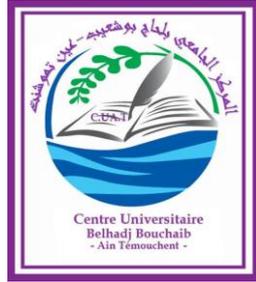


الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République algérienne démocratique et populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
المركز الجامعي لعين تموشنت  
Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent  
Institut de Technologie  
Département de Génie Electrique



Projet de fin d'études  
Pour l'obtention du diplôme de Master en :  
Filière : Télécommunications  
Spécialité : Réseaux et Télécommunications  
Thème

**Antenne patch pentagone multi bandes reconfigurable en  
fréquence pour différentes applications de  
télécommunications**

Soutenu : le 02/ juillet/2020

Présenté Par :  
MOULFI Bouchra  
KELIBEZ Imene

Devant le jury composé de :

Mr Bemmoussat Chems eddine	MCB	CUBBAT	President
Mme Moulessehoul Wassila	MCB	CUBBAT	Examinatrice
Mme Ferouani Souheyla	MCA	CUBBAT	Encadrante

*Année universitaire 2019/2020*

## Remerciement

D'abord, nous remercions Dieu le tout puissant. C'est grâce à lui que nous avons eu la volenté et la force pour accomplir ce modeste travail.

Nous tenons à remercier particulièrement nos parents ; notre succès demeure de loin le fruit de leurs longues années de sacrifices et d'éducation.

Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance à Dr FEROUANI SOUHEYLA, Maitre de conférences classe A au centre universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain Temouchent, pour ses précieux conseils, ses incessants encouragements et surtout sa grande disponibilité et motivation tout au long de la réalisation de ce travail.

Nous remercions vivement les membres du jury Dr Bemoussat Chems et Dr Moulessehoul Wassila, Maitre de conférences classe B au centre universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain Temouchent d'avoir accepté de siéger et de juger notre travail. Nous les remercions aussi pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'examiner ce mémoire.

Finalement, nous remercions tous les enseignants qui ont participé à notre formation de Télécommunications.

# *Dédicace*

*Je dédie ce mémoire*

*À mes chers parents qui m'ont soutenu et encouragé*

*À mes soeurs que j'aime*

*À ma tante préférée*

*À tous les professeurs qui nous ont donné*

*toutes leur connaissances*

*À mes chers amis, et ma proche amie khouloud*

*À tous ceux qui m'ont encouragé  
et soutenu*



*Bouchra*

# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mes chers Parents,*

*Pour tous vos sacrifices pour moi, nul mot ne saura exprimer mon amour envers vous. Que Dieu vous protège et vous accorde une longue vie.*

*A ma chère professeur « Dr FEROUANI SOUHEYLA »*

*A mes sœurs,*

*Que Dieu vous garde, Je vous aime et je vous souhaite une vie pleine de succès et de réussite.*

*Et surtout MON MARIE « YUCEF »*

*A toute ma famille,*

*A tous mes cher(e)s ami(e)s.*

*A ma chère binôme « BOUCHRA »,*

*Qui a beaucoup travaillé pour ce mémoire*

*ET... A toutes les personnes qui m'ont prodigué des encouragements.*

*A tous les membres de la promotion M2RT*

*...Et à tous ceux qui me connaissent...*



*Imene*

## Résumé

Dans notre projet de fin d'étude, nous nous sommes intéressées à la reconfigurabilité en fréquence d'une antenne patch pentagone de grandes dimensions et de dimensions miniature. Ces dernières fonctionnent pour différentes applications tel que : l'ISM, Bluetooth, Wifi, RF-Télécommandes, radars et des applications satellitaire tel que la télémétrie etc...

Nous avons obtenu des caractéristiques de rayonnement optimal avec un faible encombrement. Les résultats de simulations ont été validés par une méthode numérique à l'aide du logiciel CST.

**Mots clés :** Antennes imprimées, antenne reconfigurable, antenne miniature, Antenne omnidirectionnelle, paramètre de réflexion S11, diagramme de rayonnement.

## Abstract

In our end-of-study project, we expect the frequency reconfigurability of a pentagon patch antenna as well as its miniature. Our project is for different applications such as: ISM, Bluetooth, Wifi, RF-Remote controls, radars and satellite applications such as telemetry ect ...

We have obtained optimal radiation characteristics with a low congestion and limited cost powers for our antenna. The simulation results have been proved by a numerical analysis method using CST software.

**Keywords:** Printed antennas, reconfigurable antennas, miniature antennas, Omnidirectional antenna, S11 reflection parameter, radiation pattern.

## ملخص

مشروع نهاية الدراسة مخصص بإعادة تشكيل التردد لهوائية خماسية ذات حجم كبير وذات حجم مصغر. تعمل هذه التالية لتطبيقات مختلفة مثل: ISM و Bluetooth و Wifi و RF-Remote control والرادارات وتطبيقات الأقمار الصناعية مثل القياس عن بعد وما إلى ذلك ...

لقد حصلنا على خصائص الإشعاع الأمثل مع احتقان منخفض. تم التحقق من نتائج المحاكاة بطريقة التحليل العددي باستخدام برنامج CST.

**الكلمات المفتاحية:** هوائيات مطبوعة، هوائيات قابلة لإعادة التشكيل، هوائيات مصغرة، هوائي متعدد الاتجاهات، معلمة انعكاس S11 ، نمط الإشعاع.

# TABLES DES MATIERES

Remerciement.....	i
Dédicaces.....	ii
Résumé.....	iii
Tables des Figures.....	iv
Listes des Tableaux.....	v
Listes des acronymes et abréviations.....	vi
Introduction Générale.....	1

## Chapitre I : Les antennes Imprimées

<b>I. Introduction.....</b>	<b>3</b>
<b>II. Description des antennes imprimées .....</b>	<b>3</b>
<i>II.1 Constitution des antennes imprimée .....</i>	<i>3</i>
<i>II.2 Les différentes formes du patch .....</i>	<i>4</i>
<b>III. Caractéristiques des antennes imprimées.....</b>	<b>5</b>
<i>III.1 Coefficient de réflexion S11 .....</i>	<i>5</i>
<i>III.2 Directivité <math>D(\theta, \varphi)</math>.....</i>	<i>5</i>
<i>III.3 Rendement de l'antenne.....</i>	<i>5</i>
<i>III.4 Gain d'une antenne .....</i>	<i>6</i>
<i>III.5 L'ouverture d'une antenne .....</i>	<i>6</i>
<i>III.6 Impédance d'entrée .....</i>	<i>6</i>
<i>III.7 Diagramme de rayonnement .....</i>	<i>6</i>
III.8 Bande passante .....	7
<b>IV. Les techniques d'alimentation .....</b>	<b>7</b>
<i>IV.1 Alimentation par ligne microruban .....</i>	<i>8</i>
<i>IV.2 Alimentation par sonde coaxial .....</i>	<i>8</i>
<i>IV.3 Alimentation par couplage électromagnétique.....</i>	<i>9</i>
<i>IV.4 Alimentation à travers d'une ouverture au plan de masse.....</i>	<i>9</i>
<b>V. Techniques d'adaptation des antennes imprimées.....</b>	<b>10</b>
<i>V.1 Adaptation par ligne quart d'onde.....</i>	<i>10</i>
<i>V.2 Adaptation par stub.....</i>	<i>10</i>
<i>V.3 Adaptation avec encoche.....</i>	<i>11</i>
<b>VI. Antennes imprimées reconfigurables.....</b>	<b>11</b>
<b>VII. Techniques de reconfigurabilité.....</b>	<b>11</b>
<i>VII.1 Diode Varicap .....</i>	<i>12</i>
<i>VII.2 Diode PIN.....</i>	<i>12</i>

VII.3 MEMS (Système Micro électromécanique) .....	12
VII.4 Matériaux Agiles .....	13
<b>VIII. Classification des antennes reconfigurables</b> .....	14
VIII.1 Antennes reconfigurables en fréquence .....	14
VIII.2 Antennes reconfigurables en diagramme de rayonnement .....	14
VIII.3 Antenne reconfigurable en polarisation.....	15
<b>IX. Antennes reconfigurable étudié en simulation</b> .....	15
<b>X. Applications des antennes micro-ruban reconfigurables</b> .....	17
<b>XI. Conclusion</b> .....	17
<b>Chapitre II : Simulations et résultats</b>	
<b>I. Introduction</b> .....	20
<b>II. Choix d'un outil de simulation</b> .....	20
<b>III. Conception et simulation de l'antenne patch pentagone originale</b> .....	20
III.1 Géométrie de l'antenne .....	20
III.2 Résultat de simulation .....	21
a) Paramètre de réflexion $S_{11}$ .....	21
b) Diagramme de rayonnement .....	22
<b>IV. Reconfiguration de l'antenne patch pentagone originale</b> .....	23
IV.1 Mode de fonctionnement des diodes PIN insérer .....	23
IV.2 Résultats de simulations.....	24
a) Paramètres de réflexion $S_{11}$ .....	24
b) Diagramme de rayonnement .....	25
c) Distribution du courant aux différentes fréquences .....	33
d) Tableau récapitulatif des résultats de simulation.....	39
e) Domaines d'applications .....	40
f) Conclusion.....	42
<b>V. Reconfiguration d'une antenne patch pentagone miniature</b> .....	43
V.1 Géométrie de l'antenne.....	43
V.2 La reconfigurabilité de l'antenne patch pentagone miniature.....	44
V.3 Mode de fonctionnement des diodes PIN insérer.....	45
V.4 Résultats de simulations.....	45
a) Paramètres de réflexion $S_{11}$ .....	45
b) Diagramme de rayonnement .....	47
c) Distribution de courant .....	52

<i>d) Tableau récapitulatif des résultats de simulations</i> .....	58
<i>e) Domaine d'applications</i> .....	60
<i>f) Conclusion</i> .....	62
<b>Conclusion Générale</b> .....	63
<b>Références Bibliographiques</b> .....	64

**Chapitre I :**

<b>Figure I.1</b> : Une antenne imprimée.....	3
<b>Figure I.2</b> : Structure de base d'une antenne imprimée.....	4
<b>Figure I.3</b> : Les différents types de patch .....	4
<b>Figure I.4</b> : Représentation en quadripôle .....	5
<b>Figure I.5</b> : Diagramme de rayonnement classique d'une antenne directive.....	7
<b>Figure I.6</b> : la Bande passante .....	7
<b>Figure I.7</b> : Alimentation par ligne Micro-ruban.....	8
<b>Figure I.8</b> : Alimentation par câble coaxial.....	9
<b>Figure I.9</b> : Alimentation par proximité .....	9
<b>Figure I.10</b> : Alimentation au travers d'une ouverture au plan de masse.....	10
<b>Figure I.11</b> : Adaptation par quart à adaptation quart d'onde .....	10
<b>Figure I.12</b> : stub en circuit ouvert .....	10
<b>Figure I.13</b> : Patch rectangulaire .....	11
<b>Figure I.14</b> : stub en circuit ouvert .....	11
<b>Figure I.15</b> : Patch adapté par encoches de longueur .....	11
<b>Figure I.16</b> : schéma d'une diode PIN.....	12
<b>Figure I.17</b> : antenne reconfigurable en fréquence utilisant des commutateurs RF- MEMS .....	13
<b>Figure I.18</b> : Commande par changement de matériau.....	13
<b>Figure I.19</b> : L'antenne agile en diagramme de rayonnement.....	15
<b>Figure I.20</b> : Antennes patch pentagone proposés.....	16
(a)antenne patch pentagone initiale, (b) antenne patch pentagone miniature.....	16

**Chapitre II :**

<b>Figure II.1</b> : outil de simulation CST .....	19
<b>Figure II.2</b> : Antenne Patch pentagone multi bandes. ....	20
<b>Figure II.3</b> : Coefficient de réflexion S11 d'antenne patch pentagone original. ....	21
<b>Figure II.4</b> : Les diagrammes des rayonnements en 3D aux fréquences 2.34GHz, 4.695GHz, 6.7209GHz, 12.33GHz respectivement. ....	22
<b>Figure II.5</b> : Antenne reconfigurable avec des diodes PIN .....	22
Vue de face, (b) vue d'arrière.....	22
<b>Figure II.6</b> : Les coefficients de réflexion S11 : (a) Mode M1, (b) Mode M2, (c) Mode M3, (d) Mode M4, (e) Mode M5. ....	24
<b>Figure II.7</b> : Les diagrammes des rayonnements en 3D en mode M1.....	25
<b>Figure II.8</b> : Les diagrammes des rayonnements en 3D en mode M2 .....	26
<b>Figure II.9</b> : Les diagrammes des rayonnements en 3D en mode M3 :.....	28

<b>Figure II.10:</b> Les diagrammes des rayonnements en 3D au mode M4 : .....	<b>29</b>
<b>Figure II.11:</b> Les diagrammes des rayonnements en 3D simulés mode M5 : .....	<b>30</b>
<b>Figure II.12:</b> Les densités des courants simulés au mode M1 : .....	<b>32</b>
<b>Figure II.13:</b> Les densités des courants simulés au mode M2 : .....	<b>33</b>
<b>Figure II.14:</b> Les densités des courants simulées au mode M3 : .....	<b>34</b>
<b>Figure II.15:</b> Les densités des courants simulés au mode M4 : .....	<b>35</b>
<b>Figure II.16:</b> Les densités des courants simulés au mode M5 : .....	<b>37</b>
<b>Figure II.17:</b> Antenne patch pentagone miniature proposée .....	<b>42</b>
Vue de face (patch), (b) vue d'arrière (Plan de masse) .....	<b>42</b>
<b>Figure II.18 :</b> résultat de simulation d'antenne original. ....	<b>42</b>
<b>Figure II.19:</b> Les diagrammes des rayonnements en 3D simulés aux fréquences de résonance de l'antenne patch miniature (a) $f_1=2.34\text{GHz}$ ; (b) $f_2=6.6\text{GHz}$ ; (c) $f_3=12.06\text{GHz}$ ; (d) $f_4=16.16\text{GHz}$ et (e) $f_5=19.54\text{GHz}$ . ....	<b>43</b>
<b>Figure II.20:</b> Antenne patch pentagone miniature reconfigurable .....	<b>44</b>
Vue de face, (b) vue d'arrière. ....	<b>44</b>
<b>Figure II.21 :</b> Les coefficients de réflexion S11 : (a) Mode M1, (b) Mode M2, (c) Mode M3, (d) Mode M4, (e) Mode M5. ....	<b>45</b>
<b>Figure II.22:</b> Les diagrammes des rayonnements en 3D simulés au mode M1.....	<b>46</b>
<b>Figure II.23:</b> Les diagrammes des rayonnements en 3D simulés au mode M2.....	<b>47</b>
<b>Figure II.24:</b> Les diagrammes des rayonnements en 3D simulés au mode M3.....	<b>48</b>
<b>Figure II.25:</b> Les diagrammes des rayonnements en 3D simulés au mode M4.....	<b>49</b>
<b>Figure II.26:</b> Les diagrammes des rayonnements en 3D simulés aux mode M5.....	<b>50</b>
<b>Figure II.27:</b> Les densités des courants simulés au mode M1 .....	<b>52</b>
<b>Figure II.28:</b> Les densités des courants aux fréquences de résonance au mode M2 .....	<b>53</b>
<b>Figure II.29:</b> Les densités des courants simulés aux fréquences de résonance au mode M3 .....	<b>54</b>
<b>Figure II.30:</b> Les densités des courants simulés aux fréquences au mode M4.....	<b>55</b>
<b>Figure II.31:</b> Les densités des courants simulés au mode M5.....	<b>57</b>

<b>Tableau I.1</b> : Paramètre de l'antenne patch pentagone.....	18
<b>Tableau II.1</b> : Dimensions de l'antenne patch rectangulaire.....	22
<b>Tableau II.2</b> : Mode de fonctionnement des diodes PIN.....	25
<b>Tableau II.3</b> : Les modes de fonctionnement et les caractéristiques simulées de l'antenne patch pentagone reconfigurable. ....	44
<b>Tableau II.4</b> : domaines d'application d'antenne Antenne Patch pentagone multi bandes.....	47
<b>Tableau II.5</b> : Mode de fonctionnement des diodes PIN.....	50
<b>Tableau II.6</b> : Les modes de fonctionnement et les caractéristiques simulées de l'antenne patch pentagone miniature reconfigurable. ....	64
<b>Tableau II.7</b> : Domaine d'applications d'antenne patch pentagone miniature reconfigurable. ....	67

## Liste des Acronymes et Abréviations

<b>3D</b>	Trois dimensions.
<b>BP</b>	Bande Passante.
<b>Cst</b>	Computer Simulation Technology.
<b>dB</b>	Décibel.
<b>GSM</b>	Global System for Mobile Communications.
<b>ISM</b>	Industrial, Scientific and Medical.
<b>MEMS</b>	Micro Electro Mechanical System.
<b>PIN</b>	Positive Intrinsic Negative.
<b>PIFA</b>	Planar Inverted -F Antenna.
<b>RF</b>	Radio Frequency.
<b>Radar</b>	Radio Détection And Ranging.
<b>RC</b>	Réseau commuté
<b>UMTS</b>	Universal Mobile Télécommunications System.
<b>Varicap</b>	Variable capacitor
<b>Wi-Fi</b>	Wireless Fidelity.
<b>WLAN</b>	Wireless Local Area Network.

Les réseaux sans fil sont l'un des types modernes utilisés pour transmettre l'information. Pour connecter à l'internet avec le Wifi, envoyer des images par Bluetooth ou zigbee, connecté aux maison intelligent ou des drones ...etc, l'usage des antennes est indispensable, alors pourquoi ne pas penser à réaliser une antenne multifonctions qui peut s'intégrer dans de nombreux domaine à la fois, cela réduira alors le cout et rendra l'utilisation rapide, la taille soit compacte et le poids léger. La solution de cette problématique est d'utiliser les antennes reconfigurables.

Notre travail de mémoire et organisé en deux chapitres :

Le premier chapitre présente des généralités sur les antennes patchs, les différentes techniques d'alimentation, les techniques d'adaptation et de reconfigurabilité, les classifications d'antenne reconfigurable.

Dans le deuxième chapitre nous présenterons les résultats de simulations de la reconfigurabilité en fréquence d'une antenne patch pentagone de grande dimension puis de sa structure miniature.

# ***Chapitre I : Les Antennes imprimées***

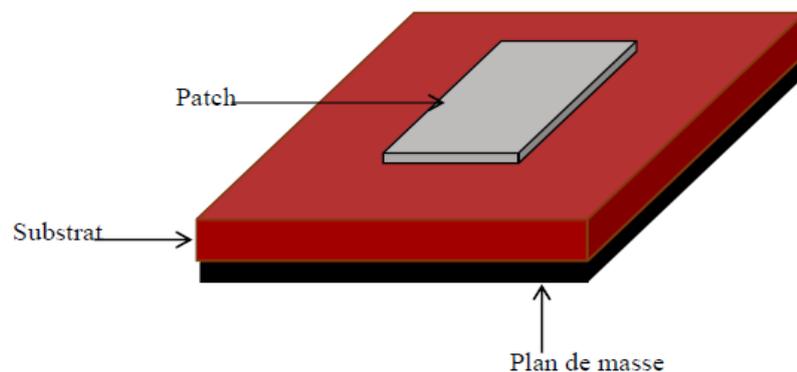
---

## I. Introduction

Dans ce chapitre, nous parlerons des antennes patch micro ruban, nous aborderons aussi les techniques d'alimentation, la géométrie de l'antenne patch pentagone, puis nous définirons les antennes imprimées reconfigurable en citant leurs techniques de reconfiguration à savoir celle en fréquence, en polarisation et en diagramme de rayonnement. Enfin nous parlerons sur les domaines d'applications de notre antenne proposée.

## II. Description des antennes imprimées

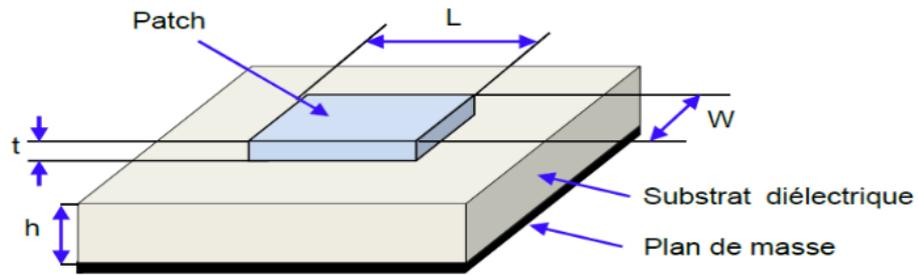
Généralement, l'antenne est un dispositif métallique nécessaire dans tous les systèmes de communications sans fil. Elle permet de transmettre un signal modulé (porteur d'une information) d'un émetteur vers le récepteur via un canal de transmission (guide d'ondes, l'espace libre, ...). L'antenne transforme le signal électrique en une ondes électromagnétique et vice versa (a un rôle réciproque) [1].



**Figure I.1 :** Une antenne imprimée [2]

### II.1 Constitution des antennes imprimée

Une antenne imprimée est constituée d'une fine couche conductrice métallique de forme arbitraire, appelé élément rayonnant, déposée sur un substrat diélectrique dont la face inférieure est entièrement métallisée pour constituer un plan de masse. Même en haut de l'élément rayonnant on peut trouver un autre substrat (superstrat) [3]. Ces éléments rayonnants présentent différentes formes : carrée, rectangulaire, triangulaire, circulaire, elliptique ou d'autres formes plus complexes [4].



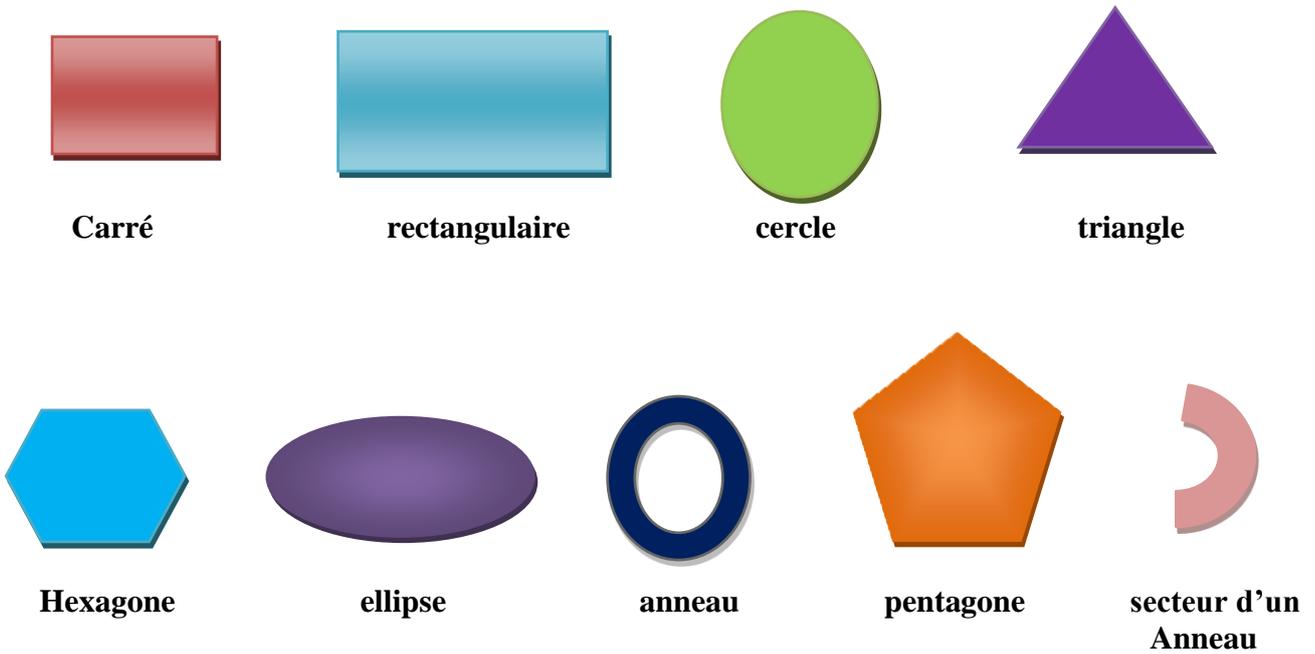
**Figure I.2 :** Structure de base d'une antenne imprimée [5]

Avec :

- W=largeur (width).
- L = longueur (length).
- H = épaisseur du substrat (Height).

### II.2 Les différentes formes du patch

L'antenne patch peut prendre plusieurs formes comme le montre sur la Figure I.3 :



**Figure I.3 :** Les différents types de patch

### III. Caractéristiques des antennes imprimées

Dans les communications sans fil, chaque application met en relief certaines Caractéristiques des antennes. D'une manière générale, une antenne utilisée dans un type d'application ne peut pas l'être dans d'autres. Une antenne peut être caractérisée par

#### III.1 Coefficient de réflexion $S_{11}$

Une antenne peut être représentée comme un quadripôle (Figure I.4), défini par les paramètres S [6] :

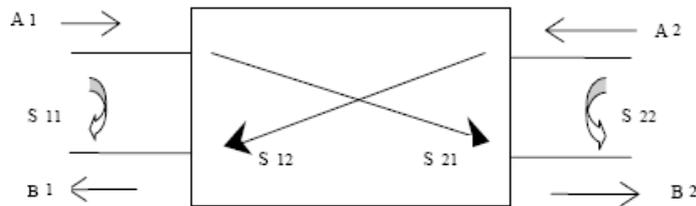


Figure I.4 : Représentation en quadripôle [6].

$A_1, A_2, B_1, B_2$  : sont des ondes de puissance.

On a les relations suivantes :

$$B_1 = S_{11}A_1 + S_{12}A_2 \quad (\text{I.1})$$

$$B_2 = S_{21}A_1 + S_{22}A_2 \quad (\text{I.2})$$

Le coefficient de réflexion  $S_{11}$  met en évidence l'absorption de l'énergie par l'antenne. C'est sur ce paramètre que l'on se base lors de l'optimisation [7].

#### III.2 Directivité $D(\theta, \varphi)$

La directivité d'une antenne est le rapport de la puissance rayonnée par unité d'angle solide dans la direction  $(\theta, \Phi)$  à la puissance que rayonnerait la source isotrope de référence par unité d'angle solide pour une même puissance totale rayonnée [8].

$$D(\theta, \varphi) = \frac{4\pi[P(\theta, \varphi)]}{\eta p_\infty} \quad (\text{I.3})$$

$\theta$  et  $\Phi$  sont l'azimut et l'élévation.

#### III.3 Rendement de l'antenne

L'efficacité ou le rendement  $\eta$  d'une antenne définit la capacité de transformer la puissance transmise à l'antenne  $P_t$  en puissance rayonnée  $P_{ray}$  [9]. Elle est définie par :

$$\eta = \frac{p_{rat}}{p_t} \quad (\text{I.4})$$

Avec  $P_{ray}$  et  $P_t$  sont données par :

$$P_{ray} = \iint r^2(\theta, \varphi) d\varphi \quad \text{Et} \quad P_t = 4\pi r^2 S_{ri} \quad (\text{I.5})$$

D'après les équations, l'efficacité peut être exprimée par le rapport entre le gain et la directivité :

$$\eta = \frac{G(\theta, \varphi)}{D(\theta, \varphi)} \quad (\text{I.6})$$

### III.4 Gain d'une antenne

Le gain est le résultat de deux effets : la directivité et la perte.

Si  $G$  est le gain [10], alors :

$$G(\theta, \Phi) = \eta D(\theta, \Phi) \quad (\text{I.7})$$

### III.5 L'ouverture d'une antenne

L'ouverture rayonnante d'une antenne est la surface géométrique rayonnante de cette antenne. C'est aussi la surface qui capte l'énergie des ondes électromagnétiques transmises [11].

