

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

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

**Faculté des Sciences et de la technologie**

**Département d'électronique**

# **Mémoire**

*Présenté pour obtenir*

**LE DIPLOME DE MASTER**

**FILIERE : TELECOMMUNICATION.**

**Spécialité : Systèmes des Télécommunication**

Par

➤ **BOUTAHAR MOHAMED ELAMINE**

➤ **BABOUCHE ILHEM**

*Intitulé*

***Antenne planaire reconfigurable multistandard***

*Soutenu le : 22/06/2022*

*Devant le Jury composé de :*

<i>Nom &amp; Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
<b><i>M.BEHIH Mohamed</i></b>	<b><i>MAA</i></b>	<b><i>Président</i></b>	<b><i>Univ-BBA</i></b>
<b><i>Pr.BOUTTOT Farid</i></b>	<b><i>Professeur</i></b>	<b><i>Encadreur</i></b>	<b><i>Univ-BBA</i></b>
<b><i>M.ADOUI Ibtissam</i></b>	<b><i>MCB</i></b>	<b><i>Examineur</i></b>	<b><i>Univ-BBA</i></b>

*Année Universitaire 2021/2022*

---

# Remerciement

*Premièrement, nous remercions dieu, le tout puissant, de nous avoir donné la santé et la volonté pour faire cet humble travail.*

*Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à nos encadreurs*

*Pr. Bouttout Farid pour l'aide et pour les conseils précieux qu'ils nous ont donné durant notre étude et durant la Réalisation de ce travail.*

*Nous remercions également nos enseignants, nos parents, nos frères et sœurs et nos chers amis, pour leurs aides et leurs sacrifices.*

## Abstract

In this Master study, microstrip reconfigurable antenna excited with a microstripline is performed. The antenna consists of four separated patches connected with three switches using PIN diodes. Frequency reconfigurability is ensured by acting on the three diodes separately resulting in eight primary modes. Then the eight modes are reduced to only two modes of operation are obtained that correspond to bi-and three-band operation resonance and characteristic parameters are obtained using HFSS electromagnetic software. Suggestions for further study have been made at the end of the manuscript.

. **Key words:** Reconfigurable Antenna, Microstrip Antenna, PIN DIODE

## Résumé

Dans cette étude de Master, une antenne reconfigurable à micro-ruban excitée avec une ligne micro-ruban est réalisée. L'antenne se compose de quatre patchs séparés et connectés à trois commutateurs à base de diodes PIN. La reconfigurabilité en fréquence est assurée en agissant séparément sur les trois diodes donnant lieu à huit modes primaires. Ensuite, les huit modes sont réduits à deux modes de fonctionnement correspondant au fonctionnement bi- et tri-bande et les paramètres caractéristiques sont obtenus à l'aide du logiciel électromagnétique HFSS. Des suggestions pour une étude plus approfondie ont été faites à la fin du manuscrit.

**Mots clé :** Antenne reconfigurable, Antenne microruban, diode PIN

## ملخص :

في هذه الدراسة الرئيسية، يتم انجاز هوائي قابل لا عادة التشكيل بخط شريط دقيق مثير . يتكون الهوائي من أربع أجزاء شريطية دقيقة منفصلة يتم توصيلها عبر ثلاث صمامات ثنائية من نوع PIN يتم ضمان اعادة تشكيل التردد بثلاث صمامات ثنائية والحصول على نمطين تشغيليين يتطابقان مع رنين التشغيل ثنائي وثلاثي النطاق . ويتم الحصول على الاعدادات المميزة باستعمال البرمجيات الكهرومغناطيسية HFSS. وقدمت اقتراحات لا جراء المزيد من الدراسة في نهاية المذكرة.

**الكلمات المفتاحية:** الهوائي معاد التشكيل، الهوائي ذو الشريط الدقيق، ثنائي القطب PIN

# SOMMAIRE

<b>CHAPITRE I</b>	
Introduction Générale	01
<b>CHAPITRE II</b>	
1. Introduction	03
2. Systèmes reconfigurables	03
3. Antennes reconfigurables	04
4. Techniques de reconfigurabilité	04
4.1 Diode varicap	05
4.2 Diode PIN	05
4.3 MEMS (Système Micro électromécanique)	05
4.4 Commutateurs Optiques	06
4.5 Matériaux Agiles	07
5. Classification Des Antennes Reconfigurables	08
5.1 Aperçu sur les Antennes	09
5.1.1 Comportement Fréquentiel	09
a. Impédance d'entrée	09
b. Coefficient de Réflexion et Pertes de Retour	09
c. Rapport d'Onde Stationnaire et Bande Passante	10
d. Bande Passante	10
5.1.2. Les Caractéristiques de Rayonnement	10
a. Diagramme de Rayonnement	10
b. Rendement ou Efficacité	11
c. Directivité	11
d. Gain	11
e. PIRE	12
f. Polarisation	12
5.1.3 Antennes reconfigurables en fréquence	12
5.1.4 Antennes reconfigurables en diagramme de rayonnement	14
5.1.5 Antenne reconfigurable en polarisation	14
6. Conclusion	15
<b>CHAPITRE III</b>	
1. Introduction	17
2. Géomètre de l'antenne	17
3. Technique de commutation à diode PIN	19
4. Évolution de la conception	20
5. Résultats numériques et commentaire	22
5.1 Etat 1 : OFF-OFF-OFF	25
5.2 Etat 2 : OFF-OFF-ON	28
5.3 Etat 3 : OFF-ON-OFF	33
5.4 Etat 4 : OFF-ON-ON	37
5.5 Etat 5 : ON-OFF-OFF	42
5.6 Etat 6 : ON-OFF-ON	45
5.7 Etat 7 : ON-ON-OFF	49
5.8 Etat8 : ON-ON-ON	53
6. Conclusion	56
<b>CHAPITRE IV</b>	
Conclusion générale	58
Références bibliographiques	

## Liste Des Figures

N°	Titre	Page
1	Différents niveaux de reconfigurabilité : (a) Système adaptatif par traitement numérique ; (b) Réseau d'antennes phasées et (c) antennes reconfigurables.	03
2	Le symbole et le circuit équivalent d'une diode varactor.	04
3	Le circuit d'une diode équivalent dans les états ON et OFF.	05
4	Exemples de composants MEMS [4].	06
5	Vue de dessus de l'antenne agile en utilisant des photoconducteurs	07
6	(a) Prototypage de l'antenne utilisant un substrat de silicone extensible TC5005. (b) Vue de dessus et vue de dessous [07].	08
7	Schéma des types d'antennes reconfigurables	08
8	Bande passante.	10
9	Diagramme de rayonnement: (a) 3D omnidirectionnelle; (b) 3D directif et (c) 2D directif.	11
10	Coefficients de réflexion dipôle reconfigurable [09].	13
11	Antenne patch reconfigurable en fréquence sur substrat EBG [03].	13
12	L'antenne agile en diagramme de rayonnement [7].	14
13	(a) Antenne patch à bord commuté et (b) Antenne PASS de l'UCLA [18].	15
14	La géométrie de l'antenne étudiée	18
15	Modèle de diode PIN et ses circuits équivalents pour les états ON et OFF	19
16	Le processus d'évolution mettant en évidence les différentes étapes de conception de l'antenne étudiée	20
17	Le processus d'évolution	21
18	coefficients de réflexion S11 pour différents modes de fonctionnement	23

## Liste des tableaux

N°	Titre	Page
01	Dimensions de l'antenne étudiée	18
02	Valeurs des éléments RLC du circuit électrique équivalent de la diode PIN selon les états ON et OFF	19
03	Fréquence de résonance selon l'état des trois diodes	24
04	modes de résonance et bandes de fréquence correspondantes selon l'état des diodes	24

## Liste des Abréviations

**5G** : cinquième génération

**PIN**: Positive Intrinsic Negative diode. **MEMS**: Micro Electro Mechanical System. **HFSS**: High-Frequency Structure Simulator **PIN**: Positive-Intrinsic-Negative

**RF**: Radio Frequency

**VSWR** : Voltage Standing Wave Ratio

**1D** et **2D** et **3D**: Un, deux et trois dimensions.

**TOS** : Taux d'Onde Stationnaire.

**RF**: Radio Frequency.

**FET** : les transistors à effet de champs

**EBG**: Electromagnetic Band Gap (Bande interdite électromagnétique).

**fr** : Fréquence de résonance.

**dB** : décibel.

**$\epsilon_r$**  : Permittivité diélectrique.

**FR4** : Flame Retardant 4

**RF-MEMS** : microsystèmes radiofréquences

**L** : Longueur

**S11** : Coefficient de réflexion

**R** : Résistance.

**h** : Epaisseur du substrat.

**ROS** : Rapport d'ondes stationnaires

**Tan ( $\delta$ )** : Tangente des pertes.

**W** : Largeur.

**$\omega$**  : La pulsation de résonance.

# CHAPITRE I

## Introduction Générale

---

## Introduction

La problématique actuelle des télécommunications sans fil porte sur l'augmentation des débits limités par les échos parasites liés à la propagation multi-trajets des ondes. Le développement des antennes reconfigurables pose des défis significatifs aux concepteurs de systèmes. Tout d'abord il s'agit d'obtenir les fonctionnalités de l'antenne.

Comme dans tout développement de nouvelles technologies, la majeure partie du coût de ces systèmes vient non pas de l'antenne mais des technologies environnantes qui permettent la reconfiguration. Il est nécessaire de garantir l'efficacité de l'antenne ainsi que sa linéarité. Il est important de concevoir des réseaux de polarisation de commutateurs qui n'interfèrent pas avec le rayonnement de l'antenne et donc son fonctionnement. Par ailleurs, il est nécessaire d'assurer le développement des algorithmes de traitement des signaux et de rétroaction pour exploiter entièrement cette nouvelle fonctionnalité d'antenne qu'est la reconfigurabilité. Dans beaucoup d'applications, telles que les applications aéronautiques et militaires, les systèmes de communication exigent l'utilisation des antennes à profil simple, à volume réduit, de faible poids, faible coût, à hautes performances et une facilité de mise en œuvre. Les systèmes de communication modernes utilisent plusieurs fonctions et caractéristiques d'antenne sans en modifier sa structure physique ou géométrique. C'est ce qu'on appelle la reconfigurabilité. Une antenne reconfigurable est une antenne dans laquelle au moins l'une de ses caractéristiques est modifiable après sa fabrication (bande passante, fréquence opérationnelle, diagramme de rayonnement et polarisation). Cette modification est réalisée en appliquant une commande externe, par l'ajout des composants actifs de type électrique (la Diode PIN, Varactors, les RF- MEMS) de type optique comme les photoconducteurs ou de type physique tel que la modification géométrique de la forme de l'antenne.

Les antennes reconfigurables sont considérées très efficaces en termes de leurs performances, leurs flexibilités et leurs utilisations efficace du spectre de fréquence.

On peut classer les antennes reconfigurables en quatre catégories : la reconfigurabilité en fréquence, du rayonnement, en polarisation ou une combinaison entre deux ou plus de reconfigurations précédentes.

Le travail présenté dans ce mémoire a pour objectif l'étude d'une antenne planaire reconfigurable multistandard.

Le présent manuscrit est organisé comme suit :

➤ **Le premier Chapitre** est une introduction générale ou une présentation de la problématique des antennes reconfigurables en fréquence est donnée avec motivation de l'étude réalisée

➤ **Le deuxième chapitre** est consacré aux rappels théoriques sur les antennes reconfigurables où nous présenterons les différentes structures et les différentes techniques d'alimentation. Ensuite, nous présentons les antennes reconfigurables et leurs techniques ainsi que la classification des antennes reconfiguration.

➤ **Le troisième Chapitre** constitue le cœur de ce travail et consiste en l'étude d'une antenne planaire reconfigurable composée de quatre patches rectangulaires reliés par trois diodes PIN et excités par une ligne micro ruban. Les simulations sont réalisées par le simulateur électromagnétique commercial HFSS. Les différentes combinaisons des diodes fixent deux modes de fonctionnement bi-bande et tri-bande. Les caractéristiques de résonance et de rayonnement sont estimées pour chaque bande de fréquence d'opération.

➤ **Le quatrième Chapitre** se termine par une conclusion générale résumant les principales étapes de cette étude ainsi que des perspectives pour des études futures.

# CHAPITRE II

Antennes Planaires

Reconfigurables

---

## 1. Introduction

L'intérêt des antennes reconfigurables réside dans le fait que leur fonctionnement est modifiable dynamiquement. Ceci est un grand avantage pour l'antenne qui peut offrir plus de fonctionnalités.

Dans ce chapitre, nous présentés en premier lieu les systèmes et les antennes reconfigurables ainsi que les techniques de reconfigurabilité. Les paramètres caractéristiques sont aussi détaillés, en dernier lieu, des exemples d'antenne reconfigurable de la littérature sont donnés.

## 2. Systèmes reconfigurables

La reconfigurabilité des systèmes de télécommunication peut se manifester en différents niveaux comme le montre la Figure 1.

Trois solutions basées sur la reconfigurabilité des systèmes peuvent être utilisées :

- Utilisation d'un DSP mais elle est complexe et coûteuse
- Utilisation d'un Circuit d'alimentation reconfigurable pour les antennes ; nécessite une circuiterie électronique complexe utilisant des amplificateurs, des atténuateurs et des déphaseurs, donc coûteuse et encombrées

- Intégration la reconfigurabilité directement au niveau des antennes [1].

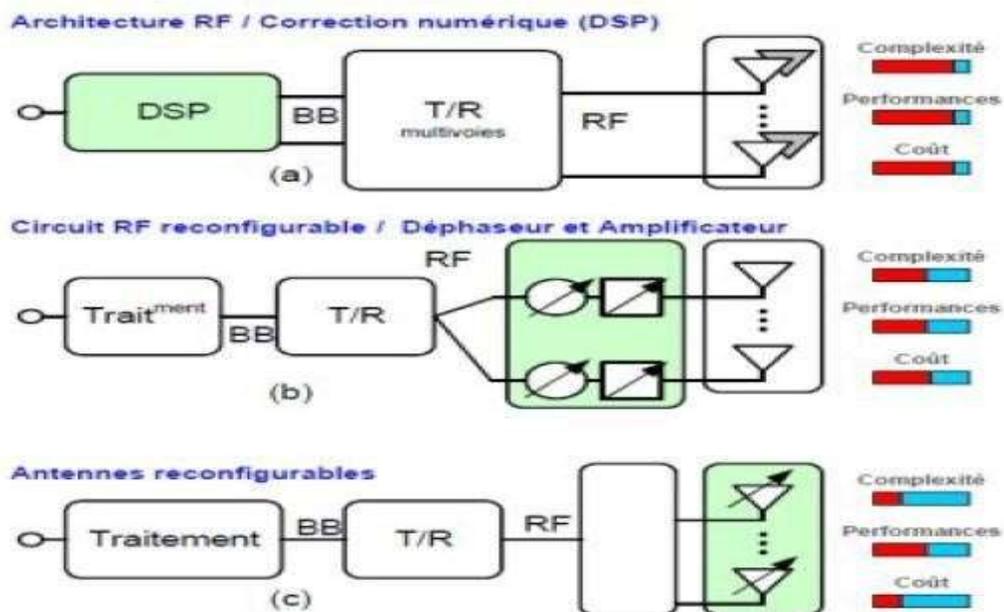


Figure 1 : Différents niveaux de reconfigurabilité : (a) Système adaptatif par traitement numérique ; (b) Réseau d'antennes phasées et (c) antennes reconfigurables.

### 3. Antennes reconfigurables

Le terme d'antennes reconfigurables est employé pour présenter la capacité à changer les caractéristiques du fonctionnement fondamentale d'un élément rayonnant individuel en fonction de l'utilisation spécifique souhaitée par des moyens électriques, mécaniques optiques ou l'intégration de matériaux commandables.

Idéalement, les antennes reconfigurables devraient pouvoir modifier leur fonctionnement, afin de s'adapter au contexte.

Les antennes reconfigurables retiennent toute l'attention pour les applications sans-fil mobiles [2].

### 4. Techniques de reconfigurabilité

Une antenne reconfigurable est une antenne dans laquelle au moins une de ses caractéristiques est modifiable après sa fabrication.

Il existe plusieurs techniques de reconfiguration et différents moyens pour les mettre en œuvre. Tel que, les diodes PIN et les RF- MEMS et les varactors pour les types électriques.

#### 4.1 Diode varicap

La diode varactor (de l'anglais *variable capacitor*), est une diode qui se comporte comme un condensateur dont nous pouvons contrôler sa capacité en appliquant une tension inverse à ses bornes (Figure 2). Les diodes varactor présentent plusieurs avantages, nous pouvons citer par exemple la grande agilité continue, la facilité d'intégration, et une faible consommation de puissance DC. Il est à noter que ces diodes sont souvent utilisées pour obtenir la reconfigurabilité de fréquence. [3].

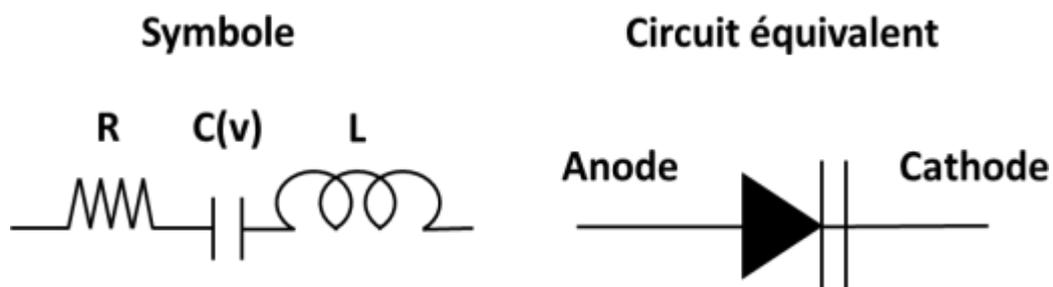


Figure 2 : Le symbole et le circuit équivalent d'une diode varactor.

### 4.2 Diode PIN

La diode PIN (*Positive Intrinsic Negative diode* en anglais) est un composant à semi-conducteur utilisée comme un interrupteur rapide pour les signaux de hautes fréquences. Lorsqu'elle est polarisée en direct, la diode présente une impédance relativement faible, et par conséquent, elle se comporte comme un circuit fermé (l'état ON). Mais une polarisation dans le sens inverse elle offre une très grande impédance en parallèle avec une très faible conductance, elle se comporte donc comme un circuit ouvert (l'état OFF).

Pour un circuit planaire, en plaçant la diode sur le chemin de propagation de l'onde hyperfréquence, il est possible de laisser passer ce signal (polarisation directe) ou de le réfléchir (polarisation inverse) ; on réalise de cette manière un interrupteur. Cette technique est largement utilisée pour réaliser des antennes reconfigurables, que ce soit pour la reconfigurabilité en fréquence, pour la reconfigurabilité de la polarisation, ou de la phase des ondes électromagnétiques.

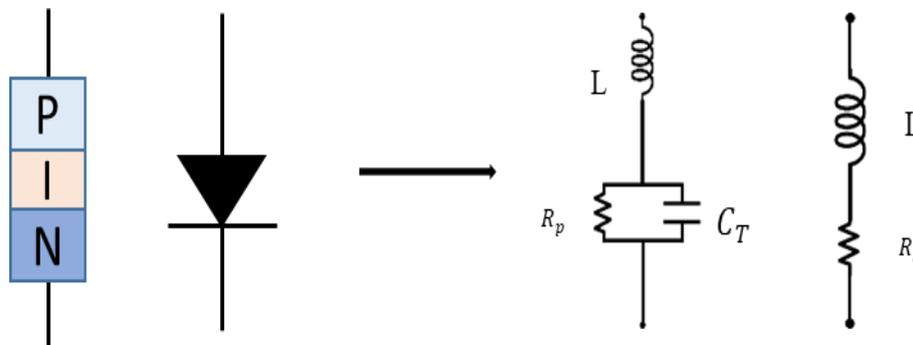


Figure 3: Le circuit d'une diode équivalent dans les états ON et OFF.

### 4.3 MEMS (Système Micro électromécanique)

Un MEMS est un microsystème comprenant un ou plusieurs éléments mécaniques, utilisant l'électricité comme source d'énergie, en vue de réaliser une fonction de capteur et/ou d'actionneur ; en partie assurée par la forme même de la structure. Selon leur conception, les MEMS peuvent servir pour diverses fonctions (Figure 4). Typiquement, ils peuvent remplacer dans les structures antennaires des capacités ou des interrupteurs au même titre que les diodes varicap ou PIN. Leurs inconvénients restent en premier lieu la tension élevée qu'ils nécessitent et en second lieu, le coût relativement élevé de leur fabrication. [3].

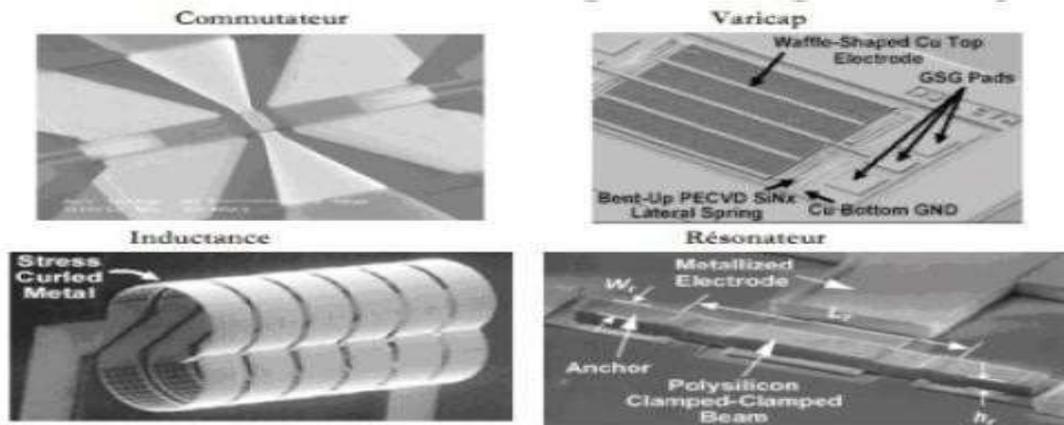


Figure 4 : Exemples de composants MEMS [4].

#### 4.4 Commutateurs Optiques

L'utilisation des photoconducteurs dont la commande est optique peut nous éviter le recours aux circuits de polarisation complexes (nécessaires pour contrôler les diodes PIN par exemple) qui peuvent perturber le comportement de l'antenne. Les photoconducteurs offrent aussi l'avantage d'être très rapides.

Un exemple de commutateur optique de dimension  $1 \times 2 \times 0.3 \text{ mm}^3$  est présenté dans [1.12]. Yadav et al.

ont proposé une antenne conçue sur un substrat FR4 d'épaisseur 1.5mm représentée sur la Figure 5. L'antenne se compose de cinq arcs et bras chacun à  $72^\circ$  avec un patch circulaire de rayon 4.5 mm au centre.

Lorsque le laser est désactivé, les commutateurs sont à l'état Off. Lorsque le laser est en état de marche, fonctionnant à 200mW, le silicium conduit et les gaps sont comblés, augmentant ainsi la longueur de l'antenne et permettant de produire trois fréquences de résonance différentes entre 2 et 4GHz.

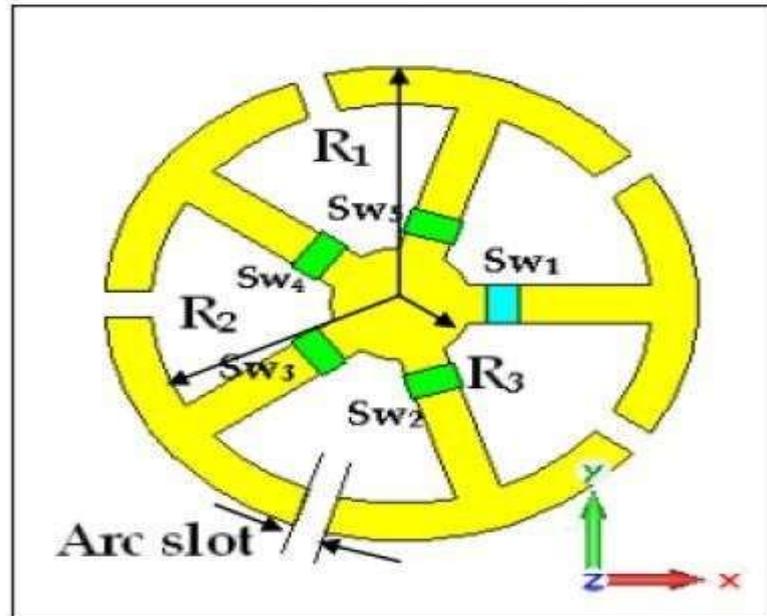


Figure 5 : Vue de dessus de l'antenne agile en utilisant des photoconducteurs.

#### 4.5 Matériaux Agiles

Les matériaux dits « agiles » ou encore « intelligents » sont utilisés le plus souvent 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. Quelques études ont été réalisées utilisant des propriétés de matériaux différents notamment les matériaux ferroélectriques, ferromagnétiques et les cristaux liquides. Ils offrent l'avantage d'être peu encombrants et de plus en plus facilement intégrables. Néanmoins, rendre ces matériaux agiles n'est pas une tâche facile ; la commande est difficilement intégrable, de grandes tensions doivent être appliquées sur les matériaux, les dispositifs d'alimentation sont complexes, les pertes sont assez importantes et les temps de réponse sont élevés.

L'antenne reconfigurable en fréquence présentée dans la Figure 6 [5] est mise en œuvre en utilisant un substrat de silicone extensible TC5005.

Le patch extensible est fabriqué par l'injection d'un alliage de métal liquide dans un réservoir Galinstan carré fabriqué dans le substrat en élastomère de silicone. La longueur électrique de l'antenne patch varie en fonction de l'étirement. Un réglage de fréquence de 1.3 à 3 GHz et une efficacité maximale de rayonnement mesurée de 80 % sont obtenus [6].

