

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

*Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj*  
*Faculté des Sciences et de la technologie*  
*Département d'Électronique*

## *Mémoire*

*Présenté pour obtenir*

**LE DIPLÔME DE MASTER**

**FILIÈRE : TÉLÉCOMMUNICATION**

**Spécialité : Systèmes des Télécommunications**

Par

- **TEBBAL KHALIL AMINE**
- **DJAIZ IMENE**

*Intitulé*

***Conception des Antennes à Lentille diélectrique***

*Par la commission d'évaluation composée de :*

<i>Nom &amp; Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Établissement</i>
<i>Mme. Adoui Ibtissem</i>	<i>MCB</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. Belazzoug Massinissa</i>	<i>MCB</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Mme Lakhlef Nora</i>	<i>MCB</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>

## **REMERCIEMENTS**

*Avant tout nous remercions ALLAH pour son aide et pour nous donné la patience et le courage pour accomplir ce travail de recherche.*

*Nous tenons à exprimer notre sincère gratitude au Dr Belazzoug Massinissa pour son aide, ses efforts, ses encouragements, ses conseils clairs et son soutien tout au long de ce projet.*

*Nous tenons également à exprimer notre gratitude au jury pour avoir accepté de juger notre travail.*

*Remerciements à tous les professeures et administrateurs du département d'électronique.*

*Nous voudrions exprimer nos gratitudes envers notre famille pour leur soutien, leur encouragement tout au long de cette période.*

**DÉDICACES**

*Nous dédions cette mémoire pour nos parents, qui ont toujours été nos plus  
grands soutient,*

*Nos frères et sœurs*

*Pour nos amis proches et nos amis de la promo*

*Pour tous les membres de nos familles.*

## **Table des matières**

Table des matières.....	I
Liste des figures.....	III
Liste des tableaux.....	VI
Liste des abréviations.....	VII
Résumer.....	VIII
Abstract.....	VIII
ملخص.....	VIII
Introduction générale.....	1

### **Chapitre I : Généralité sur les antennes a lentilles diélectrique**

I.1 Introduction.....	3
I.2 Historique.....	3
I.3 Théorie d'une antenne à lentille diélectrique .....	4
I.4 Principe de fonctionnement.....	5
I.5 Types de lentilles diélectriques .....	5
I.5.1 Lentille alimentée hors-corps.....	5
I.5.2 Lentilles intégrées .....	6
I.6 Paramètres d'antennes .....	9
I.6.1 Angle solide du faisceau et température de l'antenne .....	9
I.6.2 Directivité et gain .....	10
I.6.3 Largeur de faisceau d'antenne .....	12
I.7 Polarisation.....	13
I.8 Les méthodes d'analyse des antennes à lentilles diélectriques (Domaine temporel à différence finie (FDTD)).....	13
I.9 Matériaux de lentille .....	14
I.10 Fabrication.....	14
I.10.1 La fabrication par CNC.....	15
I.10.2 Technique du moulage.....	15
I.10.3 L'impression 3D.....	15
I.11 Les types de l'alimentation .....	16
I.11.1 L'alimentation par fente croisée exponentiellement effilée (XETS).....	16

I.11.2 Alimentation à fente fuyante.....	16
I.11.3 Alimentations à base de patchs rectangulaires ou de guide d'ondes pour les antennes à lentille.....	16
I.11.4 Alimentations par cornet.....	16
I.12 Applications .....	16
I.13 Avantages et inconvénients .....	17
I.13.1 les avantages .....	17
I.13.2 Les inconvénients .....	17
I.14 Etat de l'art sur des antennes a lentilles diélectriques.....	16
I.15 Conclusion.....	24

## **Chapitre II : Validation d'une antenne à lentilles diélectrique**

II.1 Introduction.....	23
II.2 Descriptions du logiciel CST.....	23
II.3 Validation de l'antenne.....	24
II.3.1 Géométrie de l'antenne.....	24
II.3.2 Prototype et résultats des simulations.....	27
II.3.3 Validation de la structure par CST.....	29
II.3.4 Améliorations.....	31
II.4 les contributions dans le domaine des antennes à lentille diélectriques.....	37
II.4.1 Contribution 1.....	37
II.4.2 Contribution 2.....	41
II.4.3 Contribution 3.....	45
II.5 Conclusion.....	49
Conclusion générale.....	50
Bibliographie.....	51

## Liste des figures

### CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉ SUR LES ANTENNES LENTILLES DIÉLECTRIQUE

<b>Figure I.1</b> Antenne à lentille diélectrique.....	4
<b>Figure I.2</b> Principe de fonctionnement de l'antenne à lentille diélectrique.....	5
<b>Figure I.3</b> Lentilles alimentés hors corps. A) Lentille elliptique ; (B) Lentille hyperbolique.....	6
<b>Figure I.4</b> Lentille de Luneburg avec une couleur plus foncée représentant une permittivité croissant.....	7
<b>Figure I.5</b> Lentille de Luneburg demi-hémisphérique.....	7
<b>Figure I.6</b> Lentille cylindrique Luneburg.....	7
<b>Figure I.7</b> (A) Lentille fish-eye Maxwell. (B) Lentille fish-eye Maxwell.....	8
<b>Figure I.8</b> (A) antenne à lentille diélectrique elliptique ; (B) rayons réflexion à l'intérieur de la lentille.....	8
<b>Figure I.9</b> Antenne lentille intégrée hémisphérique.....	9
<b>Figure I.10</b> Angle solide du fiscaux.....	9
<b>Figure I.11</b> Présentation de la méthode (BOR-FDTD).....	12
<b>Figure I.12</b> Fabrication de lentilles par technique de machine CNC.....	13
<b>Figure I.13</b> Fabrication de lentilles par technique de moulage.....	13
<b>Figure I.14</b> Antennes de lentilles intégrées alimentées par l'antenne à fente de l'ISF et l'AMP réseau.....	16
<b>Figure I.15</b> (A) Paramètres S de l'antenne à fente de l'ISF. (B) Paramètres S du réseau MPA (c). Sans lentille diélectrique (d). Avec lentille diélectrique.....	16
<b>Figure I.16</b> Diagramme de rayonnement de l'antenne à fente de l'ISF à 28 GHz (a). Plan E (b). Plan H (C) Sans lentille diélectrique (D) Avec lentille diélectrique.....	17
<b>Figure I.17</b> Diagramme de rayonnement du réseau d'AMP à 28 GHz (a). Plan E (b). Plan H (C) Sans lentille diélectrique (D) Avec lentille diélectrique.....	17
<b>Figure I.18</b> Gain mesuré par rapport à la fréquence de l'AMP et de l'ISF avec des antennes de lentilles diélectriques pour $H/R = 0.3$ .....	17
<b>Figure I.19</b> Configuration de l'antenne à lentille diélectrique intégrée proposée.(a) Vue en perspective. (b) Vue de dessous.....	18
<b>Figure I.20</b> S11 de l'antenne intégrée à lentille diélectrique proposée. (a) Simulé et des résultats mesurés. (b) S11 simulé avec et sans gabarit.....	18
<b>Figure I.21</b> Antenna gains of the proposed dielectric lens-integrated antenna.....	18
<b>Figure I.22</b> Diagrammes de rayonnement simulés et mesurés de l'antenne à lentille diélectrique intégrée proposée. ....	19
<b>Figure I.23</b> Métasurface symétrique par glissement : a) structure perforée; b) diagramme de dispersion d'une structure symétrique par glissement; c) distribution du champ d'une lentille de Luneburg.....	19
<b>Figure I.24</b> Mise en œuvre finale et diagramme de rayonnement d'une métasurface a symétrique de	

glissement : a) lentille de Luneburg à trois ports; b) diagramme de rayonnement en trois différentes directions.....20

**Figure I.25** (a) Modèle Ansys HFSS de l'antenne basée sur LAS p ; (b) Réseau d'alimentation où toutes.....20

**Figure I.26** Coefficient de réflexion à l'entrée pour le réseau assemblé. Ligne pleine - lentille centrale, ligne en pointillés - lentilles externes.....21

**Figure I.27** Gain simulé, gain mesuré en copolarisation et gain mesuré en contre-polarisation dans le plan E lorsque l'antenne basée sur LAS est configurée pour une radiation en direction principale.....21

**Figure I.28** Performance de déviation du faisceau de l'antenne basée sur LAS normalisée par rapport à la radiation en direction principale.....21

**Figure I.29** Diagrammes de rayonnement simulés et mesurés pour les excitations de l'antenne d'alimentation B et C. ....21

## **CHAPITRE II : VALIDATION D'UNE ANTENNES LENTILLE DIÉLECTRIQUE**

**Figure II.1** Interface graphique du CST .....23

**Figure II.2** La géométrie de l'antenne proposée .....24

**Figure II.3** Résultats de simulation de coefficient de réflexion(S11) et le gain .....24

**Figure II.4** Antenne à lentille diélectrique placée sur la MPA(ILA) .....25

**Figure II.5** Les différentes dimensions de l'ILA. (A) Vue de dessus; (B) Vue de côté.....25

**Figure II.6** Coefficient de réflexion simulée de MPA intégrée avec différents lentilles .....26

**Figure II.7** Diagramme de rayonnement simulie de MPA intégrée avec lentilles.....26

**Figure II.8** Gain réalisé simulé de MPA et MPA intégré avec lentilles .....27

**Figure II.9** Photographie de l'antenne fabriquée .....27

**Figure II.10** Comparaison des résultats simulie et mesurée pour le coefficient de réflexion .....28

**Figure II.11** Comparaison des résultats simulie et mesurée pour le diagramme de rayonnement .....28

**Figure II.12** Simulation du gain avec un rayon du  $1,5 \lambda_0$  .....28

**Figure II.13** Simulation du gain du MPA et ILA avec un rayon du  $1 \lambda_0$  et du  $1.5 \lambda_0$ .....29

**Figure II.14** Coefficient de réflexion avec et sans lentille diélectrique.....29

**Figure II.15** Diagramme de rayonnement du gain en 3D. (A) avec lentille, (B) sans lentille.....30

**Figure II.16** Diagramme de rayonnement en 2D. (A)  $\phi=0$ . (B)  $\phi=90$ , à  $58.5$  avec et sans lentille.30

**Figure II.17** Le Gain réalisé de l'antenne avec et sans lentille.....31

**Figure II.18** La Géométrie de L'ILA. (A) La structure de l'MPA, (B) La structure de lentille diélectrique.....32

**Figure II.19** Coefficient de réflexion de l'antenne avec et sans lentille.....32

**Figure II.20** Diagramme de rayonnement du gain en 3D à 60 GHZ. (A) avec lentille, (B) sans lentille.....33

<b>Figure II.21</b> Diagramme de rayonnement en 2D. (A) dans le plans $\phi=0$ . (B) dans le plan $\phi=90$ à 60	33
.....	.....
<b>Figure II.22</b> Le gain du l'antenne avec et sans lentille.....	34
<b>Figure II.23</b> Coefficient de réflexion du l'antenne avec lentille.....	34
<b>Figure II.24</b> Diagramme de rayonnement du gain en 3D à 60 GHZ avec lentille diélectrique.....	35
<b>Figure II.25</b> Diagramme de rayonnement en 2D. (A) dans le plans $\phi=0$ . (B) dans le plan $\phi=90$ à 60	35
GHZ avec lentille.....	.....
<b>Figure II.26</b> Le gain du l'antenne avec lentille diélectrique.....	36
<b>Figure II.27</b> Antenne fente.....	37
<b>Figure II.28</b> Résultats de coefficient de réflexion et du gain.....	38
<b>Figure II.29</b> Structure de l'antenne parabolique.....	38
<b>Figure II.30</b> Coefficient de réflexion avec et sans lentille.....	39
<b>Figure II.31</b> Diagramme de rayonnement du gain en 3D à 80 GHZ. (A) avec lentille, (B) sans	39
lentille.....	.....
<b>Figure II.32</b> Diagramme de rayonnement du gain en 2D dans le plan $\phi=0$ avec et sans lentille. (A)	40
90 GHZ, (B) 75 GHZ, (C) 60 GHZ.....	.....
<b>Figure II.33</b> Diagramme de rayonnement du gain en 2D dans le plan $\phi=90$ avec et sans lentille. (A)	40
90 GHZ, (B) 75 GHZ, (C) 60 GHZ.....	.....
<b>Figure II.34</b> Le gain de l'antenne avec et sans lentille.....	41
<b>Figure II.35</b> Géométrie de l'antenne.(A) antenne fente (B) vue en dessus.(C) antenne à lentille	42
diélectrique.....	.....
<b>Figure II.36</b> Les définitions analytique de la courbe.....	42
<b>Figure II.37</b> Coefficient de réflexion avec et sans lentille.....	43
<b>Figure II.38</b> Diagramme de rayonnement du gain en 3D à 80 GHZ. (A) avec lentille, (B) sans	43
lentille.....	.....
<b>Figure II.39</b> Diagramme de rayonnement du gain en 2D dans le plan $\phi=0$ avec et sans lentille. (A)	44
50 GHZ, (B) 65 GHZ, (C) 80 GHZ.....	.....
<b>Figure II.40</b> Diagramme de rayonnement du gain en 2D dans le plan $\phi=0$ avec et sans lentille. (A)	44
50 GHZ, (B) 65 GHZ, (C) 80 GHZ.....	.....
<b>Figure II.41</b> Gain de l'antenne avec et sans lentille.....	45
<b>Figure II.42</b> Coefficient de réflexion avec et sans lentille.....	46
<b>Figure II.43</b> Diagramme de rayonnement du gain en 3D. (A) sans lentille, (B) avec lentille.....	46
<b>Figure II.44</b> Diagramme de rayonnement du gain en 2D dans le plan $\phi=0$ avec et sans lentille (A)	47
76 GHZ, (B) 80 GHZ, (C) 86 GHZ.....	.....
<b>Figure II.45</b> Diagramme de rayonnement du gain en 2D dans le plan $\phi=90$ avec et sans lentille. (A)	47
76 GHZ, (B) 80 GHZ, (C) 86 GHZ.....	.....
<b>Figure II.46</b> Le gain de l'antenne avec et sans lentille.....	48



## Liste des tableaux

### *CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉ SUR LES ANTENNES LENTILLE DIÉLECTRIQUE*

<b>Tableau I.1</b> Methodes possibles d'analyse de l'antenne.....	11
<b>Tableau I.2</b> Valeurs de permittivité mesurées de différents matériaux a 60 GHZ.....	12

### *CHAPITRE II : VALIDATION D'UNE ANTENNES LENTILLE DIÉLECTRIQUE*

<b>Tableau II.1</b> Dimensions d'antenne proposée.....	26
<b>Tableau II.2</b> Dimensions d'antenne amélioré.....	32
<b>Tableau II.3</b> Comparaison des Résultats des simulations.....	36
<b>Tableau II.4</b> Dimensions de l'antenne.....	39
<b>Tableau II.5</b> Dimensions de l'antenne.....	42
<b>Tableau II.6</b> Dimensions de l'antenne.....	46

***Liste des abréviations***

**ILA** : Integrated Lens Antenna (Antenne à lentille intégrée)

**MPAs** : Microstrip Patch Antennas (Antennes à patch microstrip)

**FDTD** : Finite Difference Time Domain (Domaine temporel à différence finie)

**BOR** : Boundary-Optimized Reflector (Réflecteur à Frontière Optimisée)

**CNC** : Computer Numerical Control (Commande numérique par ordinateur)

**SIW** : Substrate Integrated Waveguide (Guide d'ondes intégré au substrat)

**XETS** : Exponentially Tapered Slot (Fente croisée exponentiellement effilée)

**CST** : Computer Simulation Technologie

**HFSS** : High Frequency Structure Simulator

**GHz** : Gigahertz (unité de mesure de fréquence équivalente à un milliard de hertz)

## Résumé

L'objectif principal de ce travail est d'étudier et développer des conceptions des antennes à lentilles diélectriques. Les performances d'une antenne à lentille diélectrique intégrée (ILA) fonctionnant dans la plage des ondes millimétriques (60 GHz) sont ensuite examinées en fonction de différents matériaux diélectriques. Une antenne microstrip rectangulaire avec une lentille diélectrique hémisphérique étendue constitue l'ILA. Pour vérifier les résultats de simulation, un prototype d'ILA composé d'une antenne microstrip fixée à une lentille diélectrique hémisphérique étendue (en téflon). Ensuite, une amélioration fait pour développer les performances de l'antenne telles que le gain et la bande passante avec les matériaux en téflon et réxolite. À la fin, des contributions ont présenté dans le domaine des antennes à lentilles diélectriques afin d'ouvrir de nouvelles perspectives pour des applications pratiques.

**Mots clés(\*) :** Lentille diélectrique, antenne à lentille intégrée, onde millimétrique, amélioration du gain.

## Abstract

The main objective of this work is to study and develop designs of dielectric lens antennas. The performance of an Integrated Dielectric Lens Antenna (ILA) operating in the millimeter wave (60 GHz) range is then examined with respect to different dielectric materials. A rectangular microstrip antenna with an extended hemispherical dielectric lens constitutes the ILA. To verify the simulation results, a prototype ILA consisting of a microstrip antenna attached to an extended hemispherical (Teflon) dielectric lens. Then, an improvement made to develop antenna performance such as gain and bandwidth with teflon and rexolite materials. At the end, contributions presented in the field of dielectric lens antennas in order to open new perspectives for practical applications.

**Keywords(\*):** Dielectric lens, integrated lens antenna, millimeter wave, gain enhancement.

## ملخص

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو دراسة وتطوير تصميمات هوائيات العدسة العازلة للكهرباء. يتم بعد ذلك فحص أداء هوائي العدسة العازلة المتكاملة (ILA) الذي يعمل في نطاق موجة المليمتر (60 جيجاهرتز) فيما يتعلق ب مواد عازلة مختلفة. يشكل هوائي microstrip المستطيل مع عدسة عازلة نصف كروية ممتدة ILA. للتحقق من نتائج المحاكاة ، نموذج أولي لـ ILA يتكون من هوائي microstrip متصل بعدسة عازلة نصف كروية ممتدة (تفلون). بعد ذلك ، تم إجراء تحسين لتطوير أداء الهوائي مثل الكسب وعرض النطاق الترددي باستخدام مواد التفلون والريكسوليت. في النهاية ، قدمت مساهمات في مجال هوائيات العدسة العازلة من أجل فتح آفاق جديدة للتطبيقات العملية.

**الكلمات الرئيسية (\*) :** العدسة العازلة ، هوائي العدسة المتكاملة ، موجة المليمتر ، تحسين الكسب.

---

## *Introduction générale*

---

## *Introduction générale*

L'évolution des technologies de communication et des systèmes sans fil conduit à une demande croissante en termes des performances des antennes. Les antennes jouent un rôle crucial dans la transmission et la réception des signaux, et leur conception optimale est essentielle pour assurer une communication efficace et fiable.

Parmi les différentes catégories d'antennes, les antennes à lentilles diélectriques se sont révélées être une solution prometteuse pour améliorer les performances en termes de gain, de directivité et de bande passante.

Ces antennes offrent des opportunités dans divers domaines d'applications, telles que les communications sans fil, les radars, systèmes de détection, les applications d'onde millimétrique et submillimétrique et bien d'autres. La capacité des antennes à lentilles diélectriques est leurs principales caractéristiques de focaliser les ondes électromagnétiques. La lentille diélectrique, constituée d'un matériau diélectrique, altère la propagation des ondes et les concentre dans une direction particulière.

La problématique qui se pose comment concevoir et optimiser les antennes lentilles diélectriques pour obtenir de meilleures performances, une meilleure directivité et une large bande passante.

Pour répondre à cette problématique, nous avons fait cette mémoire qui est pour l'objectif d'étudier les principes des antennes lentilles diélectriques et de développer de nouvelles conceptions pour obtenir de meilleures performances.

Le présent mémoire est dévissé en deux chapitres et une conclusion générale. Il est présenté comme suite :

Dans le premier chapitre, on va présenter les fondements théoriques des antennes a lentilles diélectriques, commençons par définir que ce qu'est une antenne à lentille diélectrique et leur fonctionnement. Par la suite, on a abordé les différents types et leurs propriétés. On va aussi discuter les domaines des applications, les avantages et les inconvénients. À la fin, un état de l'art sur les antennes à lentilles diélectriques et les approches utilisées sera dévoilé.

Le deuxième chapitre sera consacré sur deux parties. Dans la première partie, on va discuter le logiciel CST Microwave. Ensuite, on va décrire l'antenne à lentille diélectrique, puis les résultats des simulations sont illustrés. Dans la suite, une validation et une comparaison pour

ces résultats été établies. Dans la dernière partie, on va mettre en évidence les contributions spécifiques dans les domaines des lentilles diélectriques et une discussion sur tous les résultats de simulations pour montrer les performances des antennes proposées.

---

***CHAPITRE 1***

***GÉNÉRALITÉ SUR LES ANTENNES À LENTILLES DIÉLECTRIQUE***

---

## ***1.1 Introduction***

Les antennes à lentilles diélectriques sont devenues de plus en plus populaires en raison de leur capacité à améliorer la directivité, le gain, la puissance du signal, la bande passante. Elles sont utilisées dans une grande variété d'applications, telles que les communications sans fil, les radars, les systèmes de surveillance et les systèmes de navigation. La conception et la fabrication d'antennes à lentilles diélectriques peuvent être complexes en raison de l'utilisation de matériaux diélectriques spécifiques, de la complexité de la forme de la lentille et des différents types de conception.

Dans ce chapitre, nous allons présenter les principes fondamentaux des lentilles diélectriques, ainsi que les différents types d'antennes et leurs performances. Nous allons également discuter des différentes méthodes de conception, analyser les avantages et les inconvénients des antennes à lentilles diélectriques et les applications dans lesquelles elles peuvent être utilisées. À la fin, nous présentons un état de l'art sur les antennes à lentilles diélectriques.

## ***1.2 Historique***

L'histoire de l'antenne à lentille diélectrique remonte aux premières recherches sur les ondes radio dans les années 1890. Le physicien James Clerk Maxwell avait prédit l'existence des ondes électromagnétiques en 1873, et Heinrich Hertz a découvert les ondes radio en 1887. Les premières expériences consistaient à réfracter et à focaliser les ondes radio à l'aide de lentilles en paraffine, soufre et goudron.

En 1887, Hertz a démontré la réfraction des ondes radio à 450 MHz en utilisant une lentille en goudron de 6 pieds. En 1889, Oliver Lodge et James L. Howard ont tenté de réfracter des ondes de 300 MHz avec des lentilles cylindriques en goudron, mais sans succès en raison de la taille de l'appareil [1].

En 1894, Lodge a réussi à focaliser des micro-ondes de 4 GHz avec une lentille en verre de 23 cm. La même année, le physicien Jagadish Chandra Bose a construit des antennes à lentilles en utilisant une lentille cylindrique en soufre de 2,5 cm pour collimater le faisceau de micro-ondes de son oscillateur à étincelles.

Cependant, à l'époque, les micro-ondes étaient limitées à la propagation en ligne de vue et avaient une portée limitée. Le développement des antennes à lentilles modernes a eu lieu pendant la Seconde Guerre mondiale, avec l'expansion de la recherche sur les micro-ondes pour



développer des radars militaires. En 1946, R.K. Luneberg a inventé la lentille Luneberg.