### III.6 Impédance d'entrée

L'impédance d'entrée de l'antenne est l'impédance vue de la part de la ligne d'alimentation au niveau de l'antenne [12]. Cette impédance est donnée par la formule :

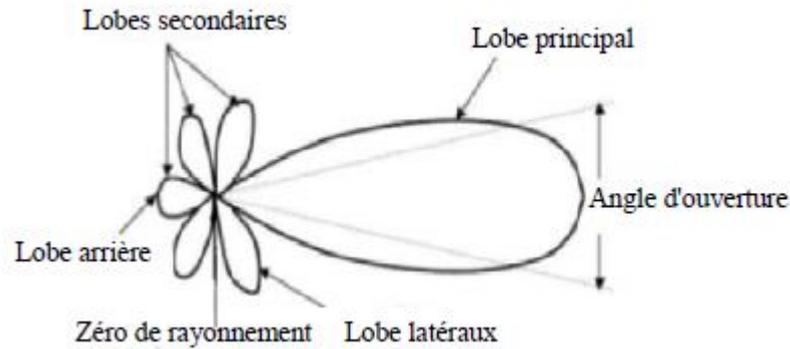
$$Z_{in} = z_0 \frac{1+S_{11}}{1-S_{11}} \quad (\text{I.8})$$

$Z_0$  = impédance caractéristique de la ligne d'alimentation.

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

### III.7 Diagramme de rayonnement

Le diagramme de rayonnement d'une antenne est la représentation graphique des champs EM existant dans le champ lointain. Ce diagramme peut être tracé en 2D (cartésienne ou polaire) ou en 3D. Le diagramme est caractérisé par un lobe principal (ouverture à impuissance), des lobes secondaires (niveau de lobes secondaires), les zéros (ses orientations vers les directions non désirées) et les lobes de périodicités (pour les réseaux d'antennes) [1].



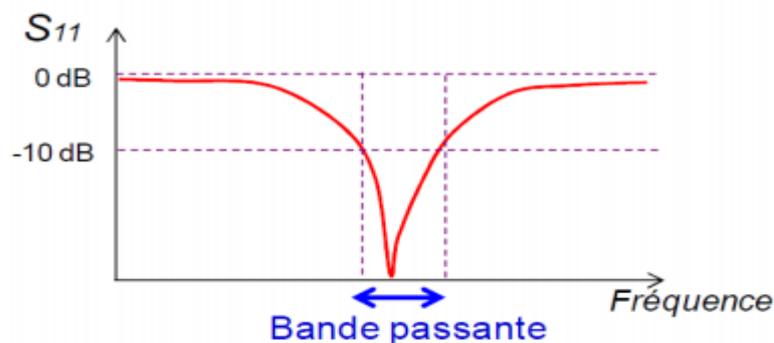
**Figure I.5:** Diagramme de rayonnement classique d'une antenne directive [2].

### III.8 Bande passante

La bande passante (BW : pour BandWidth en anglais) est la plage de fréquences déterminée en général à un taux d'onde stationnaire égal à 2 (ce qui équivaut à presque -10 dB de la courbe du coefficient de réflexion) [13].

Au cours de nos travaux, nous utiliserons la bande passante dont  $S_{11}$  est inférieur de -10 dB (figure II.2). Le rapport de la bande passante en % est donné par l'expression :

$$BW\% = \frac{\text{la bande passante}}{\text{fréquence de résonance}} \times 100 = \frac{f_2 - f_1}{f_0} \times 100 \quad (\text{I.9})$$



**Figure I.6 :** La Bande passante [14]

## IV. Les techniques d'alimentation

Une antenne patch peut être excitée par plusieurs techniques qui sont catégorisées en deux types avec et sans contact. Dans le premier type, l'antenne est alimentée directement à l'aide d'une connexion comme la ligne micro ruban et le câble coaxial. Dans le deuxième type (sans contact), l'alimentation est assurée par un couplage par fente ou par proximité. Ces deux dernières techniques permettent de transférer la puissance RF entre la ligne micro ruban et le patch rayonnant [15].

#### IV.1 Alimentation par ligne microruban

Dans cette méthode d'alimentation, une ligne micro-ruban (généralement de  $50\Omega$ ) est connectée directement au bord du patch rayonnant. La longueur de la bande conductrice est plus petite par rapport au patch. Ce genre d'alimentation a l'avantage que l'alimentation peut être gravée sur le même substrat pour fournir une structure plane. C'est la technique la moins coûteuse et la plus simple à réaliser [16].

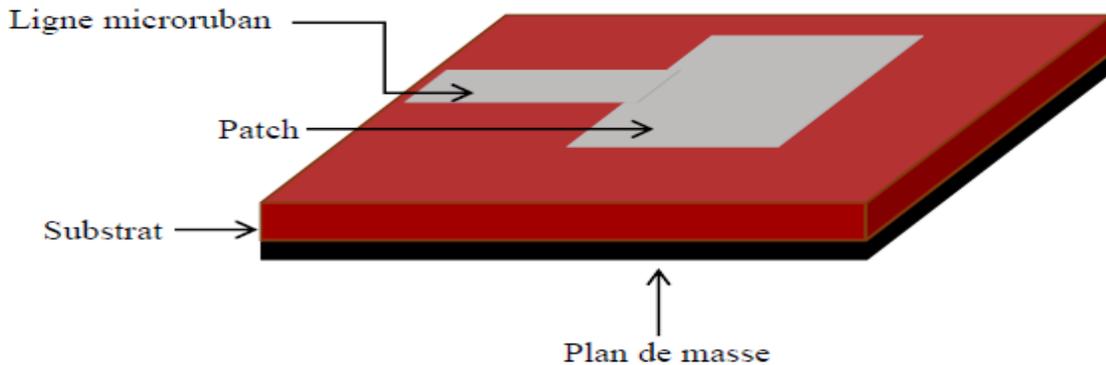


Figure I.7 : Alimentation par ligne Micro-ruban [2]

#### IV.2 Alimentation par sonde coaxial

L'alimentation par câble coaxial est très utilisée dans les antennes micro-ondes à cause de sa simplicité de mettre en œuvre et sa facilité d'adaptation d'impédance. Le câble coaxial se compose de deux conducteurs (externe et interne). Le conducteur externe est relié au plan de masse tandis que le conducteur interne est relié au patch rayonnant. Mais ce type d'alimentation présente une bande passante étroite et une grande difficulté de la modéliser, surtout pour des substrats épais [17].

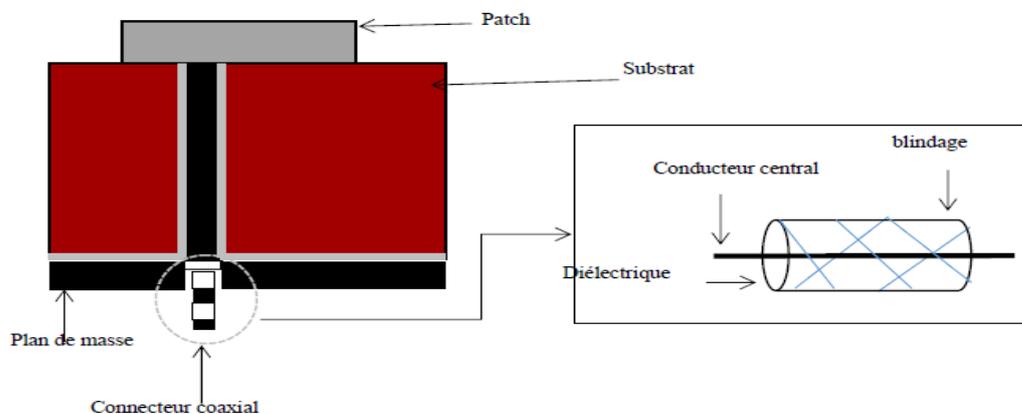
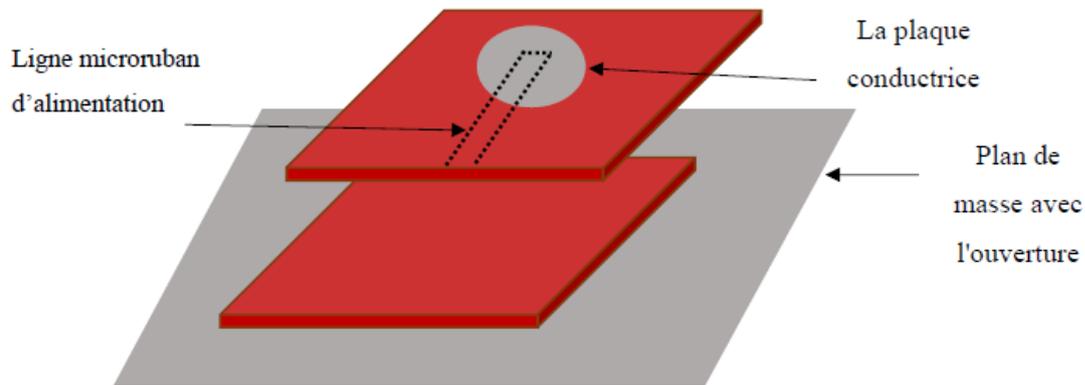


Figure I.8 : Alimentation par câble coaxial [2]

### IV.3 Alimentation par couplage électromagnétique

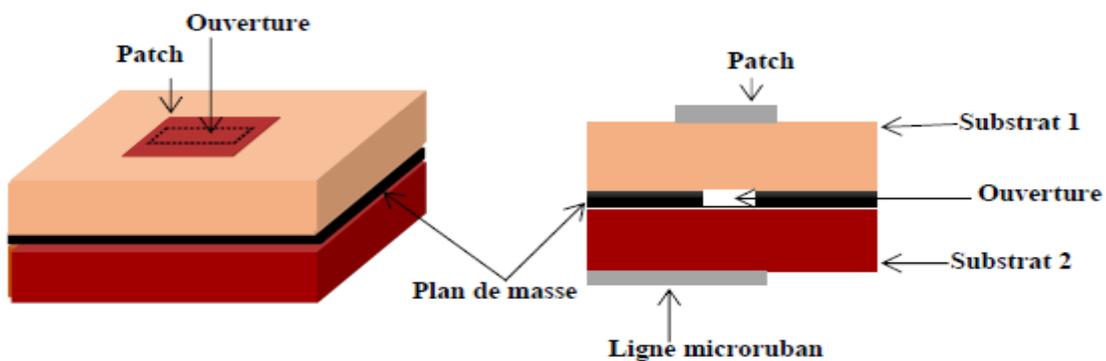
L'antenne est constituée de deux substrats diélectriques entre lesquels est située la ligne d'alimentation. L'élément rayonnant est imprimé sur le substrat supérieur. L'excitation se fait par couplage électromagnétique. Cette technique permet d'améliorer la bande passante mais elle est difficile à réaliser [15].



**Figure I.9 :** Alimentation par proximité [2].

### IV.4 Alimentation à travers d'une ouverture au plan de masse

L'alimentation par ouverture est la plus difficile à mettre en œuvre en plus elle présente de même une bande passante étroite. Cependant elle présente des rayonnements parasites faibles. La géométrie est constituée de deux substrats, de permittivités différentes, séparés par un plan de masse sur lequel l'ouverture est faite. Une ligne de transmission est disposée sur le substrat inférieur (permittivité élevée) alors que le patch est disposé sur le substrat supérieur (permittivité faible). Ce patch est alimenté par la ligne micro-ruban à travers l'ouverture du plan de masse. Pour aboutir l'adaptation d'impédance, on doit contrôler la taille de la fente et/ou la taille de la ligne de transmission [17].



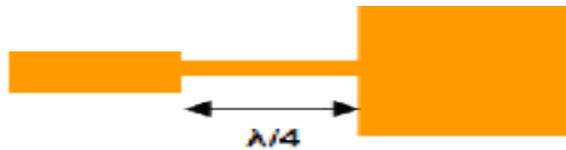
**Figure I.10 :** Alimentation au travers d'une ouverture au plan de masse [2].

## V. Techniques d'adaptation des antennes imprimées

Chaque système qui transforme l'énergie sur une ligne de transmission a besoin d'adaptation ; la ligne transforme l'impédance de charge en une autre valeur d'impédance au droit de la source. Ce que voit la source dépend donc de l'impédance de charge, de la longueur électrique de la ligne et de son impédance caractéristique [18].

### V.1 Adaptation par ligne quart d'onde

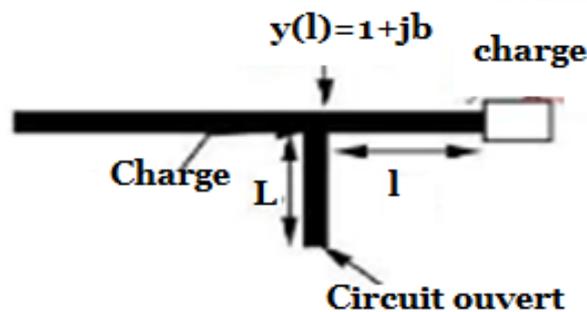
Dans la construction de circuits hyperfréquences, on recherche souvent l'adaptation, c'est à dire à se ramener à une impédance différente (qui est souvent l'impédance caractéristique) de celle obtenue en fin de circuit [18].



**Figure I.11 :** Adaptation par quart à adaptation quart d'onde [18]

### V.2 Adaptation par stub

Une autre façon de procéder pour arriver à l'adaptation d'une charge quelconque consiste à utiliser un stub. Grâce à un stub en un circuit ouvert (open stub) ou en court-circuit (short stub). La solution retenue est généralement celle présentant le plus faible encombrement. Le raisonnement peut se faire en impédance mais il est plus facile de travailler dès le départ en admittance pour faire la somme des impédances parallèles ramenées [18].



**Figure I.12 :** stub en circuit ouvert [18].

### V.3 Adaptation avec encoche

Pour adapter l'antenne, on utilise des encoches, il suffit de modifier la géométrie du patch. Les dimensions des encoches [18].

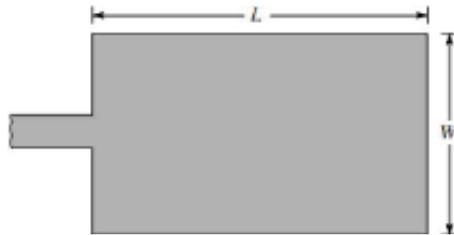


Figure I.13 : Patch rectangulaire [18].

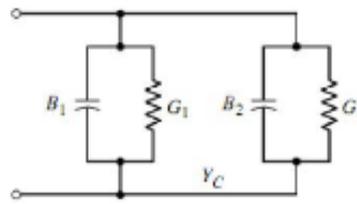


Figure I.14 : L'équivalence en circuit [18].

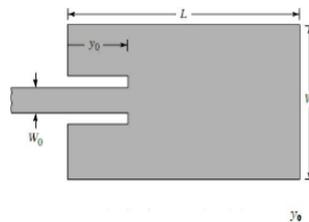


Figure I.15 : Patch adapté par encoches de longueur [18].

## VI. Antennes imprimées reconfigurables

Le terme antenne reconfigurable a été introduit pour la première fois en 1939. Très vite après l'introduction du concept par Brown, les chercheurs ont montré un important intérêt pour cette technique et pour leur application dans les domaines des Micro-ondes et sans fil [19]. Les antennes reconfigurables sont capables de s'adapter à leur environnement en modifiant leur fréquence de fonctionnement, leur polarisation ou leur diagramme de rayonnement par l'utilisation des composants discrets intégrés (diodes PIN, RF MEMS, diodes varicap, commutateurs photoconducteurs...). Jusqu'à aujourd'hui, l'industrie des télécommunications a privilégié les composants de type semi-conducteurs car ils répondent dans l'ensemble aux critères précédemment mentionnés [19]. Les antennes reconfigurables sont actuellement employées dans des systèmes utilisant des ondes millimétriques (60 GHz), et aussi dans les applications spatiales telles que les radars, les satellites de communications, les stations de base pour téléphones mobiles...etc [19].

## VII. Techniques de reconfigurabilité

Il existe plusieurs techniques de reconfiguration et différents moyens pour les

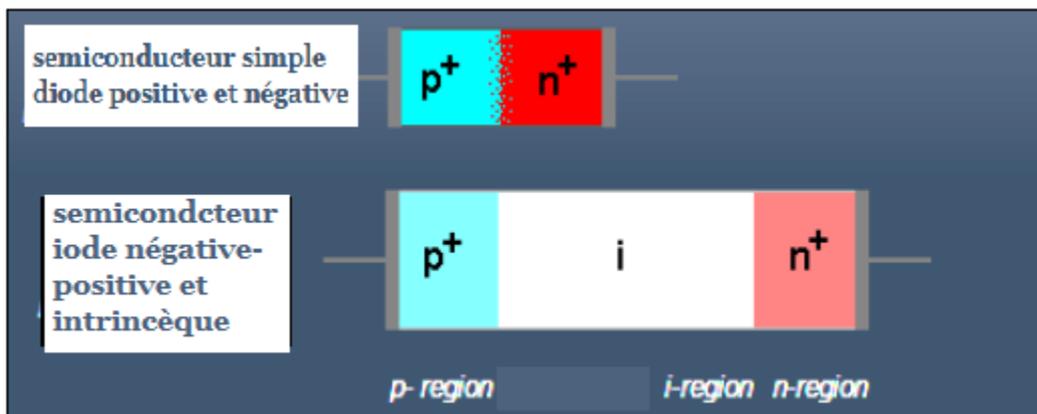
mettre en œuvre, plus efficace et moins coûteuses [20].

### ***VII.1 Diode Varicap***

C'est une diode qui se comporte comme un condensateur dont la valeur de la capacité varie avec la tension inverse appliquée à ses bornes, lorsque l'on change sa tension de polarisation, on change la valeur de cette capacité. Bien que ces types présentent une certaine facilité d'intégration et une grande agilité [20].

### ***VII.2 Diode PIN***

C'est un dispositif semi-conducteur qui peut faire varier sa résistance en série en fonction de la tension appliquée par sa cathode et son anode. Idéalement, ce composant agit comme un court-circuit en état ON et un circuit ouvert en état OFF [20].



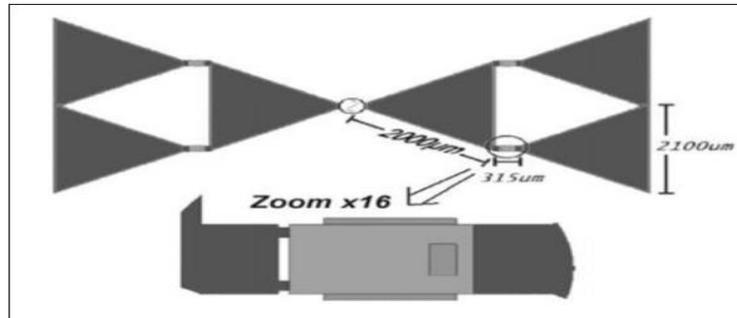
**Figure I.16** : schéma d'une diode PIN [20].

La diode PIN est une composante à faible coût, une dimension variée ainsi qu'un commutateur rapide. Typiquement, la diode PIN peut traiter l'énergie de l'ordre de 40 dBm qui est assez pour des nœuds de capteur sans fil ou des applications de téléphones portables. Cependant, son principal inconvénient est la forte consommation de courant continu en état ON. La diode PIN a été utilisée dans de nombreux types d'antennes telles que des dipôles imprimés, des antennes à fentes, des antennes patch micro ruban, des PIFA et des antennes diélectriques à résonateur [20].

### ***VII.3 MEMS (Système Micro électromécanique)***

Un microsystème électromécanique est un microsystème comprenant un ou plusieurs éléments mécaniques, peut être défini comme un objet de petite dimension intégrant une partie électrique (et/ou électronique) et une partie mécanique qui sont en relation fonctionnelle [21].

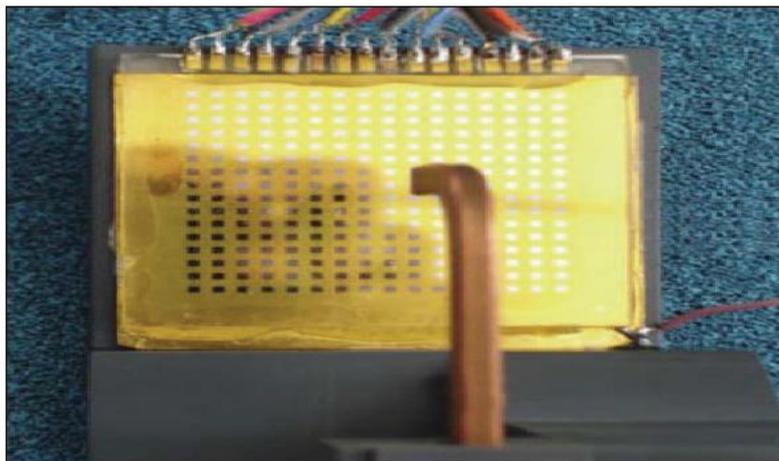
Ce type « switch RF » sont des composants utilisant un mouvement mécanique qui permet d'obtenir un court-circuit ou un circuit-ouvert sur une ligne de transmission. Ces composantes se distinguent par leur très faible consommation de puissance et faible temps de réponse [20].



**Figure I.17** : antenne reconfigurable en fréquence utilisant des commutateurs RF- MEMS [22].

#### *VII.4 Matériaux Agiles*

Les matériaux 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 [20]. La nature de la commande externe permet de distinguer deux sous-ensembles : les matériaux à commande électrique (ferroélectrique et cristaux liquides) et les matériaux à commande magnétique (ferrites, composites ferromagnétiques) [20]. Ils offrent l'avantage d'être peu encombrants et de plus e plus facilement intégrables [20].



**Figure I.18** : Commande par changement de matériau [20].

Comme le montre la figure I.18, cette technique de commande qui a été consisté à utilise le cristal liquide, comme substrat de l'antenne [20]. Ces derniers (matériaux à cristaux liquides) possèdent aussi la particularité de changer de permittivité une fois un champ électrique statique est appliqué. Cette caractéristique peut alors être exploitée pour commander l'antenne [20].

### **VIII. Classification des antennes reconfigurables**

Il existe plusieurs critères pour classer les antennes reconfigurables, dans ce chapitre nous adoptons une classification selon la fonctionnalité. Nous obtenons donc trois grandes familles [22] :

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

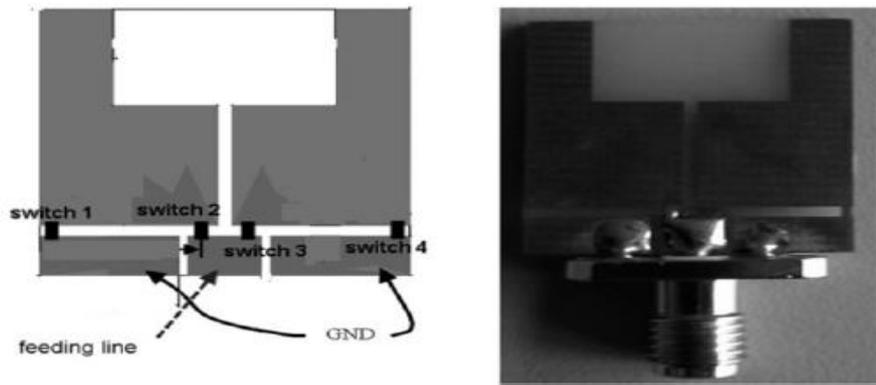
La combinaison de deux fonctionnalités ou plus reste possible.

#### ***VIII.1 Antennes reconfigurables en fréquence***

Le besoin de dispositifs accordables en hyper fréquence a toujours existé, pour compenser par exemple les dérives technologiques ou pour augmenter l'intégration de fonctions [23]. La reconfiguration en fréquence concerne plusieurs fonctions : la commutation entre différentes fréquences de fonctionnement, l'accord en fréquence, la variation de la bande passante ou encore le réglage de fonctionnalités de filtrage, par exemple la réjection de bande de fréquence [23].

#### ***VIII.2 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 [2]. 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 [2].



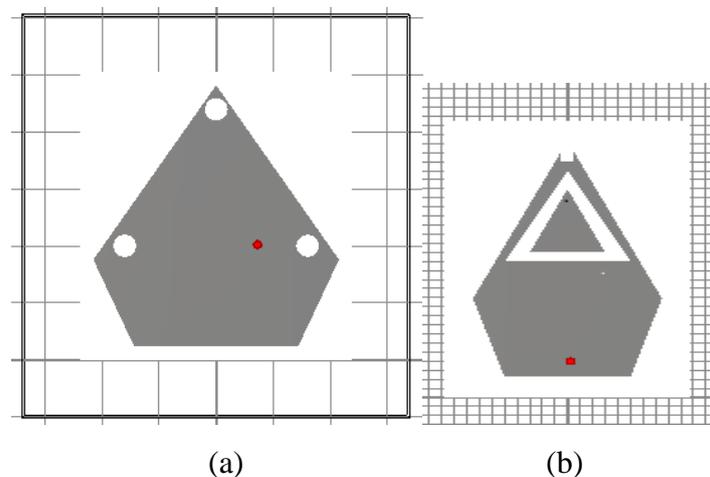
**Figure I.19** : L'antenne agile en diagramme de rayonnement [2].

### VIII.3 Antenne reconfigurable en polarisation

La reconfiguration de polarisation d'une antenne consiste à modifier uniquement l'orientation vectorielle du champ E sans changer ni la fréquence de résonance ni le diagramme de rayonnement [24].

## IX. Antennes reconfigurable étudié en simulation

Dans le cadre de notre projet de fin d'étude sur la conception des antennes reconfigurable en fréquences, et selon la classification des antennes reconfigurables et ces techniques utilisées dans ce chapitre, on va présenter deux exemples sur la conception d'une antenne patch reconfiguré en fréquence, les résultats obtenus doivent être optimisés selon le besoin de fonctionnement. Nous avons proposé dans notre travail de reconfigurer et simuler une antenne patch pentagone [28] ainsi que sa structure miniature [29] comme le montre la figure I.20 :



**Figure I.20** : Antennes patch pentagone proposés [28], [29]

(a)antenne patch pentagone initiale (b) antenne patch pentagone miniature

Les paramètres de calcul de cette antenne sont donnés sur le tableau I.1 [7] :

Paramètre d'antenne	Equation	Légende
Largeur efficace de l'antenne(W)	$W = \frac{1}{2fr\sqrt{\mu_r\epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r+1}}$	Fr : fréquence de résonance
Constante diélectrique ( $\epsilon_{eff}$ )	$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r+1}{2} \frac{\epsilon_r-1}{2} \left[ 1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{-\frac{1}{2}}$	$\epsilon_r$ : permittivité du substrat
L'extension de la longueur ( $\Delta L$ )	$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{w}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{w}{h} + 0.8\right)}$	h : l'épaisseur du substrat
Longueur réelle (L)	$L = \frac{1}{2fr\sqrt{\epsilon_{eff}\mu_r\epsilon_0}} - 2\Delta L$	
Longueur effective ( $L_{eff}$ )	$L_{eff} = L + 2\Delta L$	

**Tableau I.1** : Paramètres de l'antenne patch pentagone [7].

**Tel que :**

$\epsilon_{eff}$  : Permittivité effective du substrat

h : l'épaisseur du substrat

Fr : fréquence de résonance.

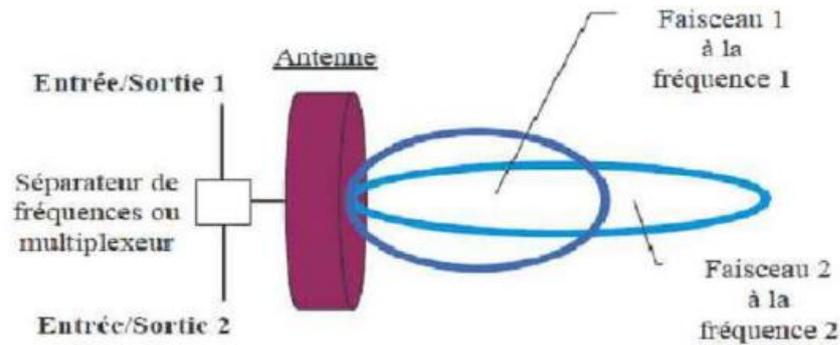
Les dimensions du substrat et du plan de masse (Lg, Wg) sont données en fonction des dimensions du patch par les relations empiriques suivantes [7] :

$$Lg = L + 6h \quad (\text{I.10})$$

$$Wg = W + 6h \quad (\text{I.11})$$

## X. Les antennes patch multi bandes

Une antenne multi-bande, par définition, est une antenne fonctionnant dans deux ou plusieurs bandes de fréquence avec des performances assez similaires dans ces bandes. Le fonctionnement d'une antenne multi bande une de fréquence de résonance se traduit généralement par une adaptation « raisonnable » de l'antenne pour toutes les fréquences de la bande [6].



