

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abderrahmane Mira

Faculté de Technologie



Département d'Automatique, Télécommunications et d'Electronique

## *Projet de Fin d'études*

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Télécommunications

Spécialité : Réseaux des Télécommunications

Thème :

*Conception d'antennes à fente, à polarisation circulaire large bande, alimentées par un guide d'ondes coplanaire pour applications aux systèmes de télécommunication*

Préparé par :

*Mlle MEDJANI Nassira & Mlle ZEGHAR Feriel*

**Dirigé par :**

**Mme HAMZAOUI Dahbia**

**Examiné par :**

**Mme BOUNCER Samira**

**Mr. KHIRDDINE A/Krim**

**Année universitaire : 2021/2022**



# *Remerciements*

*Nous remercions avant tout Dieu tout-puissant pour nous avoir donné courage et persévérance tout le long de nos études et dans la vie de manière générale.*

*Nous adressons notre reconnaissance et nos remerciements à notre promotrice Mme HAMZAOUI Dahbia pour ses conseils chaleureux, son encadrement, sa disponibilité et son aide précieuse à la réalisation de ce travail, pour cela nous l'assurons de notre sincère gratitude et notre respect le plus profond.*

*Nous remercions les membres du jury qui nous ont fait l'honneur d'examiner notre travail.*

*Nous remercions enfin, tous ceux qui, de près ou de loin, nous ont tendu la main et ont contribué à l'amélioration et à la mise terme de ce projet.*

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



*-Mlle M.Nassira & Mlle Z.Feriel-*

# *Dédicace*

*Je prie Dieu le tout puissant de préserver notre attachement mutuel, et d'exaucer tous nos rêves.*

*Je dédie ce modeste travail et ma profonde gratitude à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin durant mon cursus universitaire.*

*A Mon père **Abdelkader** et ma Mère **Malika**, ma raison de vivre.*

*Aucune dédicace ne peut exprimer mon respect, mon amour éternel et mon appréciation pour les Sacrifices qu'ils ont fait pour moi : les instructions, le bien être, tout le soutien et l'amour qu'ils m'ont donné .grâce à vous je suis toujours plus fort. Merci à vous, en toute tendresse que dieu vous protège.*

*A mes frères et sœurs **Bilal, hamza, Amar, Djedjiga, Samia, Souhila, Sabrina**. Qui m'ont chaleureusement supporte encourage tout au long de mon parcours.*

*A ma binôme **Ferielet** sa famille, pour son aide et support durant les moments difficiles.*

*A mes amis (es) **Nadjet, Sonia, Merime, Biba, Kahina, Flora, Amel, Lila, Ouïssem, fatiha,kenza,Zizou, Merouane**.*

*A mon fiancer **Arezki** Pour l'amour et l'affection qui nous unissent. Je ne saurais exprimer ma profonde reconnaissance pour le soutien continu dont tu as toujours fait preuve. Tu m'as toujours encouragé, incité à faire de mon mieux, ton soutien m'a permis de réaliser le rêve tant attendu.*

*Je tiens a remercié tous les étudiants et profs **ATE**.*



*-Mlle M.Nassira-*

# *Dédicace*

*Merci à Dieu de sa grâce, source de notre force et courage tout au long de nos études.*

*C'est avec un grand plaisir que Je dédie ce modeste travail :*

*A celui qui a combattu toute sa vie pour procurer tout ce dont j'avais besoin, celui qui m'a soutenu au long de mon parcours :*

*A mes chers parents, qui m'ont éduqué de la meilleure façon qui soit et qui m'ont fait grandir. Je tiens à leur faire part de ma reconnaissance infinie pour tout ce qu'ils ont sacrifié pour faire de moi la personne que je suis. Longue vie à vous incha'allah.*

*A mes frères, Layachi et Amir, qui m'ont toujours soutenu, je leurs souhaite beaucoup de réussite, de bonheur et de bonne santé.*

*A mes sœurs, Abir, Narimane, Manalpour toutes les épreuves que nous avons endurées et aussi pour toutes les joies que nous avons partagées.*

*A mes grands-parents, mes oncles, mes tentes, mes cousins et cousines, que Dieu leur donne une longue vie.*

*A tous mes amies, Nadjet, Amina, Sarah, Khadidja, Donia, Ilham, ahlam, Meriem, Rima, Kanza, Amira, qui eux aussi n'ont jamais cessés de m'apporter leur soutien.*

*À ma binôme Nassira et sa famille, pour la complicité, le partage et tout le vécu que nous avons enduré et surmonté ensemble.*



*-Mlle Z.Feriel-*

# *Sommaire*

# *Sommaire*

---

<b>Remerciements</b>	
<b>Dedicace</b>	
<b>Sommaire</b>	
<b>Liste d'abréviation</b>	
<b>Liste des tableaux</b>	
<b>Liste des figures</b>	
<b>Liste des diagrammes</b>	
<b>Introduction générale.....</b>	<b>1</b>

## **Chapitre I**

### **Généralités sur les antennes**

<b>Introduction .....</b>	<b>4</b>
<b>I.1. Définition de l'antenne .....</b>	<b>4</b>
<b>I.2. Le rôle des antennes.....</b>	<b>5</b>
<b>I.3. Classification des antennes .....</b>	<b>5</b>
I.3.1. Selon leur géométrie .....	5
I.3.1.1. Antennes filaires .....	6
I.3.1.2. Antennes à ouverture.....	6
I.3.1.3. Antenne à fente .....	7
I.3.1.4. Antennes imprimées.....	7
I.3.2. Selon leur bande de fonctionnement.....	8
I.3.2.1. Antenne à bande étroite .....	8
I.3.2.2. Antenne large bande.....	9
I.3.2.3. Différents types d'applications pour les antennes large-bande LB .....	9
I.3.2.4. Avantages et Inconvénients de l'antenne large bande .....	9
A. Avantage .....	9
B. Inconvénients .....	10
<b>I.4. Les différentes caractéristiques des antennes .....</b>	<b>10</b>
I.4.1. Diagramme de rayonnement.....	10
I.4.2. Angle d'ouverture.....	10
I.4.3. Ouverture rayonnante et Rendement .....	11
I.4.3.1. Ouverture rayonnante .....	11
I.4.3.2. Rendement .....	11
I.4.4. Directivité de l'antenne.....	11
I.4.5. Gain de l'antenne .....	12

## *Sommaire*

---

I.4.6. L'impédance d'entrée .....	12
I.4.7. Coefficient de Réflexion .....	12
I.4.8. La bande passante .....	13
I.4.9. Taux d'onde stationnaire VSWR.....	14
I.4.10. Polarisation .....	14
I.4.10.1. Polarisation circulaire.....	15
<b>I.5. Domaine d'application des antennes.....</b>	<b>16</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>17</b>

### **Chapitre II**

#### **La theorie des antennes à fente**

<b>Introduction .....</b>	<b>19</b>
<b>II.1. Les antennes planaires .....</b>	<b>19</b>
<b>II.2. Description d'une antenne à fente .....</b>	<b>20</b>
<b>II.3. Etat de l'art de l'antenne à fente .....</b>	<b>21</b>
<b>II.4. Théorie sur le guide d'onde à fentes .....</b>	<b>23</b>
II.4.1. Guide d'ondes.....	23
II.4.2. Principe de fonctionnement d'antenne planaire à fente.....	24
<b>II.5. Techniques d'alimentation.....</b>	<b>25</b>
II.5.1. Alimentation par ligne micro-ruban .....	25
II.5.2. Guide d'ondes coplanaire.....	26
<b>II.6. Avantages et inconvénients d'antenne à fente.....</b>	<b>27</b>
<b>II.7. Applications.....</b>	<b>28</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>28</b>

### **Chapitre III**

#### **Conception d'antenne à fente -Structure 1-**

<b>Introduction .....</b>	<b>30</b>
<b>III.1. Description du Logiciel de Simulation CST.....</b>	<b>30</b>
<b>III.2. Géométrie de l'antenne.....</b>	<b>30</b>
<b>III.3. Etude paramétrique.....</b>	<b>32</b>
III.3.1. Coefficient de réflexion S11 .....	32
III.3.1.1. Variation de $g$ .....	32
III.3.1.2. Variation de $Lt$ .....	33
III.3.1.3. Variation de $W$ .....	34
III.3.1.4. Variation de $Wf$ .....	34

## *Sommaire*

---

III.3.1.5. Variation de $Wt$ .....	35
III.3.1.6. Variation de $L1$ .....	36
III.3.1.7. Variation de $L2$ .....	37
III.3.1.8. Variation de $L3$ .....	38
III.3.1.9. Variation de $Ls$ .....	39
III.3.2. Rapport axial.....	40
III.3.2.1. Effet du gap $g$ .....	40
III.3.2.2. Effet de la largeur $W$ .....	40
III.3.2.3. Effet du paramètre $L1$ .....	41
III.3.2.4. Effet du paramètre $Ls$ .....	41
<b>III.4. Résultats de simulation retenus.....</b>	<b>42</b>
III.4.1. Coefficient de réflexion $S11$ .....	42
III.4.2. Diagramme de rayonnement du gain total réalisé en3D.....	43
III.4.3. Rapport axial.....	45
III.4.4. Représentation des champs $E$ .....	46
III.4.5. Le courant de surface.....	46
<b>Conclusion.....</b>	<b>47</b>

## Chapitre IV

### Conception d'antenne à fente –Structure 2 -

<b>Introduction.....</b>	<b>49</b>
<b>IV.1. Géométrie de l'antenne.....</b>	<b>49</b>
<b>IV.2. Etude paramétrique.....</b>	<b>51</b>
IV.2.1. Coefficient de réflexion $S11$ .....	51
IV.2.1.1. Variation de gap $g$ .....	51
IV.2.1.2. Variation de $Wg$ .....	52
IV.2.1.3. Variation de $L$ .....	53
IV.2.1.4. Variation de $Lg$ .....	53
IV.2.1.5. Variation de $RH$ .....	54
IV.2.1.6. Variation de $C$ .....	55
IV.2.1.7. Variation de $F$ .....	56
IV.2.1.8. Variation de $H1$ .....	57
IV.2.1.9. Variation de $H2$ .....	57
IV.2.1.10. Variation de $W$ .....	58
IV.2.1.11. Variation de $WI$ .....	59

## *Sommaire*

---

IV.2.1.12. Variation de $W_2$ .....	60
IV.2.1.13. Variation de $W_3$ .....	60
IV.2.1.14. Variation de $D_1$ .....	61
IV.2.1.15. Variation de $D_2$ .....	62
IV.2.2. Rapport axial.....	62
<b>IV.3. Résultats de simulation retenus.....</b>	<b>63</b>
IV.3.1. Coefficient de réflexion $S_{11}$ .....	63
IV.3.2. Diagramme de rayonnement du gain total réalisé en3D .....	64
IV.3.3. Rapport axial.....	66
IV.3.4. Représentation des champs E .....	66
IV.3.5. Le courant de surface .....	67
<b>Conclusion .....</b>	<b>67</b>
<b>Conclusion generale .....</b>	<b>68</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>66</b>

## Liste d'abréviation

**ARBW** : Axial Ration BandWidth (Largeur de bande correspondant à un rapport axial < 3 dB)

**BP** : Bande passante.

**BP<sub>r</sub>** : La largeur relative de bande passante

**CP** : Polarisation circulaire.

**CPW** : Guide d'onde coplanaire (Coplanar Waveguide).

**CST MWS** : Computer Simulation Technology MicroWave Studio.

**D** : Directivité de l'antenne.

**E** : champ électrique.

**F<sub>1</sub>** : La fréquence minimale de la bande passante.

**F<sub>2</sub>** : La fréquence maximale de la bande passante.

**f<sub>c</sub>** : Fréquence centrale.

**G**: Gain de l'antenne.

**H** : champ magnétique.

**I<sub>0</sub>**: Courant maximal.

**k**: Nombre d'onde.

**LB(WB)/ULB(UWB)** : Large Bande (WideBand)/Ultra Large Bande (Ultra WideBande).

**LP** : polarisation linéaire.

**P( $\theta, \phi$ )**: Puissance rayonné dans une direction.

**P<sub>a</sub>**: Puissance d'alimentation d'une antenne.

**R.O.S (VSWR)** : Rapport d'Onde Stationnaire (Voltage Standing Wave Ratio).

**S<sub>11</sub>**: Le coefficient de réflexion.

**V<sub>max</sub>** : Tension maximale.

**V<sub>min</sub>** : Tension minimale.

**WLAN**: Wireless Local Area Network.

**Z<sub>0</sub>**: L'impédance caractéristique.

**Z**: L'impédance d'antenne ( $\Omega$ ).

**$\eta$** : Le rendement.

**$\Gamma$**  : Coefficient de réflexion.

**$\epsilon_r$** : Constante diélectrique.

**2D** : deux dimensions.

**3D** : trois dimensions.

## *Liste d'abréviation*

---

**Liste des tableaux**

Tableau III.1 : Détails dimensionnels concernant l'antenne conçue. ....	31
Tableau III.2: Influence du gap g sur la magnitude S11 et la Bande passante.....	32
Tableau III.3: Influence de Lt sur la magnitude S11 et la bande passante.....	33
Tableau III.4: Influence de la largeur W sur la magnitude S11 et la bande passante .....	34
Tableau III.5 : Influence de la longueur Wf sur la magnitude S11 et la bande passante.....	35
Tableau III.6 : Influence de Wt sur la magnitude S11 et la bande passante .....	36
Tableau III.7 : Influence de la longueur L1 sur la magnitude S11 et la bande passante .....	37
Tableau III.9 : Influence de la longueur L2 sur la magnitude S11 et la bande passante .....	38
Tableau III.10 : Influence de la largeur L3 sur la magnitude S11 et la Bande Passante .....	38
Tableau III.11 : Influence de la longueur Ls sur la magnitude S11 et la bande passante ....	39
Tableau IV. 1 : Paramètres physiques de l'antenne à fente conçue.....	50
Tableau IV.2: Influence du gap g sur la magnitude S11 et la Bande passante. ....	51
Tableau IV.3: Influence de Wg sur la magnitude S11 et la Bande passante.....	52
Tableau IV.4 : Influence de L sur la magnitude S11 et la bande passante .....	53
Tableau IV.5 : Influence de Lg sur la magnitude S11 et la bande passante.....	54
Tableau IV.6 : Influence de RH sur la magnitude S11 et la bande passante .....	55
Tableau IV.7 : Influence de RH sur la magnitude S11 et la bande passante.....	55
Tableau III.8 : Influence de F sur la magnitude S11 et la bande passante .....	56
Tableau IV.9 : Influence de H1 sur la magnitude S11 et la bande passante. ....	57
Tableau IV.10 : Influence de H2 sur la magnitude S11 et la bande passante .....	58
Tableau IV.11: Influence de W1 sur la magnitude S11 et la bande passante .....	58
Tableau IV.12 : Influence de W1 sur la magnitude S11 et la bande passante .....	59
Tableau IV.13 : Influence de W2 sur la magnitude S11 et la bande passante .....	60
Tableau IV.14 : Influence de W3 sur la magnitude S11 et la bande passante .....	61
Tableau IV.15 : Influence de D1 sur la magnitude S11 et la bande passante. ....	61
Tableau IV.16 : Influence de D2 sur la magnitude S11 et la bande passante .....	62

## Liste des figures

Figure I.1 : Chaîne de transmission par onde électromagnétique.....	4
Figure I.2 : Représentation d'une antenne d'émission et de réception .....	5
Figure I.3 : Antenne Yagi.....	6
Figure I.4 : Antenne cornet.....	6
Figure I.5 : Antennes à fentes demi ou quart d'onde.....	7
Figure I.6 : Présentation d'une antenne imprimée. ....	7
Figure I.7 : Antenne patch.....	8
Figure I.8 : Antenne RF bande étroite cellulaire 824 MHz à 869 MHz.....	8
Figure I.9 : Différentes applications en Large Bande.....	9
Figure I.10 : Représentation du diagramme de rayonnement d'une antenne .....	10
Figure I.11 : Diagramme de rayonnement bidimensionnel en coordonnées cartésiennes ...	11
Figure I.12 : Exemple de la variation du module du coefficient de réflexion $S_{11}$ (dB) en fonction de la fréquence et de la bande passante à -10 dB.....	14
Figure I.13 : Polarisation du champ électromagnétique .....	15
Figure I.14 : Polarisation circulaire. ....	16
Figure I.15 : Occupation du spectre radiofréquence .....	16
Figure II.1 : Antennes imprimées à plusieurs éléments rayonnants .....	19
Figure II.2 : Caractéristiques d'une antenne à fente.....	20
Figure II.3 : Antenne à fente et dipôle complémentaire.....	21
Figure II.4 : Quelques exemples d'antennes à fente a(25), b(26), c(27), d(28). ....	23
Figure II.5: Géométrie d'un guide d'onde diélectrique. (a) cas général. (b) cas de la fibre optique. (c) cas des guides intégrés utilisés au cours de ce travail .....	24
Figure II.6 : Différents types de guide à fente.....	24
Figure II.7 : Principe de Babinet dans le champ électromagnétique. ....	25
Figure II.8: Alimentation par linge micro-ruban. ....	26
Figure II.9 : Alimentation par guide d'onde coplanaire .....	27
Figure III.1 : Modèle de l'antenne à fente à polarisation circulaire large bande conçue. ....	31
Figure III.2 : Influence du gap $g$ sur le coefficient de réflexion.....	32
Figure III.3 : Influence de $Lt$ sur le coefficient de réflexion. ....	33
Figure III.4 : Influence de $W$ sur le coefficient de réflexion. ....	34
Figure III.5 : Influence de $Wf$ sur le coefficient de réflexion .....	35
Figure III.6 : Influence de $Wt$ sur le coefficient de réflexion .....	36

## *Liste des figures*

---

Figure III.7 : Influence de $L1$ sur le coefficient de réflexion .....	37
Figure III.8 : Influence de $L2$ sur le coefficient de réflexion. ....	38
Figure III.9 : Influence de $L3$ sur le coefficient de réflexion. ....	39
Figure III.10 : Influence de $Ls$ sur le coefficient de réflexion.....	39
Figure III.11: Influence de $g$ sur le rapport axial. ....	40
Figure III.12 : Influence de $W$ sur le rapport axial .....	41
Figure III.13 : Influence de $L1$ sur le rapport axial.....	41
Figure III.14 : Influence de $Ls$ sur le rapport axial. ....	42
Figure III.15 : Visualisation du paramètre S11 et représentation de la bande passante en fonction de la fréquence .....	43
Figure III.16 : Représentation 3D du gain réalisé de l'antenne pour différentes valeurs de $f$ . .....	43
Figure III.17 : Représentation 2D du gain total réalisé pour différentes fréquences ( $\varphi = 90^\circ$ ). ....	44
Figure III.18 : Représentation 2D du gain total réalisé pour différentes fréquences ( $\theta=0^\circ$ ). .....	45
Figure III.19 : Le rapport axial de notre antenne après optimisation.....	45
Figure III.20 : Distribution du champ E de l'antenne conçue .....	46
Figure III.21 : Distribution de courant d'une antenne à fente à polarisation circulaire .....	46
Figure IV.1 : Modèle de l'antenne à fente à polarisation circulaire large bande conçue.....	49
Figure IV.2 : Différents modèles conçus pour l'obtention de l'antenne à fente à polarisation circulaire large bande finale. ....	50
Figure IV.3 : Influence du gap $g$ sur le coefficient de réflexion. ....	51
Figure IV.4: Influence de $Wg$ sur le coefficient de réflexion. ....	52
Figure IV.5 : Influence de $L$ sur le coefficient de réflexion. ....	53
Figure IV.6 : Influence de $Lg$ sur le coefficient de réflexion. ....	54
Figure IV.7 : Influence de $RH$ sur le coefficient de réflexion. ....	55
Figure IV.8 : Influence du $C$ sur le coefficient de réflexion. ....	56
Figure IV.9 : Influence de $F$ sur le coefficient de réflexion. ....	56
Figure IV.10 : Influence de $H1$ sur le coefficient de réflexion. ....	57
Figure IV.11: Influence de $H2$ sur le coefficient de réflexion. ....	58
Figure IV.12 : Influence de $W1$ sur le coefficient de réflexion. ....	59
Figure IV.13 : Influence de $W1$ sur le coefficient de réflexion. ....	59
Figure IV.14 : Influence de $W2$ sur le coefficient de réflexion. ....	60

## *Liste des figures*

---

Figure IV.15 : Influence de $W3$ sur le coefficient de réflexion. ....	61
Figure IV.16 : Influence de $D1$ sur le coefficient de réflexion. ....	62
Figure IV.17 : Influence de $D2$ sur le coefficient de réflexion. ....	62
Figure IV.18 : Rapport axial des différentes antennes. ....	63
Figure IV.19 : Visualisation du paramètre $S_{11}$ et représentation de la bande passante en fonction de la fréquence. ....	64
Figure IV.20 : Représentation 3D du gain réalisé de l'antenne pour différentes valeurs de $f$ . ....	64
Figure IV.21 : Représentation 2D du gain total réalisé pour différentes fréquences ( $\theta = 90^\circ$ ). ....	65
Figure IV.22 : Représentation 2D du gain total réalisé pour différentes fréquences ( $\varphi = 0^\circ$ ). ....	65
Figure IV.23 : Le rapport axial de notre antenne après optimisation. ....	66
Figure IV.24 : Distribution du champ E de l'antenne conçue. ....	66
Figure IV.25 : Distribution du courant de l'antenne conçue. ....	67

# *Introducción General*

## *Introduction Générale*

---

Les antennes sont omniprésentes dans notre vie quotidienne. Les systèmes de communications sans fil, la radiodiffusion, la télévision par voie hertzienne ou par satellite et les systèmes radar, sont les exemples les plus courants dans lesquels interviennent divers types d'antennes comme les antennes filaires, à ouverture, paraboliques et planaires. L'histoire des antennes remonte à J.C. Maxwell [1] qui a unifié les théories de l'électricité et du magnétisme. En 1873, Maxwell a présenté un ensemble d'équations connues sous le nom « Equations de Maxwell » [2]. Par la suite, l'idée d'un élément rayonnant, à micro ruban, a été proposée par Deschamps en 1950. Après les années 1980, les antennes sont apparues dans plusieurs travaux de recherche à cause de la découverte de nouveaux matériaux de substrat diélectrique.

Avec la mise à jour rapide des équipements de communication sans fil, l'antenne traditionnelle à bande unique a été incapable de répondre à la demande croissante de communication sans fil. De nombreux chercheurs ont étudié de nouvelles formes d'antennes avec des nouvelles technologies parmi elles, les antennes à large bande qui sont compatibles et très utiles pour couvrir plusieurs standards de communication. Les systèmes de télécommunications Large Bande jouent un rôle très important dans notre vie quotidienne et ont connu un développement fulgurant marqué, surtout dans le système médical, téléphonie mobile, les communications spatiales, radar, les applications militaires, etc. [3].

La technologie large bande reconnaît une grande révolution à cause des avantages obtenus tels que la précision temporelle élevée et aussi les faibles dimensions lors de la réalisation. En hyperfréquences, aussi elle peut être exploitée à très faible densité de puissance pour la communication à des débits de données élevés sur des courtes distances. On parle aussi sur Les antennes à polarisation circulaire (CP) qui ont été largement utilisées dans les systèmes de communication sans fil en raison de leurs avantages d'éviter les décalages de polarisation entre le récepteur et l'émetteur, surmontent le problème de l'évanouissement par trajets multiples et améliorent les performances du système et peuvent également offrir une meilleure mobilité et une meilleure pénétration météorologique que les antennes à polarisation linéaire. Pendant ce temps, des antennes CP à large bande passante sont nécessaires dans les applications de communication modernes pour obtenir un débit de données élevé et fournir un service multimédia à haut débit.

## *Introduction Générale*

---

L'objectif de ce mémoire est la conception d'antennes planaires large bande à polarisation circulaire en deux dimensions, la simulation est effectuée à l'aide du logiciel CST MWS (Computer Simulation Technology Microwave Studio). Notre travail est scindé en trois parties, structurées comme suit :

Dans le premier chapitre on a présenté les généralités sur les antennes où nous avons parlé sur les différents types d'antennes selon leur géométrie, la forme du faisceau, et la bande passante : antenne filaire, antenne large bande, antenne imprimée..., ainsi que leurs rôles, sans oublier d'évoquer leurs principales caractéristiques à savoir : l'impédance d'entrée, la bande passante, la directivité, le gain, le rendement, le diagramme de rayonnement et la polarisation.

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation générale des antennes planaires et leurs caractéristiques. Comme notre travail est basé sur les antennes planaires à fentes, nous allons décrire cette antenne et présenter son état de l'art, ensuite nous expliquons son principe de fonctionnement et citons les différents guides d'ondes à fente. De plus On explique la technique d'alimentation que nous avons utilisé pour élargir la bande passante. Enfin, nous terminons ce chapitre par les avantages et inconvénients d'antennes à fente et leurs applications.

Dans le troisième et le quatrième chapitre, nous présentons les résultats de conception de deux antennes à fente de type 2D. Celles-ci ont été élaborées grâce au logiciel de simulation CST MWS. Pour chacune de ces structures, une étude paramétrique a été menée en variant les différents paramètres définissant l'antenne un à un et en étudiant son effet et influence sur le comportement de celle-ci. Après optimisation, on a représenté les résultats de simulations obtenus.

Finalement, une conclusion générale récapitulera les principaux résultats obtenus lors de cette étude. Des perspectives sont aussi données pour une éventuelle poursuite de ce travail.