En 1990, Les recherches sur les antennes à lentilles diélectriques ont connu une avancée significative au cours de ces décennies. Des techniques de modélisation avancées et des simulations numériques ont permis d'optimiser la conception des antennes à lentilles diélectriques et de mieux comprendre leur comportement.

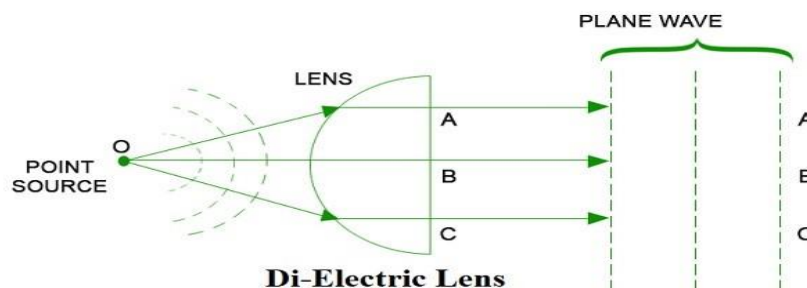
Années 2000-2021 : Avec les progrès technologiques et l'amélioration des outils de simulation, les antennes à lentilles diélectriques ont été largement utilisées dans divers application. Les chercheurs explorent de nouveaux matériaux diélectriques et fait des efforts sont également déployés pour intégrer les antennes à lentilles diélectriques avec d'autres technologies émergentes, comme l'intelligence artificielle et l'apprentissage automatique, pour créer des systèmes d'antennes plus adaptatifs et intelligents [1].

### ***I.3 Théorie d'une antenne à lentille diélectrique***

Une antenne à lentille diélectrique est un type d'antenne qui utilise une lentille diélectrique (figure I.1) pour améliorer les performances de l'antenne. Ainsi qu'utilisée pour modifier la phase ou l'amplitude (ou les deux) du diagramme de rayonnement de l'alimentation primaire en un diagramme de rayonnement à gain élevé ; soit pour des applications de faisceau fixe ou de balayage [2]. La lentille diélectrique est généralement en forme de lentille convexe et est fabriquée à partir d'un matériau diélectrique tel que le verre, le polystyrène, le téflon ou d'autres.

En conséquence, l'antenne à lentille diélectrique peut offrir une meilleure directivité et une meilleure efficacité par rapport à une antenne sans lentille diélectrique.

Les antennes lentilles diélectriques sont couramment utilisées dans les radars, les communications satellitaires, applications d'imagerie, les systèmes de navigation et les systèmes de surveillance.

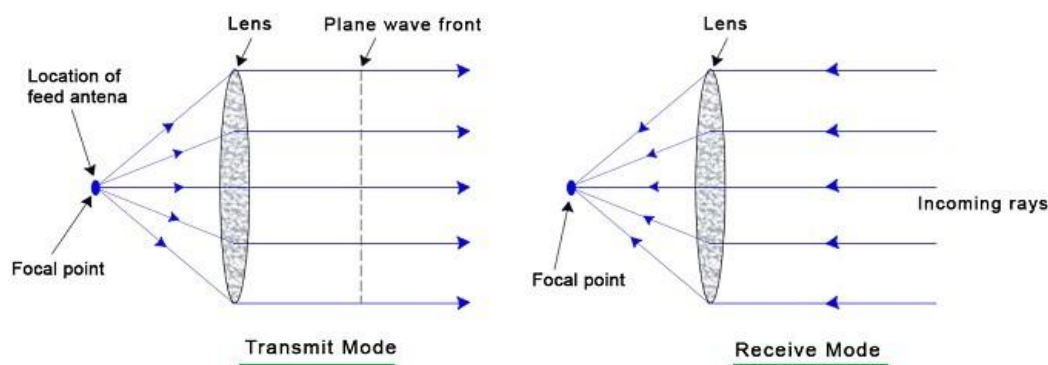


**Figure I.1** Antenne à lentille diélectrique [3].

### ***1.4 Principe de fonctionnement***

Le principe de fonctionnement de la lentille est basé sur la réfraction des ondes électromagnétiques sur les surfaces de la lentille (dans le cas de lentilles isotropes homogènes) ou à l'intérieur du matériau diélectrique de la lentille dans le cas de lentilles à indice de réfraction non uniforme. Par exemple, dans l'une de ses configurations les plus élémentaires, (la figure I.2), les rayons parallèles d'une onde plane incidente sont réfractés au niveau des surfaces de la lentille de telle sorte que tous les rayons de sortie se croisent en un point, nommé le point focal de la lentille [2].

Tous ces rayons ont la même longueur de chemin électrique, c'est-à-dire qu'ils arrivent en phase au point focal malgré leurs longueurs physiques différentes qui sont compensées par une vitesse de phase plus lente ( $v = c/n$ ) dans différentes parties de la lentille.



*Figure 1.2 Principe de fonctionnement de l'antenne à lentilles diélectrique [3].*

### ***1.5 Types de lentilles diélectriques***

La classification des lentilles est basée sur trois caractéristiques physiques différentes : la position de l'alimentation par rapport au corps de la lentille (loin de la lentille ou en contact direct), le profil d'indice de réfraction (constant/étagé ou non uniforme) et le nombre de surfaces de réfraction.

#### ***1.5.1 Lentille alimentée hors-corps***

Les premiers travaux sur les antennes à lentilles diélectriques étaient basés sur les concepts de lentilles optiques [4]. La plupart des tests de la fin des années 1800 et du début des années 1900 ont été réalisés avec des lentilles alimentées hors du corps, qui ont été utilisées pour collimater le rayonnement d'une onde plane vers l'alimentation placée au point focal à l'opposé de la lentille.

### 1.5.1.1 Lentilles à réfraction unique

Les deux types de lentilles simples avec une seule surface de réfraction sont les lentilles elliptiques et les lentilles hyperboliques comme montre dans la figure (I.3).

Dans une lentille elliptique, la surface interne est sphérique et ne réfracte pas les rayons, tandis que la collimation des rayons est obtenue à partir de la surface externe elliptique. Dans une lentille hyperbolique, la réfraction se produit dans la surface hyperbolique la plus proche de la source, tandis que la surface externe de la lentille est plane et ne réfracte pas les rayons.

La lentille elliptique a une directivité plus élevée et des niveaux de lobes latéraux inférieurs, mais souffre de réflexions à la surface interne de la lentille, tandis que la lentille hyperbolique est plus facile à fabriquer, car elle est plane, mais peut présenter des niveaux de lobes latéraux plus élevés [4].

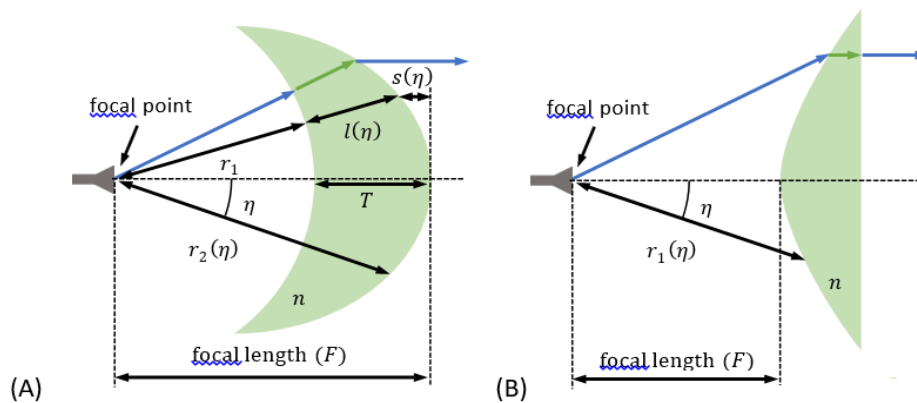


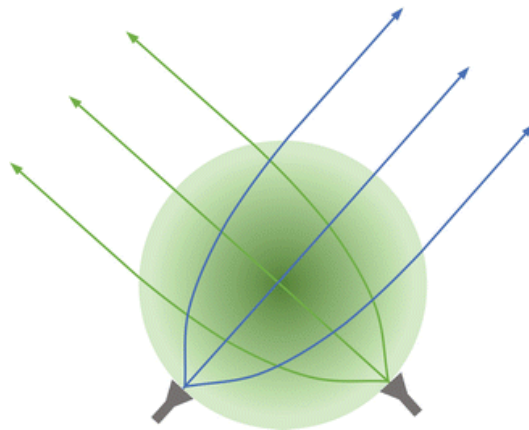
Figure I.3 Lentilles alimentées hors corps. A) Lentille elliptique ; (B) Lentille hyperbolique [5].

## 1.5.2 Lentilles intégrées

### 1.5.2.1 Lentilles sphériques à indice non uniforme

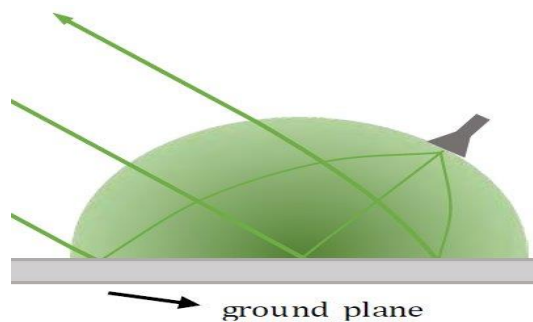
Ces lentilles sphériques n'ont pas de point focal unique, mais plutôt une surface sphérique concentrique à la lentille où le point focal peut être situé en fonction de la direction de l'onde incidente. La lentille sphérique la plus connue est la lentille de Luneburg (figure I.4).

Une lentille de Luneburg est une lentille sphérique constituée de couches concentriques de matériaux diélectriques. Elle peut être utilisée comme antenne dans les applications à faisceaux multiples, car sa symétrie garantit que tous les faisceaux sont égaux indépendamment de la position d'alimentation sur la surface de la lentille [6].



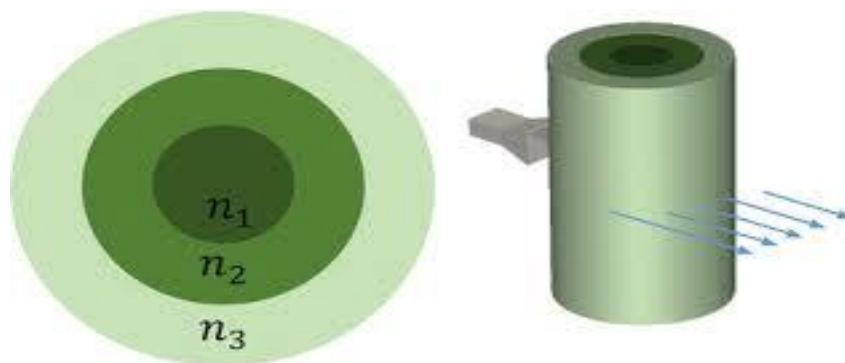
**Figure I.4** Lentille de Luneburg avec une couleur plus foncée représentant une permittivité croissante [5].

Il existe plusieurs configurations de lentilles Luneburg qui diffèrent par leur forme et leur géométrie. La configuration la plus courante est la lentille hémisphérique Luneburg (figure I.5), qui a une géométrie sphérique et une variation continue de l'indice de réfraction à partir de son centre jusqu'à sa surface. Cette configuration permet une collimation et une focalisation précises des faisceaux électromagnétiques [7].



**Figure I.5** Lentille de Luneburg demi-hémisphérique [5].

Une autre configuration de lentille Luneburg est la lentille cylindrique (figure I.6), qui a une géométrie cylindrique et une variation continue de l'indice de réfraction dans la direction radiale. Cette configuration produit des faisceaux en forme d'éventail plutôt que des faisceaux en forme de crayon [8].



**Figure I.6** Lentille cylindrique de Luneburg [5].

Enfin, il existe une configuration de lentille Luneburg appelée lentille à œil de poisson de Maxwell comme montre dans la (figure I.7). Cette lentille a une géométrie sphérique comme la lentille Luneburg sphérique, mais l'indice de réfraction suit une loi différente. Elle est plus simple à réaliser que la lentille Luneburg, mais elle perd de son intérêt pour les applications de balayage de faisceau [9].

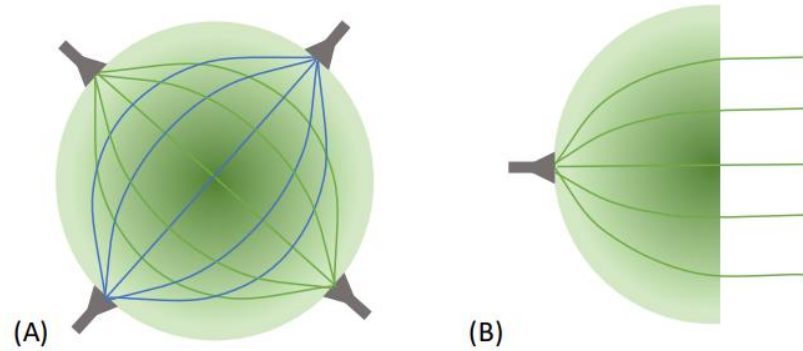


Figure I.7 lentille à œil de poisson de Maxwell [5].

### I.5.2.2 Lentilles hémisphériques et elliptique

#### I.5.2.2.1 Lentille elliptique

L'antenne à lentille elliptique (Figure I.8) est conçue pour focaliser les ondes électromagnétiques. Grâce à la forme elliptique de la lentille, les rayons incidents sont réfractés de manière à converger vers un point focal spécifique. La lentille peut subir des réflexions internes qui peuvent changer le diagramme de rayonnement, mais cela peut être atténué en ajoutant une couche d'adaptation à sa surface [10].

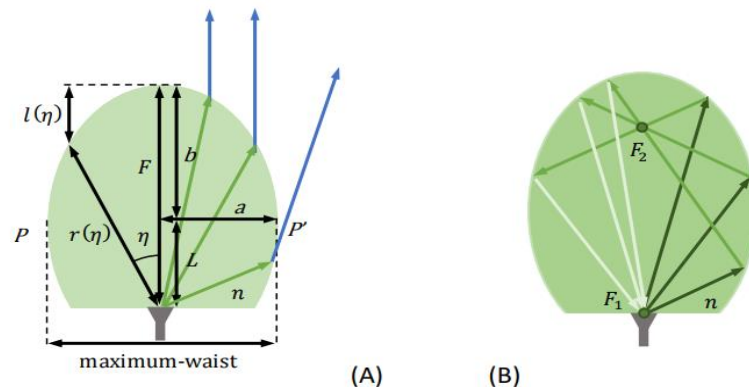
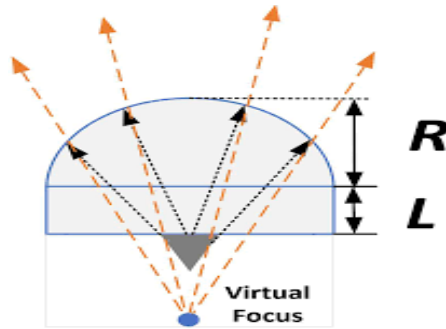


Figure I.8 (A) antenne à lentille elliptique intégrée ; (B) rayons de réflexion à l'intérieur de la lentille [5].

#### I.5.2.2.2 Lentille hémisphérique

Une lentille hémisphérique est un type de lentille optique qui a la forme d'une demi-sphère (figure I.9). La distance focale de la lentille hémisphérique dépend de la courbure de sa

surface, ainsi que de l'indice de réfraction du matériau dont elle est faite. Les lentilles hémisphériques sont utilisées dans de nombreuses applications optiques, notamment les instruments d'observation, les objectifs de caméra, etc. Il existe plusieurs types d'antennes hémisphériques, notamment les antennes hémisphériques classiques, les antennes hyper-hémisphériques [11].



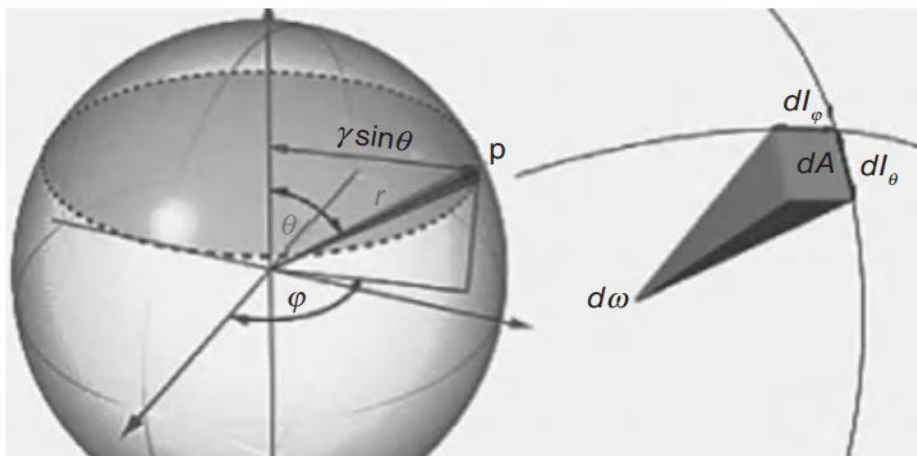
*Figure I.9 Antenne lentille intégrée hémisphérique [12].*

## **I.6 Paramètres d'antennes**

### **I.6.1 Angle solide du faisceau et température de l'antenne**

La puissance des ondes électromagnétiques émanant d'une antenne dépend de la direction spatiale ; ce phénomène est appelé le diagramme de rayonnement. Pour une antenne sans perte, l'angle solide du faisceau  $\Omega_A$  est défini dans la Figure I.10, est utilisé pour estimer la température d'antenne.

La température d'antenne est une mesure pratique pour la puissance de sortie par unité de fréquence d'une antenne de réception. Elle n'a rien à voir avec la température physique de l'antenne mesurée par un thermomètre. Elle peut être calibrée par une comparaison directe avec différentes résistances de charge connectées à l'entrée du récepteur [13].



*Figure I.10 Angle solide du faisceau [14]*

### ***1.6.2 Directivité et gain***

La directivité d'une antenne est donnée par le rapport de l'intensité maximale de rayonnement (puissance par unité d'angle solide) à l'intensité moyenne de rayonnement (moyennée sur une sphère). En réalité, le radiateur isotrope avec un diagramme de rayonnement (exprimé en coordonnées sphériques) est donné par l'équation suivante :

$$E(r, \theta, \phi) = \frac{e^{-jkr}}{4\pi r} u(\theta, \phi)$$

La directivité d'une antenne à lentille diélectrique dépend de plusieurs facteurs, notamment de la géométrie de l'antenne, de la longueur d'onde de l'onde électromagnétique, de la permittivité diélectrique du matériau de la lentille, de l'épaisseur de la lentille et de la fréquence d'opération.

Le gain maximal d'une antenne est simplement défini comme le produit de la directivité et de son efficacité de rayonnement. Il peut être exprimé comme suit :

$$\text{Gain} = \text{directivité} \times \text{efficacité.}$$

Par conséquent, une antenne à lentille diélectrique peut offrir un gain élevé grâce à sa directivité élevée et à son efficacité accrue, ainsi qu'à la grande surface physique offerte par la lentille diélectrique [13].

### ***1.6.3 Largeur de faisceau d'antenne***

Le diagramme de rayonnement d'une antenne est essentiellement la transformation de Fourier (de l'espace linéaire à l'angle) de sa fonction d'illumination d'ouverture. Il existe quatre types de configurations d'antennes pour un émetteur (Tx) et un récepteur (Rx) dans un système de communication :

- 1 — Tx (antenne omnidirectionnelle) versus Rx (antenne omnidirectionnelle).
- 2— Tx (antenne omnidirectionnelle) versus Rx (antenne directionnelle)
- 3— Tx (antenne directionnelle) versus Rx (antenne omnidirectionnelle)
- 4— Tx (antenne directionnelle) versus Rx (antenne directionnelle)

Les antennes omnidirectionnelles émettent des signaux dans toutes les directions, ce qui les rend utiles dans les terminaux mobiles ou portables. En revanche, les antennes à lentilles sont utilisées comme antennes directionnelles qui ont un faisceau étroit dans une direction

souhaitée et qui rejettent les signaux provenant de directions non désirées [13].

### ***1.7 Polarisation***

La polarisation des antennes est un sujet qui a généré beaucoup de publications au fil des années. La définition précise peut être complexe, car les structures émettrices et réceptrices répondent de manière variable, à la fois en fréquence et en angle par rapport aux ondes incidentes et transmises.

Dans le cas des antennes à lentilles diélectriques, la polarisation est déterminée par le plan de polarisation de l'onde électromagnétique qui transporte l'énergie radiée par l'antenne. En général, la polarisation des antennes peut être linéaire, circulaire ou elliptique, selon la forme et l'orientation des éléments rayonnants. Les propriétés de polarisation des antennes sont souvent définies en utilisant la définition de Ludwig [15], qui définit les polarisations de référence et croisée en fonction des mesures obtenues à partir des diagrammes de rayonnement de l'antenne [16].

### ***1.8 Les méthodes d'analyse des antennes à lentilles diélectriques***

Les méthodes les plus utilisées sont présentées dans le tableau 1, regroupées selon le type de modélisation électromagnétique. On va donner une brève description sur la méthode FDTD, car le CST, il utilise cette dernière pour résoudre les problèmes électromagnétiques.

*Tableau 1.1 Methodes possibles d'analyse de l'antenne.*

Approximate	Geometrical Optics / Physical Optics (GO/PO)
	Physical Optics / Physical Optics (PO/PO)
	Spectral Domain Method (SDM)
Full Wave	Spherical Wave Modal Method
	Finite Element Method (FEM)
	Method of Moments (MoM)
	Finite-Difference Time-Domain (FDTD)

- ***Domaine temporel à différence finie (FDTD)***

La technique FDTD utilise une méthode de différences finies centrées du deuxième ordre pour approximer les équations de Maxwell sur une grille discrète de temps et d'espace. Les composantes du champ électrique et magnétique sont successivement mises à jour jusqu'à l'obtention de la réponse transitoire ou stationnaire désirée.



Cependant, pour les structures à symétrie axiale, il est possible de réduire le problème 3D à un problème plus simple en 2D et d'implémenter un algorithme plus rapide appelé FDTD du corps de révolution (BOR-FDTD). Cette méthode peut être utilisée pour les petites lentilles où la méthode GO/PO ne peut pas être utilisée et elle peut facilement gérer les réflexions internes et les lentilles à constante diélectrique variable [17].