**Figure I.21** : Principe de fonctionnement d'une antenne multi-bande [6].

## XI. Applications des antennes micro-ruban reconfigurables

Vu l'explosion technologique dans la télécommunication et les recherches scientifiques continues concernant les antennes imprimées, et vu les exigences multiples dans le domaine de communication, l'utilisation des antennes micro-ondes classiques devient incapable de répondre à ces exigences. Pour cette raison, les antennes microbandes remplacent les antennes classiques dans la plupart des applications [25]. Parmi ces applications on cite :

- Les télécommunications par satellites ;
- La commande et contrôle ;
- La télémessure par missile ;
- Les équipements portatifs ;
- Les éléments d'alimentation dans les antennes complexes ;
- Les antennes d'émission utilisées en médecine ;
  - . Les Réseaux mobiles (GSM 900, DCS 1800, UMTS, ...) ;
  - . Réseaux sans fils : (WLAN, BLUETOOTH, WIFI, ...) ;
  - Les récepteurs satellite de navigation.

## XI. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les antennes imprimées dont le développement est en plein essor en raison des nouvelles fonctionnalités qu'elles proposent. Nous avons présenté les caractéristiques et les techniques d'alimentation des antennes patch. En d'autres points nous avons parlé sur les antennes patch reconfigurable et leurs techniques de reconfigurations. En fin, nous avons terminé par une description générale sur les applications de ces antennes dans différentes applications.

Dans le chapitre suivant, nous allons concevoir et simuler une antenne patch pentagone reconfigurable puis nous allons retirer ses différentes caractéristiques à savoir le gain, la directivité, la bande passante, et le coefficient de réflexion.

## ***Chapitre II : Simulations et résultats***

---

## I. Introduction

Dans le cadre de notre projet de fin de cycle, nous allons reconfigurer et simuler une antenne patch pentagone de grande dimension [28] et de dimension miniature [29]. Nous avons choisi d'utiliser des diodes PIN sur les fentes du patch et les encoches du plan de masse. Les résultats de simulations seront présentés à savoir le paramètre de réflexion S11, le diagramme de rayonnement et la distribution du courant.

## II. Choix de l'outil de simulation

CST MICROWAVE STUDIO est un outil spécialisé pour la simulation et la conception électromagnétique trois dimensions (3D) des composantes hautes fréquences. Il simplifie le processus de saisie de la structure et la définition des équipements en fournissant une interface graphique de modélisation puissante et solide. Après la modélisation du composant, une procédure de maillage automatique peut être appliquée avant que le moteur de simulation ne soit lancé [20].

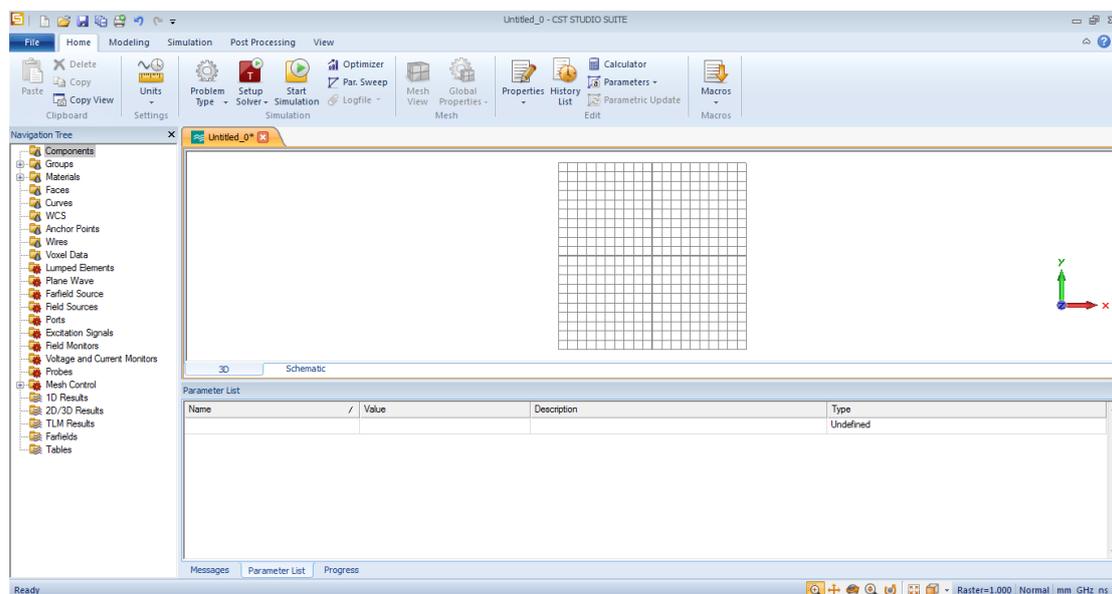
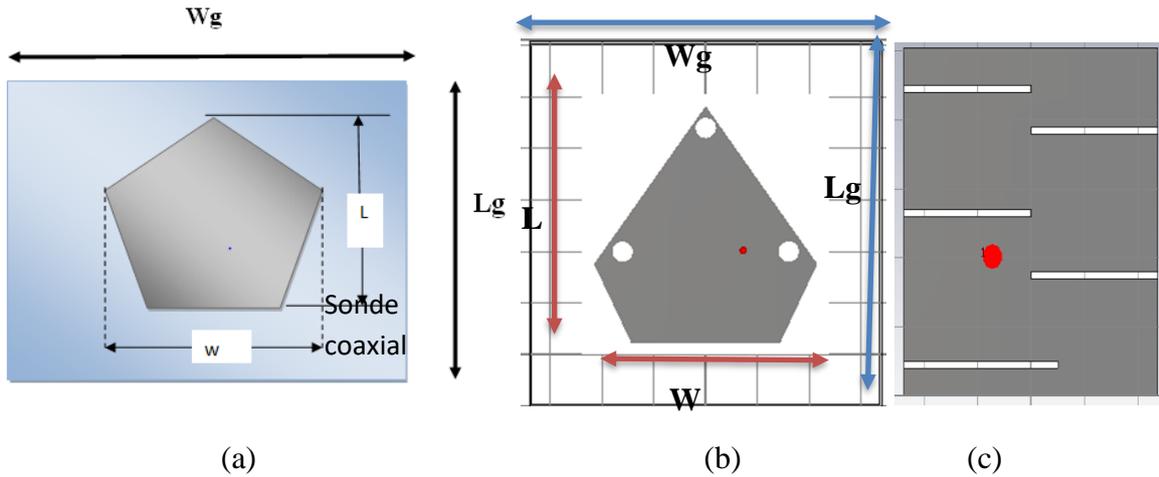


Figure II.1 : Outil de simulation CST.

## III. Conception et simulation de l'antenne patch pentagone de grandes dimensions

### III.1 Géométrie de l'antenne

L'antenne proposée est une antenne patch pentagone [28], alimentée et adaptée par une sonde coaxiale ( $50 \Omega$ ), avec un substrat de type **Rogers3003** d'une permittivité relative  $\epsilon_r=3$  et d'une épaisseur  $h=0.75$  mm. Cette dernière est une antenne multi bandes travaillant dans plusieurs domaines de communications.



**Figure II-2** : Antenne patch pentagone, (a) forme simple [28], (b) avec fentes, (c) plan de masse

Les valeurs de ces paramètres sont mentionnées dans le tableau II.1 :

<i>Paramètres</i>	<i>Dimensions (mm)</i>
<i>Lg</i>	<i>51.93</i>
<i>Wg</i>	<i>48.69</i>
<i>L</i>	<i>47.43</i>
<i>W</i>	<i>44.19</i>

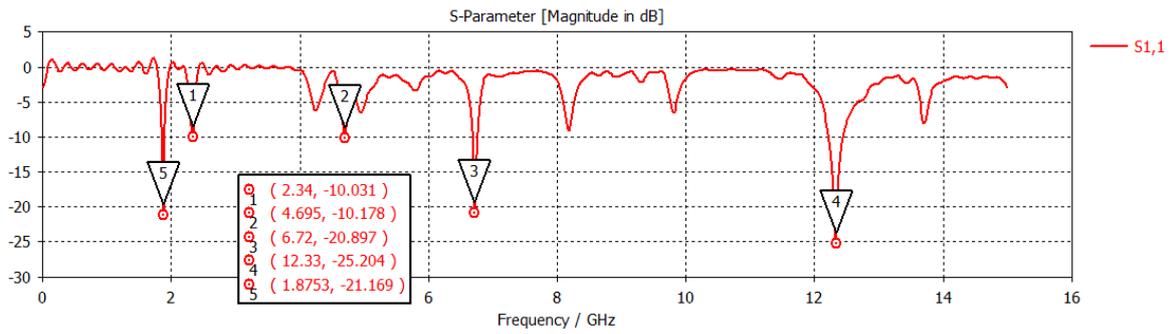
**Tableau II.1** : Dimensions de l'antenne patch pentagone.

Ces paramètres ( $L$ ,  $W$ ) du patch et ( $L_g$ ,  $W_g$ ) du plan de masse et du substrat sont calculées à partir des équations du tableau I.1 du chapitre I.

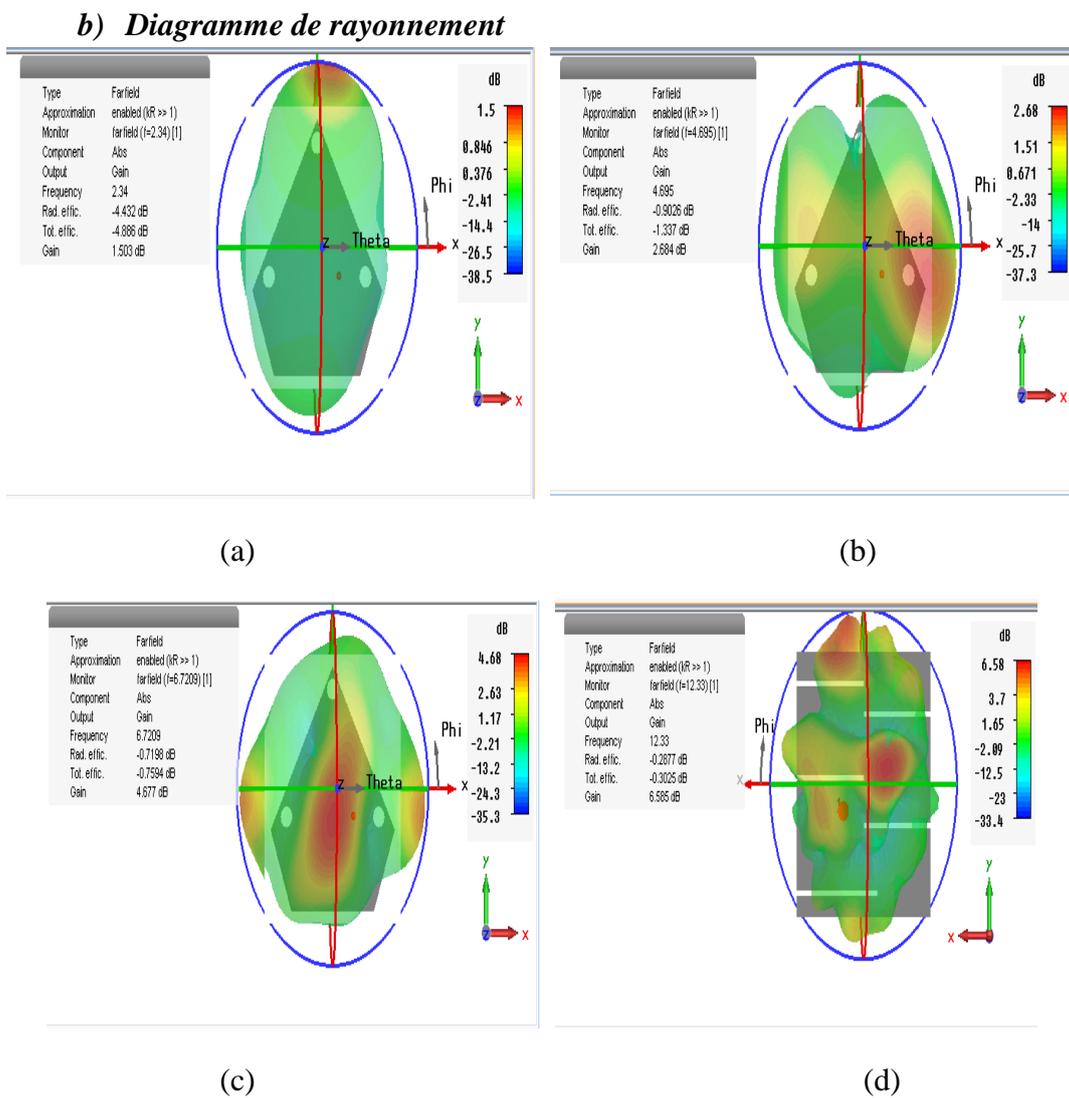
### **III.3 Résultat de simulation**

#### **a) Paramètre de réflexion $S_{11}$**

La figure II.3 représente le paramètre  $S_{11}$  de l'antenne patch pentagone initiale. Nous avons obtenu cinq fréquences :  $f_1= 1.8753\text{GHz}$ ,  $f_2=2.34\text{GHz}$ ,  $f_3=4.695\text{GHz}$ ,  $f_4=6.7209\text{GHz}$ ,  $f_5=12.33\text{GHz}$  avec un  $S_{11}$  de : -21.169, -10.031, -10.17, -20, 89 et -25.20 respectivement.



**Figure II.3 :** Coefficient de réflexion S11 d'antenne patch pentagone de grandes dimensions.

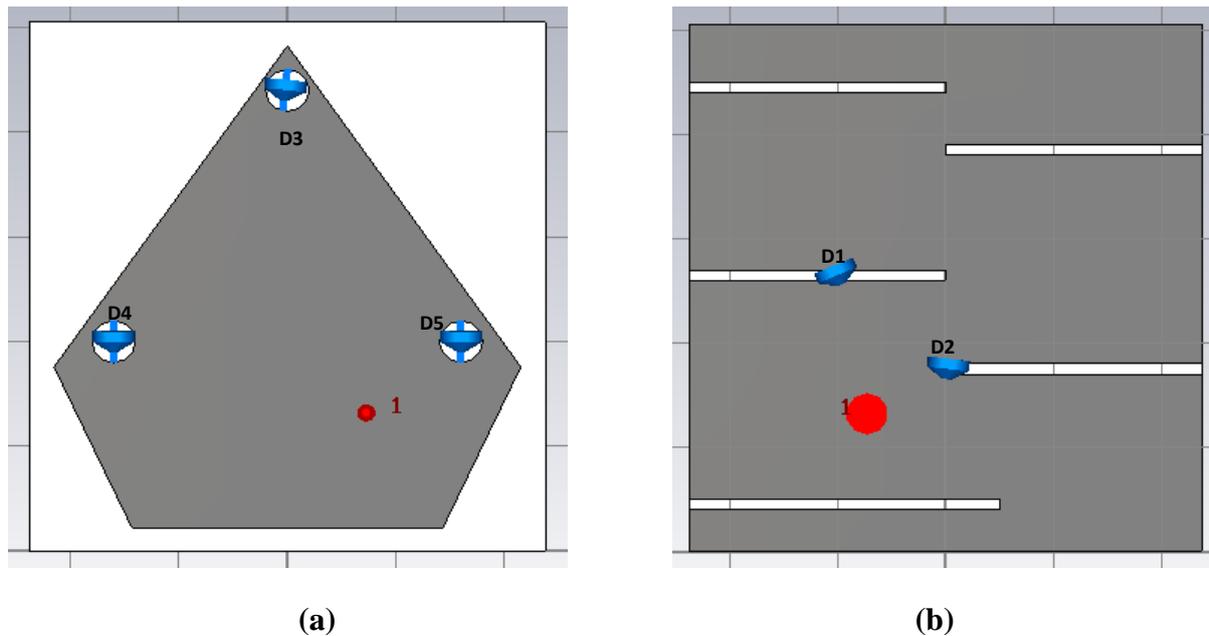


**Figure II.4 :** Les diagrammes des rayonnements en 3D aux fréquences 2.34GHz, 4.695GHz, 6.7209GHz, 12.33GHz respectivement.

La figure II.4 montre le diagramme de rayonnement de l'antenne patch pentagone initiale aux différentes fréquences obtenues en simulation. Ce dernier est presque omnidirectionnel.

#### IV. Reconfiguration de l'antenne patch pentagone de grandes dimensions

Pour entamer la reconfiguration de notre antenne patch pentagone, nous allons insérer des diodes PIN (D1, D2, D3, D4, D5) sur les fentes du patch et sur les encoches du plan de masse comme le montre la figure II.5 :



**Figure II.5 :** Antenne reconfigurable avec des diodes PIN  
(a) Vue de face, (b) vue d'arrière.

##### IV.1 Mode de fonctionnement des diodes PIN insérer

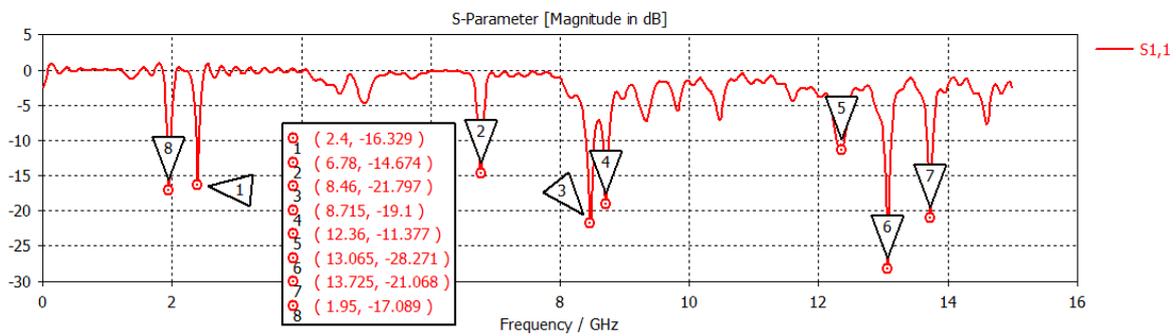
Les modes de fonctionnement considérés dans notre travail sont résumés sur le tableau II.2 :

<b>Mode M1</b>	Toutes ON
<b>Mode M2</b>	Toutes OFF
<b>Mode M3</b>	1 <sup>er</sup> diode ON
<b>Mode M4</b>	2-4-5 ON
<b>Mode M5</b>	1-2-5 ON

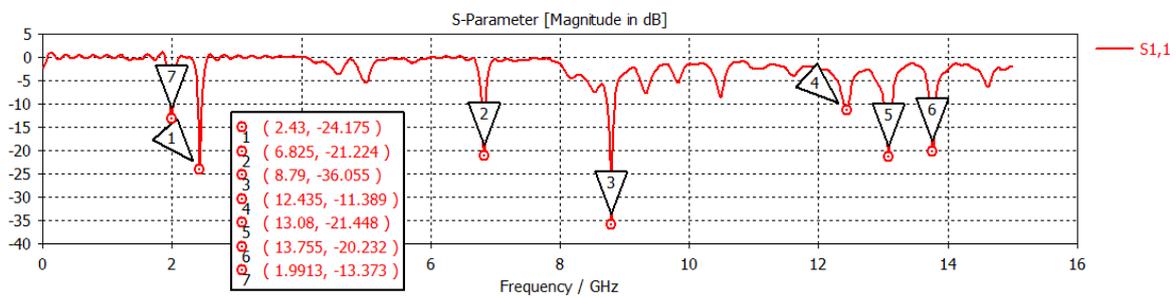
**Tableau II.2 :** Mode de fonctionnement des diodes PIN.

IV.2 Résultats de simulations

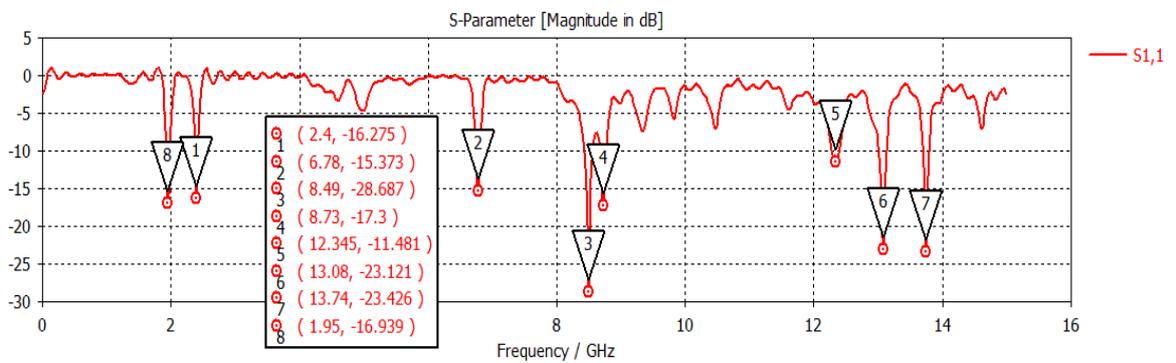
a) Paramètres de réflexion S11



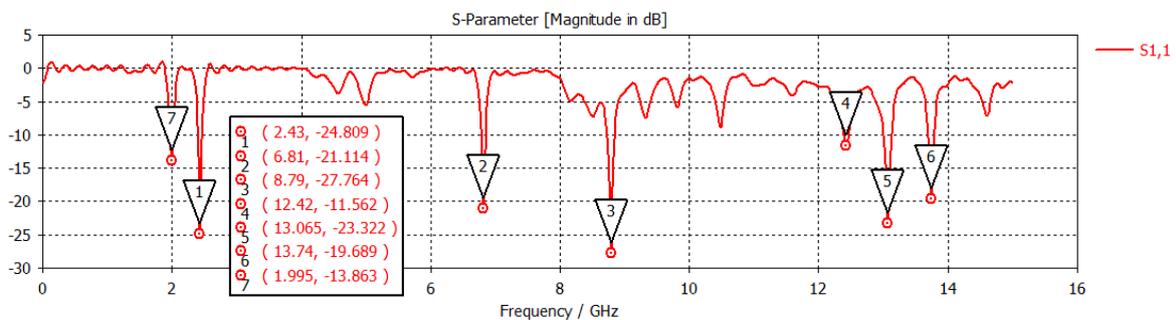
(a)



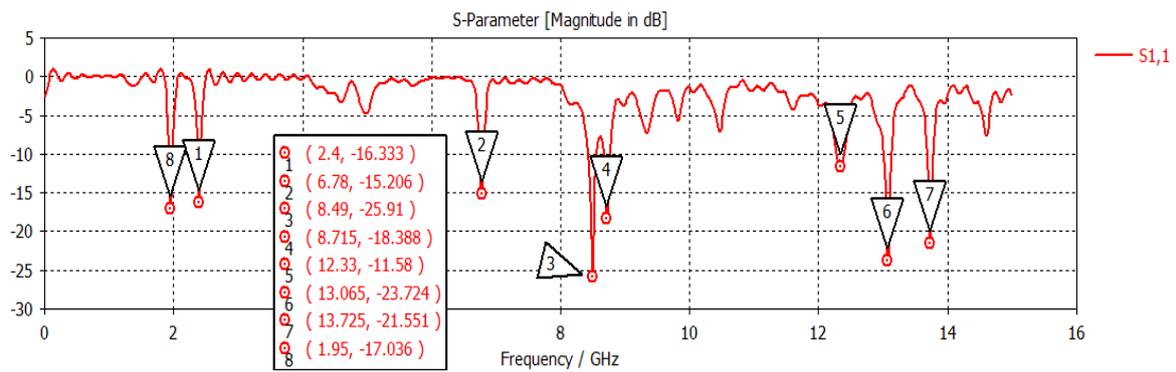
(b)



(c)



(d)

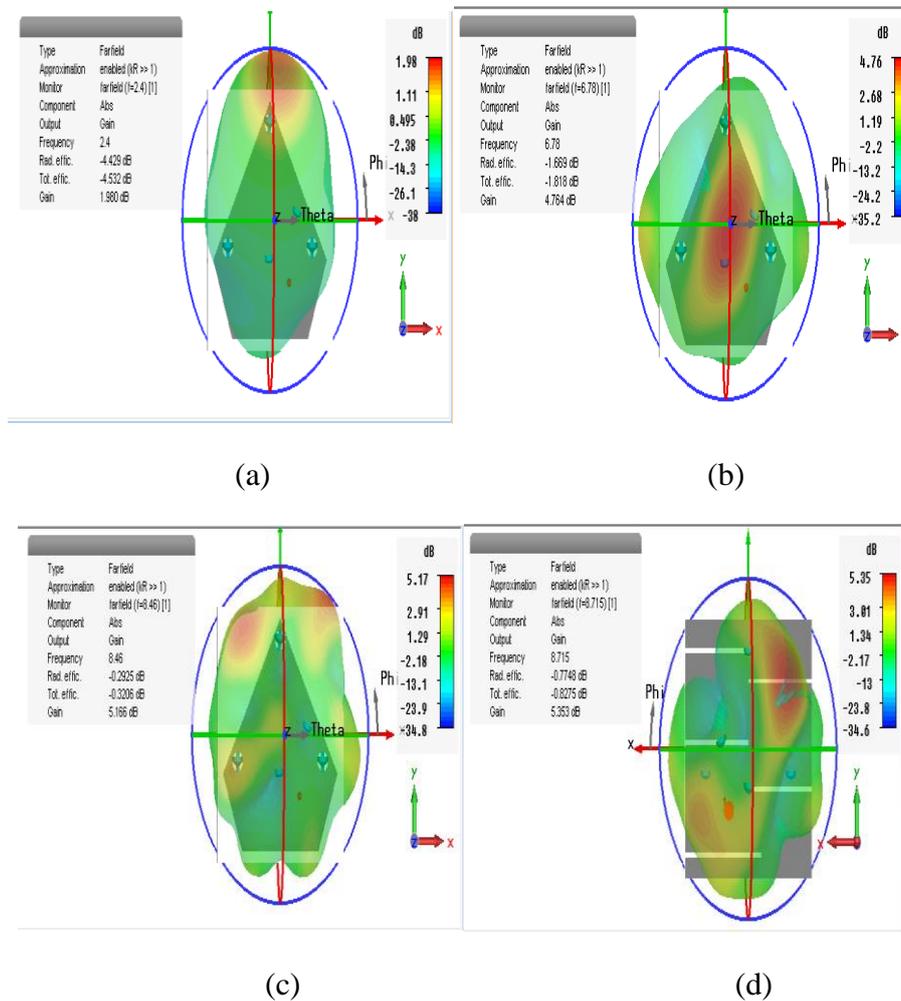


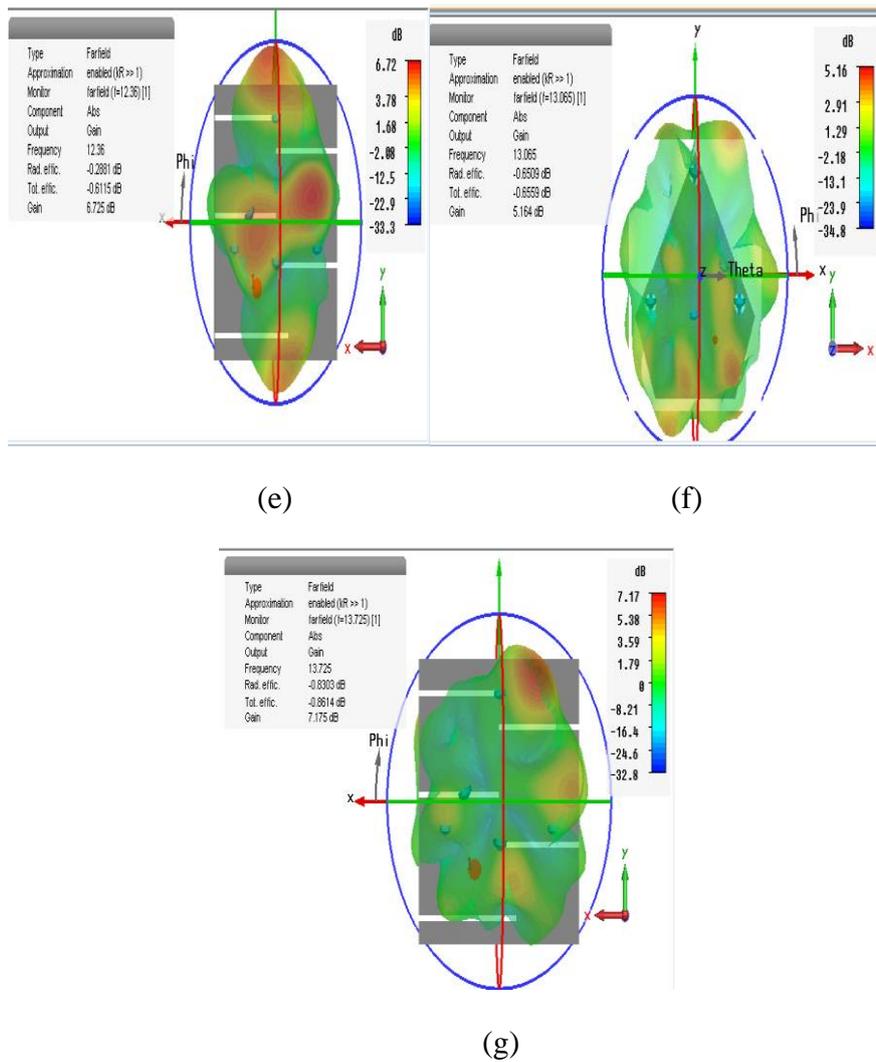
(e)

Figure II.6 : Les coefficients de réflexion S11 : (a) Mode M1, (b) Mode M2, (c) Mode M3, (d) Mode M4, (e) Mode M5.

