

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER**

En : Télécommunications

Spécialité : Systèmes des Télécommunications

Par : **DERRIS ASMA**

&

MOKRI BOCHRA

Sujet

**Conception des antennes à onde de fuite reconfigurables en
technologie SIW**

Soutenu publiquement, le 30 / 06 /2022 , devant le jury composé de :

M S.M.BAHRI	Maître de conférences B	Univ de Tlemcen	Président
M M. BOUSAHLA	Maître de conférences A	Univ de Tlemcen	Examineur
M M. ABRI	Professeur	Univ de Tlemcen	Encadrant
Mlle B. BELLAHOUEL	Doctorante	Univ de Tlemcen	Co-Encadrante

Année universitaire : 2021/2022

Remerciements

Nos remerciements vont tout d'abord à ALLAH le tout puissant d'avoir nous avoir donné la volonté et la patience de mener à terme le présent travail.

Nous adressons nos remerciements les plus sincères à notre encadrant M **ABRI MEHADJI**, Professeur à la faculté de technologie, département de Télécommunications, et à notre Co-encadrante Mlle **BELLAHOUEL BOUCHRA**. Merci pour votre disponibilité. Merci pour votre compréhension, votre grande gentillesse et pour la confiance que vous nous avez témoignés.

Nous remercions également les membres du jury M **BAHRI Sidi Mohamed** et M **BOUSAHLA Miloud** qui se sont intéressés à notre étude et qui nous ont fait l'honneur d'accepter de juger notre travail.

Nos remerciements s'étendent également à tous, nos enseignants durant les années d'études.

Enfin nous tenons à remercier toute personne qui nous a aidé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

C'est avec profonde gratitude et sincères mots, que je dédie ce modeste travail de

fin d'étude :

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour ma réussite, que dieu te garde dans son vaste paradis, à toi mon père.

A celle qui m'a arrosé de tendresse et d'espairs, la source d'amour, la flamme de mon cœur, mon bonheur , maman que j'adore.

A mes très chères sœurs Fatima Zahra et Merieme , pour votre soutiens moral et vos conseils toute au long de mon parcours .

Un grand merci à mes chères sœur.

*À tous mes amis et les personnes les plus proches de mon cœur IBTISSEM,
ABDELHAKIM , AMINE ,MEHDI,SARAH.*

Asma

Dédicace

À mon cher papa

Aucune dédicace ne serait exprimée l'amour, l'estime et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être.

Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation. « Merci papa »

À ma chère mère

Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

À mon frère et mes soeurs « Mohamed, Somia, fatema, ilhem »

Je vous souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de réussite et de sérénité.

Je vous exprime à travers ce travail mes sentiments de fraternité et d'amour.

Je dédie ce modeste travail aussi À mes neveux Ahmed et Diaa et Imran et Amir

À mes nièces adorée Selma et Arwa et Amira et Kholoud et chifaa Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, mes aimables proches amis.

Bochra

Résumé :

La technologie SIW, techniquement ce sont des guides d'onde réalisés par deux plans métalliques inférieur et supérieur séparés par un substrat diélectrique, dont les faces latérales sont remplacées par des rangées de trous métallisés qui relient ces deux plans.

Ce mémoire a été consacré à la conception des antennes reconfigurables à onde de fuite à base de la technologie SIW (Substrat Integrated Waveguide) opérant en bande C et X qui s'étalent sur [4-8 GHz] et [8-12 GHz] respectivement. Des résultats performants ont été obtenus en termes d'adaptation. Les différentes simulations ont été achevées en employant le simulateur CST Microwave Studio.

Mots clés : Technologie SIW, bande C, bande X, simulation, CST Microwave Studio.

Abstract:

SIW technology, technically these are waveguides made by two lower and upper metal planes separated by a dielectric substrate, the side faces of which are replaced by rows of metallized holes which connect these two planes.

This thesis was devoted to the design of reconfigurable leaky wave antennas based on SIW (Substrate Integrated Waveguide) technology operating in C and X bands which span [4-8 GHz] and [8-12 GHz]. respectively. Effective results have been obtained in terms of adaptation. The various simulations were completed using the CST Microwave Studio simulator.

Keywords: SIW technology, C band, X band, simulation, CST Microwave Studio.