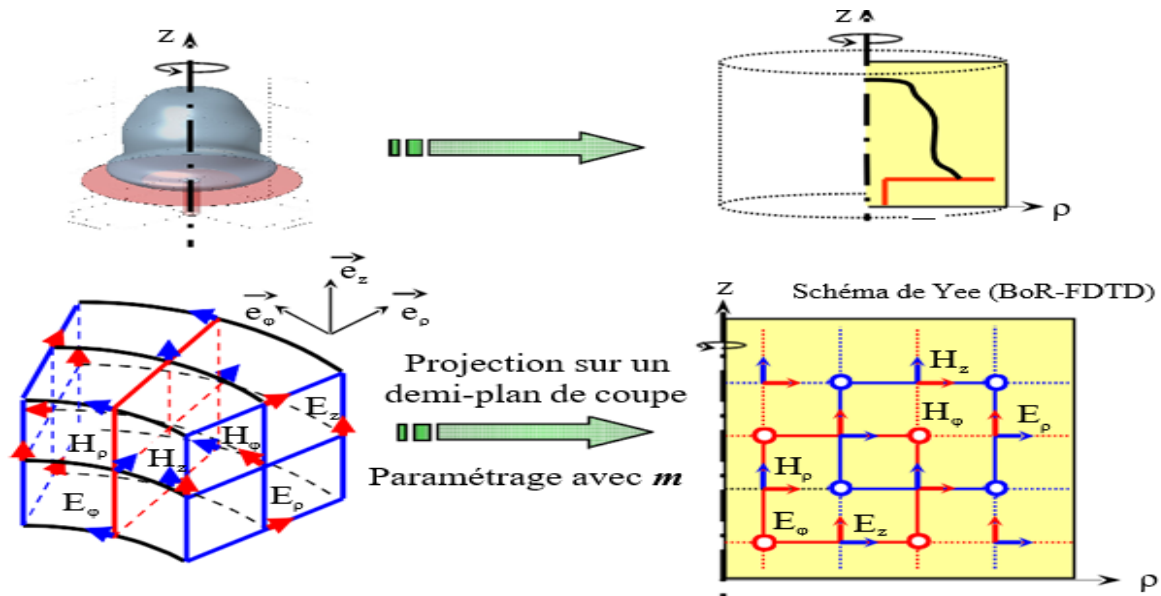


Figure I.11 Présentation de la méthode (BOR-FDTD) [18].

### 1.9 Matériaux de lentille

Les matériaux sont sélectionnés en fonction de leur constant diélectrique qui varie généralement de 1,2 à 11, un deuxième paramètre important est la tangente de perte diélectrique ( $\tan \delta$ ) qui mesure la perte de dissipation du matériau comme montre dans le tableau (I.2). Plus la valeur de la tangente de perte est faible, plus les pertes de matériau sont faibles par longueur d'onde.

Tableau I.2 Valeurs de permittivité mesurées de différents matériaux a 60 GHz [5].

Material	Dielectric Constant	Loss Tangent
ABS-M30 (3D-printed)	2.48	0.008
Acrylic glass	2.5	0.0118
Alumina	9.3	0.0013
Fused Quartz	3.8	0.0015
MACOR	5.5	0.0118
Polyethylene	2.3	0.0003
Polypropylene	2.2	0.0005
Polystyrene	2.5	0.0004
Teflon	2.2	0.0002

### 1.10 Fabrication

Les antennes à lentilles diélectriques sont des antennes qui utilisent une lentille faite de

matériaux diélectriques pour focaliser les ondes électromagnétiques. Il existe plusieurs techniques pour fabriquer ces antennes, lesquelles :

### ***I.10.1 La fabrication par CNC***

Cette technique consiste à produire des objets physiques à partir de leur description numérique en 3D en excavant automatiquement la forme de l'objet à partir d'un bloc de matériau brut figure (I.12). Cette méthode est adaptée aux antennes ayant des formes complexes, des tolérances dimensionnelles serrées et une bonne finition de surface, comme c'est le cas pour les antennes à lentille formée en ondes millimétriques [19].



*Figure I.12 Fabrication de lentilles par technique de machine CNC [20].*

### ***I.10.2 Technique du moulage***

Où un moule de la forme de la lentille (figure I.13) est fabriqué et le diélectrique liquide est versé ou injecté à l'intérieur. Cette technique est considérée comme rentable pour la production en série, mais elle présente des inconvénients pour la fabrication de prototypes en laboratoire en raison du coût élevé de fabrication du moule et de la difficulté à éviter les bulles d'air et à contrôler l'homogénéité du mélange [21].



*Figure I.13 Fabrication de lentilles par technique de moulage [5].*

### ***I.10.3 L'impression 3D***

Une autre technique est l'impression 3D, qui est de plus en plus utilisée pour fabriquer des prototypes diélectriques à faible coût. Cette technique commence par un modèle numérique en 3D de l'objet, puis elle utilise un processus d'addition où des couches successives d'un matériau sont déposées point par point pour construire la forme souhaitée. Il est possible de fabriquer des lentilles en utilisant des matériaux à permittivité plus élevée et de plus faibles pertes comme l'alumine [22].

## ***1.11 Les types de l'alimentation***

Types d'alimentation utilisés pour les antennes à lentille, qui sont des dispositifs utilisés pour concentrer les ondes électromagnétiques en une seule direction.

### ***1.11.1 L'alimentation par fente croisée exponentiellement effilée (XETS)***

Cette alimentation présente une polarisation linéaire stable en fréquence et une bande passante d'opération de 1 à 3 (100%). La géométrie de l'antenne est composée d'une seule couche métallique avec deux fentes croisées effilées exponentiellement, intersectées par une fente carrée ou en étoile. L'antenne est alimentée entre deux pétales opposés qui définissent le plan E de l'antenne. La symétrie parfaite de l'antenne par rapport au point d'alimentation garantit une symétrie parfaite des courants d'antenne par rapport au plan E et une antisymétrie parfaite par rapport au plan H, quelle que soit la fréquence [23].

### ***1.11.2 Alimentation à fente fuyante***

Une largeur de bande extrêmement large de plus de 1 à 10. Elle est composée d'une longue ligne de fente fuyante alimentée au milieu par une ligne microruban orthogonale imprimée dans l'autre face du substrat. Un espace d'air plus petit que  $1/16$  de la longueur d'onde est placé entre la fente et la base de la lentille afin d'améliorer les performances de rayonnement de l'alimentation. Cette alimentation est également disponible en une configuration de réseau carré de fentes fuyantes. Toutes ces antennes monocouches présentent un diagramme de rayonnement bidirectionnel en raison de l'absence de plan de masse [24].

### ***1.11.3 Alimentations à base de patches rectangulaires ou de guide d'ondes pour les antennes à lentille***

Une lentille intégrée avec un réseau de patches rectangulaires couplés par ouverture est alimentée par un réseau d'alimentation microruban à 28 GHz ou à 60 GHz. Un ouvre-fente d'onde guide est parfois préférable pour l'alimentation d'antennes à lentille intégrées, car il est plus facile de coupler toute la puissance à la lentille sans avoir besoin d'augmenter la permittivité de la lentille comme cela se produit avec les antennes imprimées uniplanaires [25].

### ***1.11.4 Alimentations par cornet***

Cette alimentation est pour les antennes à lentille alimentées hors corps. Les configurations et les exigences utilisées pour les cornets sont exactement les mêmes que pour les réflecteurs, il est généralement nécessaire que l'éclairage au bord de la lentille soit de 10 dB en dessous du niveau de puissance au centre de la lentille [26].

### ***I.12 Applications***

Les antennes à lentilles peuvent être utilisées dans une grande variété d'environnements, dont voici quelques exemples :

- Services sans fil.
- Télévision par satellite.
- En radar
- Application de surveillance et de communication mobile.
- Antennes à faisceaux multiples.
- Communications à onde millimétrique.
- Applications d'imagerie et en astronomie.

### ***I.13 Avantages et inconvénients***

#### ***I.13.1 les avantages***

- Les antennes à lentille diélectrique offrent des gains élevés.
- Large bande passante.
- Les antennes à lentille diélectrique sont généralement plus stables en fréquence que les autres types d'antennes.
- Faible niveau de bruit.

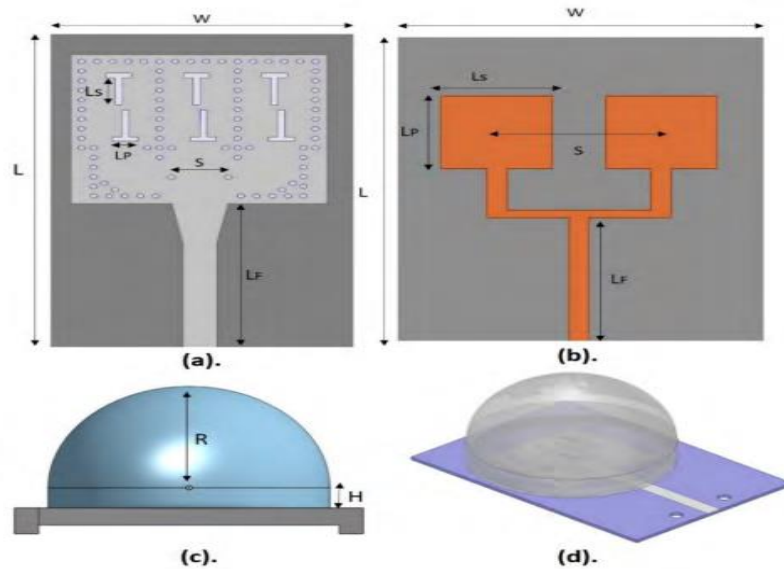
#### ***I.13.2 Les inconvénients***

- Les antennes à lentille diélectrique peuvent être plus coûteuses à produire que d'autres types d'antennes.
- La fabrication de lentilles diélectriques peut être difficile et nécessite des techniques de fabrication avancées pour assurer des performances optimales.
- Les lentilles diélectriques peuvent être sensibles aux conditions environnementales telles que la température, l'humidité et la pression atmosphérique. Des changements dans ces conditions peuvent affecter les performances de l'antenne.

### ***I.14 État de l'art des antennes lentilles diélectrique***

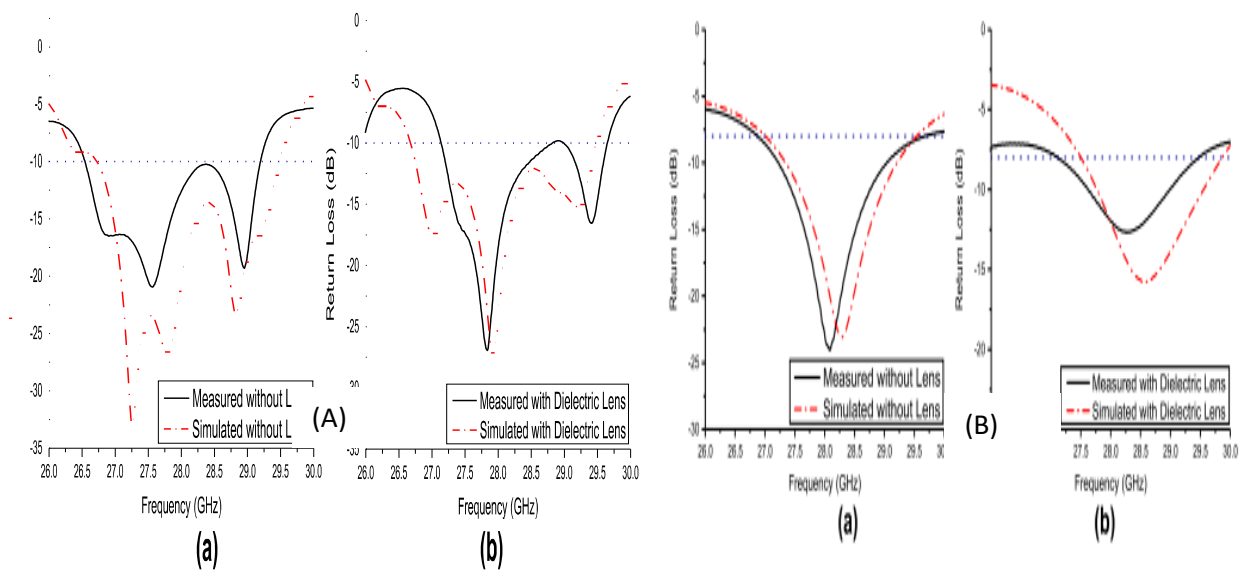
Dans cette partie, nous allons passer en revue les travaux antérieurs sur les antennes à lentilles diélectriques, en nous concentrant sur les techniques de conception, de fabrication et de mesure utilisées pour améliorer leurs performances.

Dans [27], Les auteurs présentent une méthode rentable et facile à fabriquer pour concevoir et intégrer des ILAs à faible coût, utilisant une imprimante 3D grand public et une infill densité réduite. Les ILAs conçues ont été testées avec succès sur deux types d'antennes sources telles que les antennes patch Microstrip (MPAs) et les antennes à fente en guide d'ondes intégrées de substrat (SIW) à 28 GHz.



**Figure 1.14 :** Antennes de lentilles intégrées alimentées par l'antenne à fente de l'ISF et l'AMP réseau. (a). Antenne à fente SIW (b). Réseau MPA (c). Vue symétrique latérale De la lentille diélectrique (d). Simulation model d'une ILAs [34].

La conception de chaque antenne est optimisée en utilisant un logiciel de simulation électromagnétique 3D pour obtenir les dimensions les plus efficaces pour chaque antenne. Les résultats des simulations sont présentés suivant :



**Figure 1.15 :** (A) Paramètres S de l'antenne à fente de l'ISF. (B) Paramètres S du réseau MPA (a). Sans lentille diélectrique (b). Avec lentille diélectrique.

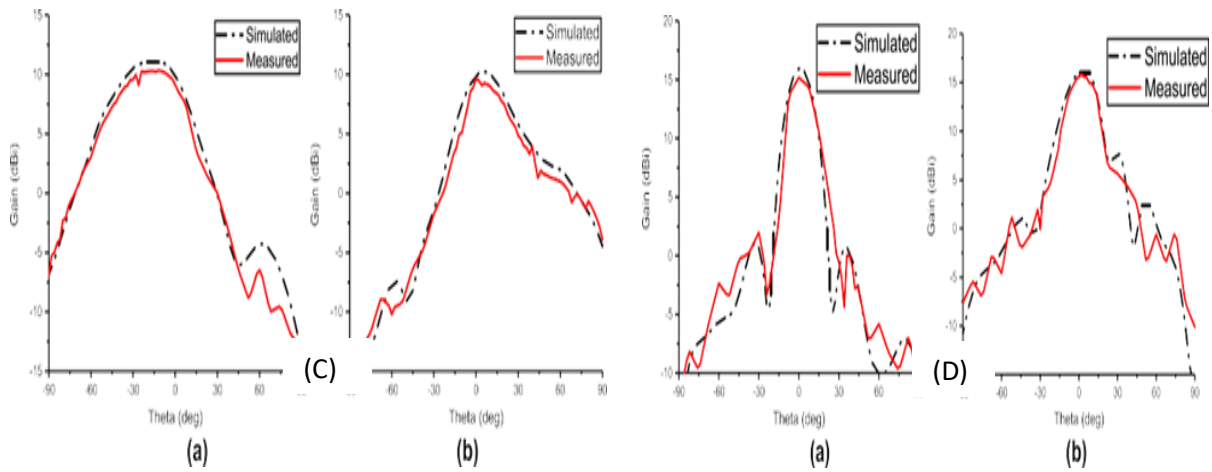


Figure I.16 : Diagramme de rayonnement de l'antenne à fente de l'ISF à 28 GHz (a). Plan E (b). Plan H. (C) Sans lentille diélectrique (D). Avec lentille diélectrique.

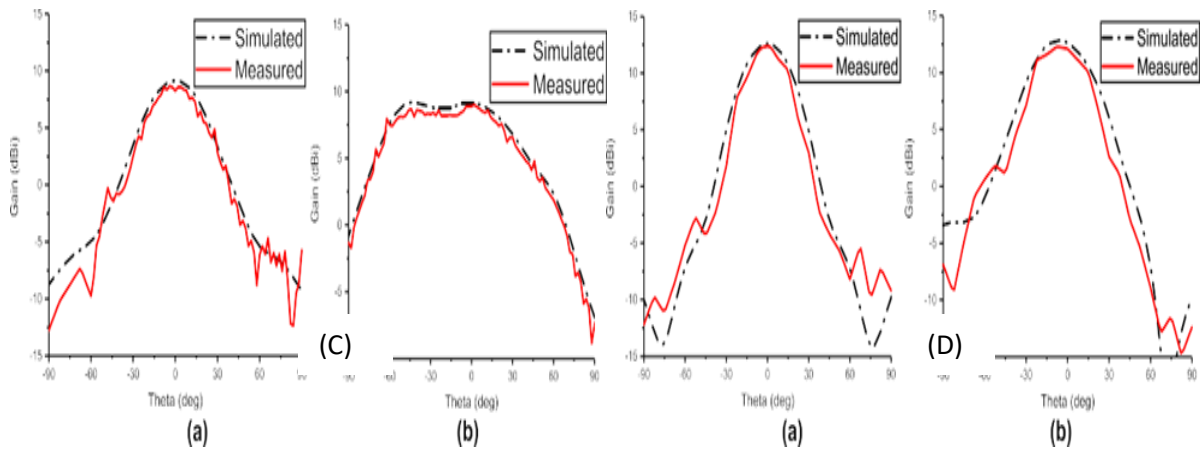


Figure I.17 Diagramme de rayonnement du réseau d'AMP sans lentille diélectrique à 28 GHz (a). Plan E (b). Plan H. (C) sans lentille diélectrique (D). Avec lentille diélectrique.

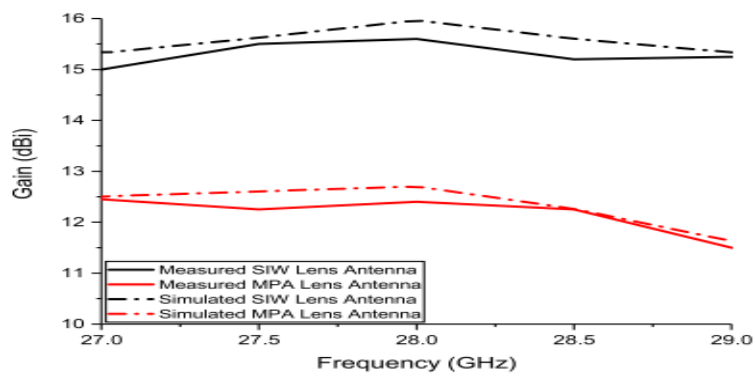
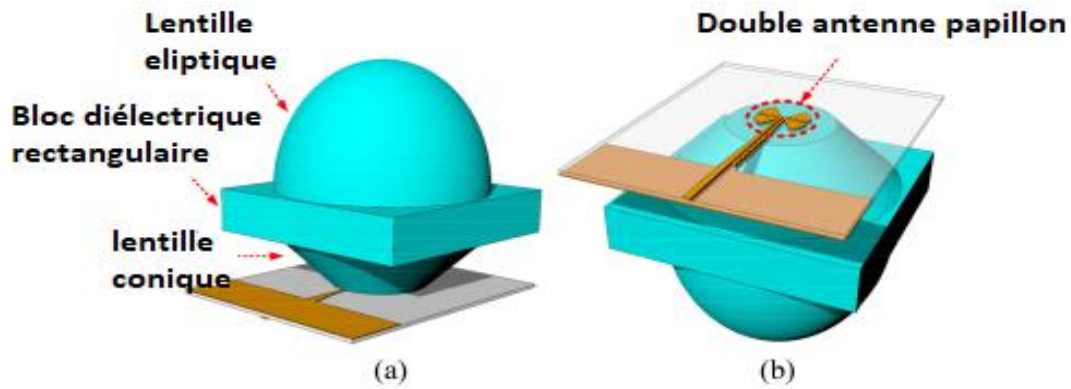


Figure I.18 Gain mesuré par rapport à la fréquence de l'AMP et de l'ISF avec des antennes de lentilles diélectriques pour  $H/R = 0.3$ .

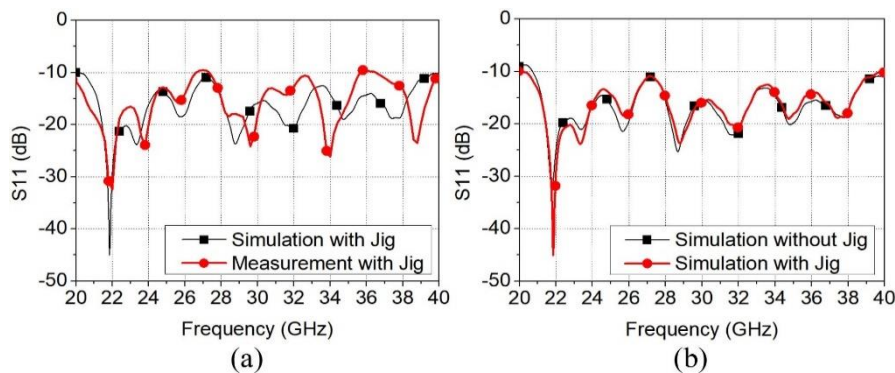
Dans [28] Les auteurs proposent une nouvelle antenne à double nœud papillon large bande intégrée à une lentille diélectrique double face, qui est une combinaison d'une lentille

elliptique et d'une lentille conique tronquée. Cette nouvelle antenne permet une amélioration significative des performances par rapport aux antennes à lentille diélectrique typiques.

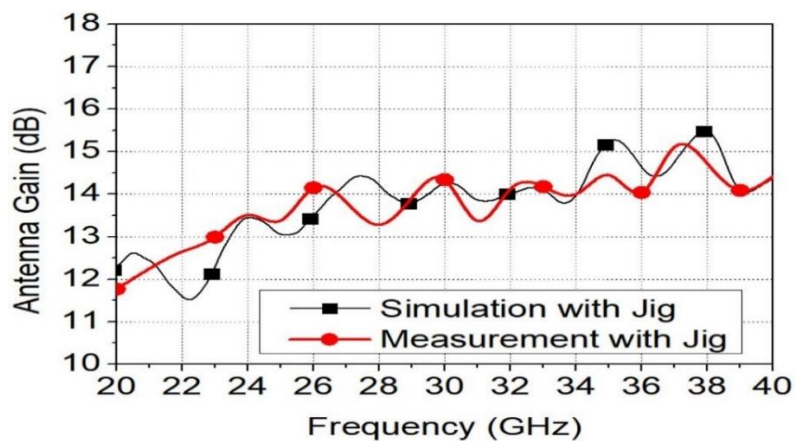


**Figure 1.19** Configuration de l'antenne à lentille diélectrique intégrée proposée. (a) Vue en perspective. (b) Vue de dessous.

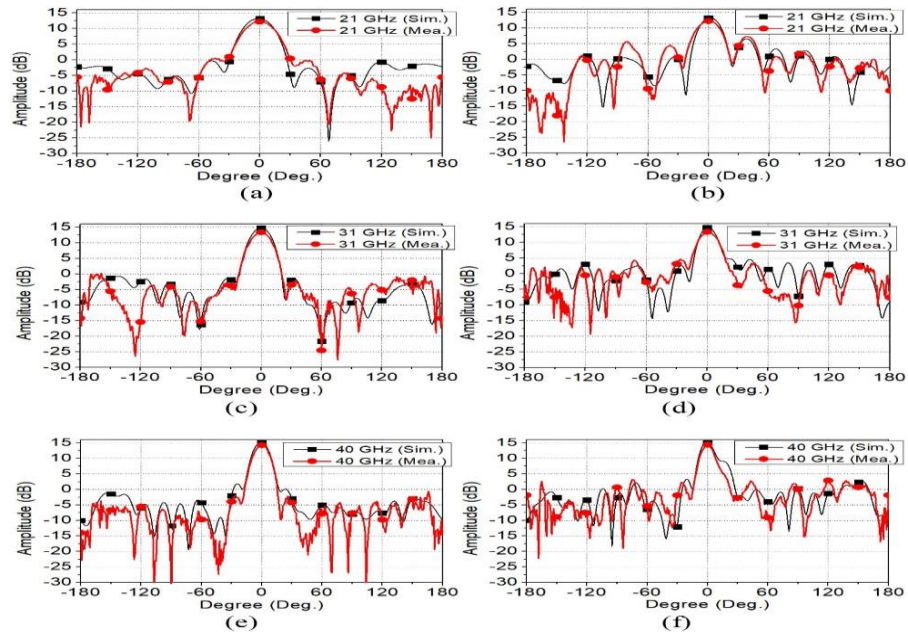
Cette étude présente une antenne à lentille diélectrique à gain élevé, qui se compose d'une antenne double-papillon et d'une lentille diélectrique double-face (CST Microwave Studio) est utilisé pour la simulation et l'optimisation de l'antenne à lentille diélectrique intégrée. Les résultats de cette simulation donnent :



**Figure 1.20** S11 de l'antenne intégrée à lentille diélectrique proposée. (a) Simulé et des résultats mesurés. (b) S11 simulé avec et sans gabarit.