La figure II.6 montre bien le changement en fréquences entre les 5 modes cités dans le tableau II.2 avec des coefficients de réflexions bien adaptés.

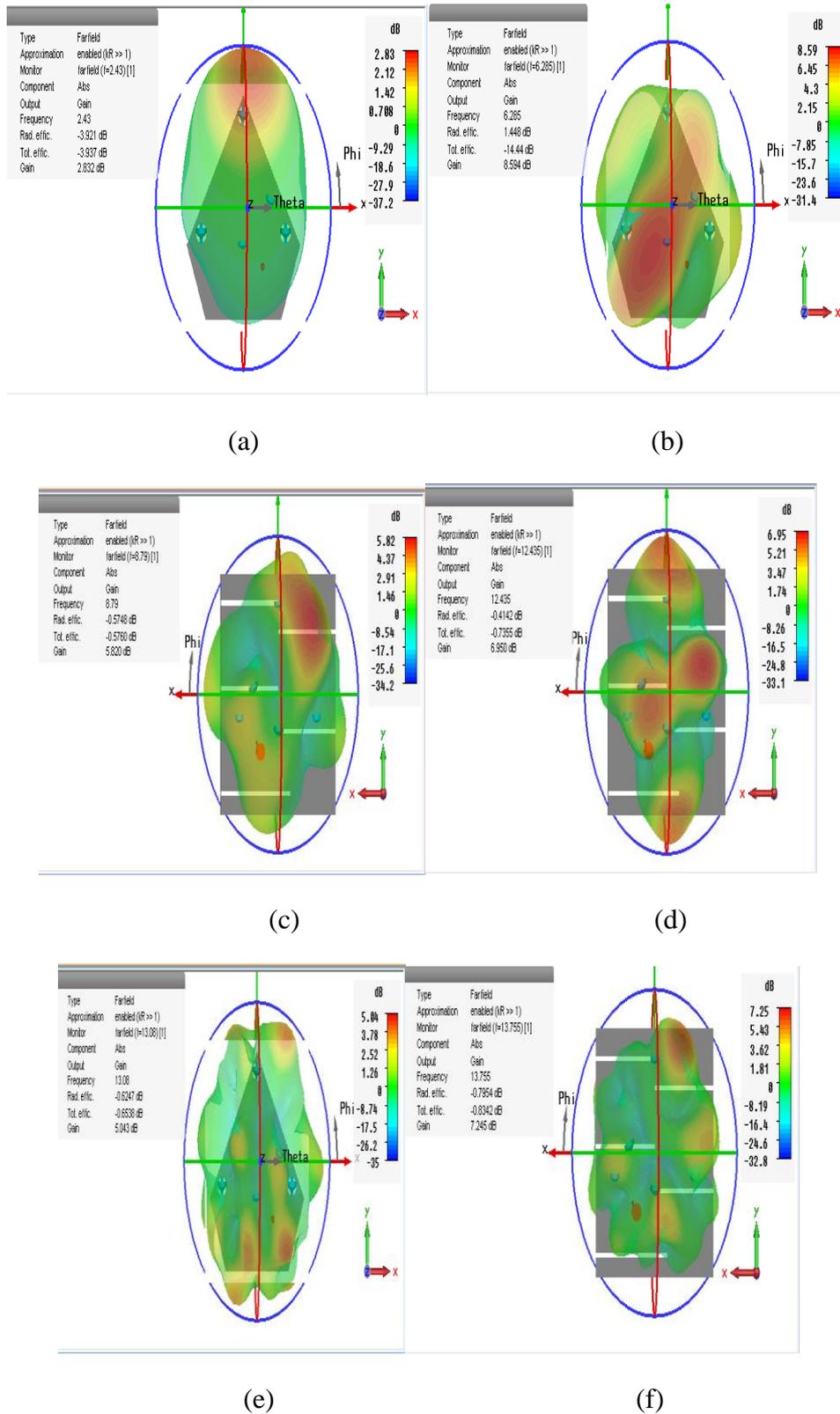
b) Diagramme de rayonnement





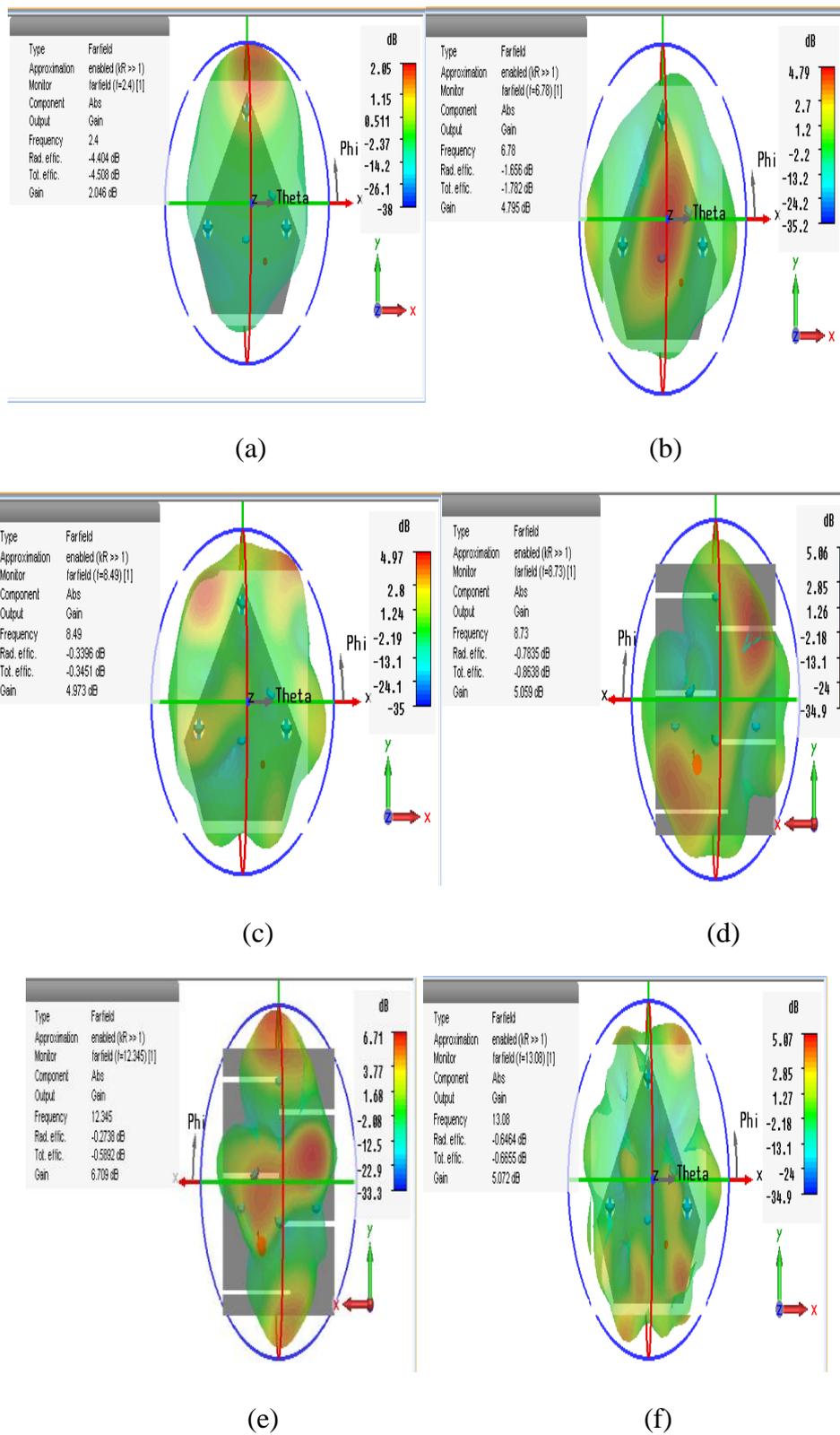
**Figure II.7:** Les diagrammes des rayonnements en 3D en mode M1 :  
 (a)  $f_1=2.4\text{GHz}$  ; (b)  $f_2=6.78\text{ GHz}$  ; (c)  $f_3=8.46\text{GHz}$  ;(d)  $f_4=8.715\text{GHz}$  ;  
 (e)  $f_5=12.36\text{GHz}$  ;(f)  $f_6=13.065\text{GHz}$  et (g)  $f_7=13.725\text{GHz}$ .

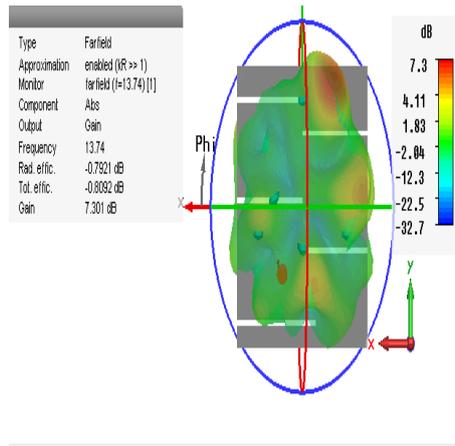
La figure II.7 présente le diagramme de rayonnement du mode 1 avec les différentes fréquences obtenues, ce dernier est omnidirectionnel avec un bon gain entre 1 à 7 dB.



**Figure II.8:** Les diagrammes des rayonnements en 3D en mode M2 :  
 (a)  $f_1=2.43\text{GHz}$  ; (b)  $f_2=6.825\text{GHz}$ ; (c)  $f_3=8.79\text{GHz}$ ; (d)  $f_4=12.435\text{GHz}$ ; (e)  
 $f_5=13.08\text{GHz}$  et (f)  $f_6=13.755\text{GHz}$ .

La figure II.8 présente le diagramme de rayonnement du mode 2 avec les différentes fréquences obtenues, ce dernier est omnidirectionnel avec un bon gain entre 2 à 8 dB.



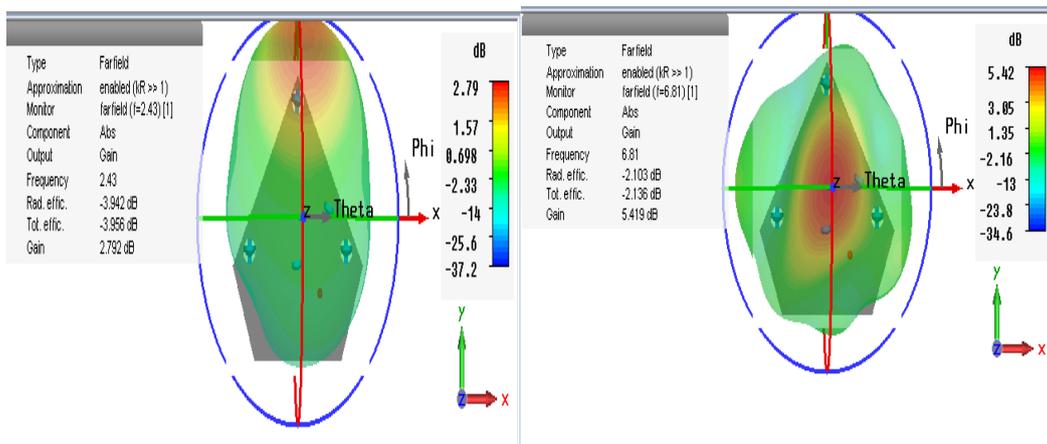


(g)

**Figure II.9:** Les diagrammes des rayonnements en 3D en mode M3 :

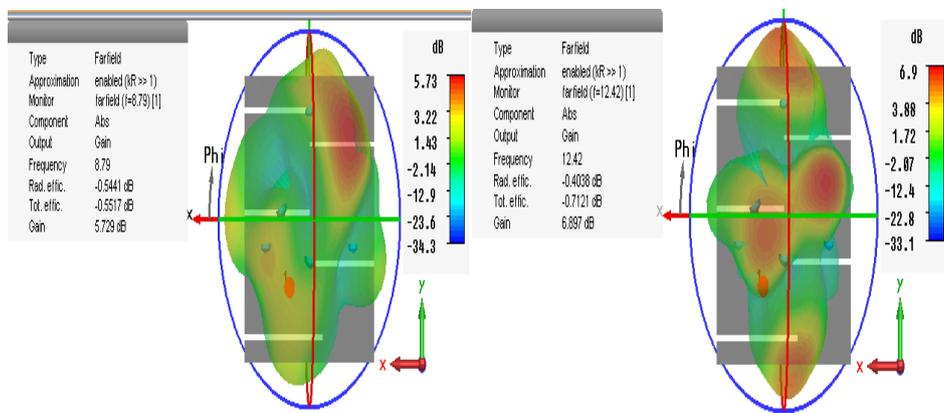
- (a) f1=2.4GHz ; (b) f2=6.78GHz ; (c) f3=8.49GHz ;(d) f4=8.73GHz ;(e) f5=12.345GHz ;  
 (f) f6=13. 08GHz et(g) f7=13.74GHz.

La figure II.9 présente le diagramme de rayonnement du mode 3 avec les différentes fréquences obtenues, ce dernier est omnidirectionnel avec un bon gain entre 2 à 7 dB.



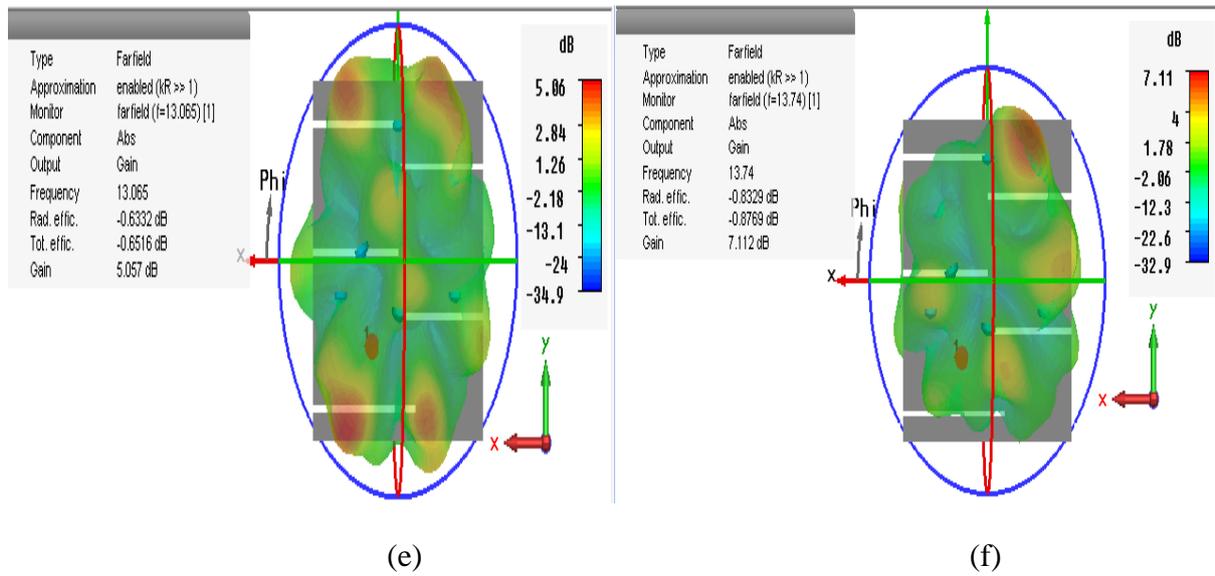
(a)

(b)



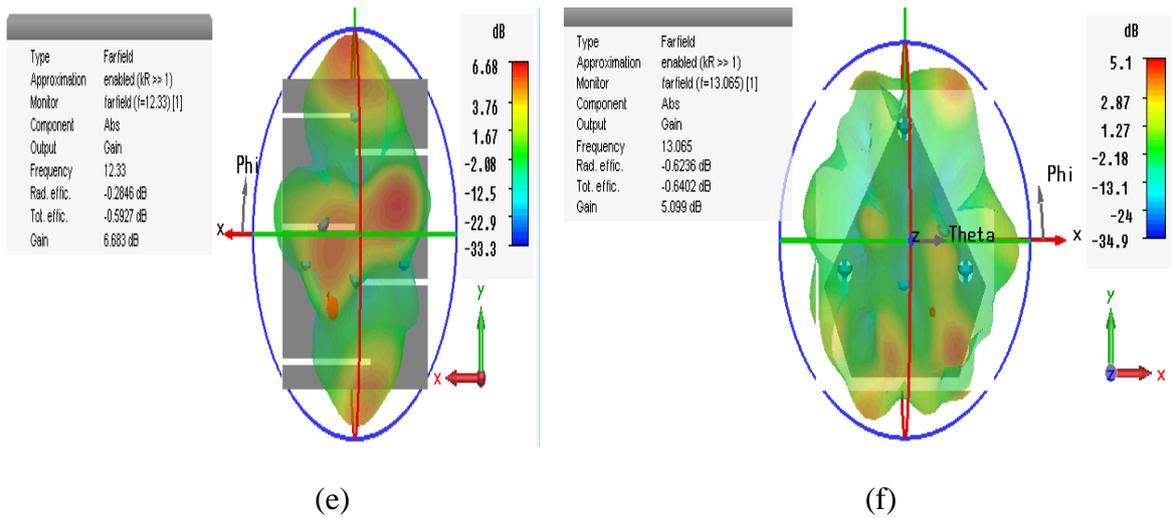
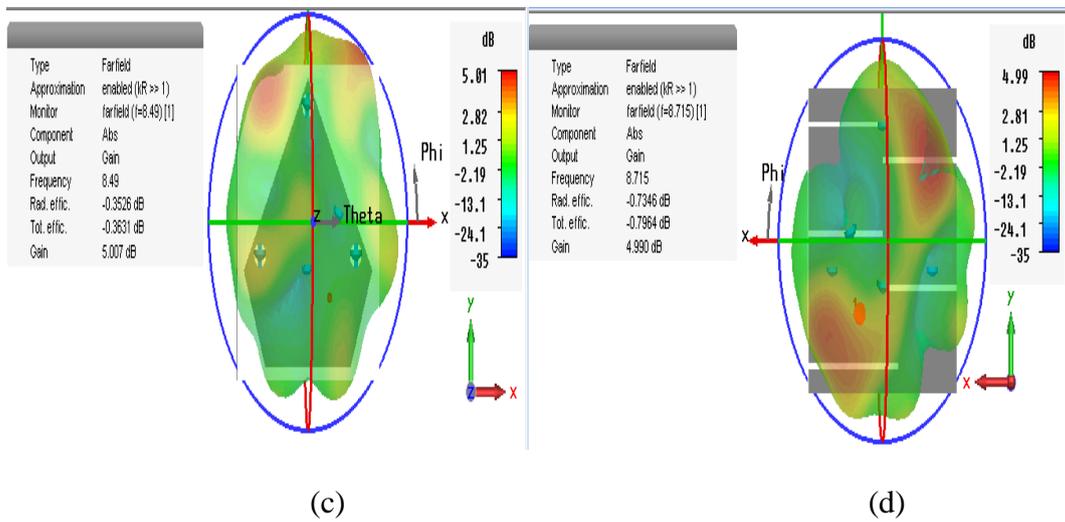
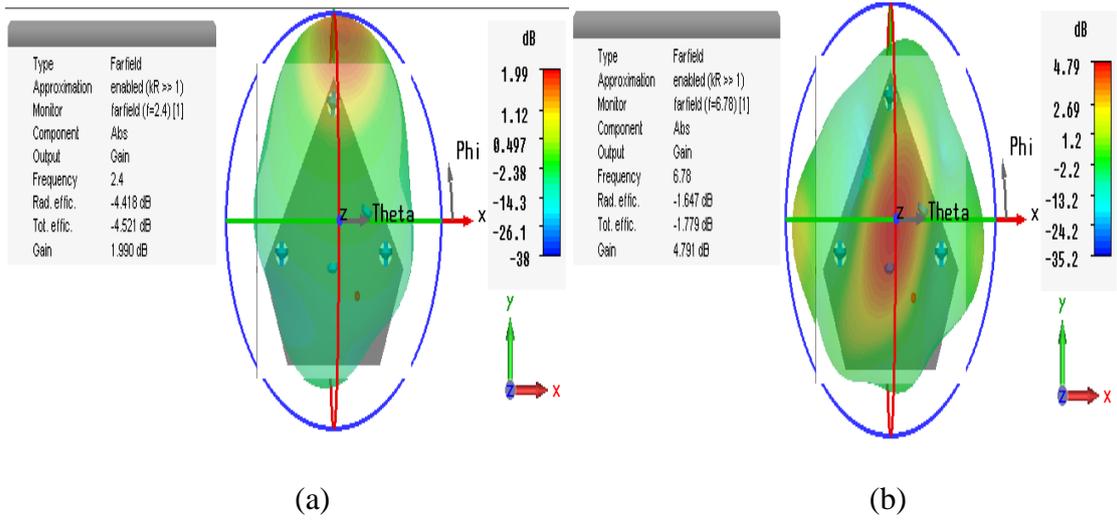
(c)

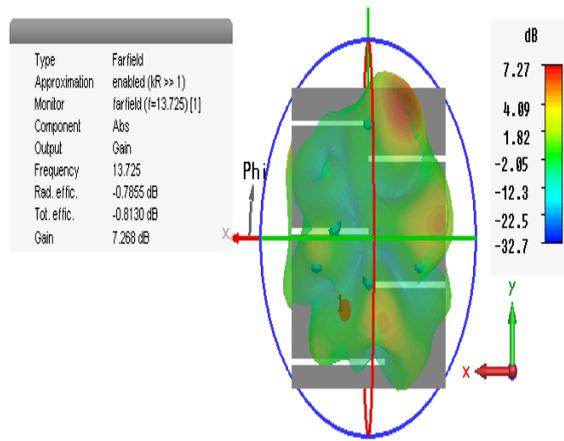
(d)



**Figure II.10:** Les diagrammes des rayonnements en 3D au mode M4 :  
 (a)  $f_1=2.43\text{GHz}$  ; (b)  $f_2=6.81\text{GHz}$  ; (c)  $f_3=8.79\text{GHz}$  ;(d)  $f_4=12.42\text{GHz}$  ;(e)  
 $f_5=13.065\text{GHz}$  et(f)  $f_6=13.74\text{GHz}$ .

La figure II.10 présente le diagramme de rayonnement du mode 4 avec les différentes fréquences obtenues, ce dernier est omnidirectionnel avec un bon gain entre 2 à 7 dB.





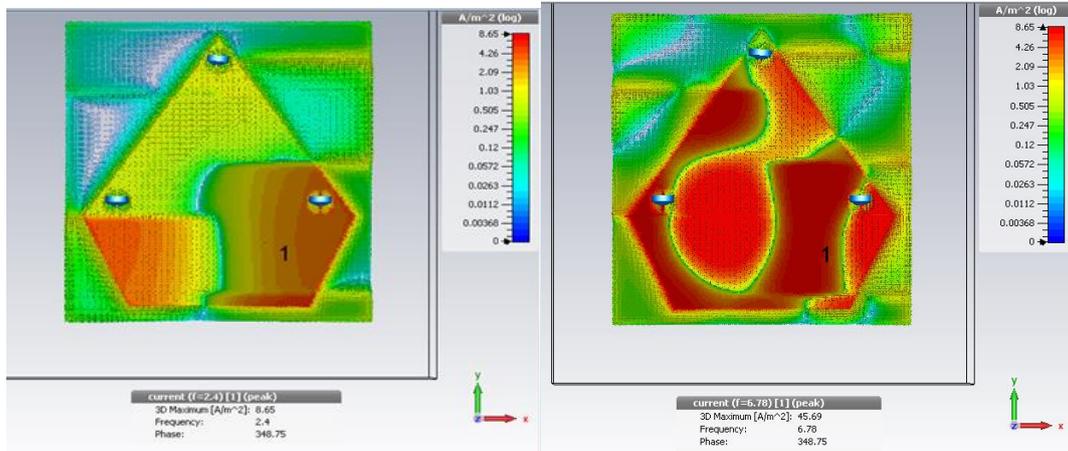
(g)

**Figure II.11:** Les diagrammes des rayonnements en 3D simulés mode M5 :  
 (a)  $f_1=2.4\text{GHz}$ ; (b)  $f_2=6.78\text{GHz}$ ; (c)  $f_3=8.49\text{GHz}$  ;(d)  $f_4=8.715\text{GHz}$  ;(e)  
 $f_5=12.33\text{GHz}$  ;(f)  $f_6=13.065\text{GHz}$  et (g)  $f_7=13.725\text{GHz}$ .

La figure II.11 présente le diagramme de rayonnement du mode 5 avec les différentes fréquences obtenues, ce dernier est omnidirectionnel avec un bon gain entre 1 à 8 dB.