# *Chapitre I*

## *Généralités sur les antennes*

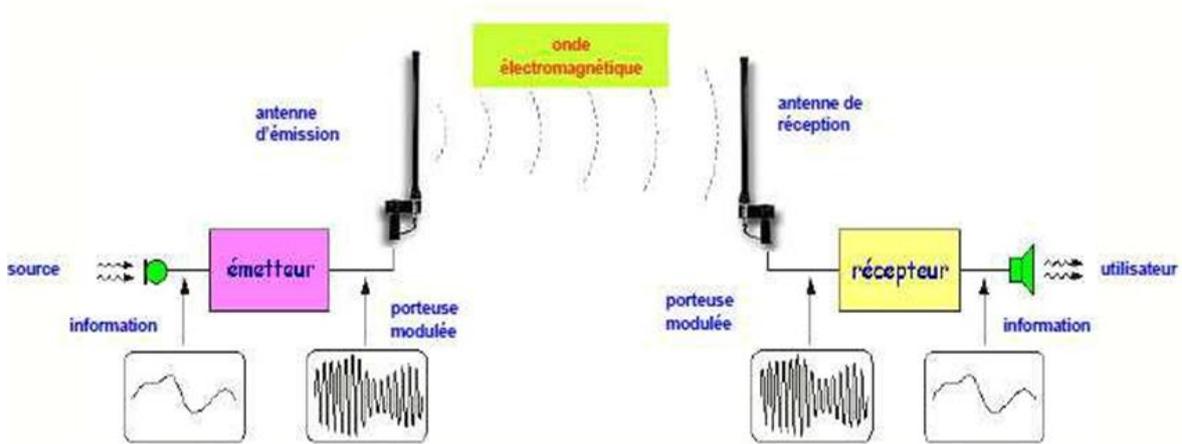
## Introduction

Les antennes sont des dispositifs utilisés pour rayonner le champ électromagnétique dans l'espace ou pour le capter, ce sont des éléments fondamentaux dans un système radioélectrique.

Dans ce chapitre, intitulé généralités sur les antennes, nous allons d'abord définir qu'est-ce qu'une antenne, quel est son rôle. Ensuite nous allons présenter les différents types d'antennes qui s'appliquent dans le domaine des télécommunications, ainsi que leurs caractéristiques générales telles que le diagramme de rayonnement, l'angle d'ouverture, la directivité, le gain et la polarisation, et le coefficient de réflexion...etc. Par la suite, nous décrivons la polarisation circulaire. Et on finit avec les différentes applications des antennes.

### I.1. Définition de l'antenne

Les antennes sont des dispositifs qui convertissent l'énergie électrique en énergie électromagnétique pour l'émission et vis-versa pour la réception, ceci afin d'assurer la transmission de l'information. Elles peuvent être classées comme des adaptateurs



d'impédance entre l'espace et l'émetteur ou le récepteur [4].

**Figure I.1 : Chaîne de transmission par onde électromagnétique [5].**

Par conséquent, selon son mode de fonctionnement, une antenne peut être définie comme une antenne émettrice ou réceptrice. Une antenne d'émission est un dispositif qui assure le transfert d'énergie entre une source et l'espace libre dans lequel cette énergie va se

propager. A l'inverse, en réception, l'antenne capte et transmet l'énergie d'une onde qui se propage dans l'espace vers un dispositif récepteur [6].

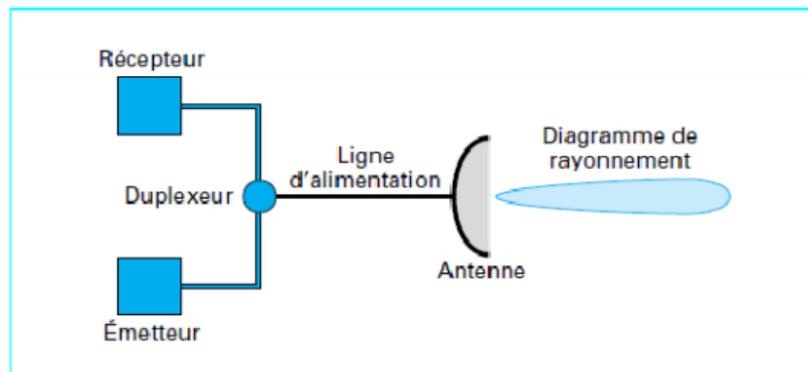


Figure I.2 : Représentation d'une antenne d'émission/réception.

## I.2. Le rôle des antennes

Les antennes sont une pièce maîtresse des systèmes de télécommunication sans fil. Elles sont présentes aux deux extrémités d'une liaison et ont plusieurs rôles dont les principaux sont les suivants :

- Permettre une adaptation correcte entre l'équipement radioélectrique et le milieu de propagation.
- Assurer la transmission ou la réception de l'énergie dans des directions privilégiées.
- Transmettre le plus fidèlement possible une information [7].
- Transformer l'énergie électrique d'un signal en énergie électromagnétique transportable par un champ électromagnétique.
- Permettre à tous les utilisateurs d'accéder à la radio, la télévision, la téléphonie, l'internet partout où ils se trouvent.

## I.3. Classification des antennes

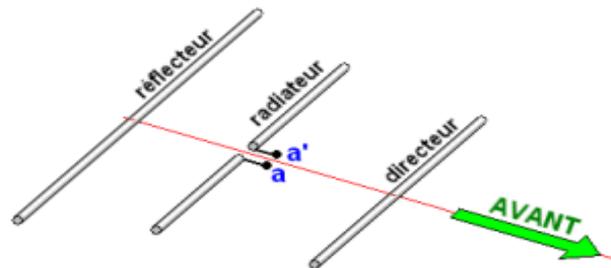
Les antennes sont réparties en plusieurs catégories selon la géométrie, la forme du faisceau, la bande passante, etc. Ainsi, on les classe comme suit [8] :

### I.3.1. Selon leur géométrie

- Antennes filaires : dipôle, boucle, spirale.
- Antennes à ouvertures : cornet, fente.
- Antennes imprimées : patch, dipôle imprimé, spirale.

### I.3.1.1. Antennes filaires

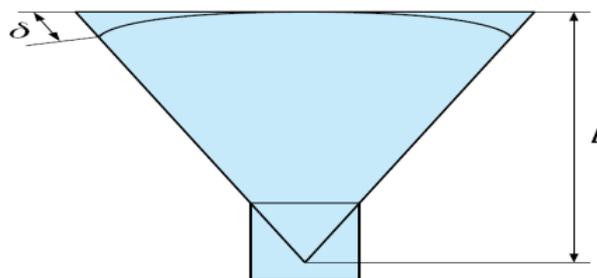
Elles sont très familières car on les voit pratiquement partout, sur les automobiles, les bâtiments, les navires, les avions, etc. Il existe différentes formes d'antennes filaires, tels que les dipôles, les monopoles, les boucles résonnante, les antennes à hélice et les antennes Yagi-Uda et les antennes Log-périodiques. La figure 1.3 illustre une antenne Yagi constituée de trois éléments : L'élément rayonnant (le dipôle), le réflecteur et le directeur [6].



FigureI.3 : Antenne Yagi.

### I.3.1.2. Antennes à ouverture

Elles peuvent être plus familières aujourd'hui que par le passé en raison de la demande croissante de formes d'antennes plus sophistiquées et de l'utilisation de fréquences plus élevées. Les antennes de ce type sont très utiles pour les applications d'aéronefs et d'engins spatiaux tel que l'antenne cornet et l'antenne à fente [6]. Elles ont la forme d'un entonnoir ou d'une pyramide inclinée à base ouverte, la figure I.4 montre la forme de ce type d'antenne.



FigureI.4 : Antenne cornet.

### I.3.1.3. Antenne à fente

C'est le modèle de prédilection pour la conception d'antennes de systèmes de sécurité comme celles des radars micro-ondes utilisés pour la surveillance maritime et aéroportuaire. Elle se définit par son développement vertical ou horizontal en forme de cornière, ou de guide d'ondes, avec des fentes. Un exemple est donné dans la figure 1.5 [9].

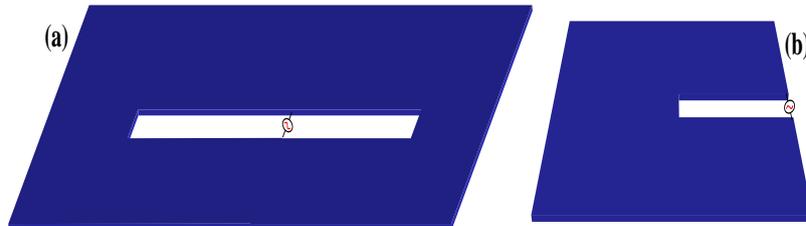


Figure I.5 : Antennes à fentes demi ou quart d'onde.

### I.3.1.4. Antennes imprimées

En général, une antenne imprimée, comme le montre la figure I.6 est constituée d'un conducteur métallique de forme arbitraire, déposé sur un substrat diélectrique de permittivité  $\epsilon_r$  au-dessus d'un plan de masse. La surface contient un élément rayonnant de géométrie quelconque (rectangle, cercle, carré, ...).

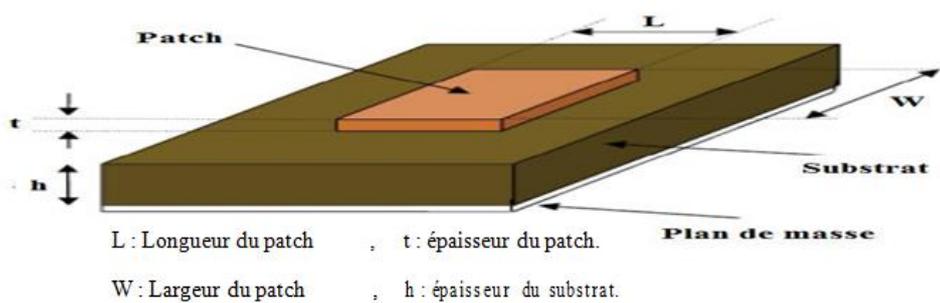
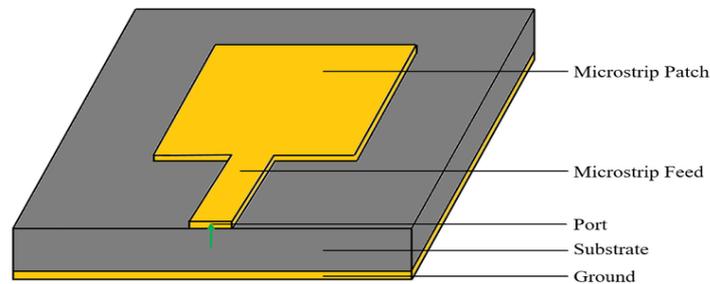


Figure I.6 : Présentation d'une antenne imprimée.

Il existe plusieurs mécanismes d'excitations qui permettent d'avoir des diagrammes de rayonnements en polarisations linéaire ou circulaire [10].

La figure I.7 nous montre une structure de base qu'est l'antenne patch ou l'antenne à micro-ruban. C'est le modèle le plus utilisé pour la conception des systèmes GSM, GPS, Wifi et Wimax.



FigureI.7 : Antenne patch

### I.3.2. Selon leur bande de fonctionnement

#### I.3.2.1. Antenne à bande étroite

Une bande étroite est un canal radio dans lequel la bande passante du message transmis ne dépasse pas significativement la bande de cohérence du canal. Le terme « bande étroite » est souvent utilisé par opposition avec « large bande ».

Dans les télécommunications filaires ou sans fil, un canal à bande étroite est considéré comme ayant une réponse en fréquence plate ; la bande passante du signal transmis sera de ce fait inférieure à la bande de cohérence du canal. Elle est également utilisée dans l'audio pour décrire les sons qui occupent des bandes de fréquence limitées. Exemple En téléphonie, elle est utilisée pour décrire la bande de fréquence de 300 à 3400 Hz.

Avec le développement des systèmes de télécommunication et certains inconvénients à bande étroite, les chercheurs ont utilisé une nouvelle technologie à large bande pour une bonne adaptation.



Figure1.8 : Antenne RF bande étroite cellulaire 824 MHz à 869 MHz.

### I.3.2.2. Antenne large bande

La technologie large bande (LB) est une technologie sans fil qui peut être exploitée à très faible densité de puissance pour la communication à des débits de données élevés sur des courtes distances. Elle consiste à utiliser des signaux dont le spectre s'étale sur une large bande de fréquences. Le gain de ces antennes joue un rôle essentiel pour la puissance RF captée. Ainsi, l'adaptation en impédance de l'antenne au circuit joue un rôle très important, où plus les impédances sont adaptées plus les pertes par réflexions sont faibles.

### I.3.2.3. Différents types d'applications pour les antennes large-bande LB

En février 2002, la FCC a défini trois types d'applications pour LB

- Bande de fréquences 24GHz et 77 GHz : application liée aux véhicules ;
- Bande de fréquence >1GHz : radar ;
- Bande 1.99-10.6 GHz : Applications médicales (imagerie) ;
- Bande 3.1-10.6 GHz : Système de communications sans fil et application liées à la localisation ;
- Bande 1-11 GHz : Application multimédia (3G, 4G, WIMAX....etc.) [11].

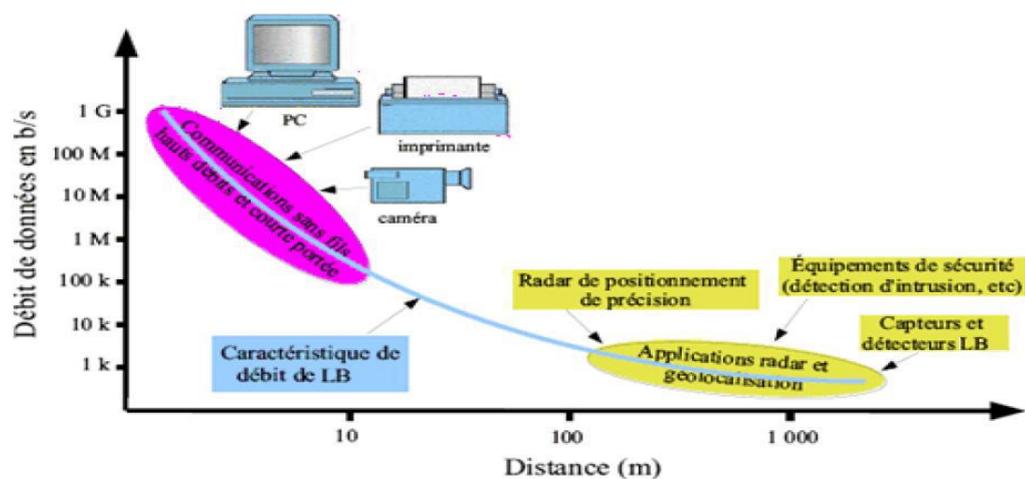


Figure I.9 : Différentes applications en Large Bande [11].

### I.3.2.4. Avantages et Inconvénients de l'antenne large bande

#### A. Avantage

- Débit important.
- Bonne capacité de pénétration dans les murs et les obstacles.
- Large bande de fréquence.

- Précision temporelle élevée.
- Possibilité d'une architecture commune pour les applications de communications,
- Réduction des évanouissements causés par les trajets multiples [12].

## B. Inconvénients

Un des inconvénients liés à l'utilisation de cette technique de communication tient au fait que les fréquences utilisées sont déjà employées par d'autres systèmes, ce qui rend possible l'existence d'interférences.

## I.4. Les différentes caractéristiques des antennes

### I.4.1. Diagramme de rayonnement

Le diagramme de rayonnement présente les changements de la puissance rayonnée par l'antenne dans les différentes directions de l'espace, il indique les directions dans lesquels la puissance rayonnée est maximale [9]. Comme le montre la figure I-10, Le diagramme de rayonnement peut être représenté soit en distribution 3D, ce qui nous permet une meilleure visualisation du lobe principale et des lobes secondaires, soit en 2D en une représentation polaire ou cartésienne.

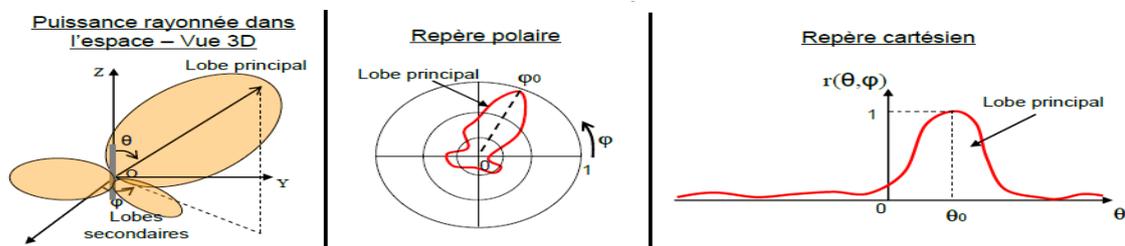


Figure I.10 : Représentation du diagramme de rayonnement d'une antenne

### I.4.2. Angle d'ouverture

C'est l'angle calculé autour de la direction du lobe principal, pour lequel la puissance rayonnée est égale à la moitié de la puissance rayonnée dans la direction de rayonnement maximal. (Voir figure I.11).

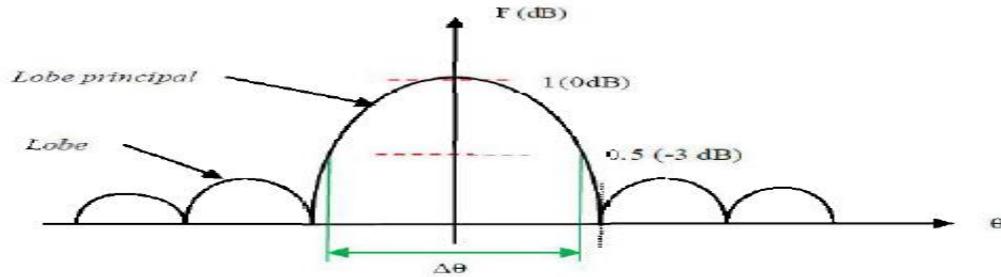


Figure I.11 : Diagramme de rayonnement bidimensionnel en coordonnées cartésiennes.

### I.4.3. Ouverture rayonnante et Rendement

#### I.4.3.1. Ouverture rayonnante

C'est la surface géométrique rayonnante d'une antenne, c'est aussi la surface qui capte l'énergie des ondes électromagnétiques transmises.

#### I.4.3.2. Rendement

Le rendement d'une antenne ou également appelé efficacité est le rapport entre la puissance totale rayonnée par unité d'angle solide et la puissance d'alimentation de cette antenne. Il peut être exprimé en fonction du gain et de la directivité (voir leurs définitions dans la section suivante) comme suit [4].

$$\eta = \frac{P(\theta, \varphi)}{P_a/4\pi} = \frac{\text{Gain}}{\text{Directivité}}$$

Avec :  $P_a$ : Puissance d'alimentation.

### I.4.4. Directivité de l'antenne

La directivité  $D(\theta, \phi)$  d'une antenne dans une direction  $(\theta, \phi)$  donnée est le rapport entre la puissance rayonnée par unité d'angle solide de cette antenne, et la puissance rayonnée par unité d'angle solide de l'antenne isotrope pour une même puissance totale. Avec cette définition, une antenne fortement directive admet une faible ouverture de rayonnement, et une antenne faiblement directive admet une large ouverture de rayonnement [13].

$$D(\theta, \phi) = \frac{P(\theta, \phi)}{\frac{P_R}{4\pi}} = 4\pi \frac{P(\theta, \phi)}{P_R}$$

Avec

$P(\theta, \phi)$ : puissance rayonnée par unité d'angle solide d'une antenne (Watt/stéradian) [15].

$P_R$ : est la puissance totale.

#### I.4.5. Gain de l'antenne

Le gain d'une antenne dans une direction est le rapport entre la puissance rayonnée par l'antenne dans cette direction et la puissance que rayonnerait l'antenne isotrope par unité d'angle solide avec la même puissance d'alimentation, il est exprimé en dB et présenté par l'équation suivante [12] :

$$G(\theta, \phi) = 4\pi \frac{P(\theta, \phi)}{P_a}$$

Avec :

- $P_a$ : puissance d'alimentation de l'antenne.

Le gain et la directivité sont liés par l'équation suivante :

$$G(\theta, \phi) = \eta * D(\theta, \phi)$$

#### I.4.6. L'impédance d'entrée

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

$$Z_e = \frac{Z_0(1 + S_{11})}{(-S_{11})}$$

Ou

- $Z_0$  est l'impédance caractéristique de la ligne d'alimentation.
- $S_{11}$  est le coefficient de réflexion.

#### I.4.7. Coefficient de Réflexion

Le coefficient de réflexion d'une antenne se définit comme étant le rapport des amplitudes des ondes réfléchies sur les ondes incidentes. Pour une antenne d'impédance  $Z$  reliée à la source par une ligne d'impédance caractéristique  $Z_0$ , le coefficient de réflexion peut être défini comme suit :

$$S_{11} = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0}$$

$Z_0$ : L'impédance caractéristique.

$Z$ : L'impédance d'antenne ( $\Omega$ ).

Le module du coefficient de réflexion est souvent exprimé en décibel (dB) et est noté  $S_{11}$  et se définit comme suit :

$$|S_{11}|_{dB} = 20 \log |S_{11}|$$

Le coefficient de réflexion permet de connaître la qualité d'adaptation d'une antenne. En effet, plus son module tend vers l'infini, plus l'antenne est adaptée. Souvent, la fréquence de résonance d'une antenne est celle où le coefficient de réflexion est minimal. Une mesure peut être faite avec un analyseur de réseau [17].

#### I.4.8. La bande passante

La largeur de bande ou bande passante en adaptation d'une antenne peut être définie comme une bande de fréquences pour laquelle le coefficient de réflexion est inférieur à un seuil donné. Elle est souvent considérée comme une gamme de fréquences positionnée de part et d'autre de la fréquence centrale  $f_c$  (Voir Equation (II.8)). Elle peut aussi être définie comme correspondant à la bande de fréquences où le transfert d'énergie de l'alimentation vers l'antenne (ou de l'antenne vers le récepteur) est supérieur à un seuil donné. On parle alors de bande passante absolue.

$$BP = \Delta f = F_2 - F_1$$

$BP$ : La bande passante.

$F_1$  : La fréquence minimale de la bande passante.

$F_2$  : La fréquence maximale de la bande passante.

On déduit souvent la bande passante d'une antenne à partir de la courbe de son coefficient de réflexion. Certains critères typiques sont pris comme un coefficient de réflexion inférieur à -6 dB ou à -10 dB. Souvent, on l'exprime en termes de bande passante relative par rapport à la fréquence centrale.

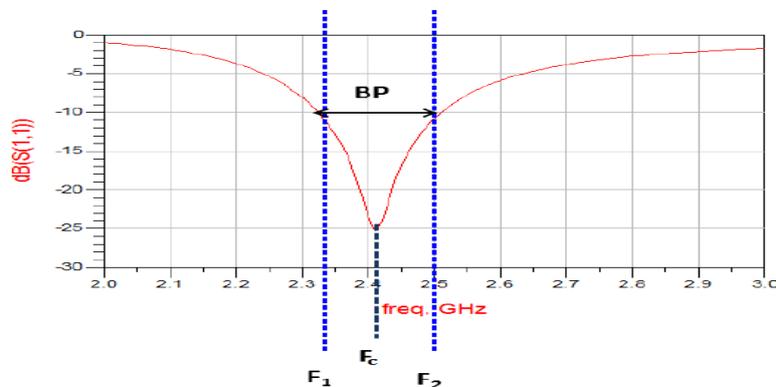
$$BP_R = \frac{BP}{f_c}$$

Avec  $f_c = \frac{F_1 + F_2}{2}$

$f_c$  : Fréquence centrale.

$BP_r$  : La largeur relative de bande passante.

La Figure (I.12) nous montre un exemple d'un coefficient de réflexion  $S_{11}$  en fonction de la fréquence et met en évidence la bande passante à  $-10$  dB.



**Figure I.12 : Exemple de la variation du module du coefficient de réflexion  $S_{11}$  (dB) en fonction de la fréquence et de la bande passante à  $-10$  dB [17-18].**

#### I.4.9. Taux d'onde stationnaire VSWR

VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) est le taux d'onde stationnaire noté *TOS* ou *ROS*, il correspond au rapport entre la tension maximale et la tension minimale, c'est une mesure de plus, qui nous en dit davantage sur la qualité d'adaptation de l'antenne. il varie entre 1 à  $+\infty$ , plus en plus on s'éloigne de l'antenne on perd son adaptation, il est défini par :

$$ROS = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{1 + |S_{11}|}{1 - |S_{11}|}$$

#### I.4.10. Polarisation

La polarisation est définie comme étant l'orientation du champ électrique d'une onde électromagnétique lors de son déplacement [7]. Lorsque la direction du champ

électrique reste constante dans le temps, on parle de polarisation rectiligne. Sinon, l'on pourra représenter plusieurs positions successives de l'extrémité du vecteur représentatif qui peut décrire un cercle ou une ellipse. Dans ce cas, le champ rayonné sera donc à polarisation circulaire ou elliptique (voir la Figure I.13) [19].

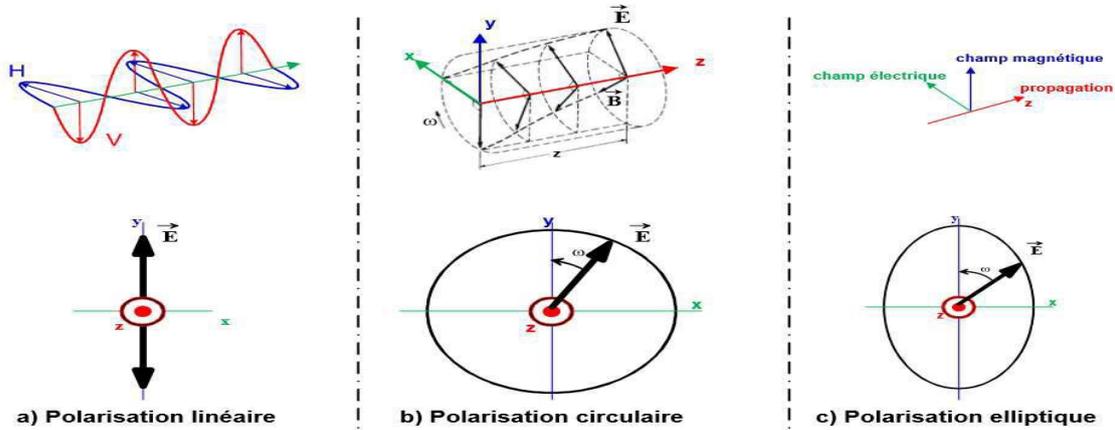


Figure I.13 : Polarisation du champ électromagnétique [20].