**Figure 1.21** Gains de l'antenne à lentille diélectrique intégrée proposée (résultats simulés et mesurés).

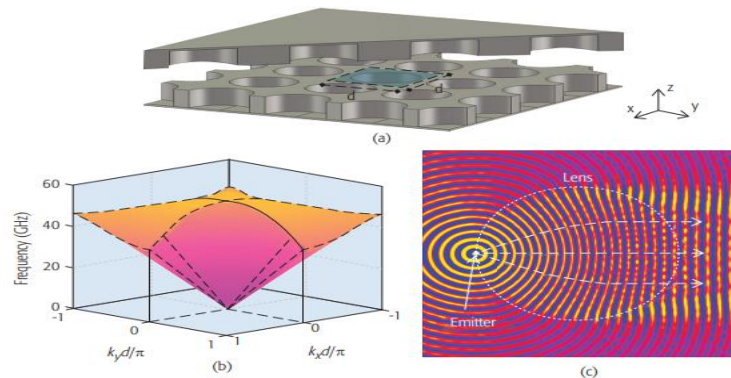


**Figure I.22** Diagrammes de rayonnement simulés et mesurés de l’antenne à lentille diélectrique intégrée proposée. (a) Plan E à 21 GHz (b) Plan H à 21 GHz (c) Plan E à 31 GHz (d) Plan H à 31 GHz (e) Plan E à 40 GHz (f) Plan H à 40 GHz.

Une antenne double-papillon est utilisée pour des performances à large bande et un gain élevé. La largeur de bande de fonctionnements de l’antenne est de 20,5 à 40 GHz et le gain maximal atteint est de 15,1 dB.

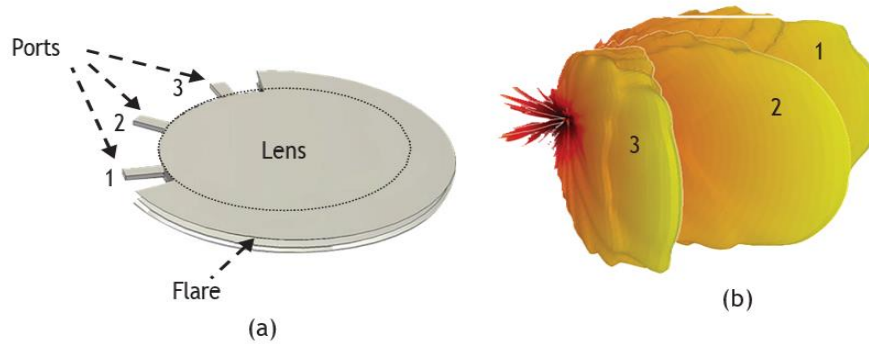
Les auteurs décrit le fonctionnement des antennes en forme de lentilles et spéculent sur la façon dont elles pourraient être utilisées dans les prochains systèmes de communication 5G dans [29] et comment elles peuvent être utilisées à la fois d’un point de vue optique et micro-onde. De plus, ils avaient résumé deux technologies révolutionnaires en cours de développement rapide : l’optique transformationnelle et les surfaces métalliques. Elles sont prometteuses, car elles peuvent être utilisées pour améliorer le fonctionnement des antennes à lentilles conventionnelles.

La structure qu’ils font et les résultats dans ces figures :



**Figure I.23** : Métasurface symétrique par glissement a) structure perforée; b) diagramme de dispersion d’une structure symétrique par glissement; c) distribution du champ d’une lentille de Luneburg.





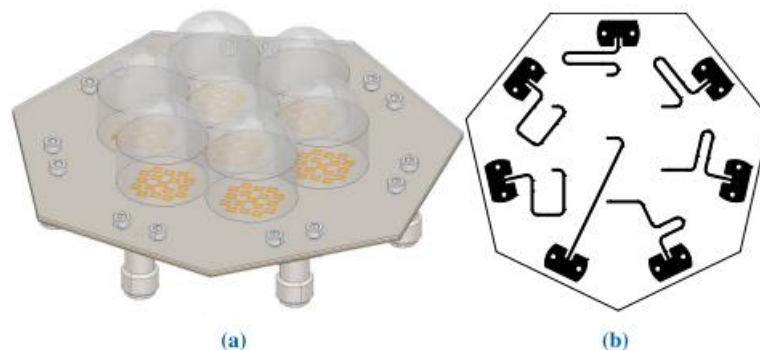
**Figure I.24 :** Mise en œuvre finale et diagramme de rayonnement d'un méta surface a symétrique de glissement a) lentille de Lüneburg à trois ports; b) diagramme de rayonnement en trois différentes directions produites par les trois ports.

L'optique transformationnelle permet la création de lentilles sur mesure pour une alimentation spécifique, appelée lentilles sur mesure, améliorant ainsi les propriétés de rayonnement de l'ensemble du système d'antenne.

Pour les communications 5G utilisant des ondes millimétriques, il est possible d'utiliser des surfaces métalliques pour fabriquer des lentilles entièrement métalliques présentant des pertes inférieures à celles du diélectrique à des fréquences plus élevées.

Dans [30], propose l'utilisation d'antennes à faisceau orientable à ondes millimétriques constituées de sous-ensembles d'antennes à lentilles pour réduire la complexité matérielle. Il étend ce concept au balayage de faisceau 2D avec des lentilles diélectriques hémisphériques étendues. Un processus de conception est présenté pour maximiser la plage de balayage et minimiser le niveau de lobes latéraux (SLL).

La géométrie de cette antenne :



**Figure I.25** (a) Modèle Ansys HFSS de l'antenne basée sur LAS pour des simulations en onde complète et vérification expérimentale ; (b) Réseau d'alimentation où toutes les traces de lignes microruban sont de  $50\Omega$  et apparié en phase avec une longueur totale de 39 mm.

Cette simulation est faite par le simulateur ANSYS HFSS et donne les résultats suivants :

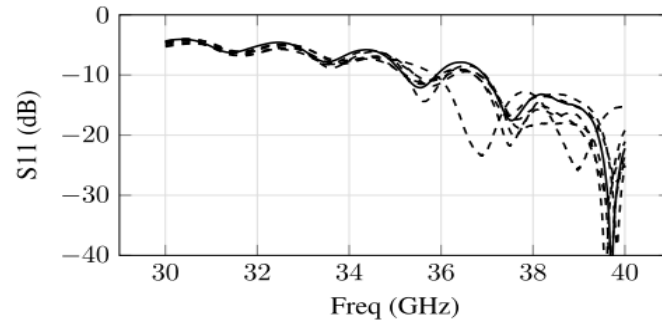


Figure I.26 Coefficient de réflexion à l'entrée pour le réseau assemblé. Ligne pleine — lentille centrale, ligne en pointillés — lentilles externes.

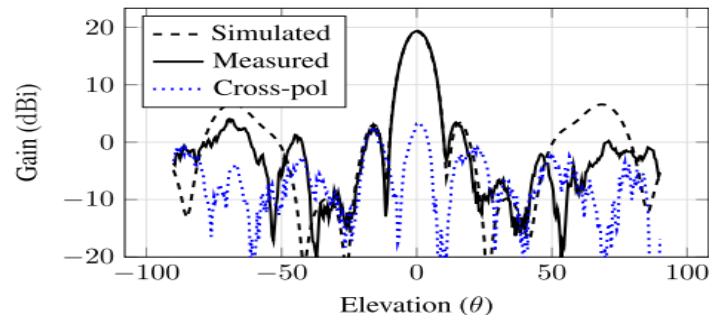


Figure I.27 Gain simulé, gain mesuré en co-polarisation et gain mesuré en contre-polarisation dans le plan E lorsque l'antenne basée sur LAS est configurée pour une radiation en direction principale.

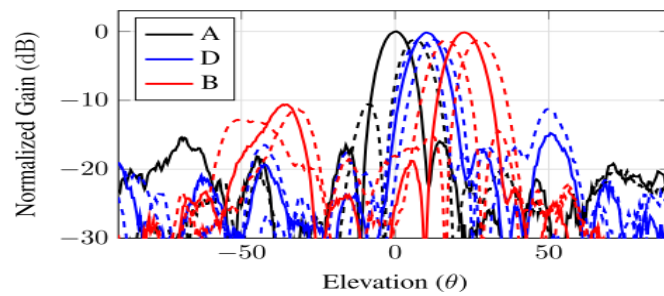


Figure I.28 Performance de déviation du faisceau de l'antenne basée sur LAS normalisée par rapport à la radiation en direction principale. Lignes continues : le faisceau est dirigé vers la direction de gain maximal du patch excité. Lignes en pointillés : le faisceau est dévié en élévation de  $\pm 5^\circ$  par rapport à la direction du gain maximal (ligne continue).

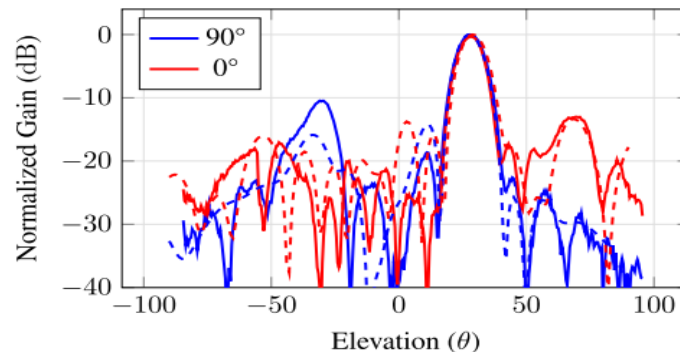


Figure I.29 Diagrammes de rayonnement simulés et mesurés pour les excitations de l'antenne d'alimentation B et C. Les antennes permettent la déviation du faisceau dans  $\varphi = 90^\circ$  et  $\varphi = 0^\circ$ , respectivement, avec une radiation maximale vers un angle d'élévation identique, mais avec des performances de SLL différentes. Lignes continues, mesurées, en pointillés, simulées.

La conception proposée fonctionne dans la bande des 38 GHz, offre une capacité de déviation du faisceau en 2D et présente la plus grande plage de déviation du faisceau avec une performance de SLL d'environ -10 dB.

### ***1.15 Conclusion***

En conclusion, ce chapitre est sur les généralités des antennes lentilles diélectriques qui permettent de comprendre les principes de base de ces antennes et leurs applications. On a commencé par une définition et le principe de fonctionnement des antennes lentilles diélectriques qui sont des dispositifs très utiles pour la conception d'antennes, permettant une intégration facile avec les circuits électroniques modernes. Les différents types des lentilles diélectriques ont été présentés, avec leurs avantages et leurs inconvénients. Les deux types les plus couramment utilisés sont les lentilles elliptiques et hyperboliques. En outre, les caractéristiques de performance des antennes à lentilles diélectriques, telles que le gain, la directivité ont été abordées. À la fin on a présenté un état de l'art sur les antennes lentilles diélectriques.

---

***CHAPITRE 2***

***VALIDATION D'UNE ANTENNE À LENTILLE DIÉLECTRIQUE***

---

## II.1 Introduction :

Dans ce chapitre, on a présenté un bref récapitulatif sur le logiciel CST, ensuite on va destiner une conception d'antenne et fait une validation des travaux de la référence [32], notamment la détermination des résultats, le but qui est par la suite d'utiliser les résultats pour améliorer cette antenne pour donner de meilleurs résultats. Enfin on a fait des contributions pour apporter des nouvelles idées et des solutions pratiques pour enrichir le domaine des antennes à lentilles diélectrique.

Le choix de logiciel CST pour notre application parce qu'est un logiciel puissant qui simule des structures complexes.

## II.2 Description du logiciel de simulation CST :

CST Studio Suite est un logiciel de simulation électromagnétique en 3D utilisant la méthode FDTD pour résoudre les équations de Maxwell la (figure II.1) présente son interface. Il offre la possibilité de choisir entre l'approche adoptée dans le domaine fréquenté et le domaine tempore. Il offre également un certain nombre de solveurs, y compris le solveur transitoire, le solveur de mode approprié, et le solveur de fréquence. Le solveur transitoire a été utilisé pour faire une analyse comparative. Le solveur dans le domaine temporel permet une résolution de fréquence très précise lors du calcul du comportement à grande bande des dispositifs électromagnétiques en une seule simulation. En utilisant une matrice hexaédrique, l'analyse transitoire des antennes proposées est effectuée. En tant que logiciel polyvalent, CST est un rival important de HFSS [31].

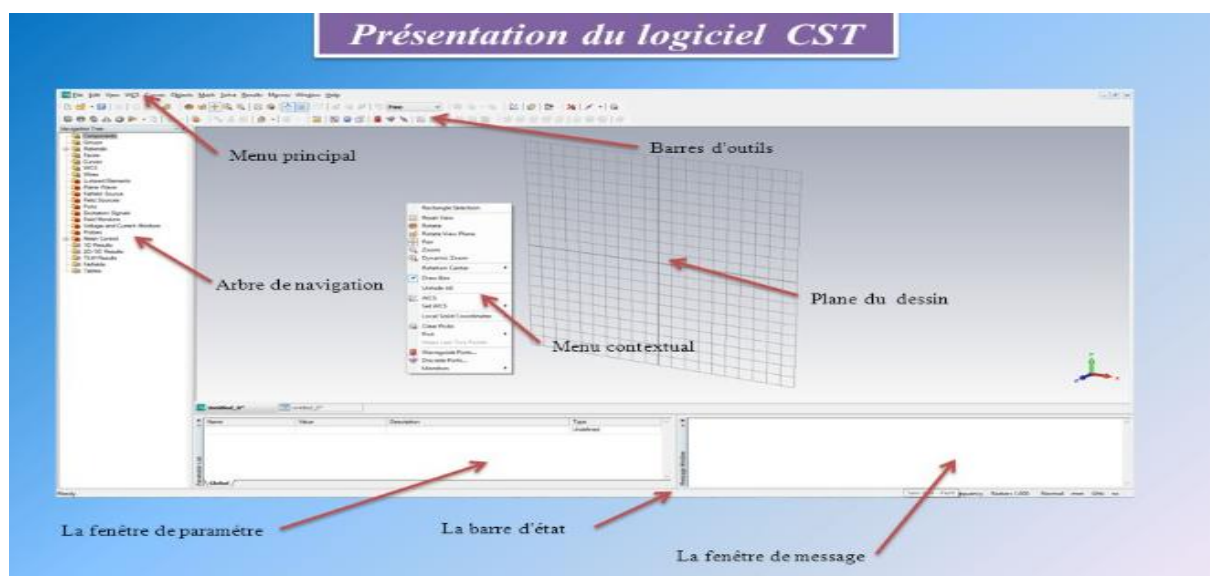


Figure II.1 Interface graphique du CST [31].

## II.3 Validation de l'antenne à lentille diélectrique

### II.3.1 Géométrie de l'antenne

La figure (II.2) montre l'antenne étudiée. Elle se compose d'une antenne MP (antenne patch) imprimé placée sur un substrat Rogers RT/duroid 5880 d'une épaisseur de 0,254 mm. Le côté inférieur du substrat, entièrement plaqué en cuivre (0,018 mm), agit comme un plan de masse pour l'antenne. La ligne d'alimentation de l'antenne MP est effilée pour obtenir une bonne adaptation d'impédance. [32]

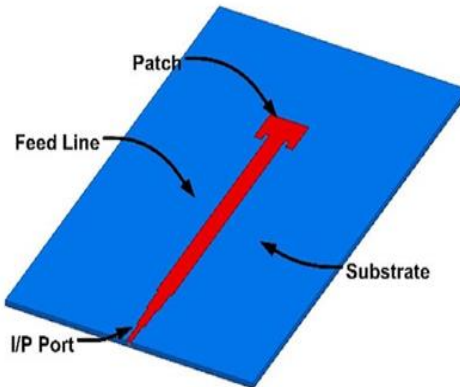


Figure II.2 La géométrie de l'antenne étudiée [32].

Avec l'aide du logiciel professionnel de résolution électromagnétique CST, ils obtiennent les résultats de l'optimisation de la simulation du MP qui sont présentés à la figure (II.3).

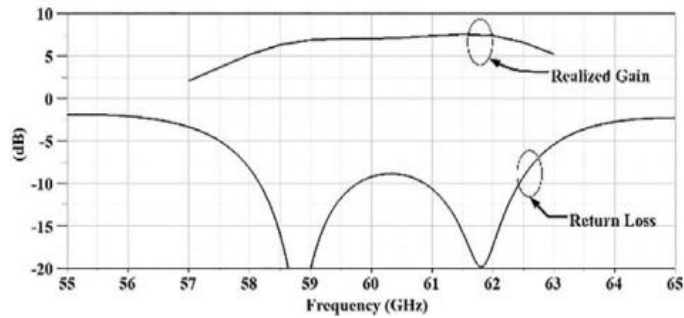


Figure II.3 Résultats de simulation de coefficient de réflexion(S11) et le gain [32].

Une bande passante de 4,75 GHz (58,25-62,5) avec un gain maximum de 7,4 dB est atteinte.

Cette antenne patch est intégrée avec une lentille diélectrique hémisphérique étendue qui est placée au centre de cette antenne comme indiqué dans la figure (II.4). De nombreux matériaux peuvent être utilisés pour créer une lentille diélectrique, et leurs constantes électriques vont de 1,2 à 11 comme vue dans le tableau (I.2). Les plus populaires comme le téflon, le rexolite, le polyéthylène, l'ABS (imprimé en 3D), le polypropylène et le polystyrène sont examinés [32].

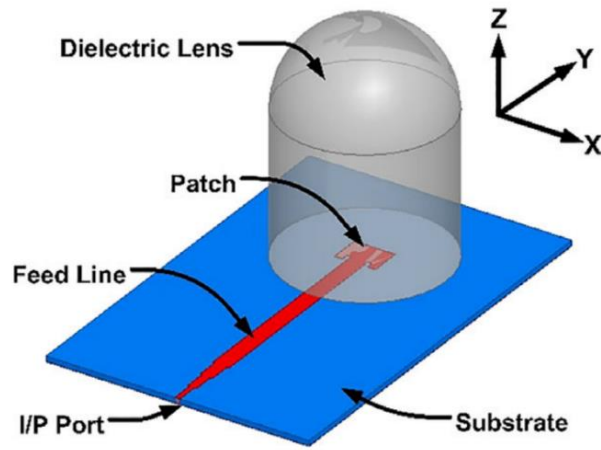


Figure II.4 Antenne à lentille diélectrique placée sur la MP(ILA) [32].

Les différentes dimensions de l'ILA sont indiquées dans la figure (II.5) et le tableau suivant (II.1) :

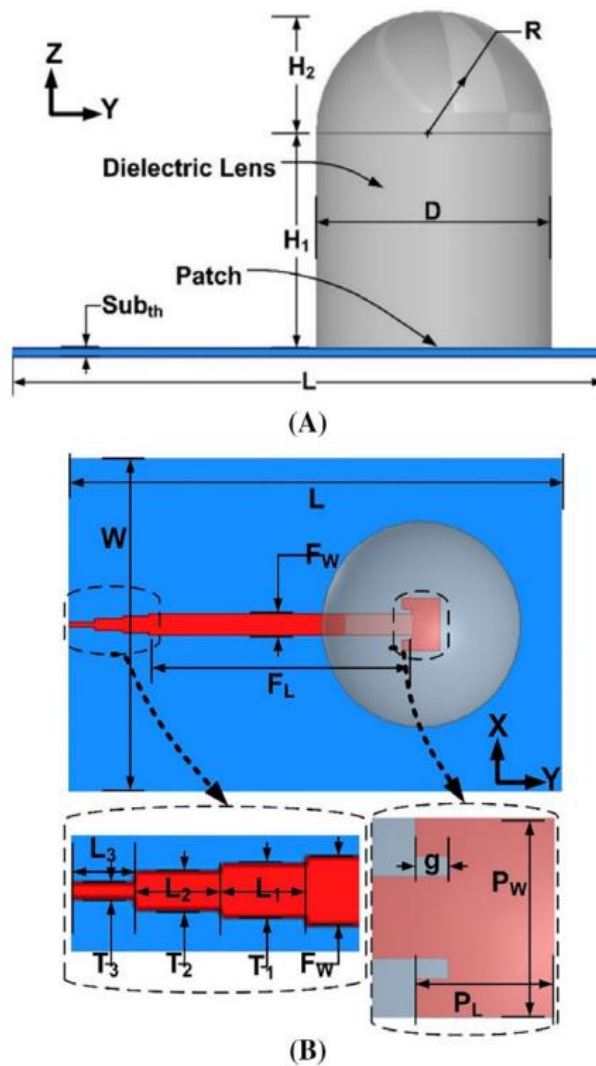


Figure II.5 Les différentes dimensions de l'ILA. (A) Vue de dessus ; (B) Vue de côté [32].

Tableau II.1 Dimensions d'antenne étudié [32].

L	W	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	R	D	F <sub>L</sub>	F <sub>W</sub>	P <sub>W</sub>
22	13	6.67	5	5	10	10.55	0.824	2.02
P <sub>L</sub>	g	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	
1.5	0.206	0.62	0.43	0.23	1.1	1.1	1.1	

Des simulations sont effectuées avec chaque type de lentille diélectrique mentionnée précédente intégrée au MP.

Le coefficient de réflexion de chaque lentille est présenté dans la figure (II.6), et le diagramme de rayonnement en 2D de différentes lentilles diélectriques est illustre dans la figure (II.7).La figure (II.8) montre le gain simulé de l'ILA.

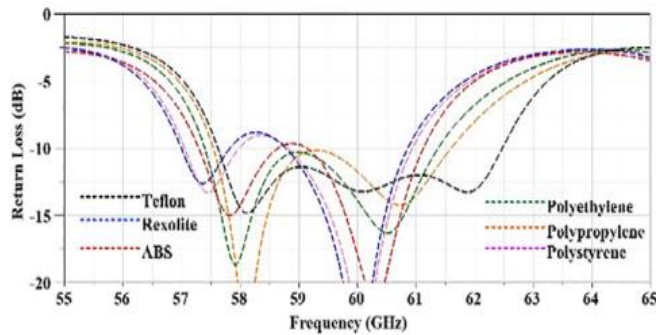


Figure II.6 Coefficient de réflexion simulée de MPA intégrée avec différentes lentilles [32].

Dans tous les cas une bande passante suffisante 4 GHz dans la plage des 60 GHz.