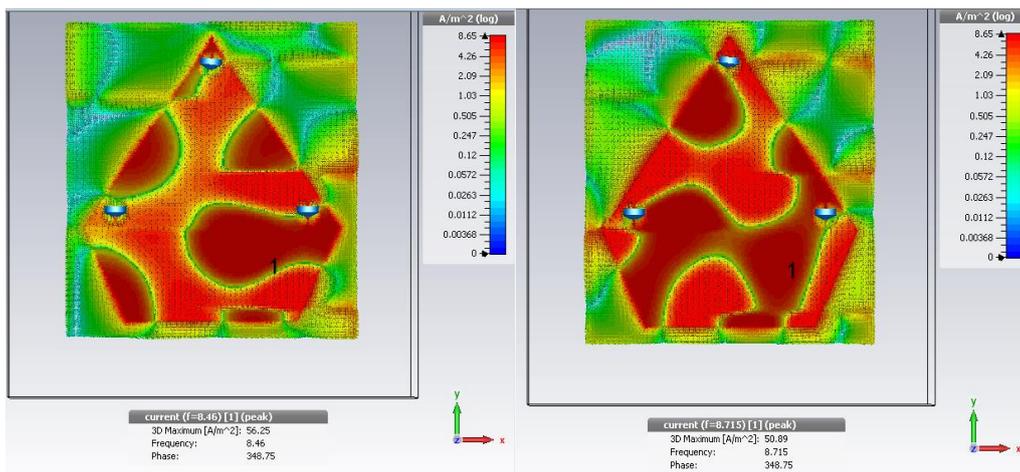
c) Distribution du courant aux différentes fréquences

Nous allons présenter dans cette partie la distribution du courant dans l'antenne patch pentagone initiale pour les différentes fréquences obtenues en simulation et aussi dans les différents modes de fréquence pris en considération dans notre travail :



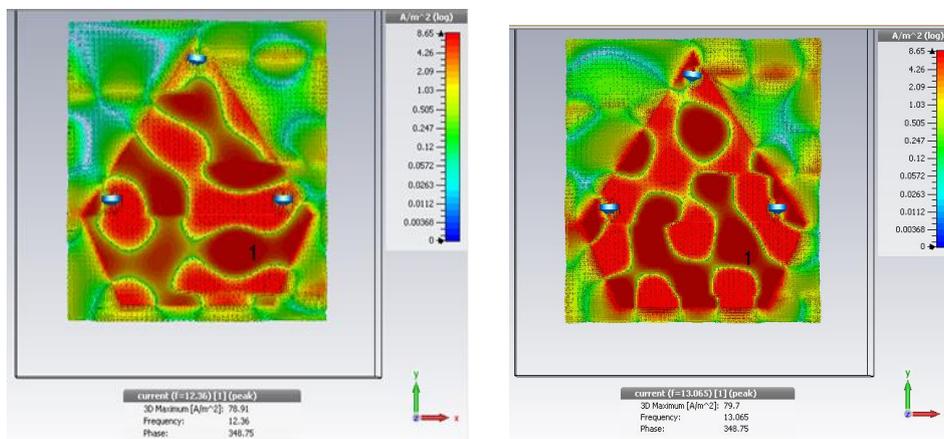
(a)

(b)



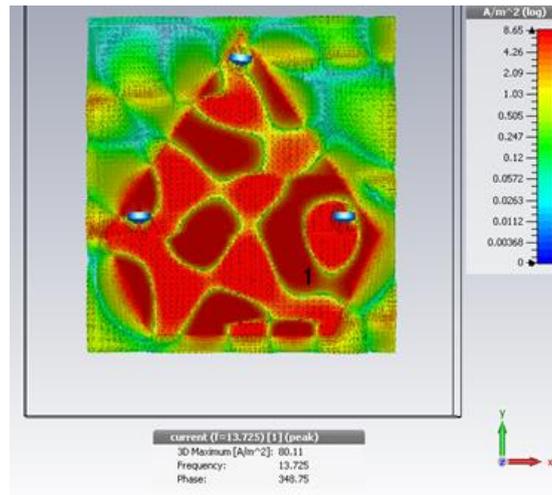
(c)

(d)



(e)

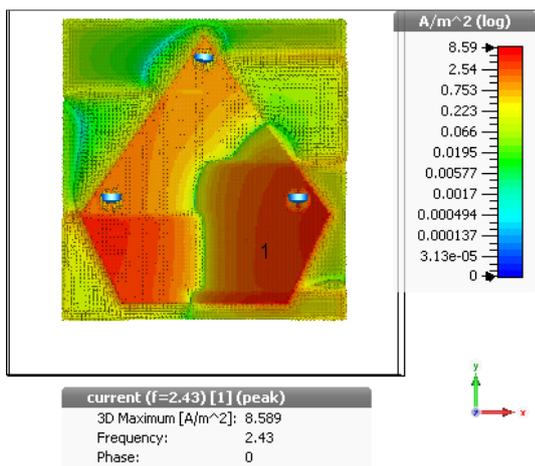
(f)



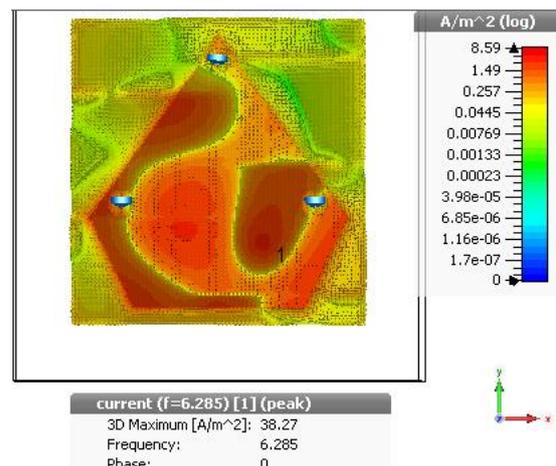
(g)

**Figure II.12:** Les densités des courants simulés au mode M1 :

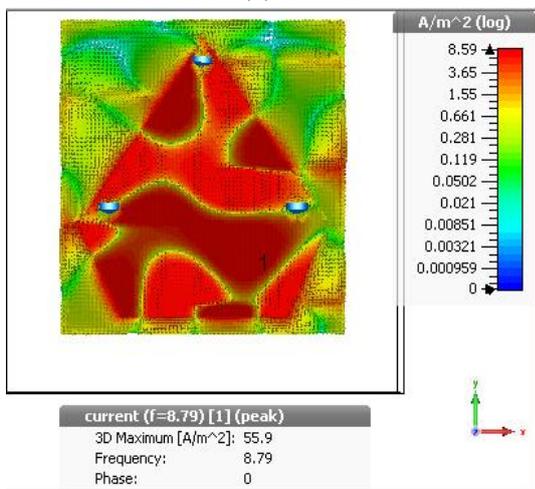
(a)  $f_1=2.4\text{GHz}$ ; (b)  $f_2=6.78\text{GHz}$ ; (c)  $f_3=8.46\text{GHz}$ ; (d)  $f_4=8.715\text{GHz}$  ;(e)  $f_5=12.36\text{GHz}$  ;(f)  $f_6=13.065\text{GHz}$  et (g)  $f_7=13.725\text{GHz}$ .



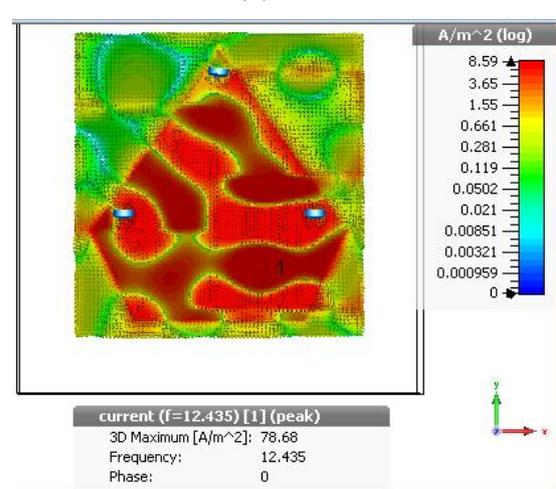
(a)



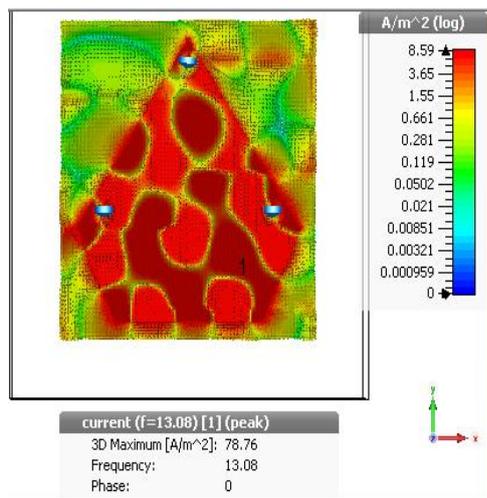
(b)



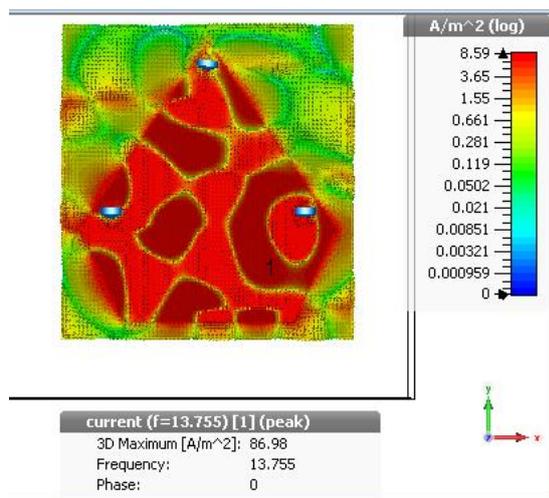
(c)



(d)



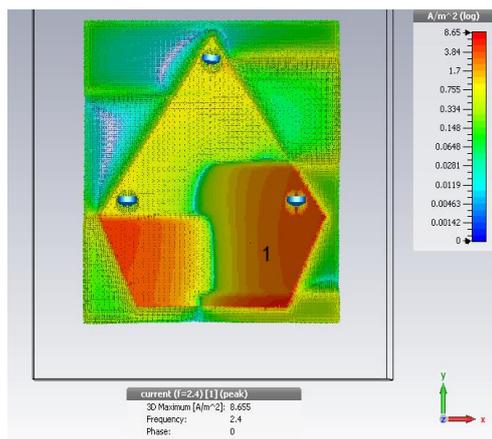
(e)



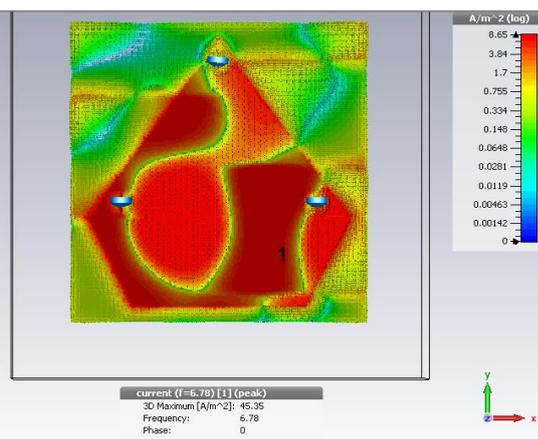
(f)

**Figure II.13:** Les densités des courants simulés au mode M2 :

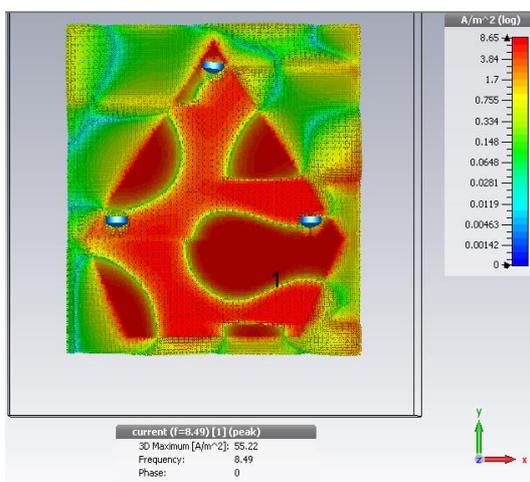
(a) f1=2.43GHz; (b) f2=6. 825GHz; (c) f3=8.79GHz ;(d) f4=12.435GHz ;(e) f5=13.08GHz et(f) f6=13.755GHz.



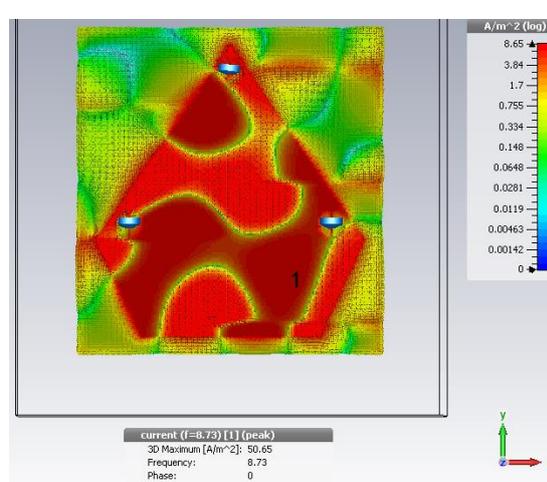
(a)



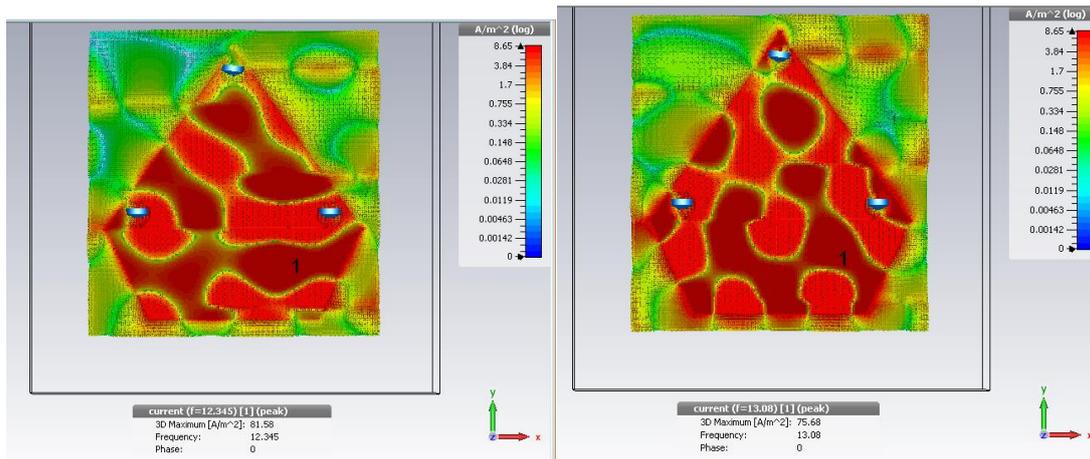
(b)



(c)

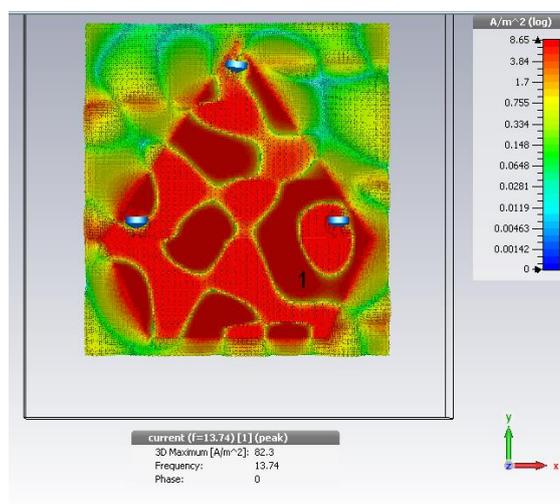


(d)



(e)

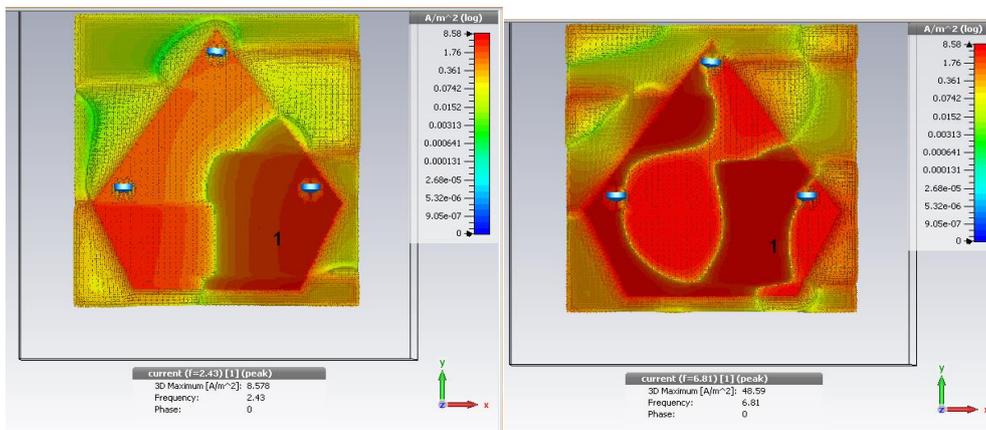
(f)



(g)

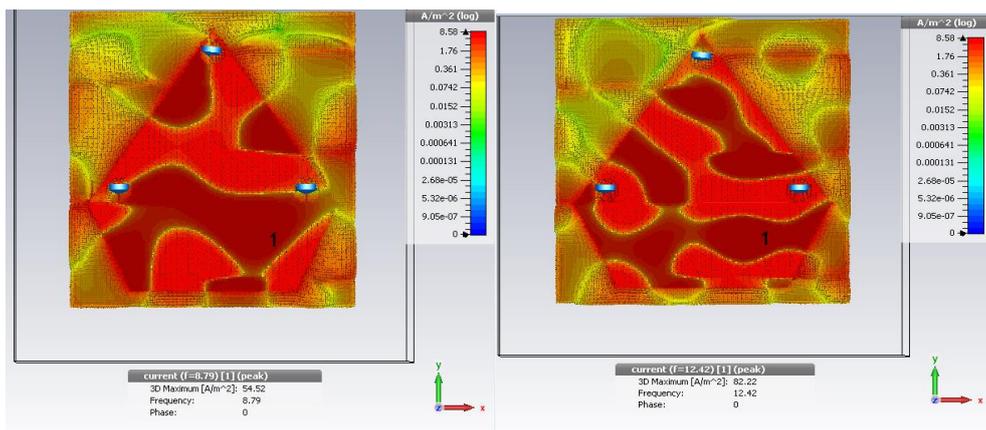
**Figure II.14:** Les densités des courants simulées au mode M3 :

(a)  $f_1=2.4\text{GHz}$  ; (b)  $f_2=6.78\text{GHz}$  ; (c)  $f_3=8.49\text{GHz}$  ;(d)  $f_4=8.73\text{GHz}$  ;(e)  $f_5=12.345\text{GHz}$  ;  
 (f)  $f_6=13.08\text{GHz}$  et (g)  $f_7=13.74\text{GHz}$ .



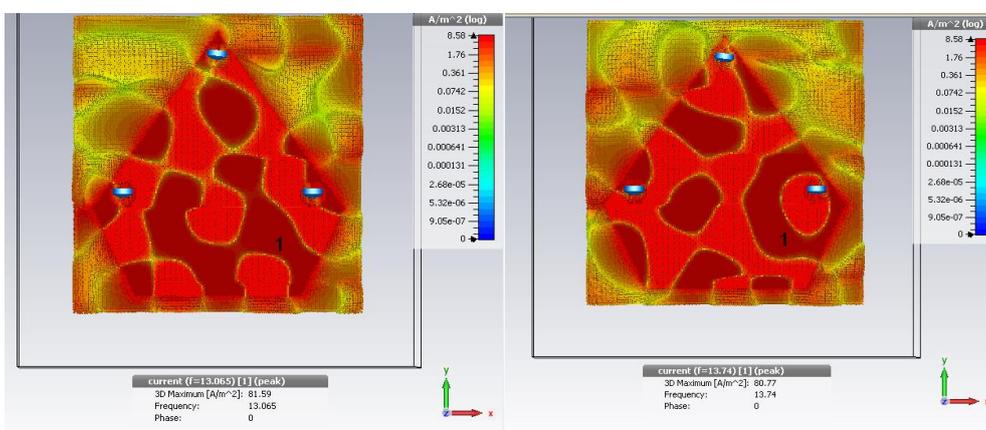
(a)

(b)



(c)

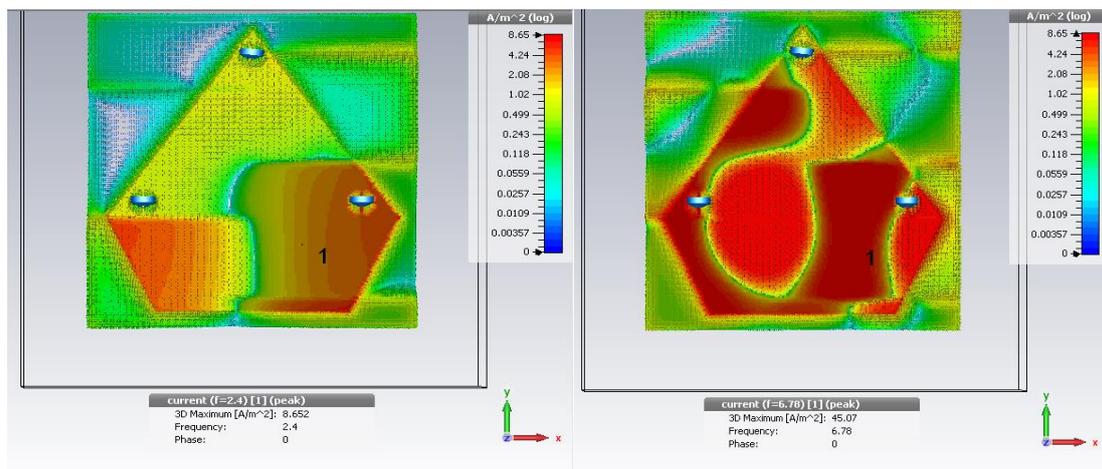
(d)



(e)

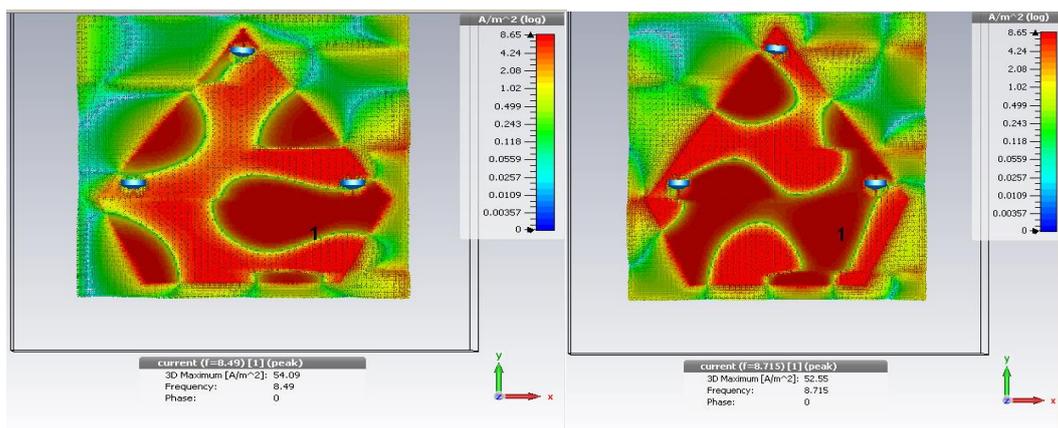
(f)

**Figure II.15:** Les densités des courants simulés au mode M4 :  
 (a)  $f_1=2.43\text{GHz}$  ; (b)  $f_2=6.81\text{GHz}$  ; (c)  $f_3=8.79\text{ GHz}$  ;(d)  $f_4=12.42\text{GHz}$  ;  
 (e)  $f_5=13.065\text{GHz}$  et(f)  $f_6=13.74\text{GHz}$ .



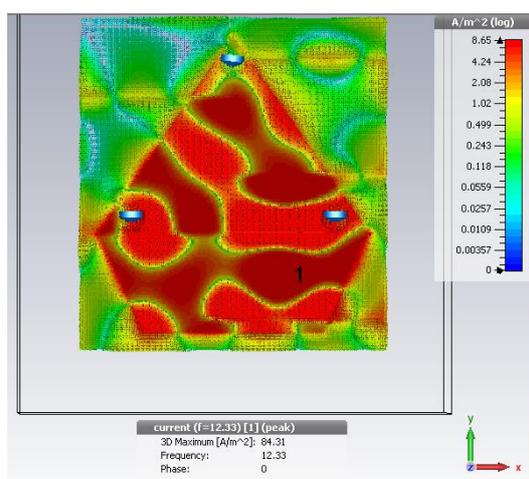
(a)

(b)

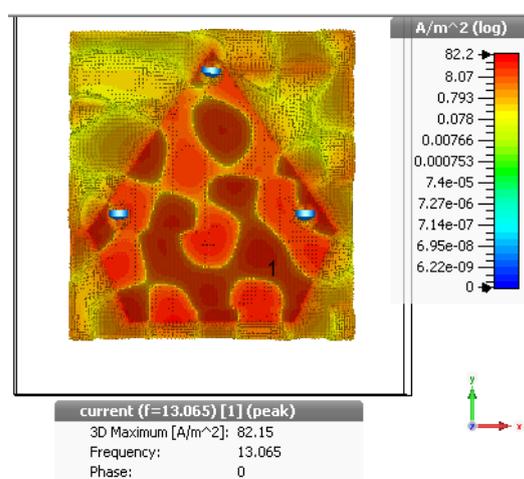


(c)

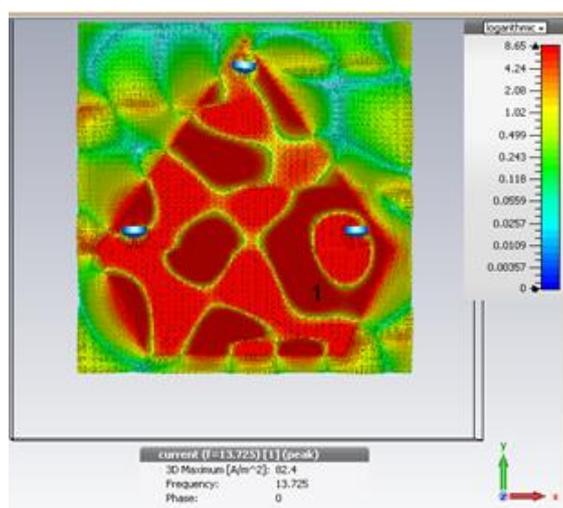
(d)



(e)



(f)



(g)

**Figure II.16:** Les densités des courants simulés au mode M5 :  
 (a)  $f_1=2.4\text{GHz}$  ; (b)  $f_2=6.78\text{GHz}$  ; (c)  $f_3=8.49\text{GHz}$  ; (d)  $f_4=8.715\text{GHz}$  ;  
 (e)  $f_5=12.33\text{GHz}$  ; (f)  $f_6=13.08\text{GHz}$  et (g)  $f_7=13.725\text{GHz}$ .

Les figures : II.12, II.13, II.14, II.15, II.16 montre que la distribution de courant est variable pour les différentes fréquences ainsi que dans les différents modes de fonctionnement des diodes PIN utilisées. Le maximum de courant est présenté avec la couleur rouge sur le patch.

