

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

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA



Domaine : Sciences et Technologie  
Département : Electronique  
Spécialité : Télécommunication  
Option : Système des Télécommunications

**Mémoire présenté pour l'obtention  
du diplôme de Master Académique**

**Intitulé**

**Conception et analyse d'antennes à résonateur  
diélectrique pour les applications sans fil**

**Réalisé par :** Radjaa NOUIBAT

**Dirigé par :** Dr. Mohamed SAHED  
Dr. Elhadi KENANE

**Soutenu le 12 Juin 2024 devant le jury composé de :**

Izzeddine CHALABI	MCA	Université de M'sila	Président
Mohamed SAHED	MCA	Université de M'sila	Rapporteur
Elhadi KENANE	MCA	Université de M'sila	Co-rapporteur
Messaoud GARAH	MCA	Université de M'sila	Examineur

**Année universitaire : 2023/2024**

وَنُفُوقَ كُلِّ قَوْمٍ عَلِيمٌ



## Remerciement

Je remercie *الله تعالى* le Tout-puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terminer ce présent mémoire.

Je voudrais dans le premier lieu remercier, mon directeur de mémoire **Dr. Mohamed SAHED**, pour avoir relu et corrigé mon mémoire. Ses conseils de rédaction ont été très précieux. Mon co-directeur de mémoire **Dr. Elhadi KINANE**, pour sa patience, sa disponibilité et le partage des connaissances. Grâce aussi à sa confiance, nous avons pu mener à bien notre mission.

Je remercie la doctorante **Rania GUERNINE** pour toute son intervention et son aide.

Je remercie également les membres du jury, **Dr. Izzeddine CHALABI** et **Dr. Messaoud GARAH** d'avoir accepté l'expertise et l'évaluation de ce modeste travail et pour tous mes enseignants qu'ils m'ont apporté tout au long de mon cheminement d'études.



## *Dédicace*

*Je dédie mon succès à ceux qui  
ont le mérite de l'avoir réalisé,  
à ceux qui m'ont soutenu avec  
amour dans la réalisation de  
mes rêves, à mes chers parents,  
et chers frères Dhia et Islam  
et à tous les chers membres de  
ma famille.*



# *Sommaire*

## Sommaire

<i>Introduction générale</i> .....	2
<b>Chapitre I : Etat de l'art sur les résonateurs diélectriques</b>	
<b>I.1 Introduction</b> .....	5
<b>I.2 Notion générale d'une antenne DRA</b> .....	5
<b>I.2.1 Définition d'une antenne DRA</b> .....	5
<b>I.2.2 Formes et matériaux des antennes DRA</b> .....	6
• <i>Formes des antennes DRA</i> .....	6
• <i>Matériaux utilisés pour les antennes DRA</i> .....	6
<b>I.2.3 Paramètres d'une antenne DRA</b> .....	7
<b>I.2.4 Caractéristiques d'une antenne DRA</b> .....	8
<b>I.2.5 Application des antennes DRAs</b> .....	9
<b>I.2.6 Amélioration de la bande passante et le gain</b> .....	10
<i>Amélioration de la bande passante</i> .....	10
<i>Amélioration du gain</i> .....	11
<b>I.3 Une vue historique d'une antenne DRA</b> .....	11
<b>I.4 Avantages et inconvénients d'une antenne DRA</b> .....	12
<b>I.5 Etat de l'art sur les antenne DRA</b> .....	13
<b>I.5.1 Co-conception des DRA et des structures d'alimentation en utilisant CM</b> .....	13
<b>I.5.2 nouvelle antenne à résonateur diélectrique cylindrique (CDRA) à gain élevé</b> .....	17
<b>I.6 Conclusion</b> .....	20
<b>Chapitre II : Etude analytique d'une antenne DRA par la CMA</b>	
<b>II.1 Introduction</b> .....	21
<b>II.2 Principe de fonctionnement d'une antenne DRA</b> .....	21
<b>II.3 Concepts généraux</b> .....	22
<b>II.3.1 Mode de résonance</b> .....	22
<b>II.3.2 Carte de champ</b> .....	22
<b>II.3.3 Fréquence de résonance</b> .....	22
<b>II.3.4 Diagramme de rayonnement</b> .....	22
<b>II.4 Résonateur Diélectrique Cylindrique (RDC)</b> .....	23
<b>II.4.1 Présentation</b> .....	23
<b>II.4.2 Nomenclature</b> .....	23
<b>II.4.3 modes de résonances</b> .....	24
<b>II.4.3.1 Les modes transverses électriques ou modes <math>TE_{m,n,p}</math></b> .....	24

<b>II.5 Antennes à Résonateurs Diélectriques Rectangulaires (RDRA)</b> .....	27
<b>II.5.1 Présentation</b> .....	27
<b>II.5.2 Mode de résonance</b> .....	28
<b>II.5.3 Fréquence de résonance et carte des champs</b> .....	28
<b>II.5.4 Facteur de qualité</b> .....	30
<b>II.6 Conclusion</b> .....	31

### **Chapitre III : Etude paramétrique d'une Antenne DRA rectangulaire**

<b>III.1 Introduction</b> .....	38
<b>III.2 Antenne DRA rectangulaire</b> .....	38
<b>III.2 .1 définition d'une antenne RDRA</b> .....	38
<b>III.2 .2 Géométrie de l'antenne proposée</b> .....	39
<b>III.2 .3 Résultat et discussion</b> .....	40
<b>III.3 Etudes paramétriques</b> .....	41
<b>III.3.1 Effet des dimensions de la diélectrique</b> .....	41
<i>1.Effet de la largeur de résonateur</i> .....	41
<i>2.Effet de la Longueur de résonateur</i> .....	42
<i>3.Effet de la hauteur de résonateur Hrec</i> .....	43
<b>III.3.2 Effet de la permittivité de diélectrique</b> .....	43
<b>III.3.3 Effet des dimensions de la fente</b> .....	44
<i>1. Influence de la largeur de la fente Wslot</i> .....	44
<i>2.Influence de la longueur de la fente Wslot</i> .....	45
<b>III.3.4 Effet des dimensions du micro-ruban</b> .....	45
On va voir l'impact des dimensions du micro-ruban de l'antenne.....	45
<i>1. Effet de la Longueur du micro-ruban</i> .....	45
<i>2. Effet de la largeur de micro-ruban</i> .....	46
<b>III.4 Conclusion</b> .....	46

### **Chapitre IV : Conception d'une antenne DRA pour les applications RFID**

<b>IV.1 Introduction</b> .....	48
<b>IV.2 Choix de l'outil de simulation</b> .....	48
<b>IV.3 Simulateur CST studio</b> .....	48
<b>IV.4. Définition de l'optimisation</b> .....	50
<b>IV.5 Algorithme PSO</b> .....	50
<b>IV.5.1 Principe du l'algorithme PSO</b> .....	50
<b>IV.6 Applications RFID</b> .....	50
<b>IV.6.1 Définition</b> .....	50
<b>IV.6.2 Principe de fonctionnement des systèmes RFID</b> .....	51

<b>VI.7 Conception d'une antenne RDRA</b> .....	52
<b>IV. 7.1 Géométrie de l'antenne proposée</b> .....	54
<b>IV.8 Résultats de simulation</b> .....	55
<b>IV.10 Conclusion</b> .....	58
<i>Conclusion générale</i> .....	61
<i>Référence bibliographique</i> .....	64



*Introduction  
générale*

## *Introduction générale*

Les télécommunications ont connu une évolution majeure, incluant les communications téléphoniques mobiles, les réseaux sans fil, la télévision par satellite et les applications radar. Cela a entraîné une croissance rapide des systèmes électroniques liés à ces applications, tels que des antennes pour transmettre et recevoir des signaux de transmission [1].

Particulièrement, les antennes jouent un rôle crucial dans les télécommunications sans fils, ce qui fait une liaison entre un émetteur et un récepteur à longue distance. Pour avoir une antenne avec des caractéristiques optimales, ce qui la rend adéquate aux applications prédéfinies, une étude paramétrique approfondie doit être faite.

En fait, il existe plusieurs types d'antennes, et la plupart partagent des inconvénients similaires : elles chauffent lorsqu'elles sont utilisées pendant des périodes prolongées, ce qui entraîne des pertes importantes. C'est pour cela, dans notre mémoire, notre choix s'est porté sur les antennes à résonateur diélectriques (Dielectric Resonator Antennas, DRA) qui sont fabriquées en plastique, ce qui les offre la possibilité d'alléger les problèmes des antennes conventionnelles. Cependant, malgré tous ses avantages, les DRAs présentent malheureusement des inconvénients, à savoir la bande passante étroite et la sensibilité aux variations de température [2].

Les DRAs possèdent la capacité d'emmagasiner et de rayonner les ondes électromagnétiques (Electromagnetic Waves, EW) à une fréquence spécifique, appelée fréquence de résonance. Un élément métallique est généralement associé aux DRAs, ce qui permet la conversion des ondes stockées en champ électromagnétique rayonné [3].

Plusieurs types de DRAs ont vu le jour, chacun avec ses caractéristiques et ses applications uniques. Nous pouvons citer à titre d'exemple les DRAs rectangulaires, cylindriques, à patch, à fente et fractales.

Dans ce travail, on va tout d'abord apprendre les fondements théoriques des antennes DRAs. La compréhension de ces fondements va nous permettre de concevoir avec aisance une antenne DRA destinée aux applications sans fil. Ceci représente l'objectif principal de notre mémoire. On va ensuite utiliser des techniques d'ouverture de bande pour améliorer la bande passante de notre antenne DRA. Une étude analytique et paramétrique approfondie de l'antenne proposée sera également menée, ce qui permet d'apercevoir l'effet de différents paramètres physiques sur les caractéristiques et les performances de cette antenne.

Notre mémoire s'articule autour de quatre chapitres et est organisé comme suit :

- Dans le premier chapitre, on va présenter un état de l'art sur les antennes DRAs, ses paramètres fondamentaux ainsi que ses caractéristiques et avantages.
- Le deuxième chapitre est consacré dans la totalité à une étude analytique d'une antenne DRA par l'analyse en modes caractéristiques (Characteristic Mode Analysis, CMA). Une classification rigoureuse des différents modes de résonance des antennes DRAs de formes rectangulaires et cylindriques a été également établie.
- Dans le troisième chapitre, une étude paramétrique d'une antenne DRAs de forme rectangulaire, en utilisant le simulateur Computer Simulation Technology (CST) studio, sera fait.
- Le quatrième chapitre est consacré à l'optimisation d'une antenne DRA pour les applications RFID. À l'aide du simulateur CST.
- À la fin, nous terminons notre mémoire par une conclusion générale et quelques perspectives pour les futurs travaux.



*Chapitre I*  
*Etat de l'art sur les*  
*résonateurs diélectriques*

## **I.1 Introduction**

Durant ces dernières années, L'évolution quotidienne des systèmes de télécommunication a donné une place très importante aux résonateurs diélectriques, dont l'objectif est de diminuer constamment la taille et le poids des systèmes et d'accroître la fréquence et la bande passante. Les résonateurs diélectriques se composent de pastilles céramiques polycrystallines, qu'elles soient nues. Toutefois, certaines applications nécessitent les caractéristiques des résonateurs diélectriques et n'ont pas encore trouvé de substitut. Aujourd'hui, on trouve des résonateurs diélectriques dans divers systèmes, passifs et actifs, tels que les oscillateurs, les dispositifs de filtrage et les antennes. Quand on place un résonateur dans une cavité, il a un facteur de qualité élevé, Cela permet de créer un filtre très performant qui permet de choisir une bande de fréquence spécifique, et peut être utilisé pour multiplexer les fréquences, comme dans les stations de base de radiotéléphonie, pour séparer les voies d'émission et de réception des téléphones portables, etc. Ils sont employés dans les réseaux GSM (Global System Mobile), UMTS (Universal Module Télécommunication System) et GPS (Global Positioning System). Par ailleurs, les oscillateurs incluent, en plus du résonateur, un circuit intégré opérationnel. La fonction du circuit résonant est de maintenir la fréquence d'émission de l'oscillateur stable.

Dans ce chapitre, on va faire un état d'art sur les résonateurs diélectriques puis on va connaître leurs caractéristiques, leurs paramètres, avantages et inconvénients.

## **I.2 Notion générale d'une antenne DRA**

### **I.2.1 Définition d'une antenne DRA**

Une antenne à résonateur diélectrique (DRA) est un type d'antenne radiofréquence principalement utilisée dans les fréquences micro-ondes et supérieures. Elle se compose d'un bloc de matériau diélectrique de différentes formes, le résonateur diélectrique, monté sur une surface métallique.

Les avantages des antennes DRA incluent leur absence de parties métalliques, qui deviennent dissipatives à haute fréquence, dissipant ainsi l'énergie. Cela leur permet d'avoir des pertes plus faibles et d'être plus efficaces que les antennes métalliques aux fréquences micro-ondes et millimétriques élevées.

## I.2.2 Formes et matériaux des antennes DRA

### • Formes des antennes DRA

Après les antennes à résonateurs diélectriques cylindriques, Long et ses collègues ont étudié les formes rectangulaires et hémisphériques [4]. Ce travail a créé la fondation pour les futures recherches sur les DRA. Beaucoup d'autres formes, telles que triangulaire, sphérique, anneau cylindrique, et tétraèdre ont également été étudiées. La liste des topologies des antennes ne semble pas être arrêtée, elle est entraînée par de nombre considérable de recherches effectuées dans ce domaine à travers le monde afin d'améliorer les caractéristiques des DRA. La Figure I.1 présente les formes géométriques des résonateurs diélectriques commercialisés [5].



Figure I.1 : Formes de résonateurs diélectriques commercialisés [5]

### • Matériaux utilisés pour les antennes DRA

L'une des propriétés électriques les plus importantes qui caractérisent les matériaux diélectriques, est la permittivité diélectrique ( $\epsilon_r$ ) qui traduit la réaction du milieu face à une excitation électrique. Selon la valeur utilisée, des bandes de fréquences sont associées au résonateur diélectrique et donc le choix de la constante diélectrique du matériau est très important dans la conception des antennes à résonateur diélectrique.

- Les matériaux à permittivité moyenne (entre 15 et 25) sont beaucoup plus destinés à la gamme des fréquences entre 20 et 30 GHz.

- Les matériaux à permittivité moyenne (entre 30 et 40) sont utilisables dans la gamme des fréquences entre 7 et 12 GHz.

▪ Les matériaux dont la permittivité est supérieure à 50 sont caractérisés par des pertes relativement élevées ( $\tan \delta = 10^{-3}$ ) et sont destinés aux fréquences comprises entre 0.8 et 3 GHz [6].

**Tableau I.1 : Différents matériaux utilisés pour la conception des DRA [6]**

Matériaux	Constante Diélectrique	Fréquence de travail (GHz)	Applications
<i>FR4</i>	4.4		
<i>RogersT/Duroid 6010</i>	10.2	3.66	Systèmes multi bandes
<i>RogersT/Duroid 6006</i>	6.15	4.94	
<i>MgTiO3 (MTO)</i>	15	12.2-21.65	Applications Large bande
<i>CoTiO3 (CTO)</i>	10		
<i>Bismuth Bi3xZn2-3x-Ay (ZnxNb2-x-zBz) O7</i>	33.3	2.8	–
	71		
	96.7		
<i>Rogers RT6010 Zinc Tantalum (BZT)</i>	10.2	5.3-6.1 7.2-7.8	Applications multi bandes
	27.5		
<i>Arlon 600 substrate</i>	6.15	5.8	–
<i>BaTiO3</i>	1000	2.8	Applications mobiles
<i>Rogers RO3010</i>	10.2	1.67-6.7	GSM-1800, WiMax...
<i>Teflon Alumina</i>	2.2	3.85-6.2	Applications Large bande
	9.8		
<i>Rogers TMM10</i>	9.2	5.3-6.05	Applications sans fil
<i>ZrTiO4</i>	38	–	Micro-ondes

### I.2.3 Paramètres d'une antenne DRA

- *Techniques d'alimentation utilisées*

Voici quelques techniques couramment utilisées pour alimenter les antennes DRA :

- *Alimentation Planaire*

Les alimentations planaires sont souvent utilisées avec les antennes DRA. Elles comprennent les **lignes micro-rubans** et les **sondes coaxiales**.

- ❖ Ligne micro-ruban : Cette technique utilise des lignes de transmission planaires pour acheminer l'énergie électromagnétique vers l'antenne DRA. Elle est simple à réaliser et convient aux applications à large bande [5].

- ❖ Sonde coaxiale : Dans ce cas, une sonde coaxiale est utilisée pour alimenter l'antenne DRA. Cela permet une connexion plus robuste et une meilleure adaptation d'impédance [5].

- **Alimentation Mixte**

Sur des substrats planaires. L'alimentation mixte combine différentes méthodes d'alimentation. Elle peut inclure une combinaison d'alimentation coaxiale et d'alimentation coplanaire.

- ❖ Alimentation coaxiale : Elle offre une connexion robuste et est souvent utilisée pour les antennes DRA.

- ❖ Alimentation coplanaire : Cette technique est également courante et permet une intégration plus facile [7].

- **Fréquence de fonctionnement** : Les antennes DRA sont souvent utilisées pour des applications à haute fréquence. Par exemple, une conception d'antenne DRA à 60GHz a été réalisée.

- **Mode de rayonnement**: Les antennes DRA peuvent optimiser le type de rayonnement (radial, axial,...) et la bande passante associée

- **Polarisation** : La polarisation d'une antenne est la même que celle du champ électrique E de l'onde qu'elle émet. Elle indique donc la direction du vecteur E par rapport au sol. La polarisation peut être rectiligne, elliptique ou circulaire

#### I.2.4 Caractéristiques d'une antenne DRA

Les antennes DRA ont plusieurs caractéristiques clés qui les rendent uniques par rapport à d'autres types d'antennes. Parmi ces caractéristiques, on peut citer :

- Une bande passante étroite : L'antenne est plus sélective en fréquence [8].
- Une résonance plus précise : La fréquence à laquelle le gain est maximal est plus précise.
- Faibles pertes diélectriques : Les DRA ont des pertes diélectriques négligeables, ce qui améliore leur efficacité globale par rapport à d'autres antennes métalliques [9].
- Stabilité thermique : Elles sont peu sensibles aux variations de température.
- Intégration facile : Les DRA peuvent être fabriquées sur des substrats planaires, ce qui facilite leur intégration dans les technologies existantes.
- Un facteur de qualité élevé : permet à une antenne DRA de rayonner efficacement et de répondre aux exigences spécifiques de l'application [10].

- Composées de matériaux diélectriques à faible perte et à constante diélectrique élevée [11].
- Le gain d'un résonateur diélectrique est en général limité ( $\approx 5$  dBi) [12].
- L'an n'a pas de perte de conducteur et de perte d'onde de surface à l'exception de l'alimentation
- A une efficacité de rayonnement élevée et a des exigences de tolérance faibles.
- Il peut contrôler de manière flexible la taille de l'antenne et la bande passante en sélectionnant différents matériaux à constante diélectrique.