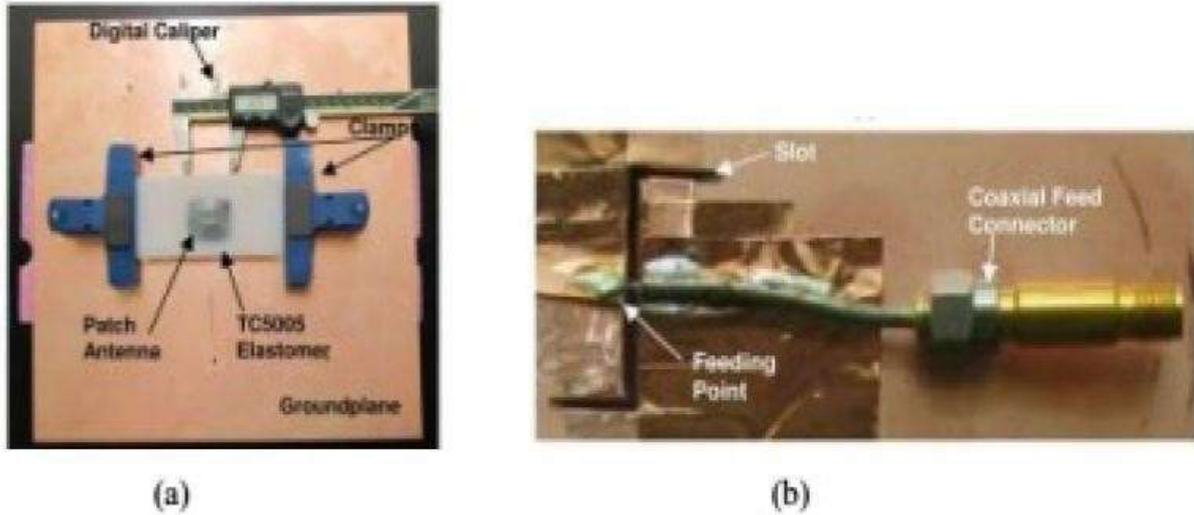


Figure 6 : (a) Prototype de l'antenne utilisant un substrat de silicone extensible TC5005.(b) Vue de dessus et vue de dessous [7].

**5 .Classification des antennes reconfigurables :**

Il existe plusieurs critères pour classer les antennes reconfigurables figure 7, dans ce chapitre nous adoptons une classification selon la fonctionnalité. Nous obtenons donc trois grandes familles:

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

La combinaison de deux fonctionnalités ou plus reste possible.

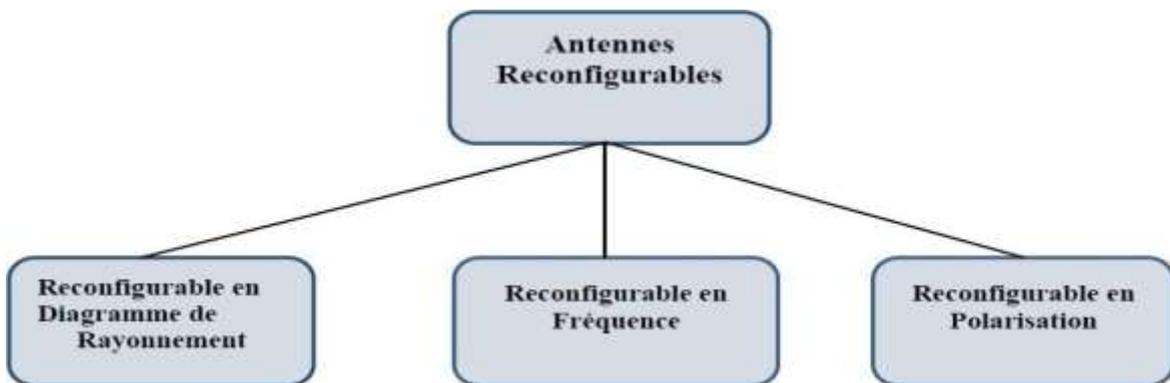


Figure 7 : Schéma des types d'antennes reconfigurables

## 5.1 Aperçu sur les Antennes

Une antenne est un dispositif électrique qui assure l'adaptation entre une source électrique et l'espace libre en émission, et c'est l'inverse en réception. Le principe de réciprocité stipule qu'une antenne peut être utilisée indifféremment en émission ou en réception.

Afin de bien appréhender le fonctionnement des antennes agiles, nous présentons dans cette section un rappel sur quelques caractéristiques fondamentales de l'antenne.

### 5.1.1 Comportement Fréquentiel

#### a. Impédance d'entrée

L'antenne est considérée généralement comme un circuit résonnant dont la fréquence de résonance est déterminée à partir des valeurs de l'inductance  $L$  et de la capacité  $C$  liées à ses structures, à ses dimensions et aux éléments ajoutés.

On définit la qualité d'adaptation d'une antenne soit en donnant son impédance d'entrée  $Z_i(\omega)$  (souvent 50 ou 75  $\Omega$ ), soit en donnant son niveau de coefficient de réflexion ( $\Gamma$ )

L'impédance d'entrée complexe de l'antenne est donnée par l'expression suivante :

$$Z_i(\omega) = R(\omega) + jX(\omega)$$

Avec - R: la résistance

- X: la réactance

-  $\omega = 2\pi f$

#### b. Coefficient de Réflexion et Pertes de Retour

Le coefficient de réflexion est le rapport entre l'onde réfléchie en entrée de l'antenne et l'onde incidente. Il dépend de l'impédance d'entrée  $Z_{in}(\omega)$  de l'antenne et de l'impédance caractéristique de la ligne de transmission  $Z_0$  tel que :

$$\Gamma = \frac{Z_i(\omega) - Z_0}{Z_i(\omega) + Z_0}$$

Ainsi les pertes de retour (par réflexion) dites aussi Return Loss (en anglais) s'en déduisent:

$$RL = -20 \log |\Gamma|$$

**c. Rapport d'Onde Stationnaire et Bande Passante**

L'adaptation de l'antenne est aussi souvent caractérisée par le Rapport d'Ondes Stationnaires ROS (en anglais: Voltage Standing Wave Ratio VSWR). Lorsqu'il y a désadaptation, la réflexion d'une partie de l'onde incidente et l'addition avec l'onde incidente conduit à l'apparition d'un régime d'ondes stationnaires dans la ligne d'alimentation de l'antenne. L'amplitude de cette onde stationnaire n'est pas constante le long de la ligne. Le ROS est le rapport entre l'amplitude maximale et l'amplitude minimale de cette onde stationnaire, il s'écrit sous la forme suivante :

$$ROS = \frac{v_{max}}{v_{min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

**d. Bande Passante**

La bande passante d'une antenne correspond à la bande de fréquence où le transfert d'énergie de l'alimentation vers l'antenne (ou de l'antenne vers le récepteur) est maximal. La bande passante peut être définie en fonction du coefficient de réflexion (il n'y a pas de critères précis pour la limite). Un critère typique est d'avoir un coefficient de réflexion inférieure à -10dB (ou encore un  $ROS \leq 2$ ) sur la bande passante comme nous pouvons le voir sur la Figure 8

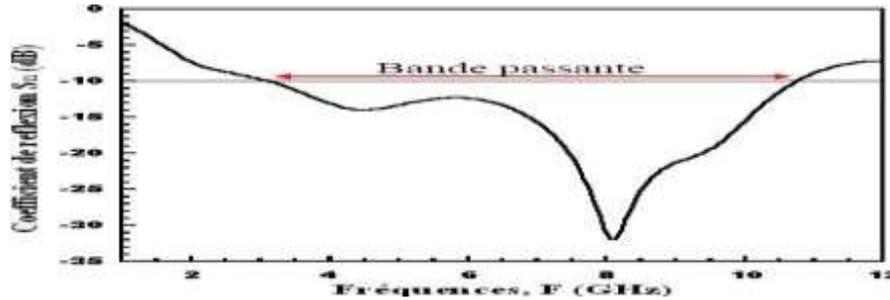


Figure 8 Bande passante.

**5.1.2. Les Caractéristiques de Rayonnement**

**a. Diagramme de Rayonnement**

Le diagramme de rayonnement représente les variations de la puissance rayonnée par l'antenne dans les différentes directions de l'espace et indique les directions privilégiées; dans lesquelles la puissance rayonnée est maximale. Il existe des diagrammes de rayonnement quasi-omnidirectionnels ou directifs comme illustré dans la Figure 9 [1.13, 1.15]. La notion d'antenne isotrope, antenne rayonnant uniformément dans toutes les directions de l'espace, est tout à fait théorique.

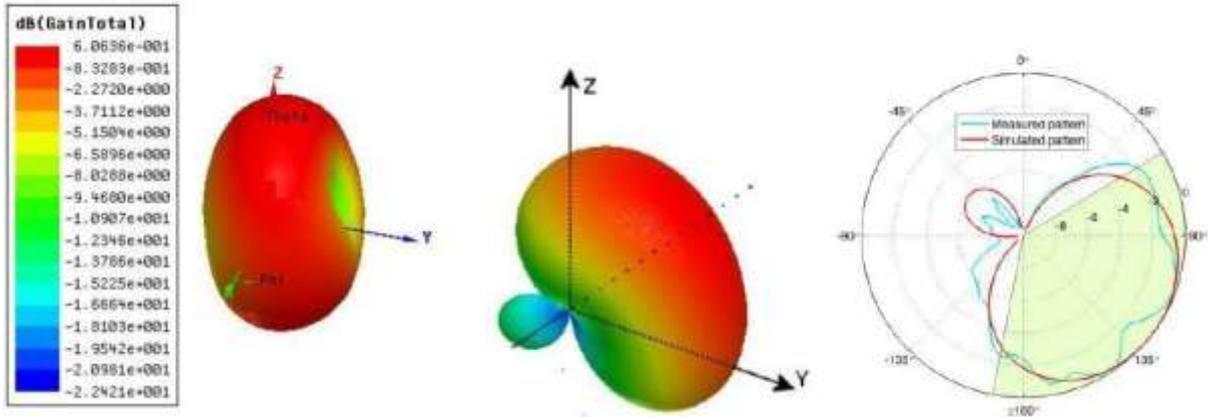


Figure 9 Diagramme de rayonnement: (a) 3D omnidirectionnelle; (b) 3D directif et (c) 2D directif.

**b. Rendement ou Efficacité**

Le rendement  $\eta$  d'une antenne traduit sa capacité à transmettre la puissance électrique en entrée PF en puissance rayonnée PR. C'est le rapport entre la puissance totale rayonnée par une antenne et la puissance qui lui est fournie.

Le rendement d'une antenne est défini ainsi :

$$\eta = \frac{P_R}{P_F}$$

**c. La Directivité**

La directivité (parfois appelée gain directionnel) caractérise la manière dont l'antenne concentre son rayonnement dans une partie de l'espace. C'est le rapport de la puissance rayonnée dans une direction donnée à la puissance moyenne que rayonnerait l'antenne isotrope sans tenir compte des pertes. Elle est définie par l'expression suivante :

$$D(\theta, \varphi) = \frac{P(r, \theta, \varphi)}{P_{iso}}$$

$P_{iso}$  Est la densité de puissance émise par une antenne isotrope qui aurait la même puissance Émise.

$$P(r, \theta, \varphi)$$

**d. Gain**

Le gain  $(\theta, \varphi)$  d'une antenne dans une direction  $(\theta, \varphi)$  est le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction donnée  $P(\theta, \varphi)$  sur la puissance que rayonnerait une antenne isotrope sans pertes. Cette propriété caractérise la capacité d'une antenne à focaliser la

Puissance rayonnée dans une direction. Il s'exprime en dBi (décibels par rapport à l'antenne isotrope).

$$G(\theta, \varphi) = \eta D(\theta, \varphi)$$

### e. PIRE

Dans un système de communication radio la puissance isotrope rayonnée équivalente (PIRE ou EIRP en anglais), est définie dans la direction de l'antenne où la puissance émise est maximale : c'est la Puissance qu'il faudrait appliquer à une antenne isotrope pour obtenir le même champ dans cette direction.

$$PIRE = P_{max} \times Gain$$

### F. Polarisation

La polarisation d'une onde EM est le type de trajectoire que décrit l'extrémité du champ E au cours du temps. Il existe deux types de polarisation :

- Polarisation linéaire (verticale ou horizontale): Le champ E n'a qu'une composante variant sinusoidalement: sa trajectoire est donc un segment de droite. Un dipôle génère classiquement une onde EM polarisée linéairement.
- Polarisation elliptique : correspond au cas général d'un champ E comprenant *deux* composantes d'amplitudes et de phases quelconques.

**Remarque** : la polarisation circulaire est un cas particulier de la polarisation elliptique. Le champ E a deux composantes de même amplitude et déphasées de 90 degrés et son extrémité décrit un cercle.

#### 5.1.3 Antennes reconfigurables en fréquence

Le développement de la téléphonie mobile a permis l'émergence de nouvelles méthodes permettant de réaliser des antennes reconfigurables en fréquence. En effet, leur intégration assure une augmentation de la fonctionnalité des dispositifs ainsi qu'une diminution significative du nombre global de fonctions RF utilisées, ce qui rend le système plus efficace et moins coûteux.

Afin de rendre une antenne agile en fréquence, il est nécessaire d'intégrer des éléments actifs accordables qui permettent de modifier la longueur électrique effective de l'antenne. Ces éléments intégrés peuvent être des condensateurs variables dont la valeur de la capacité varie en fonction d'un champ électrique externe (diode varactor ou condensateurs à base de matériaux dont les propriétés électriques peuvent être

Modifiées). Les antennes intégrant de tels éléments présentent une fréquence de fonctionnement pouvant balayer une bande de fréquence de manière continue.

Une seconde technique est basée sur des commutateurs (les diodes PIN, les transistors à effet de champ FET, les photodiodes, les MEMS ou des commutateurs à base de matériaux à transition isolant-métal). Cette technique permet de varier la fréquence de résonance de l'antenne de manière discrète. Il existe aussi des antennes reconfigurables en fréquence qui combinent les deux réglages, continu et discret [08].

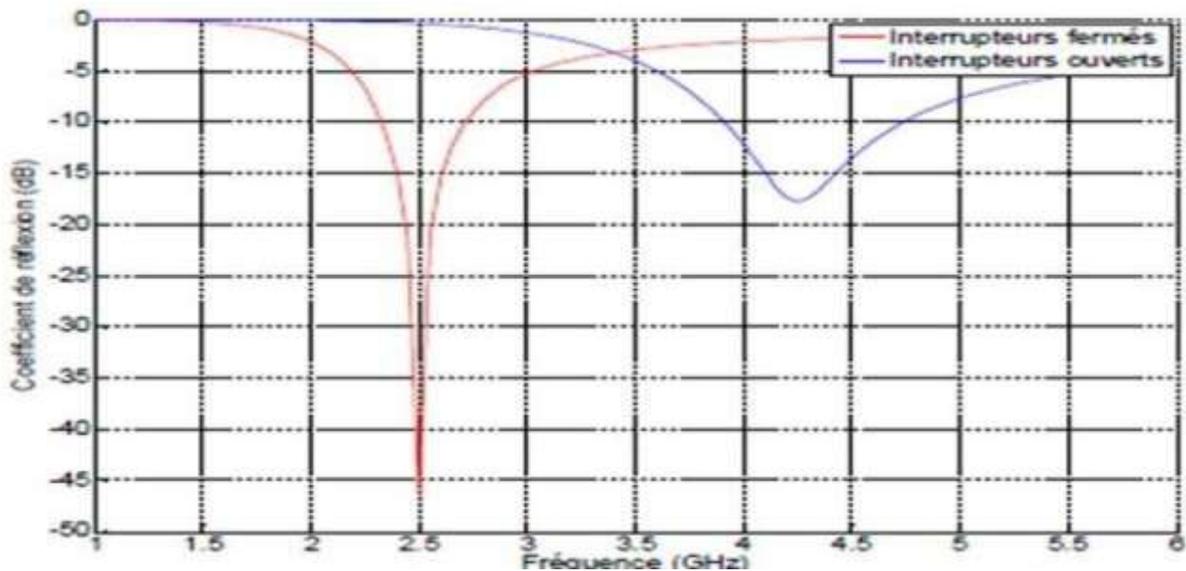


Figure 10: Coefficients de réflexion dipôle reconfigurable [09].

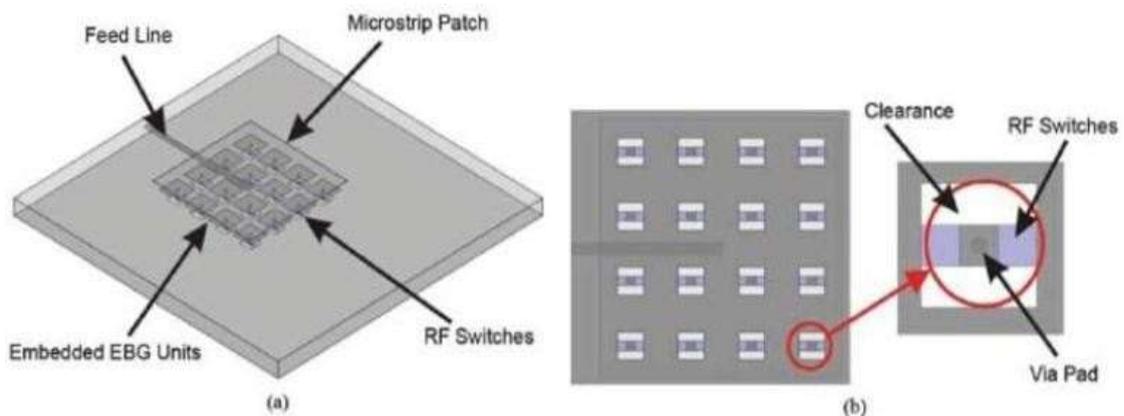


Figure 11: Antenne patch reconfigurable en fréquence sur substrat EBG [03].

### 5.1.4 Antennes reconfigurables en diagramme de rayonnement

En général, la reconfigurabilité du rayonnement s'effectue en modifiant la forme,

La direction, ou le gain des diagrammes de rayonnement afin d'atteindre ou éviter certaines directions. Ce type de reconfiguration peut être utilisé pour éviter les sources de bruit ou le brouillage électronique, améliorer la sécurité, et économiser l'énergie en changeant la directivité vers les utilisateurs visés. Par conséquent, ce type de reconfiguration est un candidat prometteur pour renforcer le signal dans une direction souhaitée ou éviter les signaux qui viennent des directions non souhaitées. En outre, la reconfiguration du diagramme de rayonnement sera très utile pour les applications de RC afin d'effectuer le balayage spatial et d'assurer la communication dans une direction précise. Ce type de reconfiguration est basé sur l'utilisation d'un seul élément rayonnant ou d'un réseau d'antennes.

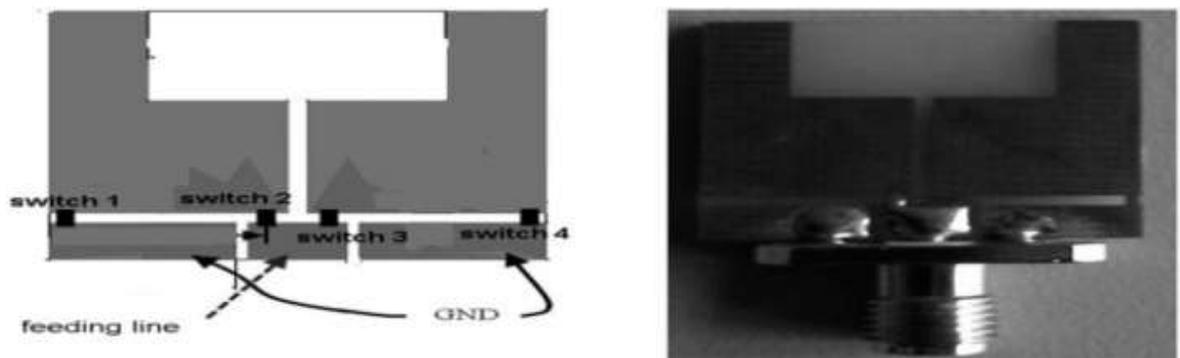


Figure 12 : L'antenne agile en diagramme de rayonnement [7].

### 5.1.5 Antenne reconfigurable en polarisation

Le dernier type de reconfiguration correspond à la modification de la polarisation de l'antenne. La reconfiguration de polarisation peut s'avérer utile pour réaliser des liaisons sans fil plus fiables et robustes. Pour cela, on cherche généralement à modifier le sens ou la phase des courants circulant sur l'élément rayonnant, sans les altérer afin de ne pas perturber les autres caractéristiques de l'antenne (mêmes fréquences de résonance et même rayonnement). Il s'agit de modifier uniquement l'orientation vectorielle du champ E.

Les techniques utilisées pour les 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.

Un exemple d'antenne à diversité de polarisation réglée à 26 GHz, employant des MEMS, est présenté dans [10]. Dans ce design, un commutateur MEMS est placé sur une antenne patch micro ruban avec une alimentation dans le coin pour exciter deux modes

Orthogonaux. Les commutateurs se composent d'une bande mobile métallique suspendue. Quand la bande métallique est suspendue au-dessus de l'encoche, l'antenne rayonne une onde polarisée circulairement. En utilisant la mise en action électrostatatique, la bande en métal peut être abaissée pour créer une antenne ayant une polarisation linéaire duale (Figure II.16a).

Un autre exemple d'antenne reconfigurable est l'antenne patch avec des fentes commutables, le "patch antenna with switchable slots" ou "PASS" développée par l'UCLA.

[11] (Figure 13). L'antenne PASS se compose d'une antenne patch en technologie microruban dans laquelle sont découpées une ou plusieurs fentes. Un commutateur (diode ou MEMS RF) est inséré au centre de la fente pour contrôler le comportement des courants. Quand le commutateur est à l'état OFF, les courants en pointillé blanc sur la Figure II.16b sont obligés de contourner la fente. Quand le commutateur est dans l'état ON, le courant peut suivre le chemin plus court ainsi créé. La reconfiguration de polarisation est réalisée en incluant deux fentes orthogonales dans le patch. L'actionnement des commutateurs entraîne une polarisation circulaire droite ou gauche. L'antenne PASS a été également utilisée pour réaliser la reconfiguration par commutation entre deux bandes de fréquence [12].

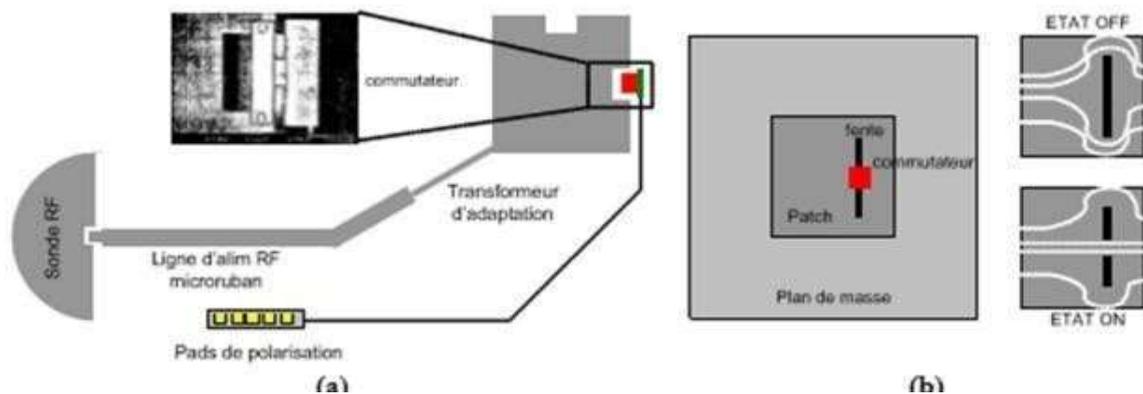


Figure 13 : (a) Antenne patch à bord commuté et (b) Antenne PASS de l'UCLA [1].

## 6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les antennes reconfigurables dont le Développement est en plein essor en raison des nouvelles fonctionnalités qu'elles proposent. La définition, les techniques d'agilité ainsi qu'une classification de ces antennes reconfigurables ont alors été présentées.

# CHAPITRE II

Antennes Planaires

Reconfigurables

---

## 1. INTRODUCTION

Avec la maturité de la technologie de communication de cinquième génération, plusieurs nouvelles bandes de communication sans fil ont été approuvées pour utilisation, mais la division des points de fréquence 5G dans différents pays et régions présente également une situation décentralisée. Même limités à la bande sub-6, les utilisateurs doivent pouvoir basculer librement entre des dizaines de combinaisons de fréquences pour l'utilisation de réseaux transfrontaliers et multi-opérateurs.

Face aux exigences croissantes en matière d'adaptation et de sélection des fréquences dans les équipements terminaux, l'idée d'étendre aveuglément la largeur de bande de l'antenne pour couvrir davantage de plages de fréquences est devenue de plus en plus limitée.

Il existe un grand nombre de résultats de recherche sur les antennes reconfigurables en fréquence [5-10]. De plus, les antennes reconfigurables en fréquence présentent de nombreux avantages par rapport aux antennes traditionnelles, tels que la simplification et miniaturisation, qui peuvent changer la fréquence [11-12].

Dans cette étude, une antenne monopole planaire reconfigurable en fréquence, qui peut être appliquée aux équipements terminaux de communication mobiles 5G est étudiée.

Par rapport à l'antenne décrite dans la Réf. [13], la commutation de fréquence de l'antenne décrite dans cet article au moyen de diodes PIN a un faible coût matériel, et sa méthode de contrôle de la commutation de fréquence est simple.