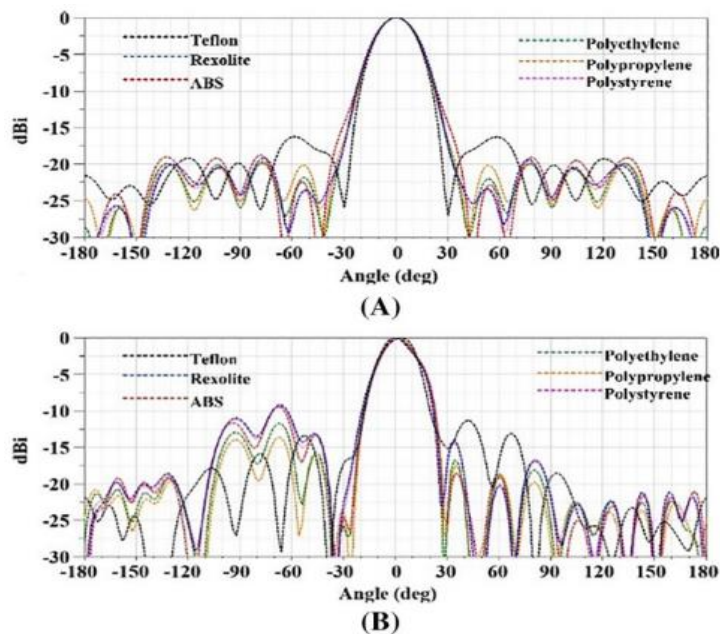


Figure II.7 Diagramme de rayonnement simulé de MP intégré avec lentilles.

(A) Plan XZ et (B) plan YZ [32].



La largeur du lobe à -3 dB dans le plan XZ et le plan XY est de 25°. Le niveau de lobes latéraux dans le plan XZ est inférieur à -17dB et dans le plan YZ est inférieur à -10dB.

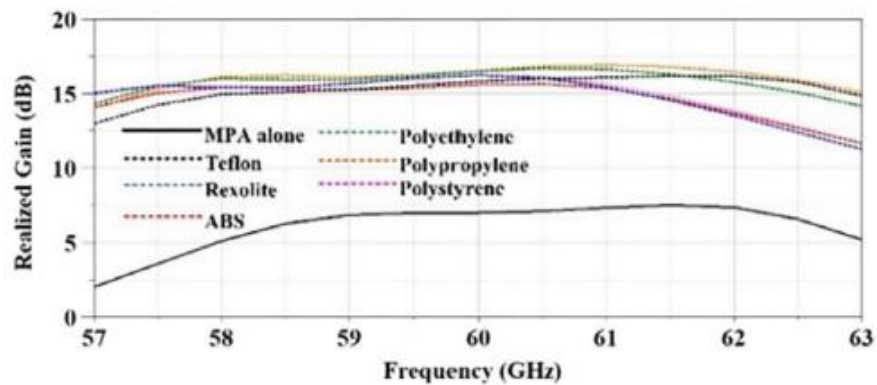


Figure II.8 Gain simulé de MP et MP intégré avec lentilles [32].

Le gain est supérieur à 15 dB. De plus, on peut voir que la lentille diélectrique en téflon, polyéthylène et polypropylène présente le plus grand gain sur la plage de fréquence de fonctionnement.

### II.3.2 Prototype et résultats de la simulation

Pour valider expérimentalement l'approche proposée, Une MPA et une lentille diélectrique hémisphérique en téflon pour valider les résultats de simulation. La photo du prototype fabriqué est illustrée à la figure (II.9). La lentille diélectrique en téflon est fixée à l'AMP à l'aide d'un film d'adhérence Rogers 3001 ( $r = 2,28$ ). Pour alimenter l'antenne, un connecteur V bande finale est utilisé [32].

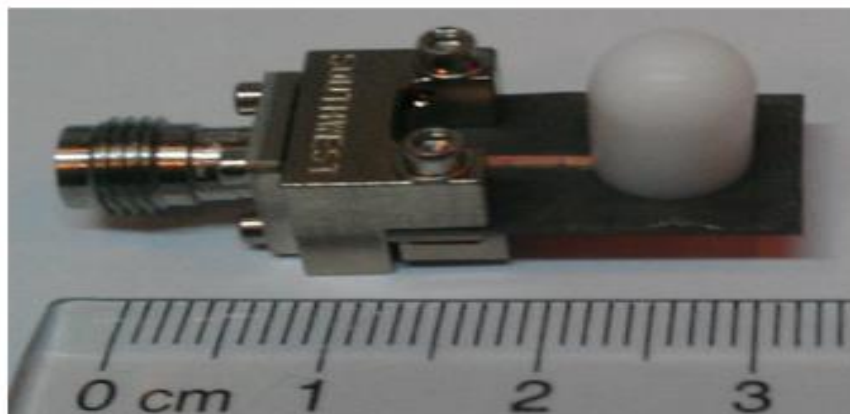


Figure II.9 Photographie de l'antenne fabriquée [32].

#### II.3.2.1 Les résultats

- **Coefficient de réflexion :**

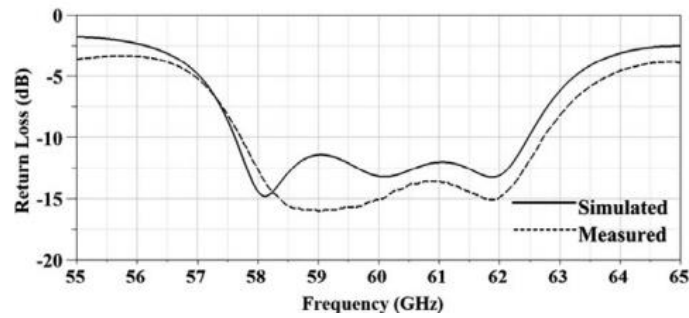


Figure II.10 Comparaison des résultats simulée et mesurée pour le coefficient de réflexion [32].

Une large bande passante d'impédance de 5 GHz (57,7 GHz à 62,7 GHz) (8.3%) est obtenue, et les résultats mesurés et simulés sont cohérents.

- **Diagramme de rayonnement :**

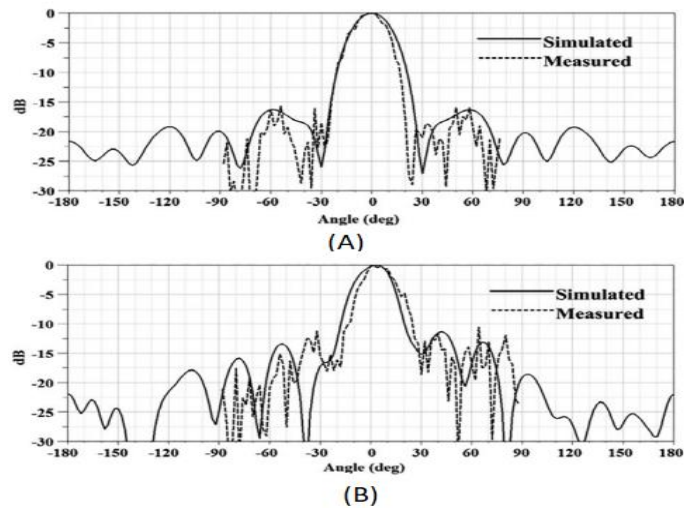


Figure II.11 Comparaison des résultats simulée et mesurée pour le diagramme de rayonnement [32].

Les résultats de la simulation sont également cohérents. Dans les plans XZ et YZ, la largeur du lobe est de  $25^\circ$  à -3 dB. Dans les plans XZ et YZ, le niveau de lobes latéraux est de 16 dB et 12 dB.

- **Gain :**

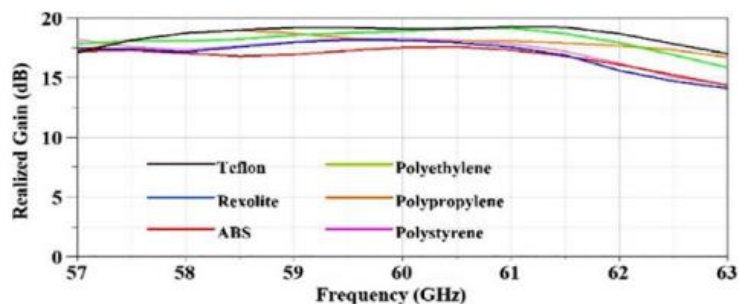


Figure II.12 Simulation du gain avec un rayon du  $1,5 \lambda_0$  [32].

La Figure (II.12) présente les résultats de la simulation du gain d'ILA avec un rayon de  $1,5 \lambda_0$ . Le gain avec lentille diélectrique en téflon est supérieur à 18 dBi dans la majorité de la bande de fréquences de fonctionnement.

Le gain de l'ILA peut encore améliorer en augmentant le rayon (R) de la lentille diélectrique. Une lentille diélectrique avec un rayon de  $1 \lambda_0$  permet d'augmenter le gain de 7.4 à 16 dBi. Ensuite en augmentant le rayon a  $1.5 \lambda_0$ , le gain peut être amélioré jusqu'à 19.25 dBi comme montre dans la figure suivante.

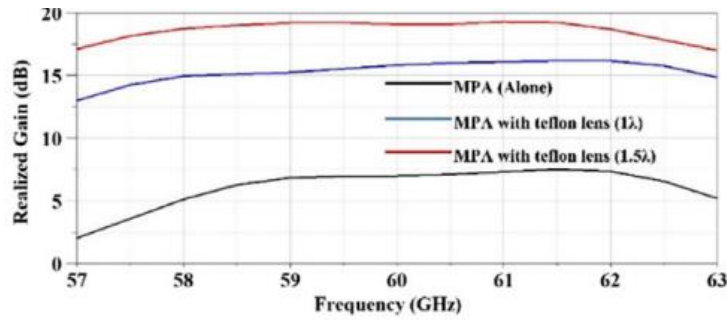


Figure II.13 Simulation du gain du MPA et ILA avec un rayon de  $1 \lambda_0$  et de  $1.5 \lambda_0$  [32].

### II.3.3 Validation de la structure par CST

Il est possible de simuler les paramètres S, le diagramme de rayonnement et le gain du réseau d'antennes via CST MWS .ses résultats sont illustrés sur les figures suivantes.

#### II.3.3.1 Coefficient de réflexion

Les valeurs de coefficient de réflexion avec lentille diélectrique et sans lentille sont présentées dans la figure (II.14).

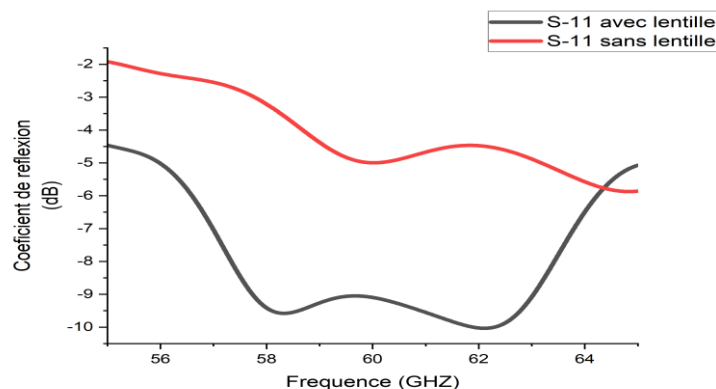


Figure II.14 Coefficient de réflexion avec et sans lentille diélectrique.

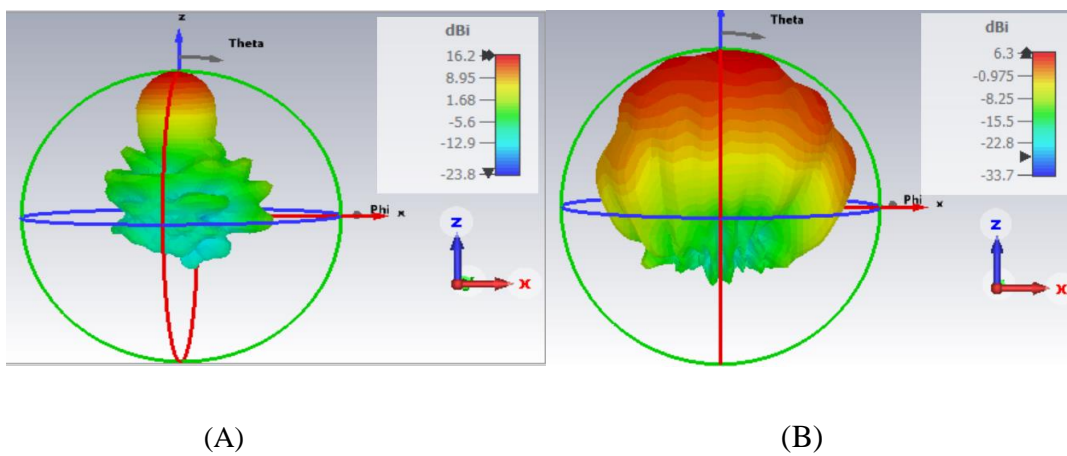
Le coefficient de réflexion simulé par [32] atteint un niveau satisfaisant, une large bande passante 5 GHz. Le résultat de validation de l'antenne représente un coefficient qui est

supérieur à -10 dBi dans toute la plage de 55 GHz à 65 GHz. Cependant il y a quelques différences qui sont causées par des incertitudes de simulation, la différence de logiciel de simulation (l'article est simulé avec ANSYS HFSS et nous avons validé par CST).

**II.3.3.2 Diagrammes de rayonnement**

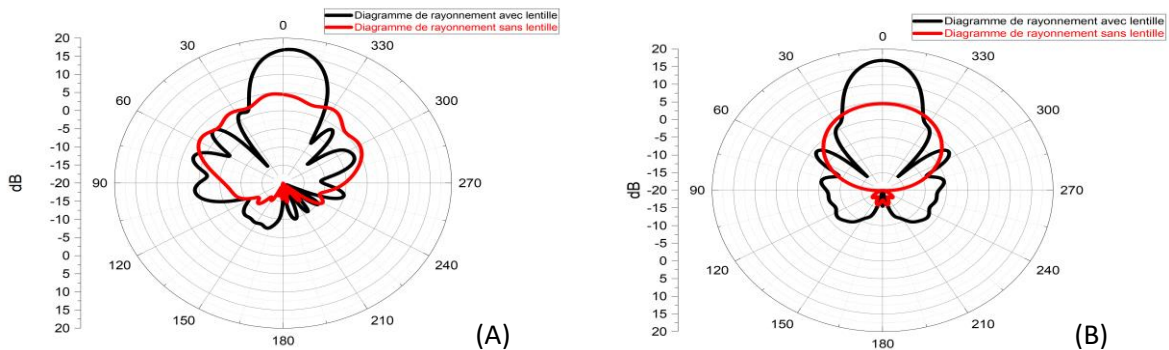
Le diagramme de rayonnement du gain en 3D illustre dans la figure (II.15) qui est avec lentille et sans lentille avec un gain maximum de 16.2 dBi et 6.3 dBi successivement.

Avec la lentille intégrée, le diagramme est directif et l'énergie rayonne dans une zone plus étroite. Le diagramme sans lentille montre un gain plus faible, l'énergie rayonnée dans toutes les directions donc il indique une directivité réduite.



**Figure II.15** Diagramme de rayonnement du gain en 3D à 58.5 GHz. (A) avec lentille, (B) sans lentille.

Le diagramme de rayonnement en 2D du champ lointain dans les plans  $\varphi=0$  et  $\varphi=90$  ont été calculés à la fréquence 58.5 GHz avec et sans lentille. Les résultats sont indiqués respectivement sur les figures suivantes.



**Figure II.16** Diagramme de rayonnement en 2D. (A)  $\varphi=0$ . (B)  $\varphi=90$ , à 58.5 GHz avec et sans lentille.

Dans le plan  $\varphi=0$ , il présente une largeur de lobe à -3dB de  $83.8^\circ$  sans lentille et avec lentille diélectrique cette largeur réduite à  $24^\circ$ . Pour les lobes latéraux, avec lentille est -14.5

dB et sans la lentille est 16 dB.

Dans le plan  $\varphi=90$ , une largeur de lobe à -3 dB de  $27.3^\circ$  sans lentille, cette largeur réduite à  $23^\circ$  avec la lentille. Pour les lobes latéraux, le niveau est de -17.8 dB avec la lentille et sans lentille à -20.23 dB.

### II.3.3.3 Gain

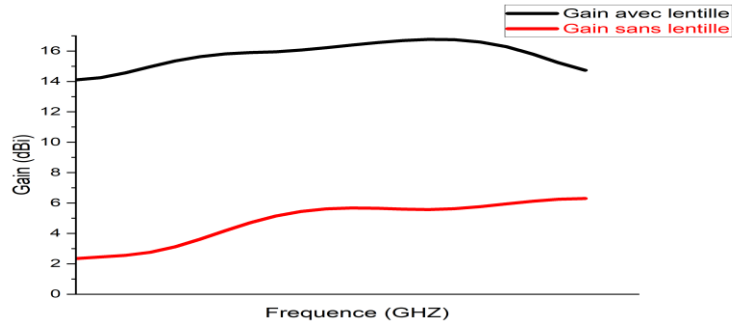


Figure II.17 Le Gain réalisé de l'antenne avec et sans lentille.

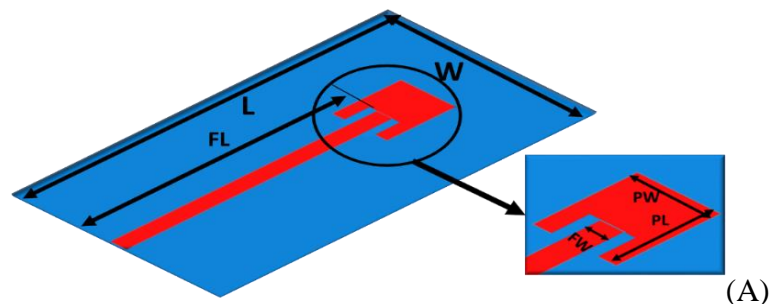
Les résultats de notre validation montrent que le gain de l'antenne sans lentille atteignait une valeur de 6.3 dBi et lorsqu'elle est intégrée avec la lentille diélectrique elle présente un gain 16.76 dBi. Les gains simulés dans [32] sont en bon accord avec notre validation.

### II.3.4 Amélioration de la validation

Pour améliorer les paramètres de notre antenne à lentille diélectrique, nous avons exploré plusieurs simulations afin d'améliorer ses performances en augmentant son gain, sa bande passante et le diagramme de rayonnement.

#### II.3.4.1 Géométrie de l'antenne améliorée

Afin d'améliorer ces résultats on a développé notre structure d'antenne pour améliorer les performances de l'antenne précédente en terme de coefficient de réflexion cette antenne est une antenne patch avec une ligne d'alimentation simple. La structure et les dimensions sont présentées par la suite.



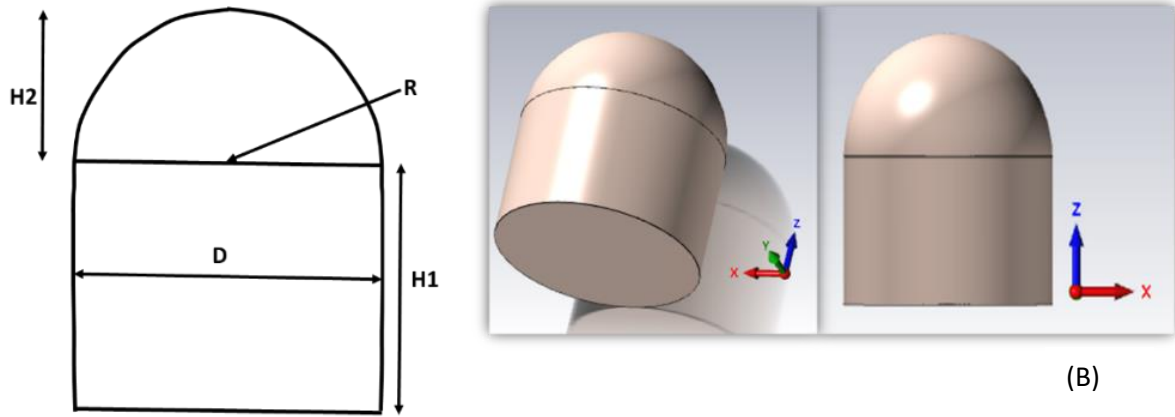


Figure II.18 La Géométrie de L'ILA. (A) La structure du MPA, (B) La structure de lentille diélectrique.

Tableau II.2 Dimensions d'antenne améliorée.

L	W	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	R	D	F <sub>L</sub>	P <sub>W</sub>
22	13	6	5	5	10	10.55	2.02
P <sub>L</sub>	g	T <sub>1</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	F <sub>W</sub>	
1.5	0.206	0.62	1.1	1.1	1.1	0.824	

### II.3.4.2 Résultats de la simulation

- Coefficient de réflexion

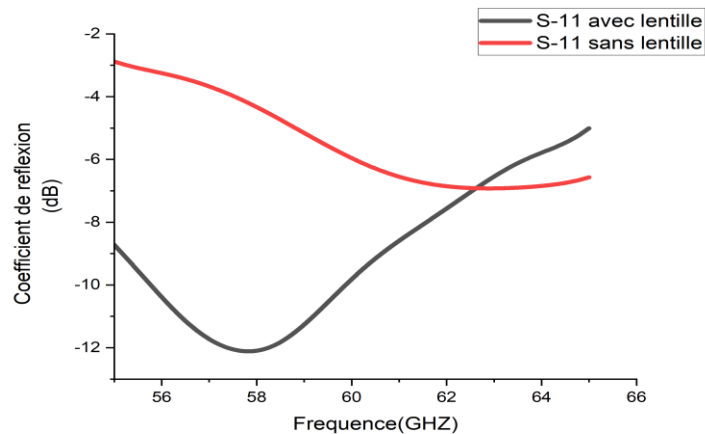


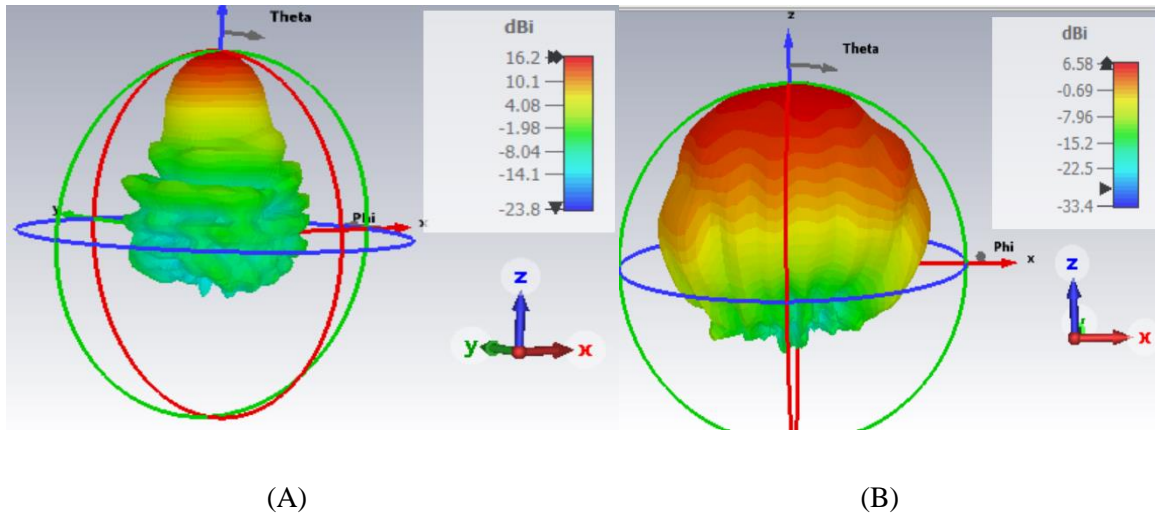
Figure II.19 Coefficient de réflexion de l'antenne avec et sans lentille

Sans l'utilisation de la lentille on remarque une mal adaptation, le S11 est supérieur à -10 dB.