### **I.2.5 Application des antennes DRAs**

Les applications des antennes DR sont nombreuses et variées, voici quelques exemples :

- **Télécommunications mobiles** : Les antennes DR sont utilisées dans les réseaux de téléphonie mobile pour les communications voix et données. Elles peuvent être intégrées dans les stations de base des réseaux cellulaires pour transmettre et recevoir des signaux sans fil vers et envers les téléphones mobiles.
- **Wi-Fi** : Les antennes DR sont également utilisées dans les réseaux sans fil locaux (Wi-Fi) pour connecter des appareils tels que des ordinateurs portables, des smartphones et des objets connectés à Internet. Elles permettent une transmission sans fil efficace des données sur de courtes distances.
- **Radiodiffusion** : Les antennes DR sont utilisées dans les systèmes de radiodiffusion, tels que la radio FM et la télévision. Elles permettent de diffuser des signaux radio ou audiovisuels sur de longues distances, permettant aux auditeurs et aux téléspectateurs de recevoir les émissions.
- **Systèmes de surveillance sans fil** : Les antennes DR peuvent être utilisées dans les systèmes de surveillance sans fil pour la transmission de signaux vidéo ou audio provenant de caméras de sécurité sans fil vers une station de surveillance centrale.
- **Systèmes de communication par satellite** : Les antennes DR sont utilisées dans les systèmes de communication par satellite pour recevoir les signaux provenant des satellites et pour transmettre les signaux de retour. Elles sont généralement utilisées dans les antennes paraboliques pour la réception et la transmission des signaux.

## I.2.6 Amélioration de la bande passante et le gain

### *Amélioration de la bande passante*

Les antennes à résonateurs diélectriques se distinguent par leur facteur de qualité élevé et donc leur bande passante restreinte, ce qui explique que la plupart des recherches portant sur l'élargissement de la bande passante sont principalement axées sur l'élargissement de la bande passante. Les valeurs d'utilisation s'étendent entre 1 et 40 GHz. Les dimensions du résonateur imposent une limitation en fréquence basse, tandis que pour la fréquence haute, ce sont les pertes diélectriques du matériau qui deviennent trop importantes et entraînent une diminution du coefficient de qualité (le résonateur diélectrique est généralement placé dans un boîtier métallique). Différentes techniques permettent d'accroître la bande passante d'un résonateur diélectrique. Une des techniques les plus simples est d'utiliser un trou d'air soit dans le résonateur, soit entre ce dernier et le plan de masse. Grâce à cette méthode, la permittivité effective du résonateur diélectrique est réduite, ce qui entraîne une diminution du facteur de qualité  $Q$  et donc une augmentation de la largeur de bande. Les résonateurs coniques et tétraédriques peuvent aussi accroître la largeur des bandes [13].

Il est possible d'empiler ou de couper les résonateurs diélectriques par des résonateurs diélectriques parasites, tels que :

- ❖ Deux RD cylindriques peuvent être empilés pour obtenir une largeur de bande plus que 25% [14].
- ❖ Un disque conducteur ou de haute permittivité dans une technique d'empilement [15]
- ❖ Un RD couplé avec les RD parasite améliore la bande passante
- ❖ Un patch parasite peut être utilisé pour augmenter la largeur de la bande.
- ❖ Une configuration multi segment permet d'avoir un couplage important et une grande largeur de bande [16], son originalité consiste à ajouter et à superposer les diélectriques. Une autre façon d'augmenter la bande passante, est de faire imbriquer des résonateurs de différentes formes les uns sur les autres. Les structures imbriquées ont l'avantage d'être plus rigides que les structures empilées. Leur bande passante peut être augmentée jusqu'à 70% en utilisant une configuration multicouche et leur gain peut s'accroître de 30% en mettant en réseau plusieurs résonateurs qui permettent d'améliorer le rendement et la directivité. La combinaison de la résonance de plusieurs éléments rayonnants avec la technique hybride permet d'obtenir une

large bande passante. L'avantage de cette technique c'est la facilité de la réalisation de la combinaison [17-18].

### **Amélioration du gain**

Le gain d'un résonateur diélectrique est généralement faible ( $\approx 5$  dBi), plusieurs techniques ont été employées pour augmenter ce gain, l'une d'entre elles étant l'utilisation de cavités [19\_20], des réseaux à rotation séquentielle ont été développés avec des DR, une configuration qui permet d'améliorer le gain de l'antenne, la bande passante et le taux d'ellipticité [21]. Les réseaux de RDCs présentent plusieurs avantages par rapport à un seul RDC : diagrammes de rayonnement plus directifs, largeur de bande plus importante et gain plus élevé.

## **I.3 Une vue historique d'une antenne DRA**

En 1909, Debye a défini pour la première fois les résonateurs diélectriques. Cependant, il avait été cru que le mode résonnant à l'intérieur de la sphère ne pouvait pas rayonner [22].

En 1939, Richtmyer a prouvé qu'un champ électromagnétique à l'extérieur de la structure du résonateur a été créé et il y a donc propagation de l'énergie [23].

En 1967, Gastin et al ont étudié le facteur de qualité Q d'un résonateur sphérique isolé [24].

En 1968, Sager et Tsi ont publié le premier article, qui fait apparaître les applications des résonateurs diélectriques à savoir : les antennes [24].

En 1975, Van Bladel a publié un article sur la théorie asymptotique pour évaluer les modes de résonateurs de permittivité élevée et de forme arbitraire, suivi un an plus tard par des résultats numériques pour les fréquences de résonance, les champs et le facteur de rayonnement Q d'un résonateur diélectrique en forme d'anneau cylindrique [25]

En 1983 Long, McAllister et Shen ont signalé qu'en choisissant la forme, les dimensions et la permittivité de la structure résonnante, les champs pouvaient être contrôlés pour obtenir des diagrammes de rayonnement prévisible [26]. C'était la première étude théorique et expérimentale sur l'application potentielle de configurations d'antennes à base de résonateur

En 1986 Leung et al ont étudié pour la première fois l'impédance d'entrée d'une antenne RD. En 1994 Mongia et al ont démontré les paramètres de radiation d'une antenne rectangulaire RD.

En 1995 Leung, Luk et Yeung ont étudié un réseau d'antennes de forme cylindrique.

## **I.4 Avantages et inconvénients d'une antenne DRA**

### **Avantages**

Grâce à leurs nombreux avantages, les résonateurs diélectriques sont habituellement très utilisés dans le domaine de télécommunications [27\_28].

Les antennes à résonateurs diélectriques sont constituées d'un volume de matériaux diélectriques qui possèdent les avantages suivants :

- ❖ Un rendement élevé, dû à l'absence de pertes ohmiques et d'ondes de surfaces.
- ❖ Coût et poids faibles.
- ❖ Possibilité d'utiliser une grande variété des formes.
- ❖ Possibilité de les alimenter avec les méthodes classiques, ce qui les rend compatibles avec les technologies existantes.
- ❖ De plus, sa large gamme de permittivité (de 10 à 100) permet de contrôler facilement la taille et la bande passante de l'antenne.
- ❖ Une susceptibilité aux tolérances de fabrication inférieures à celles des antennes microrubans propre aux ondes millimétriques.
- ❖ Plusieurs modes de résonances peuvent être excités, ce qui donne des diagrammes de rayonnement différents.
- ❖ Variété de diagrammes de rayonnement : Selon les modes excités, différents diagrammes de rayonnement sont obtenus. On augmente ainsi le nombre d'applications. Les performances de diagramme de rayonnement et de directivité sont plus élevées en comparaison à ceux des antennes microrubans, fonctionnant sur les mêmes fréquences, que ce soit dans la gamme des ondes millimétrique ou centimétriques
- ❖ Un nombre important de modes de résonance associés à des diagrammes de rayonnement différents peuvent être excités.

## Inconvénients

Comme tous les autres dispositifs, les antennes DRA présentent quelques inconvénients tels que

- ❖ Bande passante limitée : Les antennes à résonateurs diélectriques ont une bande passante limitée par rapport aux antennes traditionnelles. Cela signifie qu'elles ne peuvent pas être aussi efficaces pour couvrir une large gamme de fréquences.
- ❖ Sensibilité aux variations de température : Les antennes à résonateurs diélectriques peuvent être sensibles aux variations de température. Les changements de température peuvent affecter la constante diélectrique du matériau, ce qui peut entraîner des variations de fréquence de résonance et une dégradation des performances de l'antenne.

## I.5 Etat de l'art sur les antenne DRA

### I.5.1 Co-conception des DRA et des structures d'alimentation en utilisant CM

Dans [29], l'auteur présente une nouvelle approche proposée pour la co-conception des DRA et des structures d'alimentation en utilisant CM. La formulation volume-surface associant sous-structure Le traitement est adopté pour calculer les CM des DRA. Pour détailler et démontrer la méthode proposée, l'alimentation électrique et magnétique des structures sont utilisées pour exciter un DRA cubique à titre d'exemple. Par rapport aux résultats obtenus par un plan isolé de DRA et des structures d'alimentation, le CMA de l'ensemble de la structure révèle plusieurs nouveaux modes, dans lesquels d'ordre inférieur correspondent à des fréquences de résonance beaucoup plus basses. Des modifications appropriées des structures d'alimentation peuvent exciter efficacement ces modes et entraîner le fonctionnement double et triple bande. Plusieurs prototypes ont été fabriqués et mesurés pour vérification. Pour un DRA cubique avec une longueur latérale de 25,4 mm, il réalise un fonctionnement triple bande à 1,6 GHz, 3,1 GHz et 4,6 GHz. Cette méthode est donc prometteuse pour la co-conception de DRA arbitraires avec des structures d'alimentation.

Une DRA cubique avec excitations dipôle

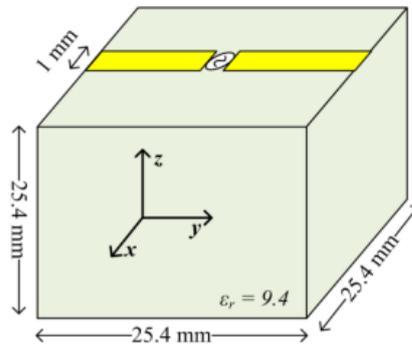


Figure I.2 : Illustration d'un DRA cubique avec alimentation dipolaire de l'antenne proposée en [29].

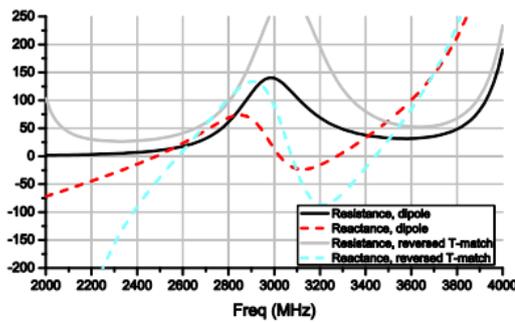


Figure I.3 : Impédance d'entrée simulée de l'antenne proposée en [29].

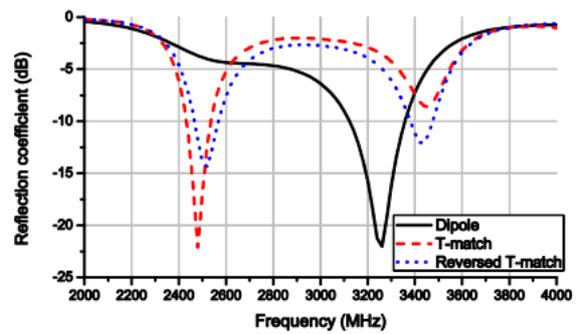
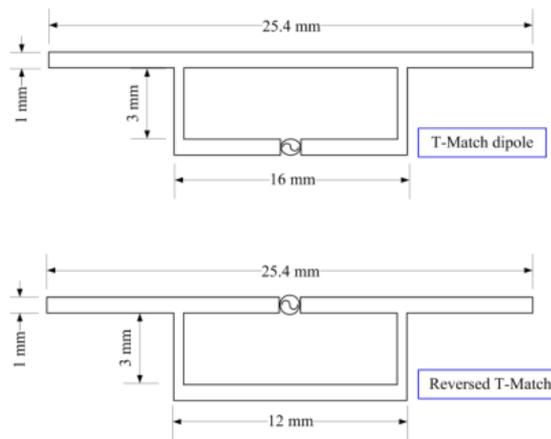


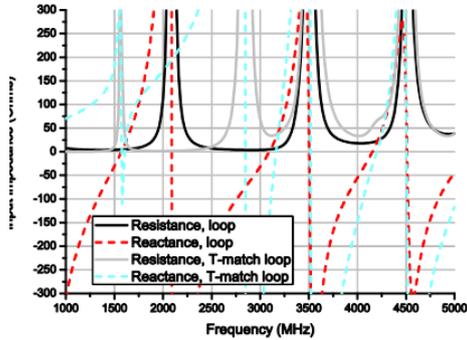
Figure I.4 : Coefficients de réflexion simulés de l'antenne proposée en [29].



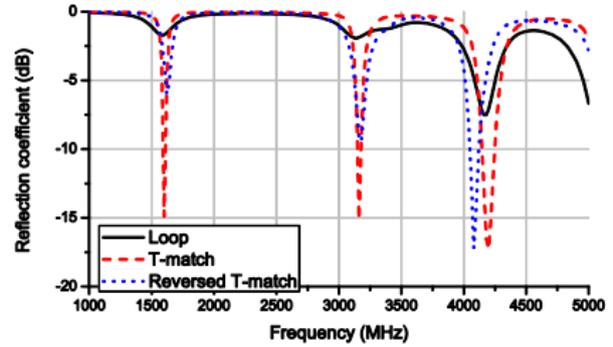
Un

Figure I.5 : Excitations dipolaires modifiées de l'antenne proposée en [29].

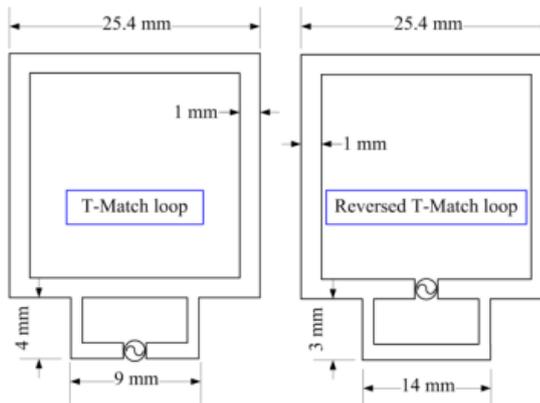
- Une DRA cubique avec excitations en boucle
- DRA cubique avec alimentations en boucle



**Figure I.6 :** Impédance d'entrée simulée de l'antenne proposée en [29].

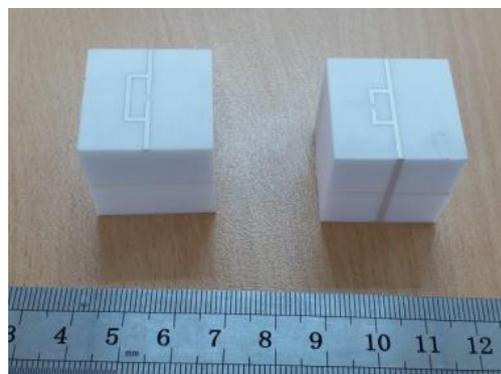


**Figure I.7 :** Coefficients de réflexion simulés de l'antenne proposée en [29].



**Figure I.8 :** Excitations dipolaires modifiées de l'antenne proposée en [29].

- Vérification expérimentales



**Figure I.9 :** Photographie de prototypes fabriqués de l'antenne proposée en [29].

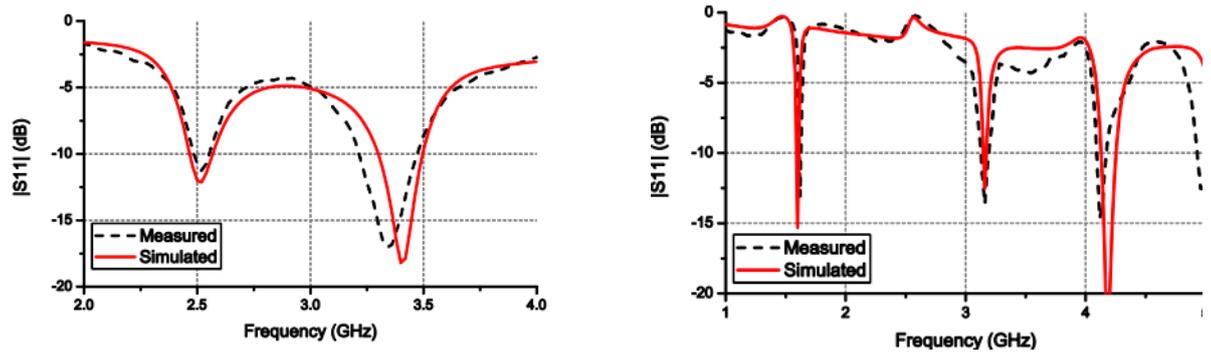


Figure I.11 : Coefficients de réflexion simulés et mesurés de l'antenne proposée en [29].

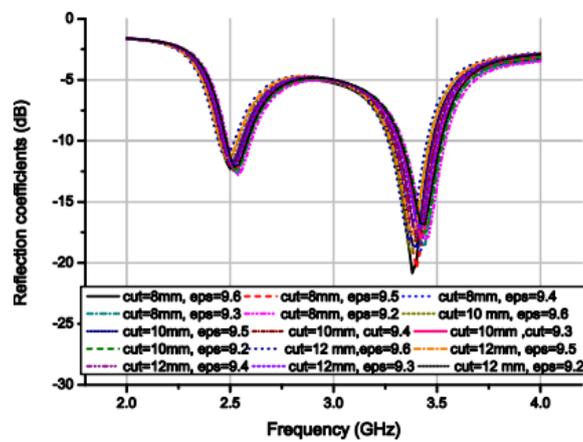


Figure I.12 : Coefficients de réflexion rétro simulés de l'antenne proposée en [29].