### 2. Géométrie de l'antenne

La structure géométrique de l'antenne étudiée est décrite dans la Figure 14. L'antenne présentée ayant une dimension  $30 \text{ mm}^3 \times 20 \text{ mm}^3 \times 1.6 \text{ mm}^3$  est conçue sur un substrat FR-4 de

1.6 mm d'épaisseur. Le substrat a une permittivité relative  $s_r = 4.5$  et une tangente de perte  $\tan \delta = 0.025$ , soutenue par plan de masse métallique tronqué pour obtenir un meilleur gain, un bon rendement et une meilleure directivité. Pour l'insertion des switches à diode PIN, un espace de 1 mm a été conservé entre les plaques conductrices. Une ligne micro ruban de 3 mm de large ayant une impédance caractéristique de  $50 \Omega$  est utilisée pour exciter l'antenne. Les dimensions de l'antenne étudiée sont présentées dans le Tableau 1

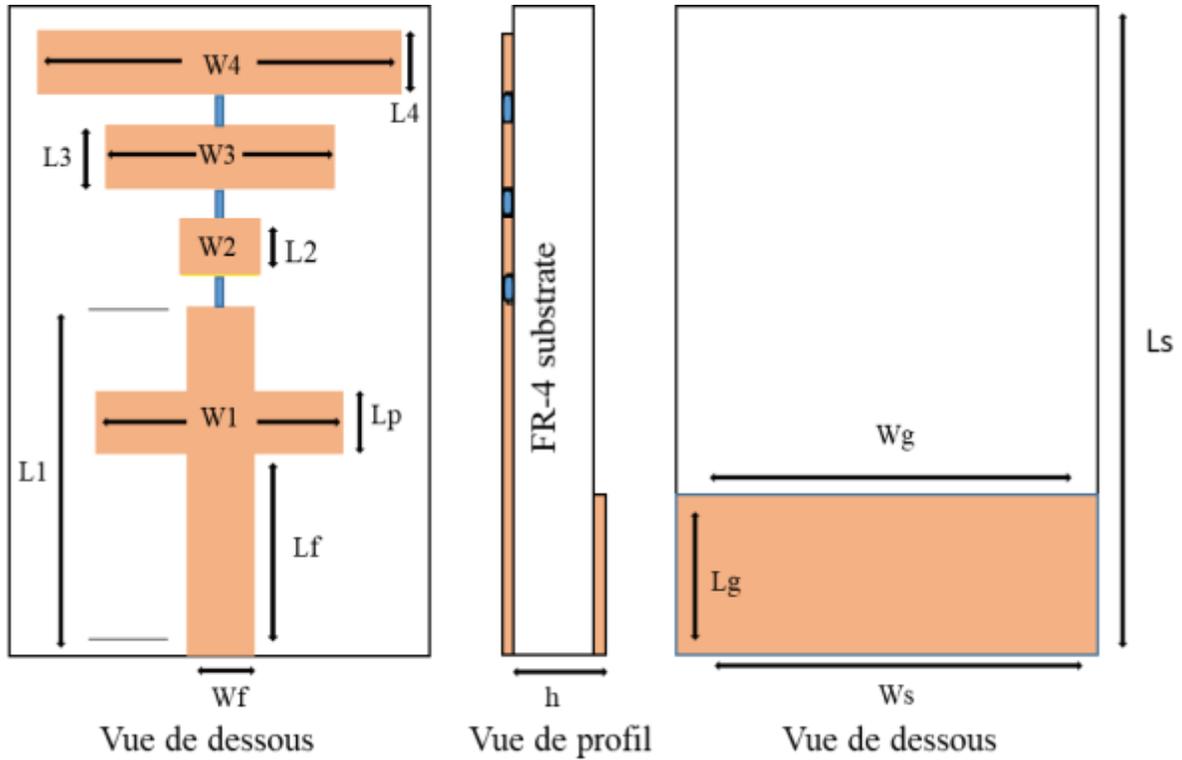


Figure 14 : La géométrie de l'antenne étudiée

**Tableau 1** : Dimensions de l'antenne étudiée

Paramètres	Valeurs (mm)	Paramètres	Valeurs (mm)
Ws	20	L2	1.5
Ls	30	L3	2
Wg	30	L4	2
Lg	9.5	W1	11
Wf	3	W2	3.4
Lp	2	W3	9
Lf	13.5	W4	16
L1	21	h	1.6

Les longueurs de résonance effectives pour les fréquences prévues sont calculées en utilisant la théorie du modèle de ligne de transmission [13]. La longueur effective de l'antenne correspondant aux bandes de résonance respectives à un quart de la longueur d'onde guidée (c'est-à-dire,  $f \approx \lambda_f / 4$ ).

### 3. Technique de commutation à diode PIN

Pour la commutation, trois diodes PIN modèle Skyworks SMP1345-079LF sont utilisées, car elles se comportent comme une résistance variable dans la plage des radiofréquences (RF). Ces diodes PIN ont le comportement circuit ouvert et court-circuit à leurs positions, ainsi varier la longueur de résonance effective de l'antenne et entraîne donc la reconfiguration de la fréquence de fonctionnement de l'antenne. Les circuits équivalents pour les états ON et OFF d'un switch de diode PIN sont montrés dans la Figure 15.

➤ Etat ON : le circuit électrique équivalent est simplement un circuit RL série ayant une résistance de faible valeur «  $R_L$  » et une inductance «  $L$  ».

➤ Etat OFF : le circuit électrique équivalent est un circuit RLC, ayant une inductance «  $L$  » en parallèle avec une valeur élevée de résistance «  $R_h$  » et une capacité «  $C$  ». La diode PIN de modèle ci-haut est utilisée dans ce travail. Selon sa fiche technique, elle est modélisée sous HFSS. Les paramètres et les valeurs sont détaillées dans le Tableau 2.

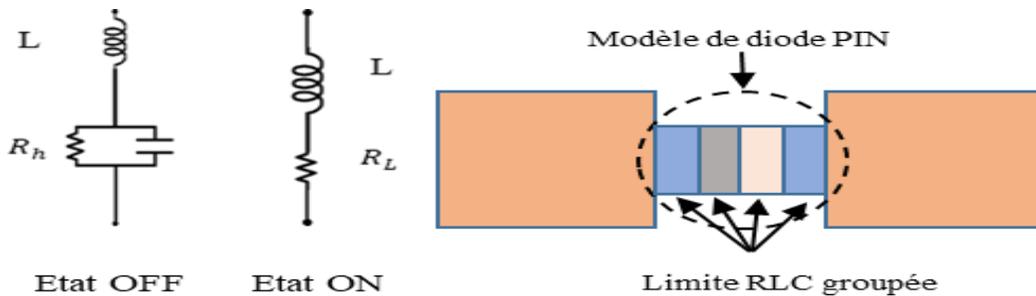


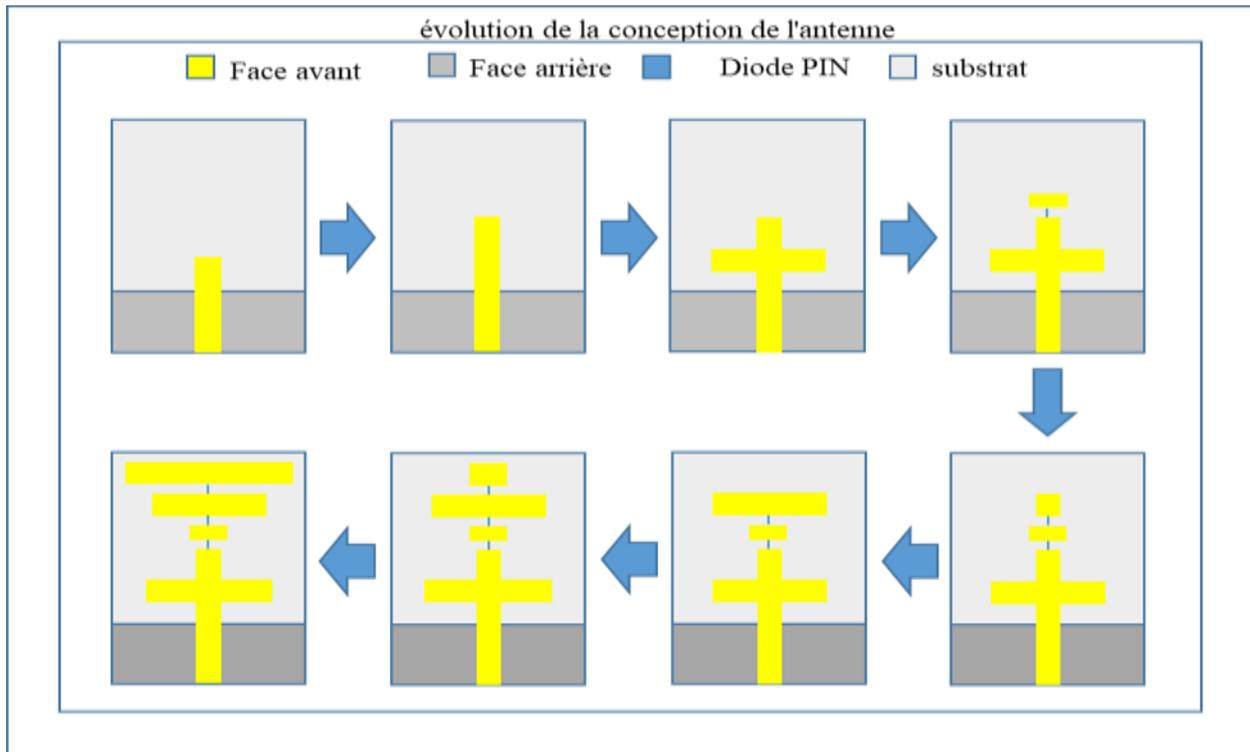
Figure 15 : Modèle de diode PIN et ses circuits équivalents pour les états ON et OFF

Tableau 2. Valeurs des éléments RLC du circuit électrique équivalent de la diode PIN selon les états ON et OFF

Etat de la diode	Valeurs des éléments RLC	
ON	$L=0.7 \text{ nH}$	$R_L=1.5 \Omega$
OFF	$L=0.7 \text{ nH}$	$R_h = 1 \text{ k}\Omega$
		$C=0.15 \text{ pF}$

#### 4. Évolution de la conception

L'évolution de la conception de l'antenne étudiée comporte plusieurs étapes, comme le montre la figure 16. Toutes les étapes ainsi que leur caractéristique de perte de retour sont illustrées dans la Figure 16 suivante



**Figure 16** : Le processus d'évolution mettant en évidence les différentes étapes de conception de l'antenne étudiée

La première structure consiste en un seul patch possédant une seule résonance  $F_{r1} = 4.8 \text{ GHz}$  en ajoutant deux autres patches on ajoute deux résonances correspondantes  $F_{r1} = 4.8 \text{ GHz}$   $F_{r2} = 7.8 \text{ GHz}$ , pour l'étape 3 : trois résonances  $F_{r1} = 4.8 \text{ GHz}$   $F_{r2} = 4.8 \text{ GHz}$   $F_{r3} = 4.8 \text{ GHz}$ .

Pour la structure finale construite de trois patch conducteur reliés par des diodes PIN, Dans ce cas les résultats sont représentés dans les figures suivantes :

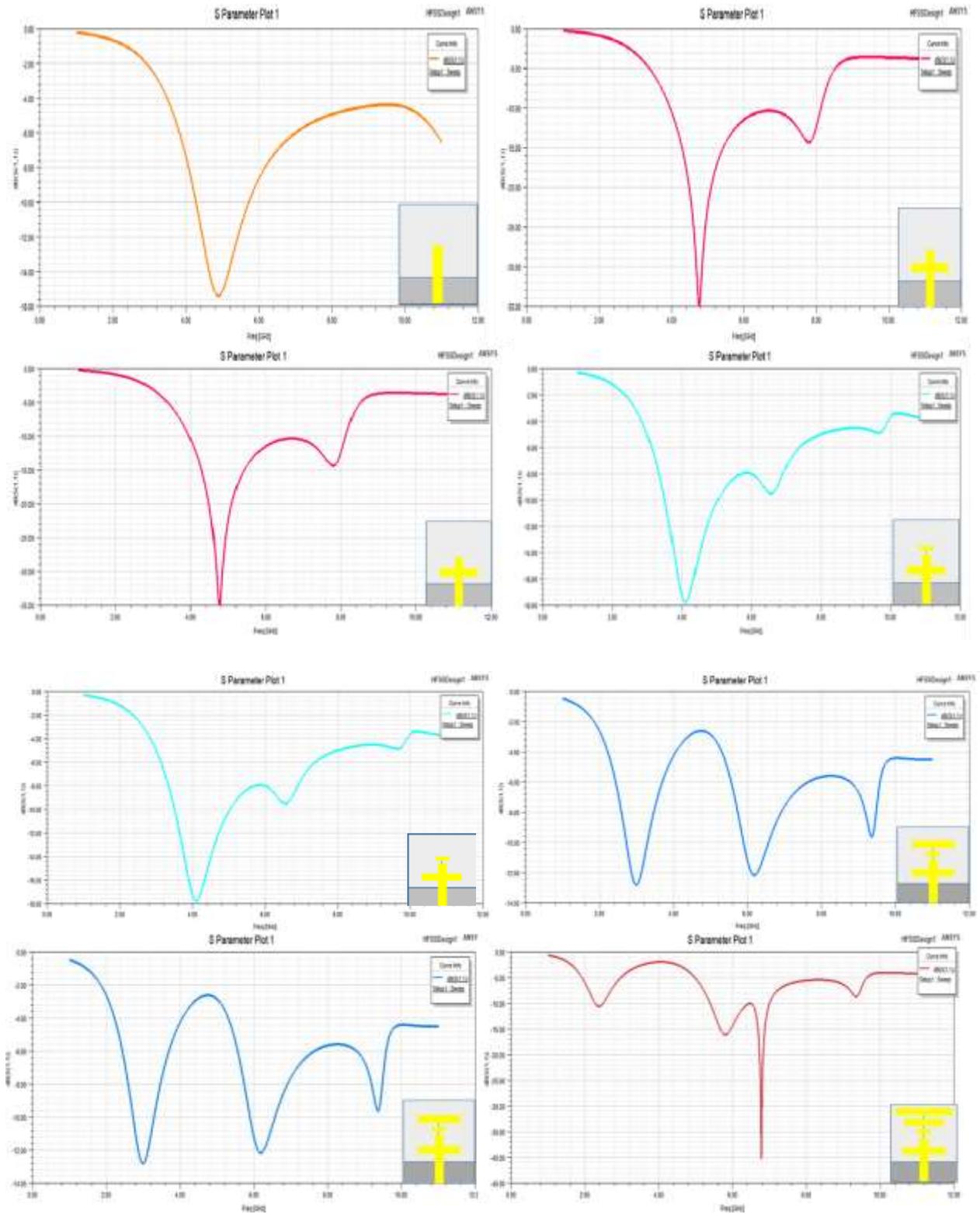


Figure 17 : Le processus d'évolution

## 5. Résultats numériques et commentaires

Nous présentons dans ce paragraphe les résultats numériques de simulation et les commentaires pour chacun des huit modes illustrées ci-haut, les résultats porteront sur les caractéristiques des antennes à savoir :

- Le coefficient de réflexion
- Le diagramme polaire de rayonnement 2D/3D
- L'impédance d'entrée
- Distribution surfacique du courant électrique sur les conducteurs

Dans l'antenne étudiée, la reconfigurabilité de la fréquence est obtenue en changeant les états ON et OFF de chaque diode PIN qui offre un comportement de circuit ouvert et de court-circuit entre les patches rayonnants. L'antenne présentée possède huit modes de fonctionnement correspondant aux huit combinaisons des trois diodes, chacun ayant un schéma unique de fréquences de résonance.

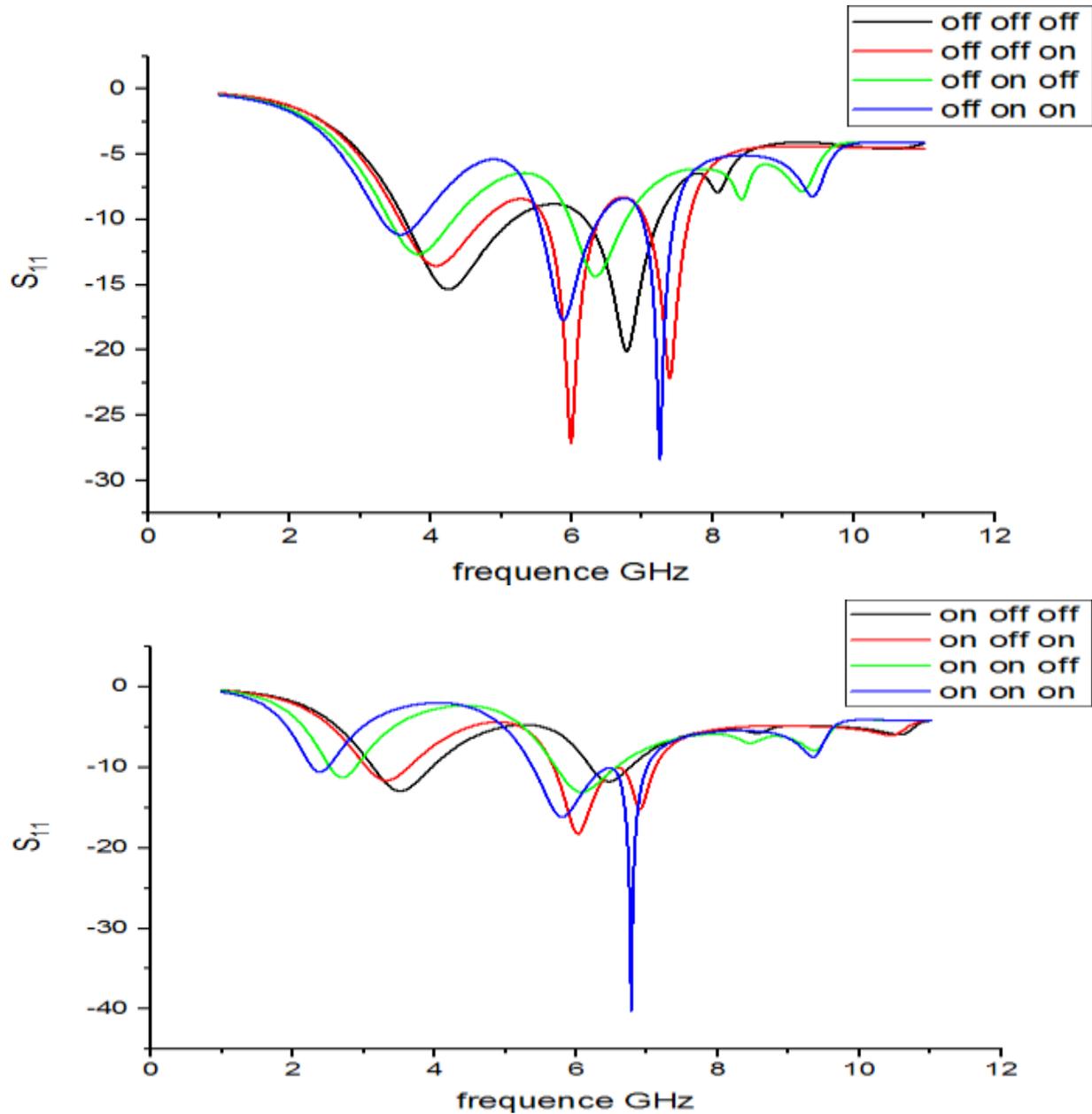


Figure 18 : coefficients de réflexion  $S_{11}$  pour différentes modes de fonctionnement

Les conditions des diodes PIN à chaque mode et les bandes de résonance respective sont détaillées dans le Tableau. 3

**Tableau 3 :** Fréquence de résonance selon l'état des trois diodes

Etat de diodes			Nombre de bande	Fréquence Centrale (GHZ)
SW1	SW2	SW3		
OFF	OFF	OFF	02	4.24, 6.74
OFF	OFF	ON	03	4.06, 5.99, 7.39
OFF	ON	OFF	02	3.83, 6.34
OFF	ON	ON	03	3.56, 5.88, 7.25
ON	OFF	OFF	02	3.51, 6.46
ON	OFF	ON	03	3.32, 6.02, 6.90
ON	ON	OFF	02	2.70, 6.08
ON	ON	ON	03	2.39, 5.81, 6.78

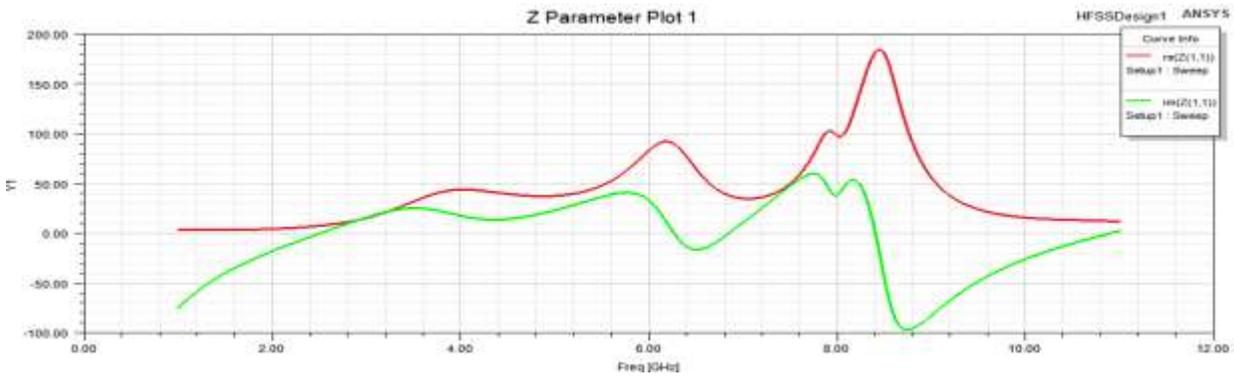
**Tableau 4 :** modes de résonance et bandes de fréquence correspondantes selon l'état des diodes

Les modes	Etat de diodes			Fréquence Centrale (GHZ)	Bandes de fréquence
	SW1	SW2	SW3		
<b>Mode 1</b>	OFF	OFF	ON	4.06 5.99 7.39	[3.56-4.76] [5.62-6.38] [7.04-7.66]
	OFF	ON	ON	3.56 5.88 7.25	[3.31, 6.86] [5.54, 6.38] [7.00, 7.46]
	ON	OFF	ON	3.32 6.02 6.90	[3.05, 3.62] [5.69, 6.59] [6.62, 7.11]
	ON	ON	ON	2.39 5.81 6.78	[2.27, 2.50] [5.39, 6.38] [6.53, 6.99]
<b>Mode 2</b>	OFF	OFF	OFF	4.24 6.74	[3.62, 5.17] [6.14, 7.18]
	OFF	ON	OFF	3.83 6.34	[3.41, 4.32] [5.98, 6.77]
	ON	OFF	OFF	3.51 6.46	[3.14, 3.96] [6.21, 6.76]
	ON	ON	OFF	2.70 6.08	[2.53, 2.88] [5.71, 6.56]

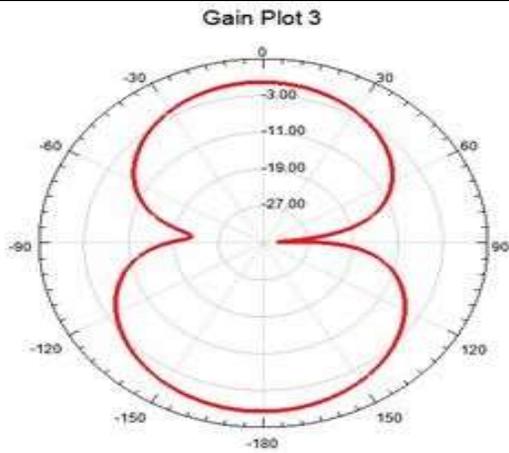
**5.1 Etat 1 : OFF-OFF-OFF**

En mode 1(SW1 à SW3=OFF), bande 1 la Fréquence centrale est : 4.24 GHz les fréquences latérales basse et haute sont (3.62 et 5.17) GHz respectivement et une largeur de bande de 1550 MHz, bande 2 la Fréquence centrale est : 6.74 GHz les fréquences latérales basse et haute sont (6.14 et 7.18) GHz respectivement sont une largeur de bande de 1040MHz

**Impédance d'entrée**



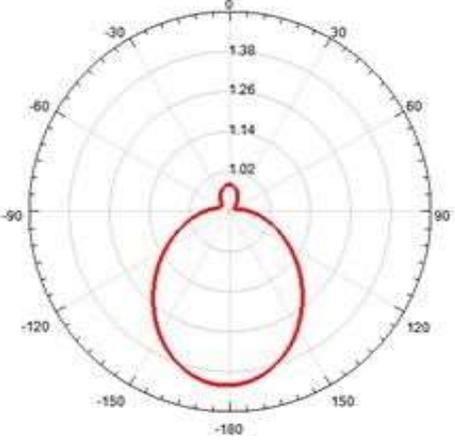
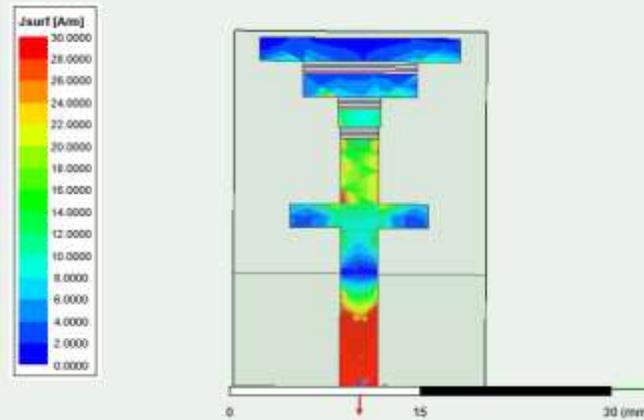
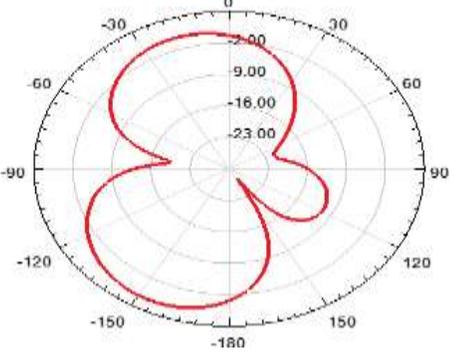
**MODE 1 (OFF OFF OFF)**