**Tableau récapitulatif des résultats de simulation**

Le tableau ci-dessous résume tous les résultats de simulation de notre travail sur la reconfigurabilité. Nous avons donné une comparaison entre les caractéristiques de l'antenne originale et l'antenne reconfigurable avec les différents états des diodes :

<b>Etat de diode</b>	<b>Les fréquences (GHZ)</b>	<b>S11 (DB)</b>	<b>Gain (DB)</b>	<b>BP (GHZ)</b>	<b>Taille de BP (MHZ)</b>
<b>Original</b>	2.34 4.695 6.7209 12.315	-10.031 -10.178 -20.897 -25.204	1.503 2.684 4.677 6.585	/ 4.6912-4.7013 6.6796-6.7623 12.216-12.436	/ 10.1 82.7 220
<b>Mode M1 : Toutes ON</b>	2.4 6.78 8.46 8.715 12.36 13.064 13.725	-16.329 -14.674 -21.797 -19.1 -11.377 -28.271 -21.068	1.980 4.764 5.166 5.353 6.725 5.164 7.175	2.3718-2.4221 6.7431-6.801 8.4032-8.533 8.6568-8.7569 12.274-12.398 13.006-13.118 13.68-13.764	50.3 57.9 129.8 100.1 124 112 84
<b>Mode M2 : Toutes OFF</b>	2.43 6.825 8.79 12.435 13.08 13.755	-24.175 -21.224 -36.055 -11.389 -21.448 -20.232	2.832 8.594 5.82 6.95 5.043 7.245	2.4048-2.4631 6.786-6.8518 8.7287-8.8451 12.389-12.458 13.012-13.133 13.716-13.809	58.3 65.8 116.4 69 121 93
<b>Mode M3 : 1<sup>er</sup> diode ON</b>	2.4 6.78 8.49 8.73 12.345 13.08 13.74	-16.275 -15.373 -28.687 -17.3 -11.481 -23.121 -23.426	2.046 4.795 4.973 5.059 6.709 5.072 7.301	2.3724-2.4225 6.7457-6.8041 8.4279-8.5625 8.6704-8.7694 12.273-12.396 13.012-13.125 13.699-13.786	50.1 58.4 134.6 99 123 113 87
<b>Mode M4 : 2-4-5 ON</b>	2.43 6.81 8.79 12.42 13.065 13.74	-24.809 -21.114 -27.764 -11.562 -23.322 -19.689	2.792 5.419 5.729 6.897 5.057 7.112	2.4046-2.4672 6.7832-6.7487 8.7271-8.8397 12.389-12.458 13.004-13.124 13.693-13.781	62.6 65.5 112.6 69 120 88
<b>Mode M5 : 1-2-5 ON</b>	2.4 6.78 8.49 8.715 12.33 13.08 13.725	-16.333 -15.206 -25.91 -18.388 -11.58 -23.724 -21.551	1.99 4.791 5.007 4.99 6.683 5.099 7.268	2.3719-2.4221 6.7457-6.8038 8.4233-8.5591 8.6635-8.7666 12.273-12.397 13.011-13.124 13.684-13.771	50.2 58.1 135.8 103.1 124 113 87

**Tableau II.3 :** Les modes de fonctionnement et les caractéristiques simulées de l'antenne patch pentagone reconfigurable.

d) Domaines d'applications

Mode	Applications
<p style="text-align: center;"><b>Mode M1</b></p>	<p><b>[2.3718-2.4221] GHz :</b> Application ISM-Bluetooth-Wifi-Home RF-Télécommandes et laissons domotique -Zegbee-Drones –Radar doppler.</p> <p><b>[6.7431-6.801] GHz :</b> Liaisons FH Faisceaux Hertiens [26].</p> <p><b>[8.4032-8.533] GHz :</b> Liaisons FH Faisceaux Hertiens - audio/télévisuel Recherche spatiale [26] - mobile sauf mobile aéronautique et recherche spatiale (espace vers Terre) [27].</p> <p><b>[8.6568-8.7569] GHz :</b> Radiolocalisation et Recherche spatiale [26].</p> <p><b>[12.274-12.398] GHz :</b> Satellites télévisions bande Ku-2 [26].</p> <p><b>[13.006-13.118] GHz :</b> Liaisons FH Faisceaux Hertiens [26].</p> <p><b>[13.68-13.764] GHz :</b> Exploration de la terre par satellite (active) radiolocalisation -recherche spatiale - Fréquences étalon et signaux horaires par satellite (Terre vers espace) [27].</p>
<p style="text-align: center;"><b>Mode M2</b></p>	<p><b>[2.408-2.4631] GHz :</b> Application ISM-Bluetooth-Wifi-Home RF-Télécommandes et laissons domotique - Four micro-ondes -Zegbee-Drones.</p> <p><b>[6.786-6.8518] GHz :</b> Liaisons FH Faisceaux Hertiens [26] – fixe et fixe par satellite (terre vers espace) (espace vers terre) [27].</p> <p><b>[8.7287-8.8451] GHz :</b> Radionavigation par effet Doppler [26].</p> <p><b>[12.389-12.458] GHz :</b> Satellites télévisions bande Ku-2 [26].</p> <p><b>[13.012-13.125] GHz :</b> Liaisons FH Faisceaux Hertiens [26].</p> <p><b>[13.716-13.809] GHz :</b> Fixe par satellite (Terre vers espace)- radiolocalisation Exploration de la Terre par satellite Fréquences étalon et signaux horaires par satellite (Terre vers espace) et Recherche spatiale [27].</p>

<p style="text-align: center;"><b>Mode M3</b></p>	<p><b>[2.3724-2.4225] GHz :</b> Application ISM-Bluetooth-Wifi-Home RF-Télécommandes et laissons domotique - Four micro-ondes -Zegbee-Drones.</p> <p><b>[6.7457-6.8041] GHz :</b> Liaisons FH Faisceaux Hertiens [26]- fixe et fixe par satellite (terre vers espace) (espace vers terre) [27].</p> <p><b>[8.4279-8.5625] GHz :</b> Liaisons FH Faisceaux Hertiens-audio/télévisuel -Recherche spatiale [26] mobile sauf mobile aéronautique et recherche spatiale (espace vers Terre) [27].</p> <p><b>[8.6704-8.7694] GHz :</b> Radiolocalisation-Radionavigation par effet Doppler [26].</p> <p><b>[12.237-12.396] GHz :</b> Satellites télévisions bande Ku-2 [26].</p> <p><b>[13.012-13.125] GHz :</b> Liaisons FH Faisceaux Hertiens [26].</p> <p><b>[13.699-13.786] GHz :</b> Exploration de la terre par satellite (active) radiolocalisation -recherche spatiale - Fréquences étalon et signaux horaires par satellite (Terre vers espace) [27].</p>
<p style="text-align: center;"><b>Mode M4</b></p>	<p><b>[2.4046-2.4672] GHz :</b> Application ISM-Bluetooth-Wifi-Home RF-Télécommandes et laissons domotique - Four micro-ondes -Zegbee-Drones.</p> <p><b>[6.7832-6.7487] GHz :</b> Liaisons FH Faisceaux Hertiens [26]- fixe et fixe par satellite (terre vers espace) (espace vers terre) [27].</p> <p><b>[8.7271-8.8397] GHz :</b> Radionavigation par effet Doppler-Recherche spatiale et Radiolocalisation [26].</p> <p><b>[12.389-12.458] GHz :</b> Satellites télévisions bande Ku-2 [26].</p> <p><b>[13.004-13.124] GHz :</b> Liaisons FH Faisceaux Hertiens [26].</p> <p><b>[13.693-13.781] GHz :</b> Exploration de la terre par satellite (active) radiolocalisation -recherche spatiale -</p>

	Fréquences étalon et signaux horaires par satellite (Terre vers espace) [27].
<b>Mode M5</b>	<p><b>[2.3719-2.4221] GHz :</b> Application ISM-Bluetooth-Wifi-Home RF-Télécommandes et laissons domotique - Four micro-ondes -Zegbee-Drones.</p> <p><b>[6.7457-6.8038] GHz :</b> Liaisons FH Faisceaux Hertiens [26]- fixe et fixe par satellite (terre vers espace) (espace vers terre) [27].</p> <p><b>[8.4233-8.5591] GHz :</b> Liaisons FH Faisceaux Hertiens - audio/télévisuel - Recherche spatiale Radiolocalisation [26] -mobile sauf mobile aéronautique recherche spatiale (espace vers terre) et radiolocalisation [27].</p> <p><b>[8.6635-8.7666] GHz :</b> Radionavigation par effet Doppler [26].</p> <p><b>[12.273-12.397] GHz :</b> Satellites télévisions bande Ku-2 [26].</p> <p><b>[13.011-13.124] GHz :</b> Liaisons FH Faisceaux Hertiens [26].</p> <p><b>[13.684-13.771] GHz :</b> Exploration de la terre par satellite (active) radiolocalisation -recherche spatiale - Fréquences étalon et signaux horaires par satellite (Terre vers espace) [27].</p>

**Tableau II.4 :** domaines d'application d'antenne Antenne Patch pentagone multi bandes.

### e) Conclusion

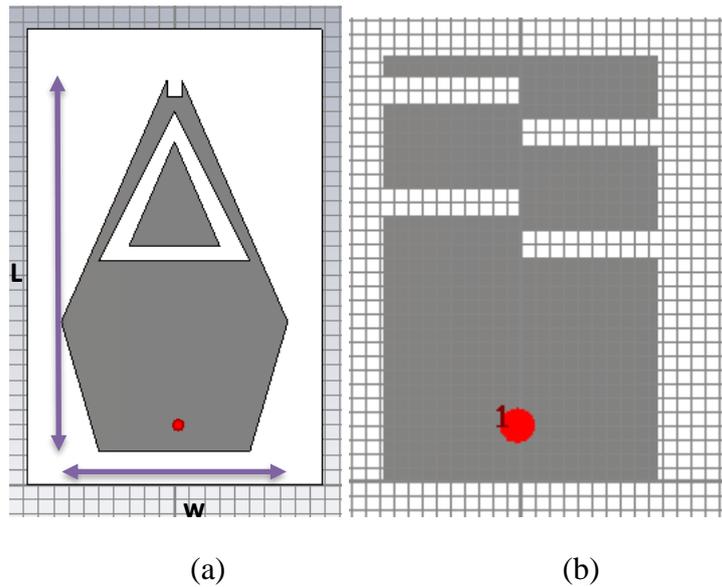
Une nouvelle conception d'antenne patch pentagone est présentée dans ce chapitre, elle opère dans différents domaines de télécommunications. La reconfigurabilité de la fréquence est obtenue à l'aide de cinq diodes PIN. Les diagrammes de rayonnement prouvent que cette antenne présente également une reconfigurabilité de diagramme à différentes fréquences pour différentes combinaisons de commutation. Tous les coefficients de réflexion sont inférieurs à -10dB et les gains dépassent 5dB. La distribution de courant est variable pour les différentes fréquences ainsi que dans les différents modes de fonctionnement des diodes PIN utilisées.

L'antenne patch pentagone proposée a un grand potentiel pour devenir une partie intégrante du futur système de télécommunication.

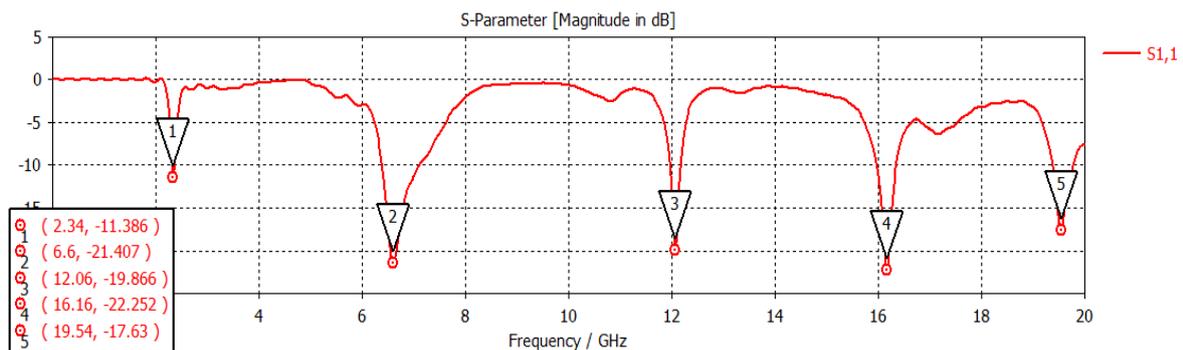
**V. Reconfiguration d'une antenne patch pentagone miniature**

**V.1 Géométrie de l'antenne patch pentagone miniature**

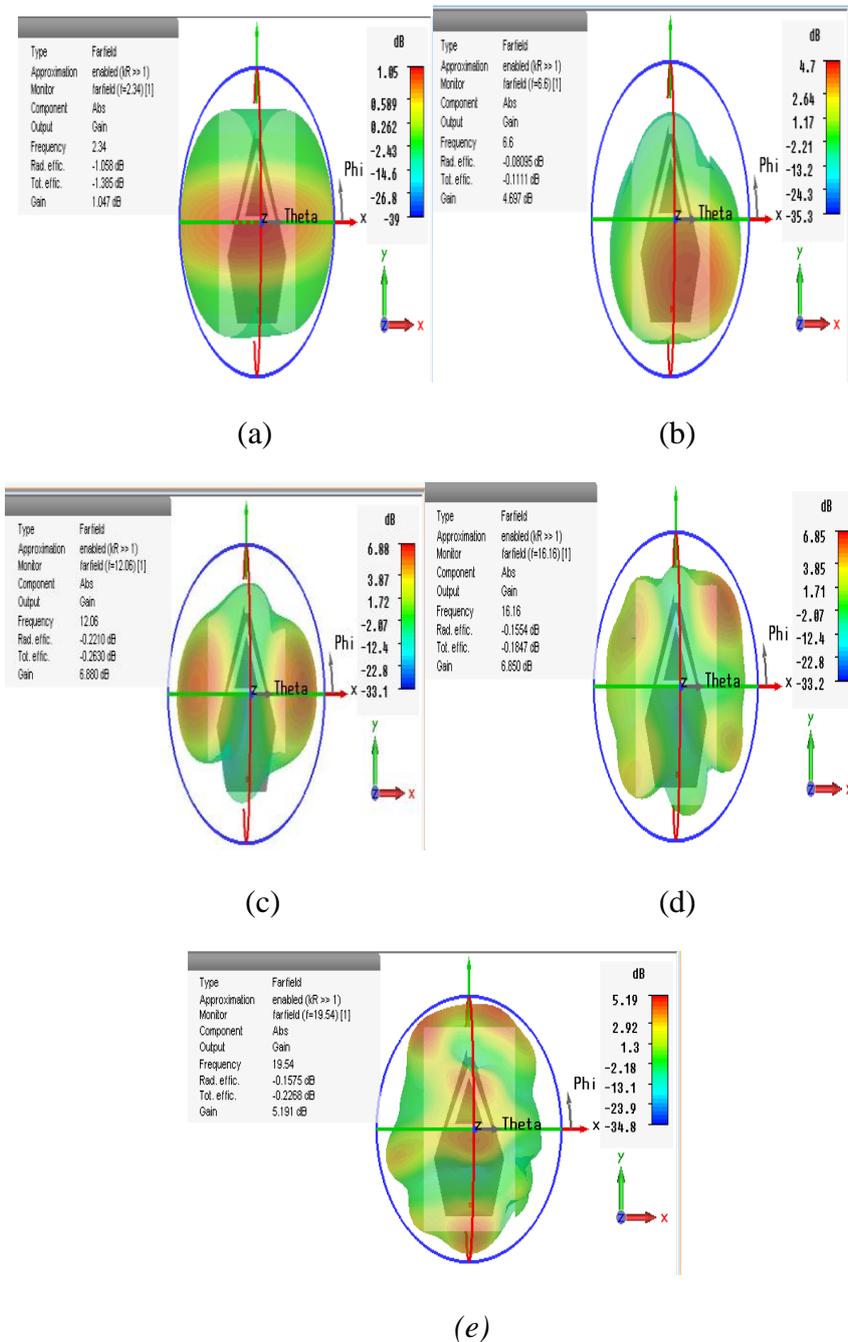
La figure II.16 présente la géométrie de l'antenne patch pentagone miniature choisis [29], ces dimensions sont :  $w= 15$  mm et  $L= 26$  mm :



**Figure II.17:** Antenne patch pentagone miniature [29]  
 (a) Vue de face (patch), (b) vue d'arrière (Plan de masse)



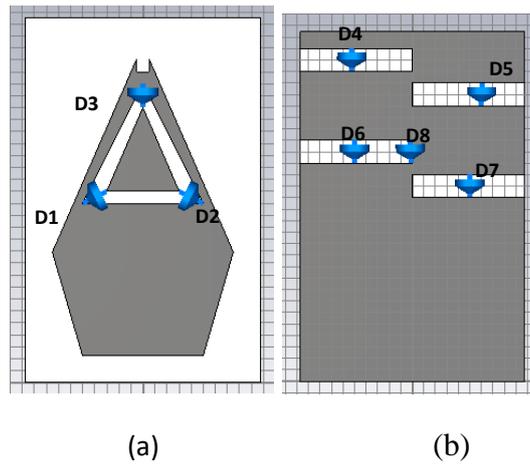
**Figure II.18 :** Résultat de simulation de l'antenne patch pentagone miniature [29].



**Figure II.19:** Les diagrammes des rayonnements en 3D simulés aux fréquences de résonance de l'antenne patch miniature (a)  $f_1=2.34\text{GHz}$ ; (b)  $f_2=6.6\text{GHz}$ ; (c)  $f_3=12.06\text{GHz}$ ; (d)  $f_4=16.16\text{GHz}$  et (e)  $f_5=19.54\text{GHz}$ .

### V.2 La reconfigurabilité de l'antenne patch pentagone miniature

Pour étudier la reconfigurabilité de cette antenne nous allons placer des diodes PIN (D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8) sur la fente du patch et même sur les encoches du plan de masse comme le montre la figure II.19 :



**Figure II.20:** Antenne patch pentagone miniaturisable reconfigurable  
 (a) Vue de face, (b) vue d'arrière.

**V.3 Mode de fonctionnement des diodes PIN insérer**

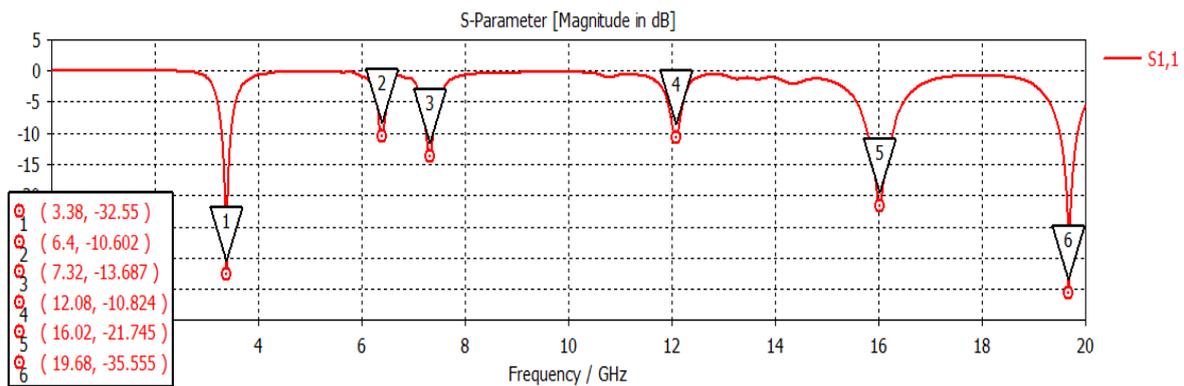
Les modes de fonctionnement considérés dans notre travail sont résumés sur le tableau II.4 :

<b>Mode M1</b>	Toutes OFF
<b>Mode M2</b>	Toutes ON
<b>Mode M3</b>	1 <sup>er</sup> diode OFF
<b>Mode M4</b>	6-8 ON
<b>Mode M5</b>	6-7-8 ON

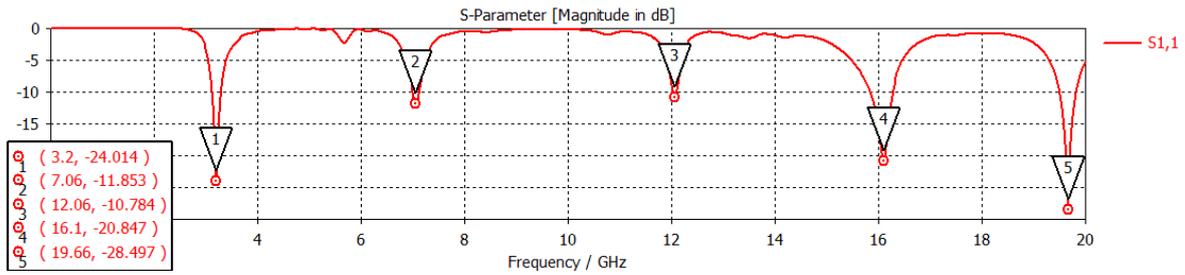
**Tableau II.5 :** Mode de fonctionnement des diodes PIN.

**V.4 Résultats de simulations**

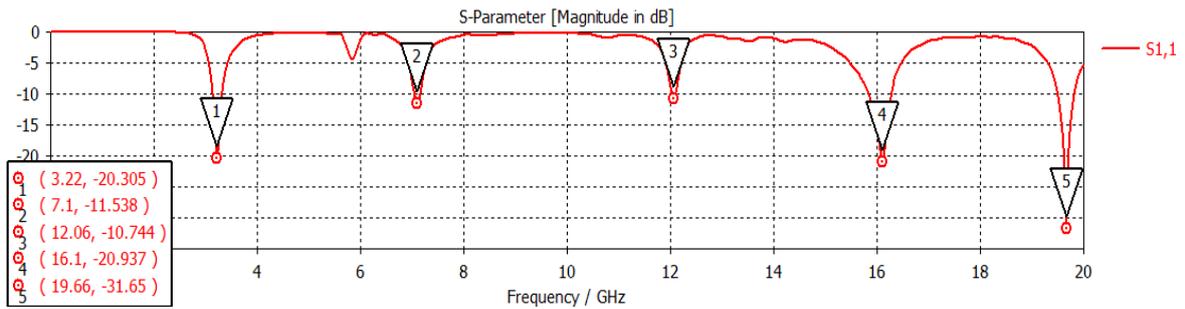
**a) Paramètres de réflexion S11**



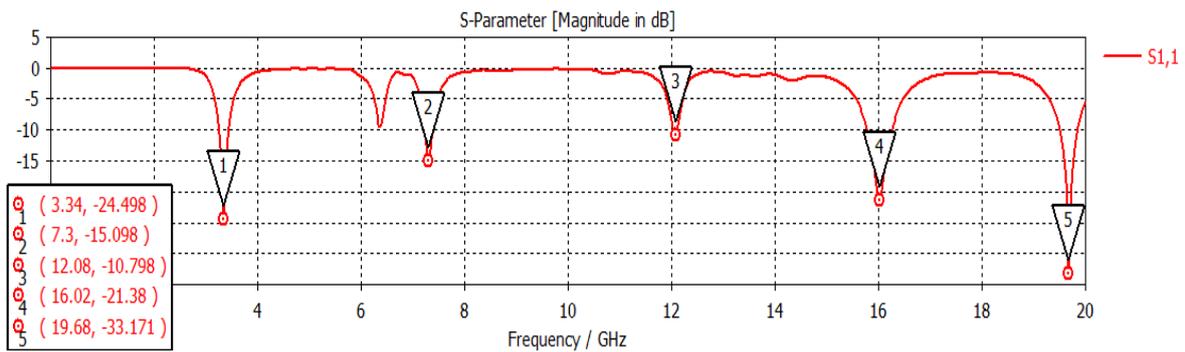
(a)



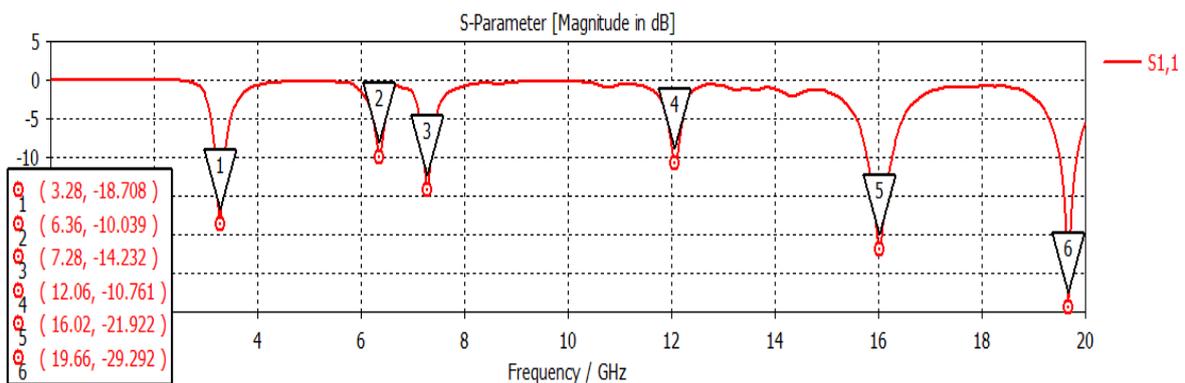
(b)



(c)



(d)

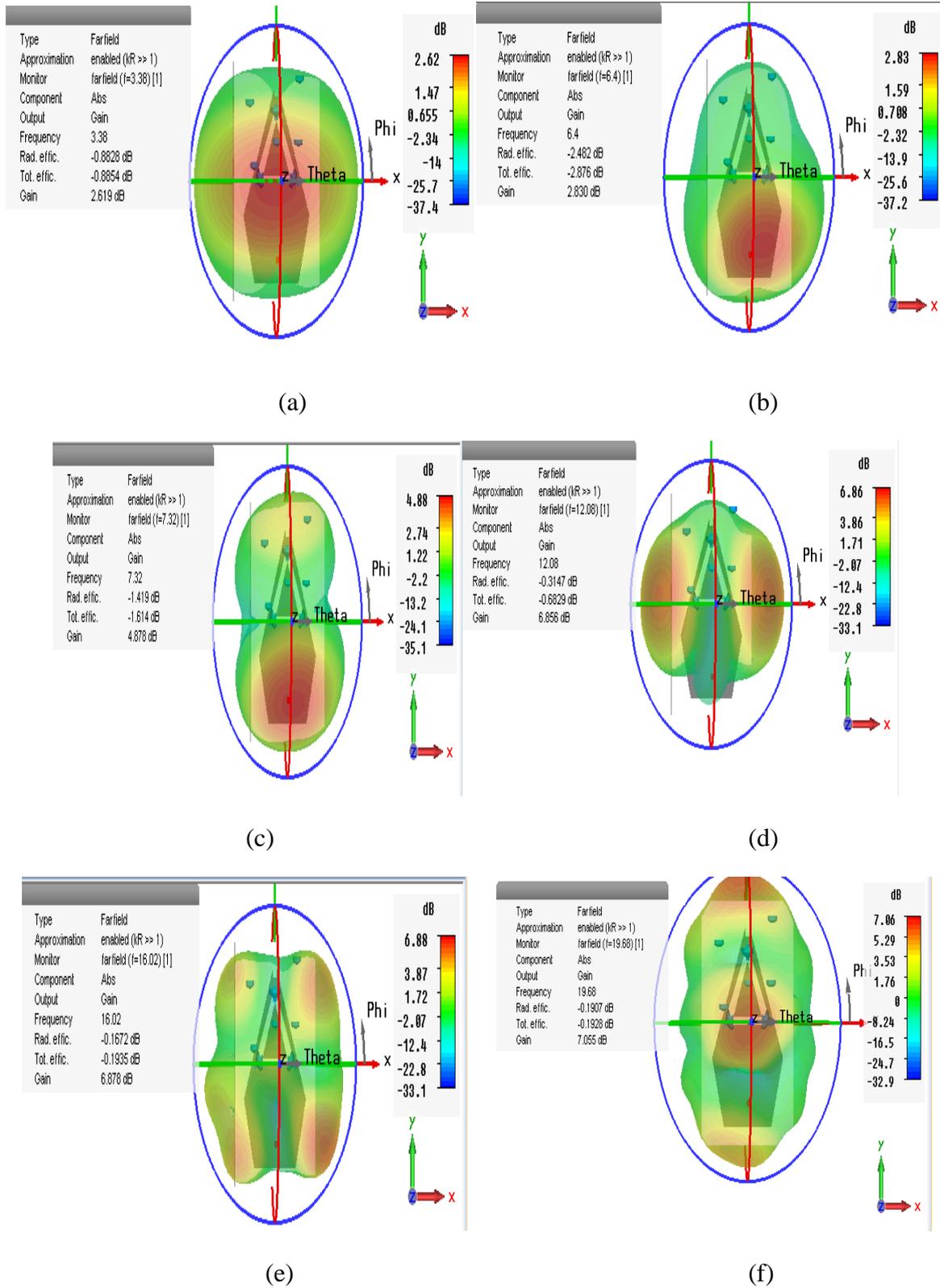


(e)

**Figure II.21** : Les coefficients de réflexion S11 : (a) Mode M1, (b) Mode M2, (c) Mode M3, (d) Mode M4, (e) Mode M5.

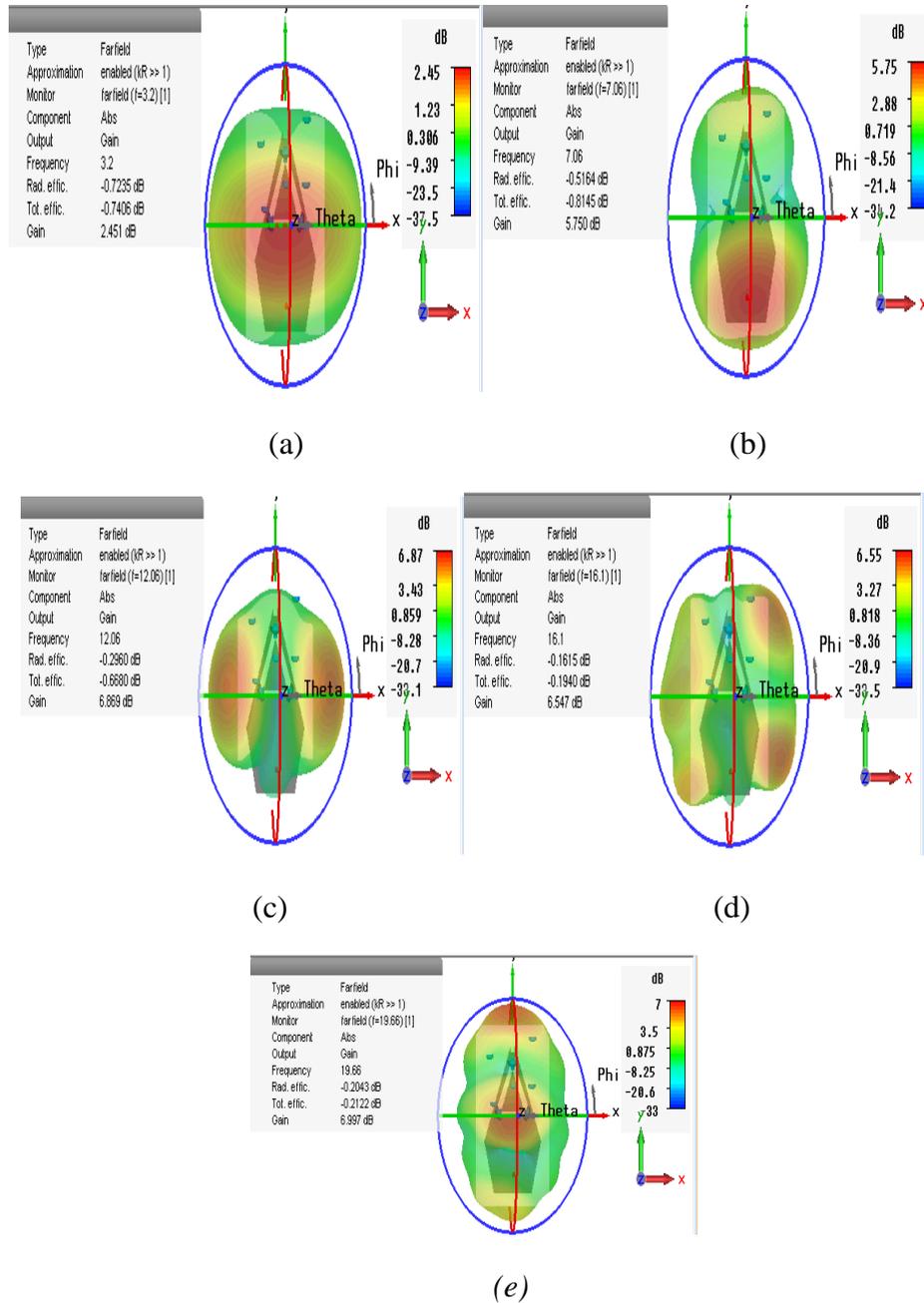
La figure II.21 montre le coefficient de réflexion S11 adaptés. La reconfigurabilité en fréquence est atteinte entre les Modes M1, M2, M3, M4, M5.