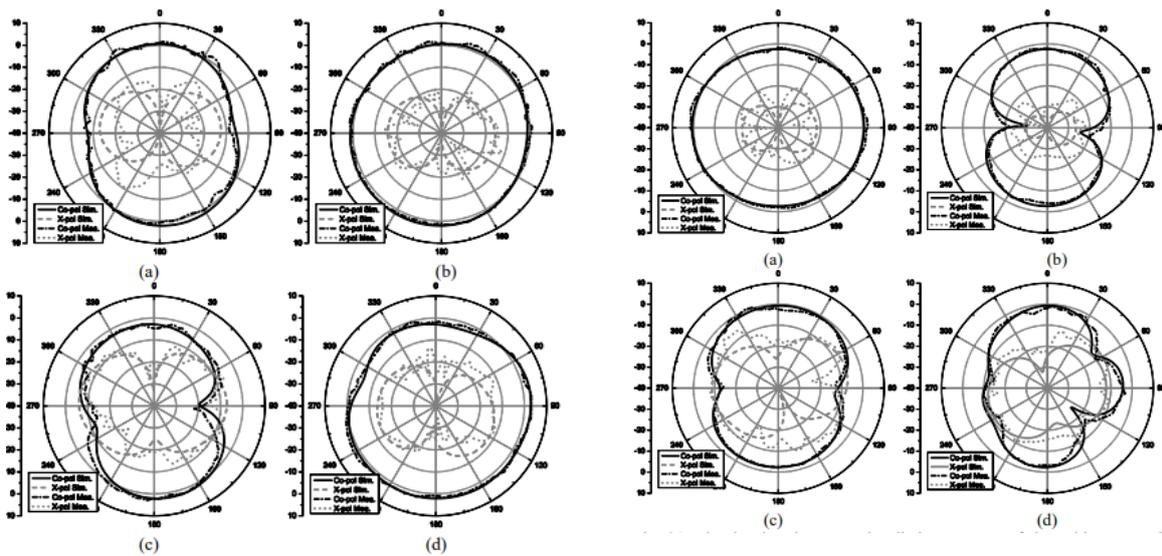
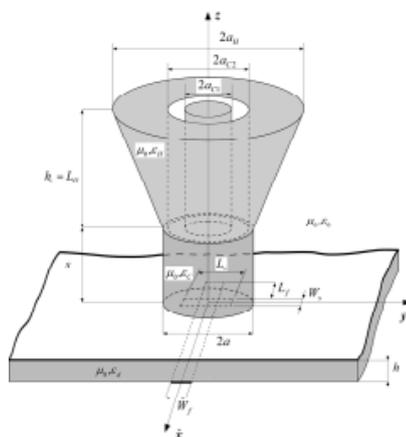


Figure I.13 : Diagrammes de rayonnement simulés et mesurés de l'antenne proposée en [29].

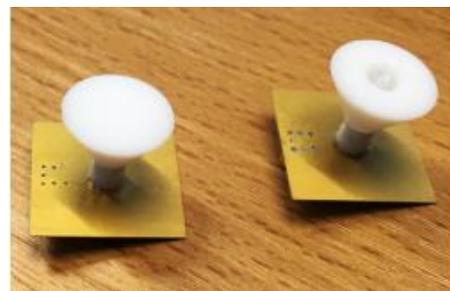
L'approche présentée est capable de gérer d'autres structures et substrats diélectriques inhomogènes, qui peuvent être considérées comme des travaux futurs importants. La taille de la structure d'alimentation étant comparable à celle du DRA, les structures d'alimentation peuvent devenir un radiateur efficace en haute température gamme de fréquences. Par conséquent, ses diagrammes de rayonnement sont peu compromis en termes de forme de motif et de polarisation croisée les niveaux. Cela semble être un inconvénient de la méthode présentée.

### I.5.2 nouvelle antenne à résonateur diélectrique cylindrique (CDRA) à gain élevé

Dans [30], les auteurs présentent une nouvelle antenne à résonateur diélectrique (DRA) à gain élevé, présentant un gain maximal réalisé de 11,3 dBi sur une bande passante fractionnaire de 16,6 % autour de 30 GHz. La structure d'antenne proposée, excitée par une ligne micro-ruban couplée à des fentes, est composée d'un résonateur diélectrique et d'un cornet conique tronqué à base de plastique utile pour améliorer le gain. Une encoche annulaire de perturbation est réalisée dans la corne diélectrique pour obtenir une meilleure focalisation de l'énergie RF le long de la direction de visée de l'antenne, tout en réduisant les niveaux des lobes latéraux (SSL). La conception d'antenne présentée atteint des SSL inférieurs à -10 dB pour les réseaux E et Plan H afin de répondre aux exigences du sans-fil 5G de nouvelle génération, des protocoles de communication et des systèmes satellitaires et mobiles à faible coût. L'élément de base de la structure rayonnante proposée est une antenne à résonateur diélectrique cylindrique (CDRA).



**Figure I.14 :** *Vue tridimensionnelle de l'antenne proposée en [30].*



**Figure I.15 :** *Prototypes des antennes réalisées. CDRA avec cornet diélectrique solide sur le côté gauche, et CDRA avec cornet diélectrique cranté sur le côté droit*

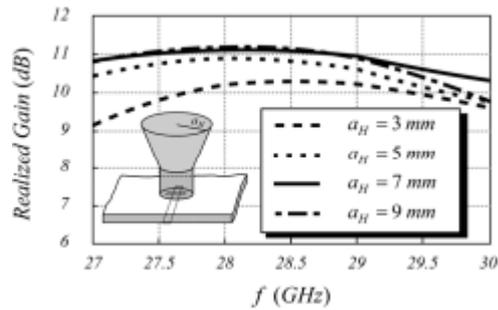


Figure I.16 : Gain réalisé par rapport au rayon du cornet diélectrique  $a_H$  de l'antenne proposée en [30].

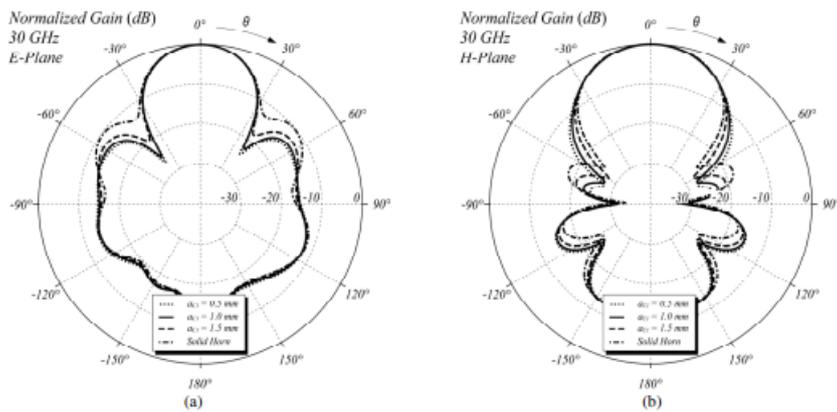


Figure I.17 : Modèles normalisés de champ lointain (a) E et (b) de plan H par rapport au rayon intérieur  $C1$   $a$  de l'encoche de perturbation de l'antenne proposée en [30].

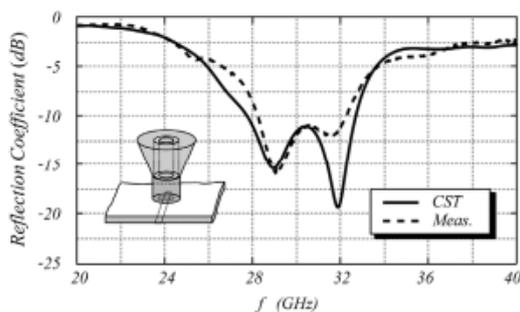


Figure I.18 : Comportement en fréquence du coefficient de réflexion d'entrée de l'antenne proposée en [30].

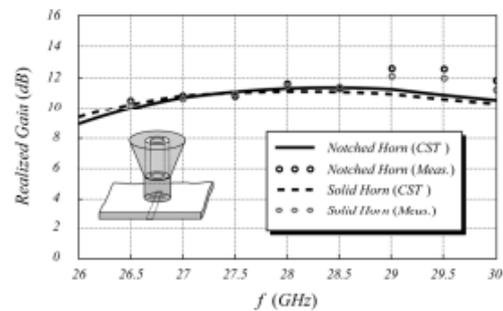
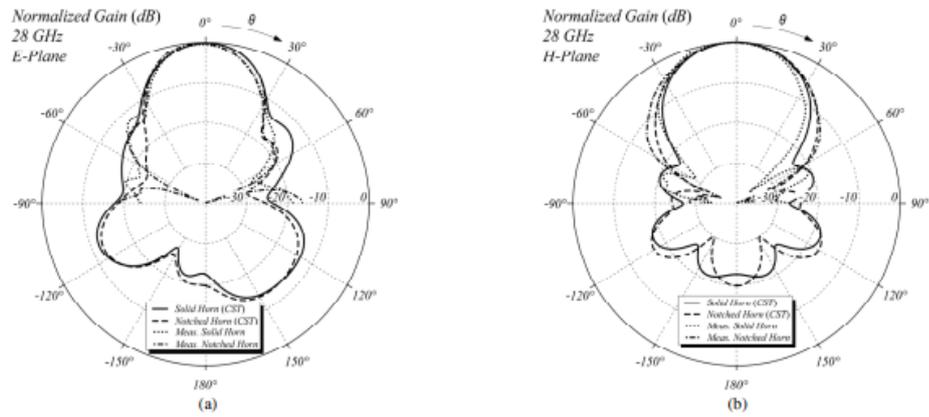
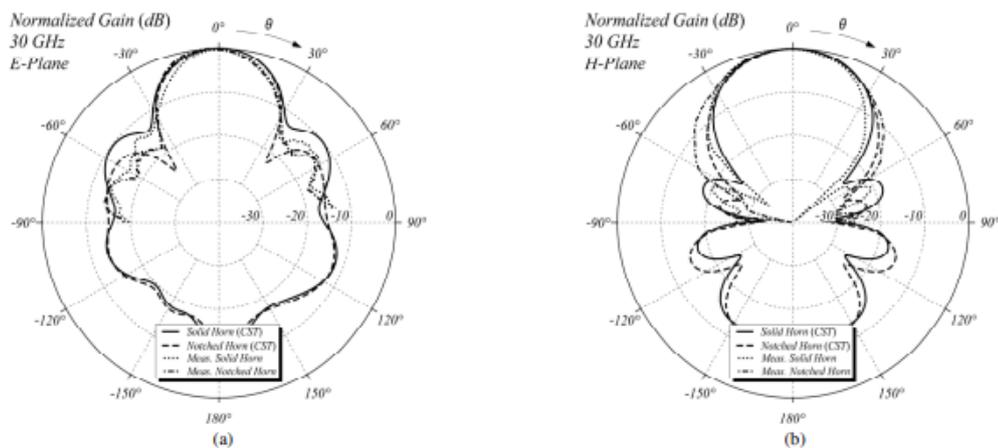


Figure I.19 : Comportement fréquentiel du gain réalisé de l'antenne proposée en [30].



**Figure I.20 :** Diagrammes de rayonnement d'antenne proposée en [30] normalisés à 28 GHz pour le plan E (a) et le plan H (b)



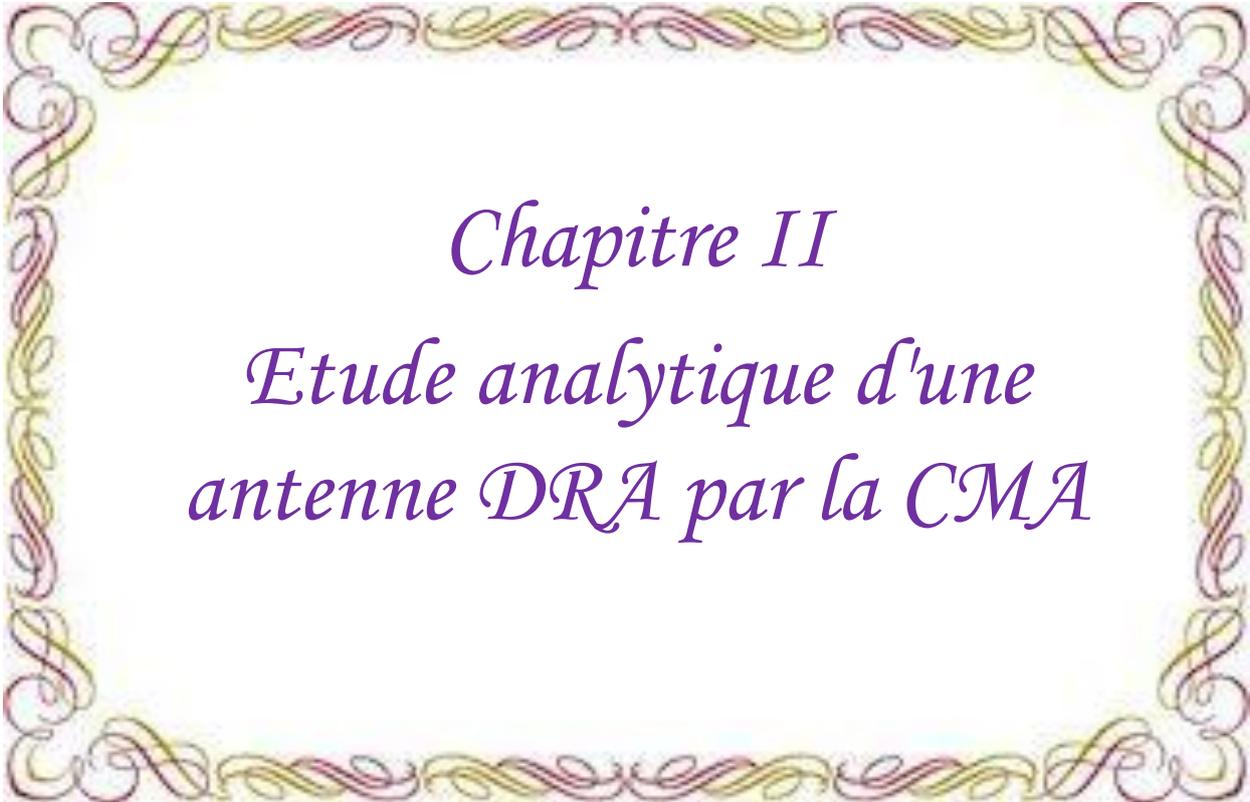
**Figure I.21 :** Diagrammes de rayonnement d'antenne proposée en [30] normalisés à 30 GHz pour le plan E (a) et le plan H (b)

Les mesures effectuées sur un prototype d'antenne ont montré une bande passante fractionnaire d'environ 13,6 %, une SLL inférieure à -10 dB et un gain maximal mesuré de 12,6 dBi. Ces caractéristiques font l'élément rayonnant adapté aux communications à courte portée (systèmes, modules de réseau d'antennes pour liaisons point à point et liaisons frontales, applications), ainsi que pour les liaisons satellite. La géométrie de l'antenne proposée peut également être une solution appropriée pour le déploiement du réseau 5G à des fréquences plus élevées, telles que 60 GHz ou ci-dessus, où les pertes de métal peuvent provoquer une dégradation significative de l'efficacité de l'antenne.

## **I.6 Conclusion**

Dans ce premier chapitre, on a introduit les notions théoriques d'une antenne DRA avec un aperçu général sur l'antenne DRA et leurs importances dans le domaine de télécommunications. Nous avons montré aussi les paramètres des antennes DRA et les caractéristiques, on a présenté quelques avantages et inconvénients d'une antenne DRA. A la fin du chapitre Nous avons étudié l'Etat de l'art des antennes DRA

Dans le chapitre suivant, on va voir une étude analytique d'une antenne DRA par le CMA



*Chapitre II*  
*Etude analytique d'une*  
*antenne DRA par la CMA*

## II.1 Introduction

Comme mentionné dans le premier chapitre, les résonateurs diélectriques peuvent avoir des formes diversifiées (rectangulaire, cylindrique, hémisphérique, triangulaire...), et leur excitation peut se faire moyennant des techniques de couplage variées (ligne coaxiale, ligne microruban...), Ses avantages sont parmi les plus importantes : coût et poids faibles, Possibilité d'utiliser une grande variété des formes et ses caractéristiques qui le distinguent des autres antennes.

Dans ce chapitre, nous nous intéressons principalement aux antennes à résonateurs diélectriques rectangulaires et cylindriques. Une étude approfondie de ces deux formes, avec une classification rigoureuse des différents modes excités (le transverse électrique (TE), le transverse magnétique (TM) ou hybride (HEM)) sera présentée, le principe de fonctionnement et les applications des antennes DRA.

## II.2 Principe de fonctionnement d'une antenne DRA

Le principe de fonctionnement d'une antenne à résonateur diélectrique est basé sur l'utilisation d'un matériau diélectrique placé entre deux conducteurs, formant un condensateur. Lorsqu'une tension est appliquée, le matériau diélectrique se polarise et stocke de l'énergie électrique .

Le résonateur diélectrique remplace les cavités résonantes vides (air seulement) et, comme elles, confine l'énergie électromagnétique, grâce à sa permittivité élevée (entre 10 et 100) .

L'antenne à résonateur diélectrique utilise les modes de résonance électromagnétiques du matériau diélectrique pour générer une fréquence de résonance spécifique [8].

Une bonne sélection des dimensions du résonateur permet d'éviter le problème de la dégénérescence de modes et donc une élévation de la polarisation croisée en application antennaire. L'existence de cette dernière dégradera le gain de l'antenne et altèrera le diagramme de rayonnement

## II.3 Concepts généraux

### II.3.1 Mode de résonance

Un mode de résonance est un phénomène qui se produit lorsque certains systèmes physiques, tels que les systèmes électriques ou mécaniques, sont sensibles à certaines fréquences. Ces systèmes peuvent accumuler de l'énergie si celle-ci est appliquée sous une forme périodique et proche d'une fréquence spécifique, appelée "fréquence de résonance" [10].

### II.3.2 Carte de champ

Il s'agit d'une représentation visuelle de la distribution du champ électromagnétique autour de l'antenne. Elle montre comment l'énergie se propage à partir de l'antenne dans différentes directions. La carte du champ peut aider à comprendre comment l'antenne interagit avec son environnement.

### II.3.3 Fréquence de résonance

La fréquence de résonance d'une antenne à résonateur diélectrique (DRA) est la fréquence spécifique à laquelle l'antenne peut accumuler une énergie maximale. Cette fréquence dépend des dimensions du résonateur diélectrique et des caractéristiques du matériau diélectrique utilisé.

Dans le cas d'une antenne DRA, le mode de résonance électromagnétique du matériau diélectrique est utilisé pour générer cette fréquence de résonance[31].

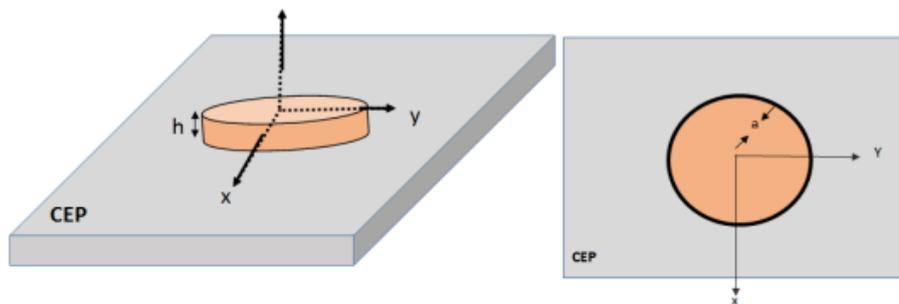
### II.3.4 Diagramme de rayonnement

Il s'agit d'une représentation graphique qui montre la répartition de l'énergie rayonnée par l'antenne dans différentes directions. Le diagramme de rayonnement peut être tracé en fonction de la puissance par unité d'angle solide ou du champ rayonné. Il peut être représenté en coordonnées polaires ou cartésiennes [32].