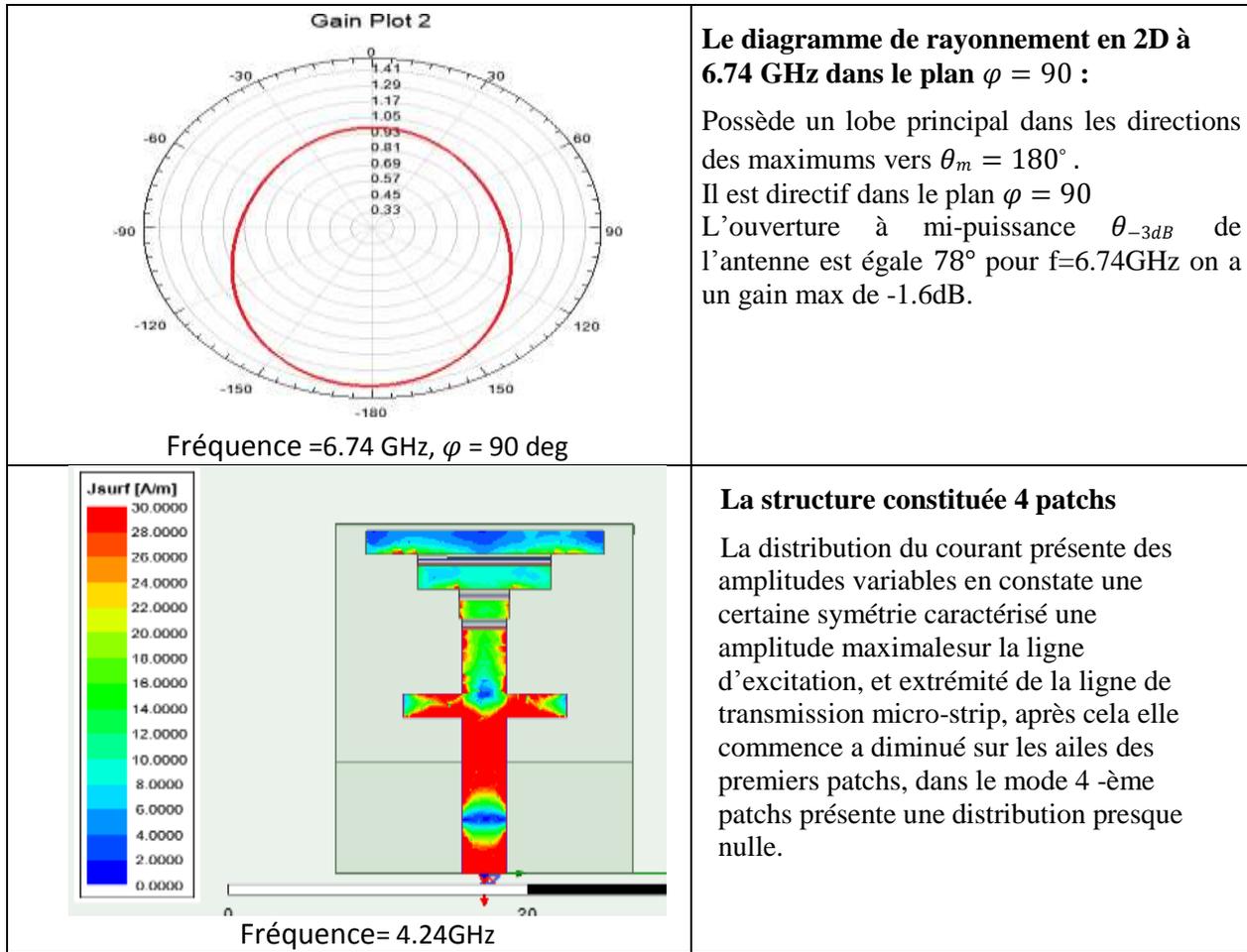


Fréquence=4.24 GHz, = 0 deg

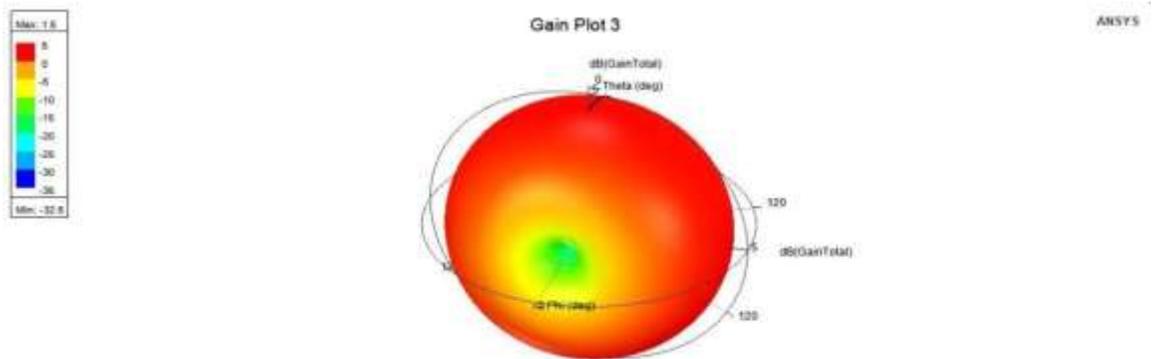
**Le diagramme de rayonnement en 2D à 4.24 GHz dans le plan  $\phi = 0$  :**

Possède deux lobes principaux dans les directions des maximums vers  $\theta_m = 0^\circ$  et  $\theta_m = 180^\circ$ ,  
 Il est bidirectionnel dans le plan  $\phi = 0$   
 L'ouverture à mi-puissance  $\theta_{-3dB}$  de l'antenne est égale  $77^\circ$  avec un gain max de 1.48dB.  
 Les zéros de rayonnement dans les directions  $\theta_r = 90^\circ$  et  $-81^\circ$

 <p>Gain Plot 2</p> <p>Fréquence = 4.24GHz, <math>\varphi = 90</math> deg</p>	<p><b>Le diagramme de rayonnement en 2D à 4.24 GHz dans le plan <math>\varphi = 90</math> :</b></p> <p>Possède un lobe principal dans les directions des maximums vers <math>\theta_m = 180^\circ</math>              Il est directif dans le plan <math>\varphi = 90</math>              L'ouverture à mi-puissance <math>\theta_{-3dB}</math> de l'antenne est égale <math>78^\circ</math> pour <math>f=4.24\text{GHz}</math> on a un gain max de <math>-3.11\text{dB}</math>.</p>
 <p>Fréquence = 4.24GHz</p>	<p><b>La structure constituée 4 patches</b></p> <p>La distribution du courant présente des amplitude variable en constate une certaine symétrie caractérisé une amplitude maximale sur la ligne d'excitation, avec du courant nulle a extrémité de la ligne de transmission micro-strip, après nous avons des distribution minimale sur les ailes des premier patch, dans le mode 4-ème patches présente unedistribution nulle.</p>
 <p>Gain Plot 3</p> <p>Fréquence = 6.74 GHz, <math>\varphi = 0</math> deg</p>	<p><b>Le diagramme de rayonnement en 2D à 6.74 GHz :</b></p> <p>Possède trois lobes (deux lobes principaux et un lobe secondaire) les lobes principaux dans le plan <math>\varphi = 0</math> dans les directions des maximums vers <math>\theta_m = 0^\circ</math> et <math>\theta_m = 180^\circ</math>,              Il est bidirectionnel dans le plan <math>\varphi = 0</math>              L'ouverture à mi-puissance <math>\theta_{-3dB}</math> de l'antenne est égale <math>78^\circ</math> pour <math>f=6.74\text{GHz}</math> on a un gain max de <math>-0.37\text{dB}</math>.              Les zéros de rayonnement dans les directions <math>\theta_r = 70^\circ</math> et <math>150^\circ</math> et <math>-103^\circ</math>.</p>



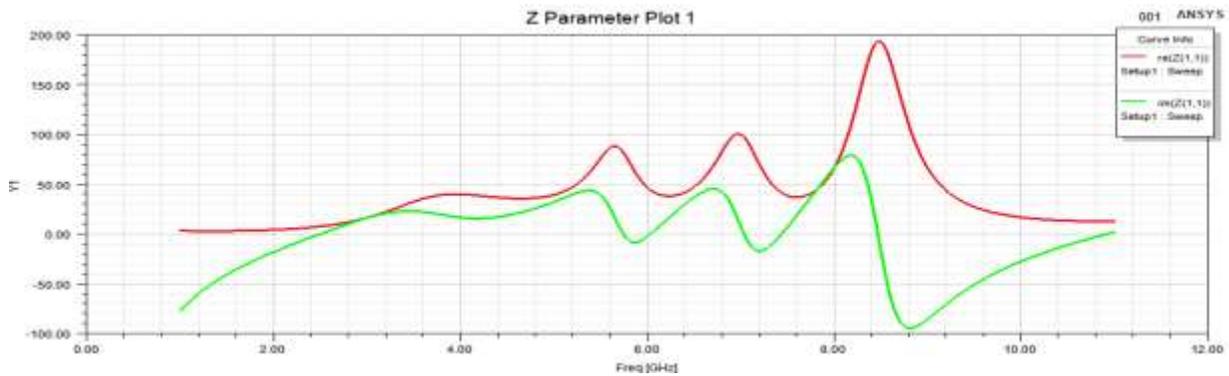
Le diagramme de rayonnement en 3D dans la fréquence 4.24 GHz représenté sur la figuresuivante :



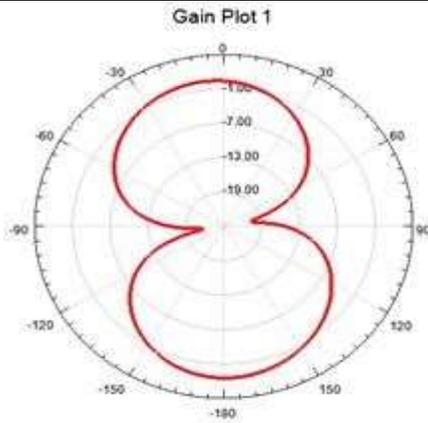
**5.2 Etat 2 : OFF-OFF-ON**

En état 2 lorsque deux interrupteurs (SW1, SW2) sont sur OFF et le SW3 est ON bande 1 la Fréquence centrale est : 4.06 GHz les fréquences latérales basse et haute sont (3.56 et 4.76)GHz respectivement sont une largeur de bande de 1200MHz ,bande 2 la Fréquence centrale est : 5.99 GHz les fréquences latérales basse et haute sont (5.62 et 6.38)GHz respectivement sont une largeur de bande de 760MHz, bande 3 la Fréquence centrale est : 7.39 GHz les fréquences latérales basse et haute sont (7.04 et 7.66)GHz respectivement sont une largeur de bande de 620MHz

**Impédance d'entrée**



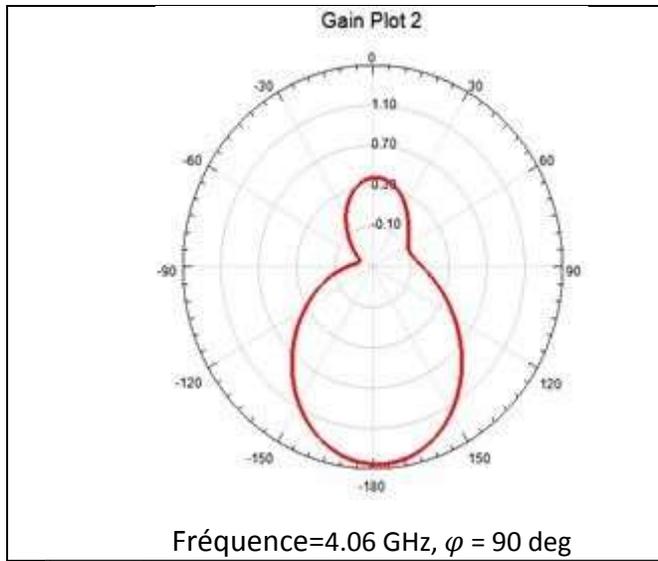
**MODE 2 (OFF OFF ON)**



Fréquence=4.06 GHz,  $\varphi = 0$  deg

**Le diagramme de rayonnement en 2D à 4.06 GHz :**

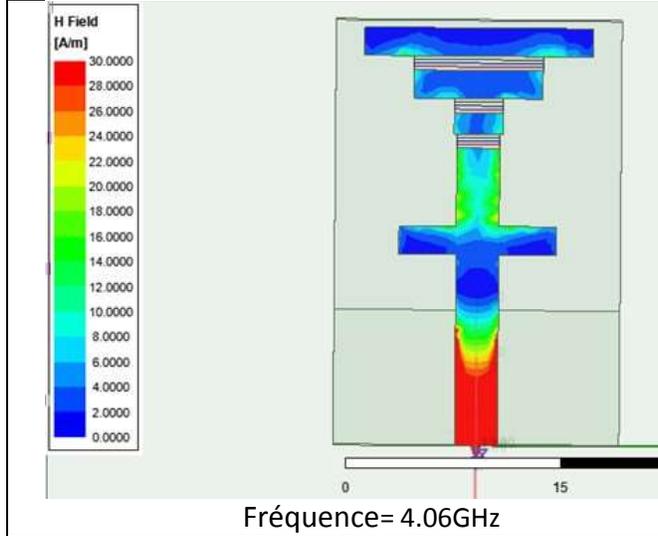
Possède deux lobes principaux dans le plan  $\varphi = 0$  dans les directions des maximums vers  $\theta_m = 0^\circ$  et  $\theta_m = 180^\circ$ , Il est bidirectionnel dans le plan  $\varphi = 0$  L'ouverture à mi-puissance  $\theta_{-3dB}$  de l'antenne est égale  $72^\circ$  pour  $f=4.06$ GHz on a un gain max de 1.42dB. Les zéros de rayonnement dans les directions  $\theta_r = -90^\circ$  et  $90^\circ$



**Le diagramme de rayonnement en 2D à 4.06 GHz dans le plan  $\varphi = 90$  :**

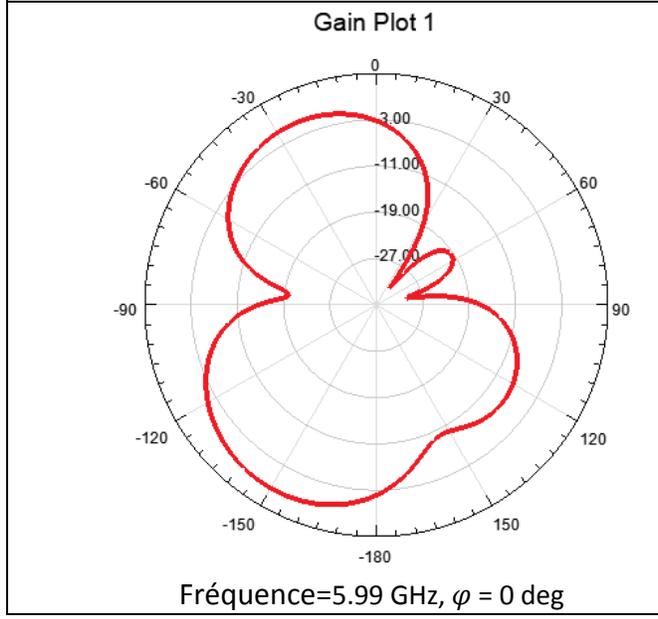
Possède un lobe principal dans les directions des maximums vers  $\theta_m = 180^\circ$ .

Il est directif dans le plan  $\varphi = 90$   
L'ouverture à mi-puissance  $\theta_{-3dB}$  de l'antenne est égale  $38^\circ$  pour  $f=4.06\text{GHz}$  ona un gain max de 1.58dB.



**La structure constituée 4 patches**

La distribution du courant présente des amplitudes variables en constate une certaine symétrie caractérisé une amplitude maximale sur la ligne d'excitation, avec du courant nulle a extrémité de la ligne de transmission micro-strip, après nous avons des distributions minimales sur les ailes des premiers patches, dans le mode 4 -ème patches présente une distribution nulle.

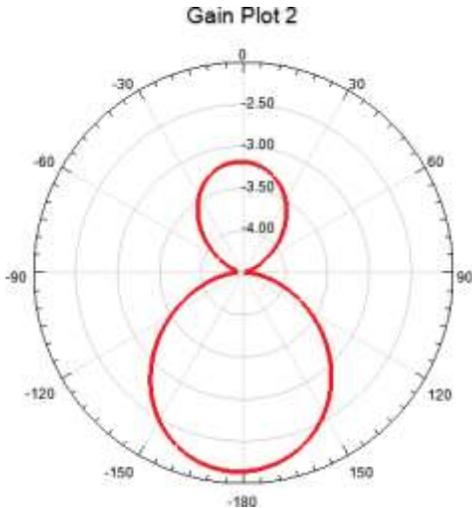


**Le diagramme de rayonnement en 2D à 5.99 GHz :**

Possède trois lobes (deux lobes principaux et un lobe secondaire) les lobes principaux dans le plan  $\varphi = 0$  dans les directions des maximums vers  $\theta_m = 0^\circ$  et  $\theta_m = 150^\circ$ ,

Il est bidirectionnel dans le plan H  
L'ouverture à mi-puissance  $\theta_{-3dB}$  de l'antenne est égale  $77^\circ$  pour  $f=5.99\text{GHz}$  ona un gain max de -2.11dB.

Les zéros de rayonnement dans les directions  $\theta_r = 70^\circ$  et  $150^\circ$  et  $-103^\circ$ .

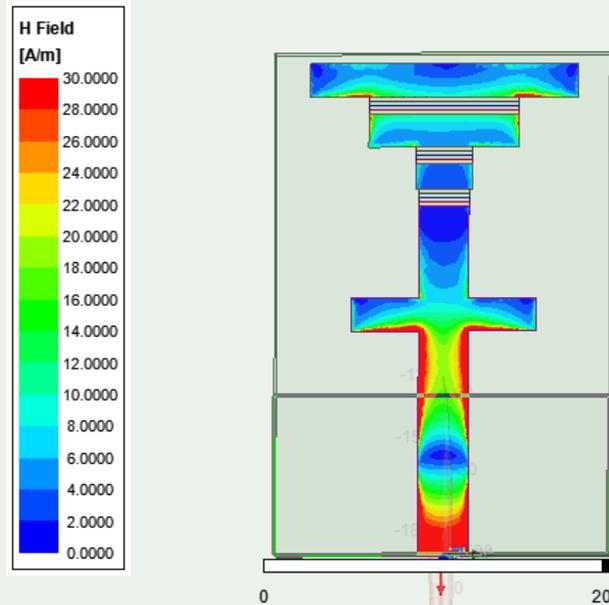


Fréquence=5.99 GHz,  $\varphi = 90$  deg

**Le diagramme de rayonnement en 2D à 5.99 GHz :**

Le diagramme et constitue deux lobes (un lobe principal dans la direction  $\theta = 180^\circ$  et un lobe secondaire sur la direction  $\theta = 0^\circ$ ) Les minimums de rayonnement se produisent pour les directions  $\theta = 90^\circ$  et  $-90^\circ$ .

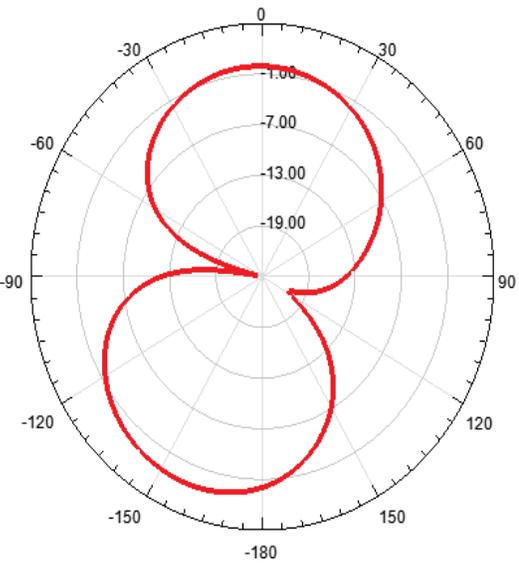
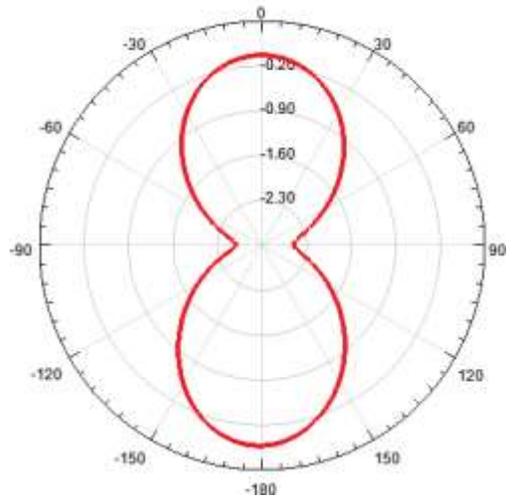
Il est directif dans la direction  $\varphi = 90$  L'ouverture à mi-puissance  $\theta_{-3dB}$  de l'antenne est égale  $39^\circ$  pour  $f=5.99\text{GHz}$  on a un gain max de  $-2.11\text{dB}$ .

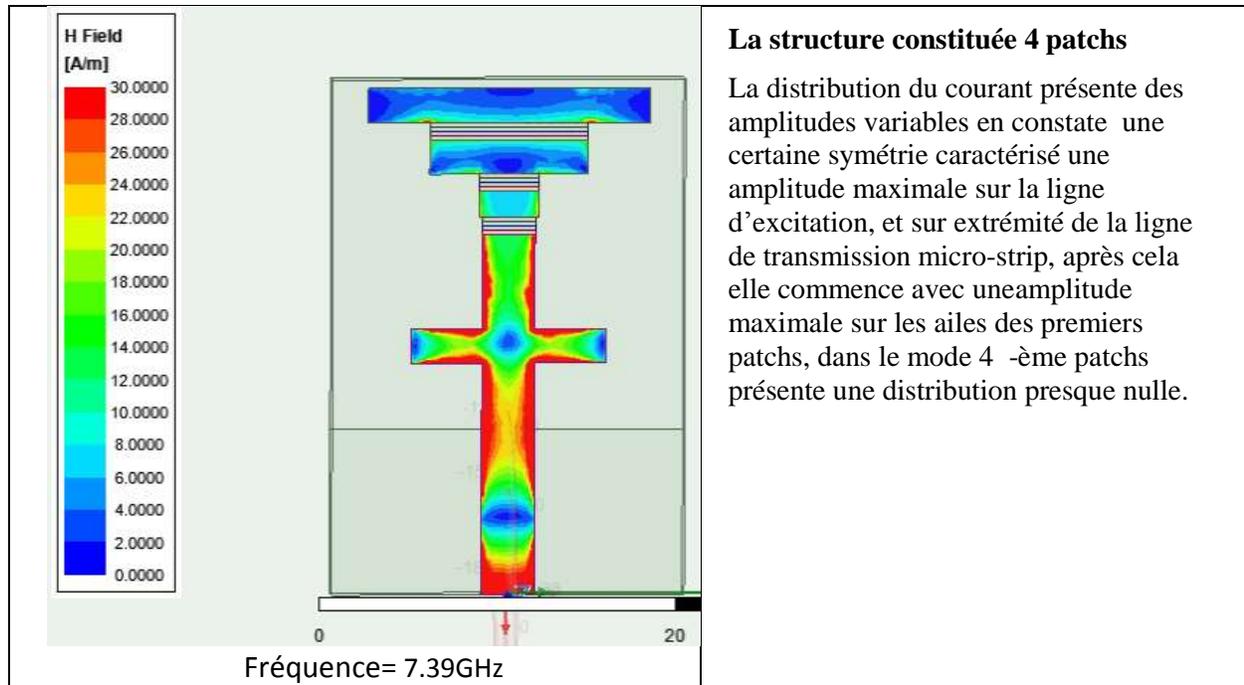


Fréquence=5.99GHz

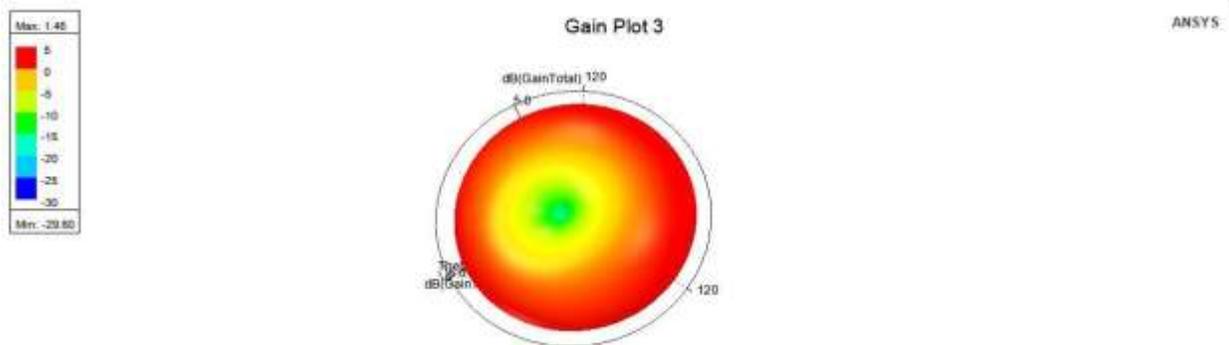
**La structure constituée 4 patchs**

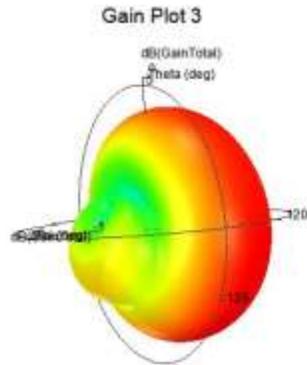
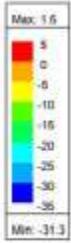
La distribution du courant présente des amplitudes variables en constate une certaine symétrie caractérisé une amplitude maximale sur la ligne d'excitation, après cela elle commence à diminuer sur de la ligne de transmission micro-strip, nous avons des distributions minimales sur les ailes des premiers patchs dans le mode 4 -ème patchs présente une distribution presque nulle.