#### I.4.10.1. Polarisation circulaire

La polarisation circulaire peut être obtenue si deux modes orthogonaux sont excités avec un déphasage de  $90^\circ$  entre eux.

La polarisation est dite circulaire si l'extrémité du vecteur champ électrique en un point de l'espace décrit un cercle lorsque les ondes se propagent. L'onde électromagnétique peut alors être considérée comme la somme de deux ondes planes à polarisation rectiligne donc les champs électriques sont d'égales amplitudes, perpendiculaires l'un à l'autre et déphasés de  $\pm\pi/2$  (quadrature de phase). Par convention, la polarisation circulaire est dite "droite" si, pour l'observateur qui regarde l'onde qui s'éloigne, le vecteur de polarisation tourne dans le sens trigonométrique. Elle est dite "gauche" dans le cas contraire.

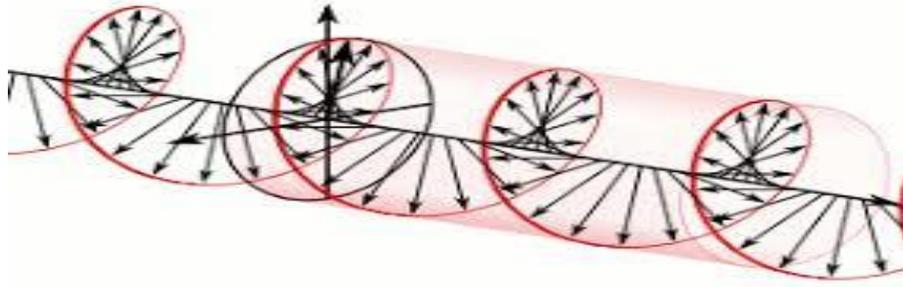


Figure I.14 : Polarisation circulaire.

Il existe deux principes fondamentaux pour obtenir une polarisation circulaire : excitation de l'élément rayonnant en 2 points ou en 1 point. La bande passante en polarisation circulaire obtenue avec l'excitation en 2 points est plus importante que celle obtenue avec l'excitation en 1 point.

### I.5. Domaine d'application des antennes

Les antennes sont utilisées sur une large gamme de fréquence pour un grand nombre d'applications différentes comme le montre la figure I.15.

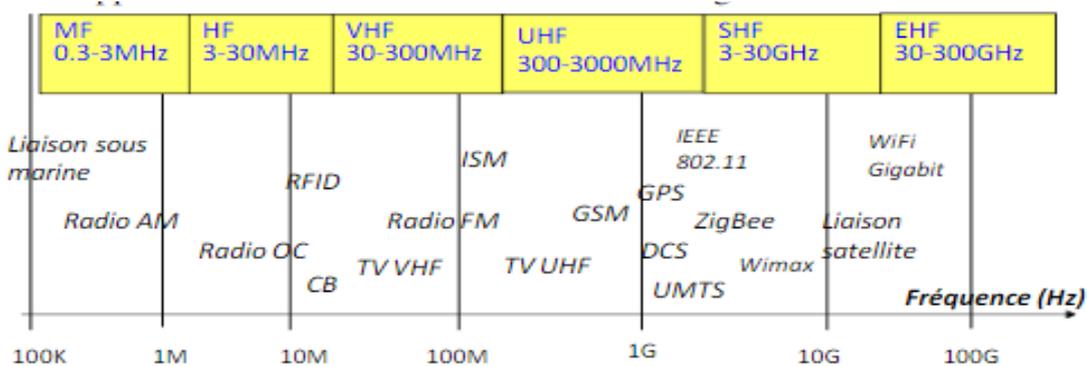


Figure I.15 : Occupation du spectre radiofréquence

**Conclusion**

La maîtrise de la théorie des antennes est plus que nécessaire, elle permet de comprendre leur comportement à des différentes gammes de fréquence. Pour chaque application, il faut choisir des caractéristiques bien conformes au standard spécifié.

Dans ce chapitre, nous avons commencé par une définition d'une antenne, ensuite nous avons souligné le rôle que prennent les antennes dans les applications des télécommunications. Pour réussir à les concevoir, un bagage théorique les concernant est indispensable, il était donc primordial de connaître et de rappeler leurs principales caractéristiques comme l'impédance, le gain, la directivité, la polarisation, etc. Un classement selon leurs différents types a été également dressé.

Le chapitre suivant sera consacré à une catégorie spécifique d'antennes planaires, qui est l'antenne à fente.

## *Chapitre II*

# *La théorie des antennes à fente*

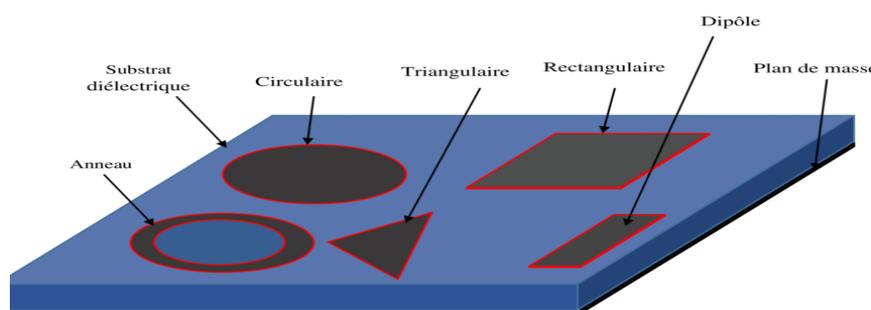
## Introduction

La technologie planaire occupe une place privilégiée dans la conception des circuits microondes compte tenu de sa simplicité, de sa facilité de fabrication et d'intégration dans les dispositifs hyperfréquences.

Dans ce chapitre, nous présentons des généralités sur les antennes planaires et leurs principales caractéristiques, en mettant l'accent sur les antennes à fente auxquelles notre travail est basé. Notre choix est porté sur l'antenne planaire à fente large bande alimentée par une ligne coplanaire. On commence par une petite description de celle-ci, suivie par un état de l'art, ensuite nous expliquons le principe de l'antenne à fente après avoir compris le rayonnement des guides d'ondes. Nous exposons la technique d'alimentation que nous avons utilisée pour élargir la bande passante, Enfin, nous terminons ce chapitre par citer les avantages et inconvénients d'antennes à fente et leurs applications.

### II.1. Les antennes planaires

Une antenne planaire ou imprimée est constituée généralement d'un plan de masse, d'une ou plusieurs couches de substrats diélectriques et d'un ou plusieurs motifs conducteurs rayonnants, de formes quelconques. Ces éléments rayonnants présentent différentes formes : carrées, rectangulaires, triangulaires, circulaires, elliptiques ou d'autres formes plus complexes. Généralement, elles n'utilisent qu'une seule couche de substrat, et sont très répandues dans le domaine des micro-ondes et des ondes millimétriques [20].



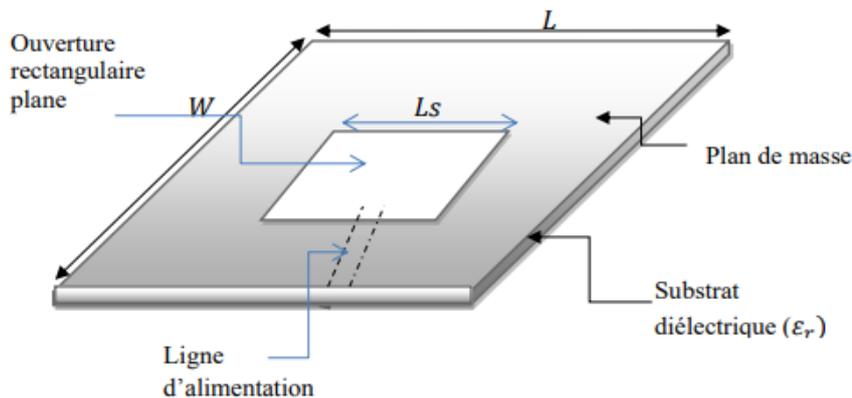
**Figure II.1 : antennes imprimées à plusieurs éléments rayonnants**

Les antennes imprimées sont caractérisées par une faible masse, un encombrement réduit et une facilité de réalisation, leurs capacités à être en harmonie avec le système. Ces avantages les rendent particulièrement intéressantes pour les systèmes de télécommunication, de mobiles terrestres, de télédétection et de télémétrie (Radar embarqué, avion, fusées, bateaux, véhicules...). Cependant, ces antennes présentent

quelques inconvénients : la modélisation théorique est particulièrement difficile, et leurs faibles gains causés par le rayonnement arrière, leur largeur de bande est souvent limitée [21]. Cette limitation a retardé pendant longtemps l'application de ce type d'antennes dans plusieurs domaines récents surtout dans les systèmes de communication sans fil. Pour remédier à ce problème et répondre à ces contraintes, plusieurs concepteurs ont proposé d'utiliser un réflecteur avec l'antenne planaire à fente qui présente le meilleur candidat pour élargir la bande passante.

## II.2. Description d'une antenne à fente

Une antenne à fente est un élément rayonnant se composant d'une surface métallique, généralement une plaque plate. Elle est formée en un assemblage de guides d'onde rectangulaire sur les quelles sont taillées des fentes régulièrement espacées [2]. Les fentes sont situées sur les côtés longs ou courts et rayonnent l'énergie portée par le ou les guides. L'alimentation est placée au milieu de la fente qui rayonne de façon semblable à une antenne dipôle, les plus communément utilisées sont l'alimentation par guide d'ondes, guide d'ondes coplanaire (CPW), coaxial, ligne à fente ou micro ruban et a été utilisé dans tous les aspects des applications sans fil et radar à micro ondes [22]. La forme et la taille de la fente déterminent les caractéristiques de rayonnement illustré à la Figure II.2.

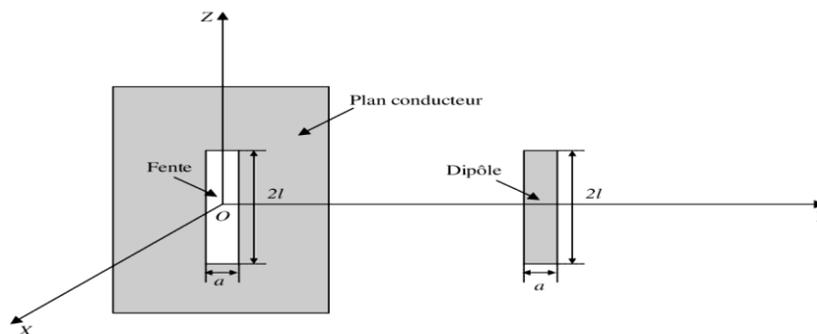


**Figure II.2 : Caractéristiques d'une antenne à fente**

On peut considérer que l'antenne à ouverture est physiquement complémentaire de l'antenne dipôle avec un ruban constitué d'une bande métallique de même forme et dimension correspondant à l'ouverture. On montre qu'à condition d'inverser les champs  $E$  et  $H$ , la fente demi-onde ressemble à un dipôle demi-onde selon leur rayonnement et le gain, et leurs polarisations respectives étant perpendiculaires. Il convient de noter ici que le

diagramme de rayonnement de la fente et du dipôle sont similaires l'un à l'autre, ainsi que leurs structures découpées dans la feuille conductrice sont complémentaires l'une de l'autre. Cependant, le champ électrique sera polarisé verticalement pour la fente tandis qu'il sera polarisé horizontalement pour le dipôle.

Cela montre essentiellement la relativité du champ rayonné et de l'impédance de la fente au champ rayonné du dipôle. La figure ci-dessous représente la fente et l'antenne



dipôle complémentaire.

**Figure II.3 : Antenne à fente et dipôle complémentaire.**

### II.3. Etat de l'art de l'antenne à fente

Les antennes à fentes ont été inventées en 1938 par Alan Blumlein, et utilisées pour la première fois dans la diffusion de télévision VHF, pour une polarisation horizontale et un diagramme de rayonnement omnidirectionnel. Depuis cette époque, les concepteurs ont utilisé ce type d'antennes dans plusieurs applications Radar et satellitaires. Il existe plusieurs formes d'antennes à fente présentées dans la figure II.5. L'alimentation de ce type d'antennes est assurée par couplage électromagnétique, en utilisant une ligne coplanaire CPW (Coplanar Wave-guide) ou une ligne micro ruban [23]. Ce type de ligne d'alimentation a l'avantage de présenter une transition simple et aisée, une fabrication facile et un faible poids.

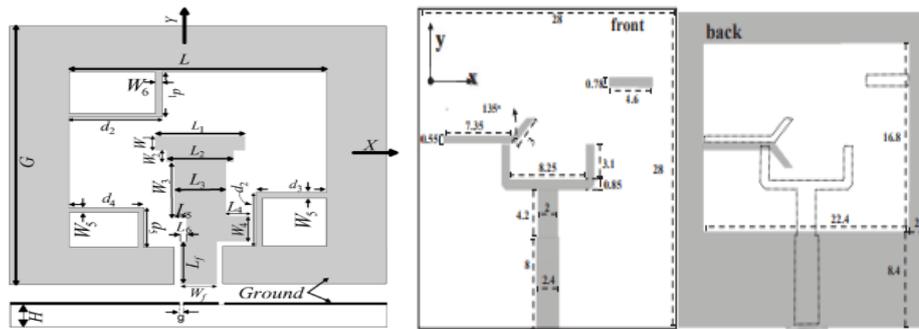
Récemment, de nombreuses études sur les antennes à fente imprimée alimentées par CPW, ont été présentées dans la littérature, en particulier, dans le but de miniaturiser la taille de l'antenne, d'améliorer la bande passante de fonctionnement. De plus, une large bande passante peut être obtenue en utilisant des ouvertures rayonnantes de formes

régulières. Dans cette référence la forme d'alimentation de guide d'ondes coplanaire est rectangulaire. En outre, les dimensions de l'ouverture et la topologie du point d'alimentation affectent énormément l'impédance d'entrée [24].

Dans cette orientation, une étude menée dans la référence [25], une antenne carrée alimentée par un CPW à large bande avec trois bandes mise à la terre en forme de L inversé, a montré que la bande passante augmente avec l'augmentation de la largeur de la fente hexagonale. Par conséquent, l'antenne conçue a un ARBW simulé de 3 dB supérieur à 80 %, par rapport à la fréquence centrale. Le fonctionnement en polarisation circulaire de l'antenne proposée est principalement lié aux trois bandes en L inversé mises à la terre dans les coins opposés et miroir insérés autour des coins de la fente carrée.

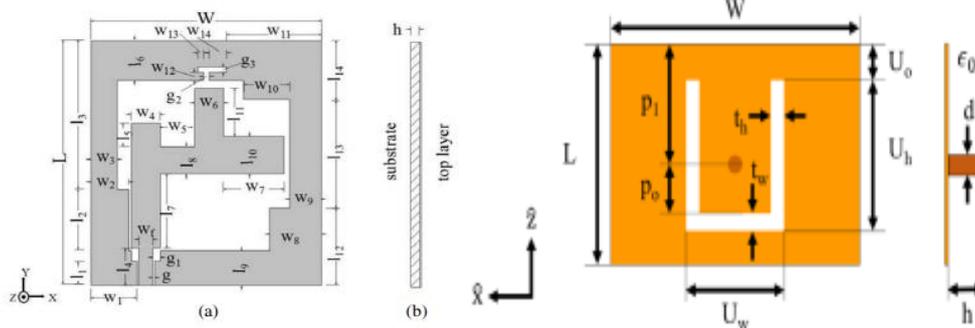
Par exemple la structure proposée dans [26] est une antenne carrée à fente large bande à polarisation circulaire alimenté par une ligne micro ruban en forme de U, qui fournit une large bande passante d'impédance supérieures à 41% et 84% respectivement, et a des diagrammes de gain et de rayonnement stables sur toute la bande de fréquence CP. L'antenne est également très compacte et discrète et est un candidat prometteur pour une grande variété d'applications sans fil. La polarisation est obtenue en introduisant une bande en Y antipodale.

De même, dans la référence [27] qui présente une antenne à fente bi-bande asymétrique en forme de F patch d'extrémité, alimentée par un guide d'ondes coplanaire (CPW), avec une polarisation circulaire (CP) sont introduits dans une antenne à fente rectangulaire conventionnelle. De plus, en coupant un T en forme Encoche sur le plan de masse, la largeur de bande du rapport axial (AR) (ARBW) peut être étendue. L'antenne montre le rayonnement CP gauche (LHCP) dans la direction de l'axe de visée (c'est-à-dire la direction + Z) aux deux ARBW. Dans la dernière référence [28], l'auteur a proposé une antenne patch à fente en forme de U, il utilise l'analyse en mode caractéristique (CMA) et la théorie des modes couplés (CMT).



(a)

(b)



(c)

(d)

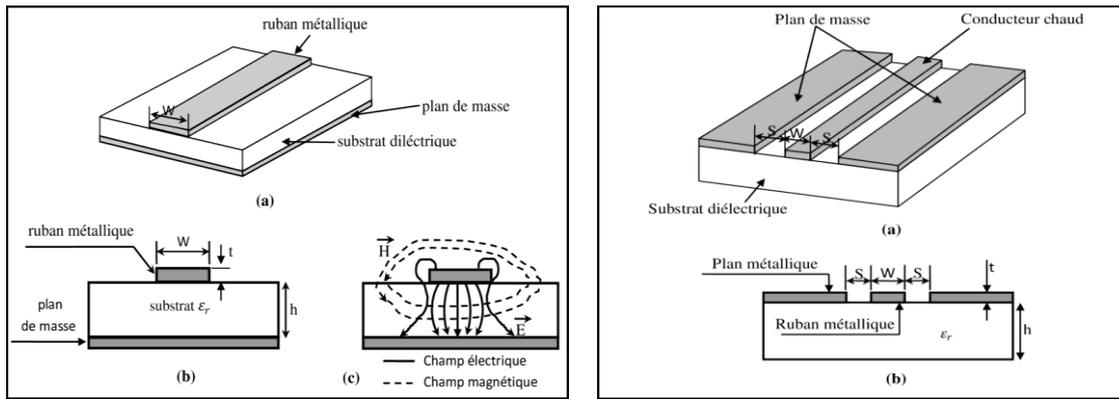
Figure II.4 : Quelques exemples d'antennes à fente *a* [25], *b* [26], *c* [27], *d* [28].

## II.4. Théorie sur le guide d'onde à fentes

Cette section portera sur le comportement d'un groupe de fentes, c'est-à-dire un guide à fentes. Nous allons voir, entre autres, les considérations d'interaction mutuelle qui sont propres aux groupes d'antennes.

### II.4.1. Guide d'ondes

Le guide d'onde est une ligne de transmission de forme particulière, il s'agit d'un tube métallique fabriqué à partir d'un conducteur supposé parfait (cuivre, laiton...), vide ou rempli d'un diélectrique, il sert à guider l'onde électromagnétique de manière confinée dans le milieu diélectrique du tube par réflexion sur ses parois internes. Comme Il existe un très grand nombre de guides d'ondes, les uns métalliques les autres diélectriques et coplanaires. Ce sont dans tous les cas des structures qui restent invariantes quand on effectue une translation selon un axe qui constitue la direction de propagation de la puissance active [29]. L'un des exemples est illustré dans la figure II.5.



(a)

(b)

Figure II.5 : Ligne micro ruban (a) et ligne coplanaire (b).

On prend comme exemple Les guides à fentes qui ont été abondamment exploités dans plusieurs applications. La quantité de puissance transmise peut même augmenter jusqu'à un ordre de grandeur avec une section surdimensionnée de guide rectangulaire ( $\approx 2\lambda_0$ ). De plus. Les guides à fentes se retrouvent sous diverses configurations dont les principales sont illustrées à la figure II.6 [30]. Ainsi, on peut réaliser des dispositifs de couplage avec une fente commune placée entre deux guides adjacents ou pour les applications de rayonnement.

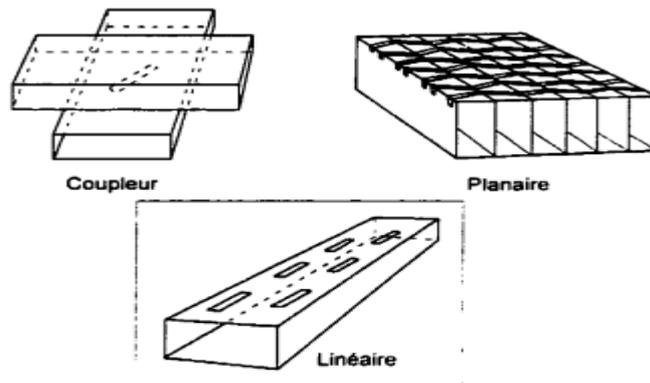


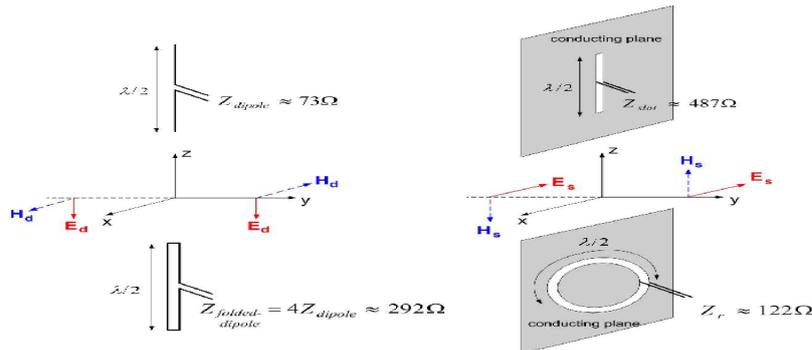
Figure II.6 : Différents types de guide à fente

#### II.4.2. Principe de fonctionnement d'antenne planaire à fente

Après avoir compris le guide d'onde à fente et son utilité, l'antenne à fente suit le principe de résonateur du Babinet, Jacques Babinet (1797 – 1872) était un physicien et mathématicien français qui a formulé le théorème qui dit que deux diagrammes de

diffractions sont produits par deux écrans complémentaires. C'est ce qu'on appelle le principe de Babinet [29].

Ce principe appliqué aux champs électromagnétiques et à l'impédance d'une ouverture ou d'une fente qui dépend de la position du point d'alimentation, démontre qu'elles agissent comme une antenne dipolaire à polarisation linéaire, dont les champs



électriques et magnétiques sont inversés par rapport à une antenne dipolaire ordinaire.

Figure II.7 : Principe de Babinet dans le champ électromagnétique.

## II.5. Techniques d'alimentation

L'alimentation est l'étape la plus importante dans la fabrication d'une antenne. Elle peut être soit centrée, soit arbitraire par rapport à la forme de l'élément. Il existe une grande variété de mécanismes d'alimentation, ces techniques peuvent être soit par contact direct soit par couplage, les plus communément utilisées sont l'alimentation par ligne micro ruban, par sonde coaxiale, par couplage de proximité ou par ouverture, permettant ainsi de fournir à l'antenne l'énergie nécessaire pour le rayonnement [31].

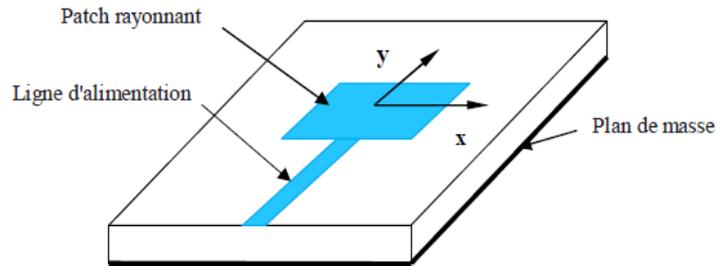
Dans ce qui suit, d'une part nous avons décrit tout d'abord la ligne micro ruban, mais d'autre part nous nous intéresserons plus particulièrement à la description du guide d'onde coplanaire dont nous avons alimenté l'élément rayonnant dans notre travail.

### II.5.1. Alimentation par ligne micro-ruban

Cette technique est sûrement la moins coûteuse et la plus aisée comme illustré dans la figure II.6. L'antenne est considérée comme une charge, identique à l'impédance mesurée sur le bord de l'élément. Elle est connectée à une ligne d'impédance

caractéristique fonction de sa largeur, de son hauteur et du matériau diélectrique qui la supporte.

Ce genre d'alimentation a l'avantage qu'elle peut être gravée sur le même substrat pour fournir une structure plane, cette technique est facile à réaliser, simple à modéliser



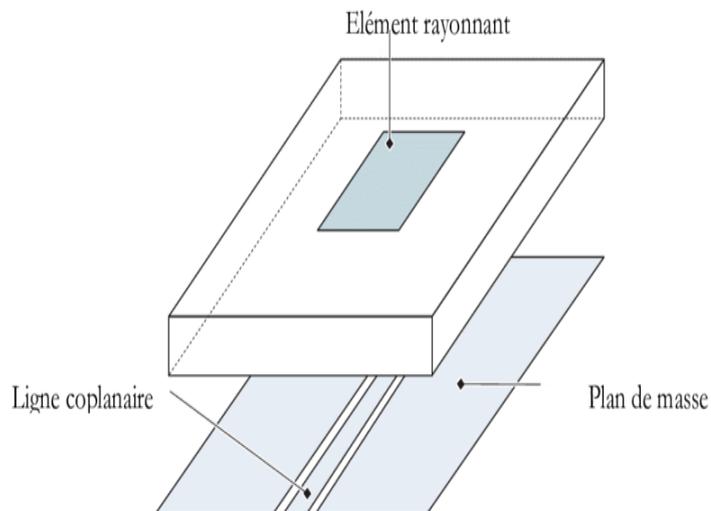
et facilite l'adaptation d'impédance. Comme il existe un inconvénient vu qu'elle génère un rayonnement parasite engendré par la ligne pouvant perturber le rayonnement propre de l'antenne [32].