## II.4 Résonateur Diélectrique Cylindrique (RDC)

### II.4.1 Présentation

Forme, des dimensions, de la constante diélectrique et de la technique d'excitation utilisée, ce qui influence le diagramme de rayonnement formé. Les premières antennes à résonateurs diélectriques cylindriques (CDRA) sont fabriquées à partir de résonateurs de formes cylindriques. La Figure II.1 illustre la structure de l'CDRA, où un résonateur cylindrique avec les paramètres suivants : hauteur  $h$ , rayon  $a$  et permittivité diélectrique  $\epsilon_r$ , est placé sur un plan de masse défini. En utilisant la théorie des images, on peut considérer la structure comme un cylindre diélectrique isolé (sans plan de masse) avec une permittivité  $\epsilon_r$ , n rayon  $a$  et une hauteur de  $2h$  [13].



**Figure II.1 :** Antenne à résonateur diélectrique cylindrique : Vue en 3D et Vue de dessus [33].

### II.4.2 Nomenclature [33]

Comme pour toutes les cavités, il est possible d'exciter de nombreux modes. Il y a trois catégories qui offrent la possibilité d'obtenir diverses caractéristiques de rayonnement en fonction des applications désirées. On peut classer les modes d'un RD cylindrique isolé de la manière suivante.:

- Les modes transverses électriques (TE).
- Les modes transverses magnétiques (TM).
- Les modes hybrides (HEM)

La sous-famille est également appelée HE et HM. Lorsque les modes TE et TM sont utilisés, les champs sont en symétrie de révolution, ce qui signifie qu'ils ne sont pas dépendants de l'azimute. Au contraire, les modes hybrides ont une dépendance en fonction de  $\phi$ . La sous-famille des modes HE à forte ressemblance TM, c'est-à-dire que la composante  $H_z$  du champ

H est négligeable devant la composante  $E_z$  du champ E, et la sous-famille des modes HM à forte ressemblance TE, c'est-à-dire que la composante  $E_z$  du champ E est négligeable devant la composante  $H_z$  du champ H, sont deux sous-familles des modes hybrides HEM. Les trois entiers  $m, n$ , représentent la configuration spatiale du champ. La configuration spatiale du champ électromagnétique des modes est indiquée par les trois entiers  $m, n, p$  représentant le nombre de variations du champ suivant les trois directions du repère cylindrique :

- $m$  ( $m = 0, 1, 2, \dots$ ) représente le nombre de variations azimutales du champ (en  $\varphi$ )
- $n$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ) représente le nombre de variations radiales du champ (en  $r$ ).
- $p$  ( $p = 0, 1, 2, \dots$ ) représente le nombre de variations longitudinales du champ (en  $z$ ).

Le nombre de variation longitudinale étant rarement définissable par un entier, un réel  $\delta$  intervient tel que  $0 < \delta < 1$ . Le troisième indice sera donc exprimé par le terme  $p + \delta$ .

On appelle donc les modes  $TE_{mnp+\delta}$ ,  $TM_{mnp+\delta}$  et  $HEM_{mnp+\delta}$ . Il est important de noter que les modes TE et TM n'ont pas de dépendance azimutale, ce qui signifie que le premier indice  $m$  est nul. La composante  $E_z$  est nulle pour les modes transverses électriques  $TE_{0np+\delta}$ . En ce qui concerne les modes magnétiques transverses  $TM_{0np+\delta}$ , la composante  $H_z$  est nulle. En ce qui concerne les modes HEM  $HEM_{mnp+\delta}$ , les six éléments du champ ne sont pas nuls. Il existe trois modes essentiels :  $TE_{01\delta}$ ,  $TM_{01\delta}$  et  $HEM_{11\delta}$  [3], on va voir le mode  $TE_{01\delta}$

### II.4.3 modes de résonances

#### II.4.3.1 Les modes transverses électriques ou modes $TE_{m,n,p}$ [34]

Les variations azimutales des modes transverses électriques purs sont nulles ( $m=0$ ). Il n'y a pas de composantes radiale et axiale du champ électrique  $E_r$  et  $E_z$ . La partie du champ magnétique azimutale est également nulle. Les relations suivantes peuvent être utilisées pour décomposer les champs électrique et magnétique :

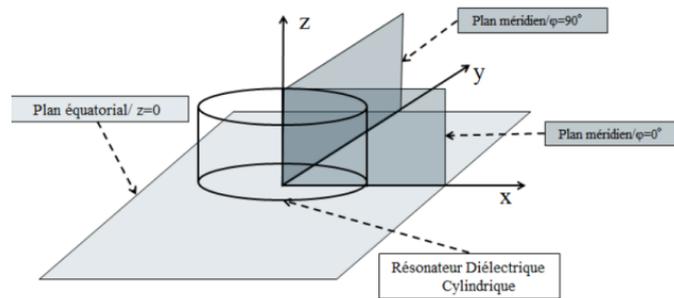
$$\vec{E} = E_\varphi \vec{e}_\varphi \quad \text{et} \quad \vec{H} = H_r \vec{e}_r + H_z \vec{e}_z \quad (\text{II.1})$$

#### a- Distribution des champs et diagramme de rayonnement [34]

Le tracé des champs électriques et magnétiques des modes fondamentaux, d'un résonateur isolé, est représenté sur les cartes des champs dans le plan équatorial et méridien. Les plans sélectionnés pour un résonateur cylindrique isolé sont illustrés dans la Figure II.2. Leur répartition est la suivante :

- Deux plans orientés vers le sud : en  $\varphi = 0^\circ$  et en  $\varphi = 90^\circ$ .

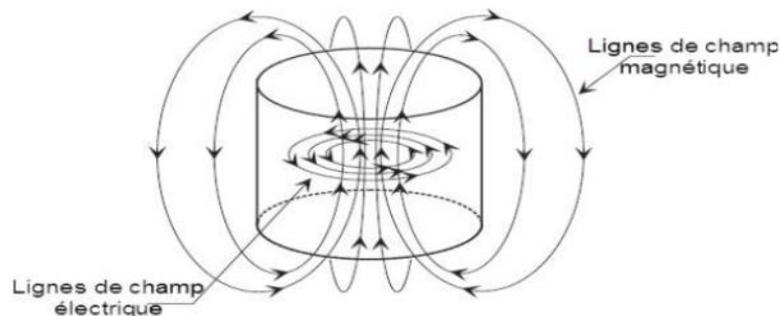
- Deux schémas perpendiculaires à l'axe de rotation sont présents : l'un est équatorial (passant par le centre du résonateur cylindrique), l'autre est situé près de la face inférieure du RD ( $z = 0$ ).



**Figure II.2 :** Différents plans du résonateur cylindrique isolé [34]

Dans les plans équatorial et méridien, la Figure II.3 illustre la répartition des champs électriques et magnétiques au niveau du résonateur diélectrique cylindrique excité en mode  $TE_{01\delta}$ . Il est important de souligner que pour cette méthode, le champ magnétique est identique dans chaque plan méridional et que le champ électrique est inférieur au centre du résonateur, tandis que le champ magnétique est maximal au centre avec des niveaux faibles aux bords du résonateur.

La vue latérale du résonateur est représentée sur le plan méridien, ce qui correspondrait à une coupe rectangulaire. En ce qui concerne le plan équatorial, il représente une section circulaire du résonateur.



**Figure II.3 :** Lignes des champs électrique et magnétique du mode  $TE_{01}$

[35]

Les antennes à résonateurs diélectriques présentent une particularité cruciale : la nature du champ lointain émis par l'antenne ne dépend ni du matériau utilisé (constante diélectrique) ni des dimensions (rapport Rayon/Hauteur) du résonateur. Le résonateur cylindrique excité en mode fondamental  $TE_{01\delta}$  émet des rayons semblables à ceux d'un dipôle magnétique.

### *b- Fréquence de résonance*

On peut approximativement déterminer les fréquences de résonance des résonateurs diélectriques isolés en utilisant les expressions analytiques. Ces liens dépendent des caractéristiques physiques des résonateurs, telles que leurs dimensions et leur constante diélectrique. On peut approximativement calculer la fréquence de résonance  $f_r$  et le facteur de qualité  $Q$  du mode  $TE_{01\delta}$  en utilisant les équations suivantes [35\_36] :

$$K_0 R = \frac{2.327}{\sqrt{\epsilon_r + 1}} \left[ 1 + 0.2123 \left( \frac{R}{2h} \right) + 0.00898 \left( \frac{R}{2h} \right)^2 \right] \quad (\text{II.2})$$

$$K_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0} = \frac{2\pi f_r}{c} \quad (\text{II.3})$$

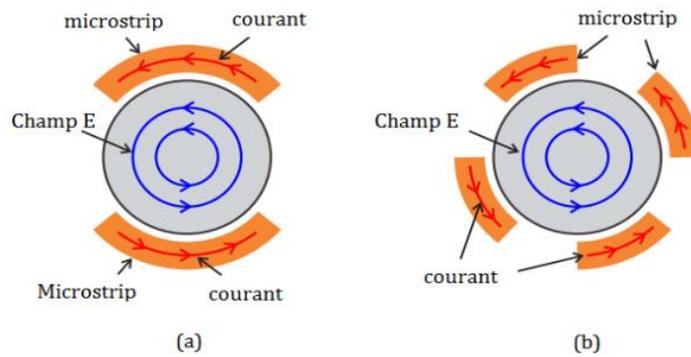
$$Q = 0.078192(\epsilon_r^{1.27}) \left( 1 + \frac{17.31}{R/h} - \frac{21.57}{\left(\frac{R}{h}\right)^2} + \frac{10.86}{\left(\frac{R}{h}\right)^3} - \frac{1.98}{\left(\frac{R}{h}\right)^4} \right) \quad (\text{II.4})$$

Où  $c = 3 \times 10^8$  m/s représente la vitesse de la lumière dans le vide

- $R$  : rayon du cylindre
- $h$  : hauteur du cylindre
- $\epsilon_r$  : permittivité relative du diélectrique

### *c- Techniques d'excitation [34]*

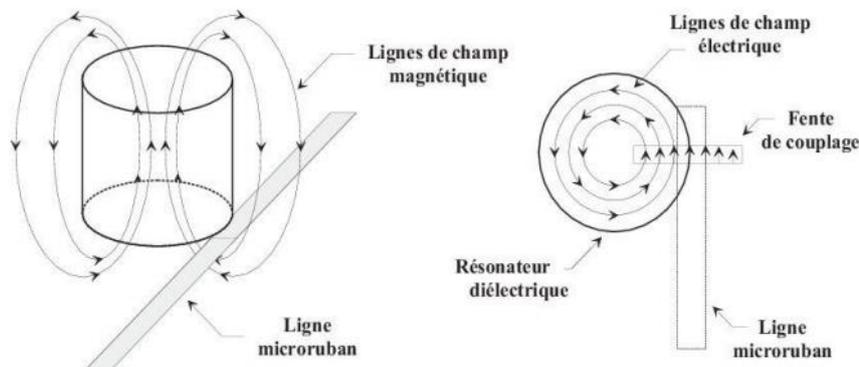
Le mode  $TE_{01\delta}$  est couramment utilisé pour créer des filtres et des oscillateurs en raison de sa haute qualité intrinsèque. Son champ magnétique est un dipôle situé au centre de la résonance. Une résonance symétrique est obtenue grâce à une méthode de couplage équilibré. Deux lignes micro-ruban en forme d'arc sont placées pour former un système de tension équilibré. Quatre lignes micro-ruban en forme d'arc sont utilisées pour créer un DRA omnidirectionnel polarisé. La puissance de couplage maximale est obtenue en ajustant les impédances et les ouvertures de couplage.



**Figure II.4 : Excitation du résonateur cylindrique en mode  $TE_{01\delta}$  via :**

*a : Deux lignes micro-rubans en forme d'arc*

*b : Quatre lignes micro-rubans en forme d'arc[34].*



**Figure II.5 : Méthodes de couplage du mode  $TE_{01\delta}$**

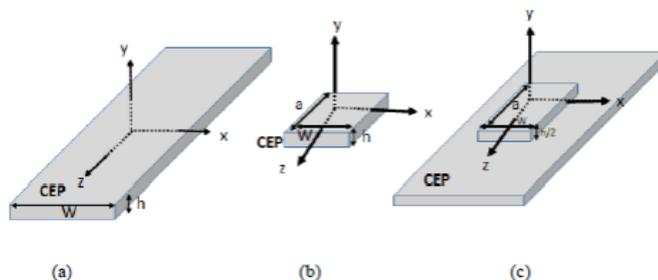
[37]

## II.5 Antennes à Résonateurs Diélectriques Rectangulaires (RDRA) [38]

### II.5.1 Présentation

Les antennes à résonateurs diélectriques rectangulaires offrent de nombreux bénéfices par rapport aux autres formes. Celles-ci sont les plus célèbres, les plus faciles à réaliser et elles sont très petites. Elles se distinguent par leur large bande passante et leur fonctionnement sur une vaste plage de fréquences (1 à 100 GHz). Il est également possible de les combiner afin de créer des réseaux linéaires ou planaires. Les dimensions d'un résonateur diélectrique rectangulaire seront les paramètres clés qui déterminent ses performances (longueur  $a$ , largeur  $w$  et hauteur  $h$ ). En outre, la sélection de la hauteur du DRA est influencée par les normes internationales qui associent la permittivité diélectrique à ce paramètre (Rogers Corporation), en fonction du matériau utilisé et des applications de cette structure.

Le modèle du guide d'onde diélectrique (figure II.10) est utilisé pour illustrer la longueur d'onde dans les guides d'onde rectangulaires. Dans la figure II.10 b, on peut observer un Résonateur Diélectrique Rectangulaire (DRA) isolé mesurant  $a$ ,  $w$  et  $h$ . L'antenne à résonateur diélectrique rectangulaire est désignée lorsque ce résonateur rectangulaire isolé est placé sur un support (plan de masse infini) (figure II.10 c) [4].



**Figure II.10 : Structures rectangulaires (a) Guide d'onde diélectrique rectangulaire, (b) DRA isolé, (c) RDRA [4].**

### II.5.2 Mode de résonance

Deux modes de résonance sont couramment employés pour des résonateurs rectangulaires isolés : le mode  $TE_{mnp}$  (transversale électrique) où la composante axiale du champ électrique est nulle,  $E_z=0$  et le mode  $TM_{mnp}$  (transversale magnétique) où la composante axiale du champ magnétique est nulle,  $H_z=0$ . Le nombre de variations azimutales, radiales et longitudinales du champ est indiqué par les indices  $m$ ,  $n$  et  $p$ . Le mode  $TE_{111}$  est le mode fondamental d'une antenne à résonateur diélectrique rectangulaire (RDRA) installée sur un plan de masse, dans le système de coordonnées cartésiennes  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , il existe d'autres modes : Mode  $TE_{y113}$  d'ordre supérieur, Mode  $TE_{y115}$  d'ordre supérieur, Mode quasi- $TM_{011}$ .

### II.5.3 Fréquence de résonance et carte des champs

La fréquence de résonance d'un résonateur diélectrique rectangulaire est calculée de manière algébrique simple en fonction de la longueur, de la largeur, de la hauteur et de la constante diélectrique relative  $\epsilon_r$  du résonateur. Le modèle du guide d'onde diélectrique (DWM) calcule la fréquence de résonance du mode  $TE_{111}$ , comme indiqué ci-dessous [5] :

$$f_0 = \frac{c}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{k_x^2 + k_y^2 + k_z^2} \quad (\text{II.10})$$

Avec

$$k_x^2 + k_y^2 + k_z^2 = \epsilon_r k_0^2 \quad (\text{II.11.a})$$

Et

$$k_0 = 2\pi f_0, \quad k_x = \pi/w, \quad k_y = \pi/a, \quad k_z \tan(k_z d/2) = \sqrt{(\epsilon_r - 1)k_0^2 - k_z^2} \quad (\text{II.11.b})$$

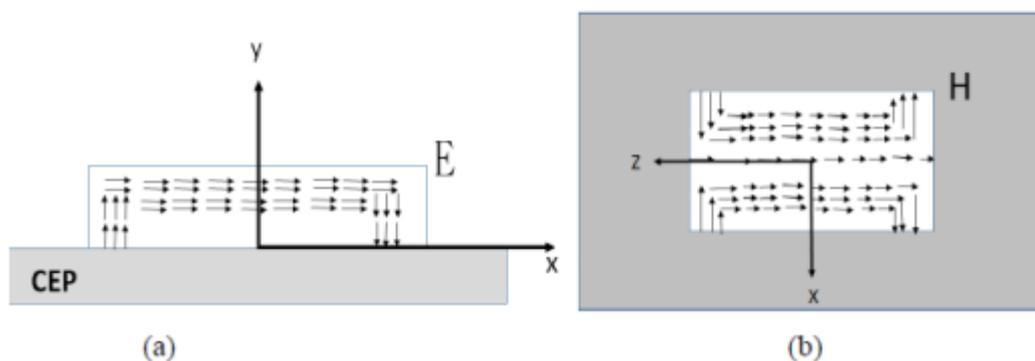
$K_0, k_x, k_y, k_z$  sont les nombres d'ondes dans le vide dans les directions  $x, y$  et  $z$  respectivement. La fréquence normalisée du mode fondamental,  $TE_{111}$ , d'une ARDR est donc donnée par l'équation suivante :

$$F = \frac{2\pi w f_0 \sqrt{\epsilon_r}}{c} \quad (\text{II.12})$$

Dans les deux types des modes ( $TE_{mnp}$  et  $TM_{mnp}$ ) ils existent deux conditions aux limites qui doivent être satisfaites dans la surface de séparation RD/air. Elles sont données par les relations ci-dessous :

$$\begin{aligned} \vec{n} \cdot \vec{E} &= 0 \\ \vec{n} \wedge \vec{H} &= \vec{0} \end{aligned} \quad (\text{II.13})$$

Avec  $E$  et  $H$  sont les champs électrique et magnétique, et  $n$  la normale à la surface de séparation RD/air. Les lignes de champs des modes correspondants sont représentées sur la figure II.11



**Figure II.11:** Distribution des champs du mode  $TE_{111}$  ; (a) champ électrique, (b) champ magnétique [5]

Si les pertes par rayonnement sont faibles, les champs E et H sont limités à l'intérieur du résonateur et à son environnement. Ces expressions sont fournies par l'équation suivante en utilisant le modèle du guide d'onde diélectrique DWM [5].

$$H_x = \frac{k_x k_z}{j\omega\mu_0} \sin(k_x x) \cos(k_y y) \sin(k_z z) \quad (\text{II.14.a})$$

$$H_y = \frac{k_y k_z}{j\omega\mu_0} \cos(k_x x) \sin(k_y y) \sin(k_z z) \quad (\text{II.14.b})$$

$$H_z = \frac{k_x^2 + k_y^2}{j\omega\mu_0} \cos(k_x x) \cos(k_y y) \cos(k_z z) \quad (\text{II.14.c})$$

$$E_x = k_y \cos(k_x x) \sin(k_y y) \cos(k_z z) \quad (\text{II.14.d})$$

$$E_y = -k_x \sin(k_x x) \cos(k_y y) \cos(k_z z) \quad (\text{I.14.e})$$

$$E_z = 0 \quad (\text{II.14.f})$$

#### II.5.4 Facteur de qualité

Le facteur de qualité qui définit la résonance des différentes structures est le rapport entre l'énergie stockée dans l'antenne et la puissance totale rayonnée. Le facteur Q, tel qu'il est défini dans la littérature, est exprimé de la manière suivante :

$$Q = \frac{2\omega W_e}{P_{ray}} \quad (\text{II.15})$$

Avec  $\omega = 2\pi f_0$

Où  $W_e$  et  $P_{ray}$  sont respectivement l'énergie emmagasinée dans le résonateur et la puissance rayonnée. Ces quantités sont données par :

$$W_e = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r a \omega d A^2}{32} \left( 1 + \frac{\sin k_z d}{k_z d} \right) (k_x^2 + k_y^2) \quad (\text{II.16.a})$$

$$P_{ray} = 10k_0^4 |P_m|^2 \quad (\text{II.16.b})$$

Avec A est une constante arbitraire et Pm est le moment dipolaire magnétique donné par :

$$P_m = \frac{-j\omega 8\varepsilon_0(\varepsilon_r - 1)A}{k_x k_y k_z} \sin(k_z d/2) \vec{z} \quad (\text{II.17})$$

## II.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons réalisé une analyse approfondie des résonateurs diélectriques canoniques (cylindriques, rectangulaires) qui expliquent l'origine de toutes les formes dans la littérature, ainsi qu'une classification rigoureuse des modes et des expressions pour les résonateurs diélectriques canoniques.