<p style="text-align: center;"><b>Gain Plot 4</b></p>  <p style="text-align: center;">Fréquence=7.39 GHz, <math>\varphi = 0</math> deg</p>	<p><b>La structure constituée 4 patches</b></p> <p>La distribution du courant présente des amplitudes variables en constate une certaine symétrie caractérisé une amplitude maximale sur la ligne d'excitation, après cela elle commence à diminuer sur de la ligne de transmission micro-strip, nous avons des distributions minimales sur les ailes des premiers patches dans le mode 4 -ème patches présente une distribution presque nulle.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Gain Plot 2</b></p>  <p style="text-align: center;">Fréquence=7.39 GHz, <math>\varphi = 90</math> deg</p>	<p>Le diagramme et constitue deux lobes bidirectionnels dans les directions maximales <math>\theta = 180^\circ</math> et <math>\theta = 0^\circ</math></p> <p>L'ouverture à mi- puissance <math>\theta_{-3dB}</math> de l'antenne est égale <math>39^\circ</math> pour <math>f=7.39\text{GHz}</math> on a un gain max de 0.12dB.</p> <p>Les minimums de rayonnement se produisent pour les directions <math>\theta = 90^\circ</math> et <math>-90^\circ</math>.</p>

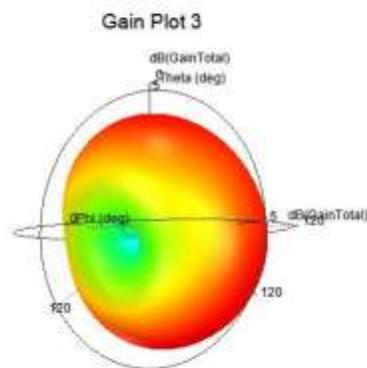


Les diagrammes de rayonnements en 3D dans les fréquences 4.06 GHz et 5.99 GHz et 7.39 GHz représenté sur les figures suivantes :





ANSYS

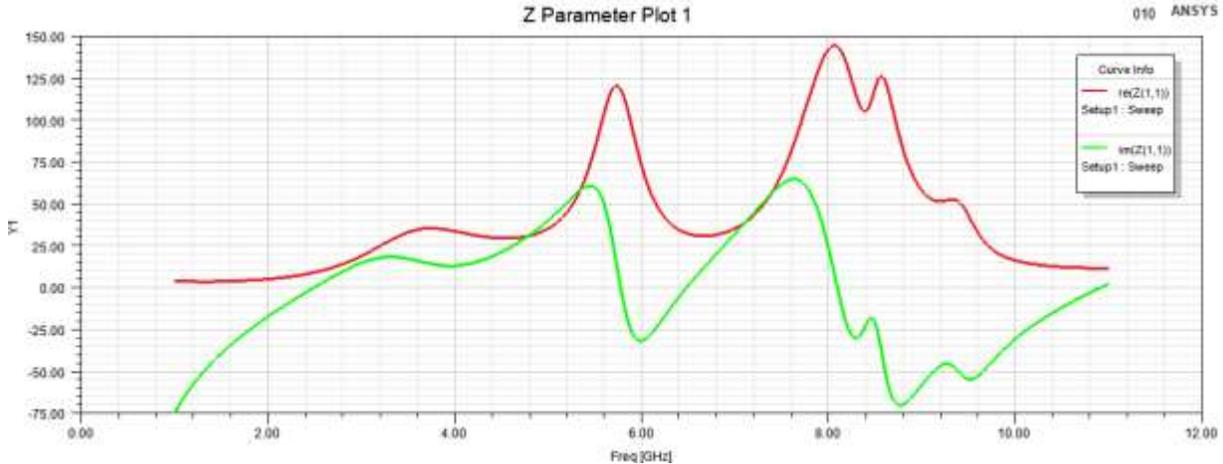


ANSYS

### 5.3 Etat 3 : OFF-ON-OFF

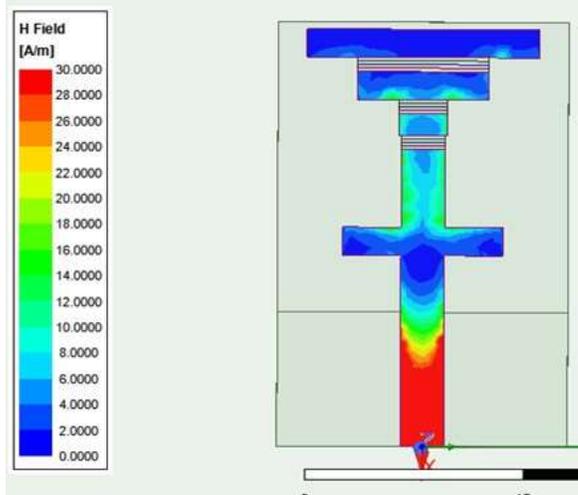
En état 3 lorsque deux interrupteurs (SW1, SW3) sont sur OFF et le SW2 est ON bande 1 la Fréquence centrale est : 3.83 GHz les fréquences latérales basse et haute sont (3.41 et 4.32) GHz respectivement sont une largeur de bande de 910MHz, bande 2 la Fréquence centrale est : 6.34 GHz les fréquences latérales basse et haute sont (5.98 et 6.77) GHz respectivement sont une largeur de bande de 790MHz,

Impédance d'entrée



MODE 3 (OFF ON OFF)

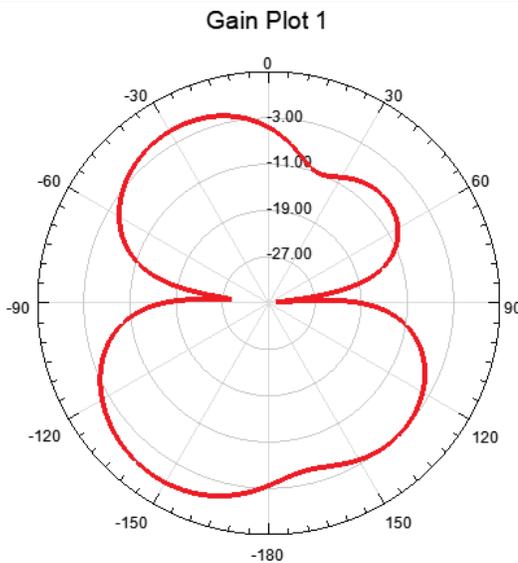
<p>Gain Plot 1</p> <p>Fréquence=3.83 GHz, <math>\varphi = 0</math> deg</p>	<p><b>Le diagramme de rayonnement en 2D à 3.83 GHz :</b></p> <p>Possède deux lobes principaux dans le plan <math>\varphi = 0</math> dans les directions des maximums vers <math>\theta_m = 0^\circ</math> et <math>\theta_m = 180^\circ</math>,              Il est bidirectionnel dans le plan <math>\varphi = 0</math> L'ouverture à mi-puissance <math>\theta_{-3dB}</math> de l'antenne est égale <math>76^\circ</math> pour <math>f=3.83\text{GHz}</math> on a un gain max de 1.28dB.              Les zéros de rayonnement dans les directions <math>\theta_r = 90^\circ</math> et <math>-100^\circ</math>.</p>
<p>Gain Plot 2</p> <p>Fréquence=3.83 GHz, <math>\varphi = 90</math> deg</p>	<p>Le diagramme et constitue deux lobes (un lobe principal dans la direction <math>\theta = 180^\circ</math> et un lobe secondaire sur la direction <math>\theta = 0^\circ</math>)              Les minimums de rayonnement se produisent pour les directions <math>\theta = 90^\circ</math> et <math>-90^\circ</math>.              Il est directif dans la direction <math>\theta = 180^\circ</math>              L'ouverture à mi-puissance <math>\theta_{-3dB}</math> de l'antenne est égale <math>39^\circ</math> pour <math>f=3.83\text{GHz}</math> on a un gain max égale 1.28dB.</p>



Fréquence=3.83GHz

**La structure constituée 4 patches**

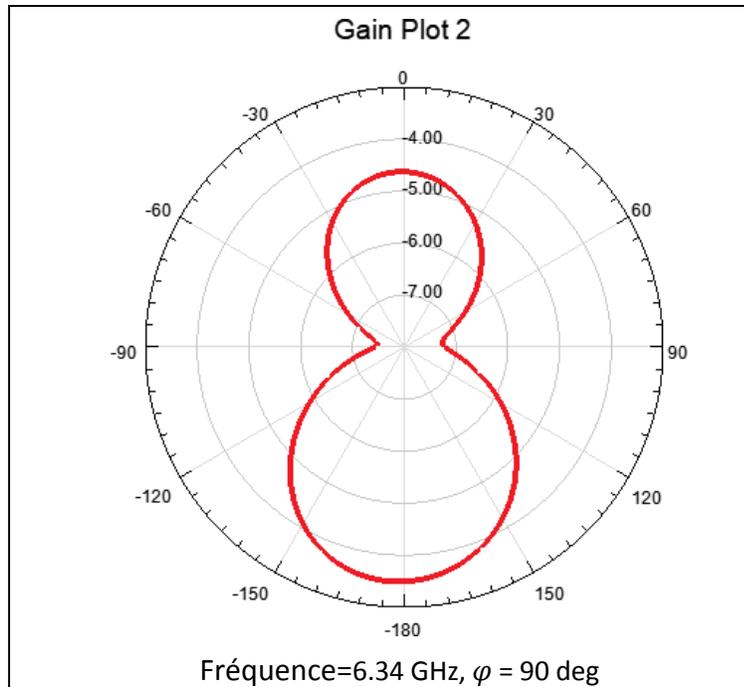
La distribution du courant présente des amplitudes variables en constate une certaine symétrie caractérisé une amplitude maximale sur la ligne d'excitation, avec du courant nulle à extrémité de la ligne de transmission micro-strip, après nous avons des distributions minimales sur les ailes des premiers patches, dans le mode 4 - ème patches présente une distribution nulle.



Fréquence=6.34 GHz,  $\varphi = 0$  deg

**Le diagramme de rayonnement en 2D à 6.34 GHz :**

Possède deux lobes principaux dans le plan  $\varphi = 0$  dans les directions des maximums vers  $\theta_m = 0^\circ$  et  $\theta_m = 180^\circ$ , Il est bidirectionnel dans le plan  $\varphi = 0$  L'ouverture à mi- puissance  $\theta_{-3dB}$  del'antenne est égale  $78^\circ$  pour  $f=6.34\text{GHz}$  on a un gain max de - 3.27dB. Les zéros de rayonnement dans les directions  $\theta_r = 90^\circ$  et  $-90^\circ$ .

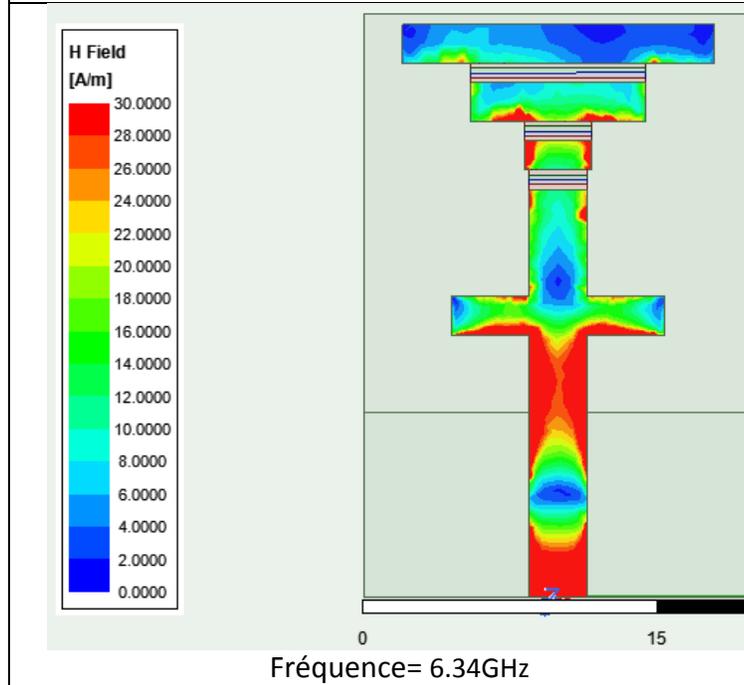


Le diagramme et constitue deux lobes bidirectionnels dans les directions maximales  $\theta = 180^\circ$  et  $\theta = 0^\circ$

L'ouverture à mi- puissance  $\theta_{-3dB}$  de l'antenne pour  $f=6.34\text{GHz}$   $\theta = 70^\circ$

On a un gain max de -3.49dB.

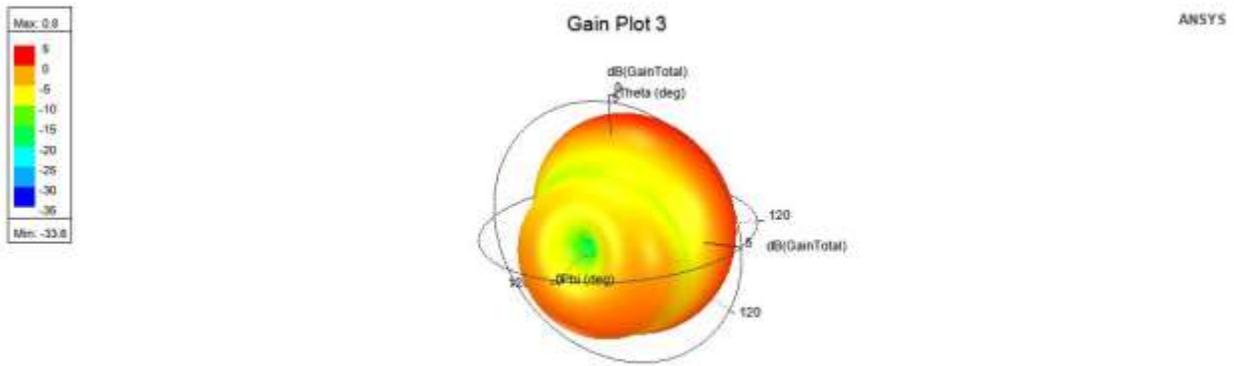
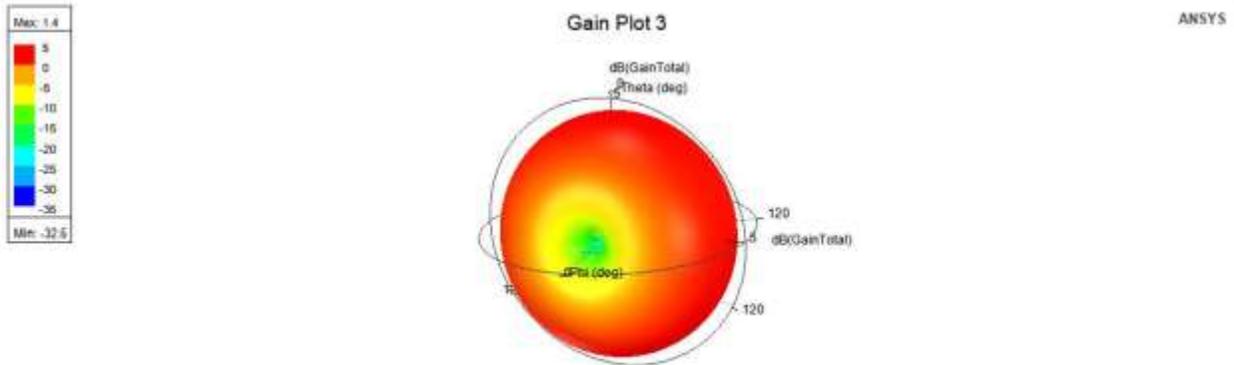
Les minimums de rayonnement se produisent pour les directions  $\theta = 90^\circ$  et  $-90^\circ$ .



#### La structure constituée 4 patches

La distribution du courant présente des amplitudes variables en constate une certaine symétrie caractérisé une amplitude maximale sur la ligne d'excitation, et sur l'extrémité de la ligne de transmission micro-strip, après cela elle commence à déminée sur les ailes des premier patch, dans le mode 4 -ème patchs présente une distribution faible par rapport a l'extrémité de la ligne de transmission.

Les diagrammes de rayonnements en 3D dans les fréquences 3.83 GHz et 6.34 GHz représenté sur les figures suivantes :

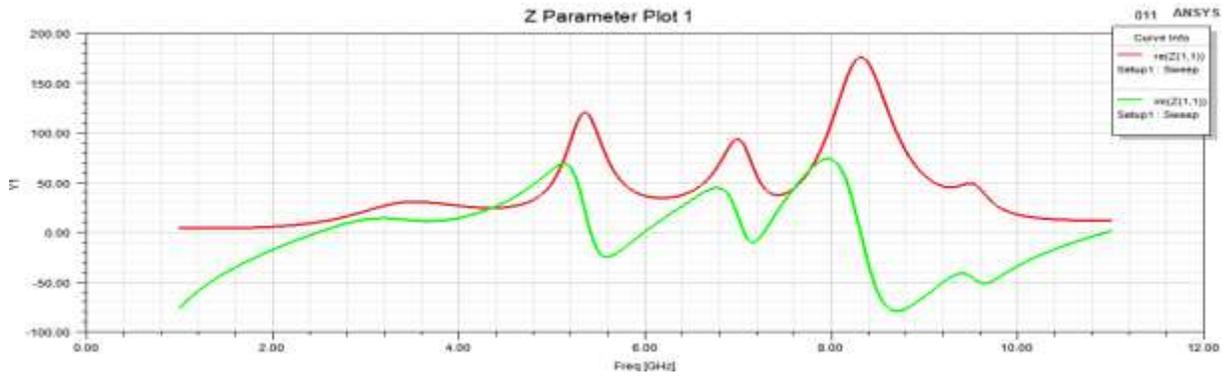


#### 5.4 Etat 4 : OFF-ON-ON

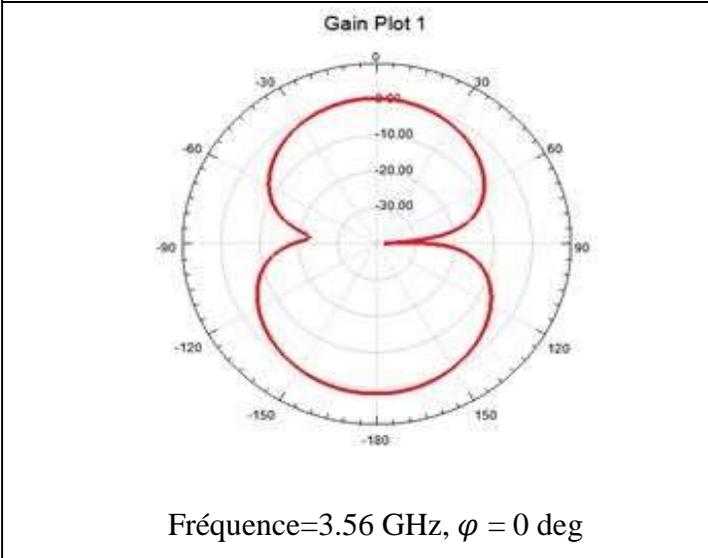
En état 4 lorsque deux switch (SW2, SW3) sont sur on et le SW1 est off bande 1 la Fréquence centrale est : 3.56 GHz les fréquences latérales basse et haute sont (3.31 et 6.86)GHz respectivement sont une largeur de bande de 3550MHz ,bande 2 la Fréquence centrale est : 5.88GHz les fréquences latérales basse et haute sont (5.54 et 6.38)GHz respectivement sont une largeur de bande de 840MHz, bande 3 la Fréquence centrale est :

7.25 GHz les fréquences latérales basse et haute sont (7.00 et 7.46)GHz respectivement sont une largeur de bande de 460MHz

**Impédance d'entrée**

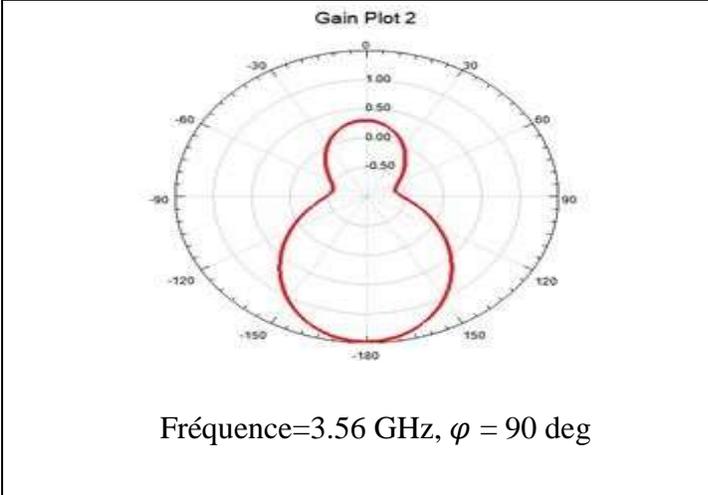


**MODE 4 (OFF ON ON)**



**Le diagramme de rayonnement en 2D à 3.56 GHz :**

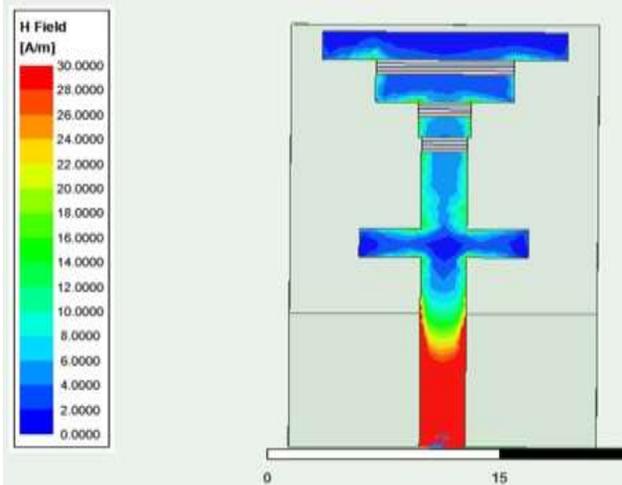
Possède deux lobes principaux dans le plan  $\varphi = 0$  dans les directions des maximums vers  $\theta_m = 0^\circ$  et  $\theta_m = 180^\circ$ ,  
 Il est bidirectionnel dans le plan  $\varphi = 0$   
 L'ouverture à mi-puissance  $\theta_{-3dB}$  de l'antenne est égale  $77^\circ$  pour  $f=3.56\text{GHz}$  on a un gain max de 1.23dB.  
 Les zéros de rayonnement dans les directions  $\theta_r = 90^\circ$  et  $-95^\circ$ .



Le diagramme et constitue deux lobes (un lobe principal dans la direction  $\theta = 180^\circ$  et un lobe secondaire sur la direction  $\theta = 0^\circ$ )

Les minimums de rayonnement se produisent pour les directions  $\theta = 90^\circ$  et  $-90^\circ$ .

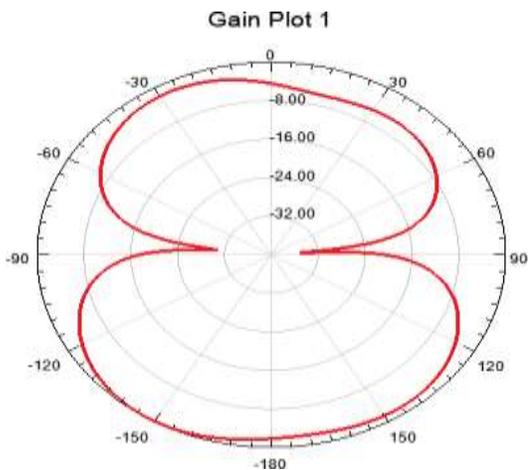
Il est directif dans la direction  $\theta = 180^\circ$   
 L'ouverture à mi- puissance  $\theta_{-3dB}$  de l'antenne est égale  $77^\circ$  pour  $f=3.56\text{GHz}$  on a un gain max de 1.24dB.



Fréquence=3.56GHz

**La structure constituée 4 patchs**

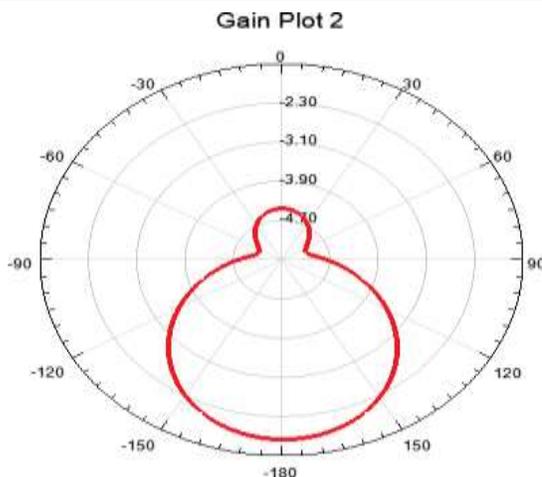
La distribution du courant présente des amplitudes variables en constate une certaine symétrie caractérisé une amplitude maximale sur la ligne d'excitation, avec du courant faible à l'extrémité de la ligne de transmission micro-strip, après nous avons des distributions minimales sur les ailes des premiers patchs, dans le mode 4 -ème patchs présente une distribution presque nulle.



Fréquence=5.88 GHz,  $\varphi = 0$  deg

**Le diagramme de rayonnement en 2D à 5.88 GHz :**

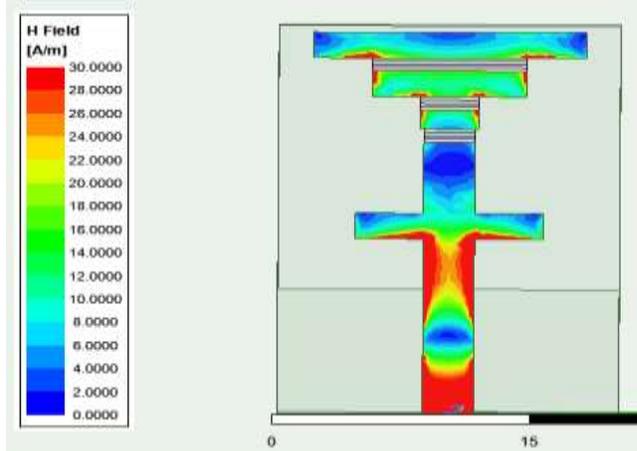
Possède deux lobes principaux dans le plan  $\varphi = 0$  dans les directions des maximums vers  $\theta_m = 0^\circ$  et  $\theta_m = 180^\circ$ , Il est bidirectionnel dans le plan H L'ouverture à mi-puissance  $\theta_{-3dB}$  de l'antenne est égale  $178^\circ$  pour  $f=5.88\text{GHz}$  on a un gain max de  $-1.88\text{dB}$ . Les zéros de rayonnement dans les directions  $\theta_r = 90^\circ$  et  $-93^\circ$ .



Fréquence=5.88 GHz,  $\varphi = 90$  deg

**Le diagramme de rayonnement en 2D à 5.88 GHz dans le plan  $\varphi = 90$  :**

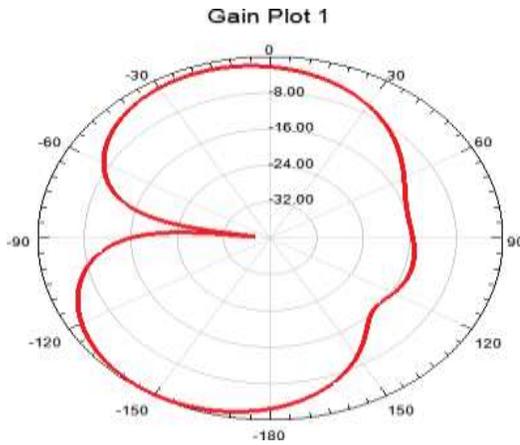
Possède un lobe principal dans la direction maximale vers  $\theta_m = 180^\circ$ . Il est directif dans le plan  $\varphi = 90$  Le gain max pour la fréquence  $f=4.24\text{GHz}$  égale  $-1.83\text{dB}$ .