**Figure II.8 : Alimentation par linge micro-ruban.**

### II.5.2. Guide d'ondes coplanaire

La structure de l'antenne patch alimentée par une ligne CPW est plus simple que celle alimentée par couplage via une ouverture. Cet exemple d'antenne est constitué seulement d'un seul substrat, l'élément rayonnant (patch) se trouve sur le côté supérieur et la ligne CPW se trouve sur le côté inférieur. Ceci permet d'avoir une intégration facile des dispositifs actifs avec les lignes d'alimentation.

Les avantages de cette structure sont : efficacité améliorée, bande passante élargie et meilleure isolation entre le circuit d'alimentation et l'élément de rayonnement, un faible couplage mutuel entre deux lignes de réglage, une seule petite couche métallique uniquement et une intégration facile avec des dispositifs actifs à semi-conducteurs [22].



**Figure II.9 : Alimentation par guide d'onde coplanaire.**

## II.6. Avantages et inconvénients d'antenne à fente

### A. Les avantages

- Simple et robuste.
- Faible courant.
- Fabriqué et dissimulé dans des objets métalliques.
- Adaptées aux surfaces planes et non planes.
- Fournir des communications secrètes compactes à faible pertes et bonne qualité graphique.

### B. Les inconvénients

- Bande relativement étroite
- Pertes de rayonnement par les ondes de surface
- Faible puissance et efficacité
- Faible radiation
- Niveau élevé de polarisation croisée

## **II.7. Applications**

Ce type d'antennes est réalisé pour une large gamme de fréquences capables de répondre aux exigences technologiques en raison de plusieurs avantages, elles couvrent ainsi un bon nombre d'applications, parmi les quelle son peut citer [7] :

- La commande et le contrôle,
- Les équipements mobiles,
- Le domaine médical,
- Les liaisons satellitaires et les applications civiles.
- Les applications WLAN /WIMAX, wifi, radio amateurisme.

## **Conclusion**

Les antennes ont des propriétés et des caractéristiques, selon lesquelles elles sont valorisées. Plusieurs techniques existent, pour assurer un bon fonctionnement il faut choisir celle la plus adaptée à l'application envisagée. Dans notre travail, le choix s'est porté sur la technologie des antennes planaires à fente.

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'évolution technologique des antennes planaires, on a donné une petite description sur les antennes à fente, puis nous avons décrit quelques techniques d'alimentations y compris la ligne coplanaire que nous allons utiliser dans notre travail. Après ce bref aperçu sur les bases des antennes planaires, le chapitre suivant sera consacré à la conception et la simulation de quelques antennes de ce type par le logiciel CST.

## *Chapitre III*

### *Conception d'antenne à fente -Structure 1-*

## Introduction

Ce chapitre est dédié à la conception de la première structure étudiée. Il s'agit d'une antenne à fente à polarisation circulaire large bande alimentée par une ligne coplanaire. Une étude paramétrique élaborée nous permet de comprendre et maîtriser son fonctionnement. En effet la visualisation des résultats montrant l'influence isolée de chacun des paramètres physiques (dimensions des lignes et des fentes) de l'antenne sur son comportement électrique et radiatif (coefficient de réflexion, bande passante, rapport axial, gain, etc.) nous aide à trouver les dimensions optimales. Une fois ces paramètres sélectionnés, l'antenne optimisée est de nouveau simulée. Les résultats de simulation sont présentés et discutés. Nous rappelons que les différentes simulations sont effectuées à l'aide du logiciel de conception électromagnétique CST Microwave Studio.

### III.1. Description du Logiciel de Simulation CST

CST Microwave Studio est un logiciel de simulation électromagnétique de structures passives en 3 dimensions basé sur la résolution des équations de Maxwell suivant la technique des équations intégrales finies. Cette méthode numérique offre une discrétisation de l'espace permettant la description directement en 3 dimensions de tous les composants des systèmes décrits, ce qui lui permet d'être appliqué à de nombreux problèmes électromagnétiques allant de la statique aux hyperfréquences en analyses temporelle et fréquentielle [34].

De plus, contrairement à la plupart des logiciels de simulation électromagnétique, CST discrétise la forme intégrale des équations de Maxwell plutôt que leurs formes différentielles, et ce qui est l'une des caractéristiques clé de ce simulateur.

CST Microwave Studio fait partie de CST DESIGN STUDIO suite, et offre un certain nombre de solveurs différents selon le type d'application et du problème rencontré [35].

### III.2. Géométrie de l'antenne

L'antenne à fente à large bande étudiée est celle représentée dans la figure (III.1). Elle a été gravée sur un substrat FR4 carré de 1.6 mm d'épaisseur avec une permittivité relative  $\epsilon_r = 4.4$  et une tangente de perte de  $\tan\delta = 0.02$ . La taille de l'antenne est :  $60 * 60 * 1.6mm^3$ . Elle est alimentée par un guide coplanaire CPW50 $\Omega$ . Deux petits carrés en cuivre de longueur L2, sont mis à la terre dans les coins opposés du plan de masse dans

lesquelles les fentes en forme de E sont intégrées pour obtenir un rayonnement à polarisation circulaire CP [36].

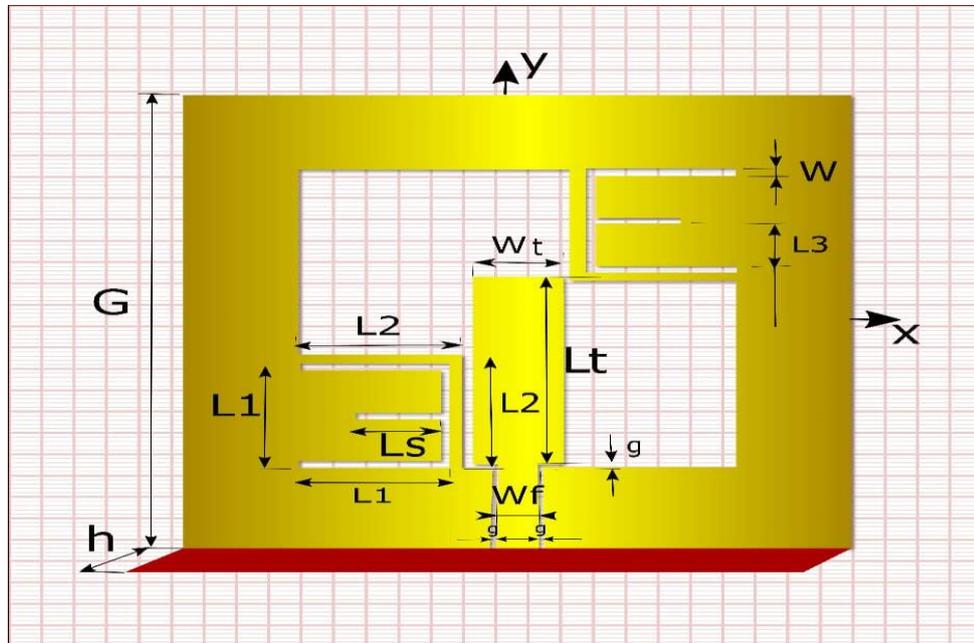


Figure III.1 : Modèle de l'antenne à fente à polarisation circulaire large bande conçue.

Les détails dimensionnels concernant la structure conçue sont résumés dans le tableau (III.1).

Tableau III.1 : Détails dimensionnels concernant l'antenne conçue.

Paramètre	Dimension (mm)	Paramètre	Dimension (mm)
G	60	Ls	7
Y	60	Lt	25
H	1.6	W	1
L1	14	Wt	6
L2	15	Wf	4
L3	5.5	G	0.5

### III.3. Etude paramétrique

Dans cette étude paramétrique, on va varier un seul paramètre tout en gardant les autres paramètres fixes. Cette procédure permet de faire une isolation de dépendance entre les paramètres physiques. On va observer par la suite, l'influence de la variation de ce paramètre sur les caractéristiques de l'antenne conçue à savoir : la fréquence de résonance, le coefficient de réflexion et le rapport axial.

#### III.3.1. Coefficient de réflexion S11

Dans cette section, nous allons nous intéresser au coefficient de réflexion qui sera tracé en fonction de la fréquence pour chacun des paramètres dimensionnels représentés dans la figure (III.2), ce dernier va nous donner une idée sur l'adaptation de l'antenne, sa fréquence de résonance et sa bande de fréquence de fonctionnement.

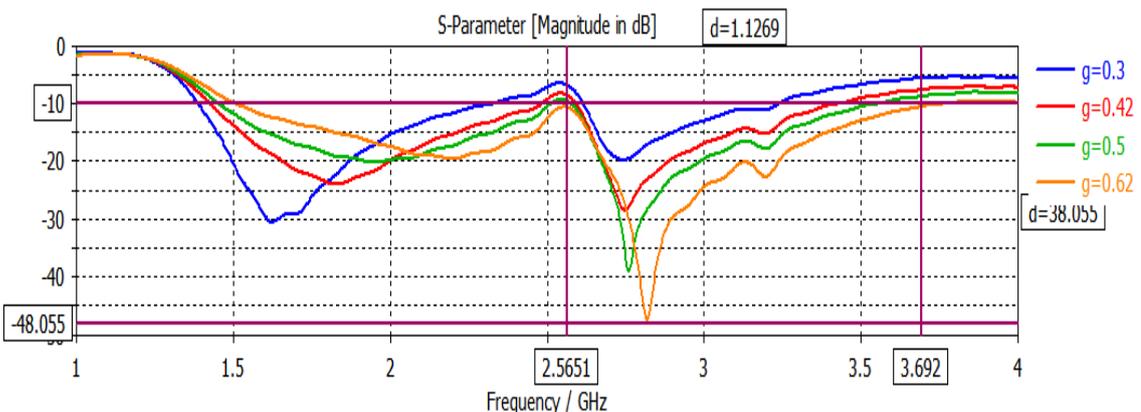
##### III.3.1.1. Variation de g

Sur la figure III.2, on représente les variations du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence pour différentes valeurs de g.

g(mm)	Magnitude de S11 en dB	Bande passante en GHz
0.3	-20	0.64
0.42	-28.88	0.94
0.5	-39.34	1.05
0.62	-48.05	1.13

Tableau III.2 : Influence du gap g sur la magnitude S11 et la Bande passante

Figure III.2 : Influence du gap g sur le coefficient de réflexion



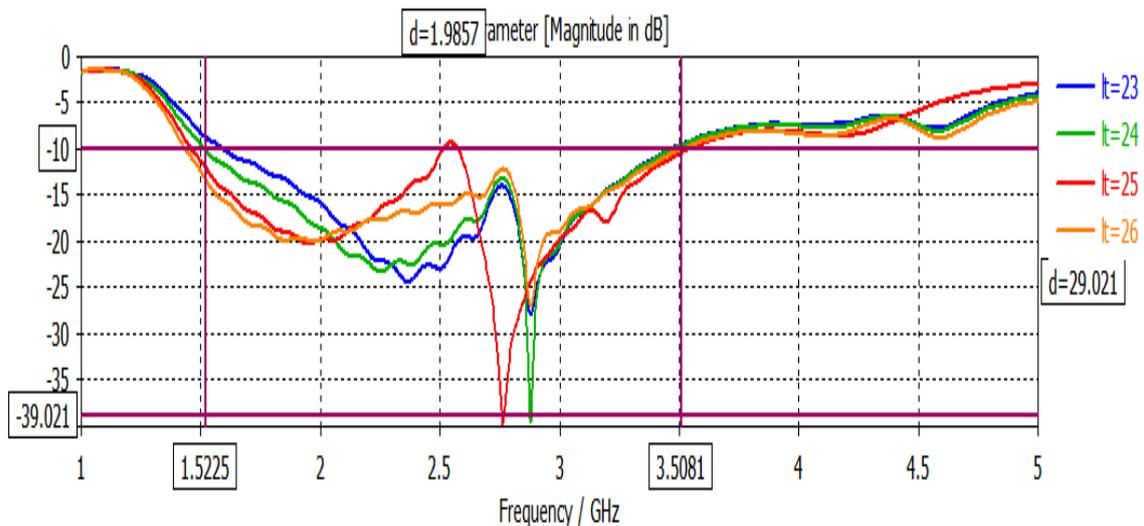
D'après les graphes représentés ci-dessus, on remarque deux bandes distinctes qui commencent à fusionner et à décaler vers les hautes valeurs au fur et à mesure que le paramètre  $g$  croît. La meilleure adaptation est obtenue à la fréquence de résonance 2.8 GHz avec un coefficient de réflexion de -48.0dB

### III.3.1.2. Variation de $Lt$

Dans cette étude, la longueur  $Lt$  sera variée de 23 mm jusqu'à 26 mm avec un pas de 1 mm.

**Tableau III.3 : Influence de  $Lt$  sur la magnitude S11 et la bande passante.**

$Lt$ (mm)	Magnitude de S11 en dB	Bande passante en GHz
23	-36.92	1.84
24	-39.02	1.98
25	-31.74	0.9
26	-26.86	2.07



**Figure III.3 : Influence de  $Lt$  sur le coefficient de réflexion.**

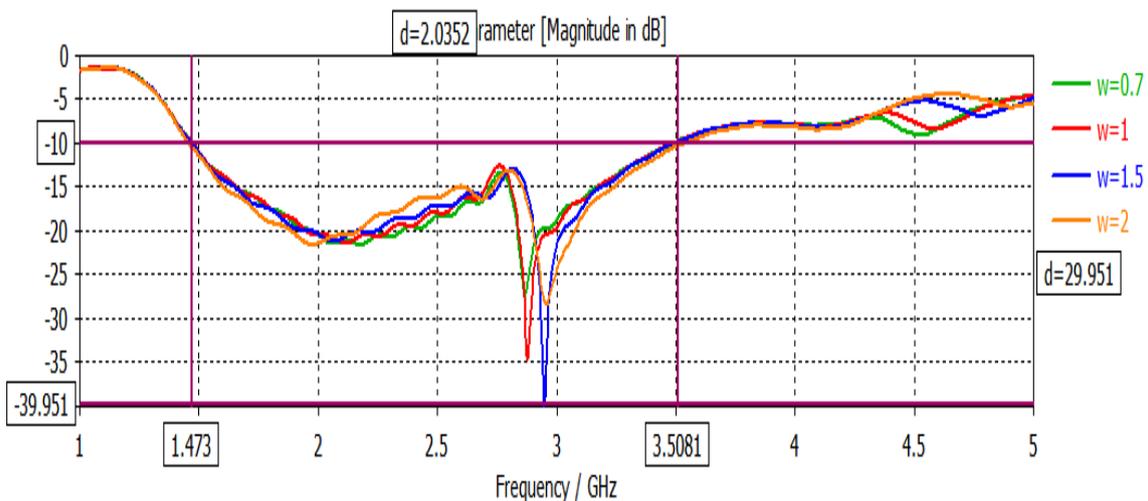
A partir de ces courbes, on remarque que lorsqu'on augmente la valeur de  $Lt$ , la fréquence de fonctionnement de l'antenne décale vers le bas, avec une bande passante qui augmente légèrement. Pour  $Lt=24$ , l'antenne est adaptée à la fréquence de résonance 2.81 GHz avec un coefficient de réflexion de -39.021dB.

### III.3.1.3. Variation de $W$

Dans ce cas, on va varier la largeur  $W$  de 0.7 mm jusqu'à 2 mm avec un pas de 0.5mm.

**Tableau III.4 : Influence de la largeur  $W$  sur la magnitude  $S_{11}$  et la bande passante.**

$W$ (mm)	Magnitude de $S_{11}$ en dB	Bande passante en GHz
0.7	-19.95	2.03
1	-19.96	2.04
1.5	-39.95	2.05
2	-32.98	2.06



**Figure III.4 : Influence de  $W$  sur le coefficient de réflexion.**

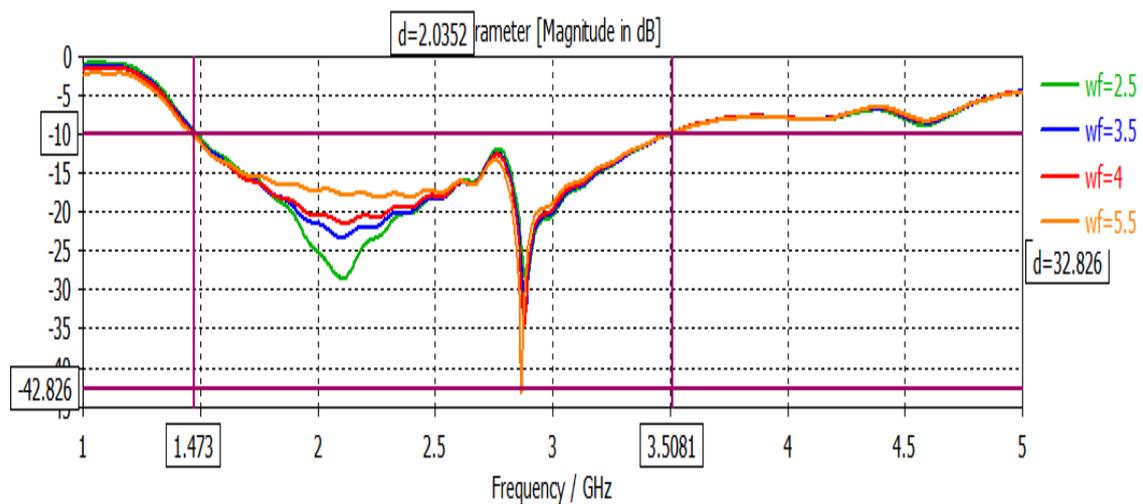
Les valeurs choisies pour le paramètre  $W$  varient de 0,7 à 2mm. On remarque clairement que la croissance de  $W$  implique un léger décalage de la fréquence vers le haut. Néanmoins, le comportement de l'antenne n'est pas affecté pour ces valeurs.

### III.3.1.4. Variation de $Wf$

Le paramètre  $Wf$  quant à lui, n'a pas un effet remarquable sur la fréquence de fonctionnement ni sur la bande passante, par contre son augmentation réduit légèrement la profondeur du paramètre  $S_{11}$  comme le montre la figure (III.5).

Wf (mm)	Magnitude de S11 en dB	Bande passante en GHz
2.5	-28.79	2.03
3.5	-30.54	2.04
4	-33.93	2.05
5.5	-42.82	2.06

**Tableau III.5 : Influence de la longueur  $W_f$  sur la magnitude S11 et la bande passante**



**Figure III.5 : Influence de  $W_f$  sur le coefficient de réflexion.**

### III.3.1.5. Variation de $W_t$

Nous avons modifié la largeur  $W_t$  de l'antenne, on représente les variations du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence pour différentes valeurs de la largeur  $W_t$ .

$Wt$ (mm)	Magnitude de S11 en dB	Bande passante en GHz
6	-15.56	1.73
7	-16.36	1.87
8	-19.78	1.96
9	-31.79	2.02

Tableau III.6 : Influence de  $Wt$  sur la magnitude S11 et la bande passante

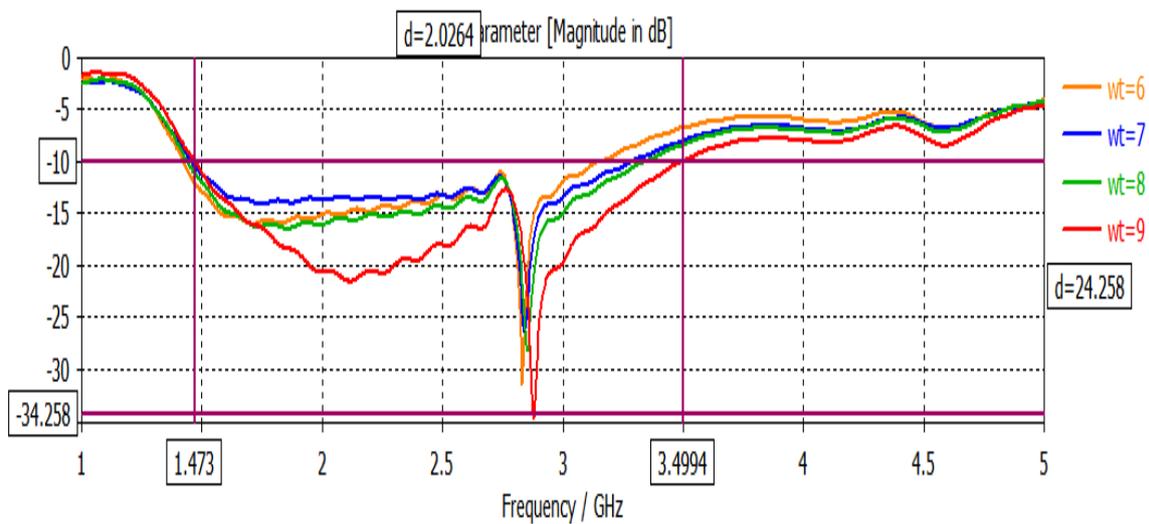


Figure III.6 : Influence de  $Wt$  sur le coefficient de réflexion

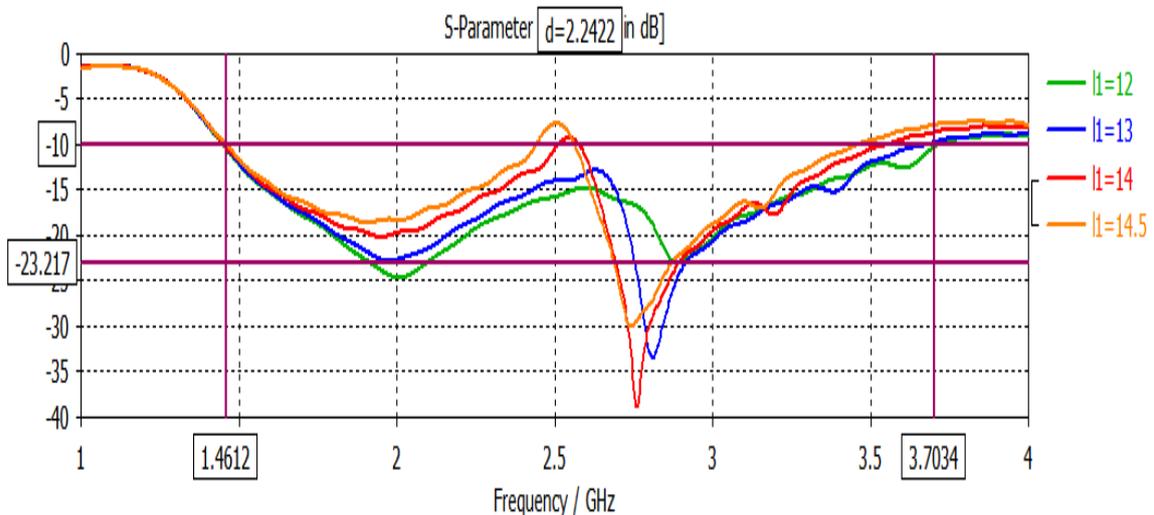
Le résultat obtenu représenté par la figure III.6 est assez intéressant et montre un effet remarquable de la longueur  $Wt$  sur la fréquence de résonance et la bande passante. Nous constatons qu'une augmentation de la largeur  $Wt$  de l'antenne entraîne une croissance de la fréquence de résonance et de la bande passante.

### III.3.1.6. Variation de $L1$

Nous avons varié la longueur  $L1$  de 12 à 14.5 mm. Sur la figure III.7, on représente les variations du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence pour ces différentes valeurs.

Tableau III.7 : Influence de la longueur  $L1$  sur la magnitude  $S_{11}$  et la bande passante

$L1$ (mm)	Magnitude de $S_{11}$ en dB	Bande passante en GHz
12	-23.21	2.24
13	-33.67	2.23
14	-39.48	1.2
14.5	-30.18	1.1

Figure III.7 : Influence de  $L1$  sur le coefficient de réflexion.

On remarque sur la figure III.7 qu'à l'inverse des effets des paramètres précédents, une diminution de la valeur de  $L1$  entraîne une augmentation de la largeur de bande, en fusionnant deux bandes dont les fréquences de résonance décalent vers le haut avec des pics du coefficient de réflexion plus profonds.

### III.3.1.7. Variation de $L2$

Dans cette section, en faisant varier le paramètre  $L2$  de 14 mm jusqu'à 16 mm avec un pas de 1 mm, on remarque d'après les résultats donnés dans la figure III.8 que l'augmentation de cette longueur entraîne un décalage de la fréquence de fonctionnement vers le haut avec création d'une bande plus large.

Tableau III.8 : Influence de la longueur  $L2$  sur la magnitude S11 et la bande passante

$L2$ (mm)	Magnitude de S11 en dB	Bande passante en GHz
14	-35	1.5
15	-40	0.96
16	-29.84	2.88

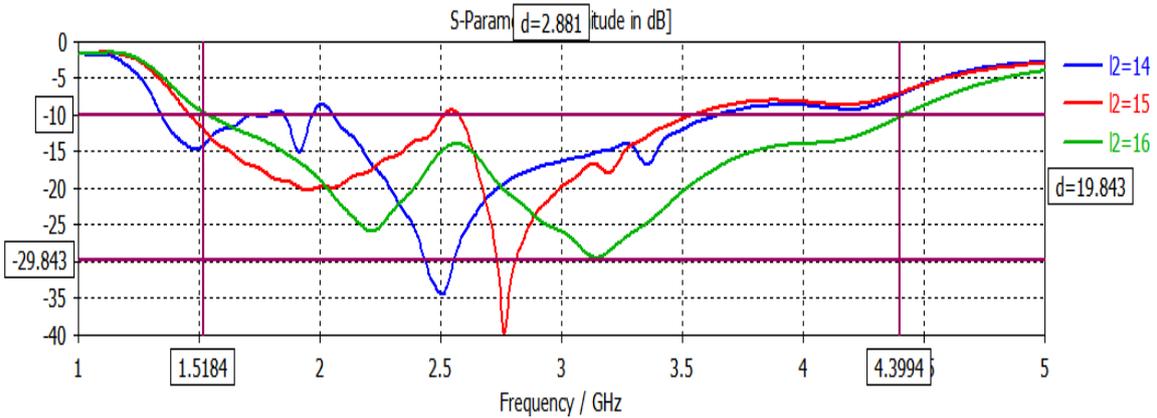


Figure III.8 : Influence de  $L2$  sur le coefficient de réflexion.