On a développé des calculs pour évaluer leurs fréquences de résonance et leur facteur de qualité, ainsi que pour démontrer leurs distributions en champ proche. On montre également les différentes méthodes d'excitation les plus couramment utilisées pour alimenter les résonateurs.



*Chapitre III*  
*Etude paramétrique d'une*  
*Antenne*  
*DRA rectangulaire*

### **III.1 Introduction**

La conception d'une antenne, en utilisant un logiciel approprié, est une étape essentielle afin d'optimiser sa structure en fonction des paramètres souhaités. Dans ce chapitre, nous allons exposer une étude paramétrique d'une antenne à résonateur diélectrique rectangulaire utilisant logiciel CST (Computer Simulation Technologie). Ce logiciel permet d'étudier l'impact de divers paramètres sur les performances de l'antenne.

Le logiciel CST offre la possibilité de créer et d'analyser des circuits microondes et des structures tridimensionnelles en utilisant un simulateur électromagnétique en 3D. Il facilite la vision et l'analyse des différentes caractéristiques électromagnétiques de la structure, comme les propriétés de rayonnement et de dispersion.

L'analyse paramétrique implique la mise en place de paramètres spécifiques pour l'antenne RDRA et la modification d'autres paramètres. La modification de la longueur, de la largeur, de la hauteur et de la permittivité du DRA, ainsi que la longueur et la largeur de la fenêtre, ont été abordées dans cette étude, Et observez comment chacun d'entre eux influence l'adaptation de l'antenne DRA.

### **III.2 Antenne DRA rectangulaire**

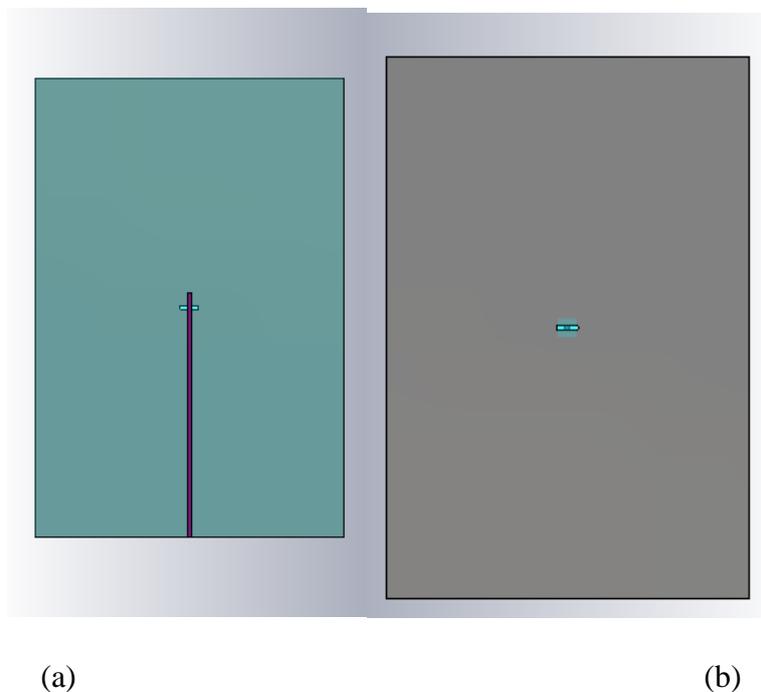
#### **III.2.1 définition d'une antenne RDRA**

La forme rectangulaire du DRA offre des avantages pratiques supplémentaires par rapport aux autres formes géométriques. Elle possède deux paramètres indépendants ( $w/h$  et  $w/a$ ), ce qui lui permet d'une part, d'avoir deux degrés de liberté pour déterminer une fréquence de résonance spécifique à une valeur de permittivité diélectrique donnée. D'autre part, une bonne sélection des dimensions du résonateur permet d'éviter le problème de la dégénérescence de modes et donc une élévation de la polarisation croisée en application antennaire, Et notez l'effet d'antenne à résonateur diélectrique rectangulaire offre une plus grande flexibilité dans l'optimisation de la bande de fréquences souhaitée. Cependant, l'analyse du fonctionnement des antennes à résonateurs diélectriques rectangulaires constitue un domaine d'étude très complexe. Des techniques numériques dans le domaine temporel par différences finies (FDTD) ont été utilisées pour calculer la fréquence de résonance, l'impédance d'entrée, le gain et le champ lointain des antennes à résonateur diélectrique rectangulaire.

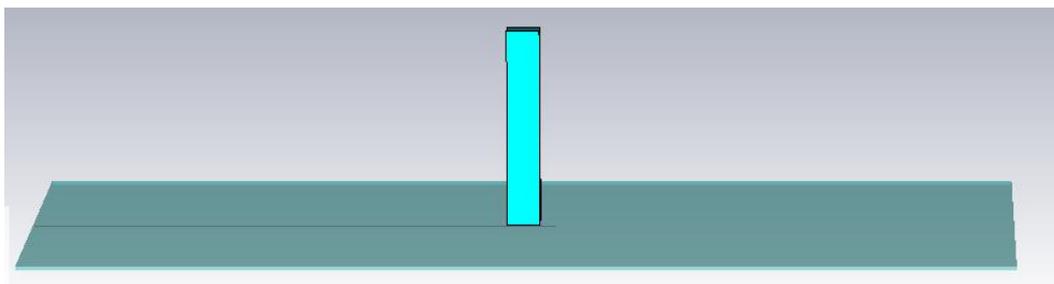
### III.2 .2 Géométrie de l'antenne proposée

Initialement, on a choisi une Antenne à résonateur diélectrique rectangulaire. Les paramètres géométriques de l'antenne proposée sont définis de la façon suivante un substrat a une dimension de  $150 \times 100 \text{ mm}^2$  (largeur x longueur) qui a une permittivité relative  $\xi_r = 3.38$ , et une épaisseur  $h = 0.5 \text{ mm}$ . Un résonateur diélectrique rectangulaire de hauteur  $H_{rec} = 30$  et une largeur et longueur égale a 5mm et aussi La permittivité du résonateur diélectrique égale 10. Une masse a une dimension de  $150 \times 100 \text{ mm}^2$  Au milieu il y a un trou (slot) avec les dimensions suivantes  $6 \times 1 \text{ mm}^2$

L'antenne est alimentée par une ligne micro ruban par proximité d'une dimension de  $1.2 \times 80 \text{ mm}^2$  (largeur x longueur) et d'une impédance caractéristique  $Z = 50 \Omega$ , comme elle est illustrée dans la Figure III.1



**Figure III. 1 :** Structure de l'antenne rectangulaire : (a) vue de dessous (b) vue de dessus



**Figure III. 2 :** Structure de l'antenne rectangulaire :vue de bas

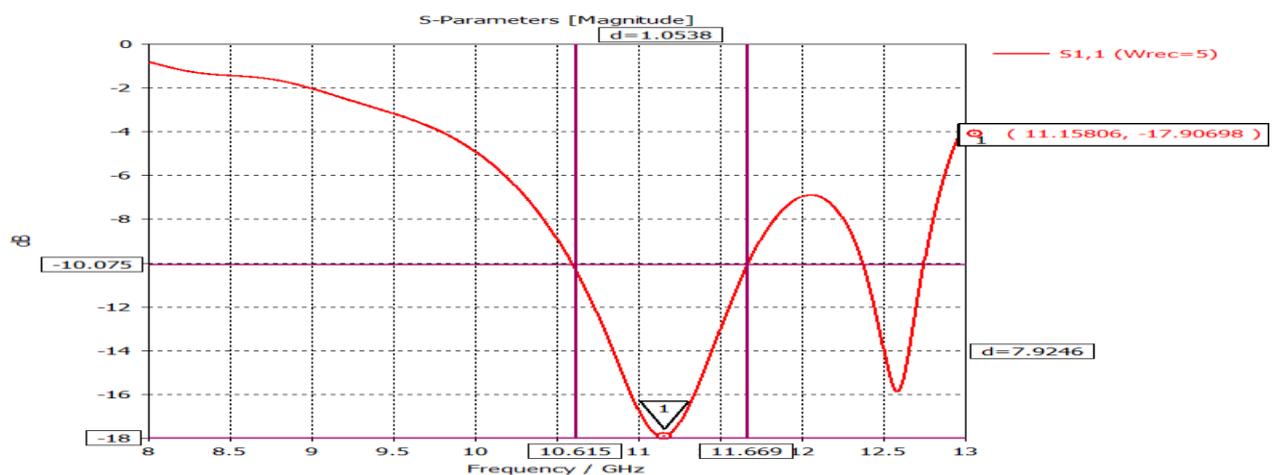
Les dimensions adoptées lors de cette étude sont montrés dans le Tableau III.1

**Tableau III. 1 : dimensions de l'antenne rectangulaire proposée**

Component	Paramètre	Dimension (mm)
La ligne de transmission (micro-ruban)	Lfeed	80
	Wfeed	1.2
	t	0.035
Substrat	Lsub	150
	Wsub	100
	h	0.5
la masse	Lgnd	150
	Wgnd	100
	t	0.035
Slot	Lsolt	6
	Wsolt	1
Diélectrique	Lrec	5
	Wrec	5
	H-REC	30

### III.2 .3 Résultat et discussion

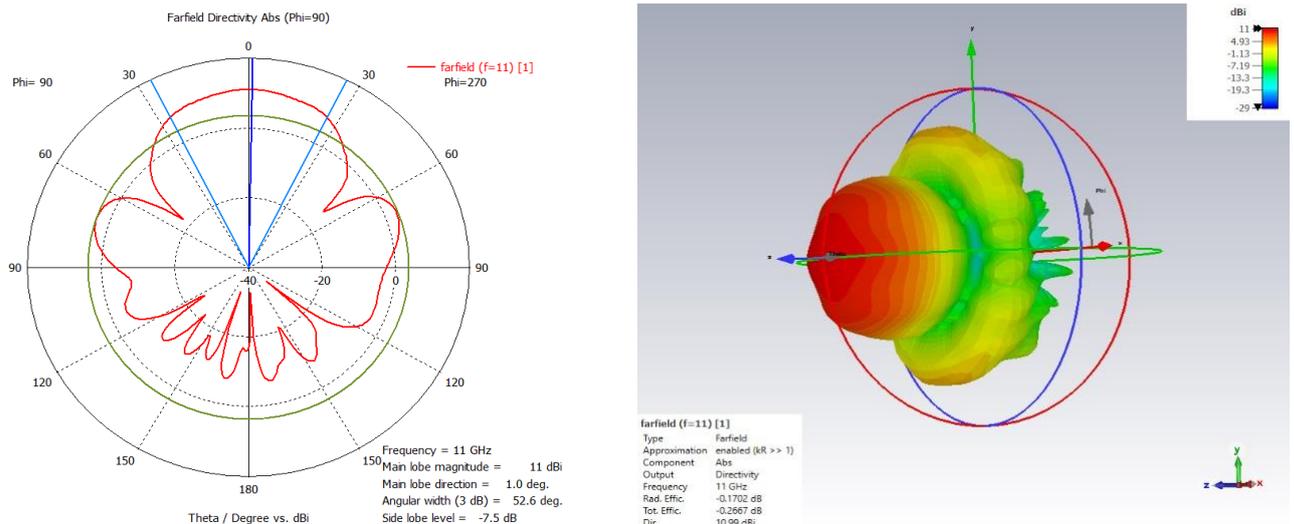
❖ Le coefficient de réflexion obtenu est représenté par la Figure III.3



**Figure III.3 : Coefficient de réflexion  $S_{11}$  de l'antenne proposée**

**Discussion :** La figure suivante montre que la fréquence de résonance est de 11 GHz et le niveau du coefficient de réflexion est de -17 dB. Cette antenne a une efficacité presque 90% sur la fréquence de résonance  $f_0 = 11 \text{ GHz}$

- ❖ La représentation du diagramme de rayonnement, en 2D et en 3D, est donnée sur la figure III.4.



**Figure III.4 :** Diagrammes de rayonnement simulé en 2D et 3D pour  $f = 11 \text{ GHz}$

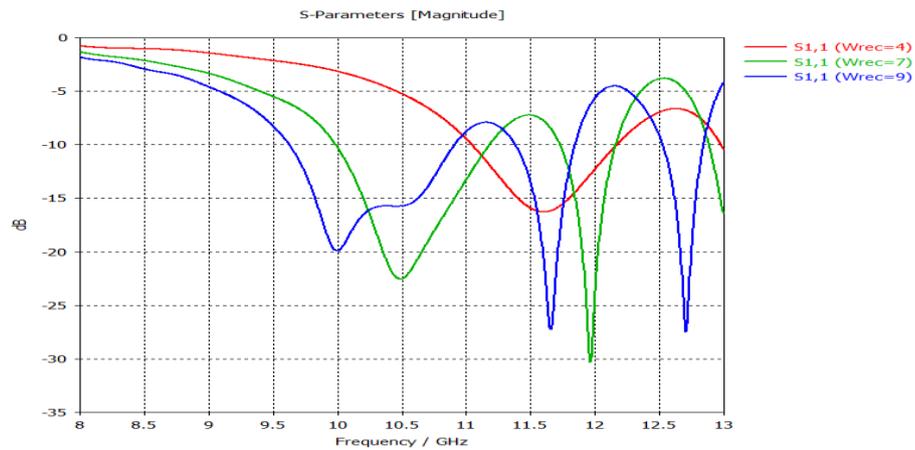
### III.3 Etudes paramétriques

Pour voir l'influence de chaque paramètre sur les performances de l'antenne telle que l'adaptation et la fréquence de résonance, une étude paramétrique a été effectuée pour avoir les meilleures performances de l'antenne. On va étudier tout d'abord l'effet des caractéristiques du résonateur (longueur, largeur, hauteur), permittivité, puis l'influence des dimensions de la fente (longueur (Lslot), largeur (Wslot)) et les démentions de micro-ruban aussi.

#### III.3.1 Effet des dimensions de la diélectrique

##### 1. Effet de la largeur de résonateur

Pour voir l'impact des dimensions du résonateur sur les caractéristiques de l'antenne, nous avons varié la largeur du résonateur. La figure III.4 montre le coefficient de réflexion pour une largeur de 4 mm, 7mm et 9 mm

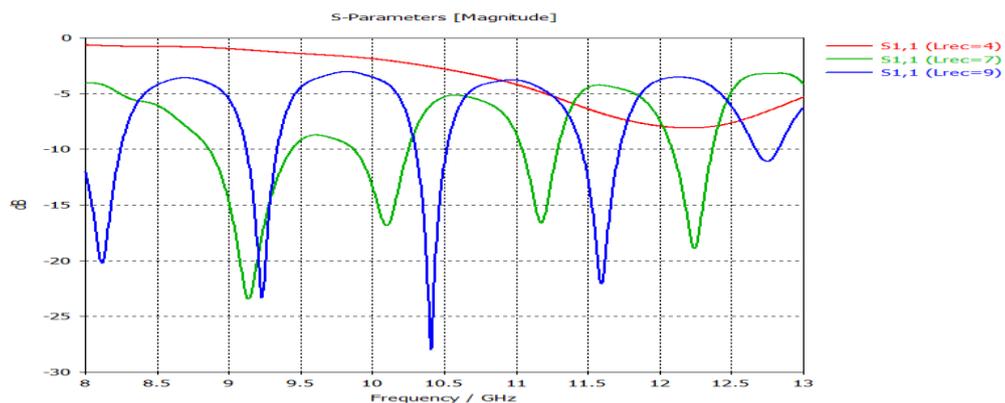


**Figure III.5 :** Coefficient de réflexion ( $S_{11}$ ), pour différentes valeurs de la largeur de résonateur.

❖ On remarque que la fréquence de résonance et l'adaptation d'antenne sont affectées par cette variation.

### 2.Effet de la Longueur de résonateur

Nous avons varié la longueur de la résonateur. La figure III.6 montre le coefficient de réflexion pour une largeur de 4 mm, 7 mm et 9 mm .



**Figure III.6 :** Coefficient de réflexion ( $S_{11}$ ), pour différentes valeurs de la longueur de résonateur

❖ Le changement de la longueur de résonateur a fait apparaître de nouvelles bandes par exemple, 9, 10, 11 GHz pour ( $L_{rec} = 7 \text{ mm}$ ) et 9, 10.5, 11.5 GHz pour ( $L_{rec} = 9 \text{ mm}$ ). On remarque aussi que la l'adaptation de l'antenne est affectée par cette variation.

### 3.Effet de la hauteur de résonateur Hrec

La Figure III.7 montre l'effet de variation d' hauteur de résonateur sur le coefficient de réflexion d'antenne.