Fréquence=5.88GHz

**La structure constituée 4 patches**

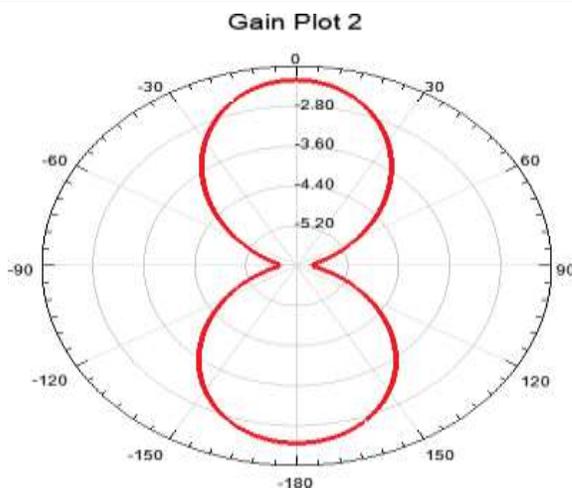
La distribution du courant présente des amplitudes variables on constate une certaine symétrie caractérisée une amplitude maximale sur la ligne d'excitation, et sur l'extrémité de la ligne de transmission microstrip. Le courant présente des valeurs modères ou élevées dans la plupart des régions conductrices. Les zones de courants faibles sont localisées dans l'extrémité de la ligne d'excitation, celle du patch no 1 et celui no 4.



Fréquence=7.25 GHz,  $\varphi = 0$  deg

**Le diagramme de rayonnement en 2D à 7.25 GHz :**

Possède deux lobes principaux dans le plan  $\varphi = 0$  dans les directions des maximums vers  $\theta_m = 0^\circ$  et  $\theta_m = -150^\circ$ , Il est bidirectionnel dans le plan  $\varphi = 0$  et présente une déformation dans la direction  $\theta_m = 90^\circ$ . L'ouverture à mi- puissance  $\theta_{-3dB}$  de l'antenne est égale  $80^\circ$  pour  $f=7.25\text{GHz}$  on a un gain max de  $-2.27\text{dB}$ . Les zéros de rayonnement dans les directions  $\theta_r = -96^\circ$ .



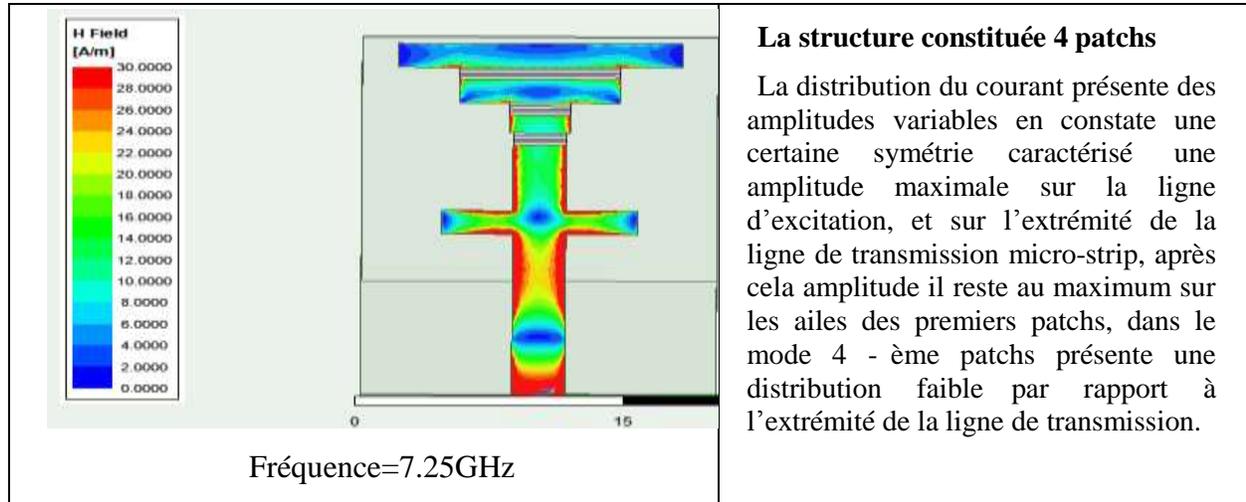
Fréquence=7.25 GHz,  $\varphi = 90$  deg

Le diagramme et constitue deux lobes monodirectionnels dans les directions maximales  $\theta = 180^\circ$  et  $\theta = 0^\circ$

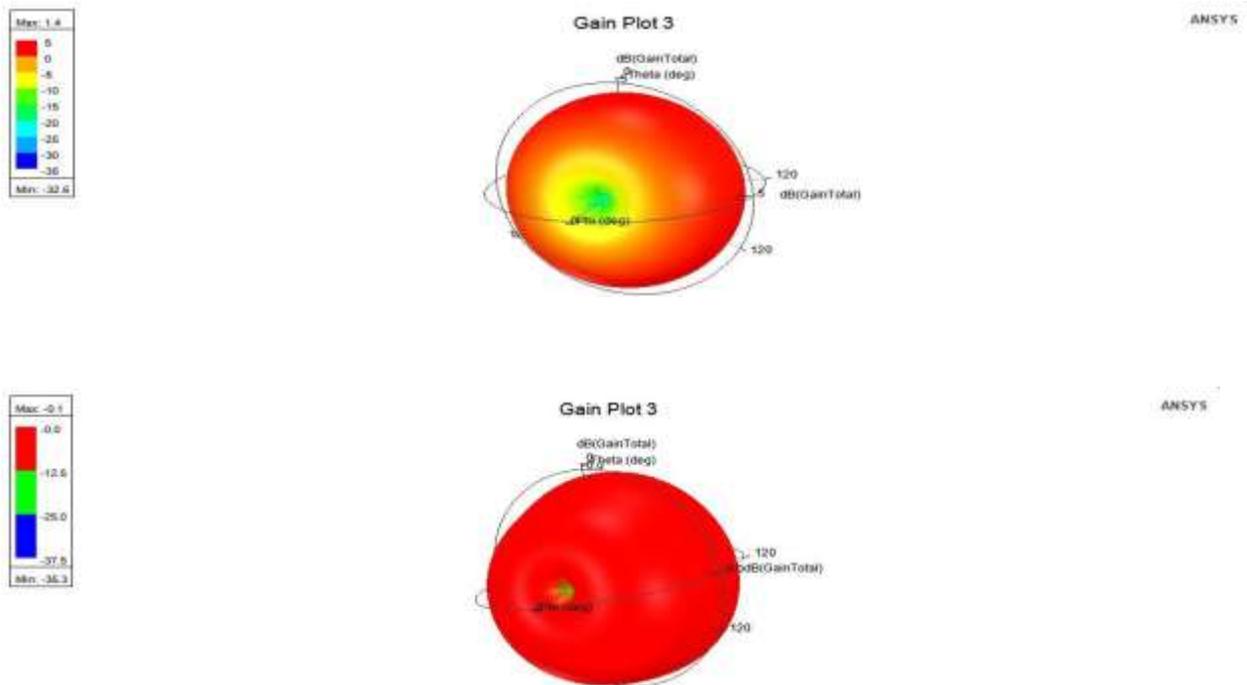
pour  $f=7.25$  GHz on a un gain max de  $-2.27\text{dB}$ .

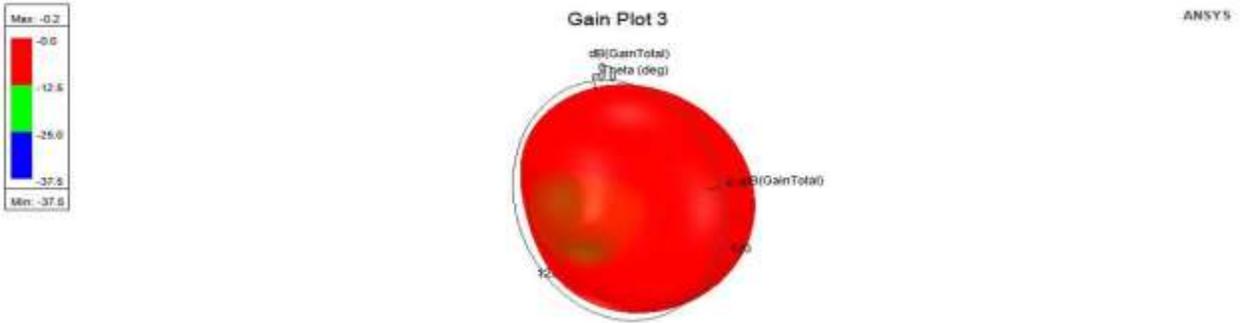
Les minimums de rayonnement se produisent pour les directions

$$\theta = 90^\circ \text{ et } -90^\circ.$$



Les diagrammes de rayonnements en 3D dans les fréquences 3.56 GHz et 5.88 GHz et 7.25 GHz représenté sur les figures suivantes :

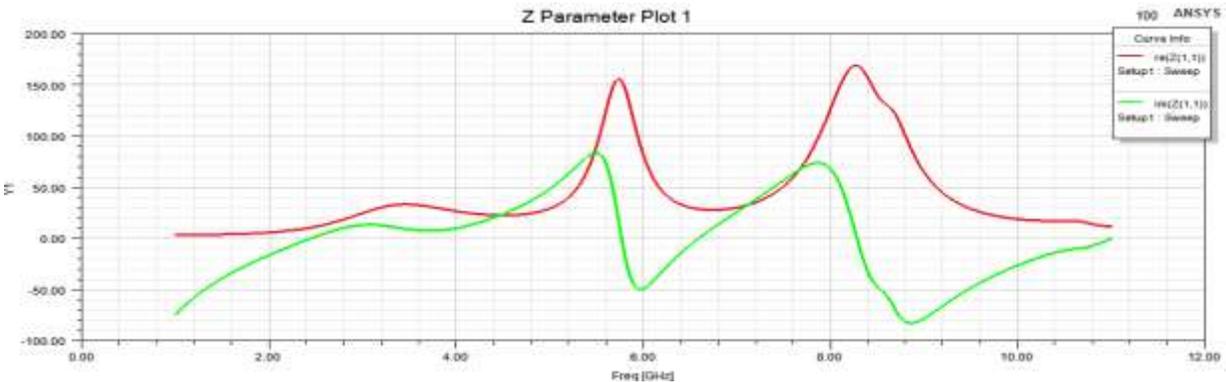




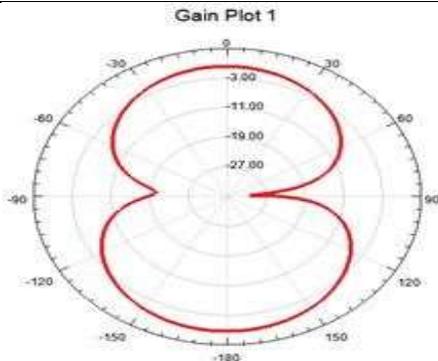
**5.5 Etat 5 : ON-OFF-OFF**

En état 5 lorsque deux interrupteurs (SW2, SW3) sont sur OFF et le SW1 est ON bande 1 la Fréquence centrale est : 3.51 GHz les fréquences latérales basse et haute sont (3.14 et 3.96) GHz respectivement sont une largeur de bande de 820MHz, bande 2 la Fréquence centrale est : 6.46 GHz les fréquences latérales basse et haute sont (6.21 et 6.76) GHz respectivement sont une largeur de bande de 550MHz,

**Impédance d'entrée**



**MODE 5 (ON OFF OFF)**



Fréquence=3.51 GHz,  $\phi = 0$  deg

**Le diagramme de rayonnement en 2D à 3.51 GHz :**

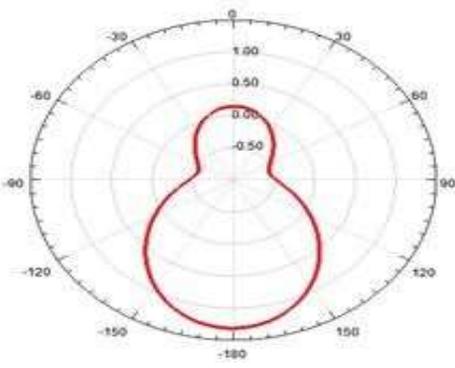
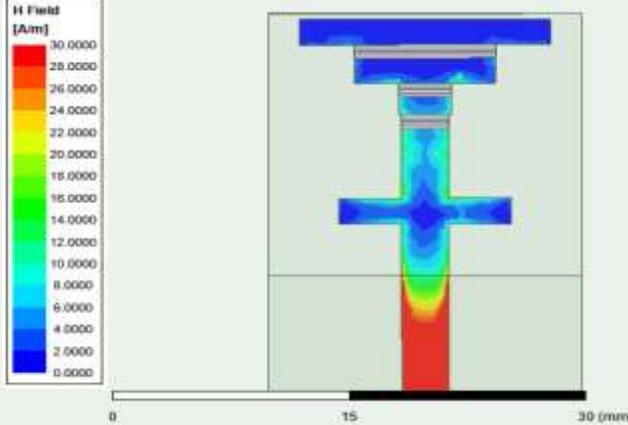
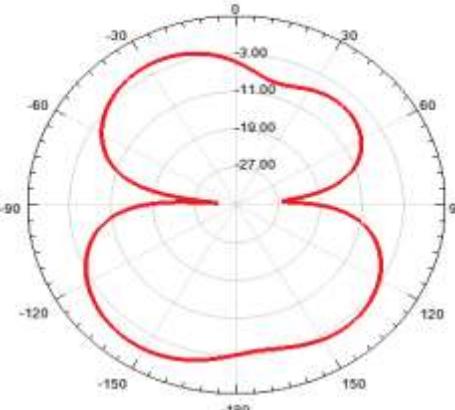
Possède deux lobes principaux dans le plan

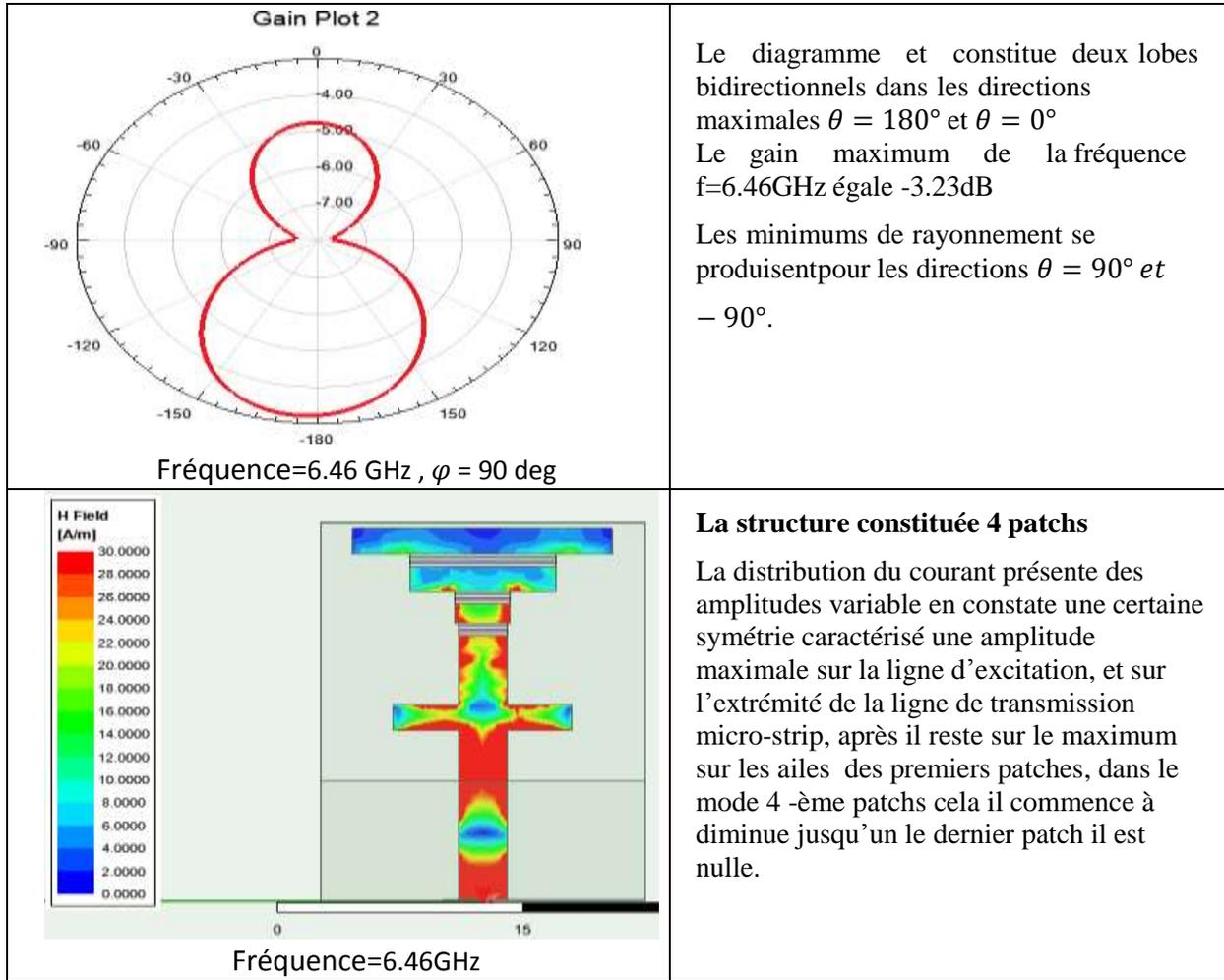
$\phi = 0$  dans les directions des maximums vers  $\theta_m = 0^\circ$  et  $\theta_m = 180^\circ$ ,

Il est bidirectionnel dans le plan  $\phi = 0$

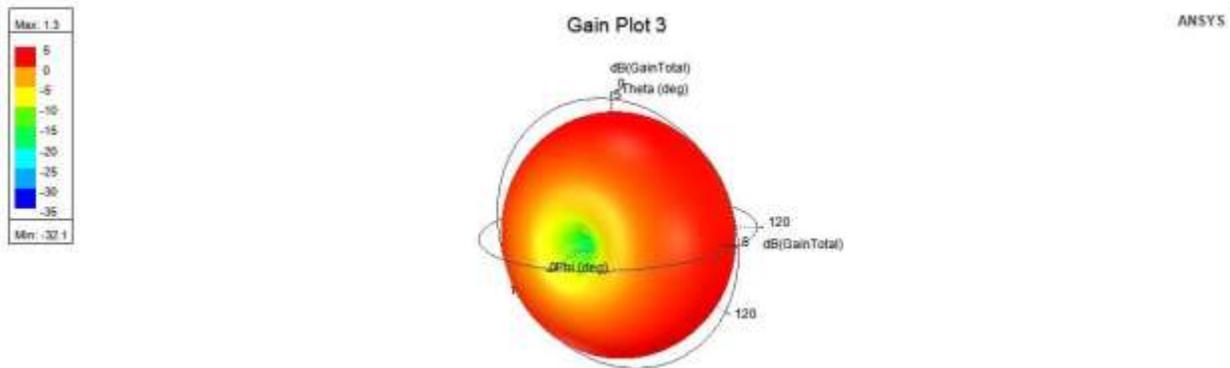
L'ouverture à mi-puissance  $\theta_{-3dB}$  de l'antenne est égale  $76^\circ$  pour  $f=3.51\text{GHz}$  on a un gain max de 1.19dB.

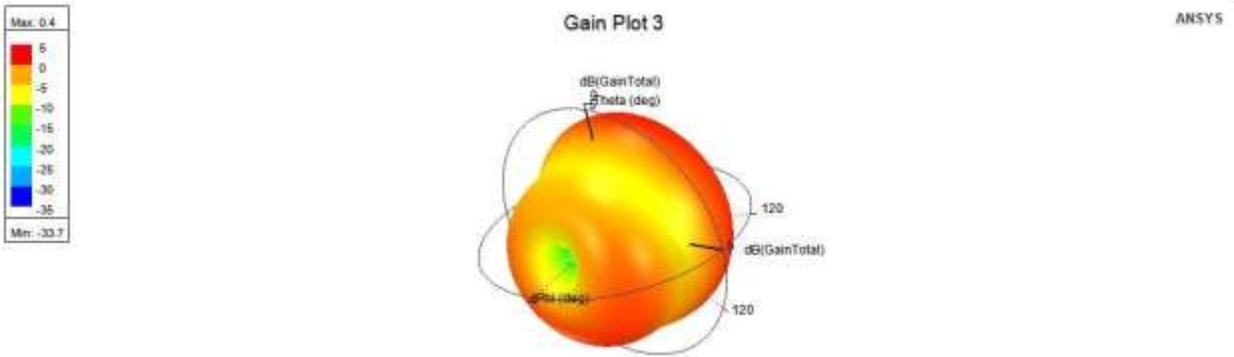
Les zéros de rayonnement dans les directions  $\theta_r = 90^\circ$  et  $-92^\circ$ .

 <p>Fréquence=3.51 GHz, <math>\varphi = 90</math> deg</p>	<p>Le diagramme et constitue deux lobes (un lobe principal dans la direction <math>\theta = 180^\circ</math> et un lobe secondaire sur la direction <math>\theta = 0^\circ</math>)</p> <p>Les minimums de rayonnement se produisent pour les directions <math>\theta = 90^\circ</math> et <math>-90^\circ</math>.</p> <p>Il est directif dans la direction <math>\theta = 180^\circ</math></p> <p>L'ouverture à mi- puissance <math>\theta_{-3dB}</math> de l'antenne est égale <math>39^\circ</math> pour <math>f=3.51\text{GHz}</math> on a un gain max de 1.19dB.</p>
 <p>Fréquence=3.51GHz</p>	<p><b>La structure constituée 4 patches</b></p> <p>La distribution du courant présente des amplitudes variables en constate une certaine symétrie caractérisé une amplitude maximale sur la ligne d'excitation, avec du courant faible a extrémité de la ligne de transmission micro-strip, après nous avons des distributions minimales sur les ailes des premiers patches, dans le mode 4 -ème patches présente une distribution nulle.</p>
 <p>Fréquence=6.46 GHz, <math>\varphi = 0</math> deg</p>	<p><b>Le diagramme de rayonnement en 2D à 6.46 GHz :</b></p> <p>Possède deux lobes principaux dans le plan <math>\varphi = 0</math> dans les directions des maximums vers <math>\theta_m = 0^\circ</math> et <math>\theta_m = 180^\circ</math>, Il est bidirectionnel dans le plan <math>\varphi = 0</math></p> <p>L'ouverture à mi- puissance <math>\theta_{-3dB}</math> de l'antenne est égale <math>79^\circ</math> pour <math>f=6.46\text{GHz}</math> on a un gain max de -3.22dB.</p> <p>Les zéros de rayonnement dans les directions <math>\theta_r = 90^\circ</math> et <math>-91^\circ</math>.</p>



Les diagrammes de rayonnements en 3D dans les fréquences 3.51 GHz et 6.46 GHz représentés sur les figures suivantes :





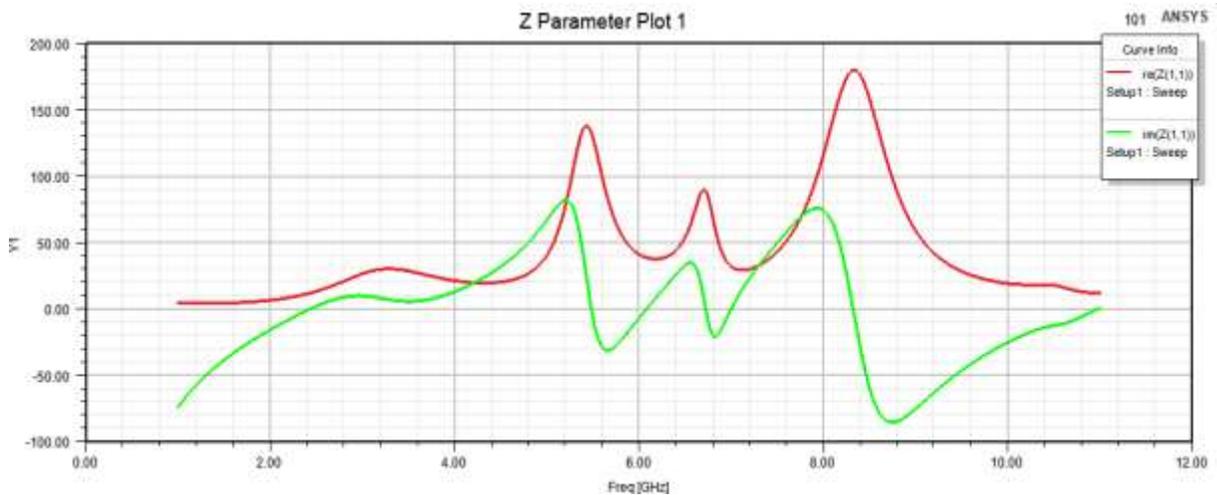
### 5.6 Etat 6 : ON-OFF-ON

En état 6 lorsque deux interrupteurs (SW1, SW3) sont sur on et le SW2 est off bande

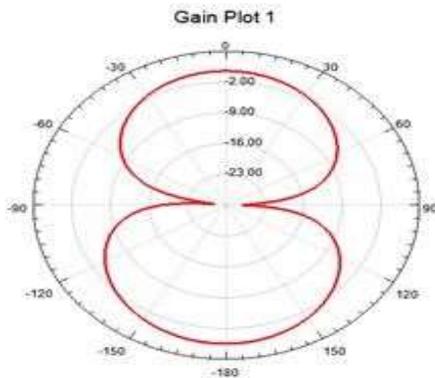
1 la Fréquence centrale est : 3.32 GHz les fréquences latérales basse et haute sont (3.05 et 3.62)GHz respectivement sont une largeur de bande de 570MHz ,bande 2 la Fréquence centrale est : 6.02GHz les fréquences latérales basse et haute sont (5.69 et 6.59)GHz respectivement sont une largeur de bande de 900MHz, bande 3 la Fréquence centrale est :

6.90 GHz les fréquences latérales basse et haute sont (6.62 et 7.11)GHz respectivement sont une largeur de bande de 490MHz

### Impédance d'entrée



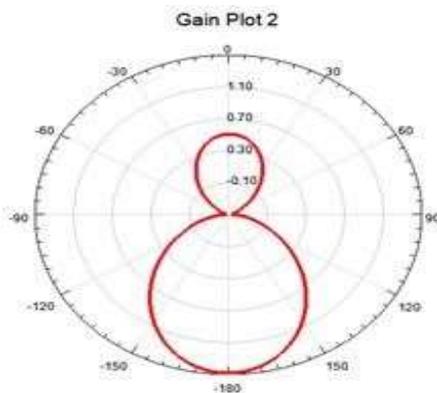
**MODE 6 (ON OFF ON)**



Fréquence=3.32 GHz,  $\varphi = 0$  deg

**Le diagramme de rayonnement en 2D à 3.32 GHz :**

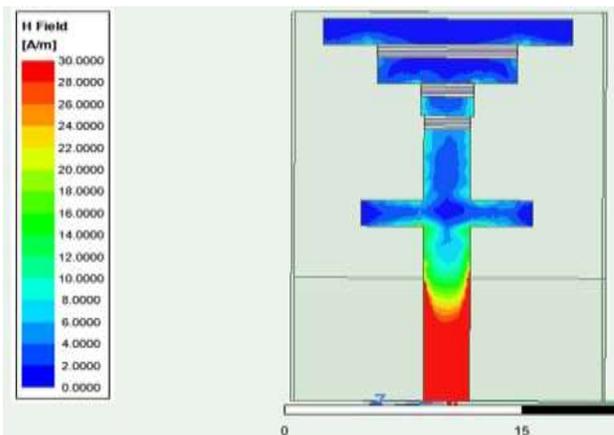
Possède deux lobes principaux dans le plan  $\varphi = 0$  dans les directions des maximums vers  $\theta_m = 0^\circ$  et  $\theta_m = 180^\circ$ , Il est bidirectionnel dans le plan  $\varphi = 0$  L'ouverture à mi-puissance  $\theta_{-3dB}$  de l'antenne est égale  $76^\circ$  pour  $f=3.32\text{GHz}$  ona un gain max de 0.51dB. Les zéros de rayonnement dans les directions  $\theta_r = 90^\circ$  et  $-90^\circ$ .