ملخص

تقنية مفصولة SIW، من الناحية الفنية، هذه عبارة عن أدلة موجية مصنوعة من طائرتين معدنيتين سفليتين وعلويتين بركيزة عازلة، يتم استبدال الوجوه الجانبية بصفوف من الثقوب المعدنية التي تربط هاتين الطائرتين

(الدليل الموجي المتكامل SIW تم تخصيص هذه الرسالة لتصميم هوائيات موجية متسربة قابلة للتشكيل تعتمد على تقنية اللذين يمتدان من [4-8 جيجا هرتز] و [8-12 جيجا هرتز] على التوالي. تم الحصول على X و C الركيزة) العاملة في نطاق CST Microwave على نتائج فعالة من حيث التكيف. تم الانتهاء من عمليات المحاكاة المختلفة باستخدام جهاز Studio.

الكلمات الرئيسية:

تقنية SIW، المحاكاة، النطاق X، النطاق C، CST Microwave Studio

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	I
LISTE DES FIGURES	IX
LISTE DES TABLEAUX.....	XIII
INTRODUCTION GENERALE	2
CHAPITRE I : CONCEPTS DES ANTENNES ET LA	
RECONFIGURABILITE.....	5
I.1 INTRODUCTION.....	6
I.2 DEFINITION	6
I.3 ÉQUATIONS DE MAXWELL.....	7
I.4 LES CARACTERISTIQUES DES ANTENNES	8
I.4.1 Caractéristiques électriques	8
I.4.1.1 L'impédance d'entrée	8
I.4.1.2 Coefficient de réflexion	8
I.4.1.3 Rapport d'onde stationnaire	9
I.4.1.4 Bande d'utilisation	9
I.4.2 Les caractéristiques de rayonnement	10
I.4.2.1 Diagramme de rayonnement	10
I.4.2.2 Puissance rayonnée.....	11
I.4.2.3 Directivité.....	11
I.4.2.4 Gain	12
I.4.2.5 Polarisation	12
I.5 ANTENNE PATCH (MICRO RUBAN)	13
I.5.1 Description d'une antenne imprimée.....	14
I.5.2 Structure d'une antenne imprimée.....	14
I.5.3 Les paramètres géométriques d'une antenne imprimée	15
I.5.3.1 Largeur du patch.....	15
I.5.3.2 Longueur du patch	16
I.5.3.3 Choix du substrat	16
I.5.4 Techniques d'alimentation.....	17
I.5.4.1 Alimentations par contact.....	17
a. Alimentation par une ligne micro ruban.....	17
b. Alimentation coaxiale directe	18
I.5.4.2 Alimentations par proximité	18
• Alimentation par couplage électromagnétique	18
• Alimentation par couplage à ouverture (fente) dans le plan de masse	19

I.5.5	TECHNIQUES D'ADAPTATION DES ANTENNES PATCH	19
I.5.5.1	Adaptation par ligne quart d'onde	19
I.5.5.2	Adaptation par STUB	20
I.5.5.3	Adaptation avec encoche.....	20
I.5.6	APPLICATIONS DES ANTENNES PATCH	21
I.6	RESEAU D'ANTENNES :.....	21
I.7	LES ANTENNES RECONFIGURABLES	22
I.7.1	Définition.....	22
I.7.2	Les techniques de reconfigurabilité	22
I.7.3	Classification des antennes reconfigurables.....	27
I.7.3.1	Antennes reconfigurables en fréquence.....	28
I.7.3.2	Antennes reconfigurables en diagramme de rayonnement	29
I.7.3.3	Antennes reconfigurables en polarisation	30
I.7.4	Avantages et inconvénients des antennes reconfigurables.....	31
I.8	CONCLUSION	32
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....		33
CHAPITRE II : GUIDE SIW ET AOF.		37
II.1	INTRODUCTION.....	38
II.2	TECHNOLOGIE SIW	38
II.2.1	Structure SIW.....	38
II.2.2	Types de structures SIW.....	39
II.2.3	Avantages	40
II.3	GUIDE D'ONDE	40
II.3.1	Définition.....	40
II.3.2	Les avantages du guide d'onde [6].....	41
II.3.3	Les inconvénients du guide d'onde [6]	42
II.3.4	Types des guides d'ondes	42
II.3.4.1	Guide d'ondes rectangulaire	42
II.3.4.2	Les guides d'ondes circulaires.....	43
II.3.4.3	Guide d'onde elliptique.....	43
II.4	LES TYPES DES CIRCUITS.....	44
II.4.1	Circuits passifs SIW	44
II.4.2	Circuits actifs SIW	45
II.5	IMPLEMENTATION DES ANTENNES SIW	46
II.6	ANTENNES SIW	48
II.6.1	Différents types d'antennes	48
II.6.1.1	Antennes à réflecteurs.....	48
II.6.1.2	Antennes filaires	49
II.6.1.3	Antennes à ouverture rayonnante.....	49
II.6.1.4	Antennes patch	50
•	Avantage et inconvénient.....	50
II.6.1.5	Domaine d'application des antennes patch.....	51
II.7	LES ANTENNES A ONDES DE FUTES	51