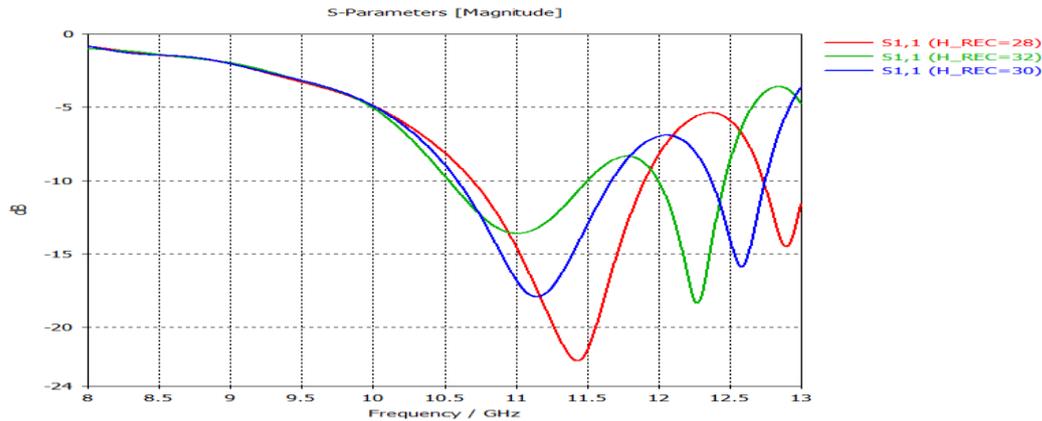


Figure III.7: Coefficient de réflexion ( $S_{11}$ ), pour différentes valeurs de la hauteur de résonateur

❖ On remarque que cette variation affecte la fréquence de résonance, et l'adaptation de l'antenne. Le changement d'hauteur de résonateur a fait démunie la fréquence de résonance de 11.5 GHz ( $H_{rec} = 28\text{mm}$ ) à 10.9 GHz pour ( $H_{rec} = 32\text{mm}$ ).

### III.3.2 Effet de la permittivité de diélectrique

Pour voir l'effet de la permittivité du diélectrique sur la fréquence de résonance, on va changer le matériau du diélectrique

Rogers RO3010 du  $\epsilon_r$  de 11.2 :

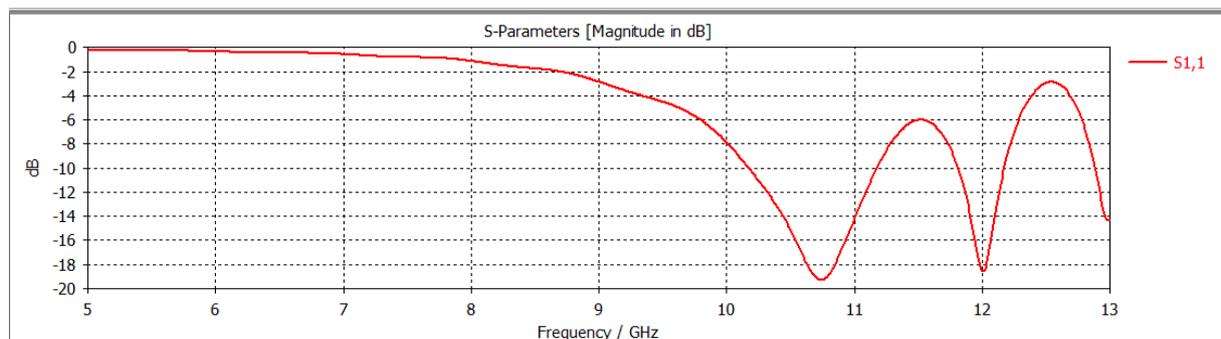
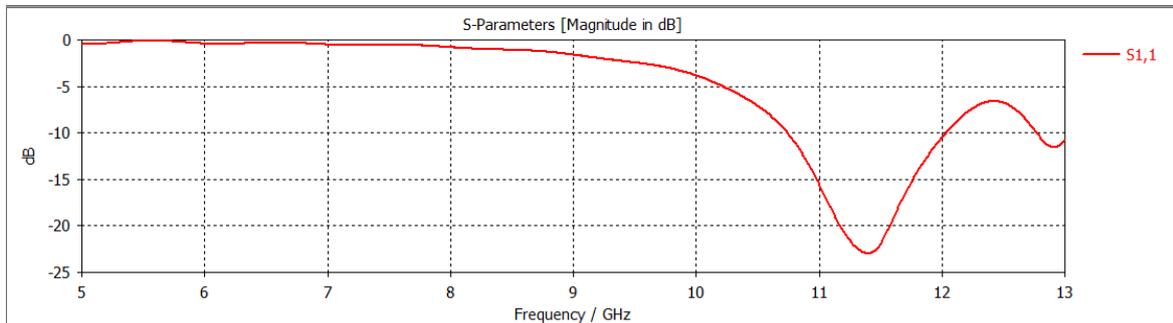


Figure III.8: Coefficient de réflexion ( $S_{11}$ ), pour  $\epsilon_r$  de 11.2

- Rogers Alumina du  $\epsilon_r$  de 9.4 :



**Figure III.9:** Coefficient de réflexion ( $S_{11}$ ), pour  $\epsilon_r$  de 9.4

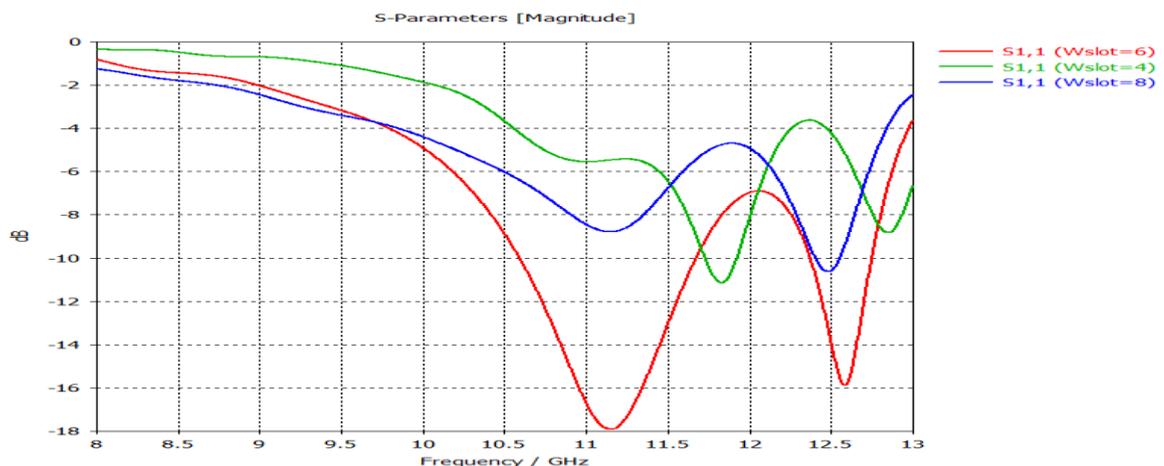
❖ On remarque qu'une permittivité élevée entraîne une diminution de la fréquence et que le métal Diélectrique joue donc un rôle important

### III.3.3 Effet des dimensions de la fente

La fente joue un rôle très important car elle assure le couplage de l'énergie électromagnétique entre la ligne micro ruban et le résonateur diélectrique.

#### 1. Influence de la largeur de la fente $W_{slot}$

La Figure III.10 montre l'effet de la variation de la largeur de la fente sur le coefficient



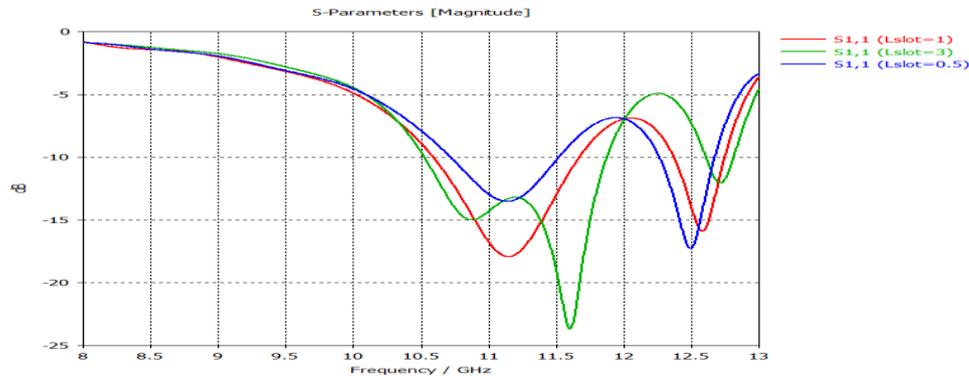
de réflexion de l'antenne.

**Figure III.10:** Coefficient de réflexion ( $S_{11}$ ), pour différentes valeurs de la largeur de la fente.

❖ L'augmentation et la diminution de la largeur de la fente produit une dégradation de l'adaptation de l'antenne

## 2. Influence de la longueur de la fente $W_{slot}$

En maintenant fixe la largeur de la fente et nous avons varié la longueur de la fente. L'effet de cette variation sur le coefficient de réflexion de l'antenne est montré sur la figure III.11.



**Figure III.11:** Coefficient de réflexion ( $S_{11}$ ), pour différentes valeurs de la largeur de la fente

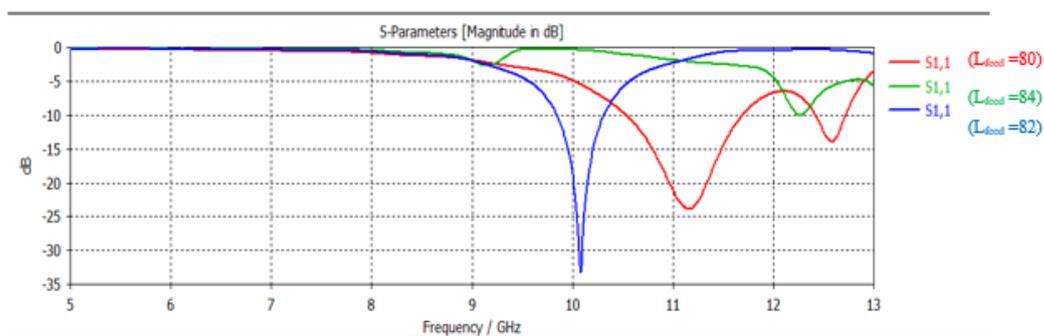
Nous constatons que l'adaptation de l'antenne est affectée par la variation de la longueur de la fente. et aussi la fréquence de résonance augmente légèrement lorsque la longueur de la fente augmente.

### III.3.4 Effet des dimensions du micro-ruban

On va voir l'impact des dimensions du micro-ruban de l'antenne

#### 1. Effet de la Longueur du micro-ruban

nous avons varié la longueur, La figure III.12 montre le coefficient de réflexion pour une longueur de 80 mm, 82mm et 84 mm

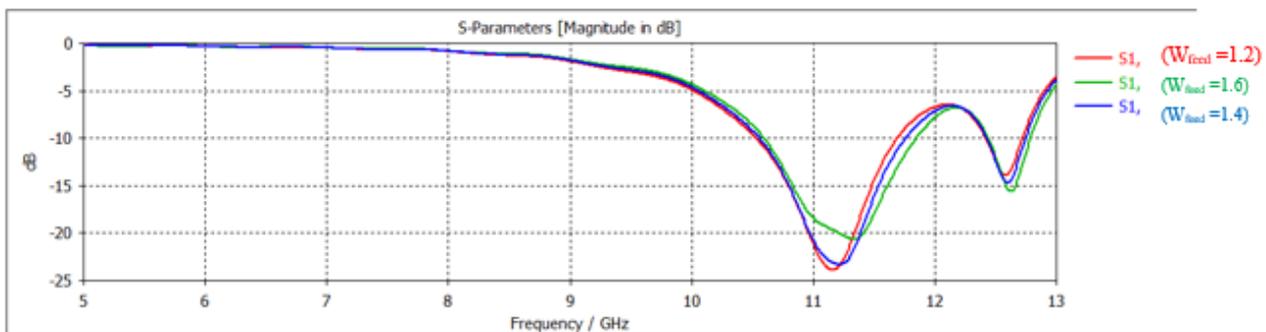


**Figure III.12:** Coefficient de réflexion ( $S_{11}$ ), pour différentes valeurs de la longueur du micro-ruban

❖ On remarque que cette variation affecte la fréquence de résonance, et l'adaptation de l'antenne. L'augmentation de la longueur du micro-ruban a fait démunie la fréquence de résonance de 11.5 GHz ( $L_{feed} = 80$  mm), 10.15 GHz pour ( $L_{feed} = 82$ mm) et 12.25GHz pour ( $L_{feed} = 84$ mm)

### 2. Effet de la largeur de micro-ruban

nous avons varié la largeur, et fixer les autres paramètres La figure III.13 montre le coefficient de réflexion pour une longueur de 1.2 mm, 1.4mm et 1.6 mm



**Figure III.13:** Coefficient de réflexion ( $S_{11}$ ), pour différentes valeurs du largeur de micro-ruban

❖ On remarque que ce changement a entraîné une très légère augmentation de fréquence.

## III.4 Conclusion

Dans ce chapitre, on a fait une étude paramétrique de l'antenne DRA rectangulaire, par le logiciel CST a permis on voit que l'impact de différents paramètres sur les performances de l'antenne, tels que les dimensions du diélectrique, la permittivité du diélectrique, dimensions de la fente et les dimensions du micro-ruban, Les résultats de simulation ont montré la fréquence de résonance et l'adaptation de l'antenne sont effectuée par la variation de dimensions du résonateur et très sensible aux dimensions de la fente, et de longueur de micro-ruban.



*Chapitre IV*  
*Conception d'une antenne*  
*DRA*  
*Pour les applications RFID*

## **IV.1 Introduction**

Après une étude paramétrique d'une antenne DRA rectangulaire dans le chapitre précédent, on a une idée sur l'effet des différents paramètres physiques sur les caractéristiques d'une antenne DRA rectangulaire

L'optimisation d'une antennes DRA joue un rôle crucial dans la réalisation de communications sans fil de haute performance.

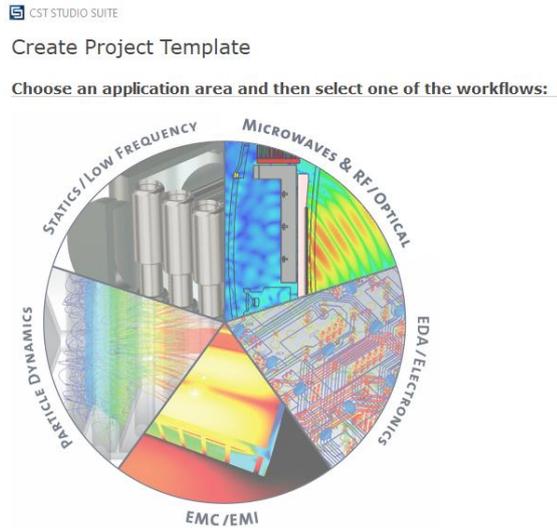
Dans ce dernier chapitre, On va voir l'optimisation d'une antenne DRA, qui vise à améliorer la bande passante et à connaître les applications sur lesquelles elle fonctionne

## **IV.2 Choix de l'outil de simulation**

Les simulateurs électromagnétiques sont nombreux et spécialement conçus pour la conception de divers circuits microondes passifs et actifs, tels que les antennes imprimées dans notre situation, les filtres, et d'autres circuits. On peut mentionner le Comsol, le CST studio, ADS Momentum, et le Ansoft HFSS parmi ces simulateurs. Dans ce mémoire, nous allons élaborer une antenne DRA en utilisant la version 2021 du simulateur CST studio. Notre objectif est de concevoir une antenne DRA qui peut fonctionner sur une fréquence de 800 MHz. Cette bande de fréquence est dédiée pour les applications RFID. Pour aboutir à cet objectif, on va optimiser les paramètres de l'antenne DRA.

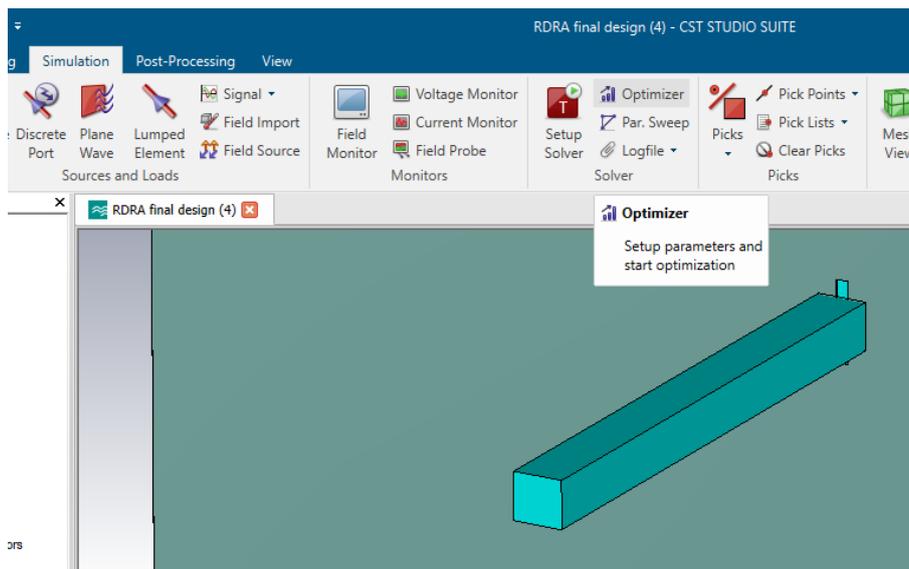
## **IV.3 Simulateur CST studio**

Comme indiqué précédemment, le choix du CST studio était motivé par la solidité de cet outil dans la conception des circuits micro-ondes (antenne imprimée) en 3D, contrairement à d'autres outils tels que le ADS Momentum. Le simulateur CST offre une solution spécialisée pour simuler et concevoir des composantes haute fréquence en utilisant des outils électromagnétiques en trois dimensions (3D). Il est largement employé dans les secteurs académiques, industriels et gouvernementaux pour réaliser des simulations. La Figure IV.1. Présente l'interface de ce simulateur.



**Figure IV.1 :** Interface du simulateur CST studio.

Le simulateur CST studio a la possibilité de faire l'optimisation de différents paramètres d'une structure micro-ondes grâce à un processus d'optimisation (*Optimizer*)



**Figure IV.2 :** Optimisation sous le simulateur CST studio.

Le CST assure l'optimisation par plusieurs algorithmes tels que trust region farmwork, CMA evolution strategy, Genetic algorithm, Interpolated quasi newton et particule swam optimization. Dans notre cas, on a choisi la méthode PSO à cause de sa robustesse et sa performance de convergence globale.

#### IV.4. Définition de l'optimisation [39]

L'optimisation implique la réduction ou la maximisation d'une fonction objective ou de coût. Si une antenne micro ruban est utilisée, l'optimisation implique de calculer de manière précise l'un de ces paramètres, tels que la fréquence de résonance, l'impédance d'entrée ou le coefficient de réflexion S11. On peut mentionner parmi ces techniques d'optimisation les méthodes stochastiques comme les algorithmes génétiques, l'essaim particulier (PSO) et d'autres méthodes analytiques comme la méthode de Newton

#### IV.5 Algorithme PSO

L'optimisation par essaim de particules est une méthode métaheuristique basée sur le comportement des oiseaux ou des poissons en recherche de nourriture. Cela implique un échange d'informations entre les oiseaux, garantissant que la meilleure solution soit trouvée. Kennedy et Eberhart proposent un algorithme qui simule le comportement social basé sur l'analyse environnementale et le voisinage, maximisant les chances en observant les préférences individuelles. Ce modèle a été étendu à un algorithme d'optimisation efficace.

