansouri et El haithem Ezzeroug, « Conception et simulation d'une antenne Patch ultra large bande [1-8 GHz] », Mémoire Master en aéronautique. l'institut d'aéronautique et des études spatiales.
- [24] Mr. ARAB Tarek, « Etude des matériaux composites (Titanate oxyde) : application pour la réalisation des substrats d'antennes miniatures » NIVERSITE SETIF-1.
- [25] D.M. POZAR, « Microstrip Antennas », IEEE, Vol.80 N 1, pp.79-91, January 1992
- [26] C. G. Christodoulou, et al., "Reconfigurable Antennas for Wireless and Space Applications," Proceedings of the IEEE, vol. 100, no. 7, pp. 2250–2261, Jul. 2012.
- [27]. F. Yang and Y. Rahmat-Samii, "Patch antennas with switchable slots (PASS) in wireless communications : Concepts, designs, and applications, IEEE Antennas Propagat. Mag., vol. 47, pp. 13–29, Feb. 2005.
- [28] S. SUFYAR, "Contribution à l'étude d'Antennes Miniatures Reconfigurables en Fréquence par Association d'éléments actifs " , 14 Décembre 2011,
- [29] I. Ben Trad, "Antennes Agiles pour les Télécommunications Multistandards, " Thèse soutenue publiquement le 29.10.2014, Université de Rennes..
- [30] Yuan, Y. Damgaci, H. Mopidevi and B.A. Cetiner, "RF-NIMEMS Integrated Reconfigurable Antenna for Public Safety Applications, EUCAP 2011.
- [31] S. SUFYAR, "Contribution à l'étude d'Antennes Miniatures Reconfigurables en Fréquence par Association d'éléments actifs " , 14 Décembre 2011,
- [32] I. Ben Trad, "Antennes Agiles pour les Télécommunications Multistandards, " Thèse soutenue publiquement le 29.10.2014, Université de Rennes..
- [33] S. Loizeau, "Conception et Optimisation d'antennes reconfigurables multifonctionnelles et ultra large bande", Physique [physics]. Université Paris Sud - Paris XI, 2009.
- [34] T. Duc Nguyen, "Conception d'antenne intelligente reconfigurable pour la radio cognitive", Université Grenoble Alpes, 2012
- [35] J. T. Bernhard, "Reconfigurable Antennas". San Rafael, CA: Morgan and Claypool, 2007.
- [36] T. Gayatri Dept. of ECE Bhagwant University Ajmer, India