II.7.1 Définition.....	51
II.7.2 Les types d'antennes à onde de fuite.....	51
II.7.2.1 Les antennes 1-D.....	52
II.7.2.2 Les antennes uniformes.....	52
II.7.2.3 Les antennes périodiques.....	53
II.7.2.4 Les antennes quasi-uniformes	54
II.7.2.5 Les antennes AOF 2-D	55
II.8 LES CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES ANTENNES	55
II.8.1 Largeur de bande	56
II.8.2 Rendement	56
II.8.3 Bande passante	56
II.9 LES LIGNES DE TRANSMISSION.....	57
II.9.1 La ligne micro-ruban	57
II.9.1.1 Définition.....	57
II.9.2 Ligne coplanaire	58
II.9.3 La ligne triplique	59
II.10 CONCLUSION	59
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	61
CHAPITRE III : ANTENNE A ONDE DE FUITE : RESULTATS ET	
DISCUSSION	65
III.1 INTRODUCTION	66
III.2 CONCEPTION ET SIMULATION DES ANTENNES EN BANDE C	66
III.2.1 Cahier de charge	66
III.2.2 Conception et simulation des guides SIW.....	67
III.2.2.1 Guide d'onde SIW avec 10 Vias	69
III.2.2.2 Guide d'onde SIW avec 20 vias	70
III.2.2.3 Guide d'onde SIW avec 30 vias	72
III.2.3 Conception et simulation des antennes à onde de fuite	73
III.2.3.1 Antenne à onde de fuite avec 10 vias.....	73
III.2.3.2 Antenne à onde de fuite avec 20 vias.....	76
III.2.3.3 Antenne à onde de fuite avec 30vias.....	78
III.2.4 Résultats de simulation des antennes en bande X.....	82
III.2.4.1 Conception et simulation des guide SIW	83
III.2.4.1.1 Guide d'onde SIW avec 10 vias	83
III.2.4.1.2 Guide d'onde Avec 20 Via.....	84
III.2.4.2 Conception et simulation des antennes à onde de fuite	87
III.2.4.2.1 Antenne à onde de fuite avec 10 vias.....	87
III.2.4.2.2 Antenne à onde de fuite avec 20 vias.....	90
III.2.4.2.3 Antenne à onde de fuite 30vias	92
III.2.5 Résultats de simulation des antennes à onde de fuite reconfigurable	95
III.2.5.1 En bande C	95

III.2.5.1.1	Antenne à onde de fuite reconfigurable 10vias	95
III.2.5.1.2	Antenne à onde de fuite reconfigurable avec 20 vias.....	97
III.2.5.1.3	Antenne à onde de fuite reconfigurable avec 30 vias.....	99
III.2.5.2	En Bande X.....	101
III.2.5.2.1	Antenne à onde de fuite reconfigurable 10vias	101
III.2.5.2.2	Antenne à onde de fuite reconfigurable avec 20 vias.....	103
III.2.5.2.3	Antenne à onde de fuite reconfigurable avec 30 vias.....	105
III.2.6	Résultats de simulation en half-mode	107
III.2.6.1	Half mode en bande C	107
III.2.6.2	Half mode en bande X	109
I.9	CONCLUSION	111
	CONCLUSION GENERALE	113
	ANNEXE	115