##### IV.5.1 Principe du l'algorithme PSO

L'optimisation par essaim de particules repose sur un ensemble d'individus originellement disposés de façon aléatoire et homogène, que nous appellerons dès lors des particules, qui se déplacent dans l'espace de recherche et constituent chacune une solution potentielle. Chaque particule dispose d'une mémoire concernant sa meilleure solution visitée ainsi que la capacité de communiquer avec les particules constituant son entourage. A partir de ces informations, la particule va suivre une tendance faite, d'une part, de sa volonté à retourner vers sa solution optimale, et d'autre part, de son mimétisme par rapport aux solutions trouvées dans son voisinage. A partir des optimums locaux et empiriques, l'ensemble des particules va normalement converger vers la solution optimale globale du problème traité

#### IV.6 Applications RFID [40]

##### IV.6.1 Définition

La RFID, ou identification par radiofréquence (RFID), est un terme utilisé pour décrire un large éventail d'applications pour l'identification d'objets à grande échelle par communication radio. Elle englobe tous les types de connexions sans fil ou sans contact

réalisées grâce aux ondes électromagnétiques, des très basses fréquences jusqu'à la lumière visible. La méthode la plus courante consiste à stocker un numéro de série dans un patch auquel est jointe une adresse e-mail. Le patch-antenne est appelé étiquette RFID. Un interrogateur envoie une demande d'identification aux étiquettes, qui communiquent ensuite les informations à un système informatique pour répondre à divers besoins d'application. La définition large du terme peut prêter à confusion avec d'autres termes tels que « passif », « actif » et « semi-actif ».

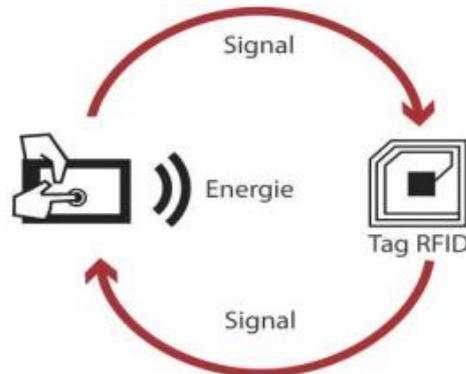


Figure IV.3 : Technologie RFID.

#### IV.6.2 Principe de fonctionnement des systèmes RFID

Un système RFID est composé de deux entités qui communiquent entre elles :

a) Un tag ou (étiquette) intelligente, associé à l'élément à identifier il est capable de répondre à une demande venant d'un lecteur.

b) Une station de base ou lecteur RFID qui a pour mission d'identifier le tag. Le lecteur envoie une onde électromagnétique en direction de l'élément à identifier. En retour il reçoit l'information renvoyée par le tag.

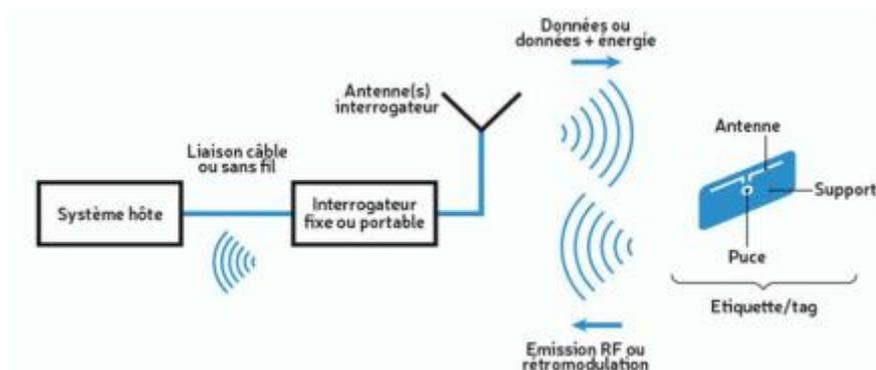


Figure IV.4 : illustration du fonctionnement général d'un système RFID

En général, le lecteur joue le rôle de maître vis-à-vis du tag ; si le tag se trouve dans la zone de lecture du lecteur, ce dernier l'active en lui envoyant une onde électromagnétique et entame la communication. Le lecteur est connecté à un logiciel hôte qui reçoit l'information afin de la traiter. Il incombe donc à un lecteur RFID de communiquer avec le système global concernant l'application et de gérer l'identification des tags qui se présentent à lui. Quant à lui, le tag est composé d'une antenne et d'une puce électronique . L'objectif d'un système RFID est de transmettre les données à un dispositif portable (tag) qui est lu par un lecteur RFID et traité en fonction des exigences d'une application spécifique.

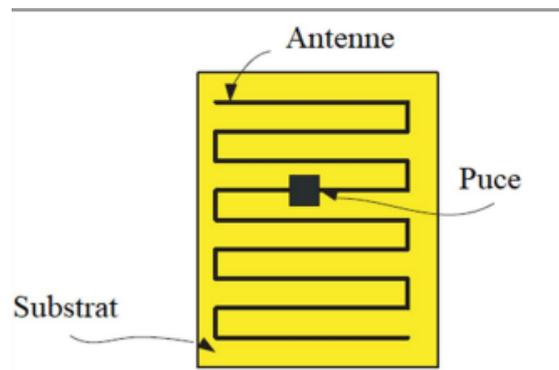


Figure IV.5 : composants d'un Tag.

## VI.7 Conception d'une antenne RDRA

Après une étude paramétrique, on doit chercher le bon ajustement de ces paramètres pour accéder à la bonne fréquence de résonance choisie. Pour une antenne DRA, le but est d'optimiser quelques paramètres de l'antenne afin d'avoir des caractéristiques voulues en termes de fréquence de résonance souhaitée et d'adaptation. Cette antenne DRA peut rayonner sur une bande de 0.8Ghz.

Cette bande est dédiée pour les applications RFID. Pour réaliser l'optimisation en utilisant le simulateur CST Microwave studio, on doit passer par les étapes suivantes

Premièrement, en cliquant sur l'icône *Optimizer* dans le menu de simulation, puis on va cocher (choisir) les paramètres à optimiser.

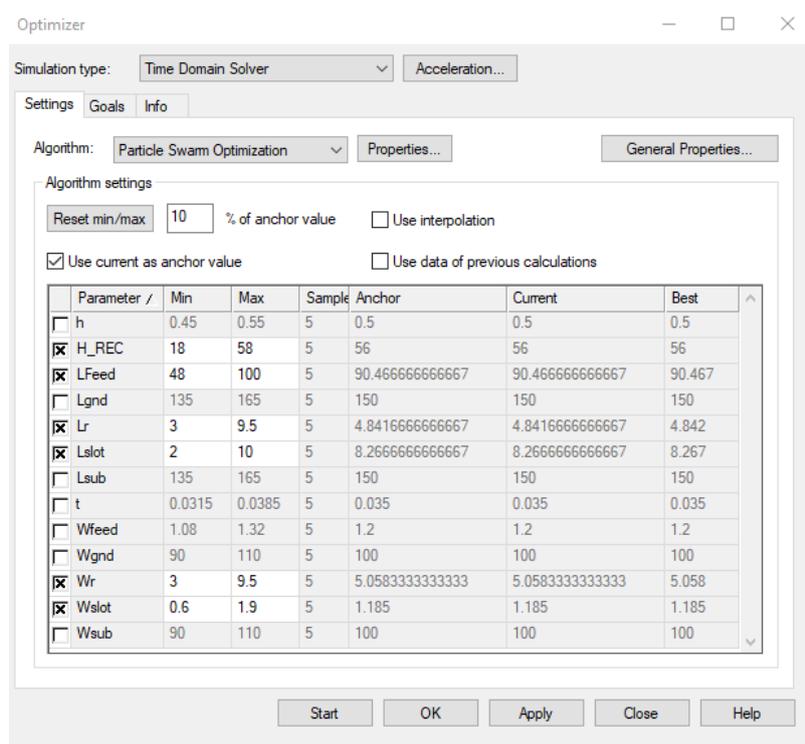


Figure VI.6 : choix des paramètres à optimiser

Deuxièmement, on va définir l'objectif (le goal). Dans notre cas, Le coefficient de réflexion S11 doit être inférieur à -10 dB dans la gamme RFID (0.8GHz)

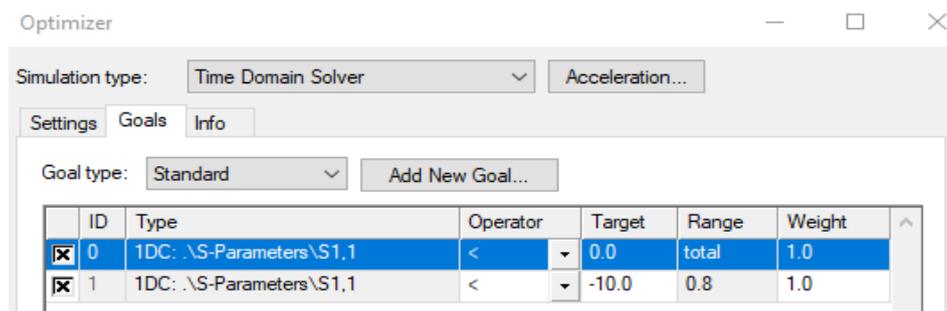
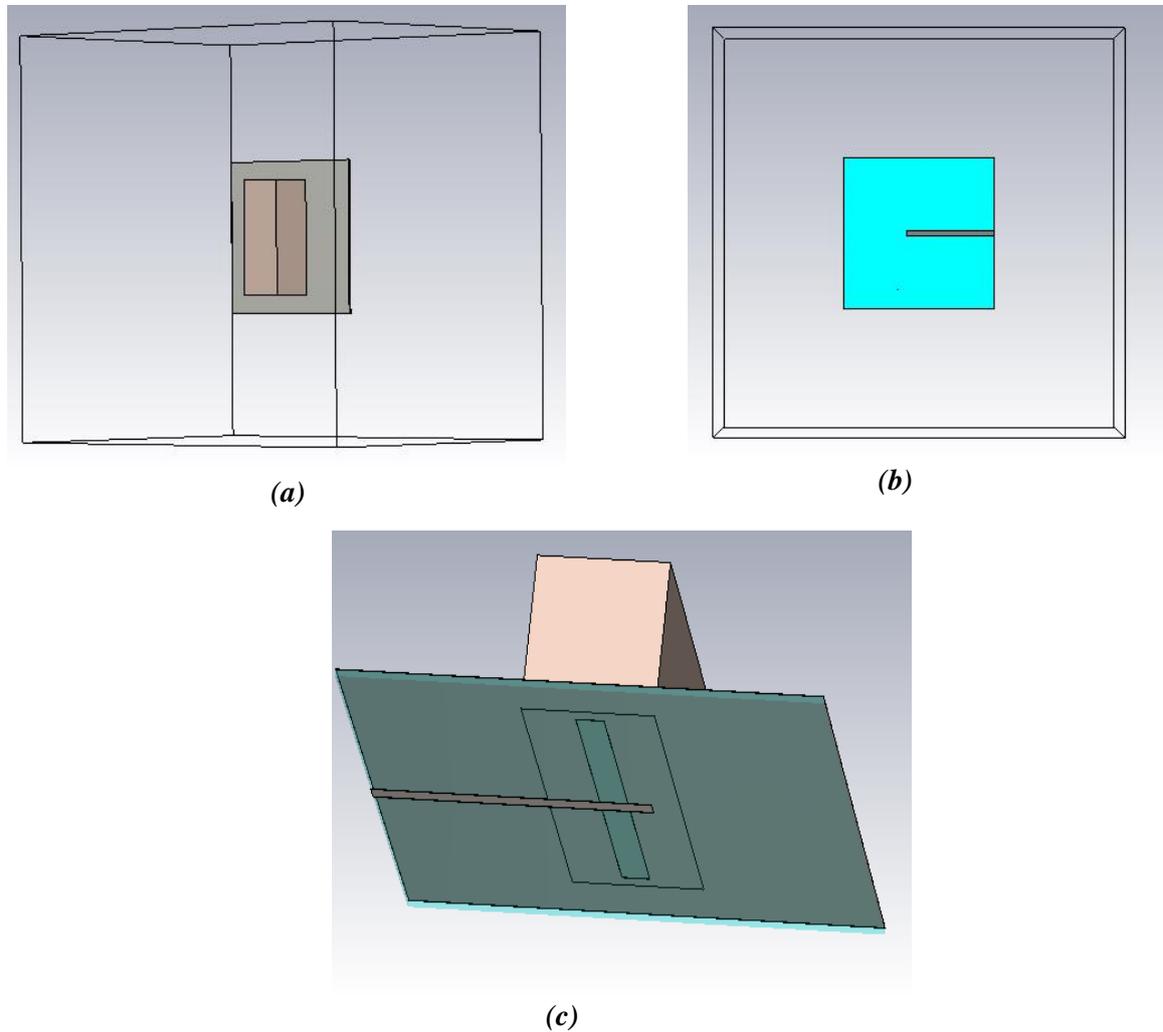


Figure VI.7 : défintion de l'objectif (Goal)

### IV. 7.1 Géométrie de l'antenne proposée

Après l'optimisation, La structure finale de l'antenne conçue pour commuter la bande. Cette structure est montrée dans la figure suivante



**Figure VI.8 :** Géométrie de l'antenne conçue : (a) Vue avant et (b) Vue arrière (c) Vue générale

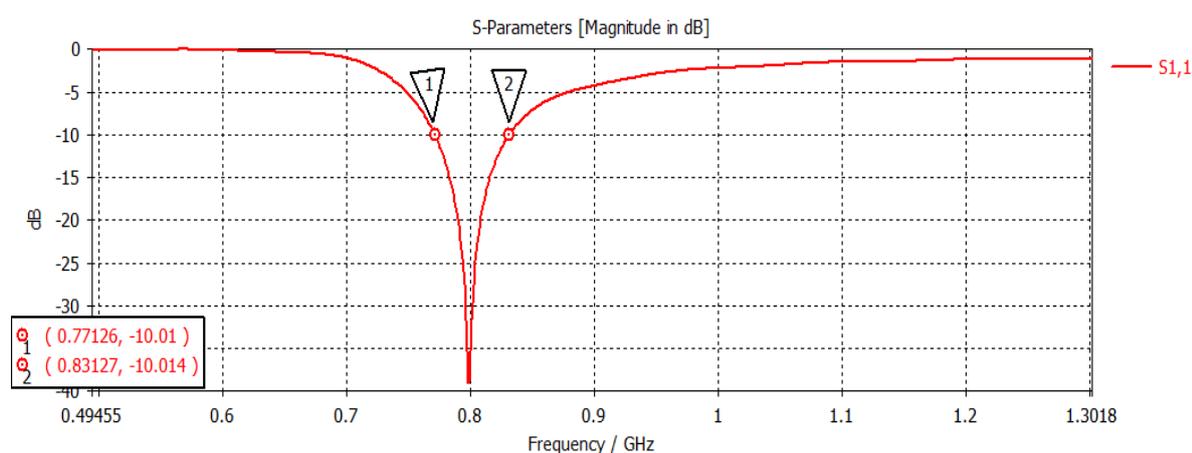
Pour obtenir une fréquence résonance de 800 MHz, une optimisation été faite ce qui nous permet d'obteni des dimensions optimales qui sont tabulés dans le tableau suivant

Tableau III. 1 : Dimensions de l'antenne DRA rectangulaire proposée

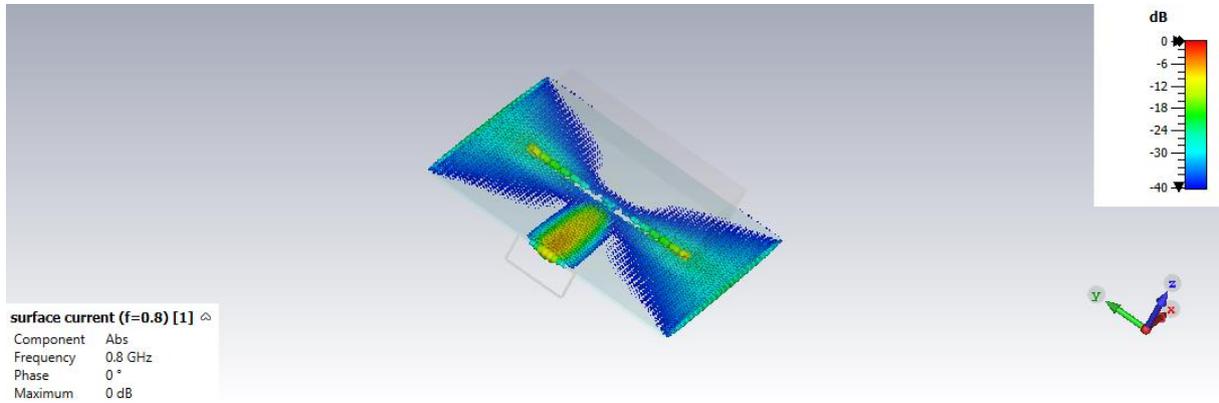
Component	Paramètre	Dimension (mm)
La ligne de transmission (micro-ruban)	Lfeed	70
	Wfeed	4
	t	0.035
Substrat	Lsub	120
	Wsub	120
	h	1.5
la masse	Lgnd	120
	Wgnd	120
	t	0.05
Slot	Lsolt	82
	Wsolt	7
Diélectrique	Ldr	90
	Wdr	33
	H-REC	35

#### IV.8 Résultats de simulation

Après la simulation, l'antenne proposée présente une fréquence de résonance de 0.8 GHz avec une adaptation -40 dB comme illustré dans la figure suivante.

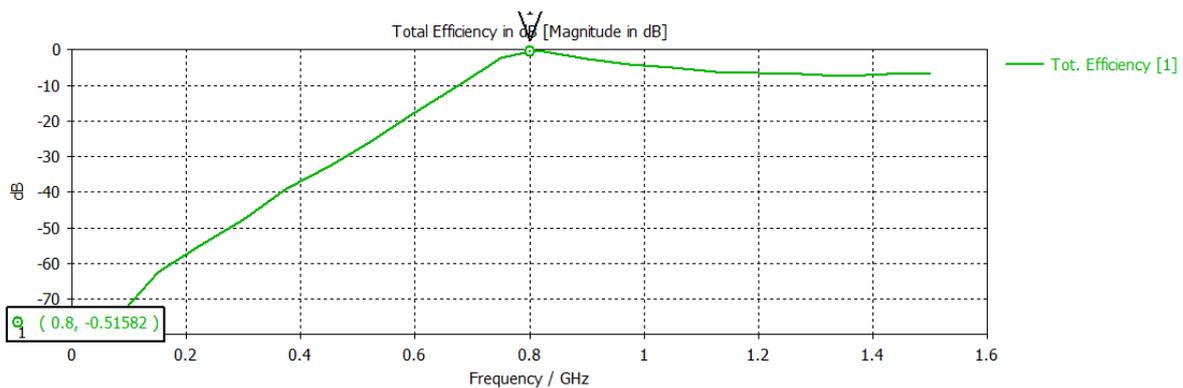
Figure IV.9 : Coefficient  $S_{11}$  pour l'antenne conçue

La bande passante d'une antenne est la bande de fréquence pour laquelle les performances radioélectriques de cette antenne restent conformes à une norme imposée. A partir de l'évolution de coefficient  $S_{11}$ , on déduit que la bande passante est près de 60 MHz.