Fréquence=3.32 GHz,  $\varphi = 90$  deg

**Le diagramme de rayonnement en 2D à 3.32 GHz dans le plan  $\varphi = 90$  :**

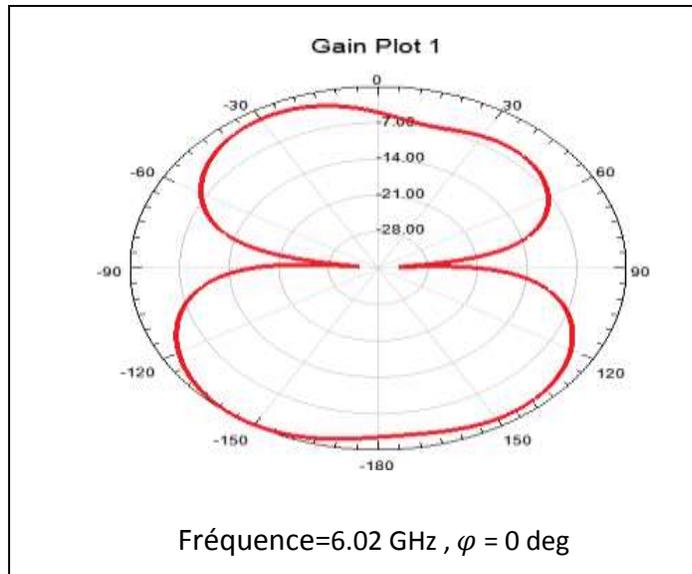
Possède un lobe principal dans les directions des maximums vers  $\theta_m = 180^\circ$ . Il est directif dans le plan  $\varphi = 90$  L'ouverture à mi-puissance  $\theta_{-3dB}$  de l'antenne est égale  $78^\circ$  pour  $f=3.32\text{GHz}$  ona un gain max de 1.42dB.



Fréquence=3.32GHz

**La structure constituée 4 patches**

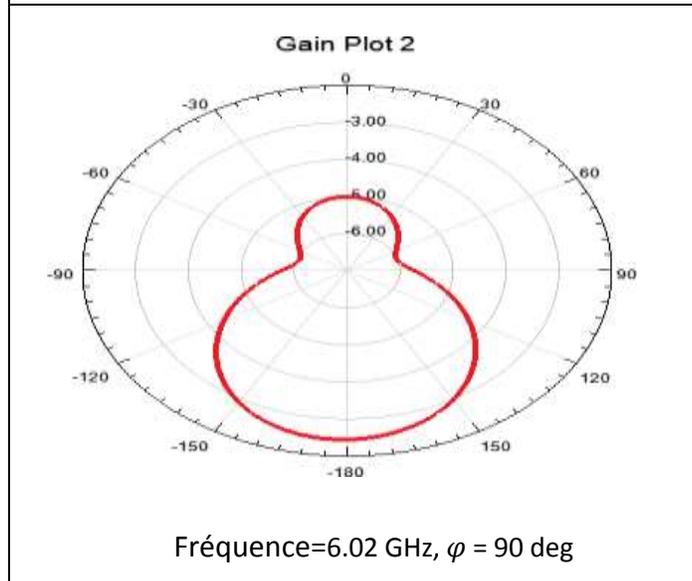
La distribution du courant présente des amplitude variable en constate une certainesymétrie caractérisé une amplitude maximale sur la ligne d'excitation, avec ducourant faible a extrémité de la ligne de transmission micro-strip, après nous avons des distributions minimale sur les ailes des premier patch, dans le mode 4 -ème patches présente une distribution nulle.



**Le diagramme de rayonnement en 2D à**

**6.02 GHz :**

Possède deux lobes principaux dans le plan  $\varphi = 0$  dans les directions des maximums vers  $\theta_m = 0^\circ$  et  $\theta_m = 180^\circ$ , Il est bidirectionnel dans le plan  $\varphi = 0$  L'ouverture à mi- puissance  $\theta_{-3dB}$  de l'antenne est égale  $79^\circ$  pour  $f=6.02\text{GHz}$  ona un gain max de  $-2.45\text{dB}$ . Les zéros de rayonnement dans les directions  $\theta_r = 90^\circ$  et  $-90^\circ$ .



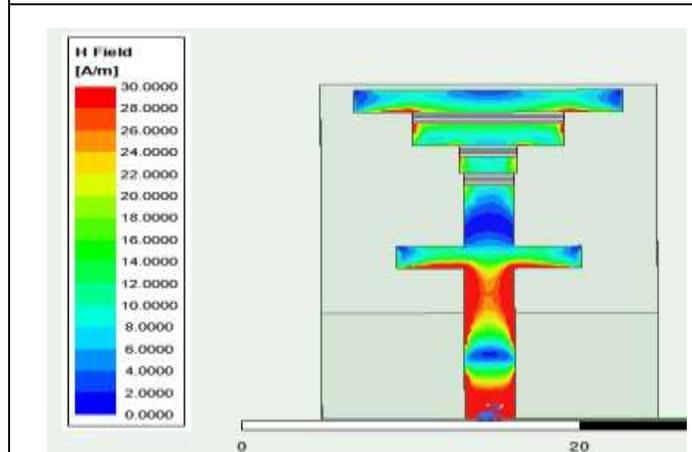
Le diagramme et constitue deux lobes (un lobe principal dans la direction

$\theta = 180^\circ$  et un lobe secondaire sur la direction  $\theta = 0^\circ$  )

Les minimums de rayonnement se produisent pour les directions  $\theta = 90^\circ$  et  $-90^\circ$ .

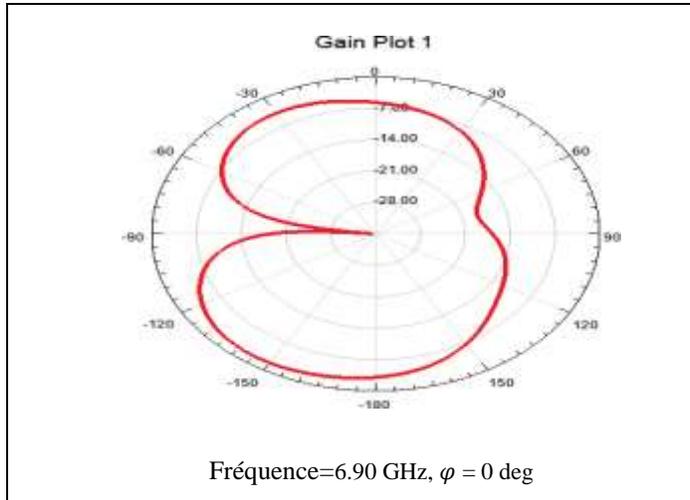
Il est directif dans la direction  $\theta = 180^\circ$

L'ouverture à mi- puissance  $\theta_{-3dB}$  de l'antenne est égale  $80^\circ$  pour  $f=6.02\text{GHz}$  ona un gain max égale  $-2.45\text{dB}$ .



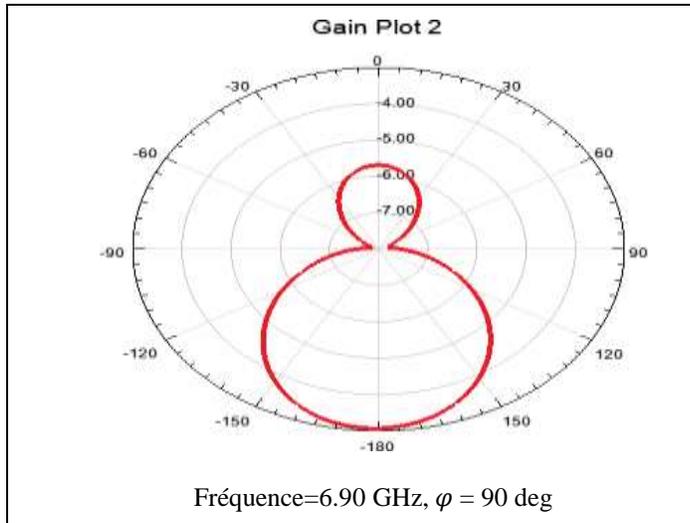
**La structure constituée 4 patches**

La distribution du courant présente des amplitudes variables en constate une certaine symétrie caractérisé une amplitudemaximale sur la ligne d'excitation, et sur l'extrémité de la ligne de transmission micro-strip, après cela elle commence à déminée sur les ailes des premiers patches, dans le mode 4 - ème patches présente une distribution faible par rapport à sur la ligne d'excitation.



**Le diagramme de rayonnement en 2D à 6.90 GHz :**

Possède deux lobes principaux dans le plan  $\varphi = 0$  dans les directions des maximums vers  $\theta_m = 0^\circ$  et  $\theta_m = -180^\circ$ , Il est bidirectionnel dans le plan  $\varphi = 0$  L'ouverture à mi- puissance  $\theta_{-3dB}$  de l'antenne est égale  $79^\circ$  pour  $f=6.90\text{GHz}$  on a un gain max de  $-3.06\text{dB}$ . Les zéros de rayonnement dans les directions  $\theta_r = -95^\circ$ .

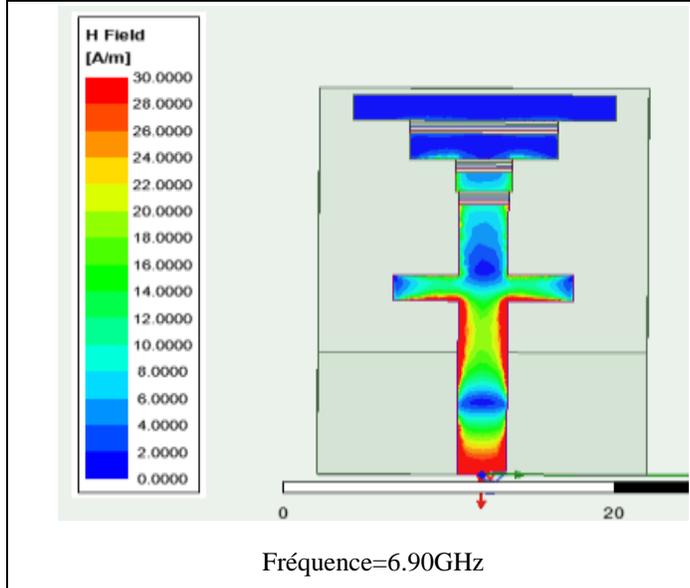


Le diagramme et constitue deux lobes (un lobe principal dans la direction  $\theta = 180^\circ$  et un lobe secondaire de la direction  $\theta = 0^\circ$ )

Il est directif dans la direction  $\theta = 180^\circ$

L'ouverture à mi- puissance  $\theta_{-3dB}$  de l'antenne est égale  $80^\circ$  pour  $f=6.90\text{GHz}$  on a un gain max égale  $-3.07\text{dB}$ .

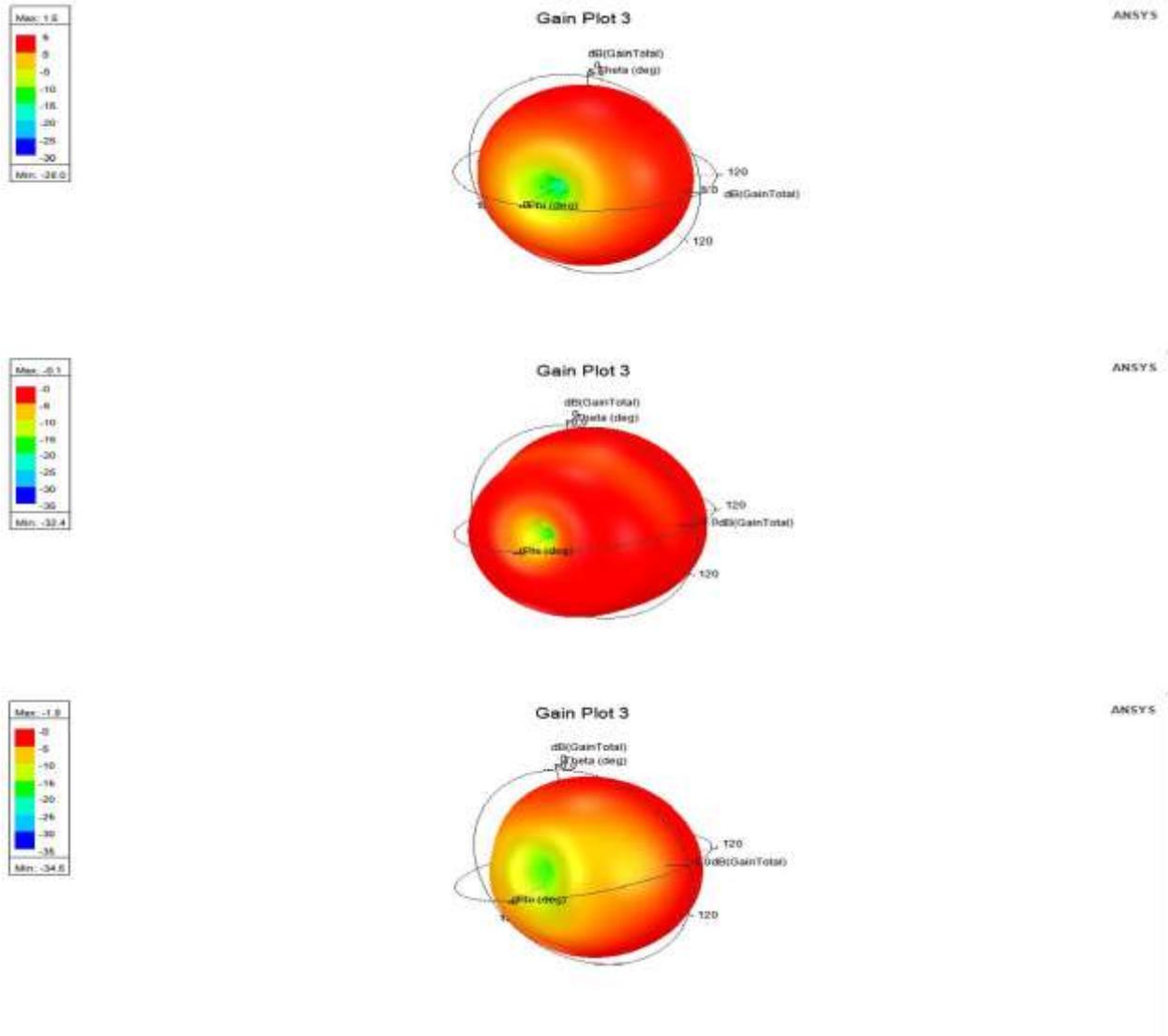
Les minimums de rayonnement se produisent pour les directions  $\theta = 90^\circ$  et  $-90^\circ$ .



**La structure constituée 4 patches**

La distribution du courant présente des amplitudes variables en constate une certaine symétrie caractérisé une amplitude maximale sur la ligne d'excitation, et sur l'extrémité de la ligne de transmission micro-strip, après cela elle commence à déminée sur les ailes des premiers patches, dans le mode 4 -ème patches présente une distribution nulle.

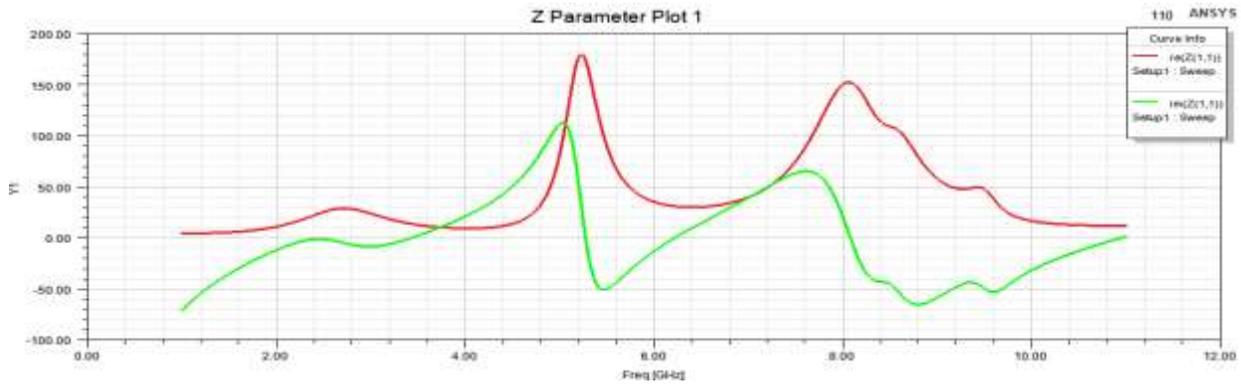
Les diagrammes de rayonnements en 3D dans les fréquences 3.32 GHz et 6.02 GHz et 6.90 GHz représenté sur les figures suivantes :



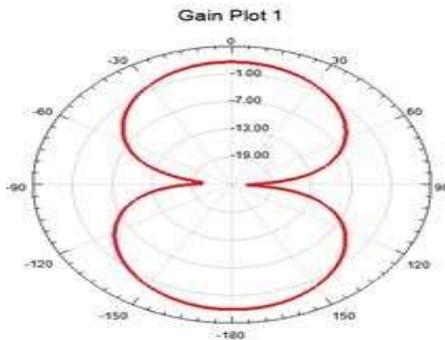
### 5.7 Etat 7 : ON-ON-OFF

En état 7 lorsque deux interrupteurs (SW1, SW2) sont sur on et le SW3 est off bande 1 la Fréquence centrale est : 2.70 GHz les fréquences latérales basse et haute sont (2.53 et 2.88) GHz respectivement sont une largeur de bande de 350MHz, bande 2 la Fréquence centrale est : 6.08 GHz les fréquences latérales basse et haute sont (5.71 et 6.56) GHz respectivement sont une largeur de bande de 850MHz,

**Impédance d'entrée**



**MODE 7 (ON ON OFF)**



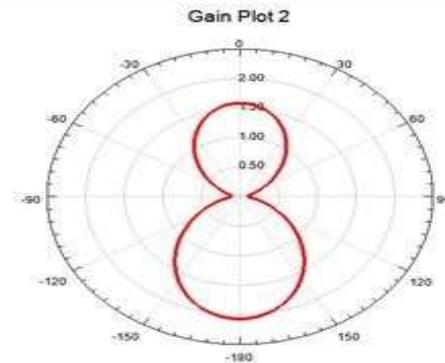
Fréquence=2.70 GHz,  $\varphi = 0$  deg

**Le diagramme de rayonnement en 2D à 2.70 GHz :**

Possède deux lobes principaux dans le plan  $\varphi = 0$  dans les directions des maximums vers  $\theta_m = 0^\circ$  et  $\theta_m = 180^\circ$ ,

Il est bidirectionnel dans le plan  $\varphi = 0$  L'ouverture à mi- puissance  $\theta_{-3dB}$  de l'antenne est égale  $85^\circ$  pour  $f=2.70\text{GHz}$  on a un gain max de 2.06dB.

Les zéros de rayonnement dans les directions  $\theta_r = 90^\circ$  et  $-93^\circ$ .



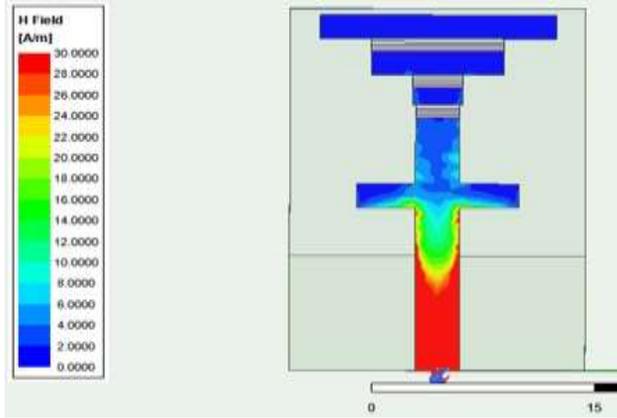
Fréquence=2.70 GHz,  $\varphi = 90$  deg

Le diagramme et constitue deux lobes (un lobe principal dans la direction  $\theta = 180^\circ$  et un lobe secondaire de la direction  $\theta = 0^\circ$ )

Il est directif dans la direction  $\theta = 180^\circ$

L'ouverture à mi- puissance  $\theta_{-3dB}$  de l'antenne est égale  $70^\circ$  pour  $f=2.70\text{GHz}$  on a un gain max égale 2.06dB.

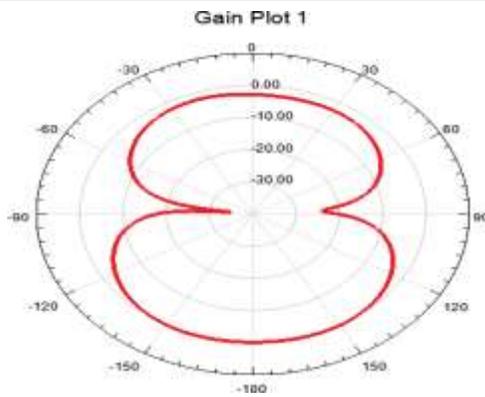
Les minimums de rayonnement se produisent pour les directions  $\theta = 90^\circ$  et  $-90^\circ$ .



Fréquence = 2.70GHz

**La structure constituée 4 patches**

La distribution du courant présente des amplitudes variable en constate une certaine symétrie caractérisé une amplitude maximale sur la ligne d'excitation, avec du courant nulle a extrémité de la ligne de transmission micro-strip, après nous avons des distributions minimale sur les ailes des premiers patches, dans le mode 4-ème patches présente une distribution nulle.



Fréquence = 6.08 GHz,  $\varphi = 0$  deg

**Le diagramme de rayonnement en 2D à 6.08 GHz :**

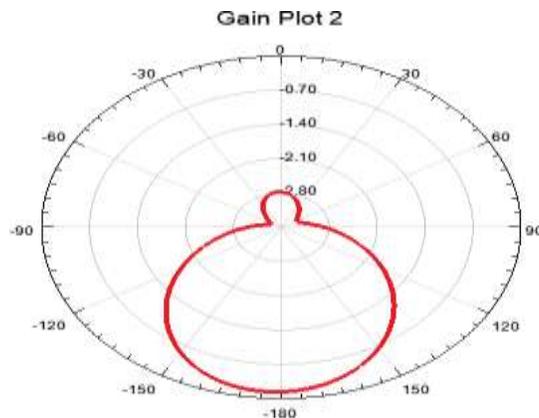
Possède deux lobes principaux dans le plan  $\varphi = 0$  dans les directions des maximums vers  $\theta_m = 0^\circ$  et

$\theta_m = 180^\circ$ ,

Il est bidirectionnel dans le plan  $\varphi = 0$

L'ouverture à mi- puissance  $\theta_{-3dB}$  de l'antenne est égale  $76^\circ$  pour  $f=6.08\text{GHz}$  on a un gain max de  $-2.9\text{dB}$ .

Les zéros de rayonnement dans les directions  $\theta_r = 90^\circ$  et  $-92^\circ$ .