LISTE DES FIGURES

Figure I-1 : Principe de transmission par onde électromagnétique.	6
Figure I-2 : représente la bande passante.	10
Figure I-3 : Diagramme polaire montrant la distribution des intensités en lobes.....	10
Figure I-4 : Diagramme de rayonnement d'une antenne.	11
Figure I-5 : Polarisation linéaire.....	13
Figure I-6 : Polarisation circulaire.....	13
Figure I-7 : Polarisation elliptique.....	13
Figure I-8 :Présentation d'une antenne imprimée.	14
Figure I-9 : Différentes formes d'antennes micro ruban.....	15
Figure I-10 : Antenne imprimée alimentée par ligne micro-ruban.....	17
Figure I-11 : Alimentation coaxiale directe.....	18
Figure I-12 : Alimentation par couplage électromagnétique.....	19
Figure I-13: Alimentation par couplage à ouverture (fente) dans le plan de masse.	19
Figure I-14 : Adaptation par ligne quart d'onde.....	20
Figure I-15 : Adaptation par STUB.....	20
Figure I-16 : Adaptation avec encoche.....	21
Figure I-17 : Structure d'un réseau d'antenne.	22
Figure I-18 : Différentes topologies du réseau d'antennes.....	22
Figure I-19 : Commutateur MEMS.	23
Figure I-20: (a) Cristal liquide (PVA : PolyVinylAlcohol) et (b) métamatériau [29].	24
Figure I-21 : (a) circuit équivalent, (b) symbole d'une diode varactor.	25
Figure I-22 : Le circuit d'une diode équivalent dans les états ON et OFF.....	26
Figure I-23 : Schéma des types d'antennes reconfigurables.	28
Figure I-24 : Coefficients de réflexion dipôle reconfigurable [30].	29
Figure I-25 : Antenne patch reconfigurable en fréquence sur substrat EBG [29].	29
Figure I-26 : L'antenne agile en diagramme de rayonnement [28].	30
Figure I-27 : Antenne à patch rectangulaire et une diode PIN reconfigurable en Polarisation [32].	31
Figure II-1 : Structure d'un guide SIW.	39
Figure II-2 : Coupe transversale des SIW plié de type C et T.....	40
Figure II-3 : Quelques exemples de guide d'ondes.	41
Figure II-4 : Guide d'onde rectangulaire.....	42
Figure II-5 : Géométrie du guide d'onde circulaire.....	43
Figure II-6 : Exemple d'un guide métallique elliptique, b) Schéma du guide elliptique.	44
Figure II-7 : Exemples des circuits passifs SIW, a) Filtre passe-bande SIW, b) Coupleur SI, c) Guide rectangulaire SIW, d) Duplexeur SIW.	45
Figure II-8 : Exemples des circuits actifs SIW a) oscillateur SIW b) amplificateur SIW.....	46
Figure II-9 : Antenne SIW [23].	47
Figure II-10 : Photo de la structure fabriquée (a) Dessus (b) Dessous.....	47
Figure II-11 : Différentes type d'antennes.	48
Figure II-12 : Schéma illustrant l'antenne parabolique.....	49
Figure II-13 : Exemples d'antennes à ouverture rayonnante.....	49
Figure II-14 : Antenne patch.	50
Figure II-15 : Convention de rayonnement des antennes : "Backfire", rayonnement arrière: -90° , "Broadside", rayonnement perpendiculaire : 0° , "Endfire", rayonnement avant $+90^\circ$	53
Figure II-16 : antenne à onde de fuite uniforme.....	53