III.3.1.8. Variation de  $L3$

Le paramètre  $L3$  qui n'est autre qu'une partie de  $L1$  a le même effet que ce dernier comme le montre la figure III.9. L'augmentation de cette longueur fait décaler les fréquences de résonances vers le bas.

Tableau III.9 : Influence de la largeur  $L3$  sur la magnitude S11 et la Bande Passante

$L3$ (mm)	Magnitude de S11 en dB	Bande passante en GHz
4	-35.33	2.02
4.5	-41.25	2.025
5.5	-40	2.03
6	-40	1.6

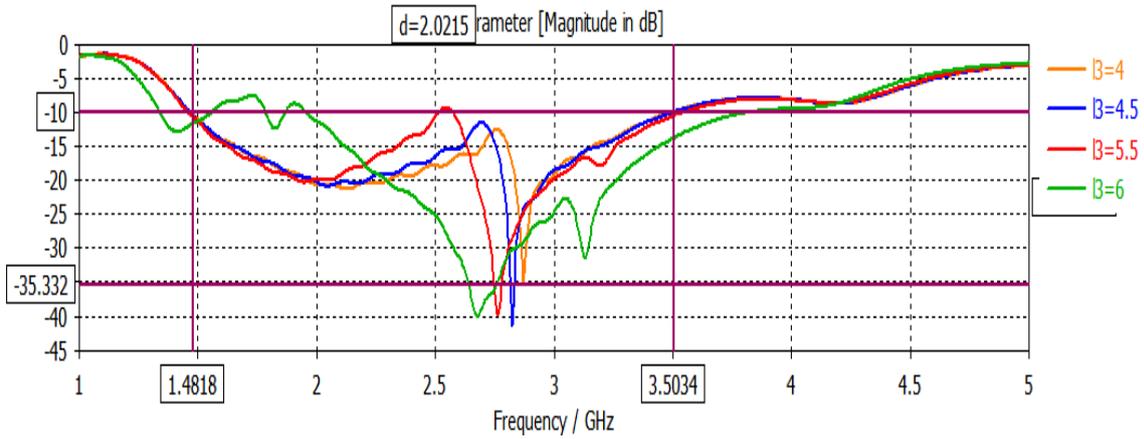


Figure III.9 : Influence de  $L_3$  sur le coefficient de réflexion.

III.3.1.9. Variation de  $L_s$

La variation du paramètre  $L_s$  n'a aucun effet sur le coefficient de réflexion de l'antenne comme le montre la figure III.10. Son rôle est de contrôler la polarisation circulaire.

Tableau III.10 : Influence de la longueur  $L_s$  sur la magnitude  $S_{11}$  et la bande passante

$L_s$ (mm)	Magnitude de $S_{11}$ en dB	Bande passante en GHz
0	-34.56	2.02
7	-34.56	2.02
8	-34.56	2.02

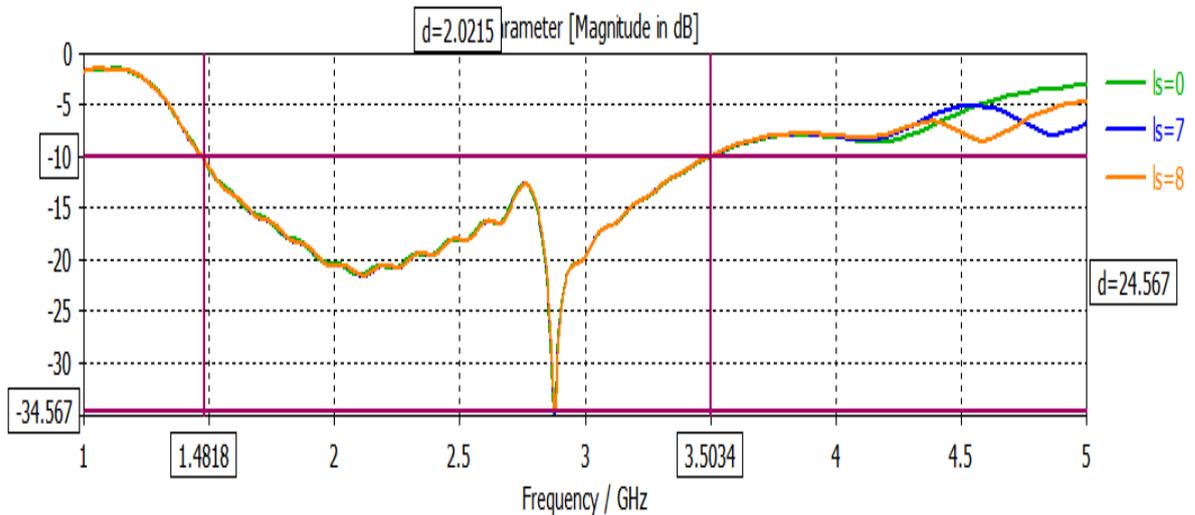


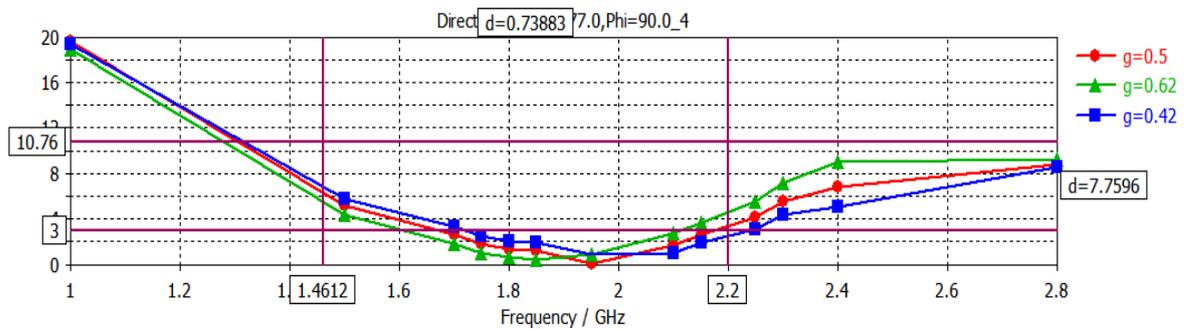
Figure III.10 : Influence de  $L_s$  sur le coefficient de réflexion

### III.3.2. Rapport axial

Le rapport axial est une grandeur qui nous permet de déterminer si l'on a une polarisation circulaire ou pas, cette dernière est obtenue pour une valeur de  $AR < 3$ . Par conséquent une étude paramétrique en fonction de la fréquence, similaire à celle du coefficient de réflexion a été menée. Cette fois-ci, bien que tous les paramètres dimensionnels ont été simulés, seuls les paramètres qui affectent la polarisation circulaire vont être montrés à savoir :  $g$ ,  $W$ ,  $L1$ ,  $L2$ ,  $L3$  et  $Ls$ .

#### III.3.2.1. Effet du gap $g$

Sur la figure III.11, on représente l'effet du gap  $g$  sur les variations du rapport axial en fonction de la fréquence.



**Figure III.11 : Influence de  $g$  sur le rapport axial.**

Une polarisation circulaire apparaît sur une bande assez large. Cette dernière décale vers des fréquences plus grandes avec la diminution du paramètre  $g$ . Pour un gap de 0.42 mm par exemple, on aura une polarisation circulaire dans la bande [1.6-2.2] GHz à savoir sur une bande de 0.6 GHz. En dehors de cette zone, la polarisation circulaire est perdue malgré la caractéristique large bande de l'antenne qui est de l'ordre de 2 GHz.

#### III.3.2.2. Effet de la largeur $W$

Sur la figure III.12, on représente l'effet du paramètre  $W$  sur les variations du rapport axial en fonction de la fréquence

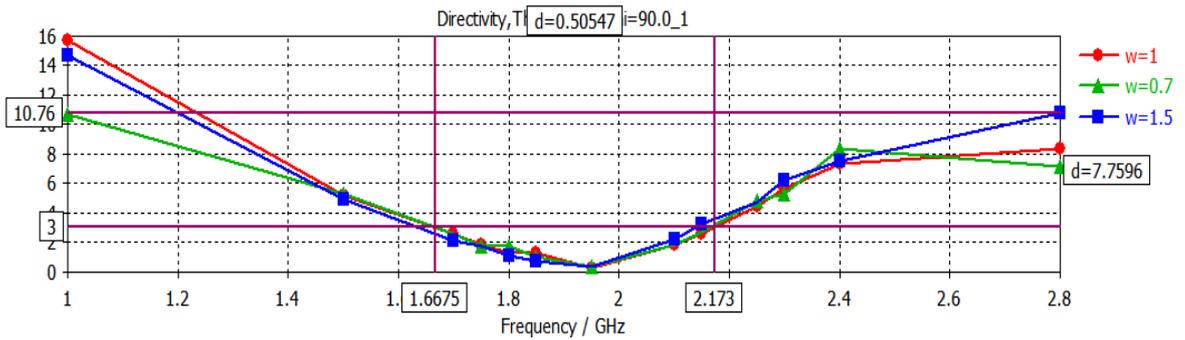


Figure III.12 : Influence de  $W$  sur le rapport axial

Une polarisation circulaire est constatée sur une bande de 0.51 GHz, s'étalant de 1.6675 GHz à 2.17 GHz pour des valeurs faibles de  $W$ . Dès que ce paramètre augmente, la bande de polarisation circulaire se réduit jusqu'à disparition totale.

III.3.2.3. Effet du paramètre  $Ll$

Comme le montre la figure III.13, Le paramètre  $Ll$  joue un rôle dans la polarisation circulaire. Avec l'augmentation de cette grandeur, la fréquence de fonctionnement en CP est décalée vers le bas et la bande correspondante est réduite jusqu'à disparition. La même remarque est constatée pour le paramètre  $Ll$ .

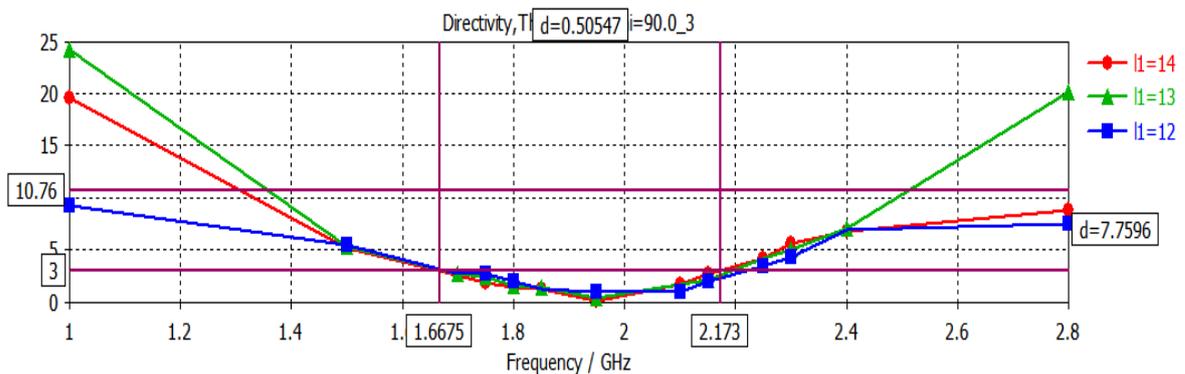
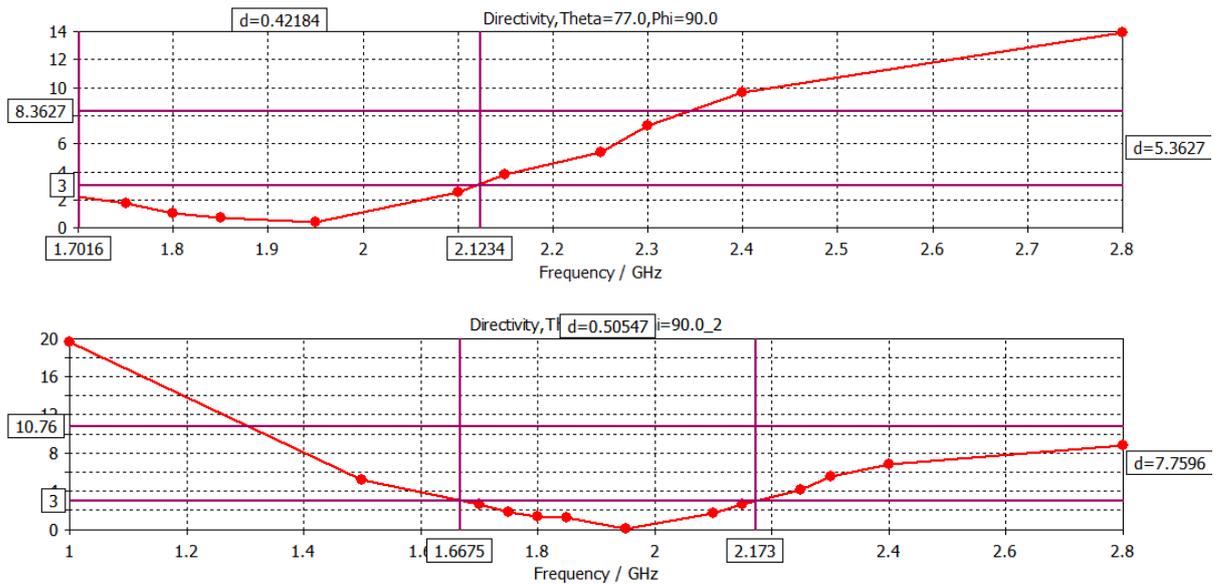


Figure III.13 : Influence de  $Ll$  sur le rapport axial

III.3.2.4. Effet du paramètre  $Ls$

Nous avons varié la largeur  $Ls$  de 0 jusqu'à 14. Sur la figure, on représente les variations du rapport axial en fonction de la fréquence pour deux différentes valeurs de la largeur  $Ls$



**Figure III.14 : Influence de  $L_s$  sur le rapport axial.**

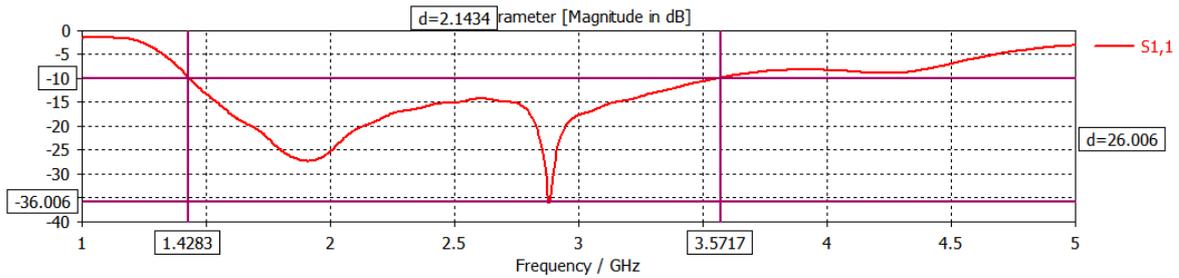
D'après les courbes représentées de la figure III.14, on remarque que l'augmentation et la diminution de la valeur  $L_s$ , la polarisation circulaire ne change pas elle reste stable dans la bande 1.66GHz jusqu'à 2.17GHz.

### III.4. Résultats de simulation retenus

Après une étude paramétrique poussée et des centaines de simulations effectuées, nous présentons dans ce qui suit les résultats optimisés. Les valeurs des paramètres dimensionnels retenues sont illustrées dans le tableau III.1.

#### III.4.1. Coefficient de réflexion S11

Sur la figure III.15, la variation du coefficient de réflexion de l'antenne en fonction de la fréquence montre bien le comportement large bande allant de 1.43 à 3.5 GHz soit sur une large bande de 2.07 GHz. Dans cette bande l'antenne est bien adaptée, elle atteint des pics de profondeur -27 dB et -42.596 dB aux fréquences respectives : 1.42 GHz et 3.5 GHz.

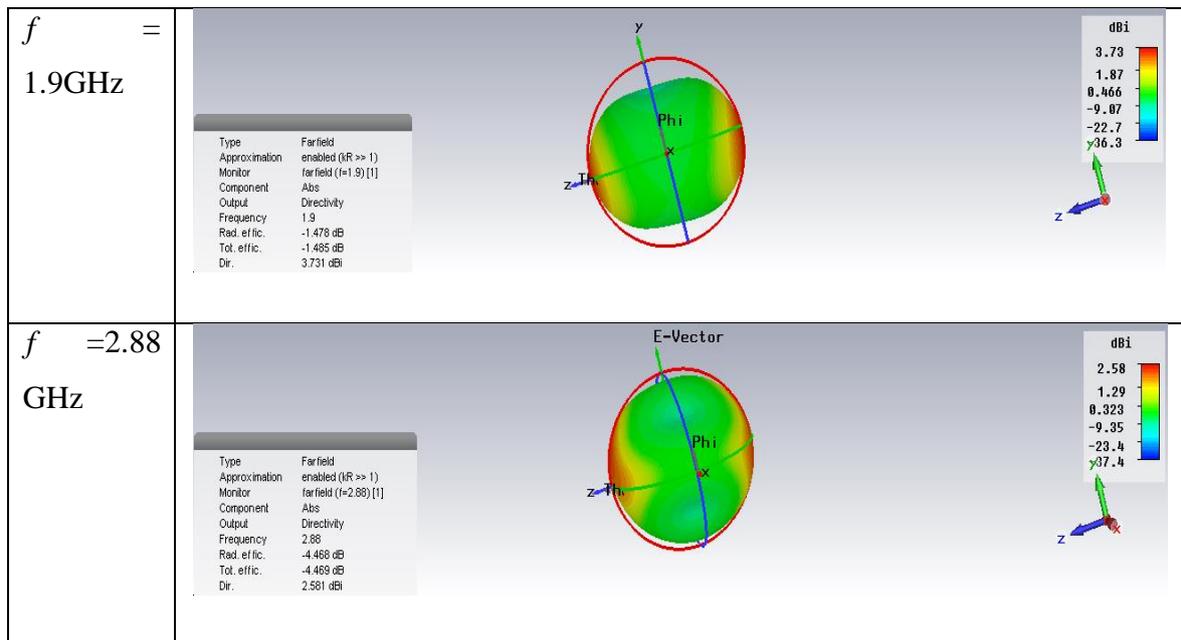


**Figure III.15 : Visualisation du paramètre S11 et représentation de la bande passante en fonction de la fréquence**

**III.4.2. Diagramme de rayonnement du gain total réalisé en 3D**

CST permet de visualiser les diagrammes de rayonnement 3D et 2D. C’est une représentation qui nous informe sur le gain et la directivité de l’antenne. Il nous donne la possibilité de visualiser le rayonnement sur un plan polaire : ceci nous donne une information directe sur l’angle d’ouverture.

La figure III.16 représente le gain 3D pour différentes valeurs de la fréquence.

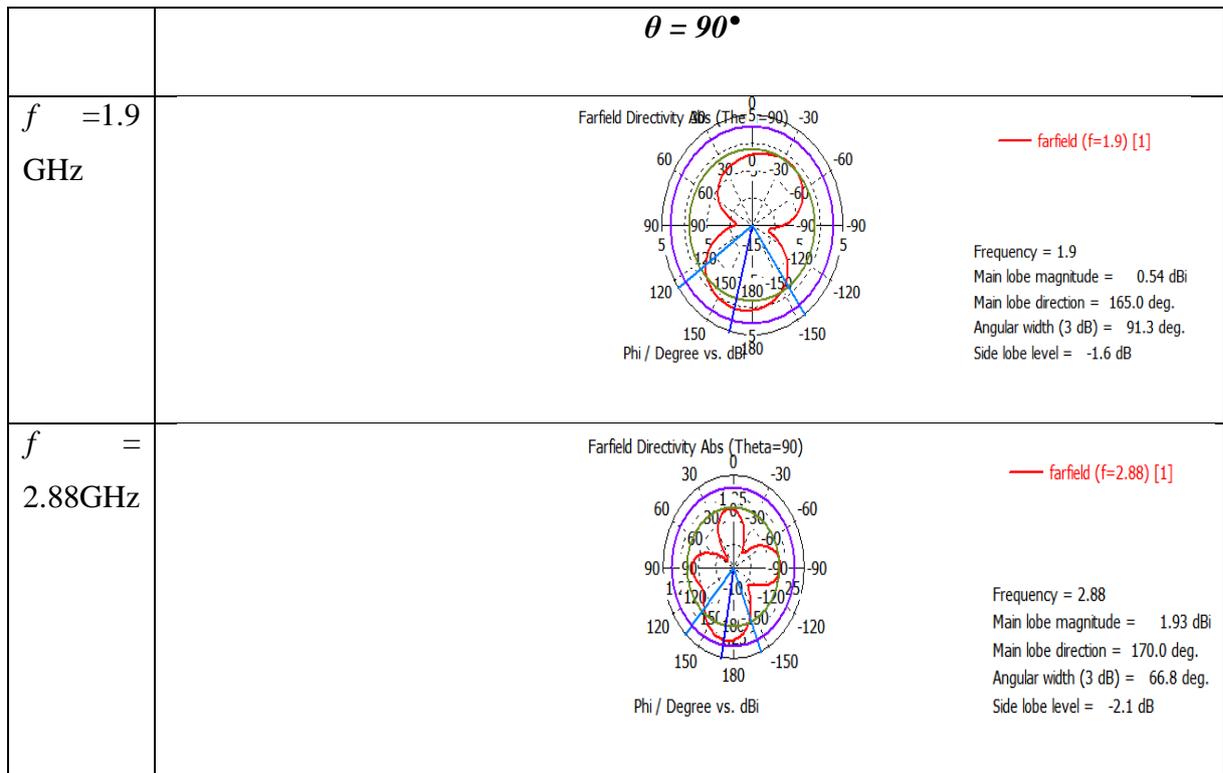


**Figure III.16 : Représentation 3D du gain réalisé de l’antenne pour différentes valeurs de f.**

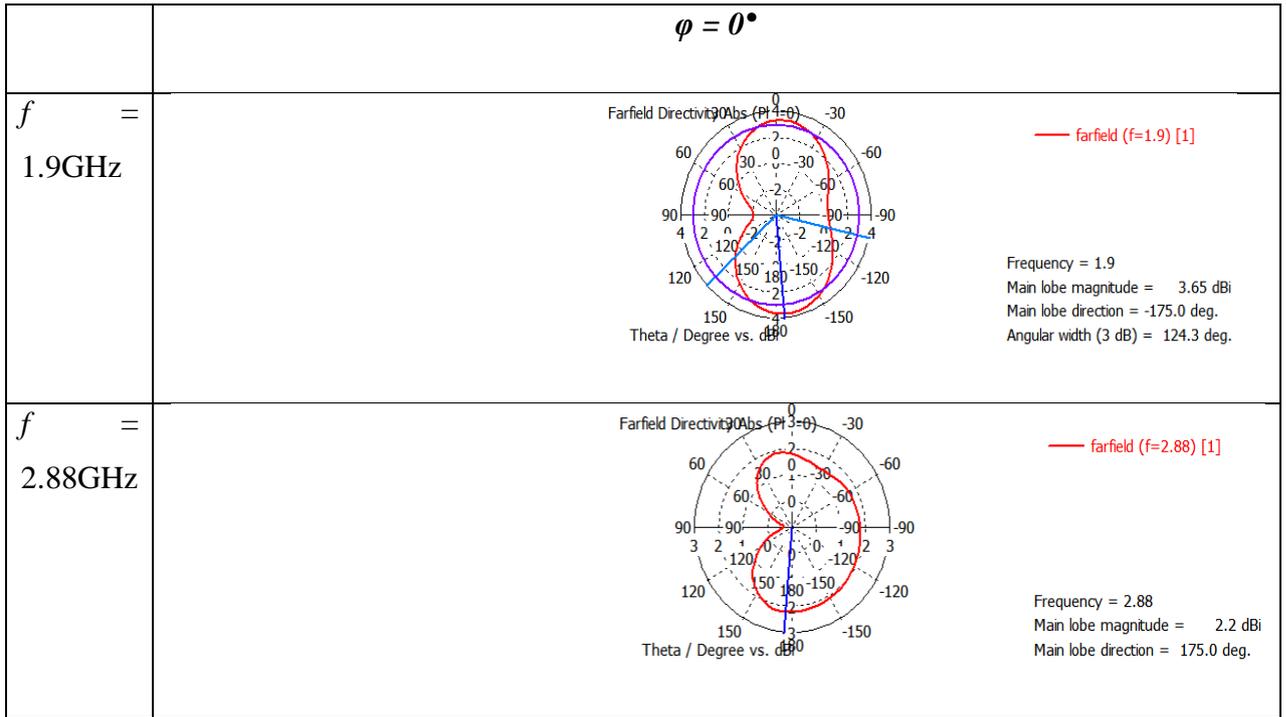
Le diagramme de rayonnement permet de visualiser les lobes dans deux ou trois dimensions, dans le plan horizontal ( $\theta = \text{constante}$ ) ou dans le plan vertical ( $\varphi = \text{constante}$ ) incluant le lobe le plus important. En observant les diagrammes de rayonnement 3D, on

peut constater que la plupart du rayonnement est dans la direction Z. Le gain maximal atteint est de l'ordre 4.07 dB. L'angle d'ouverture (montré dans la figure III.18) est de l'ordre de 80°.

La figure III.18 représente le gain 2D pour les mêmes valeurs de la fréquence citées précédemment.