Fréquence = 6.08 GHz,  $\varphi = 90$  deg

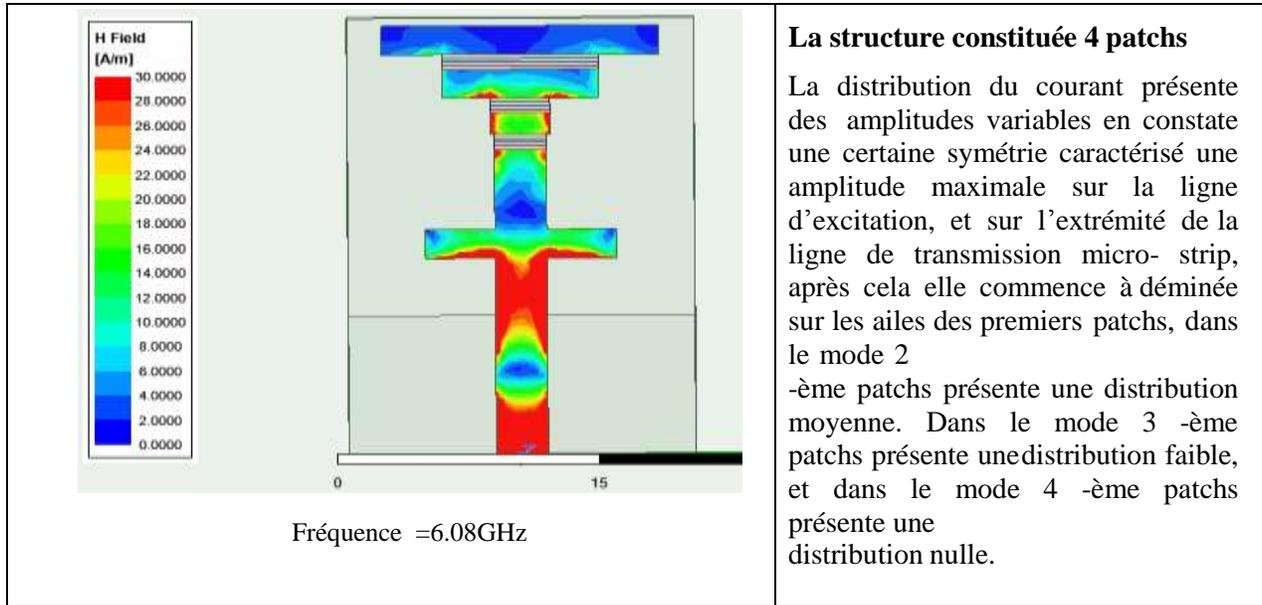
**Le diagramme de rayonnement en 2D à 6.08 GHz dans le plan  $\varphi = 90$ :**

Possède un lobe principal dans les directions des maximums vers

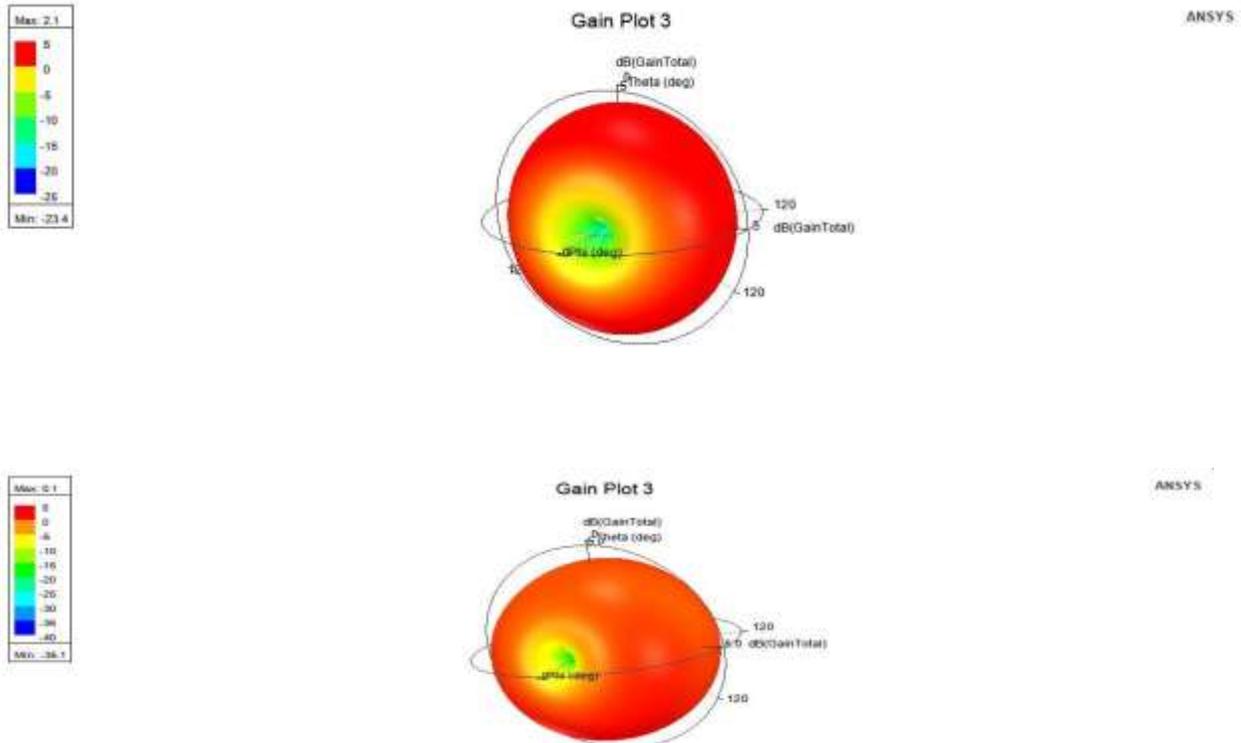
$\theta_m = 180^\circ$ .

Il est directif dans le plan  $\varphi = 90$

L'ouverture à mi- puissance  $\theta_{-3dB}$  de l'antenne est égale  $78^\circ$  pour  $f=6.08\text{GHz}$  on a un gain max de  $-0.13\text{dB}$ .



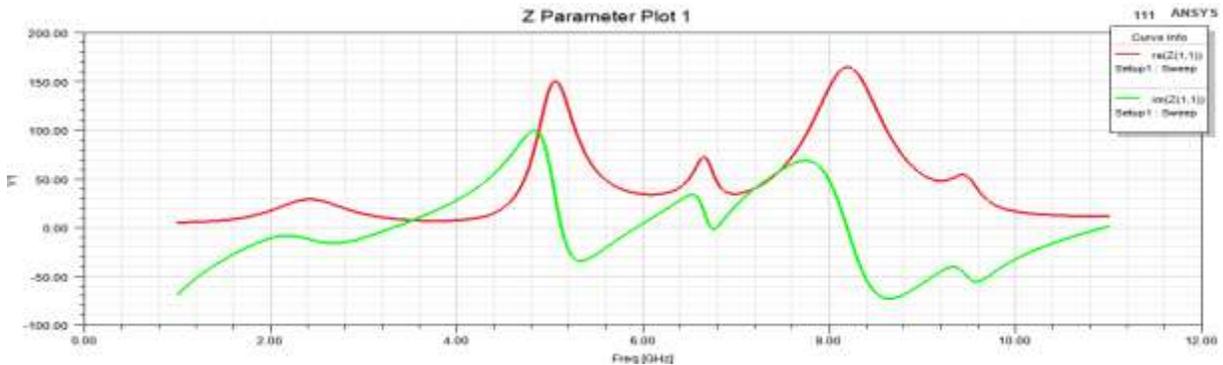
Les diagrammes de rayonnements en 3D dans les fréquences 2.70 GHz et 6.08 GHz représentésur les figures suivantes :



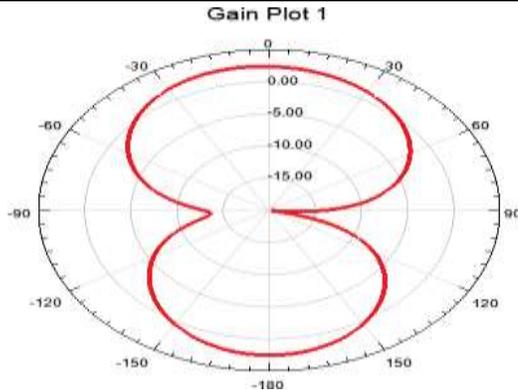
**5.8 Etat8 : ON-ON-ON**

En état 8 lorsque tous les interrupteurs (SW1, SW3) sont sur on bande 1 la Fréquence centrale est : 2.39 GHz les fréquences latérales basse et haute sont (2.27 et 2.50)GHz respectivement sont une largeur de bande de 230MHz ,bande 2 la Fréquence centrale est 5.81GHz les fréquences latérales basse et haute sont (5.39 et 6.38)GHz respectivement sont une largeur de bande de 990MHz, bande 3 la Fréquence centrale est : 6.78 GHz les fréquences latérales basse et haute sont (6.53 et 6.99)GHz respectivement sont une largeur de bande de 460MHz

**Impédance d'entrée**



**MODE 8 (ON ON ON)**



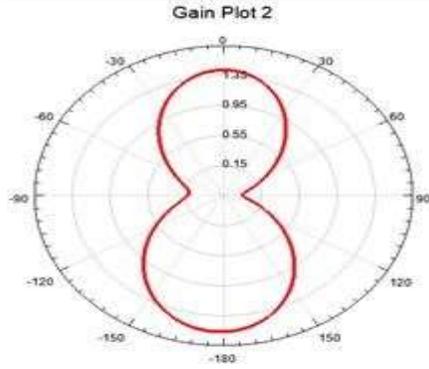
Fréquence=2.39 GHz,  $\varphi = 0$  deg

**Le diagramme de rayonnement en 2D à 2.39 GHz :**

Possède deux lobes principaux dans le plan  $\varphi = 0$  dans les directions des maximums vers  $\theta_m = 0^\circ$  et

$\theta_m = 180^\circ$ , Il est bidirectionnel dans le plan  $\varphi = 0$  L'ouverture à mi-puissance  $\theta_{-3dB}$  de l'antenne est égale  $85^\circ$  pour  $f=2.39$  GHz on a un gain max de 2.52dB.

Les zéros de rayonnement dans les directions  $\theta_r = 95^\circ$  et  $-94^\circ$ .



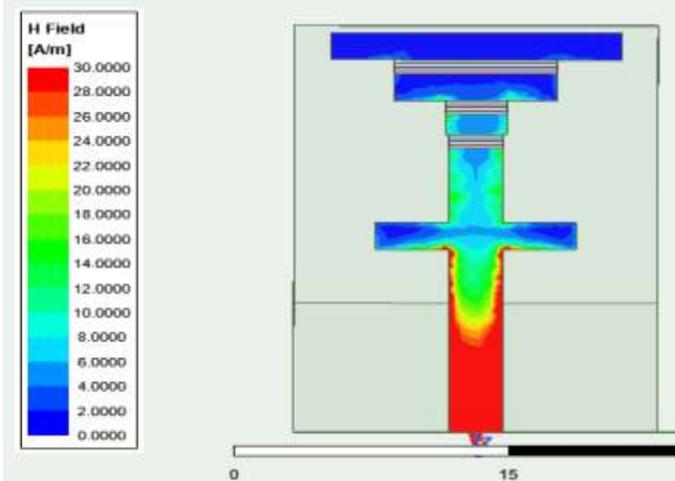
Fréquence = 2.39 GHz,  $\varphi = 90$  deg

Le diagramme et constitue deux lobes bidirectionnels dans les directions maximales  $\theta = 180^\circ$  et  $\theta = 0^\circ$

Le gain maximum de la fréquence  $f=2.39\text{GHz}$  égale 2.52dB

Les minimums de rayonnement se produisent pour les directions

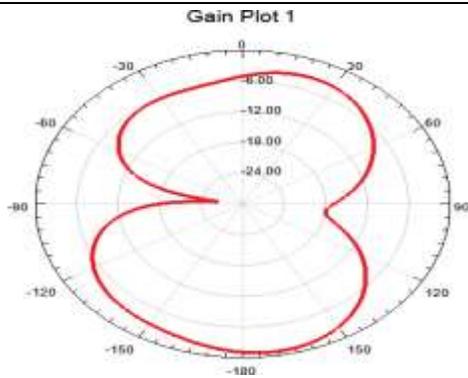
$$\theta = 90^\circ \text{ et } -90^\circ.$$



Fréquence = 2.39GHz

**La structure constituée 4 patches**

La distribution du courant présente des amplitudes variables en constate une certaine symétrie caractérisé une amplitude maximale sur la ligne d'excitation et sur l'extrémité de la ligne de transmission micro-strip, après nous avons des distributions minimales sur les ailes des premiers patches, dans le mode 4 -ème patches présente une distribution nulle.

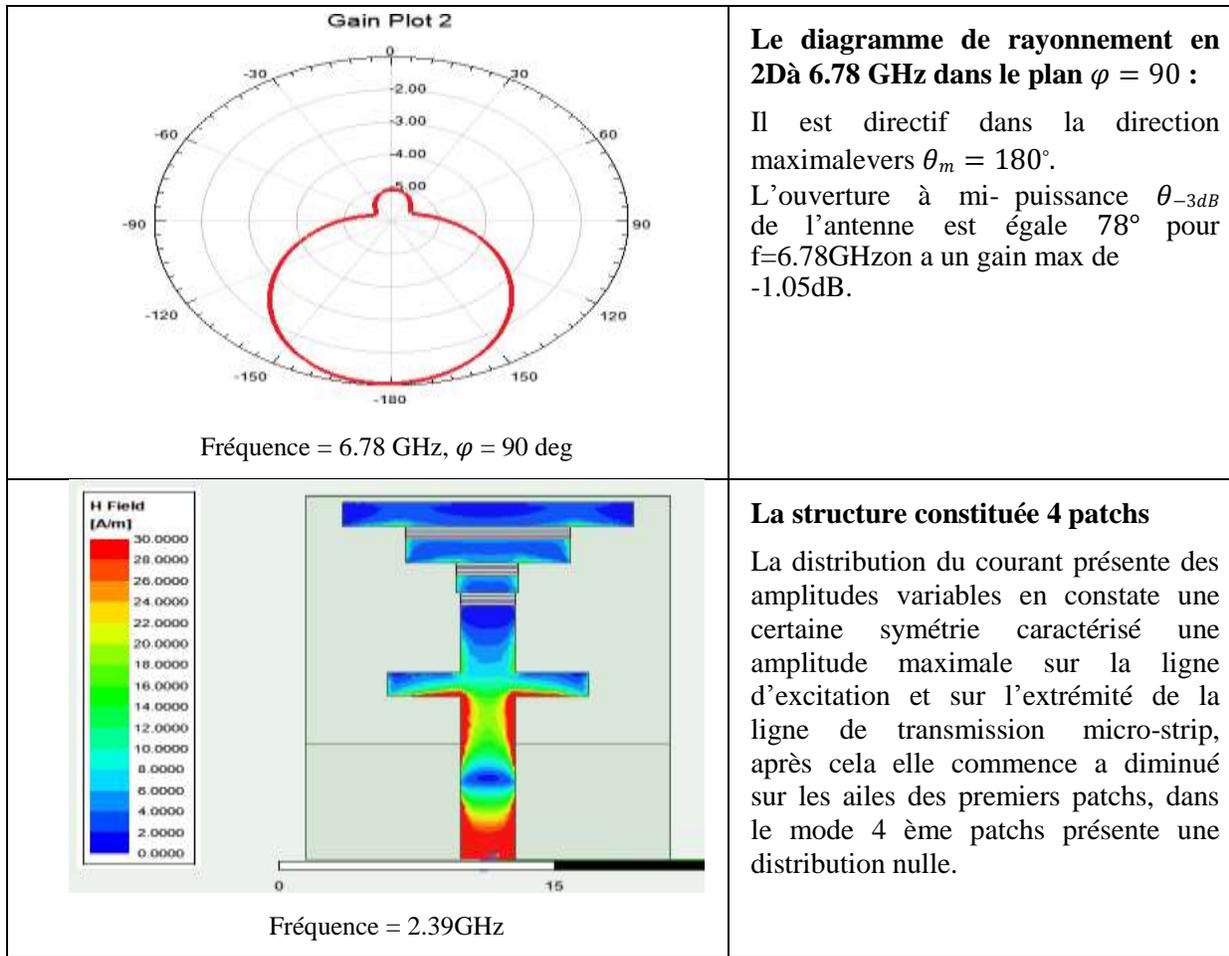


Fréquence = 6.78 GHz,  $\varphi = 0$  deg

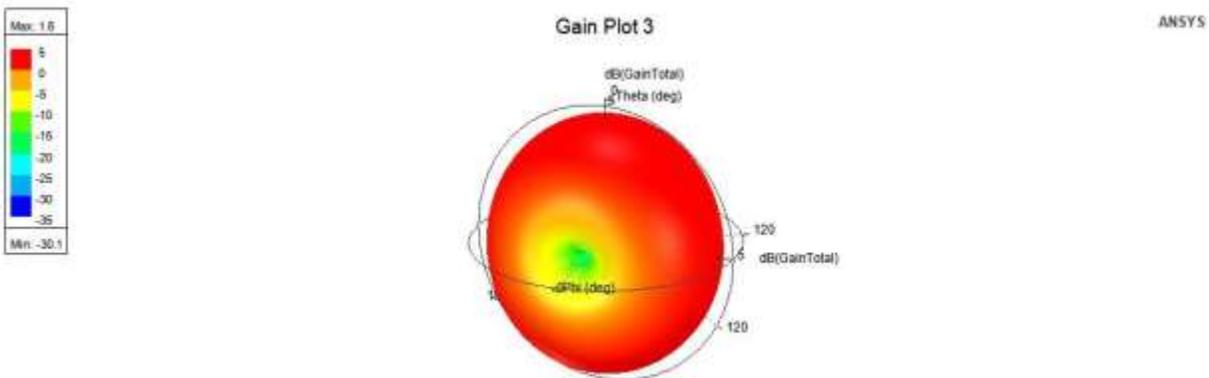
**Le diagramme de rayonnement en 2D à 6.78 GHz :**

Possède deux lobes principaux dans le plan  $\varphi = 0$  dans les directions des maximums vers  $\theta_m = 0^\circ$  et  $\theta_m = 180^\circ$ , Il est bidirectionnel dans le plan  $\varphi = 0$  L'ouverture à mi-puissance  $\theta_{-3dB}$  de l'antenne est égale  $82^\circ$  pour  $f=6.78\text{GHz}$  on a un gain max de -1.00dB.

Les zéros de rayonnement dans les directions  $\theta_r = 95^\circ$  et  $-96^\circ$ .



Les diagrammes de rayonnements en 3D dans les fréquences 2.39 GHz et 6.78GHz représentés sur les figures suivantes :



## Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats de simulation des antennes reconfigurables conçues par le logiciel de simulation HFSS. Pour avoir la reconfigurabilité, on a ajouté des composants actifs (diodes PIN) dans les gaps entre les patches conducteurs. Ces composants actifs agissent comme des switches, ces derniers ont été modélisés par un des circuits électriques équivalents pour l'état ON et OFF. L'antenne reconfigurable peut ainsi commuter entre plusieurs bandes de fréquences à partir de l'état des diodes PIN.

Les huit modes de fonctionnement de l'antenne reconfigurable en fréquence ont été présentés et commentés.

Les résultats présentés dans ce mémoire sur les caractéristiques de configuration de l'antenne reconfigurable peuvent constituer être considérée comme une plate-forme de départ pour les études d'avancement sur son amélioration.

# CHAPITRE IV

## Conclusion Générale

---

---

## Conclusion

Dans ce mémoire du Master, nous avons étudié l'antenne reconfigurable qui a reçu beaucoup d'attention, ces décennies en particulier dans le domaine de télécommunication. En effet, les antennes reconfigurables offrent la possibilité de faire la commutation entre différentes fonctionnalités en utilisant des composants actifs tels que les diodes PIN.

Les antennes reconfigurables ont la capacité de modifier leurs paramètres en fonction de l'évolution de l'environnement. La reconfigurabilité de la fréquence et du diagramme de rayonnement ne sont pas facilement séparables dans le même système. L'accent a été mis sur les antennes reconfigurables en fréquence.

En premier lieu, nous avons présenté la problématique des antennes reconfigurables est la structure de l'antenne étudié.

En deuxième lieu les systèmes et les antennes reconfigurables sont définies les techniques de la reconfigurabilité en fréquence sont également présentées.

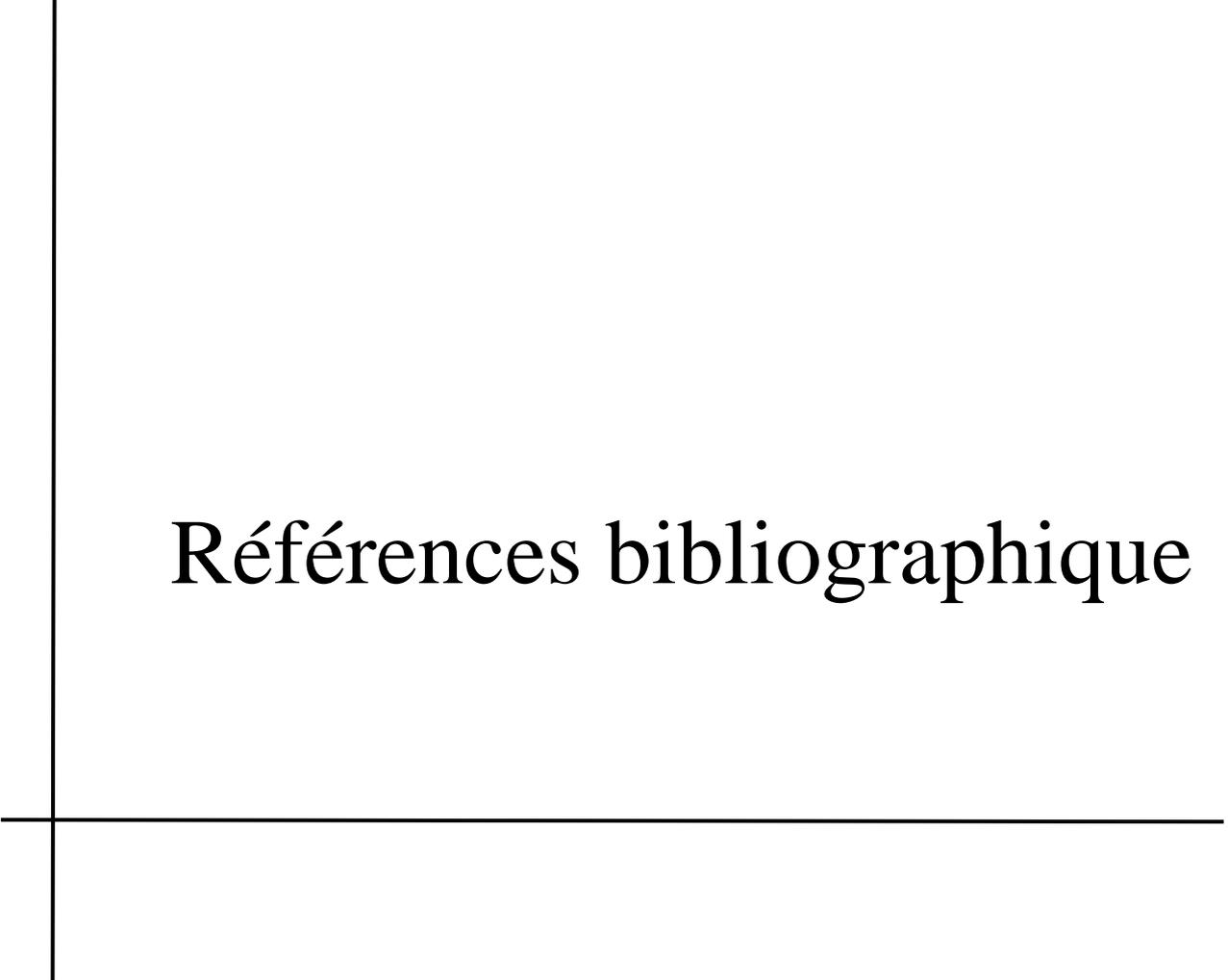
Nous avons présenté les antennes reconfigurables dont le développement est en plein essor. La définition, les différentes techniques de production de l'agilité, ainsi qu'une classification de ces antennes reconfigurables selon leurs types d'antenne reconfigurable, on a conçu l'antenne optimisée et caractérisée. Est une antenne multi-bandes reconfigurable en fréquence avec exemples illustratifs, ont été présentée.

En troisième lieu; Nous avons effectué une conception d'une antenne reconfigurable à base d'une diode et des structures, Donc nous avons utilisé le simulateur électromagnétique HFSS qui est basé sur la méthode des éléments finis. Ce logiciel permet de modéliser les diodes PIN (packages) dans les deux états ON/OFF sous l'interface design studio.

Tous les paramètres de l'antenne conçue tels que le coefficient de réflexion, le taux d'ondes stationnaires VSWR, l'impédance d'entrée et le diagramme de rayonnement ont été calculés, tracés et commentés.

En dernier lieu , une conclusion générale ainsi que des perspectives pour des études futures sont données

Il est également possible d'améliorer encore cette étude en relevant le défi de concevoir des antennes à polarisation ou à directivité. En relevant le défi de concevoir des antennes reconfigurables en termes de polarisation ou de directivité.



# Références bibliographique

## Références bibliographique

- [01] L. Petit, "Antennes Reconfigurables A Base De Mems Rf ". Micro et nanotechnologies / Microélectronique. Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 2007.
- [02] C. G. Christodoulou, Y. Tawk, S. A. Lane, S. R. Erwin, "Reconfigurable Antennas for Wireless and Space Applications", Proceedings of the IEEE, Vol. 100, No. 7, pp. 2250 – 2261, July 2012.
- [03]. Yuan, Y. Damgaci, H. Mopidevi and B.A. Cetiner, "RF-NIMEMS Integrated Reconfigurable Antenna for Public Safety Applications, EUCAP 2011.
- [04] S. SUFYAR, "Contribution à l'étude d'Antennes Miniatures Reconfigurables en Fréquence par Association d'éléments actifs", 14 Décembre 2011,
- [05] S. Jalali Mazlouman, X. J. Jiang, A. Mahanfar, C. Menon and Rodney G. Vaughan, "A Reconfigurable Patch Antenna Using Liquid Metal Embedded in a Silicone Substrate," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 59, No. 12, pp. 4406-4412, December 2011
- [06] I. Ben Trad, "Antennes Agiles pour les Télécommunications Multistandards, " Thèse soutenue publiquement le 29.10.2014, Université de Rennes..
- [07] S. Loizeau, "Conception et Optimisation d'antennes reconfigurables multifonctionnelles et ultra large bande", Physique [physics]. Université Paris Sud - Paris XI, 2009.
- [08]. 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.
- [10] R. N. Simons, D. Chun, and L. P. B. Katehi, " Polarization reconfigurable patch antenna using micro electromechanical systems (MEMS) actuators", Proc. IEEE/URSI, Symposium on Antennas and Propagation, vol.1, 2002, pages 6-9.
- [11] F. Yang and Y. Rahmat-Samii, "Patch Antenna with Switchable Slots (PASS): Reconfigurable Design for Wireless Communications", 2002 IEEE AP-S Digest, vol.1, June 2002, pages 462-465.
- [12] F. Yang and Y. Rahmat-Samii: "Patch Antenna with Switchable Slot (PASS): Dual Frequency Operation", Microwave Optical and Technology Letters, vol.31, no.3, November 2001, pages 165-168.
- [13] Peng Chen, et al, Reconfigurable Planar Monopole Antenna for Fifth-Generation Mobile Communication System, ACES JOURNAL, Vol. 36, No. 1, January 2021 page 67-74