**b) Diagramme de rayonnement**



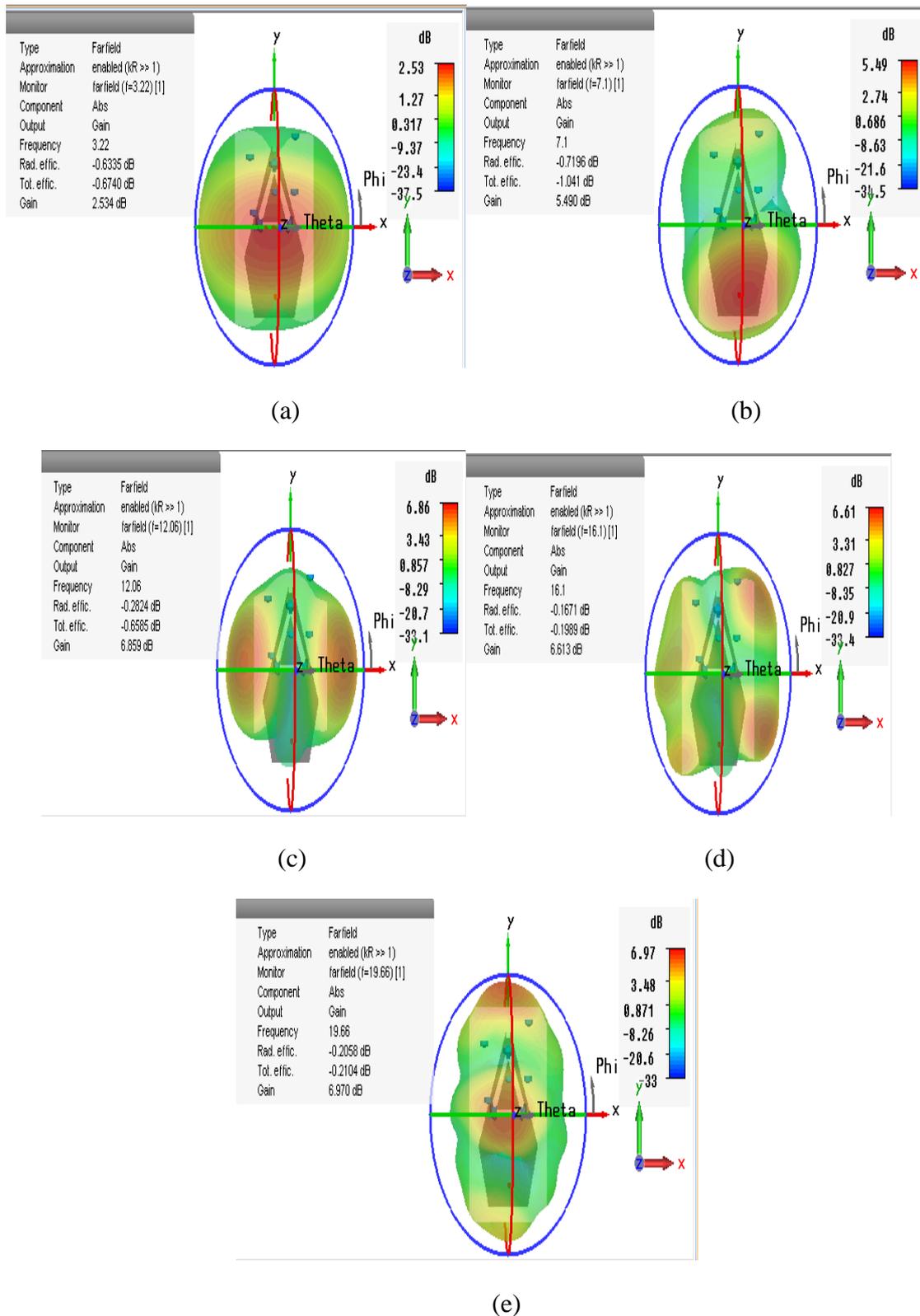
**Figure II.22:** Les diagrammes des rayonnements en 3D simulés au mode M1

(a)  $f_1=3.38\text{GHz}$ ; (b)  $f_2=6.4\text{GHz}$ ; (c)  $f_3=7.32\text{GHz}$ ; (d)  $f_4=12.08\text{GHz}$  ;  
 (e)  $f_5=16.02\text{GHz}$  et (f)  $f_6=19.68\text{GHz}$ .

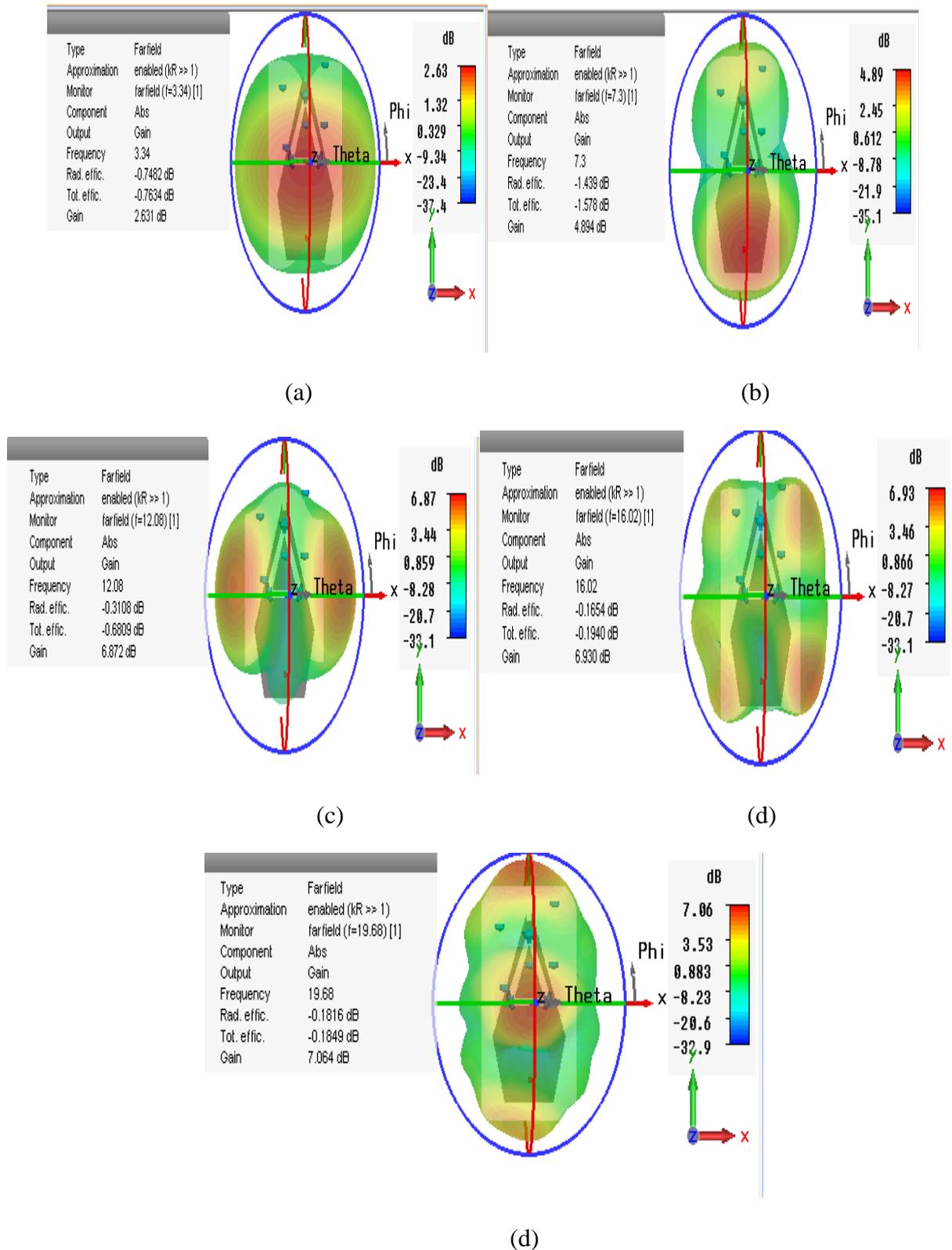


**Figure II.23:** Les diagrammes des rayonnements en 3D simulés au mode M2

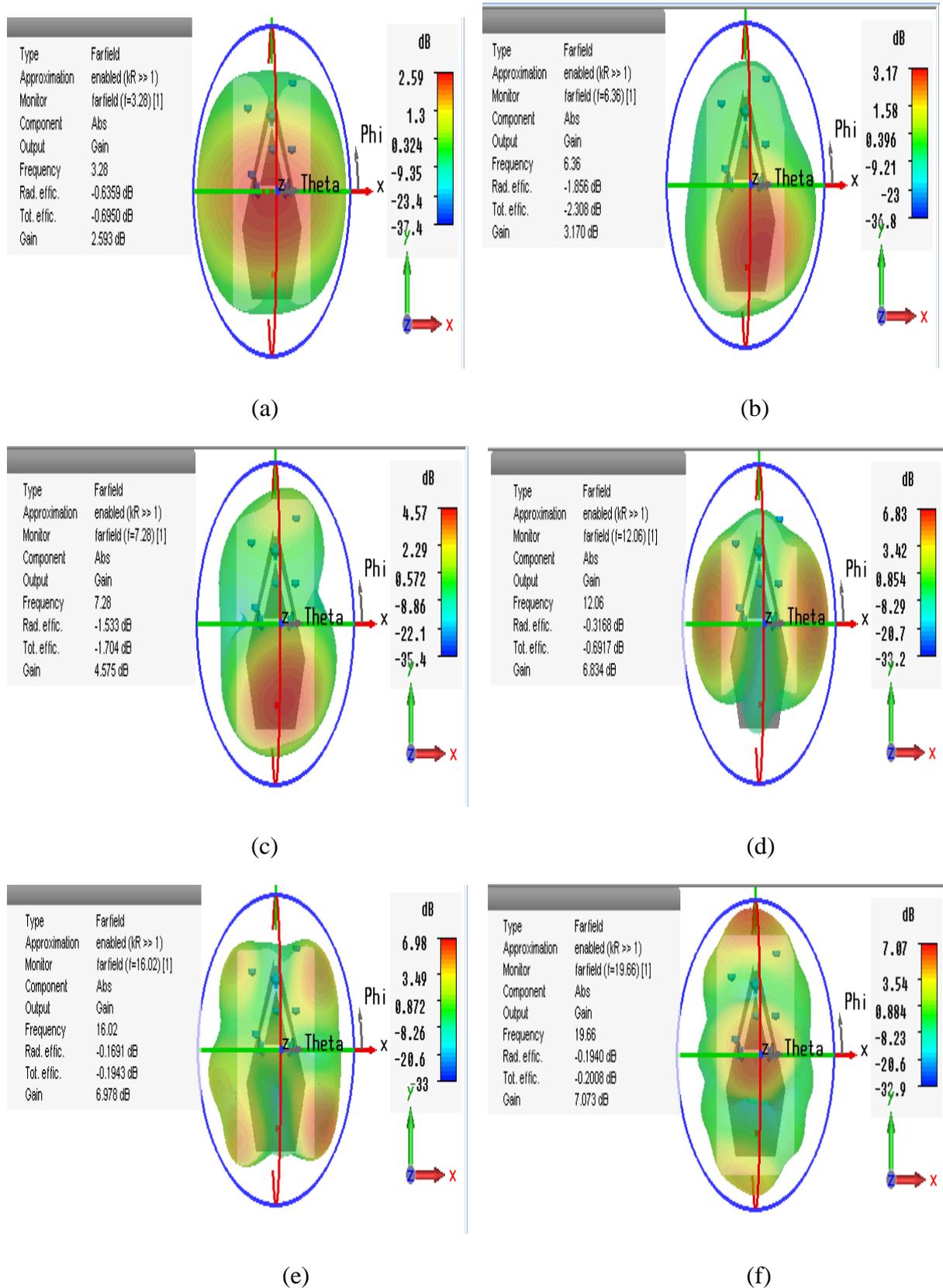
(a)  $f_1=3.2\text{GHz}$  ; (b)  $f_2=7.06\text{GHz}$  ; (c)  $f_3=12.06\text{GHz}$  ;(d)  $f_4=16.1\text{GHz}$  et (e)  $f_5=19.66\text{GHz}$ .



**Figure II.24:** Les diagrammes des rayonnements en 3D simulés au mode M3  
 (a)  $f_1=3.22\text{GHz}$  ; (b)  $f_2=7.1\text{GHz}$  ; (c)  $f_3=12.06\text{GHz}$ ; (d)  $f_4=16.1\text{GHz}$  et (e)  $f_5=19.66\text{GHz}$ .



**Figure II.25:** Les diagrammes des rayonnements en 3D simulés au mode M4  
 (a)  $f_1=3.34\text{GHz}$  ; (b)  $f_2=7.3\text{GHz}$  ; (c)  $f_3=12.08\text{GHz}$  ; (d)  $f_4=16.02\text{GHz}$  et (e)  
 $f_5=19.68\text{GHz}$ .



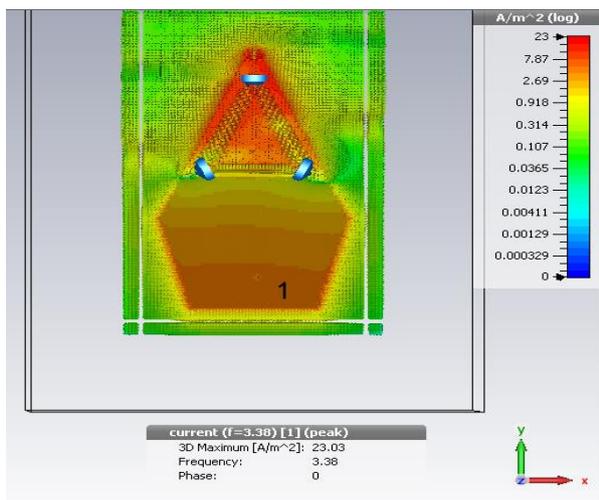
**Figure II.26:** Les diagrammes des rayonnements en 3D simulés aux mode M5  
 (a)  $f_1=3.28\text{GHz}$  ; (b)  $f_2=6.36\text{GHz}$  ; (c)  $f_3=7.28\text{GHz}$  ; (d)  $f_4=12.06\text{GHz}$  ; (e)  
 $f_5=16.02\text{GHz}$  et (f)  $f_6=19.66\text{GHz}$ .

- **Interprétation**

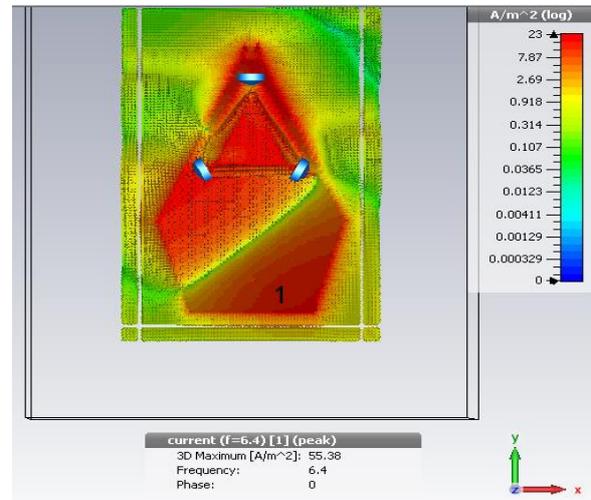
Les diagrammes de rayonnement obtenus dans les figures II.22, II.23, II.24, II.25, II.26 sont omnidirectionnels avec un gain variant entre 2 à 7 dB.

**c) Distribution de courant**

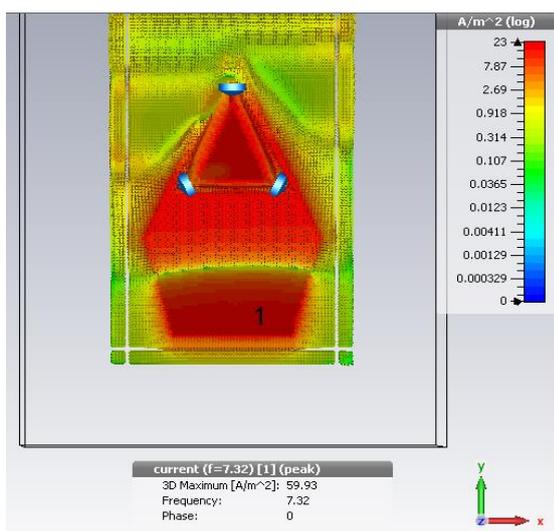
Nous allons présenter dans cette partie la distribution du courant dans l'antenne patch pentagone miniature pour les différentes fréquences obtenues en simulation et aussi dans les différents modes de fréquence pris en considération dans notre travail :



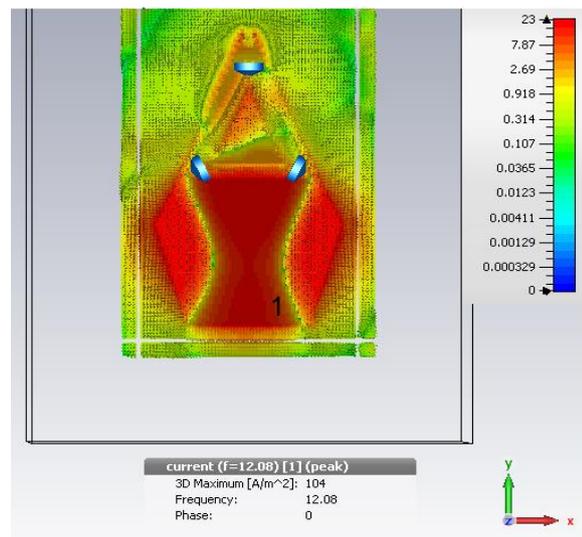
(a)



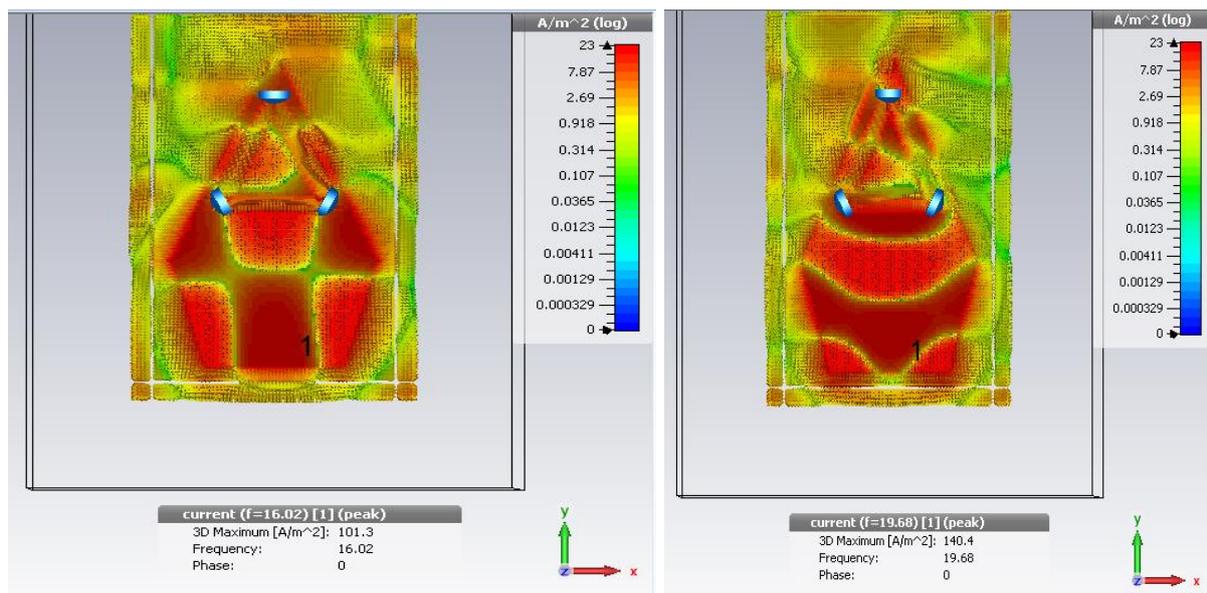
(b)



(c)

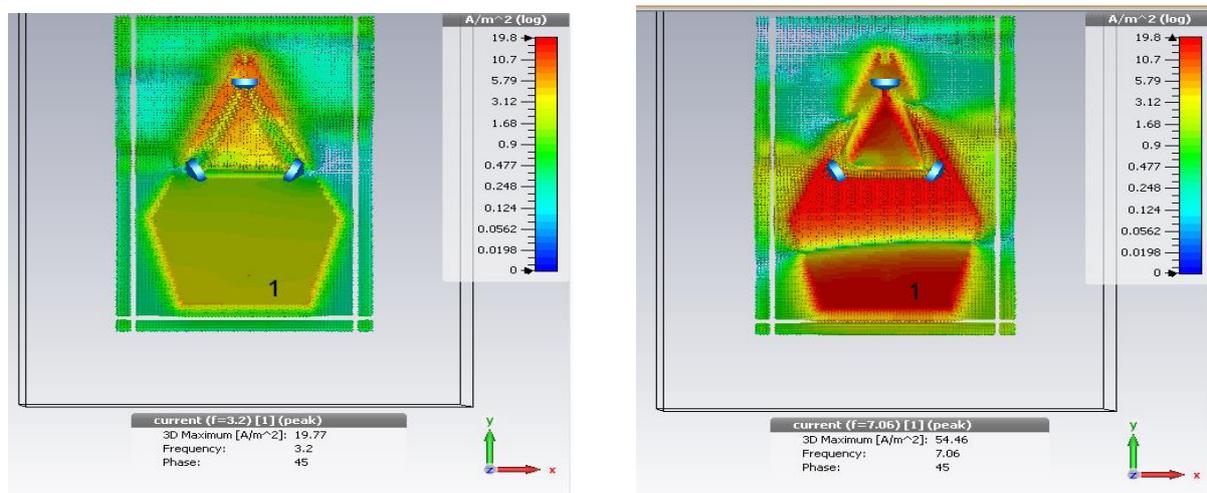


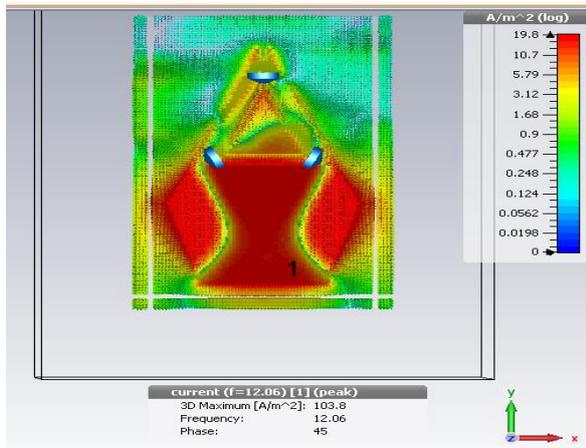
(d)



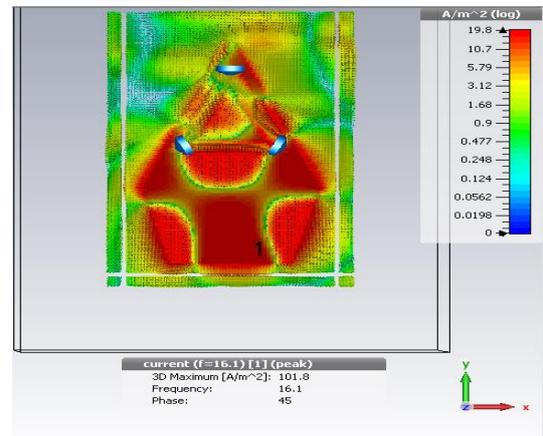
**Figure II.27:** Les densités des courants simulés au mode M1

(a)  $f_1=3.38\text{GHz}$  ; (b)  $f_2=6.4\text{GHz}$  ; (c)  $f_3=7.32\text{GHz}$  ;(d)  $f_4=12.08\text{GHz}$  ;(e)  $f_5=16.02\text{GHz}$  et (f)  $f_6=19.68\text{GHz}$ .