**Figure III.17 : Représentation 2D du gain total réalisé pour différentes fréquences ( $\theta = 90^\circ$ ).**

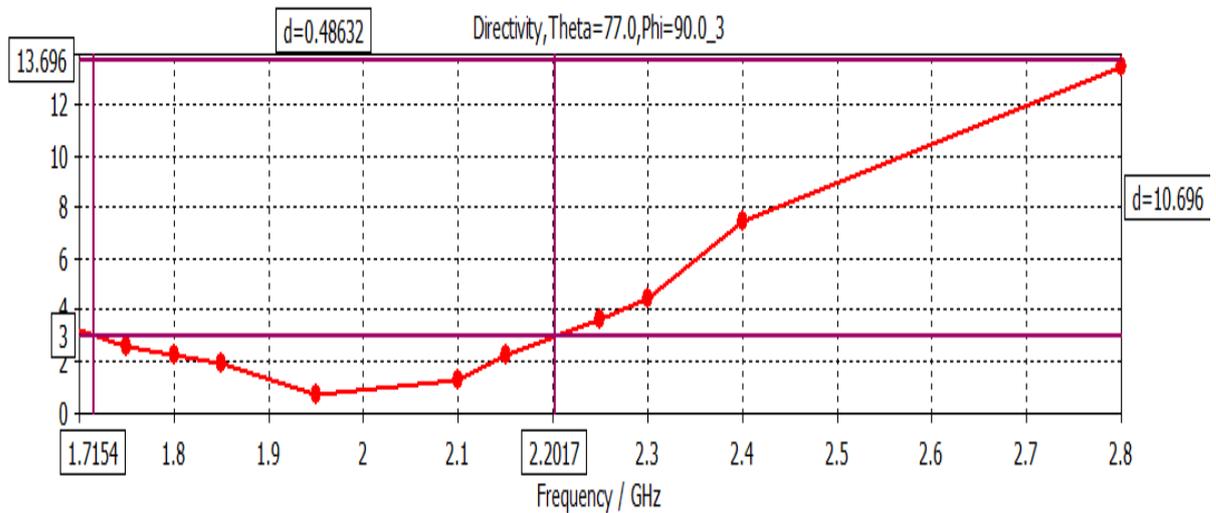


**Figure III.18 : Représentation 2D du gain total réalisé pour différentes fréquences ( $\varphi=0^\circ$ ).**

### III.4.3. Rapport axial

Comme le montre la figure III.20, l'antenne optimisée a un rapport axial < 3 dB dans l'intervalle [1.71-2.20] GHz soit une bande de fréquence à polarisation circulaire assez

Large valant 0.486 GHz.



**Figure III.19 : Le rapport axial de notre antenne après optimisation.**

### III.4.4. Représentation du champ E

La Figure III.20 illustre le champs électrique rayonné par l'antenne à la fréquence 2 GHz. L'animation donnée de cette image par le logiciel permet de nous montrer la polarisation du champ.

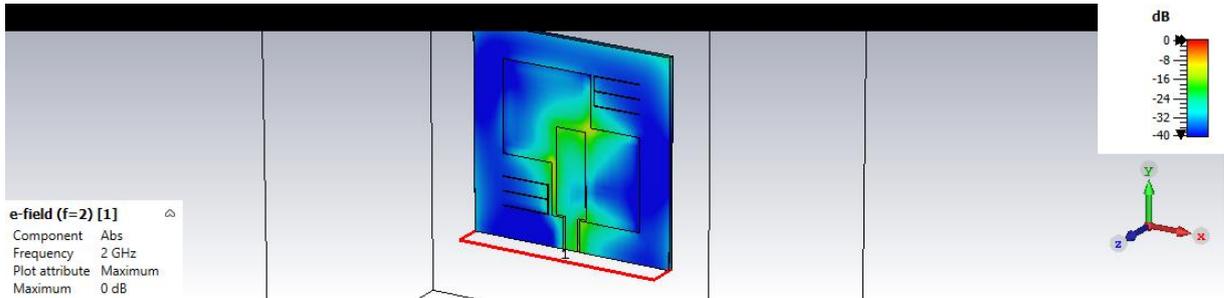


Figure III.20 : Distribution du champ E de l'antenne conçue

### III.4.5. Le courant de surface

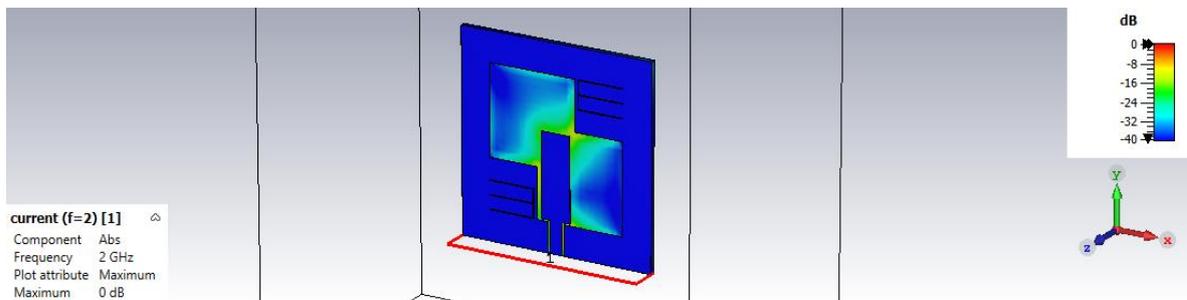


Figure III.21 : Distribution de courant d'une antenne à fente à polarisation circulaire

Nous remarquons que le courant est distribué et maximal sur les deux côtés de fentes en forme E du rectangle d'une façon symétrique ainsi qu'au niveau de la source d'alimentation où il diminue en s'éloignant de celle-ci. Nous avons relevé la valeur maximale du courant surfacique (5A/m).

## **Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons exposé la première structure d'une antenne à fente à polarisation circulaire. L'effet large bande est assuré par le choix du type de l'antenne à fente et du guide coplanaire comme ligne d'alimentation de l'antenne. La polarisation circulaire quant à elle est effectuée grâce à deux carrés métalliques placés en diagonale dans lesquelles des fentes de formes spécifiques ont été créées. Pour mener à bien notre travail, une étape préliminaire consistait en une étude paramétrique. Cette dernière nous a permis de simuler le comportement de l'antenne en isolant chacun des paramètres pour pouvoir voir son effet. Il a été facile par la suite de sélectionner les dimensions optimales de l'antenne.

Les résultats obtenus correspondent au cahier des charges imposé. L'antenne fonctionne sur une large bande allant de 1.4 GHz à 3.5 voire une BP de 2 GHz. Une polarisation circulaire gauche est assurée sur une bande de 0.5 GHz dans l'intervalle [1.7-2.2] GHz. Le gain de l'antenne est moyen et l'efficacité est acceptable.

# *Chapitre IV*

## *Conception d'antenne à fente -Structure 2 -*

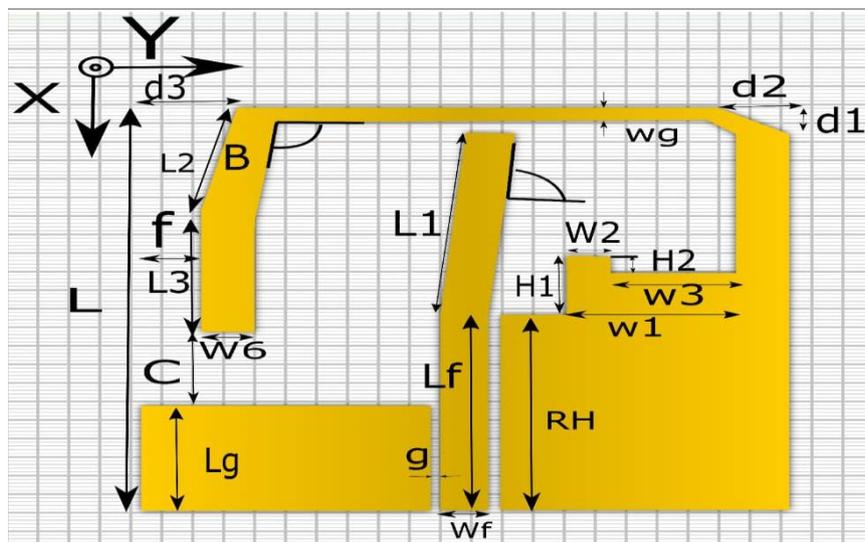
## Introduction

Ce chapitre est dédié à la conception de la deuxième antenne étudiée. Il s'agit d'une antenne à fente à polarisation circulaire large bande alimentée par une ligne coplanaire dont la structure géométrique a été modifiée. Nous avons démarré d'une antenne à fente classique à polarisation linéaire à laquelle plusieurs modifications ont été apportées jusqu'à l'obtention de l'antenne large bande à polarisation circulaire.

En suivant la même démarche expliquée dans le chapitre précédent, les simulations effectuées grâce au logiciel de conception électromagnétique CST Microwave Studio nous ont permis d'effectuer une étude paramétrique. Cette étude a été bénéfique pour la sélection des paramètres optimisés répondant au cahier des charges. Au cours de cette démarche, les résultats sont donnés et interprétés.

### IV.1. Géométrie de l'antenne

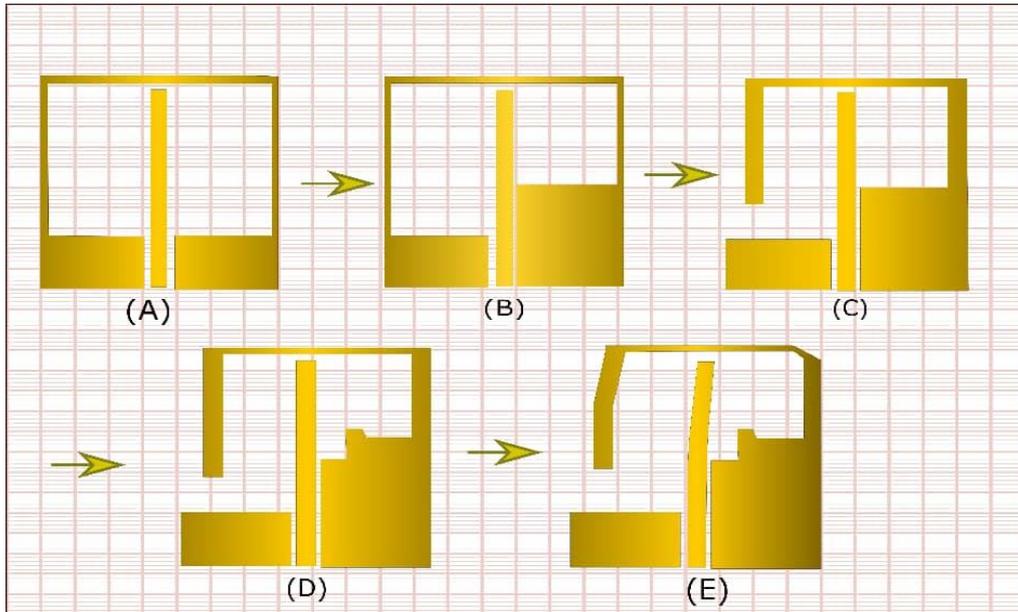
La deuxième antenne à fente à large bande étudiée est celle représentée dans la figure IV.1. Elle a été gravée sur un substrat diélectrique FR4 de 1,6 mm d'épaisseur avec une permittivité relative  $\epsilon_r = 4.4$  et une tangente de perte de  $\tan\delta = 0.02$ . La taille de l'antenne est de  $50 * 50 * 1.6mm^3$ . Elle est composée d'une ligne d'alimentation de types coplanaire avec une partie supérieure inclinée, une fente large modifiée et une fente ouverte sur le côté gauche et une pastille de perturbation sur le côté droit par rapport à la



ligne coplanaire[3].

FigureIV.1 : Modèle de l'antenne à fente à polarisation circulaire large bande conçue.

La figure IV.2 montre les étapes suivies et le processus de conception pour aboutir à l'antenne finale (illustrée dans la figure IV.1). Une étude paramétrique (que nous ne pouvons détailler dans ce manuscrit) a été élaborée pour chacun de ces modèles (de A à E). Nous exposons dans ce qui suit les résultats de l'antenne finale (E), en suivant la même démarche expliquée dans le chapitre précédent.



**FigureIV.2 : Différents modèles conçus pour l'obtention de l'antenne à fente à polarisation circulaire large bande finale.**

Les dimensions physiques concernant la structure conçue sont résumées dans le Tableau IV.1.

**TableauIV. 1 : Paramètres physiques de l'antenne à fente conçue.**

Paramètre	Dimension (mm)	Paramètre	Dimension (mm)	Paramètre	Dimension (mm)
x	50	H1	7	Wg	1.5
y	50	H2	2	W6	4
h	0.8	W1	13	WF	3.5
L1	23	W2	6	D1	3
L2	13.5	W3	9	D2	6
L3	14.5	W4	4	LG	12.5
RH	24.5	O1	100°	O2	85°

**IV.2. Etude paramétrique**

Les différents paramètres résumés dans le tableau IV.1 vont être modifiés un à un pour étudier leur influence les caractéristiques de l'antenne.

**IV.2.1. Coefficient de réflexion S11**

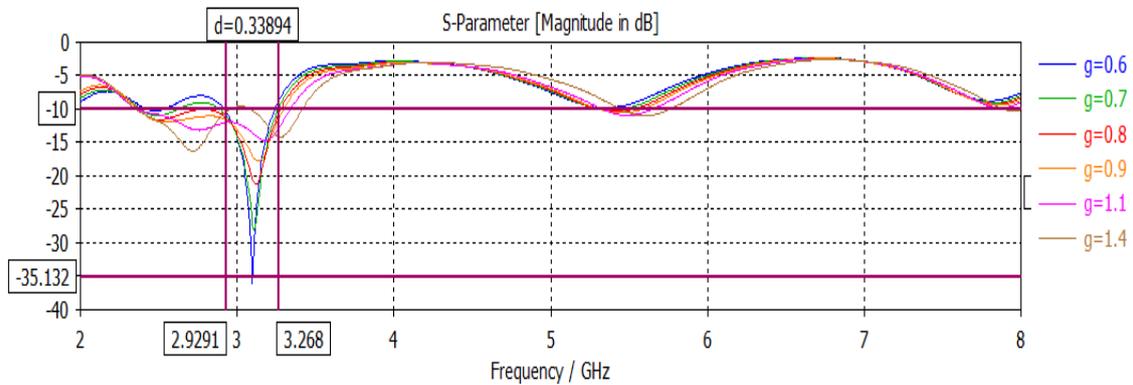
On rappelle que le coefficient de réflexion va nous donner une idée sur l'adaptation de l'antenne, sa fréquence de résonance et sa bande de fréquence de fonctionnement.

**IV.2.1.1. Variation de gap g**

Sur la Figure IV.3, on représente les variations du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence pour différentes valeurs de g.

**Tableau IV.2 : Influence du gap g sur la magnitude S11 et la Bande passante.**

g(mm)	Magnitude de S11 en dB	Bande passante en GHz
0.6	-35.13	0.36
0.7	-27.35	0.34
0.9	-17.65	0.31
1.4	-14.89	0.29



**Figure IV.3 : Influence du gap g sur le coefficient de réflexion.**

D'après les graphes représentés ci-dessus, on remarque trois fréquences de résonance distinctes. Le paramètre g affecte beaucoup plus la première bande (autours de 3 GHz) où l'adaptation est meilleure pour des gaps étroits. La croissance de ce paramètre entraîne un léger décalage des fréquences vers le haut. Les deux autres fréquences de résonances sont presque insensibles à la variation de g mis à part un léger décalage de ces dernières. La

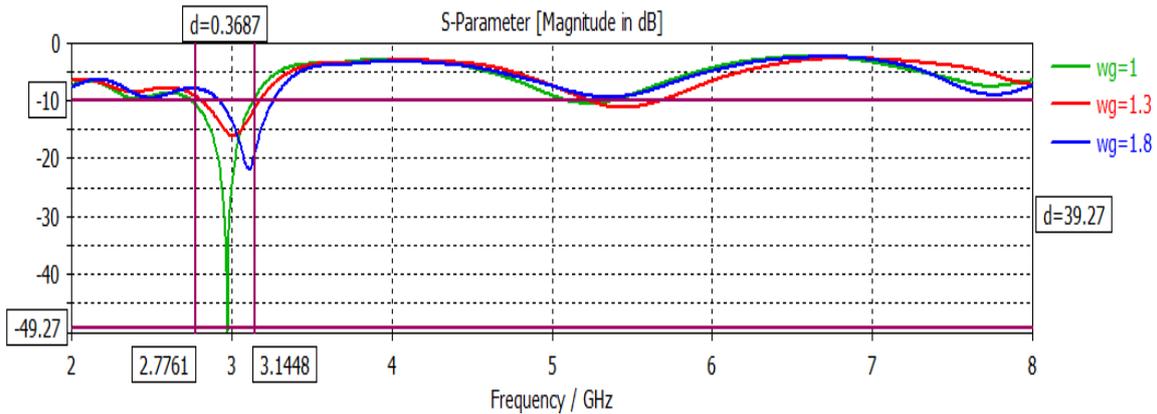
meilleure adaptation est obtenue à la fréquence de résonance 3.09 GHz avec un coefficient de réflexion de -35.132dB

**IV.2.1.2. Variation de  $Wg$**

On étudie l'effet de  $Wg$  sur l'adaptation de l'antenne à fente. Sur la figure IV.4, on représente les variations du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence pour différentes valeurs de la longueur  $Wg$ .

**Tableau IV.3 : Influence de  $Wg$  sur la magnitude S11 et la Bande passante.**

$Wg$ (mm)	Magnitude de S11 en Db	Bande passante en GHz
1	-49.21	0.37
1.3	-16.25	0.33
1.8	-21.98	0.36



**Figure IV.4 : Influence de  $Wg$  sur le coefficient de réflexion.**

A partir des courbes illustrées sur la figure IV.4, on remarque que lorsqu'on diminue la valeur de  $Wg$ , la fréquence de fonctionnement de l'antenne décale vers le bas, l'adaptation est meilleure et la bande passante augmente légèrement. Pour  $Wg=1$ , l'antenne est adaptée à la fréquence de résonance 3 GHz avec un coefficient de réflexion de -49.27dB.

IV.2.1.3. Variation de  $L$

Dans ce cas, on va varier la grandeur  $L$ . de 33 mm jusqu'à 39 mm par un pas de 2 mm, les autres paramètres sont fixes, on représente les variations du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence pour différentes valeurs de la largeur  $L$ .

Tableau IV.4 : Influence de  $L$  sur la magnitude S11 et la bande passante.

$L$ (mm)	Magnitude de S11 en dB	Bande passante en GHz
33	-37.37	1.33
35	-18.25	1.85
37	-21.75	1.8
39	-16.89	1.9

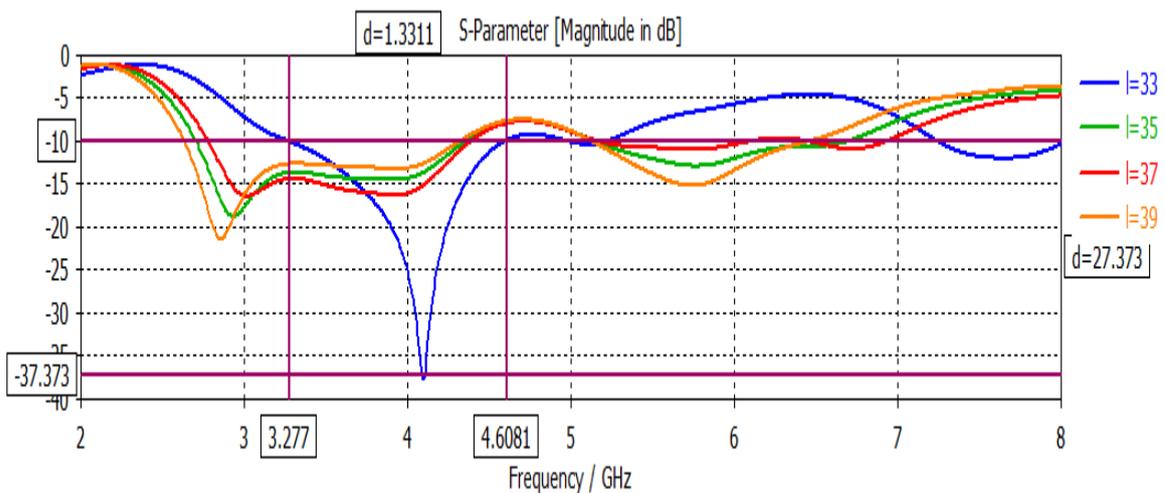


Figure IV.5 : Influence de  $L$  sur le coefficient de réflexion.

Le résultat obtenu, représenté sur la figure IV.5 est assez intéressant et montre un effet remarquable de la longueur  $L$  sur la fréquence de résonance et la bande passante. Nous constatons qu'une augmentation de la largeur  $L$  de l'antenne entraîne une diminution de la fréquence de résonance et une croissance de la bande passante. Une deuxième bande de fréquence apparaît avec l'augmentation de  $L$ .

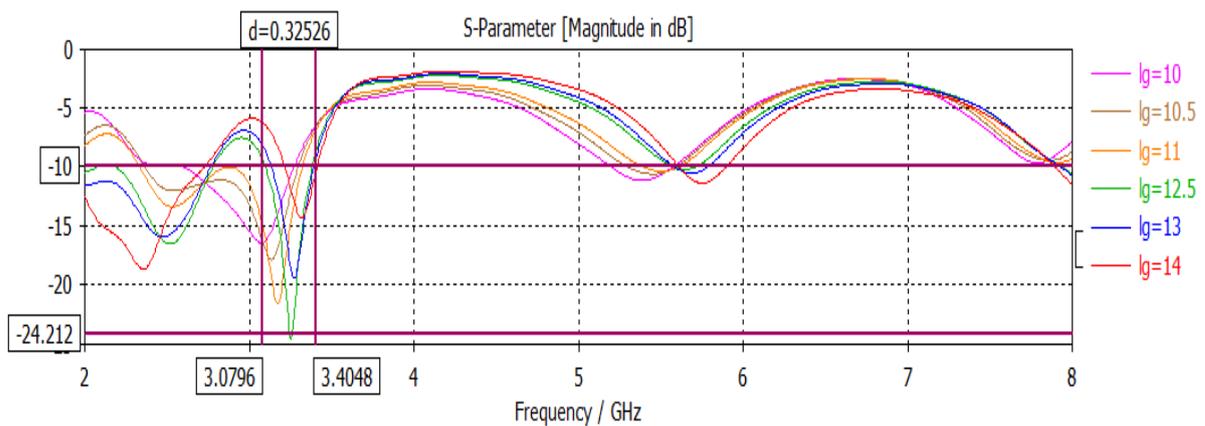
IV.2.1.4. Variation de  $Lg$

Le résultat obtenu représenté par la figure IV.6 montre l'effet de la largeur  $Lg$  sur la première fréquence de résonance et sa bande passante. Nous constatons qu'une diminution

de la largeur  $Lg$  de l'antenne entraîne une croissance de la fréquence de résonance et de la bande passante. Bien que l'augmentation de  $Lg$  fasse décaler les fréquences de la deuxième bande, mais elle n'affecte pas sa profondeur.

**Tableau IV.5 : Influence de  $Lg$  sur la magnitude S11 et la bande passante.**

$Lg$ (mm)	Magnitude de S11 en dB	Bande passante en GHz
10	-16.05	0.8
11	-13.65	1.2
12.5	-24.21	0.4
14	-17.51	0.6



**Figure IV.6 : Influence de  $Lg$  sur le coefficient de réflexion.**

**IV.2.1.5. Variation de  $RH$**

Comme le paramètre  $g$ , le paramètre  $Lg$  permet de créer à partir de deux bandes distinctes une bande plus large en les fusionnant, ceci a lieu avec la croissance de sa valeur. Toutefois, il n'affecte pas le comportement de l'antenne pour les basses fréquences (première bande), il agit beaucoup plus sur la deuxième fréquence de résonance qu'il fait décaler vers les hautes valeurs créant ainsi une bande passante plus large comme le montre la figure IV.7.

Tableau IV.6 : Influence de *RH* sur la magnitude S11 et la bande passante.

RH (mm)	Magnitude de S11 en dB	Bande passante en GHz
11	-43.76	0.3
13	-25	0.9
20	-16.25	0.3
24.5	-24.45	0.95

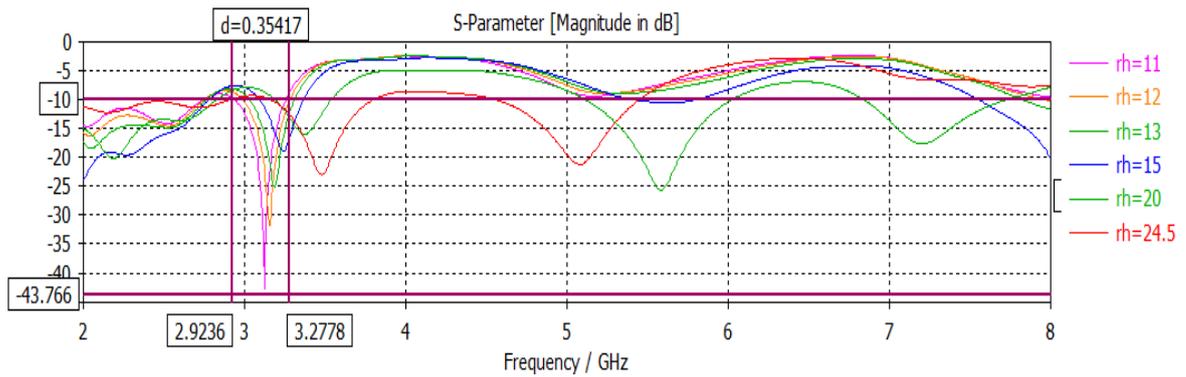


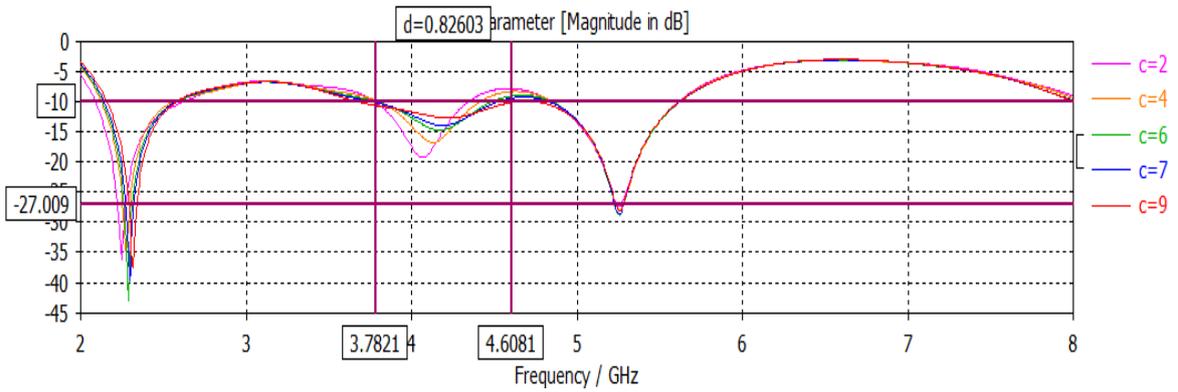
Figure IV.7 : Influence de *RH* sur le coefficient de réflexion.