On observe une amélioration significative du coefficient de réflexion avec l'utilisation de la lentille, il présente une bande passante large de 4.12 GHz qu'il fonctionne bien sur la plage de fréquence 55.78-59.90 (7.12%). Ces résultats sont en accord avec la simulation de l'article.

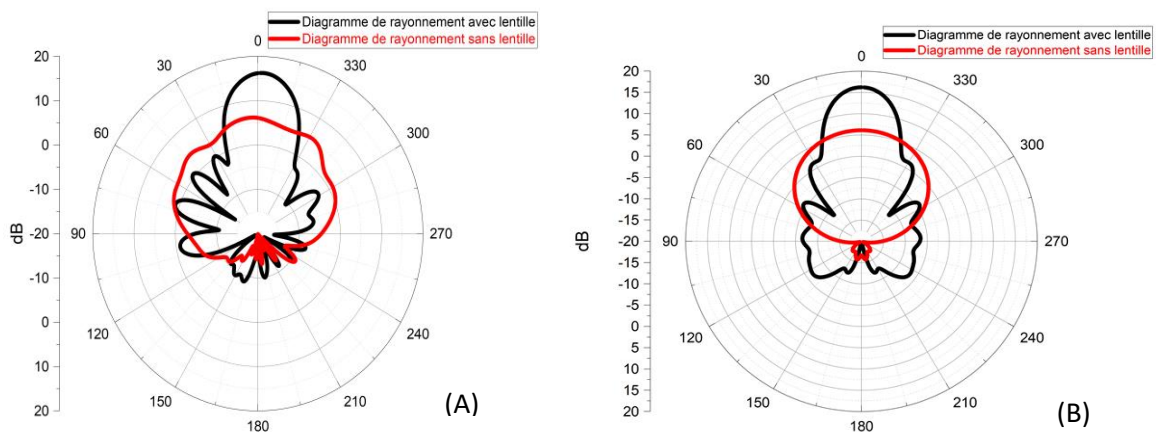
• **Diagrammes de rayonnement**

Les diagrammes de rayonnement en gain avec et sans lentille représentent dans les figures suivantes.



**Figure II.20** Diagramme de rayonnement du gain en 3D à 60 GHz. (A) avec lentille, (B) sans lentille.

Dans le cas de l'antenne sans une lentille diélectrique, le diagramme de rayonnement présente un gain plus faible est de 6.58 dBi donc n'est pas directive. Avec l'utilisation de la lentille, le diagramme est plus directif avec un maximum de gain atteint 16.2 dBi.

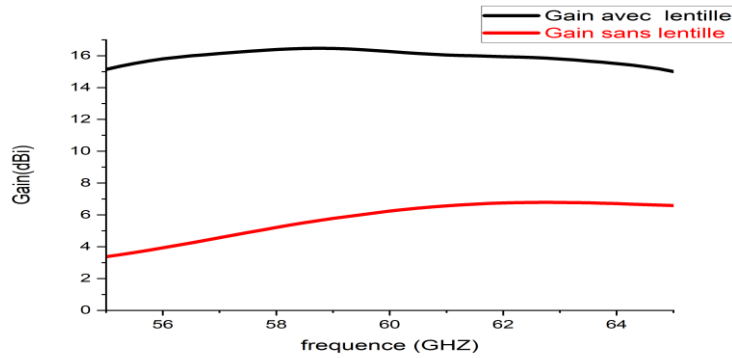


**Figure II.21** Diagramme de rayonnement en 2D. (A) dans le plan  $\phi=0$ . (B) dans le plan  $\phi=90$  à 60 GHz avec et sans lentille.

Le diagramme de rayonnement en 2D du champ lointain dans les plans  $\phi=0$  et  $\phi=90$  été calculés à la fréquence 60 GHz avec et sans lentille.

La largeur de lobe a -3 dans le plan  $\varphi=0$  est de  $69.6^\circ$  sans lentille et  $23^\circ$  avec lentille, dans le plan  $\varphi=90$  est de  $72.7^\circ$  sans lentille et  $22.5^\circ$  avec lentille. Les niveaux des lobes latéraux est de -20 dB sans lentille et -15.3dB avec lentille dans le plan  $\varphi=0$  et -14.8dB avec lentille et -21.8 dB sans lentille dans  $\varphi=90$ .

- **Gain**

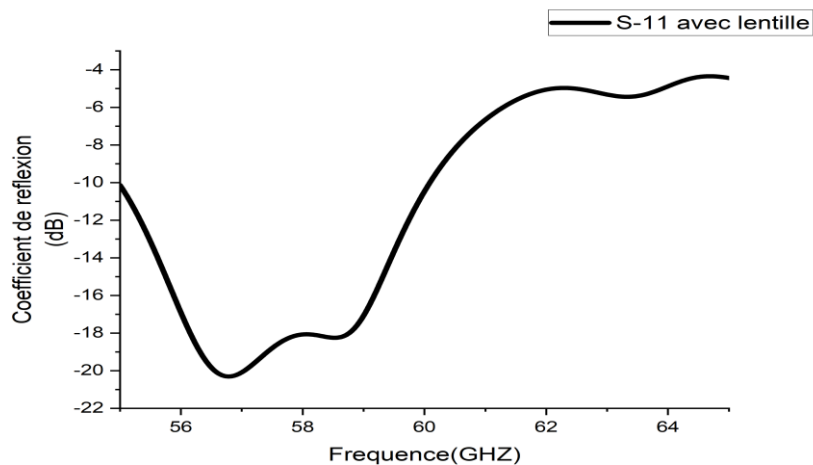


**Figure II.22** Le gain de l'antenne avec et sans lentille.

L'antenne améliorée présente une amélioration du gain environ 16.47 dBi à 58.79 avec une lentille tandis que le gain de l'antenne sans lentille est de 6.78 dBi. Cette augmentation démontre l'efficacité de l'ajoute de la lentille. Ces résultats sont en accord avec les simulations précédentes.

Grâce à cette amélioration, nous avons opté pour l'utilisation d'un autre matériau diélectrique qui est le réxolite, il apporte des améliorations significatives dans les performances d'antenne et obtenues des résultats parfaits en accord avec celui de l'article [32]. Ces résultats sont illustrés dans les figures suivantes.

- **Coefficient de réflexion**



**Figure II.23** Coefficient de réflexion de l'antenne avec lentille (Rexolite).



Nous avons observé qu'en intégrant la lentille diélectrique à une large bande passante de 5.1 GHZ dans la plage de fréquence de 50 à 60.1 (18.34%) GHZ donc il offre une bonne adaptation.

- **Diagrammes de rayonnement**

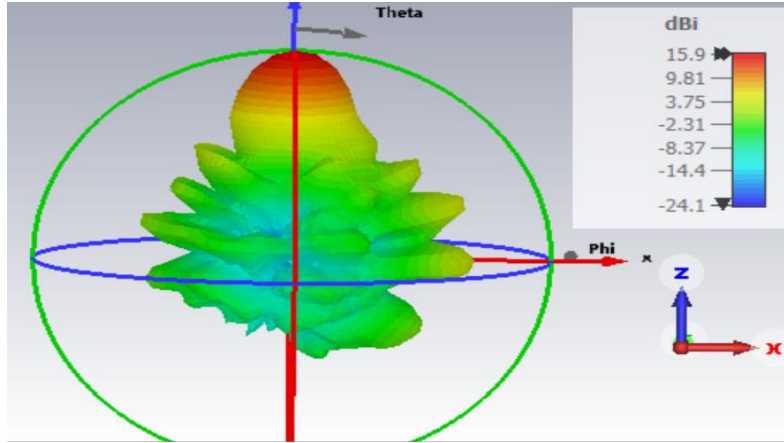


Figure II.24 Diagramme de rayonnement du gain en 3D à 60 GHZ avec lentille diélectrique (Réxolite).

Dans le cas de l'antenne avec une lentille diélectrique, le diagramme de rayonnement est plus directif avec un gain de 15.9 dBi.

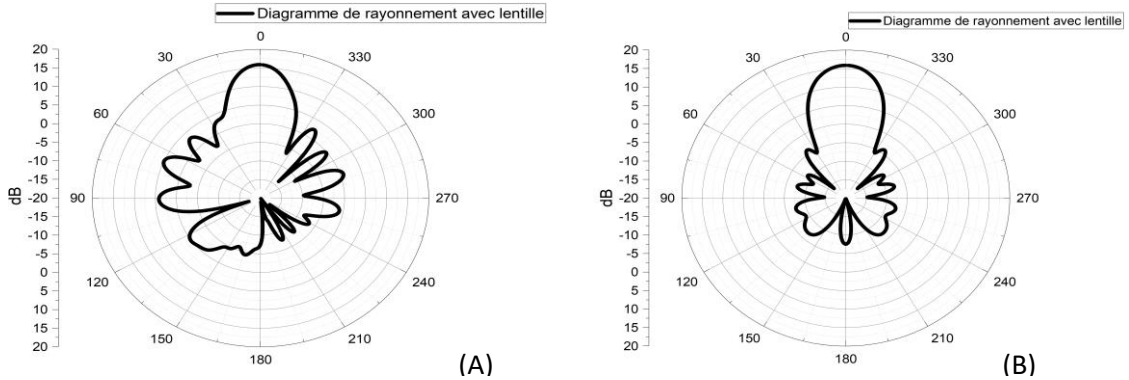
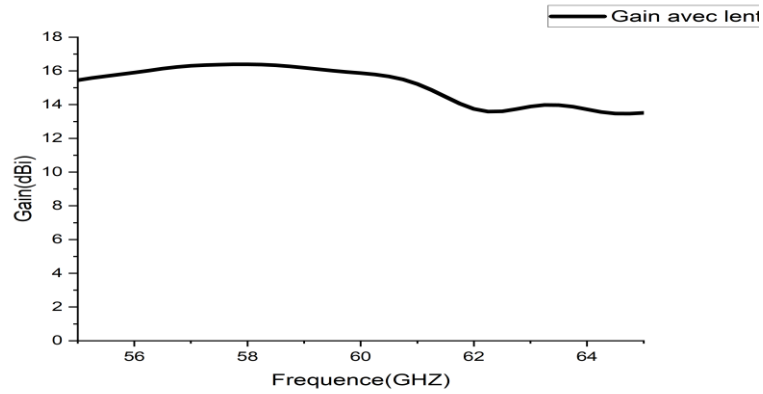


Figure II.25 Diagramme de rayonnement en 2D. (A) dans le plan  $\varphi=0$ . (B) dans le plan  $\varphi=90$  à 60 GHZ avec lentille.

Dans le diagramme en 2D, la largeur de lobe a-3 dB dans le plan  $\varphi=0$  est  $23^\circ$ . Dans le plan  $\varphi=90$  est de  $22.5^\circ$ .

Le niveau des lobes latéraux dans  $\varphi=0$  est de -15.3 dB et dans le plan  $\varphi=90$ , il est de -14.8 avec lentille.

- **Gain**



**Figure II.26** Le gain de l'antenne avec lentille diélectrique.

On observe que, Le changement du matériau donne un gain élevé et amélioré de 16.39dBi.

**Tableau II.3** Les résultats des simulations.

Paramètres	Gain (dB)	Bande passante (GHz)	Largeur du lobe a (-3dB)	Niveaux des lobes latéraux
Conceptions				
Sans lentille	7.4	7.03%	-	-
Avec lentille	18	8.3%	25°	16/12 dB
Validation				
Sans lentille	6.3	Non adapté	83.8°/27.3°	-16/-20.3 dB
Avec lentille	16.76	Non adapté	24°/23°	-14.5/-17.8 dB
Amélioration				
Sans lentille	6.78	Non adapté	69.6°/72.7°	-20/-21.8 dB

Avec lentille	16.47	7.12%	23°/22.5°	-15.3/-14.8 dB
Amélioration du matériau				
Avec lentille	16.39	18.34%	23/22.5	-15.3/-14.8dB

Selon ce tableau, nous remarquons qu'il y a une petite différence entre nos résultats, et ce de l'article [32]. Cela peut être au fait que certains paramètres sont manquants ou bien à cause de simulateurs différents.

L'utilisation d'une lentille améliore considérablement les performances de l'antenne en termes de gain, de largeur de bande et de directivité. L'optimisation du matériau de la lentille permet également d'obtenir de meilleurs résultats.

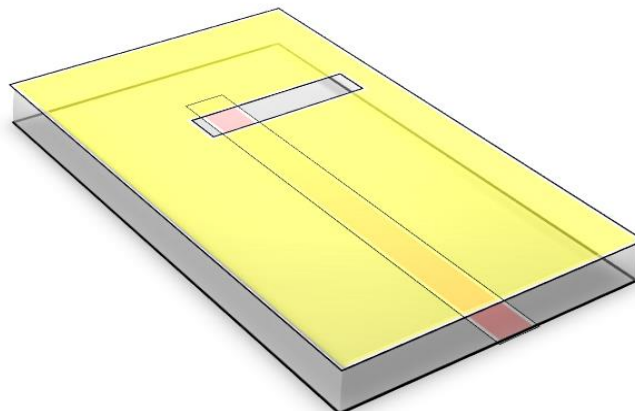
#### ***II.4 Les contributions dans le domaine des lentilles diélectriques***

Dans le cadre de notre recherche sur les lentilles diélectriques, nous avons apporté des contributions pour améliorer les performances des antennes intégrant des lentilles diélectriques.

##### ***II.4.1 Contribution 1***

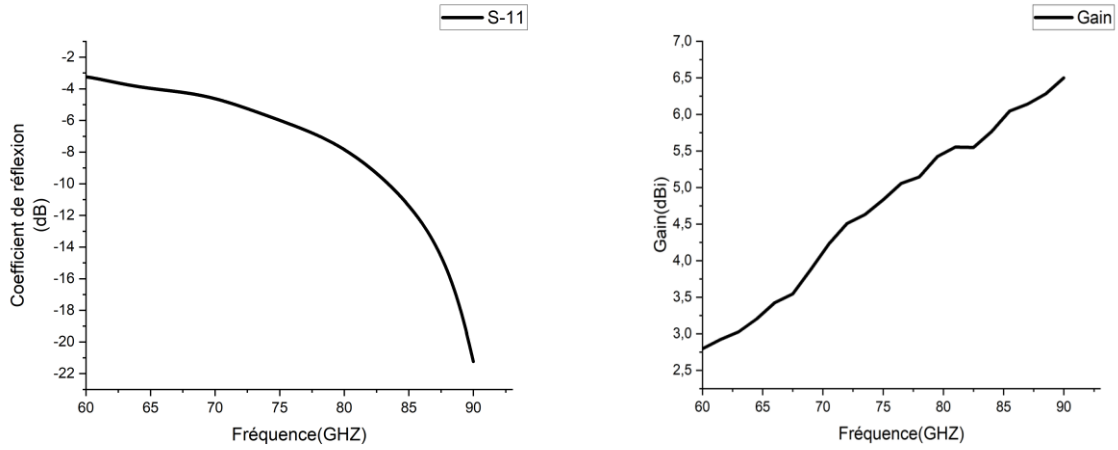
###### ***II.4.1.1 Structure de l'antenne***

La géométrie de l'antenne que nous avons étudiée se compose d'une antenne à fente de forme rectangulaire simple. Cette antenne consiste en une ligne micro ruban avec un substrat de type Rogers RT/duroid 5880 en bas d'une épaisseur de 0.254 et un plan de masse en cuivre (0.018) sur la face supérieure de cette antenne.



**Figure II.27** Antenne à fente.

Les résultats de cette antenne montrent dans la figure suivante :

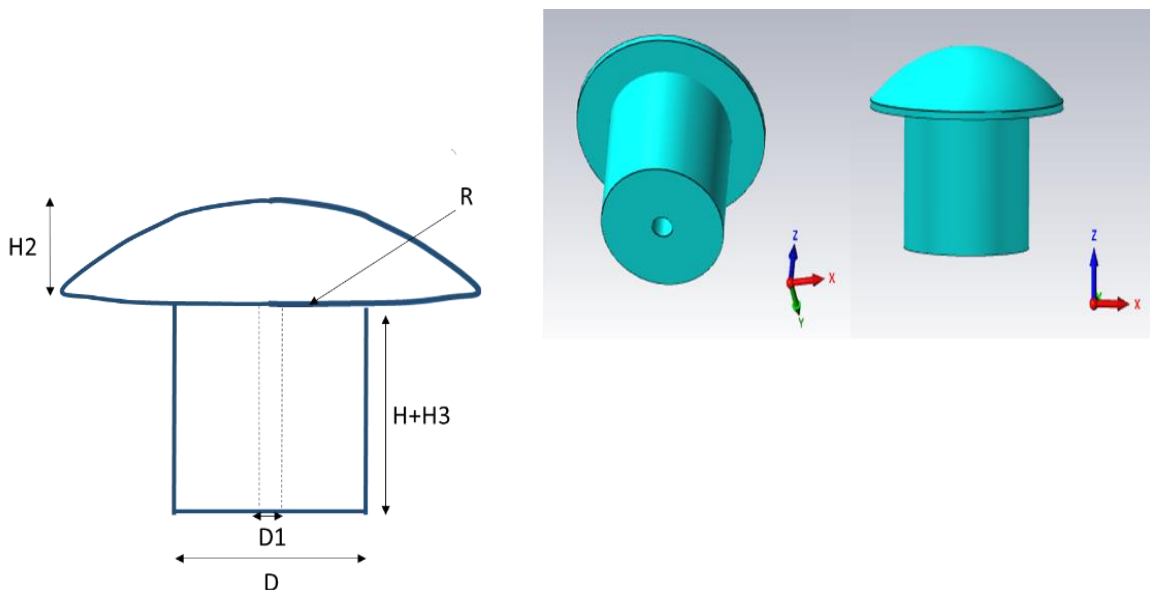


**Figure II.28** Résultat de Coefficient de réflexion et du Gain.

Cette figure montre les performances de cette antenne à fente on observe que l'antenne résonne à l'entour de 90 GHz et un maximum de gain de 6.5 dBi.

Pour améliorer ces performances, nous avons intégré cette antenne avec une antenne à lentille diélectrique de forme champignon qui est constitué d'une demi sphère en haute et une cylindre étendue. La géométrie et les dimensions de l'antenne illustre dans la figure (II.29) et le tableau (II.3).

Des simulations informatiques réaliser avec le logiciel CST MWS, permettant d'analyser les performances de l'antenne notamment : le diagramme de rayonnement, le gain et le coefficient de réflexion de la plage de fréquence du 60 à 90 GHz. Ces résultats sont présentés dans les figures suivantes.



**Figure II.29** Structure de l'antenne champignon.

Tableau II.4 Dimensions d'antenne.

L	W	$F_L$	$F_W$	H	$W_S$	$L_S$	POSX	POSY
17.5	8.75	10.37	0.33	0.254	0.45	4	0.98	-0.35
R	H1	H2	D	D3	D4	H3	D2	D1
47.2	-10	47	8	34	40	5	3.5	0.6

II.4.1.2 Résultats de la simulation

• Coefficient de réflexion

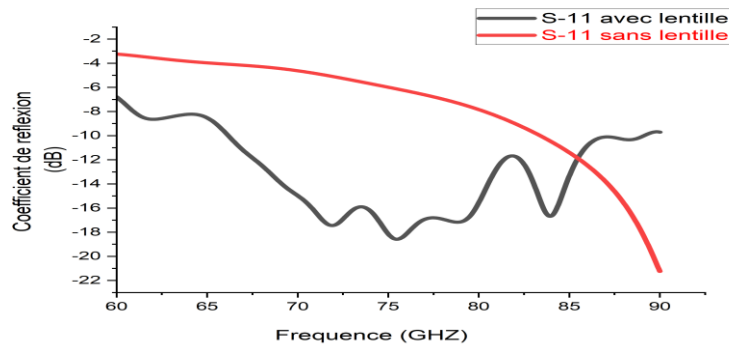


Figure II.30 Coefficient de réflexion avec et sans lentille.

Dans le premier cas sans l'insertion de la lentille diélectrique notre antenne résonne a l'entoure de 90 GHz lors de l'insertion de la lentille diélectrique la fréquence a été décaler vers les bases fréquences et une large bande passante obtenue dans la plage 67.5-87.5 qui égale à 25.8%.

• Diagrammes de rayonnement

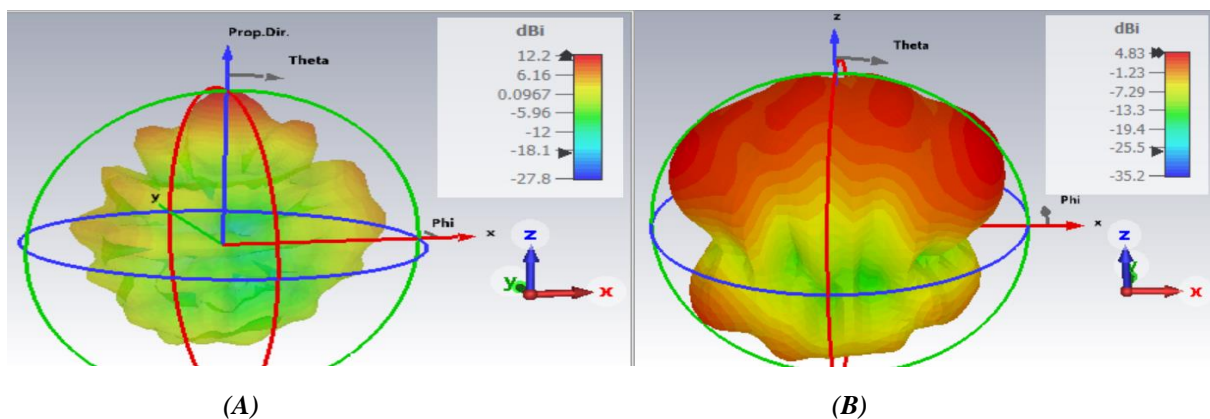


Figure II.31 Diagramme de rayonnement du gain en 3D à 80 GHZ. (A) avec lentille, (B) sans lentille.

Le diagramme en 3D sans lentille présente un gain de 4.83 dBi. Lors de l'utilisation de la lentille, le diagramme atteignant un gain maximal de 12,2 dBi.