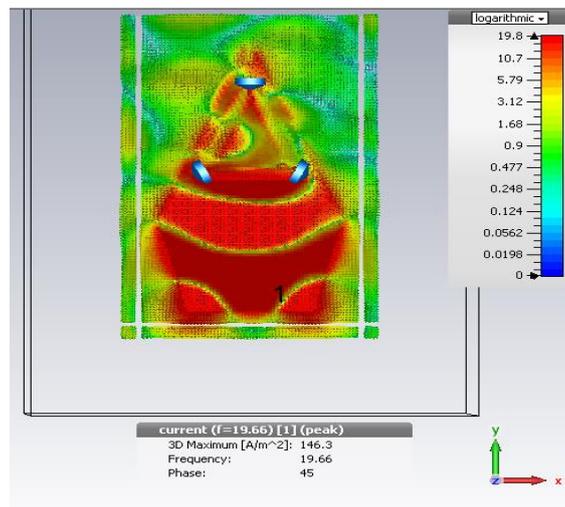




(c)

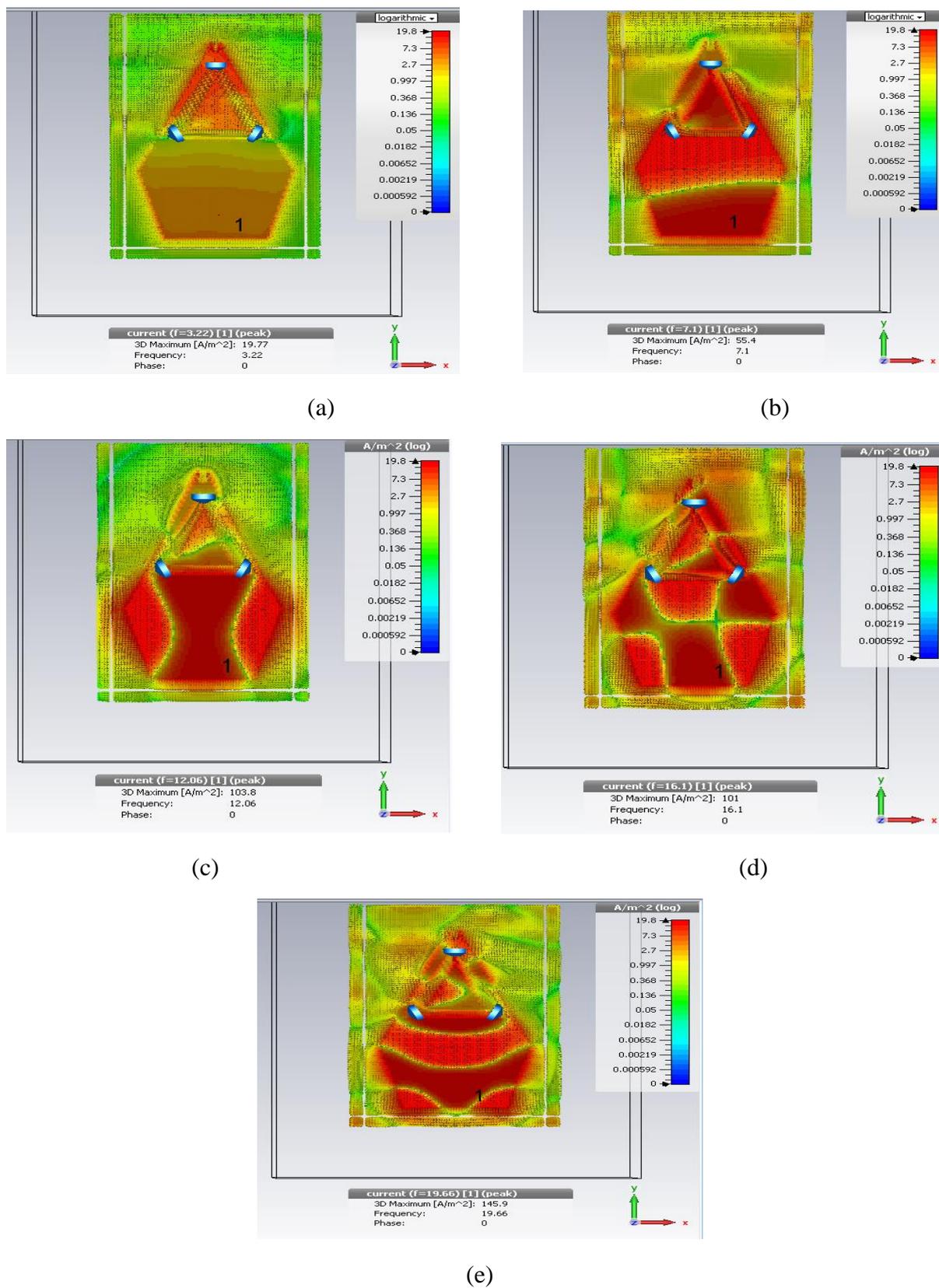


(d)

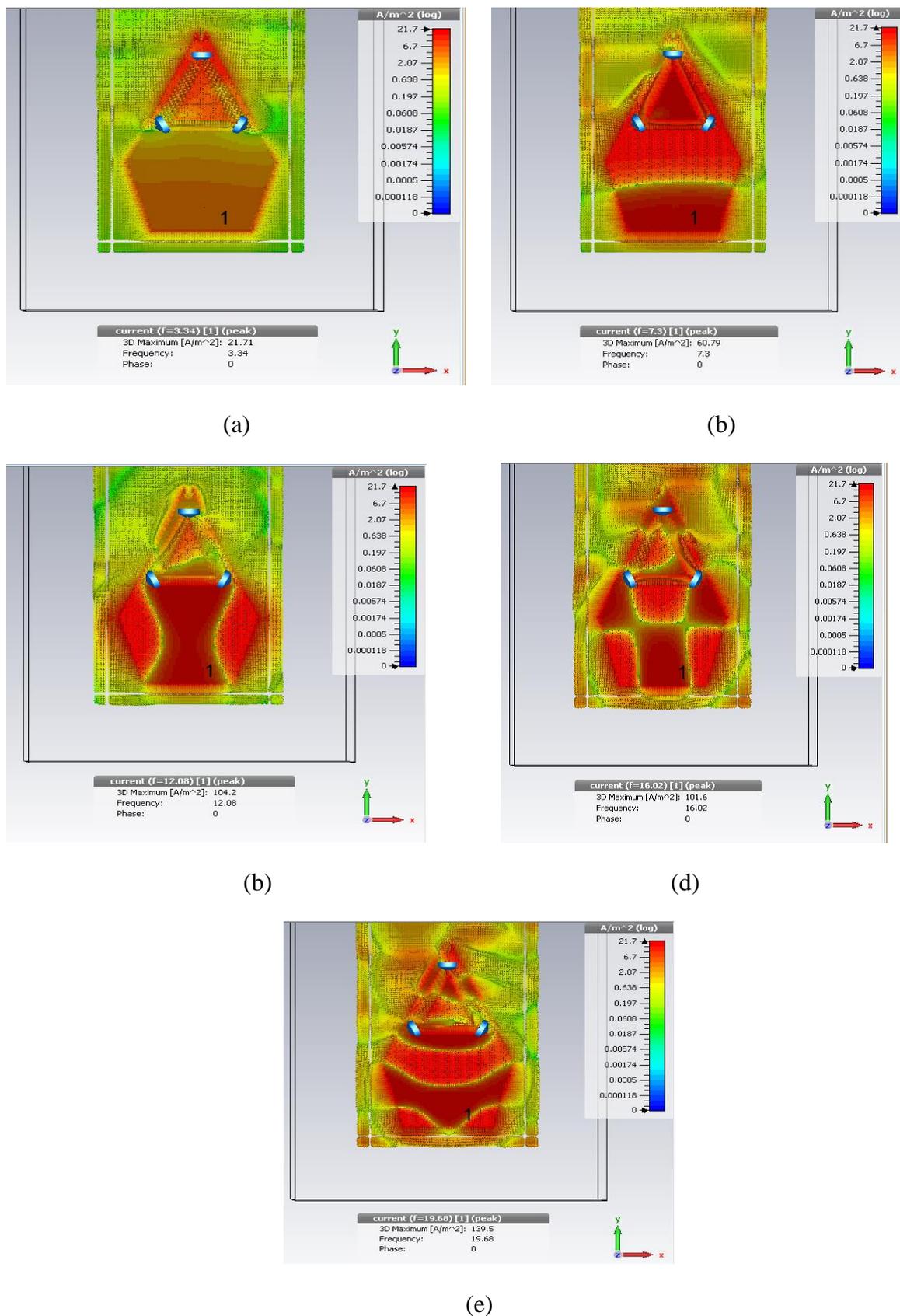


(e)

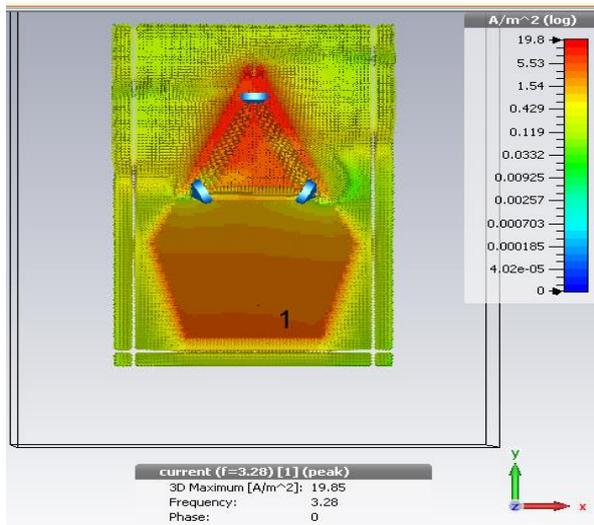
**Figure II.28:** Les densités des courants aux fréquences de résonance au mode M2  
 (a) f1=3.2GHz ; (b) f2=7.06GHz ; (c) f3=12.06GHz ; (d) f4=16.1GHz et (e)  
 f5=19.66GHz.



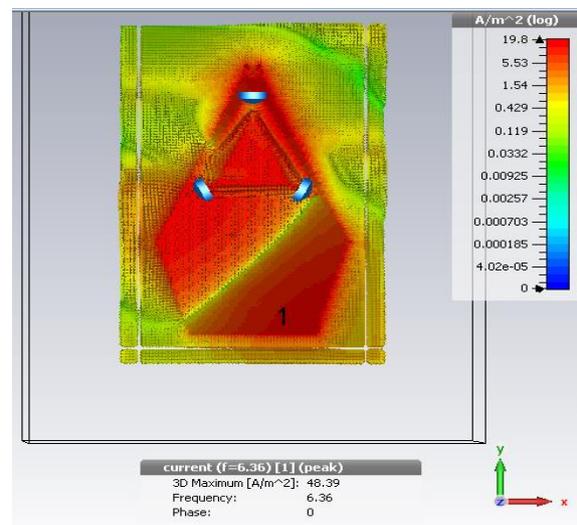
**Figure II.29:** Les densités des courants simulés aux fréquences de résonance au mode M3 (a) f1=3.22GHZ ; (b) f2=7.1GHZ ; (c) f3=12.06GHZ ;(d) f4=16.1GHz et (e) f5=19.66 GHZ.



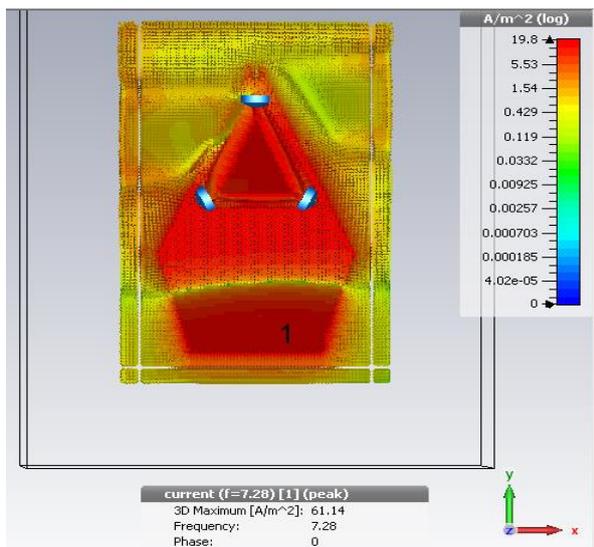
**Figure II.30:** Les densités des courants simulés aux fréquences au mode M4  
 (a) f1=3.34GHz ; (b) f2=7.3GHz ; (c) f3=12.08GHZ ; (d) f4=16.02GHz et (e) f5=19.68 GHz.



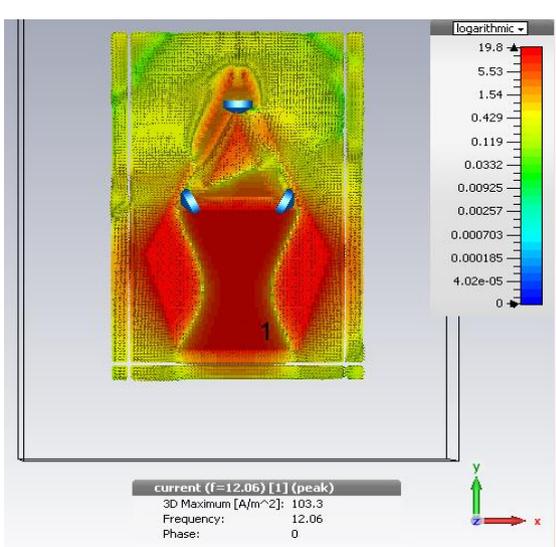
(a)



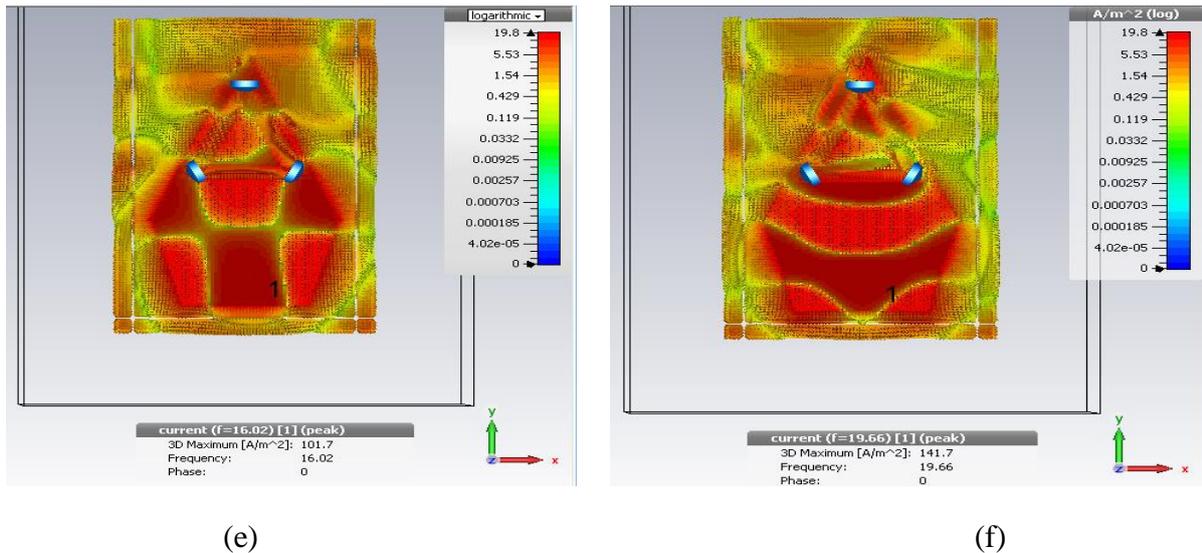
(b)



(c)



(d)



**Figure II.31:** Les densités des courants simulés au mode M5

(a)  $f_1=3.28\text{GHz}$  ; (b)  $f_2=6.36\text{GHz}$  ; (c)  $f_3=7.28\text{GHz}$  ; (d)  $f_4=12.06\text{GHz}$  ; (e)  $f_5=16.02\text{GHz}$  et (f)  $f_6=19.66\text{GHz}$ .

- **Interprétation**

La distribution de courant des différents modes est présentée aux figures II.27, II.28, II.29, II.30, II.31. Cette dernière change d'un mode à un autre. Le maximum de courant est présenté en rouge sur le patch.

*d) Tableau récapitulatif des résultats de simulations*

Le tableau ci-dessous résume tous les résultats de simulation de notre travail sur la reconfigurabilité de l'antenne patch miniature. Nous avons donné une comparaison entre les caractéristiques de l'antenne originale et l'antenne reconfigurable avec les différents états des diodes :

<b>Etat de diode</b>	<b>Les fréquences (GHZ)</b>	<b>S11 (DB)</b>	<b>Gain (DB)</b>	<b>BP (GHZ)</b>	<b>Taille de BP (MHZ)</b>
<b>Original</b>	2.34 6.6 12.06 16.16 19.54	-11.386 -21.407 -19.866 -22.252 -17.63	1.047 4.697 6.880 6.85 5.191	2.318-2.3669 6.3877-7.1111 11.966-12.165 15.971-16.348 19.379-19.784	48.9 723.4 199 377 405
<b>Mode M1</b>	3.38 6.4 7.32 12.08 16.02 19.68	-32.55 -10.602 -13.687 -10.824 -21.745 -35.555	2.619 2.830 4.878 6.856 6.878 7.055	3.2877-3.4627 6.3654-6.4161 7.2459-7.3777 12.033-12.107 15.793-16.26 19.498-19.853	175 507 131.8 74 467 355
<b>Mode M2</b>	3.2 7.06 12.06 16.1 19.66	-24.014 -11.853 -10.784 -20.847 -28.497	2.451 5.75 6.869 6.547 6.997	3.1216-3.2904 7.0006-7.1284 12.024-12.093 15.847-16.275 19.494-19.826	168.8 127.5 69 428 332
<b>Mode M3</b>	3.22 7.1 12.06 16.1 19.66	-20.305 -11.538 -10.744 -20.937 -31.65	2.534 5.49 6.859 6.613 6.97	3.1421-3.3158 7.0503-7.1594 12.029-12.1 15.841-16.272 19.49-19.826	173.7 109.1 71 431 336
<b>Mode M4</b>	3.34 7.3 12.08 16.02 19.68	-24.498 -15.098 -10.798 -21.38 -33.171	2.631 4.894 6.872 6.93 7.064	3.2538-3.4353 7.2336-7.3786 12.033-12.106 15.79-16.261 19.502-19.852	181.5 145 73 471 350
<b>Mode M5</b>	3.28 6.36 7.28 12.06 16.02 19.66	-18.708 -10.039 -14.232 -10.761 -21.922 -29.292	2.593 3.17 4.575 6.834 6.978 7.073	3.1841-3.3615 / 7.2176-7.3454 12.033-12.105 15.787-16.256 19.498-19.839	177.4 / 129.8 72 469 341

**Tableau II.6** : Les modes de fonctionnement et les caractéristiques simulées de l'antenne patch pentagone miniature reconfigurable.

## e) Domaine d'applications

Mode	Applications
<b>Mode M1</b>	<p><b>[3.2877-3.4627] :</b> Radiolocalisation- radioamateurs- Liaisons FH Faisceaux Hertziens [26]- exploration de la terre par satellite (active) et recherche spatiale (active) [27].</p> <p><b>[6.3654-6.4161] :</b> fixe et fixe par satellite (terre vers espace) [27].</p> <p><b>[7.2459-7.3777] :</b> Télémesures et télécommandes engins spatiaux- Mesures passives hyperfréquences au-dessus des océans et Liaisons FH Faisceaux Hertziens [26].</p> <p><b>[12.033-12.107] :</b> Satellites télévisions bande ku-2 [26]- fixe par satellite (espace vers terre) et Mobile sauf mobile aéronautique [27].</p> <p><b>[15.793-16.26] :</b> Radiolocalisation [27].</p> <p><b>[19.498-19.853] :</b> Liaisons FH Faisceaux Hertziens [26] et fixe par satellite (espace vers terre) [27].</p>
<b>Mode M2</b>	<p><b>[3.1216-3.2904] :</b> Radiolocalisation -exploration de la terre par satellite (active) -recherche spatiale (active) [27].</p> <p><b>[7.006-7.1284] :</b> Mesures passives hyperfréquences au-dessus des océans [26].</p> <p><b>[12.024-12.093] :</b> Satellites télévisions bande ku-2 [26]- fixe par satellite (espace vers terre) et Mobile sauf mobile aéronautique [27].</p> <p><b>[15.847-16.275] :</b> Radiolocalisation [27].</p> <p><b>[19.494-19.826] :</b> Liaisons FH Faisceaux Hertziens [26] et fixe par satellite (espace vers terre) [27].</p>
<b>Mode M3</b>	<p><b>[3.1421-3.3158] :</b> Radiolocalisation -exploration de la terre par satellite (active) et recherche spatiale (active) [27].</p> <p><b>[7.0503-7.1594] :</b> Mesures passives hyperfréquences au-dessus des océans [26].</p> <p><b>[12.029-12.1] :</b></p>

	<p>satellites télévisions bande ku-2 [26]- fixe par satellite (espace vers terre) et Mobile sauf mobile aéronautique [27].  <b>[15.841-16.272] :</b>                  Radiolocalisation [27].  <b>[19.49-19.826] :</b>                  Liaisons FH Faisceaux Hertiens [26] et fixe par satellite (espace vers terre) [27].</p>
<b>Mode M4</b>	<p><b>[3.2538-3.4353] :</b>                  Radiolocalisation -exploration de la terre par satellite (active) et recherche spatiale (active) [27] radioamateurs [26].  <b>[6.3654-6.4161] :</b>                  fixe et fixe par satellite (terre vers espace) [27].  <b>[7.2336-7.3786] :</b>                  Télémessures et télécommandes engins spatiaux- Mesures passives hyperfréquences au-dessus des océans et Liaisons FH Faisceaux Hertiens [26].  <b>[12.033-12.106] :</b>                  Satellites télévisions bande ku-2 [26]- fixe par satellite (espace vers terre) et Mobile sauf mobile aéronautique [27].  <b>[15.79-16.261] :</b>                  Radiolocalisation [27].  <b>[19.502-19.852] :</b>                  Liaisons FH Faisceaux Hertiens [26] et fixe par satellite (espace vers terre) [27].</p>
<b>Mode M5</b>	<p><b>[3.1841-3.3615] :</b>                  Radiolocalisation -exploration de la terre par satellite (active) et recherche spatiale (active) [27].  <b>[7.2176-7.3454] :</b>                  Télémessures et télécommandes engins spatiaux- Mesures passives hyperfréquences au-dessus des océans et Liaisons FH Faisceaux Hertiens [26].  <b>[12.033-12.105] :</b>                  Satellites télévisions bande ku-2 [26]- fixe par satellite (espace vers terre) et Mobile sauf mobile aéronautique [27].  <b>[15.787-16.256] :</b>                  Radiolocalisation [27].  <b>[19.498-19.8839] :</b>                  Liaisons FH Faisceaux Hertiens [26] et fixe par satellite (espace vers terre) [27].</p>

**Tableau II.7 :** Domaine d'applications d'antenne patch pentagone miniature reconfigurable.

**f) Conclusion**

La reconfigurabilité de la fréquence de l'antenne patch miniature est obtenue à l'aide de huit diodes PIN. Cette dernière opère dans différents domaines de télécommunications. Les diagrammes de rayonnement prouvent que cette antenne présente également une reconfigurabilité de diagramme à différentes fréquences pour différentes combinaisons de commutation. Tous les coefficients de réflexion sont inférieurs à -10dB et les gains dépassent 5dB. La distribution de courant est variable pour les différentes fréquences ainsi que dans les différents modes de fonctionnement des diodes PIN utilisées. L'antenne patch miniature reconfigurable a un grand potentiel pour devenir une partie intégrante du futur système de télécommunication.

## **Conclusion Générale**

Afin de développer des méthodes de communication et d'insérer plusieurs applications dans un appareil, nous avons travaillé sur les antennes reconfigurables. Ce domaine est très vaste et il existe des antennes reconfigurables en fréquence, en polarisation et en diagramme de rayonnement. Nous avons choisi dans notre mémoire des antennes reconfigurable en fréquences.

Pour atteindre cet objectif, nous avons utilisé le logiciel de simulations CST (studio suite) comme un outil de simulation pour trouver les différents résultats de simulation.

Dans le premier chapitre nous avons présenté des généralités sur les antennes imprimées, les différentes techniques d'alimentation, les techniques d'adaptation et de reconfigurabilité, les classifications d'antennes reconfigurables.

Dans le deuxième chapitre nous avons fait l'étude et la simulation de deux antennes reconfigurables en fréquence. la première antenne est une structure pentagone multi bandes et la deuxième antenne est la structure miniature de cette dernière. Les résultats de simulation obtenues sont très satisfaisants en termes de coefficients de réflexion, de diagramme de rayonnement et de distribution de courant. Les fréquences obtenues sont bien incluses dans de nombreuses applications de télécommunications tel que : Wifi, Bluetooth, Zegbee, radar, application satellitaire, application ISM.....etc...

Comme perspective de notre travail, nous envisagerons de réaliser ces antennes avec le substrat ROGERS 3003 et valider nos résultats de simulations par des résultats pratique.

**Références Bibliographiques**

- [1] **CHAIMA Amel**, « Etude et conception d'une antenne reconfigurable pour les applications WLAN », Master en télécommunication, université Mohamed Boudiaf - M'SILA, 2017/2018.
- [2] **NOURI Mouna et TERKI Zakia**, « Conception d'une Antenne Microruban Reconfigurable à base de Diode PIN et des Structures EBG », Master Académique systèmes de télécommunication, Université Mohamed Boudiaf - M'SILA, 2018 /2019.
- [3] **ABDENOUR Yassine**, « Étude et conception des antennes miniatures pour les applications biomédicales », Master en télécommunication, Université Aboubakar Belkaïd– TLEMCEN, 28 /06/ 2018.
- [4] **ZEMAM Youssef et FOUKIA Aimad Eddine**, « Étude et Conception d'Antennes Reconfigurables par Association d'éléments actifs», Thèse de MASTER en Réseaux et Systèmes de Télécommunications, Université Aboubakr Belkaïd TLEMCEN, 13 /06/ 2017
- [5] **DEGHFEL Walid et MERZOUGUI Rami**, "Etude et conception d'une antenne patch Ultralarge bande ULB à bande rejetée", Université M'sila, 2017.
- [6] **BENISLAMANE Khawla et BETTAYEB Hanane**, « Modélisation d'une antenne multifréquence par ligne de transmission », Thèse de MASTER en Systèmes des télécommunications, Université Kasdi Merbah- OUARGLA-, 2017-2018.
- [7] **Tchouar Faiza et Bensenouci Rabea**, « Etude et Conception D'une Antenne Micro ruban pour des applications WBAN », Master en Génie de Télécommunications, Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent, 2016/2017.
- [8] **CHORFI Hamid**, « conception d'un nouveau système d'antenne réseau conforme en onde millimétrique », Mémoire, Bibliothèque du Cégep de I 'Abitibi-Témiscamingue, Université du Québec en Abitibi-TÉMISCAMINGUE, 2012.
- [9] **R. L Yadava**, "Antenna and Wave Propagation," PHI Learning Pvt. Ltd., 2011.
- [10] **Alaeddine AL-FAWAL**, « Conception et Réalisation de Réseaux d'Antennes pour les Mesures de Propagation et de Transmission Application aux Réseaux de Communication sans Fil UMTS, WLAN, WLL ET HIPERLAN/2 », Diplôme d'Ingénieur en Electricité et Electronique, Faculté de Génie I, Université Libanaise, Beyrouth, Liban, 2001.
- [11] **CHORFI Hamid**, « conception d'un nouveau système d'antenne réseau conforme en onde millimétrique », Mémoire Bibliothèque du Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue, Université du Québec en Abitibi-TEMISCAMINGUE, 2012.

- [12] **Alaeddine AL-FAWAL**, « Conception et Réalisation de Réseaux d'Antennes pour les Mesures de Propagation et de Transmission Application aux Réseaux de Communication sans Fil UMTS, WLAN, WLL ET HIPERLAN/2 », Diplôme d'Ingénieur en Electricité et Electronique, Faculté de Génie I, Université Libanaise, Beyrouth, Liban, 2001.
- [13] **CHETOUAH FAROUK**, « Etude et modélisation des antennes miniatures basées sur des matériaux diélectriques », thèse de doctorat, université Ferhat Abbas SETIF-1, 18/10/2018.
- [14] **MOUHAMED mansori et EL HAITAM ezerog**, « conception et simulation d'une antenne patche ultra large bande », master en communication navigation surveillance /Air trafic management , Institu d'aéronautique et d'étude spacial, 2018/2019.
- [15] **ZEMAM Youssouf et FOUKIA Aimad Eddine**, « Étude et Conception d'Antennes Reconfigurables par Association d'éléments actifs » MEMOIRE pour obtenir le diplôme de MASTER de l'université AboubakrBelkaïd– TLEMCEN – Juin 2017.
- [16] **Abla Behloul**, « Contribution à l'étude des antennes microstrip supraconducteur de forme triangulaire » mémoire de magister en électronique de l'université Mentouri CONSTANTINE Avril 2010.
- [17] **CHAIMA Amel**, « Étude et conception d'une antenne reconfigurable pour les applications WLAN actifs », MEMOIRE de MASTER, l'université MOHAMED BOUDIAF - M'SILA- 2010.
- [18] **Fouad Benamrane**, « Conception d'une antenne patch microstrip », Université Sidi Mohamed Ben Abdellah (Fès) MAROC - Master télécoms hyperfréquence 2011.
- [19] **Behloul Abla et Epouse Bachkhaznadj**, « Etude et conception d'antennes à résonateurs diélectriques. Application à la réalisation d'une antenne reconfigurable », Doctorat en Hyperfréquences, Universite Abu bakr Belkaid,08 / 06 / 2017.
- [20] **Adda Sekrane Kheira et Cherier Ouissam**, « Etude et conception d'antenne reconfigurables pour radiocommunications », d'Ingénieur d'Etat en Télécommunications, Institut National des Télécommunications et des Technologies de l'Information et de la Communication, 2016- 2017.
- [21] **Boudjella SABRIA**, « étude et simulation des microsystèmes à base de la technologie mems », MAGISTER en Microélectronique et Nanoélectronique, Université Abdel Hamid Ibn Badis de Mostaganem,2014.
- [22] **Imen BEN TRAD**, « Antennes Agiles pour les Télécommunications Multistandards » docteur de l'INSA de rennes en Electronique et Télécommunications, école doctorale : matisse laboratoire : ietr /innov'com, 29.10.2014.

[23] **Trong Duc Nguyen**, « Conception d'antenne intelligente reconfigurable pour la radio cognitive » docteur de Spécialité Optique et Radiofréquences, Université Grenoble Alpes, France, 2012.

[24] **ADJILA fatima et MELATI nadia** ,« étude et conception d'une antenne fractale reconfigurable en fréquence», Master en Systèmes des Télécommunications, Université 8 Mai 1945 Guelma, Juillet 2019.

[25] **H. Legay, R. Gillard, J. Citerne, Gerard**, " Effet d'un trou métallisé sur les caractéristiques de rayonnement d'une antenne plaque microruban alimentée par une ligne coaxiale à travers le plan de masse," Ann. Télécomm., vol.46, no.7-8, 1991.

[26] **plan des fréquences**, Répartitions des ondes (acoustiques, radio-électriques, lumineuses), <https://radio.pagesperso-orange.fr/Bandes.htm#SHF>.

[27] **Chef du Gouvernement, Président du Conseil d'Administration de l'ANRT**, « Le Plan National des Fréquences », 23septembre 2013.

[28] **Kahloul Nihed, Bouchikhi Rahmouna**, « modélisation et simulation d'une nouvelle structure d'antenne patch pentagone pour des applications en ISM », Mémoire de Master en Réseaux et Télécommunications, Centre Universitaire Belhaj Bouchaib Ain Temouchent, 2019/2020.

[29] **Mohammed Belhadj khouloud, Moussa Fatima Zohra**, « Antenne patch pentagone miniature pour des applications en ISM », », Mémoire de Master en Réseaux et Télécommunications, Centre Universitaire Belhaj Bouchaib Ain Temouchent, 2019/2020.