IV.2.1.6. Variation de *C*

La figure IV.8 représente l'influence de la longueur *C* sur la fréquence de résonance de l'antenne pour différentes valeurs de *C*. On remarque d'après les résultats donnés que l'augmentation de cette longueur entraine un décalage de la fréquence de fonctionnement vers le haut avec création d'une bande plus large

Tableau IV.7 : Influence de *RH* sur la magnitude S11 et la bande passante.

C (mm)	Magnitude de S11 en dB	Bande passante en GHz
2	-33.87	0.75
4	-34.56	0.78
6	-34.15	0.80
9	-35	0.82



FigureIV.8 : Influence du C sur le coefficient de réflexion.

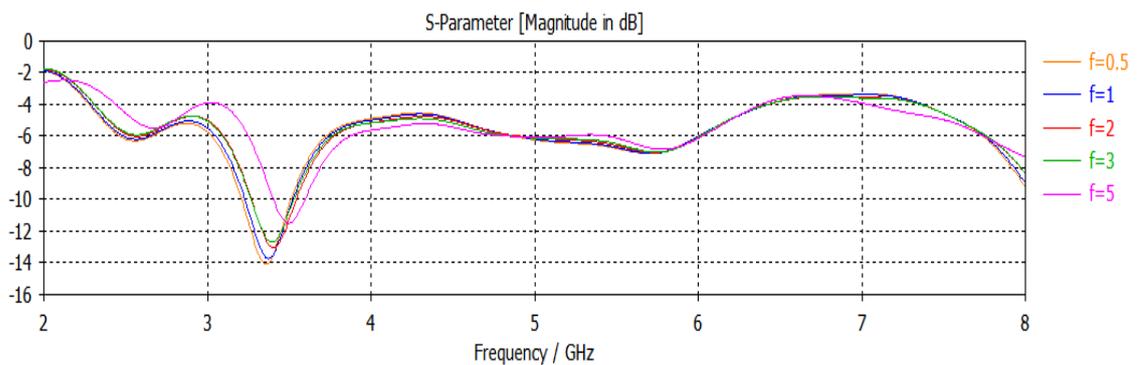
IV.2.1.7. Variation de F

Nous avons varié la largeur  $F$  de 0.5 à 5mm. Sur la figure, on représente les variations du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence pour différentes valeurs de la largeur  $F$ .

g (mm)	Magnitude de S11 en dB	Bande passante en GHz
0.5	-14	0.7
1	-13.94	0.72
3	-13.82	0.74
5	-13.81	0.78

TableauIII.8 : Influence de F sur la magnitude S11 et la bande passante.

FigureIV.9 : Influence de F sur le coefficient de réflexion.



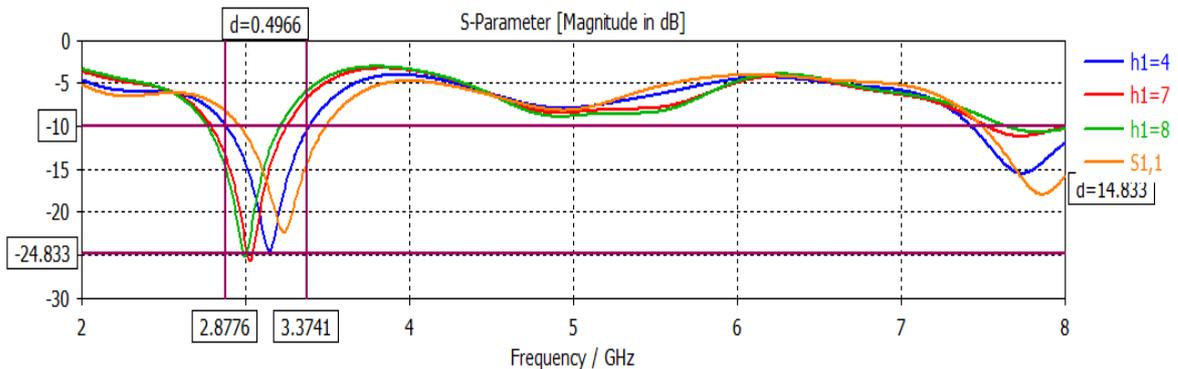
D'après les graphes de la figure IV.9, On remarque que la diminution de la valeur de  $F$  entraîne la diminution de la valeur de la fréquence, l'augmentation de la valeur de la bande passante et diminution de la magnitude en dB du paramètre  $S_{11}$  avec création de plusieurs bandes. L'antenne est adaptée à la fréquence de résonance 3.2 GHz avec un coefficient de réflexion de -14dB.

**IV.2.1.8. Variation de  $H1$**

Dans cette section, en faisant varier le paramètre  $H1$  de 4 mm jusqu'à 6 mm avec un pas de 1 mm, on remarque d'après les résultats donnés dans la figure (IV.10) que l'augmentation de cette longueur entraîne un décalage de la fréquence de fonctionnement vers le haut avec création d'une bande plus large

**Tableau IV.9 : Influence de  $H1$  sur la magnitude  $S_{11}$  et la bande passante.**

$H1$ (mm)	Magnitude de $S_{11}$ en dB	Bande passante en GHz
4	-24.83	0.53
7	-24.98	0.52
8	-24.9	0.51
9	-22.91	0.5



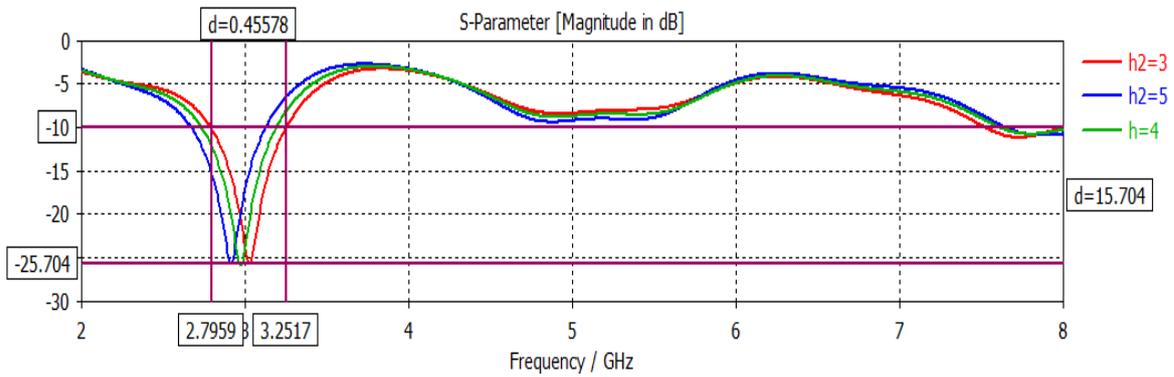
**Figure IV.10 : Influence de  $H1$  sur le coefficient de réflexion.**

**IV.2.1.9. Variation de  $H2$**

En faisant varier le paramètre  $H2$  de 3 mm jusqu'à 5 mm avec un pas de 1 mm, on remarque d'après les résultats donnés dans la figure IV.11 que l'augmentation de cette longueur entraîne un décalage de la fréquence de fonctionnement vers le haut.

TableauIV.10 : Influence de  $H2$  sur la magnitude S11 et la bande passante.

H2(mm)	Magnitude de S11 en dB	Bande passante en GHz
3	-25.7	0.84
4	-25.7	0.84
5	-25.7	0.84



FigureIV.11 : Influence de  $H2$  sur le coefficient de réflexion.

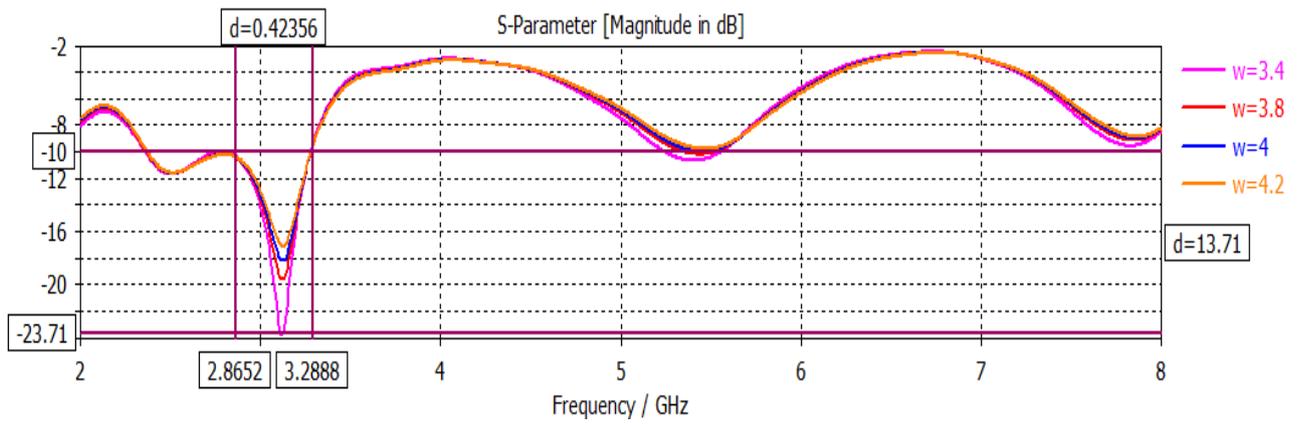
Nous observons que la diminution de la valeur  $H2$  entraîne une augmentation de la valeur de la fréquence avec un petit décalage, et la bande passante reste constante ainsi que de la magnitude en dB du paramètre S11.

IV.2.1.10. Variation de  $W$

Nous avons modifié la largeur  $W$  de l'antenne, on représente les variations du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence pour différentes valeurs de la largeur  $W$ . on remarque que  $W$  n'a aucun effet sur le décalage de fréquence du coefficient de réflexion de l'antenne, par contre il agit sur la profondeur du pic.

TableauIV.11 : Influence de  $W1$  sur la magnitude S11 et la bande passante.

g(mm)	Magnitude de S11 en dB	Bande passante en GHz
3.4	-23.98	0.5
3.8	-19.74	0.5
4	-18.03	0.5
4.2	-17.15	0.5



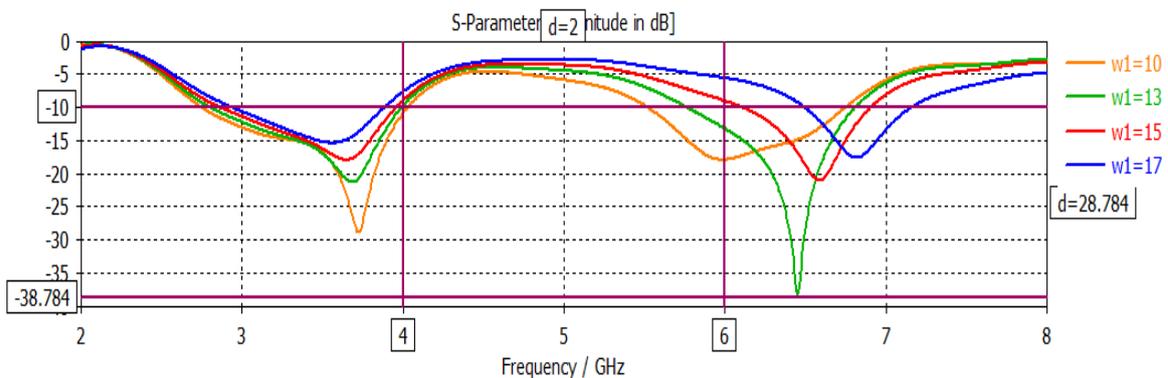
FigureIV.12 : Influence de  $W$  sur le coefficient de réflexion.

IV.2.1.11. Variation de  $Wl$

La figure IV.13 montre l'influence du gap sur la fréquence de résonance de l'antenne pour différentes valeurs de  $Wl$ .

TableauIV.12 : Influence de  $Wl$  sur la magnitude  $S_{11}$  et la bande passante.

$Wl$ (mm)	Magnitude de $S_{11}$ en dB	Bande passante en GHz
10	-18.25	1.8
13	-37.95	0.9
15	-21.05	0.8
17	-18.87	0.6



FigureIV.13 : Influence de  $Wl$  sur le coefficient de réflexion.

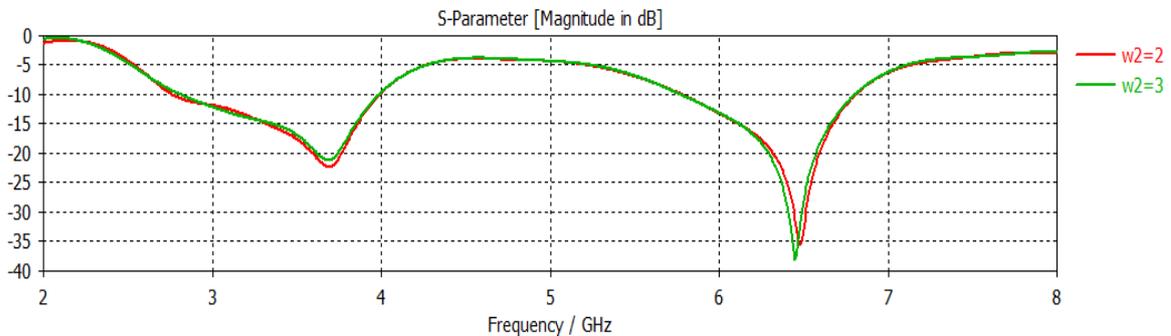
A partir de ces courbes, on remarque que lorsqu'on diminue la valeur de  $W1$ , la fréquence de fonctionnement de l'antenne décale vers le bas, avec une bande passante qui augmente légèrement. Pour  $W1=13$ , l'antenne est adaptée à la fréquence de résonance 6.44 GHz avec un coefficient de réflexion de -38.78dB.

**IV.2.1.12. Variation de  $W2$**

La variation du paramètre  $W2$  n'a aucun effet sur le coefficient de réflexion de l'antenne comme le montre la figure IV.14. Un léger décalage des fréquences vers le bas est remarqué dans la deuxième bande, quand ce paramètre croit.

$W2(\text{mm})$	Magnitude de $S_{11}$ en dB	Bande passante en GHz
2	-35	1.1
3	-36.2	1.1

**TableauIV.13 : Influence de  $W2$  sur la magnitude  $S_{11}$  et la bande passante.**



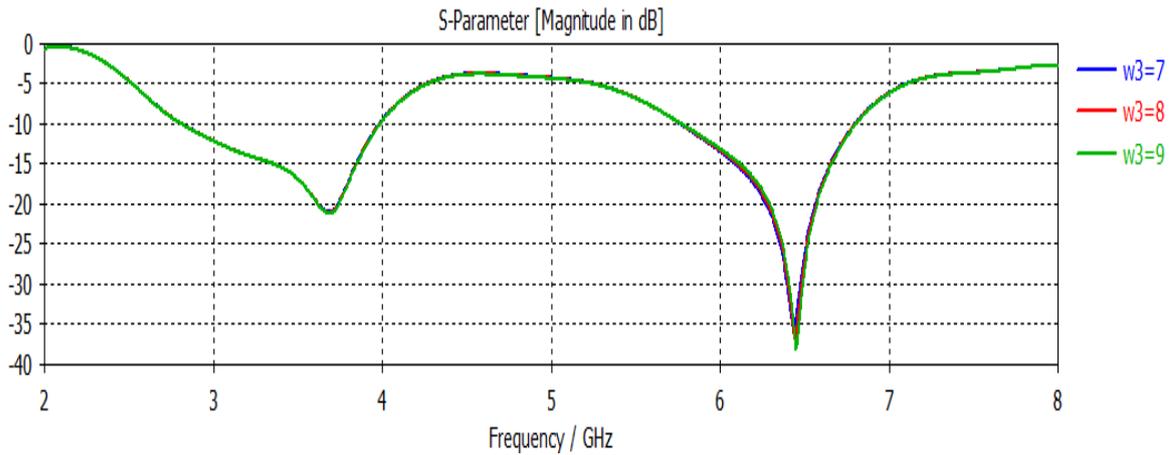
**FigureIV.14 : Influence de  $W2$  sur le coefficient de réflexion.**

**IV.2.1.13. Variation de  $W3$**

Nous avons varié la largeur  $W3$  de 3.4 à 4.2 mm. Sur la figure IV.15, on remarque que l'antenne est insensible à la variation de ce paramètre.

TableauIV.14 : Influence de  $W3$  sur la magnitude  $S_{11}$  et la bande passante.

$W3(\text{mm})$	Magnitude de $S_{11}$ en dB	Bande passante en GHz
7	-38.47	1.1
8	-38.47	1.1
9	-38.47	1.1



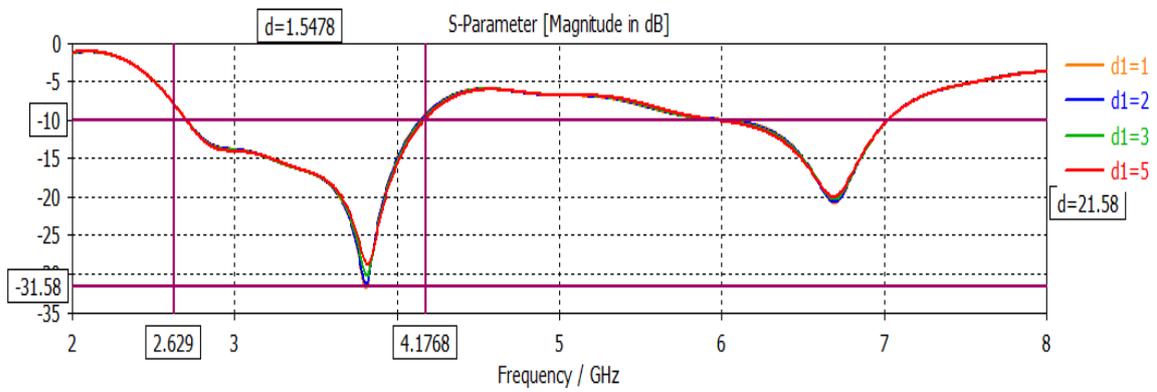
FigureIV.15 : Influence de  $W3$  sur le coefficient de réflexion.

IV.2.1.14. Variation de  $DI$

D’après la figure IV.16, on remarque que la variation de la grandeur  $DI$  n’a aucun effet sur le coefficient de réflexion de l’antenne.

TableauIV.15 : Influence de  $DI$  sur la magnitude  $S_{11}$  et la bande passante.

$DI(\text{mm})$	Magnitude de $S_{11}$ en dB	Bande passante en GHz
1	-28.1	1.54
2	-31.58	1.54
3	-31.58	1.54
5	-31.58	1.54



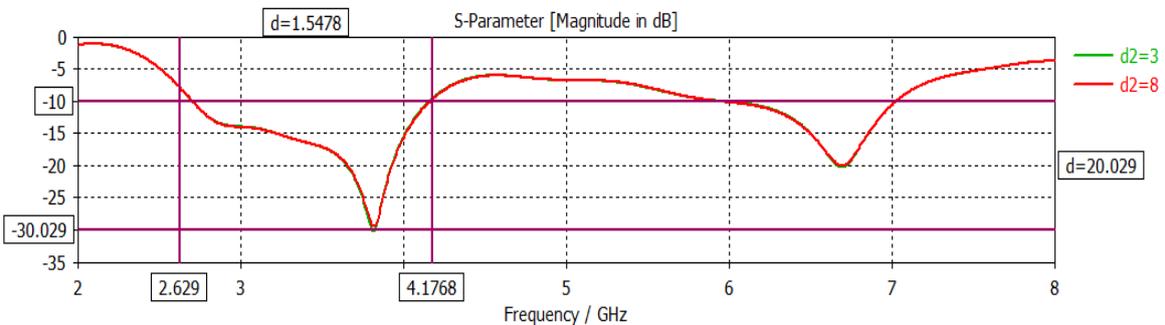
**Figure IV.16 : Influence de  $D1$  sur le coefficient de réflexion.**

#### IV.2.1.15. Variation de $D2$

La variation du paramètre  $D2$  n'a également aucun effet sur le coefficient de réflexion de l'antenne comme le montre la figure IV.17.

**Tableau IV.16 : Influence de  $D2$  sur la magnitude  $S11$  et la bande passante.**

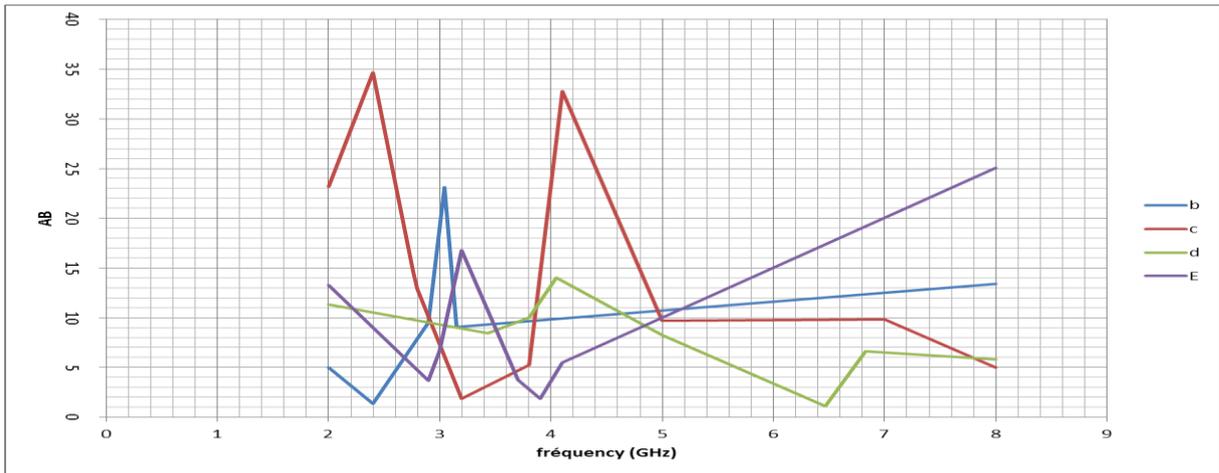
$D2$ (mm)	Magnitude de $S11$ en dB	Bande passante en GHz
3	-30.029	1.47
8	.30.029	1.47



**Figure IV.17 : Influence du  $D2$  sur le coefficient de réflexion.**

#### IV.2.2. Rapport axial

Une étude paramétrique en fonction de la fréquence, similaire à celle du coefficient de réflexion a été menée pour déterminer le rapport axial. Cette fois-ci, bien que les effets de tous les paramètres physiques ont été simulés, seuls ceux qui affectent la polarisation circulaire dans les différents modèles d'antennes :  $B$ ,  $C$ ,  $D$ ,  $E$  (donnés dans la figure IV.18) vont être montrés. L'antenne  $A$  a une polarisation linéaire, elle est donc exclue de cette étude.



**Figure IV.18 : Rapport axial de différentes antennes.**

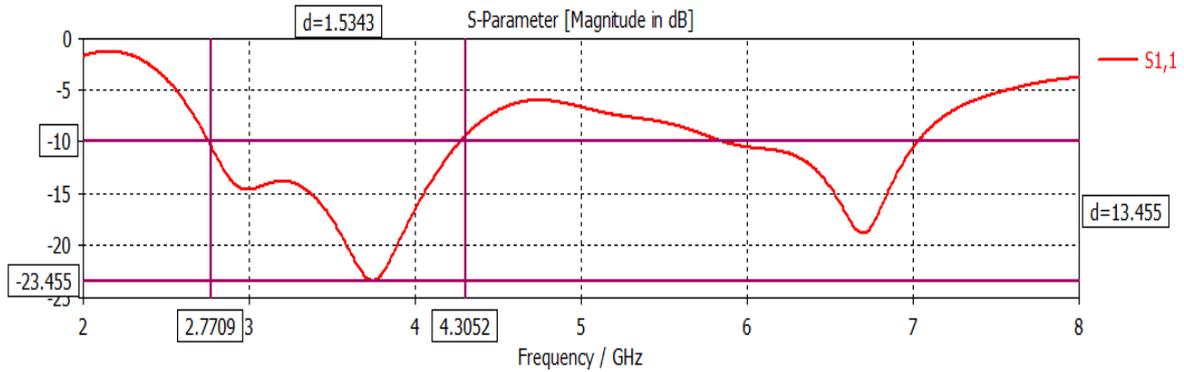
D'après ces graphes, on remarque que Les antennes B, C, E ont une polarisation circulaire dans la première bande, contrairement l'antenne D elle a une polarisation circulaire dans la deuxième bande mais la bande de polarisation circulaire se réduit jusqu'à disparition totale dans les deux bande.