Figure II-17 : Antenne à onde de fuite périodique.	54
Figure II-18 : rayonnement de AOF 2D.	55
Figure II-19 : ligne micro-ruban (micro strip).....	58
Figure II-20 : Lignes coplanaires.	58
Figure II-21 : Structure de la ligne triplique.....	59
Figure III-1 : Les paramètres de guide d'onde intégré au substrat opérant dans la bande C de réception.	67
Figure III-2 : Structure générale du taper avec ces paramètres.	68
Figure III-3 : Structure du guide SIW fonctionnant dans la bande c(a) Vue de face. (b) Vue en perspective.....	69
FigureIII-4 : Coefficient de transmission S21 et de réflexion S11 de guide SIW après adaptation.	70
Figure III-5 : représente une antenne SIW avec 20 vias.	71
Figure III-6 : Coefficient de transmission S21 et de réflexion S11 de guide SIW après adaptation. ...	71
FigureIII-7: Guide d'onde SIW avec 30 vias.	72
Figure III-8 : Coefficient de transmission S21 et de réflexion S11 de guide SIW après adaptation.	72
Figure III-9 : La structure de l'antenne LWA basée sur SIW dans la bande C, avec $l_s=3$	73
Figure III-10 : Diagramme de rayonnements de l'antenne LWA avec trois fentes opérant dans la bande C dans le plan 3-D.	74
FigureIII-11 : Diagramme de rayonnement de l'antenne LWA avec trois fentes opérant dans la bande C dans le plan polaire.	74
Figure III-12 : Diagramme de rayonnement de l'antenne LWA avec trois fentes opérant dans la bande C dans le plan 3-D.....	75
FigureIII-13 :Diagramme de rayonnement de l'antenne LWA avec trois fentes opérant dans la bande C dans le plan polaire.....	75
Figure III-14: La structure de l'antenne LWA basée sur SIW dans la bande C, avec $l_s=3$	76
Figure III-15: Coefficient de transmission S21 et de réflexion S11 de AOD.	76
FigureIII-16: Diagramme de rayonnement de l'antenne LWA avec cinq fentes opérant dans la bande C dans le plan polaire.....	77
FigureIII-17 : Diagramme de rayonnement de l'antenne LWA avec cinq fentes opérant dans la bande C dans le plan 3-D.....	77
FigureIII-18 Diagramme de rayonnement de l'antenne LWA avec cinq fentes opérant dans la bande C dans le plan polaire.....	78
FigureIII-19Diagramme de rayonnement de l'antenne LWA avec cinq fentes opérant dans la bande C dans le plan 3-D.....	78
Figure III-20: La structure de l'antenne LWA basée sur SIW dans la bande C, avec $l_s=2$	78
Figure III-21 : Coefficient de transmission S21 et de réflexion S11 de LWA.	79
Figure III-22 : Diagramme de rayonnement de l'antenne LWA avec sept fentes opérant dans la bande C dans le plan polaire.	80
FigureIII-23 : Diagramme de rayonnement de l'antenne LWA avec sept fentes opérant dans la bande C dans le plan 3-D.....	80
FigureIII-24 : Diagramme de rayonnement de l'antenne LWA avec sept fentes opérant dans la bande C dans le plan polaire.	81
FigureIII-25 : Diagramme de rayonnement de l'antenne LWA avec sept fentes opérant dans la bande C dans le plan 3-D.....	81
Figure III-26 : Diagramme de rayonnement de l'antenne LWA avec sept fentes opérant dans la bande C dans le plan polaire.	82
Figure III-27 : Diagramme de rayonnement de l'antenne LWA avec sept fentes opérant dans la bande C dans le plan 3-D.....	82

Figure III-28 : Structure du guide SIW fonctionnant dans la bande X(a) Vue de face. (b) Vue en perspective.....	83
FigureIII-29 : Coefficient de transmission S21 et de réflexion S11 de guide SIW après adaptation. ...	84
FigureIII-30 : Structure du guide SIW fonctionnant dans la bande X(a) Vue de face. (b) Vue en perspective.....	85
FigureIII-31 : Coefficient de transmission S21 et de réflexion S11 de guide SIW après adaptation. ...	85
Figure III-32 : Structure du guide SIW fonctionnant dans la bande X(a) Vue de face. (b) Vue en perspective.....	86
FigureIII-33 : Coefficient de transmission S21 et de réflexion S11 de guide SIW après adaptation. ...	87
Figure III-34 : La structure de l'antenne LWA basée sur SIW dans la bande X, avec $l_s=2$	87
Figure III-35 : Coefficient de transmission S21 et de réflexion S11 de LWA.	88
Figure III-36 : Diagramme de rayonnement de l'antenne LWA avec trois fentes opérant dans la bande x dans le plan polaire.....	88
FigureIII-37 : Diagramme de rayonnement de l'antenne LWA avec trois fentes opérant dans la bande x dans le plan 3-D.....	88
FigureIII-38 : Diagramme de rayonnement de l'antenne LWA avec trois fentes opérant dans la bande x dans le plan polaire.....	89
FigureIII-39 : Diagramme de rayonnement de l'antenne LWA avec trois fentes opérant dans la bande x dans le plan 3-D.....	89
FigureIII-40: La structure de l'antenne LWA basée sur SIW dans la bande X, avec $l_s=2$	90
Figure III-41: Coefficient de transmission S21 et de réflexion S11 de LWA.	90
FigureIII-42 : Diagramme de rayonnement de l'antenne LWA avec cinq fentes opérant dans la bande x dans le plan polaire.....	91
FigureIII-43 : Diagramme de rayonnement de l'antenne LWA avec cinq fentes opérant dans la bande x dans le plan 3-D.....	91
FigureIII-44 : Diagramme de rayonnement de l'antenne LWA avec cinq fentes opérant dans la bande x dans le plan polaire.....	92
FigureIII-45 : Diagramme de rayonnement de l'antenne LWA avec cinq fentes opérant dans la bande x dans le plan 3-D.....	92
Figure III-46 : La structure de l'antenne LWA basée sur SIW dans la bande X, avec $l_s=1.5$	92
Figure III-47 : Coefficient de transmission S21 et de réflexion S11 de LWA.	93
FigureIII-48 : Diagramme de rayonnement de l'antenne LWA avec sept fentes opérant dans la bande x dans le plan polaire.....	93
FigureIII-49 : Diagramme de rayonnement de l'antenne LWA avec sept fentes opérant dans la bande x dans le plan 3-D.....	93
FigureIII-50: Diagramme de rayonnement de l'antenne LWA avec sept fentes opérant dans la bande x dans le plan polaire.....	94
FigureIII-51 : Diagramme de rayonnement de l'antenne LWA avec sept fentes opérant dans la bande x dans le plan 3-D.....	94
Figure III-52 : Structure du AOF reconfigurable fonctionnant dans la bande C.....	95
Figure III-53 : Paramètres [S] du AOF reconfigurable en bande C.	95
Figure III-54 : Diagrammes de rayonnements de l'antenne LWA reconfigurable opérant dans la bande C dans le plan 3-D.....	96
Figure III-55 : Diagrammes de rayonnements de l'antenne LWA reconfigurable opérant dans la bande C dans le plan polaire.	96
FigureIII-56 : Structure LWA avec diode fonctionnant dans la bande C.....	97
FigureIII-57 : Paramètres [S] du LWA reconfigurable en bande C.	97
Figure III-58 : Diagrammes de rayonnements de l'antenne LWA reconfigurable opérant dans la bande c dans le plan 3-D.....	98