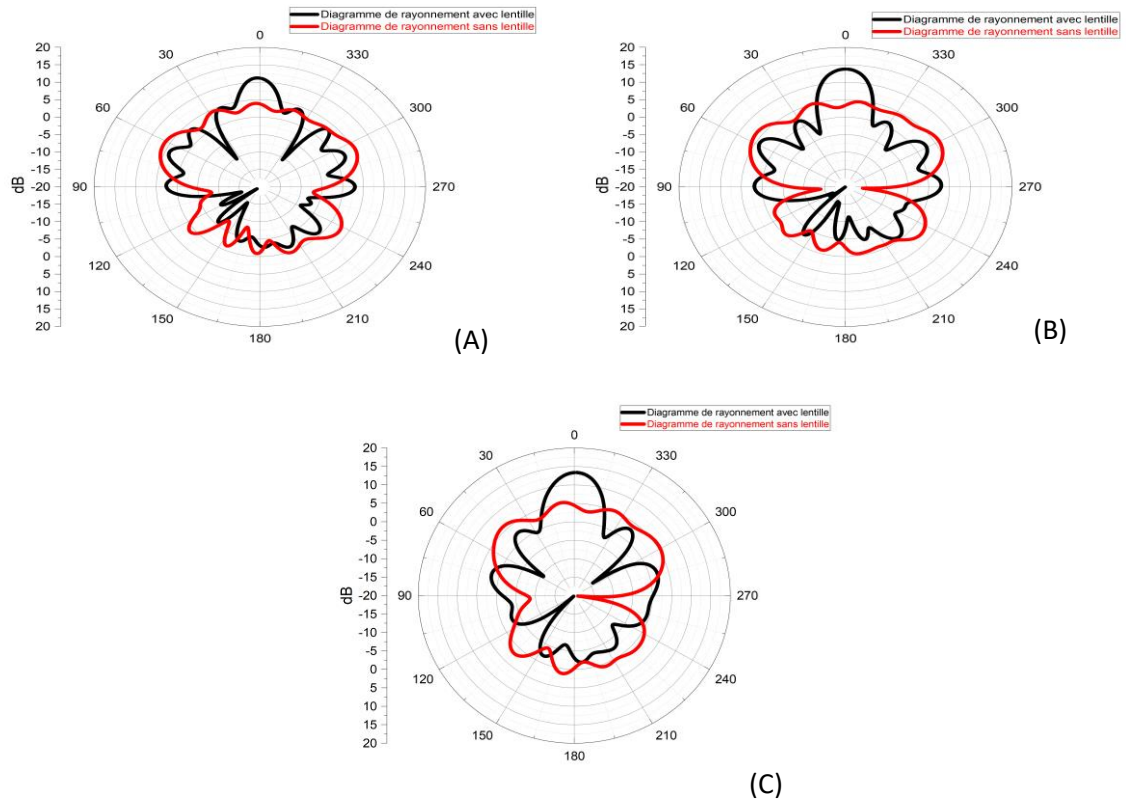


Figure II.32 Diagramme de rayonnement du gain en 2D dans le plan  $\phi=0$  avec et sans lentille. (A) 90 GHz, (B) 75 GHz, (C) 60 GHz.

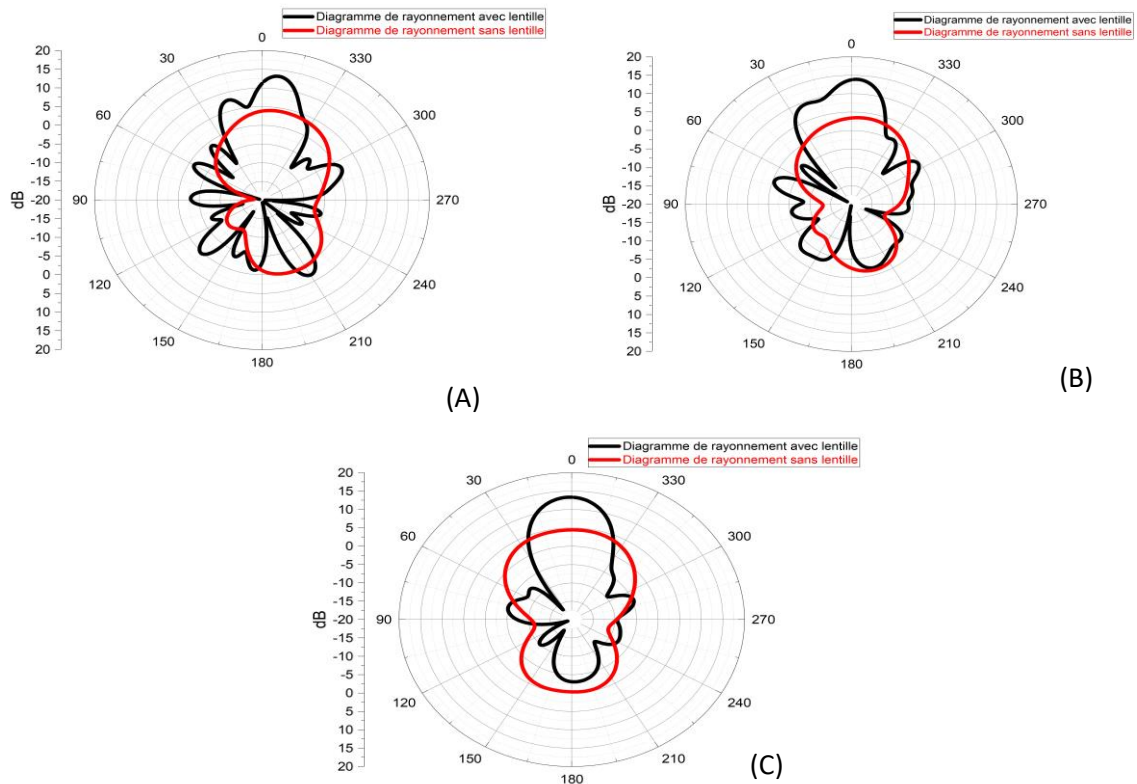
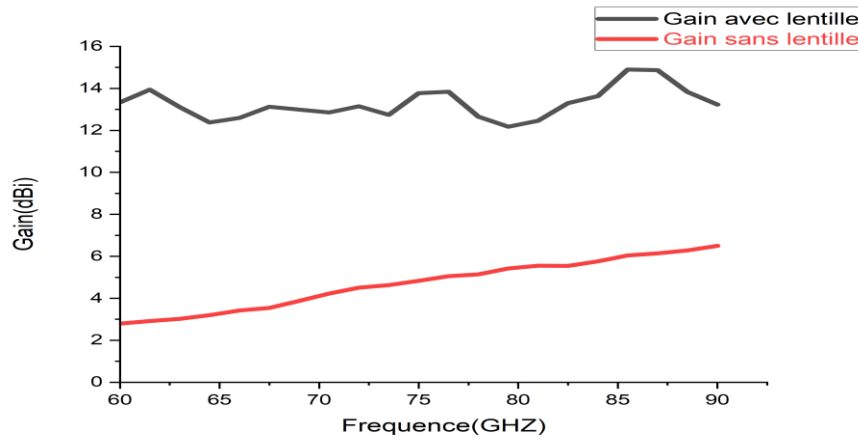


Figure II.33 Diagramme de rayonnement du gain en 2D dans le plan  $\phi=90$  avec et sans lentille. (A) 90 GHz, (B) 75 GHz, (C) 60 GHz.

Avec l'utilisation de la lentille, on observe une réduction significative de la largeur de lobe à -3 dB dans le plan  $\varphi=0$ . À 60 GHz, la largeur de lobe est de  $21.9^\circ$  avec la lentille, tandis qu'elle est de  $35^\circ$  sans la lentille. Les niveaux des lobes latéraux sont réduits avec l'utilisation de la lentille, on a à 60 GHz, le lobe latéral est à -10.4 dB avec la lentille, alors qu'il est à -0.6 dB sans la lentille.

Dans le plan  $\varphi=90$ , on observe des résultats similaires. La largeur de lobe est réduite avec la lentille par rapport à sans la lentille, et les niveaux des lobes latéraux sont réduits.

• **Gain**



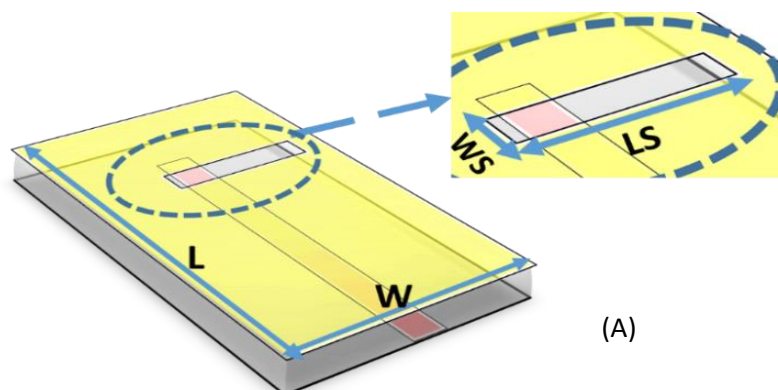
*Figure II.34 Le gain de l'antenne avec et sans lentille.*

Avec l'utilisation de la lentille diélectrique, le pic de gain de l'antenne est 14.90 dBi. Contrairement sans lentille il est à 6.5 dBi.

**II.4.2 Contribution 2**

**II.4.2.1 Structure de l'antenne**

Pour améliorer ces performances, on a augmenté la largeur et la longueur de l'antenne à fente. Puis, intègre cette antenne avec une antenne à lentille de forme ovale en téflon et fonctionne sur la plage de fréquence du 50 à 80 GHz. La géométrie et les dimensions de l'antenne illustre dans la figure (II.35) et le tableau (II.5).



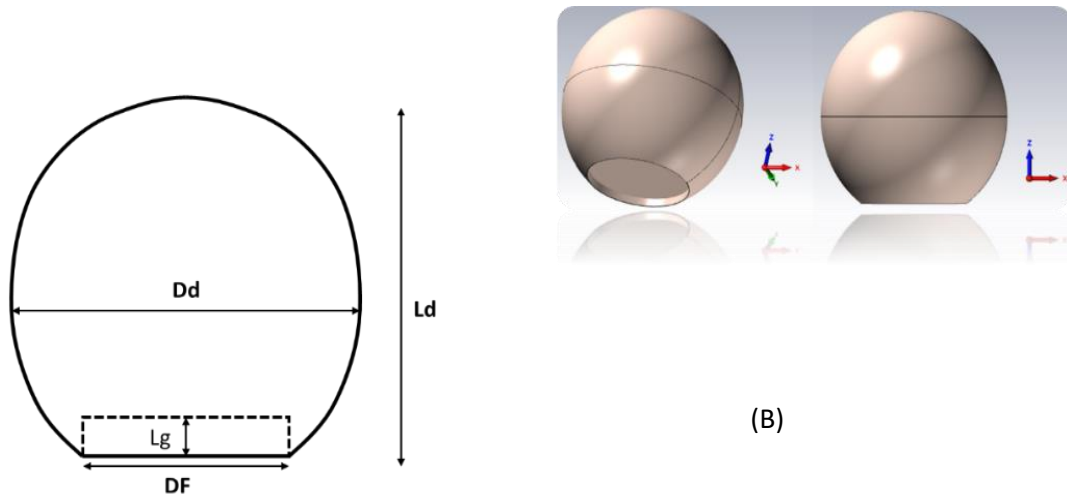


Figure II.35 Géométrie de l'antenne. (A) antenne a fente. (B) antenne à lentille diélectrique.

Tableau II.5 Dimensions d'antenne.

L	W	$F_L$	$F_W$	Lg	$W_S$	$L_S$	POSX	POSY	Ld	Dd	Df
17.5	8.75	10.37	0.33	0.67	0.45	4	0.7	0.35	15	14	9.934

Les équations qu'on a utilisées pour créer une courbe analytique à partir de ça on a créé la lentille.

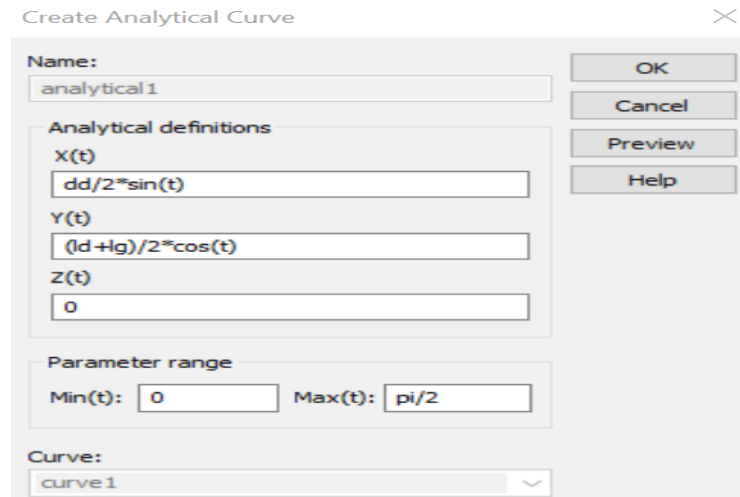


Figure II.36 Les définitions analytiques de la courbe.

### II.4.2.2 Résultats de la simulation

#### • Coefficient de réflexion



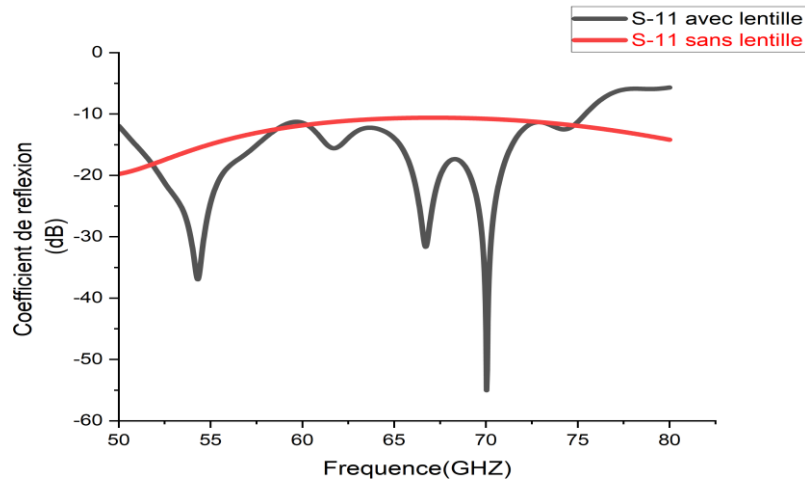


Figure II.37 Coefficient de réflexion avec et sans lentille.

La figure (II.37) représente la variation du coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence de l'antenne. On remarque qu'il y a un bon accord entre l'antenne avec et sans lentille sauf que l'antenne sans lentille la bande passante étendue vers la gauche et vers la droite qui est entre -50 et + 80 GHZ. On remarque que l'antenne résonne sur la bande passante à -10 dB de 50-75.4 GHZ donc il présente une bonne adaptation, une large bande passante, 41.26 % avec lentille et 40% sans lentille.

- **Diagrammes du rayonnement**

Le model de diagramme de rayonnement de gain en 3D représenté sur la figure (II.38) qui atteignait un gain maximum de 15.2 dBi avec lentille et 6.1dBi sans lentille.

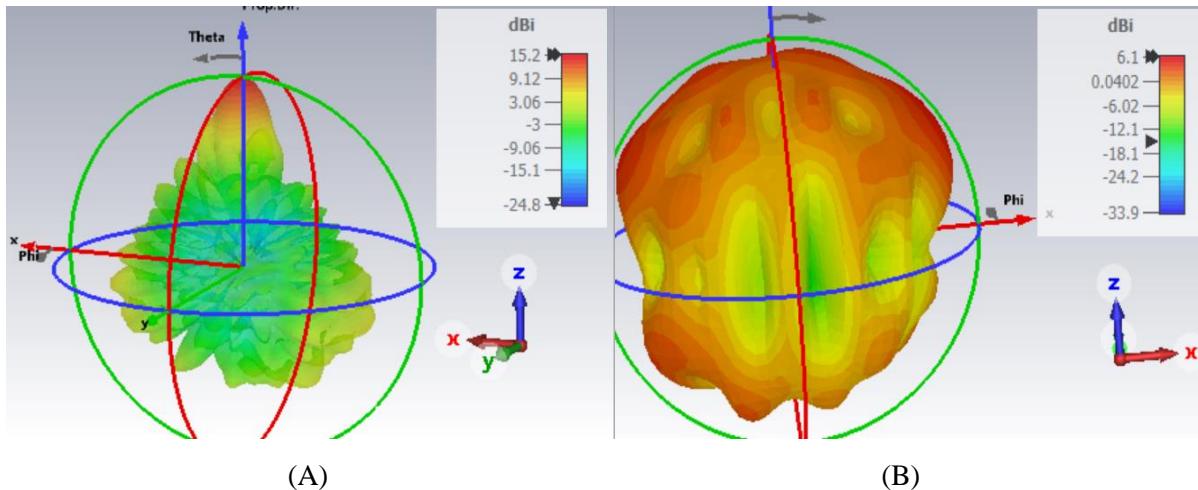


Figure II.38 Diagramme de rayonnement du gain en 3D à 80 GHZ. (A) avec lentille, (B) sans lentille.

Les diagrammes de rayonnement dans les deux plans  $\varphi=0$  et  $\varphi=90$  sont représentés sur les figures suivantes.

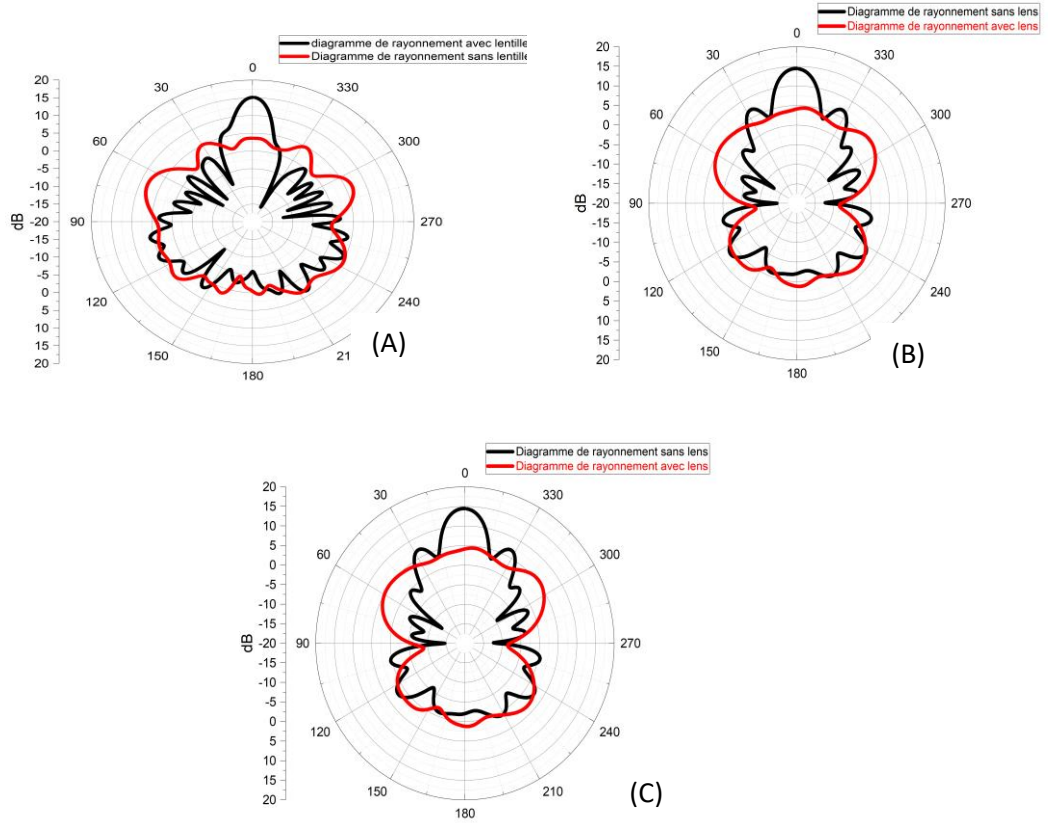


Figure II.39 Diagramme de rayonnement du gain en 2D dans le plan  $\varphi=0$  avec et sans lentille. (A) 50 GHz, (B) 65 GHz, (C) 80 GHz.

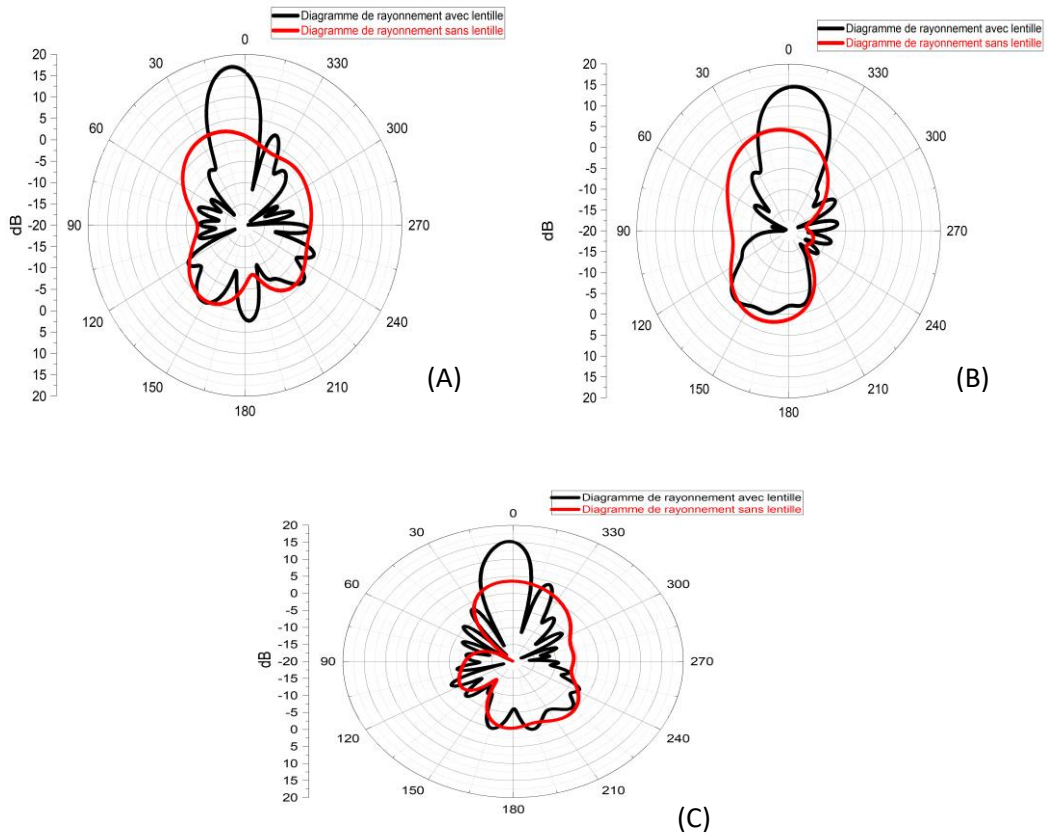


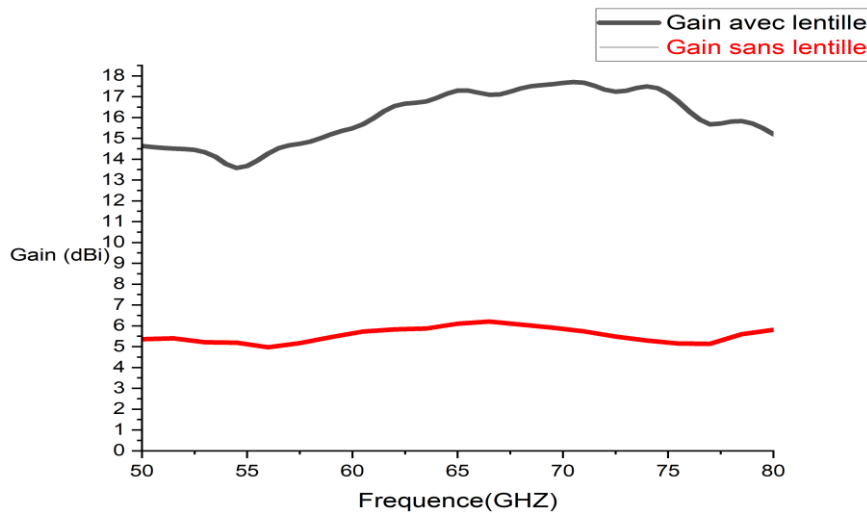
Figure II.40 Diagramme de rayonnement du gain en 2D dans le plan  $\varphi=0$  avec et sans lentille. (A) 50 GHz, (B) 65 GHz, (C) 80 GHz.