### IV.3. Résultats de simulation retenus

Après une étude paramétrique poussée et des centaines de simulations effectuées, nous présentons dans ce qui suit les résultats optimisés. Les valeurs des paramètres dimensionnels retenues sont illustrées dans le tableau IV.1.

#### IV.3.1. Coefficient de réflexion S11

Après les simulations, et les modifications des paramètres de l'antenne afin d'optimiser son fonctionnement, une valeur minimale du S11 a été obtenue à une fréquence de résonance égale à 3.7GHz avec une large bande avoisinant les 1.53 GHz, allant de 2.77GHz jusqu'à 4.3GHz. Une deuxième bande de fréquence de fonctionnement de 6.71GHz a été relevée allant de 5.84GHz jusqu'à 7.04GHz.

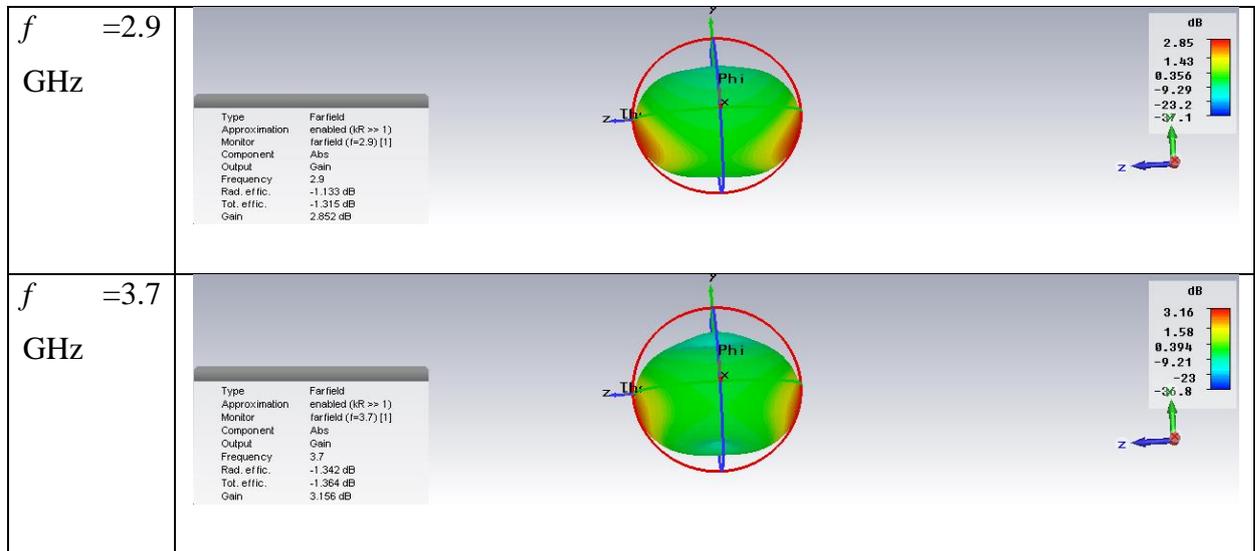


FigureIV.19 : Visualisation du paramètre S11 et représentation de la bande passante en fonction de la fréquence.

IV.3.2. Diagramme de rayonnement du gain total réalisé en3D

CST permet de visualiser les diagrammes de rayonnement 3D et 2D. C’est une représentation qui nous informe sur le gain et la directivité de l’antenne. Il nous donne la possibilité de visualiser le rayonnement sur un plan polaire : ceci nous donne une information directe sur l’angle d’ouverture.

La figure IV.20 représente le gain 3D pour différentes valeurs de la fréquence.

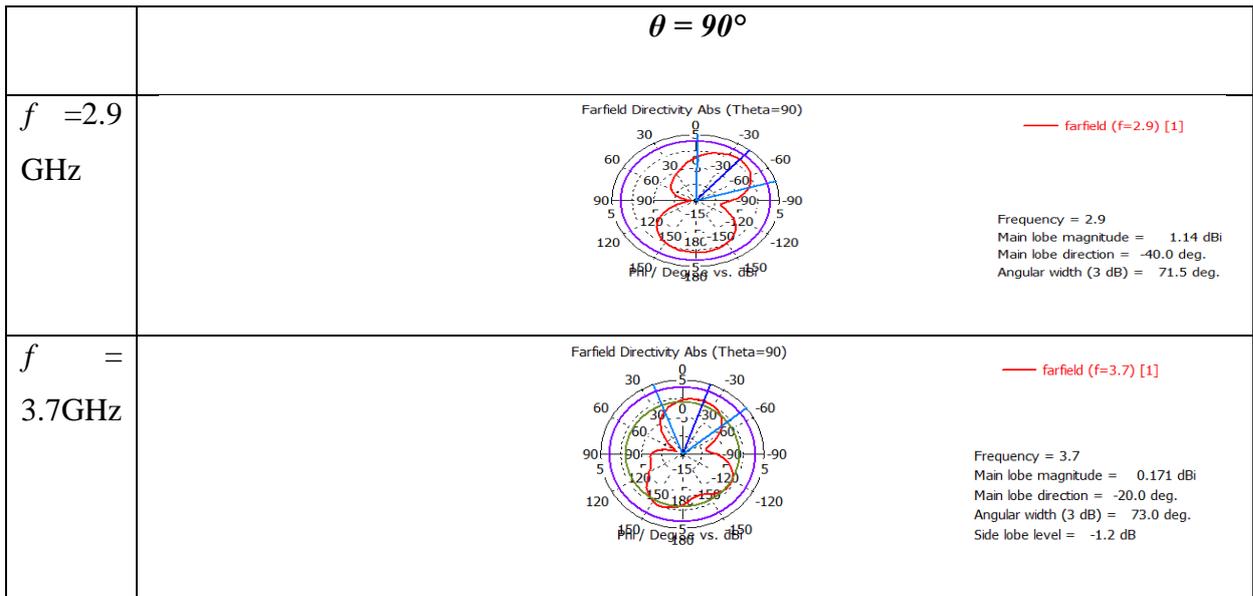


FigureIV.20 : Représentation 3D du gain réalisé de l’antenne pour différentes valeurs de  $f$ .

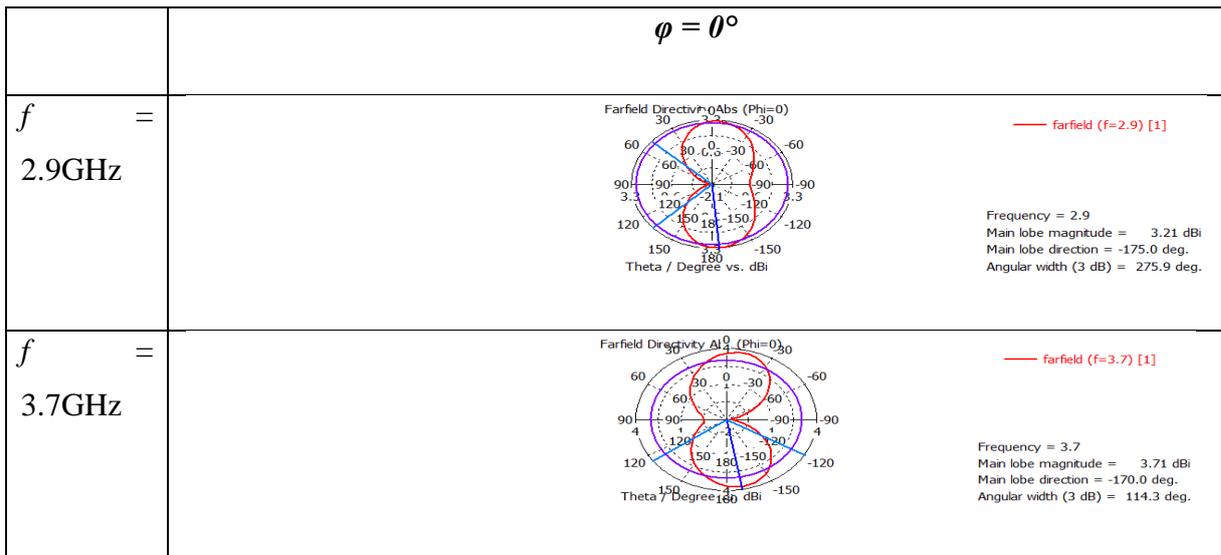
Le diagramme de rayonnement permet de visualiser les lobes dans deux ou trois dimensions, dans le plan horizontal ( $\theta = \text{constante}$ ) ou dans le plan vertical ( $\varphi = \text{constante}$ )

incluant le lobe le plus important. En observant les diagrammes de rayonnement 3D, on peut constater que la plupart du rayonnement est dans la direction Z. Le gain maximal atteint est de l'ordre 3.6dB. L'angle d'ouverture (montré dans les figure IV.21 et IV.22) varie selon les plans de coupe horizontale ou verticale.

La figure IV.21 représente le gain 2D pour les mêmes valeurs de la fréquence citées précédemment.



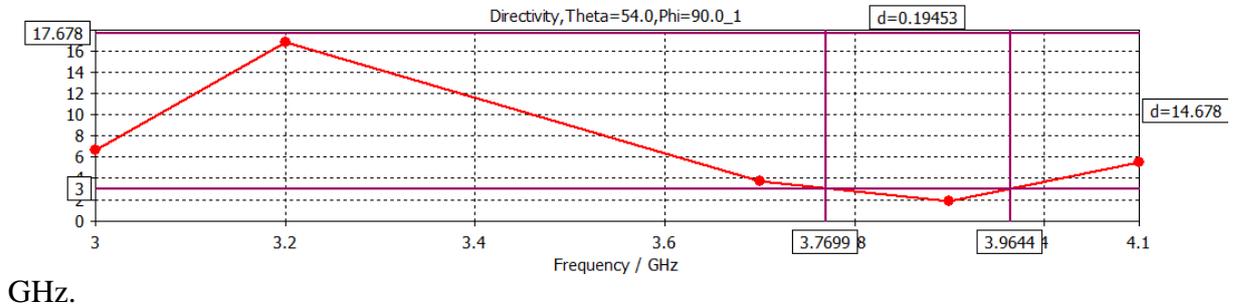
FigureIV.21 : Représentation 2D du gain total réalisé pour différentes fréquences ( $\theta = 90^\circ$ ).



FigureIV.22 : Représentation 2D du gain total réalisé pour différentes fréquences ( $\varphi = 0^\circ$ ).

**IV.3.3. Rapport axial**

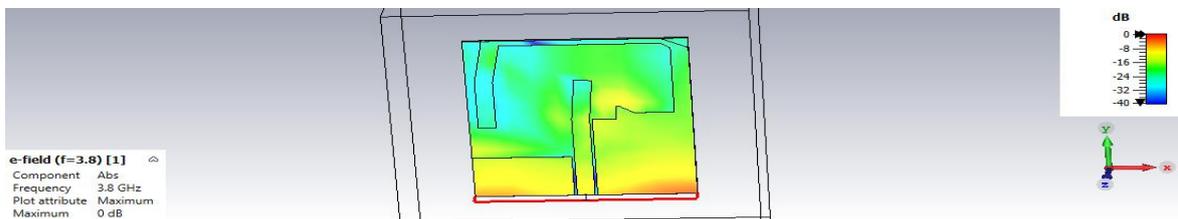
Comme le montre la figure IV.23, l'antenne optimisée a un rapport axial < 3 dB dans l'intervalle [3.76-3.96] GHz soit une bande de fréquence à polarisation circulaire valant 0.2



**FigureIV.23 : Le rapport axial de notre antenne après optimisation.**

**IV.3.4. Représentation des champs E**

Les Figures IV.24 illustrent respectivement le champ électrique rayonné par l'antenne à la fréquence 3.8 GHz.



**FigureIV.24 : Distribution du champ E de l'antenne conçue.**

Les vecteurs de champ électrique verticaux des deux plans métalliques Figure IV.24 sont dans des directions opposées.

### IV.3.5. Le courant de surface

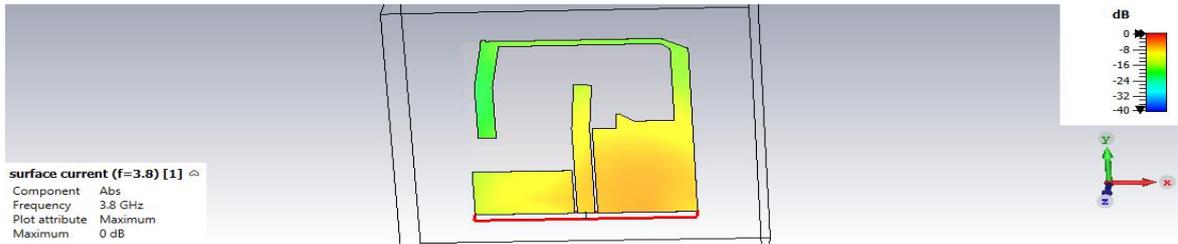


Figure IV.25 : Distribution du courant de l'antenne conçue.

L'orientation de la distribution de courant se fait selon l'axe Y sur la surface du rectangle et la ligne d'alimentation. L'intensité du courant dans le plan de masse LH est similaire. L'intensité à la surface diminue en allant du point d'alimentation à la limite de la ligne d'alimentation.

## Conclusion

Dans ce chapitre nous avons exposé la deuxième structure d'une antenne à fente à polarisation circulaire. L'effet large bande est assuré par le choix du type de l'antenne à fente et du guide coplanaire comme ligne d'alimentation de l'antenne. En effet, deux bandes de fonctionnement ont été établies l'une dans l'intervalle [2.75-4.28] GHz et l'autre dans l'intervalle [5.84-7.04] GHz. Bien qu'on a pu obtenir une polarisation circulaire, cette dernière n'est pas à large bande.

Le but de l'introduction des inclinaisons de certaines branches dans la structure était pour créer deux composantes orthogonales du champ électrique. Cette condition n'est pas suffisante puisqu'il faut en plus que ces composantes aient le même module et soient en quadrature de phase pour aboutir à une polarisation circulaire. Pour satisfaire ces conditions, plusieurs paramètres rentent en jeu, ce qui rend difficile leur gestion.

## *Conclusion Générale*

## *Conclusion Générale*

---

Le principal objectif de cette contribution était de concevoir une nouvelle antenne, à polarisation circulaire, fonctionnant sur une large bande passante et ayant un gain acceptable, un faible profil et un volume réduit. Cet objectif a été atteint grâce à la conception et la simulation de plusieurs antennes à fente à l'aide du simulateur électromagnétique CST, qui aide le concepteur à observer et analyser les diverses propriétés électromagnétiques de la structure. Il est important de comprendre chaque étape du processus de modélisation afin d'obtenir des résultats souhaités. Bien qu'il existe plusieurs simulateurs, on a choisi de travailler avec CST Microwave Studio à cause de sa simplicité de mise en œuvre et la richesse de son environnement.

Nous avons exposé deux structures différentes d'antennes à fente large bande à polarisation circulaire alimentées par une ligne coplanaire, ceci, en utilisant deux procédés différents pour l'obtention de la polarisation circulaire.

Dans la première structure, on a inclus deux patches à fente en forme de « *E* », diamétralement opposés sur les coins, dans le but de créer deux composantes orthogonales du champ électrique en quadrature de phase pour l'obtention d'une polarisation circulaire. Ces dernières ont été optimisées après plusieurs simulations.

Dans la deuxième structure, on a dû passer par cinq modèles d'antenne différents qu'on a notés de *A* à *E* pour montrer clairement le processus de conception suivi. A chaque passage d'un modèle à l'autre, un changement est effectué et plusieurs simulations sont menées pour voir l'effet de ce changement. Des inclinaisons des lignes et quelques modifications sur le plan de masse ont abouti à l'obtention de la polarisation circulaire. Malheureusement, cette polarisation circulaire n'a pas été finalisée à cause du nombre important des paramètres à gérer.

L'étude paramétrique, nous a permis de comprendre l'effet et l'influence de chaque paramètre physique de la structure sur les performances de l'antenne, à savoir : le coefficient de réflexion  $S_{11}$ , le diagramme de rayonnement et le rapport axial. En outre, le comportement large bande des antennes planaires alimentées par une ligne coplanaire a été vérifié.

La première antenne fonctionne sur une large bande de 2 GHz allant de 1.4 à 3.5 GHz. Une polarisation circulaire gauche est assurée sur une bande de 0.5 GHz dans l'intervalle [1.7-2.2] GHz. Le gain de l'antenne est moyen et l'efficacité est acceptable. Par

## *Conclusion Générale*

---

ailleurs, la deuxième antenne présente à son tour deux larges bandes de fonctionnement dans les intervalles : [2.75-4.28] GHz et [5.84-7.04] GHz, la polarisation circulaire est obtenue sur une bande réduite de 0,2 GHz.

A la lumière des résultats de simulations obtenus, nous pouvons affirmer que les antennes conçues sont de bonnes candidates pour les applications dans les systèmes de communication.

## *Liste bibliographie*

## *Liste bibliographie*

---

- [1] James, J. R., Hall, P. S.: "Handbook of Microstrip Antennas", Electromagnetic waves series, Vol. 2, 1989.
- [2] Balanis, C.: "Antenna Theory: Analysis And Design", 3rd Edition, John Wiley- Inter science, 2005.
- [3] Qiang Fu, Quanyuan Feng, and Hua Chen, "Design and Optimization of CPW-Fed Broadband Circularly Polarized Antenna for Multiple Communication Systems", Progress In Electromagnetics Research Letters, 2021.
- [4] Hamid C Horfi. : "Conception D'un Nouveau Système D'antenne Réseau Conforme En Onde Millimétrique" Université du Québec En Abitibi-Témiscamingue, Mai 2012
- [5] Ben Salem Jamel. : Support de cours "système de communication " Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Nabeul, Décembre 2014.
- [6] Mounib Hicham. : Mémoire de Fin d'Etudes "Conception et simulation d'une antenne micro ruban", encadré par Dr. HAMAIZIA Zahra juin 2012.
- [7] Azzaz Rahman Salima. " Analyse et conception des antennes imprimées multibandes en anneaux concentriques pour les réseaux de télécommunications ". Thèse de Doctorat. Juillet 2013. Université Abou Bakr Belkaid – Tlemcen.
- [8] D. M. Pozar, "Microwave and RF wireless Systems ", United States of America, John Wiley & Sons, 2001.
- [9] Ferouni. IBoufatahm, "conception d'une antenne planaire à base de métamatériaux pour des applications WiMaX " mémoire master université Tlemcen, 2020.
- [10] Ziani Kerati Djalal "Etude Et Conception D'antennes Ultra Large Bande " Magister En Télécommunications, Université Abou Bakr Belkaid – Tlemcen.
- [11] A. Boyer, "Antennes, Support De Cours Enonce De Travaux Diriges ", Institut National Des Sciences Appliquées De Toulouse.
- [12] C. Hamid, "Conception D'un Nouveau System D'antenne Réseau Conforme En Onde Millimétrique " Maitrise En Ingénierie, Université De Québec A Chicoutimi. Mai 2012.
- [13] Hedi Ragad, "Etude et conception de nouvelles topologies d'antennes résonateur diélectrique dans les bandes UHF et SHF", Thèse de Doctorat, Université de Tunis El Manar Tunisie, novembre 2013.
- [14] Touati Mohamed Houssein Eddine, Mémoire de Fin d'Etudes En vue de l'obtention du diplôme MASTER, "Conception et Simulation d'une antenne micro-ruban circulaire"; 05 Juin 2014.

## *Liste bibliographique*

---

- [15] Hamid Chorfi, "Conception d'un nouveau système d'antenne réseau conforme en onde millimétrique". Mémoire de Magister. Mai 2012. Université du Québec en Abitibi Témiscamingue.
- [16] OumyDiop, "Étude et minimisation du facteur de qualité d'antennes miniatures conçues pour de petits objets communicant". Thèse de Doctorat. 27 septembre 2013, Université de Nice-Sophia Antipolis.
- [17] Adrien Godard, "Conception et réalisation d'un radar ultra large bande impulsif agile (300MHz- 3GHz) ". Thèse de Doctorat. Le 27 octobre 2009, Université de Limoges.
- [18] Adil Kamil, "Conception d'une antenne patch ultra-large bande (3.1 GHz-10.6 GHz)", Mémoire de de Fin d'Etudes, Université du Québec, 2011.
- [19] Zitouni Ahmed, "Étude et conception d'antennes ULB standards et à bandes rejetées", Thèse de Doctorat. Juin 2014, Université Abou-BekrBelkaid – Tlemcen.
- [20] : DhaouBouchouicha, "Etude de faisabilité de la récupération d'énergie électromagnétique ambiante ». Thèse de doctorat, Ecole Doctorale Sante, Sciences, Techniques Laboratoire de Microélectronique de Puissance(LMP), 22 novembre 2010 Université de Tours.
- [21] VAN BLADEL, J.: Some remarks on green's dyadic for infinite space. *Antennas and Propagation, IEEE Transactions*. Vol. 9, Issue 6, pp. 563–566, November 1961.
- [22] : <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/slot-antenna>.
- [23]: Bhohe, A. U., Holloway, C. L.: "Wide-band slot antennas with CPW-feed line: hybride and log-periodic design", *IEEE Transactions on Antennas Propagation*, vol. 52, no. 10, pp 2545-2554, 2004.
- [24] O. Ahmad Mashaal, Al, " A Coplanar Waveguide Fed Two Arm Archimedean Spiral Slot Antenna With Improved Bandwidth ", *IEEE transaction on antenna and propagation*, pp 939, february 2013.
- [25] C. Ghobadi, and Javad Pourahmadazar, al, "Broadband CPW-Fed Circularly Polarized Square Slot Antenna With Three Inverted-L-Shape-Grounded-Strips ", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters* pp 274-275, February 2011.
- [26] Mehrdad Nosrati, Negar Tavassolian, IEEE, "Miniaturized Circularly Polarized Square Slot Antenna with Enhanced Axial-Ratio Bandwidth Using an Antipodal Y-strip," 2016.
- [27] Yonghao Xin, Quanyuan Feng, and Jun Tao, "A CPW-Fed Dual-Band Slot Antenna with Circular Polarization," The authors are with the Institute of Microelectronics, Southwest Jiaotong University, Chengdu, China July, pp 77-77, 2016.
- [28] John J. Borchardt and Tyler C. La Pointe, "U-Slot Patch Antenna Principle and Design Methodology Using Characteristic Mode Analysis and Coupled Mode Theory," Sandia National Laboratories Albuquerque, NM 87185 USA, 2019.

## *Liste bibliographie*

---

- [29] Christian Wolff, les principes du radar  
<https://www.radartutorial.eu/03.linetheory/tl10.fr.html>.
- [30] Paola Zepeda, "Etude D'un Guide a Fente Rayonnantes Réglables", Université de Montréal, aout 1996.
- [31] BelmessaoudDjaouida, "Etude De Nouvelles Antennes Planaires En Tenant Compte Des Surfaces Selectives En Frequence", Université Mohamed Boudiaf - Msila, 2020.
- [32] Zitouni Ahmed, "Étude et conception d'antennes ULB standards et à bandes rejetées". Thèse de Doctorat. Juin 2014. Université Abou-BekrBelkaid – Tlemcen.
- [33] :<https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/electronique-photonique-th13/antennes-42280210/antennes-a-fentes-e3300/>.
- [34] L Douchet, M Sauzeix, S Tisserant, " Electronique MP", 2007.
- [35] Bouaka. a, Temmar. L, " Simulation d'un réseau d'antennes pour les mobiles 5G avec CST Microwave Studio " Mémoire Master, Université De Ouargla, Juin 2018.
- [36] Qing-Xin Chu and Shu Du, "A CPW-Fed Broadband Circularly Polarized Square Slot Antenna", School of electronic and information Engineering, south China University of Technology Guangzhou, People's Republic of China, 2010

## *Liste bibliographie*

---

## *Résumé*

Les antennes à fente sont des éléments micro-ondes omnidirectionnelles populaires. L'objectif principal de ce travail a été consacré à la conception et la configuration d'antenne planaire large bande pour des applications aux systèmes de télécommunication.

On a présenté une antenne à fente large bande à polarisation circulaire (CP) alimentée par un guide d'onde coplanaire (CPW) dans deux différentes structures. Certains paramètres clés sont étudiés pour analyser les caractéristiques de l'antenne en termes de coefficient de réflexion (S11), diagramme de rayonnement, impédance caractéristique, gain et distribution du courant. La simulation de cette antenne a été effectuée en utilisant le logiciel de conception CST MICROWAVE STUDIO.

**Mots clés :** Antenne à Fente, Polarisation Circulaire(CP), Large Bande, Technologie CPW (CoplanarWave Guide).

## *Abstract*

Slot antennas are popular omnidirectional microwave antenna. The main objective of this work was devoted to the design and configuration of broadband planar antenna for telecommunication systems applications.

We presented a circularly polarized (CP) broadband slot antenna fed by a coplanar waveguide (CPW) in two different structures; some key parameters are studied to analyze the characteristics of the antenna in terms of reflection coefficient (S11), radiation pattern, characteristic impedance, gain and current distribution. The simulation of this antenna was carried out using the CST MICROWAVE STUDIO design software.

**Key words** Slot antenna, Circular Polarization (CP), Broadband, CPW (Coplanar Wave Guide) Technology.

## *ملخص*

الهوائيات ذات الفتحات هي هوائي ميكروويف شائع متعدد الاتجاهات. تم تكريس الهدف الرئيسي من هذا العمل لتصميم وتشكيل هوائي مستوي النطاق العريض للتطبيقات في أنظمة الاتصالات. قدمنا هوائي ذو فتحة عريضة النطاق مستقطب دائرياً (CP) يغذيه دليل موجي متحد المستوي (CPW) في بنيتين مختلفتين، تمت دراسة بعض المعلمات الرئيسية لتحليل خصائص الهوائي من حيث معامل الانعكاس (S11)، ومخطط الإشعاع، والمقاومة المميزة، الكسب والتوزيع الحالي: تم تنفيذ محاكاة هذا الهوائي باستخدام برنامج تصميم CST MICROWAVE STUDIO.