**Figure IV.10 :** Distribution de courant surfacique pour l'antenne simulée en Figure IV.8 et à la fréquence 0.8 GHZ

On remarque que la distribution du courant surfacique donne plusieurs informations sur l'antenne conçue. Parmi ces informations, on peut citer la distribution du champs électrique et magnétique, ce qui affecte fortement sur les performances de l'antenne en terme de diagramme de rayonnement, le gain, et le mode de résonance.



**Figure IV.11 :** Efficacité totale pour l'antenne simulée

Suivant la précédente figure, on remarque que l'efficacité atteinte sa valeur maximale à la fréquence 0.8 GHz

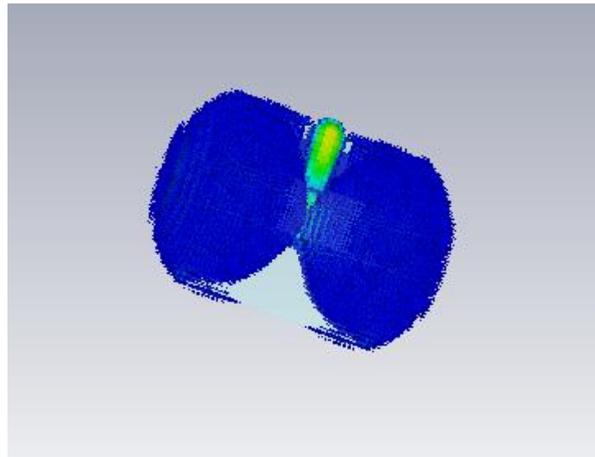
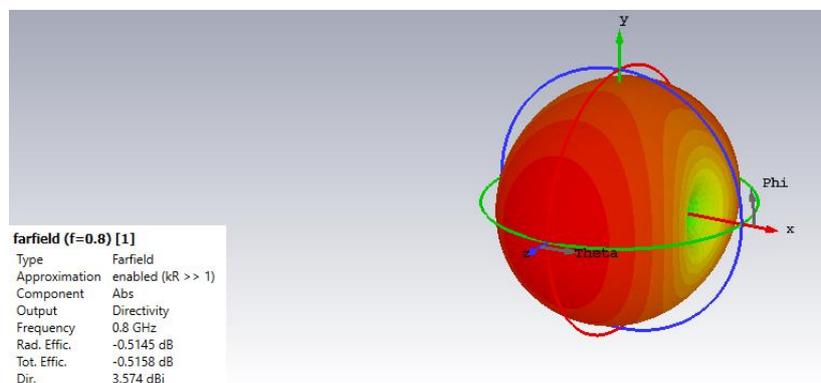
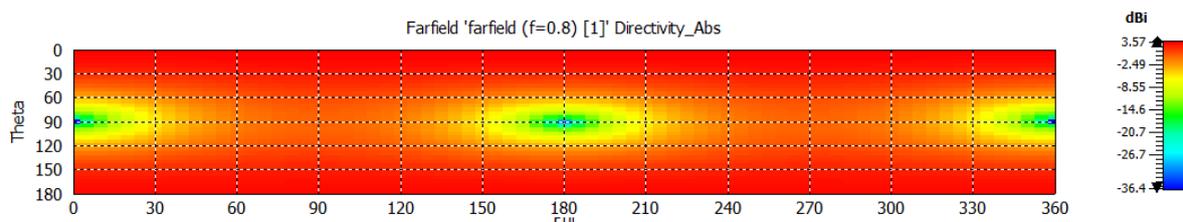


Figure IV.12 : Distribution du champ magnétique pour l'antenne simulée



(a)



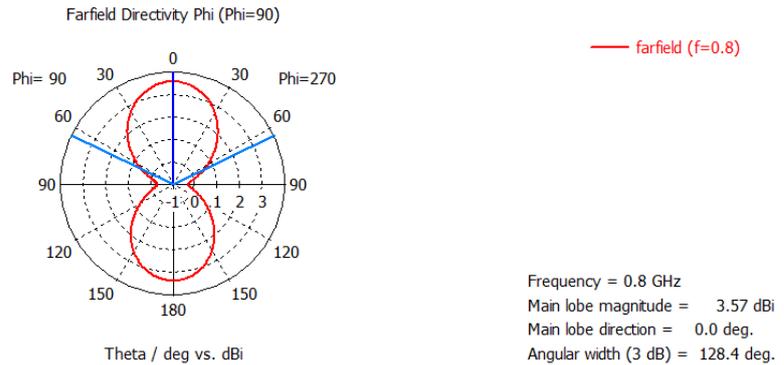
farfield (f=0.8) [1]

Frequency 0.8 GHz  
 Rad. Effic. -0.5145 dB  
 Tot. Effic. -0.5158 dB  
 Dir. 3.574 dBi

(b)

Figure IV.13 : Diagramme de rayonnement de l'antenne présentée dans Figure IV.8 à la fréquence 0.8 GHz, (a) (3D) et (b) (2D)

A partir du diagramme de rayonnement, on peut déduire que le mode de résonance dominant est le mode TE<sub>121</sub>



**Figure IV.14 :** Diagramme de rayonnement d'antenne présentée dans Figure IV.5 à la fréquence 0.8 GHz au plan  $\phi=90^\circ$  (2D)

A cette fréquence, nous présentons le diagramme de rayonnement normalisé en champ lointain en 3D. Le gain réalisé total maximums est de l'ordre 3.57 dBi à  $f = 0.8$  GHz. De même, on a représenté ces diagrammes de rayonnement en 2D dans les deux plan  $\phi=90^\circ$  et  $\phi=270^\circ$ .

#### IV.10 Conclusion

Dans ce chapitre, on a fait la conception d'une antenne RDRA en fréquence de 0.8GHz. L'antenne proposée est atteinte après une étude paramétrique approfondie puis une optimisation qui nous permet d'ajuster quelques paramètres afin d'aboutir à notre guise. L'antenne RDRA peut commuter dans une fréquence de 0.8GHz et bande passante 7.489. Cette fréquence est dédiée aux applications RFID.



*Conclusion  
Générale*

## *Conclusion générale*

Dans ce travail, nous avons conçu une antenne DRA rectangulaire. Pour ce faire, on a établi une étude paramétrique d'une antenne DRA fonctionnant autour de la fréquence 11GHz en utilisant le simulateur CST. Cette antenne est dédiée à des applications variées dans les domaines de télécommunications.

L'objectif essentiel de notre travail était la conception d'une antenne DRA avec une technique de placement un trou pour les applications RFID ce qui permet de résoudre les problèmes de la bande passante étroite.

Dans le premier chapitre, nous avons présenté des généralités sur les antennes DRA, leurs caractéristiques ainsi que son importance dans la télécommunication. Dans le même chapitre, on a vu les Paramètres des antennes DRA et les types d'excitation, les avantages, les inconvénients, et on a fait un état de l'art.

Dans le deuxième chapitre est consacré à une étude analytique d'une antenne DRA par la CMA, une classification rigoureuse des différents modes de résonance des antennes DRA du formes rectangulaires et cylindriques

Dans le troisième chapitre, on a donné une présentation de logiciels CST et montré comment créer, simuler, et analyser une antenne DRA rectangulaire en utilisant le simulateur CST MICROWAVE STUDIO. On a fait une étude paramétrique sur plusieurs paramètres d'antenne tel que la création des fentes sur le gnd la taille du diélectrique, les dimensions du slot (longueur et largeur) et ...etc. pour avoir les effets des différents paramètres sur les performances de l'antenne, on a fixé certains paramètres ensuite, on varier les autres paramètres un par un pour déterminer leur impact sur la réponse d'antenne. Puis on va observer l'influence de la variation de ce paramètre sur les caractéristiques de l'antenne.

Les résultats de simulation ont montré que les dimensions du DR ont un effet sur la bande passante et l'adaptation de l'antenne.

Dans la partie d'optimisation avec l'algorithme intégré dans le simulateur CST, nous avons utilisé plusieurs étapes importantes du programme de simulation : identification des paramètres à varier, la gamme de variation, méthode d'optimisation choisie et les objectifs

d'antenne DRA conçue fonctionne dans une large bande pour la fréquence de résonance du 0.8Ghz pour les applications RFID.

Comme perspectives pour les travaux au futur, nous avons proposé de concevoir une Antennes patch empilées et Substrats à permittivité variable ce qui permet d'augmenter la bande passante avec des performances acceptables.

Comme perspectives, on va essayer d'augmenter la bande passante d'une antenne DRA qui présente un inconvénient majeur dans ce type d'antenne. Parmi les techniques utilisées dans l'élargissement de bande, on peut citer stacked DRA, création des fentes sur la masse, l'utilisation des substrats à permittivité variable, ...

De même, on a la possibilité de concevoir une autre forme de l'antenne DRA telle que la forme cylindrique et des autres.

Ces points et des autre peut englober un axe de recherche au futur.



*Référence*  
*Bibliographique*

## *Référence bibliographique*

- [1] I. BEN TRAD, “Antennes agiles pour les télécommunications multistandards “, Thèse de doctorat, Université de Tunis El Manar, Electronique et Télécommunications, ,2014
- [2] radio-waves.orange.com
- [3] L. SCHREIDER, “Antennes à très large bande passante et de très faible épaisseur – Application à l’intégration d’antennes dans des structures de porteurs dans la bande 100MHz-1GHz“, école doctorale d’informatique, télécommunication et électronique de paris, 2006
- [4] M. W. McAllister, S. A. Long, and G. L. Conway, “Rectangular dielectric resonator antenna,” *Electron. Lett.*, vol. 19, no. 6, pp. 218-219, Mar 1983
- [5] A. AGOUZOUL, “Conception et réalisation d’une antenne à résonateur diélectrique à 60G Hz pour les applications souterraines“, Université du québec en abitibi-témiscations , 2013
- [6] K. Allabouche, “Etude, conception et caractérisation de nouvelles topologies d’Antennes à Résonateurs Diélectriques : Application aux nouveaux systèmes de communications sans fil“, thèse de doctorat Discipline Électronique,L’Université Côte d’Azur , 2017,184page
- [7] A. S. a. R. K. Gangwar, «Asymmetrical annular shape microstrip line fed stacked cylindrical dielectric resonator antenna for UWB,» 2016 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC), New Delhi, India, 2016, pp. 1-4, 18 May 2017.
- [8] Muhammad Faiz Alam, “Dielectric Resonator Antennas (DRA) for satellite and body area network applications“,Submitted for the partial requirement of Doctor of Philosophy, Electronics, Optronics and Systems, 27 Feb 2013.
- [9] H. Schlike, *J. Appl. Phys.*, v.24, (1953), 187
- [10] O. Diop, « Etude et minimisation du facteur de qualité des antennes pour de petits objets communicants,» Thèse de doctorat de l’Université de Nice-Sophia Antipolis, 2013.
- [11] S. Fargeot, "Etude d’un résonateur diélectrique cylindre antenne. Application à la caractérisation des matériaux," Thèse du doctorat de l’université de Limoges, 1999.
- [12] Nasimuddin, K. P. Esselle, " Antennas with dielectric resonators and surface mounted short horns for high gain and large bandwidth", *IET, Microwave, Antenna & Propagation*, vol. 1, no. 3: 723-728, 2007
- [13] A. BENOMAR, “Etude des Antennes à Résonateurs Diélectriques. Application aux Réseaux de Télécommunications“, Présentée pour obtenir le grade, Docteur de l’université de Tlemcen et Docteur Limoges DOCTEUR DE L’UNIVERSITE DE TLEMCCEN et DOCTEUR DE L’UNIVERSITE DE LIMOGES, ,2015, 178page

- [14] A.A. Kishk, B. Ahn , D. Kajfez, "Broadband Stacked Dielectric Resonator", IEEE Electronic Letters, vol. 25, no 18: pp 1232-1233, 1989
- [15] G.P. Junker, A.A. Kishk, A. W. Glisson, 1993, "Numerical Analysis of Dielectric Resonator Excited in Quasi-TE Modes", Electronics Letters, vol. 29, no.21: 1810-1811.
- [16] A. Petosa, al., "Design and Analysis of Multi segment Dielectric Resonator Antennas", IEEE Transactions on Antennas and Propagations, vol. 48, no.5: 738-742, 2000
- [17] A. Buerkle , A. Sarabandi, H. Mossallei, "Compact slot and dielectric resonator antenna with dual-resonance, broadband characteristics", IEEE Transactions on Antennas and Propagations, vol. 53, no.3: 1020-1027, 2005
- [18] T.A. Denidni, Q.Rao, "Hybrid dielectric resonator antennas with radiating slot for dualfrequency operation", IEEE, Antenna and Wireless Letters, vol. 3, no. 1: 321-323, 200
- [19] Nasimuddin, K. P. Esselle, " Antennas with dielectric resonators and surface mounted short horns for high gain and large bandwidth", IET, Microwave, Antenna & Propagation, vol. 1, no. 3: 723-728, 2007
- [20] Nasimuddin, K. P. Esselle, "A low-profile compact microwave", IEEE Transactions on Antennas and Propagations, vol. 55, no.6: 1880-1883, 2007
- [21] Nasimuddin, K. P. Esselle", "A law profile compact microwave antenna with high gain and wide bandwidth", International Conference on Electromagnetic in advanced applications: 895-898, 2007
- [22] Mongia R. K.et P. Bhartia. 1994. "Dielectric Resonator Antennas-A review and General Design Relations for Resonant Frequency and Bandwith", International Journal of Microwave and Millimeter-Wave and Computer-Aided Engineering, Vol. 4, No. 3: 600-625.
- [23] Richmeyer RD. 1939. "Dielectric resonators, "International Journal of Applied Physics, v ol. 210: 391-398.
- [24] Gastine, M., L. Courtois, et J.J. Dormann. 1967"Electromagnetic Resonances of free dielectric Spheres", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. MU-15: 694-700
- [25] Van Bladel, J., 1975a."On the resonances of a Dielectric Resonator of Very High Permittivity," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. 23: 199-208.
- [26] Long, S.A., M. W. Mc Allister and L. C. Shen. 1983. "The Resonant Cylindrical Dielectric Cavity Antenna" IEEE Transactions on Antennas and Propagations, vol. 31, No.3: pp 406-412.
- [27] A. Petosa, "Recent Advances in Dielectric Resonator Antenna Technology," IEEE Antennas and Propagations Magazine, vol. 40, No.3: 35-46, 2002.

- [28] A. Petosa, "Antenna Research at the Communication Research Center," IEEE Antennas and Propagations Magazine, vol. 37, No.5: 7-18, 2002
- [29] Qi Wu, "Characteristic Mode Assisted Design of Dielectric Resonator Antennas with Feedings "IEEE University (BUAA) · Electronics and Information Engineering, ,2019, DOI: 10.1109/TAP.2019.2916763
- [30] E. Baldazzi et al, "A High-Gain Dielectric Resonator Antenna with PlasticBased Conical Horn for Millimeter-Wave Applications " ,2020,DOI 10.1109/LAWP.2020.2984565
- [31] [www.fizziq.org](http://www.fizziq.org)
- [32] [www.lalanguefrancaise.com](http://www.lalanguefrancaise.com)
- [33] H. RAGAD, "Étude et conception de nouvelles topologies d'antennes à résonateur diélectrique dans les bandes UHF et SHF", Thèse de doctorat ' . École doctorale Sciences et Technologies de l'Information et Mathématiques (STIM) – France ,182page ,2013
- [34] K. Allabouche, "Étude, conception et caractérisation de nouvelles topologies d'Antennes à Résonateurs Diélectriques : Application aux nouveaux systèmes de communications sans fil", thèse de doctorat Discipline Électronique,L'Université Côte d'Azur , 2017,184page
- [35] K. M. Luk et K. W. Leung, Dielectric Resonator Antennas, RESEARCH STUDIES PRESS LTD, 2003.
- [36] P. Bahramzy, O. Jagielski et G. F. Pedersen, «Thermal loss and soldering effect study of High-Q antennas in handheld devices, » 2013 7th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Gothenburg, pp. 878-881, 2013.
- [37] C. Naninni, « Etude de nouvelles antennes à résonateur diélectrique multifréquence, large bande et à polarisation circulaire,» Thèse de doctorat de l'université Sophia antipolis de Nice, 2004.
- [38] A. BEHLOUL, Doctorat" Etude et conception d'antennes à résonateurs diélectriques, Electronique, Option Hyperfréquences ,2017
- [39] R. BELLOUMI, Optimisation par Essaim de Particules Application à un système complexe, Présenté pour l'obtention du diplôme de MAGISTER en Électronique ? Université Batna 2 Faculté de Technologie Département d'Électronique
- [40] A. MANSOURI, B. BOUREZZANE, "Conception d'une antenne de tag RFID passif Sur la bande UHF", Université Kasdi-Merbah Ouargla

## Abstract

To stay up with the requirements of modern cellular systems, which are indicated by the need to support wide-range applications, the DRA antenna is considered one of the sectors that is witnessing exceptional progress and increasing interest at the present time. This is due to its characteristics that distinguish it from other antennas.

In this work, we have improved some of the disadvantages of this antenna, which can operate at a frequency of 0.8 GHz through a slot in the ground. The final shape of the designed DRA antenna was achieved using an in-depth parametric study that allows us to get a good idea of the effect of each parameter on the antenna patch, such as buffer lengths. The optimization process was run using the PSO algorithm integrated into the CST software

## ملخص

لمواكبة متطلبات الأنظمة الخلوية الحديثة والمشار إليها بالحاجة إلى دعم التطبيقات واسعة المجال، يعتبر هوائي من أكثر القطاعات التي تشهد تقدماً استثنائياً واهتماماً متزايداً في الوقت الحالي. وذلك لخصائصها التي ميزتها عن DRA . باقي الهوائيات

في هذا العمل، قمنا بتحسين بعض مساوئ هذا الهوائي الذي يمكن أن يعمل في تردد 0.8 جيجا هرتز ذلك عبر ثقب في المصمم باستخدام دراسة بارامترية عميقة تتيح لنا الحصول على فكرة DRA الارضي. تم تحقيق الشكل النهائي لهوائي جيدة عن تأثير كل معلمة على رقعة الهوائي مثل اطوال العازل. تم تشغيل عملية التحسين باستخدام خوارزمية PSO المدمجة في برنامج CST