On observe une réduction significative de la largeur de lobe à -3 dB dans le plan  $\varphi=0$  avec l'utilisation de la lentille. À 50 GHz, la largeur de lobe passe de  $26.4^\circ$  sans lentille à seulement  $18^\circ$  avec la lentille, ce qui indique une meilleure focalisation du faisceau.

Dans le plan  $\varphi=90$ , on observe également une amélioration de la directivité avec l'utilisation de la lentille. À 50 GHz, la largeur de lobe est réduite de  $64.9^\circ$  sans lentille à  $36.3^\circ$  avec la lentille,

Les niveaux des lobes latéraux sont également réduits avec la lentille, ce qui témoigne d'une meilleure directivité de l'antenne.

- **Gain**



**Figure II.41** Gain de l'antenne avec et sans lentille diélectrique.

Un maximum gain obtenue d'environ 17.62 dBi se situe à 70.58 GHz. Cela montre que cette antenne a satisfait les exigences de plusieurs applications comme la 5G.

Un gain maximal à 6.21 dBi qui est au début à 5.1 dBi ensuite augmente jusqu'à la valeur maximale.

### **II.4.3 Contribution 3**

#### **II.4.3.1 Structure de l'antenne**

La structure de cette antenne est similaire à celle de l'antenne fente de la contribution 1 avec une lentille diélectrique ovale en teflon comme la lentille de la contribution 2 Cette modification de dimensions et structure est illustre dans le tableau (II.6).

Tableau II.6 Dimensions d'antenne.

L	W	$F_L$	$F_W$	Lg	$W_S$	$L_S$	POSX	POSY	Ld	Dd	Df
17.5	8.75	10.37	0.33	0.67	0.3	2.5	0.7	0	15	14	9.934

### II.4.3.2 Résultats de la simulation

- Coefficient de réflexion

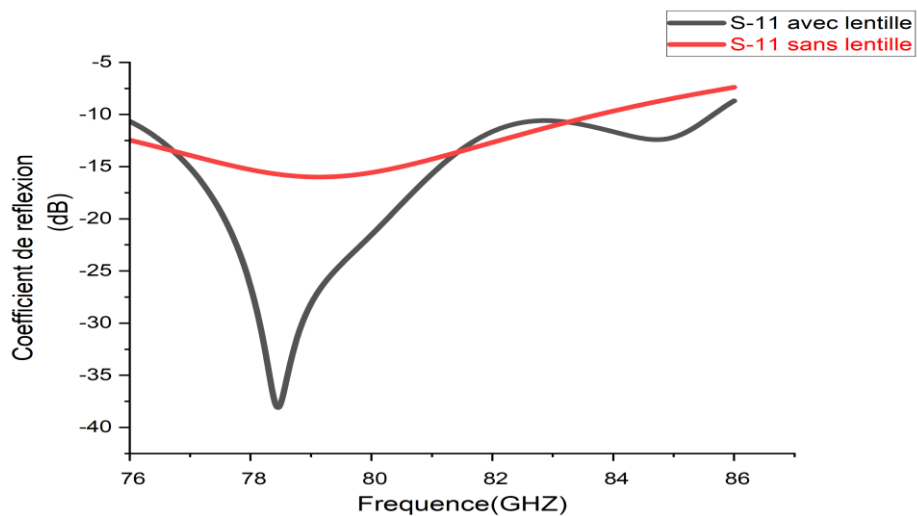
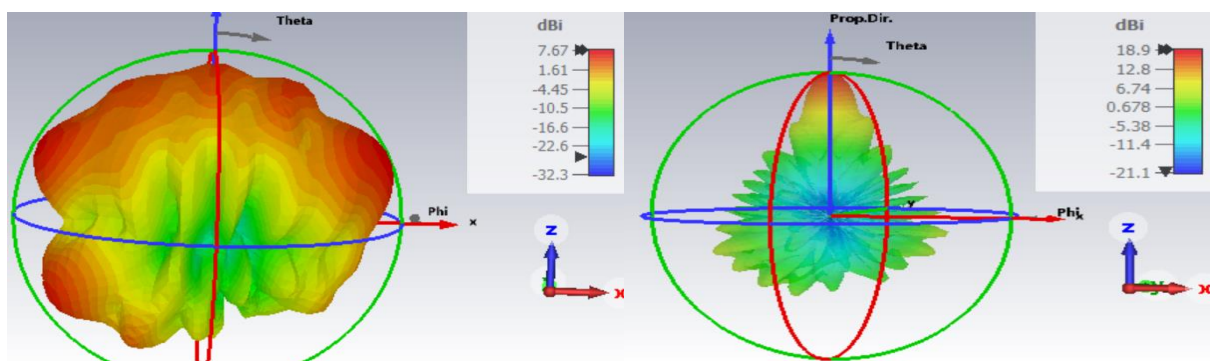


Figure II.42 Coefficient de réflexion avec et sans lentille diélectrique.

Avec lentille, l'antenne présente une large bande passante couvrant toute la plage de fréquences de 76 à 86 GHz (12.34%), avec un coefficient de réflexion atteignant -40. Sans lentille, l'antenne offre également une large bande passante, avec un coefficient de réflexion inférieur à -10 jusqu'à 83.5 GHz (12.5%).

- Diagramme de rayonnement



(A) (B)

Figure II.43 Diagramme de rayonnement du gain en 3D à 80 GHZ. (A) sans lentille, (B) avec lentille.

Le diagramme de rayonnement en 3D présente un gain plus faible est de 7.67 dBi. Avec l'utilisation de la lentille le diagramme est plus directif avec un maximum gain du 18.9 dBi.

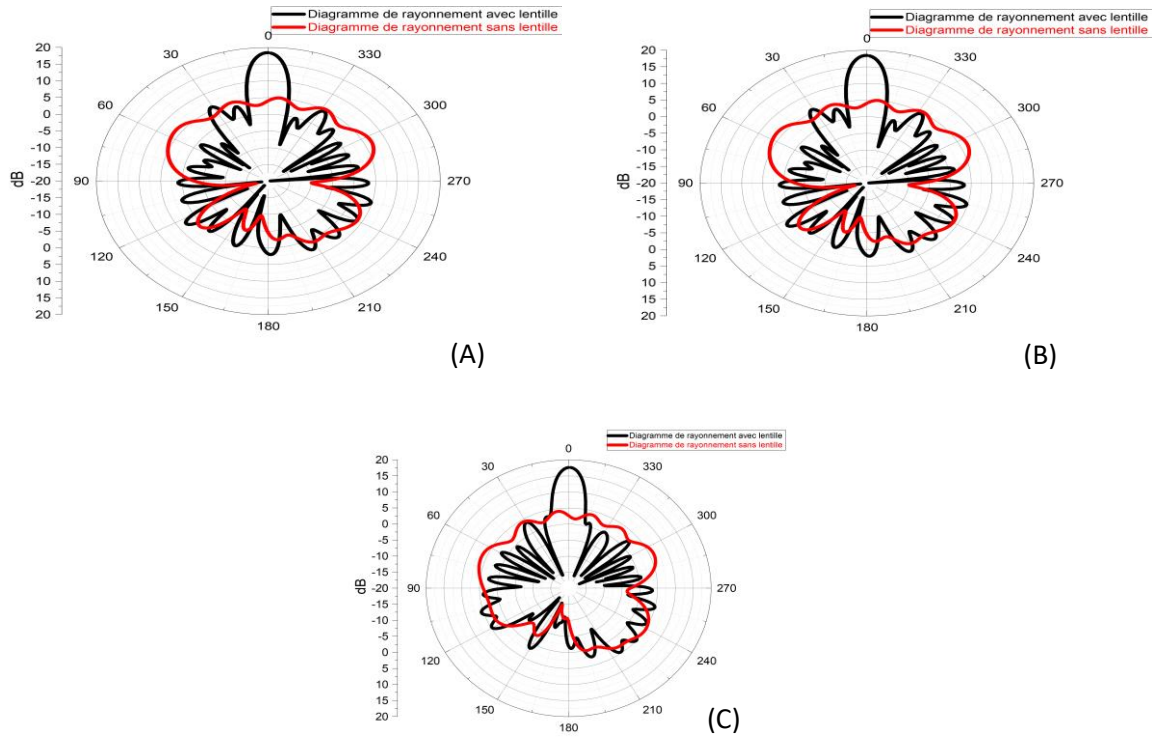


Figure II.44 Diagramme de rayonnement du gain en 2D dans le plan  $\varphi=0$  avec et sans lentille. (A) 76 GHz, (B) 80 GHz, (C) 86 GHz.

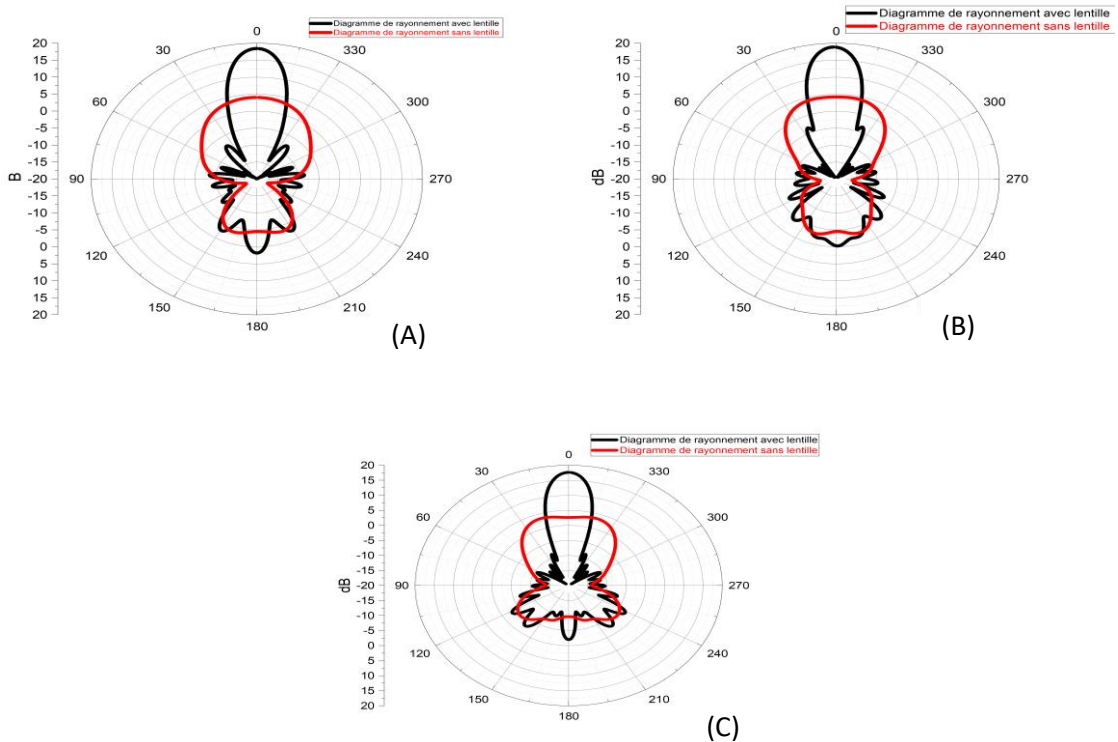


Figure II.45 Diagramme de rayonnement du gain en 2D dans le plan  $\varphi=90$  avec et sans lentille. (A) 76 GHz, (B) 80 GHz, (C) 86 GHz.

La largeur de lobe à -3dB dans le plan  $\varphi=90$  est de  $16.2^\circ$  à 76 GHz,  $15.7^\circ$  à 80GHz et  $14.7^\circ$  à 86GHz avec lentille et sans lentille on observe que la largeur de lobe est de  $66.7^\circ$  à 76 GHz,  $67.1^\circ$  à 80GHz et  $71.5^\circ$  à 86GHz. Les niveaux des lobes latéraux sont de -16.6 dB à 76 GHz, -19.1dB à 80GHz et -19.6dB à 86GHz avec lentille et sans lentille on a -7.4 dB à 76 GHz, 7.4 dB à 80GHz et -7.3 dB à 86GHz.

Dans le plan  $\varphi=0$  est de  $11.8^\circ$  à 76 GHz,  $12.1^\circ$  à 80GHz et  $11.3^\circ$  à 86GHz avec lentille et sans lentille on a  $29.6^\circ$  à 76 GHz,  $31.9^\circ$  à 80GHz et  $41.1^\circ$  à 86GHz. Les niveaux des lobes latéraux sont de -12.6 dB à 76 GHz, -10.8dB à 80GHz et -12 dB à 86GHz avec lentille et sans lentille on a -1.5 dB à 76 GHz, -0.5dB à 80GHz et -1.2dB à 86GHz.

### • Gain

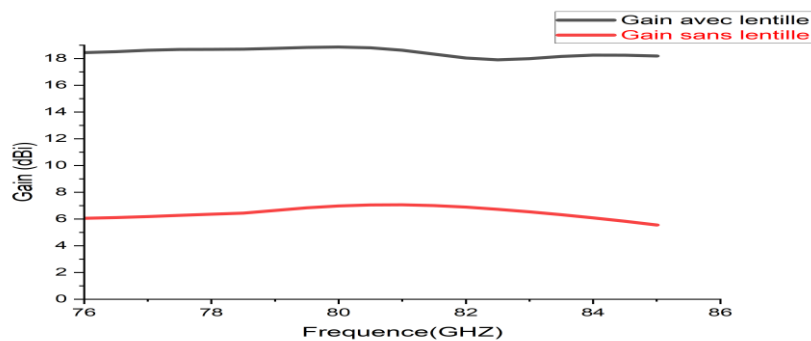


Figure II.46 Le gain de l'antenne avec et sans lentille.

L'utilisation de la lentille entraîne une augmentation significative du gain de l'antenne. Avec la lentille, le gain atteint 18.90 dBi, tandis que sans lentille, le gain est seulement de 7.05 dBi.

Nos contributions ont permis d'obtenir un gain élevé et une large bande passante, ce qui améliore les performances globales de l'antenne. Les résultats avec la lentille ovale sont mieux que la lentille de forme champignon.

Nous avons réussi à préserver un gain élevé, une large bande passante et un diagramme directif sur les trois contributions réalisées.

Ces simulations que nous faisons donnent de meilleurs résultats par rapport de la référence [32], avec une augmentation du gain de 14.90 dBi à 19 dBi et une bande passante plus large que celle de la conception initiale et un diagramme de rayonnement plus directif que de la conception.

## II.5 Conclusion

Dans la première partie de ce chapitre, on a présenté une antenne MPA (antenne patch

micro-stripe) intégré avec une antenne à lentille diélectrique et une ligne d'alimentation affilée.

La validation du prototype a été effectuée en utilisant le logiciel CST on a trouvé quelque différence dans les résultats en raison de logiciel ce n'est pas le même.

Dans la deuxième partie, on a examiné d'autres simulations pour optimiser les performances des antennes lentilles diélectrique.

Enfin, on a présenté nos contributions à ce domaine qu'il s'agit des résultats expérimentaux significatifs.

---

## *Conclusion Générale*

---



## **Conclusion générale**

Cette mémoire à explorer en détail le domaine des antennes à lentilles diélectriques. Le but était de concevoir et de réaliser les antennes lentilles diélectrique.

Dans le premier chapitre, nous avons abordé les bases théoriques des antennes, une définition, le principe de fonctionnement et les types. Dans le même contexte, nous avons étudié les méthodes de conceptions, mentionnons les matériaux diélectriques, les avantages, les inconvénients, en plus de ses domaines d'applications tels que les communications sans fils, le radar, l'imagerie, etc.

Dans le deuxième chapitre, nous étudions et valider une antenne MPA qui est intégré avec lentille diélectrique au centre. Ensuite, nous avons proposé des nouvelles modifications sur la géométrie et de matériaux de l'antenne pour améliorer les performances. Ces améliorations ont conduit à des performances améliorées des antennes lentilles diélectrique dans diverses applications. Enfin nous avons présenté nos distributions spécifiques à ce domaine de recherche, Ces contributions ont enrichi le domaine des antennes lentilles diélectriques et ouvert de nouvelles perspectives pour des applications pratiques.

En résumé, notre mémoire a permis de mieux comprendre les antennes lentilles diélectriques, de développer des méthodes de conception, de validation, et de proposer des améliorations pour des performances optimisées. Nous espérons que nos travaux contribueront à l'avancement de la recherche dans ce domaine et à l'application pratique des antennes de lentilles diélectriques dans divers domaines, tels que les communications sans fil, les systèmes radar et les applications spatiales.

---

## *Bibliographie*

---

## ***Bibliographie***

- [1] [https://en.wikipedia.org/wiki/Lens\\_antenna](https://en.wikipedia.org/wiki/Lens_antenna).
- [2] Lodge OJ, Howard JL (1888) On Electric Radiation and its Concentration by Lenses. Proceedings of the Physical Society of London 10:143.
- [3] <https://www.everythingrf.com/community/what-is-a-lens-antenna>.
- [4] Piksa P, Zvanovec S, Cerny P (2011) Elliptic and Hyperbolic Dielectric Lens Antennas in mm-Waves. RADIOENGINEERING 20:271.
- [5] Book dielectric lens antenna v2.
- [6] Luneburg R. K. (1943), US Patent 2,328,157.
- [7] Nikolic N, James GL, Hellicar A et al. (2012) Quarter-sphere Luneburg lens scanning antenna. In: Antenna Technology and Applied Electromagnetics (ANTEM), 2012 15th International Symposium on. p 1-4.
- [8] Komljenovic T, Sauleau R, Sipus Z et al. (2010) Layered CircularCylindrical Dielectric Lens Antennas—Synthesis and Height Reduction Technique. Antennas and Propagation, IEEE Transactions on 58 :1783–1788.
- [9] Fuchs B, Lafond O, Rondineau S et al. (2006) Design and characterization of half Maxwell fish-eye lens antennas in millimeter waves. Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on 54:2292-2300.
- [10] Van Der Vorst MJM, De Maagt PJL, Herben MHaJ (1999) Effect of internal reflections on the radiation properties and input admittance of integrated lens antennas. Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on 47:1696-1704.
- [11] Filipovic DF, Gearhart SS, Rebeiz GM (1993) Double-slot antennas on extended hemispherical and elliptical silicon dielectric lenses. Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on 41:1738- 1749.
- [12] Study of 140 GHz Waveguide Fed Lenses with Different Dielectric Constant.
- [13] J. Thornton, “Scanning Ka-Band Vehicular Lens Antennas for Satellite and High-Altitude Platform Communications,” 11th European Wireless Conference, Nicosia, April 10–13, 2005.
- [14] Modern lens antenna for communication engineering.
- [15] D. Gray, J. Thornton, and H. Tsuji, “Mechanically Steered Lens Antennas for 45 GHz High Data Rate Airliner-Ground Link,” EHF-AEROCOMM/GLOBECOM 2008, New Orleans, USA, November 30—December 4, 2008.
- [16] J. Thornton, S. Gregson, and D. Gray, “Aperture Blockage and Truncation in Scanning Lens-Reflector Antennas,” IET Microwaves, Antennas & Propagation Vol. 4, No. 7, July 2010, pp. 828–836.
- [17] Van Der Vorst MJM, De Maagt PJL (2002) Efficient body of revolution finite-difference time-domain modeling of integrated lens antennas. Microwave and Wireless Components Letters, IEEE 12:258-260.

- [18] Stratégie d'optimisation de formes d'antenne à base d'algorithmes génétique.
- [19] Kim KW, Rahmat-Samii Y (1998) Spherical Luneburg lens antennas: engineering characterizations including air gap effects. In: Antennas and Propagation Society International Symposium, 1998. IEEE. p 2062-2065 vol.2064.
- [20] <https://www.science.gov/topicpages/d/dielectric+lens+antenna>
- [21] Bisognin A, Titz D, Ferrero F et al. (2014) 3D printed plastic 60 GHz lens: Enabling innovative millimeter wave antenna solution and system. In: Microwave Symposium (IMS), 2014 IEEE MTT-S International. p 1–4.
- [22] Ngoc Tinh N, Delhote N, Ettore M et al. (2010) Design and Characterization of 60-GHz Integrated Lens Antennas Fabricated Through Ceramic Stereolithography. *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on* 58:2757-2762.
- [23] Semenov AD, Richter H, Hubers HW et al. (2007) Terahertz Performance of Integrated Lens Antennas with a Hot-Electron Bolometer. *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on* 55:239-247.
- [24] Costa JR, Fernandes CA (2007) Broadband slot feed for integrated lens antennas. *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.* 6 :396–400.
- [25] Nguyen NT, Sauleau R, Ettore M et al. (2011) Focal Array Fed Dielectric Lenses: An Attractive Solution for Beam Reconfiguration at Millimeter Waves. *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on* 59:2152-2159.
- [26] Fernandes CA, Lima EB, Costa JR (2011) Tapered waveguide feed for integrated dielectric lens antenna performance tests. In: EUROCON - International Conference on Computer as a Tool (EUROCON), 2011 IEEE. p 1–4.
- [27] BILAL TARIQ MALIK, VIKTOR DOYCHINOV, SYED ALI RAZA ZAIDI, IAN D. ROBERTSON, AND NUTAPONG SOMJIT (2019) Antenna Gain Enhancement by Using Low-Infill 3D-Printed Dielectric Lens Antennas .
- [28] Gwan Hui Lee, Student Member, IEEE, Sachin Kumar , Hyun Chul Choi , and Kang Wook Kim (2021) Wideband High-Gain Double-Sided Dielectric Lens Integrated With a Dual-Bowtie Antenna.
- [29] Oscar Quevedo-Teruel, Mahsa Ebrahimpouri, and Fatemeh Ghasemifard (July 2018) Lens Antennas for 5G Communications Systems.
- [30] Subarrays KIRAN A. SHILA 1, (Graduate Student Member, IEEE), AND GOKHAN MUMCU 2, (Senior Member, IEEE) (2022) A Millimeter-Wave 2D Beam Steering Antenna Using Extended Hemispherical Dielectric Lens Antenna.
- [31] R. Karimian, A. Kesavan, M. Nedil, and T.A. Denidni, “Low-mutual-coupling 60-GHz MIMO antenna system with frequency selective surface wall” *IEEE Antennas and Wireless Propag. Let.*, vol. 16, 2017, pp.373—376.
- [32] Muhammad Kamran Saleem<sup>1</sup> | Mingyang Xie<sup>2</sup> | Majeed A. S. Alkanhal<sup>3</sup> | Muhammad Saadi<sup>1</sup> (2018) Effect of dielectric lens antenna .