Figure III-59 : Diagrammes de rayonnements de l'antenne LWA reconfigurable opérant dans la bande c dans le plan polaire.....	98
FigureIII-60 : Structure du LWA avec diode fonctionnant dans la bande C.....	99
FigureIII-61 : Paramètres [S] du LWA reconfigurable en bande C.....	99
Figure III-62: Diagrammes de rayonnements de l'antenne LWA reconfigurable opérant dans la bande c dans le plan 3-D.....	100
Figure III-63: Diagrammes de rayonnements de l'antenne LWA reconfigurable opérant dans la bande c dans le plan polaire.....	100
Figure III-64 : Structure du LWA avec diode fonctionnant dans la bande X.....	101
FigureIII-65 : Paramètres [S] du LWA reconfigurable en bande X.....	101
Figure III-66 : Diagrammes de rayonnements de l'antenne LWA reconfigurable opérant dans la bande x dans le plan 3-D.....	102
Figure III-67: Diagrammes de rayonnements de l'antenne LWA reconfigurable opérant dans la bande x dans le plan polaire.....	102
FigureIII-68 : Structure du LWA avec diode fonctionnant dans la bande X.....	103
FigureIII-69 : Paramètres [S] du LWA reconfigurable en bande X.....	103
Figure III-70 : Diagrammes de rayonnements de l'antenne LWA reconfigurable opérant dans la bande x dans le plan 3-D.....	104
Figure III-71 : Diagrammes de rayonnements de l'antenne LWA reconfigurable opérant dans la bande x dans le plan polaire.....	104
FigureIII-72 : Structure du LWA avec diode fonctionnant dans la bande X.....	105
Figure III-73 : Structure du AOF reconfigurable fonctionnant dans la bande X.....	105
Figure III-74 : Diagrammes de rayonnements de l'antenne LWA reconfigurable opérant dans la bande x dans le plan 3-D.....	106
Figure III-75 : Diagrammes de rayonnements de l'antenne LWA reconfigurable opérant dans la bande x dans le plan polaire.....	106
Figure III-76 : Structure LWA avec diode en mode half fonctionnant dans la bande C.....	107
FigureIII-77 : Paramètres [S] du AOF reconfigurable en Half mode (bande C).....	107
FigureIII-78 : Diagrammes de rayonnements de l'antenne LWA en mode half operant dans la bande c dans le plan 3-D.....	108
Figure III-79 : Diagrammes de rayonnements de l'antenne LWA en mode half opérant dans la bande c dans le plan polaire.....	108
Figure III-80 : Structure LWA avec diode en mode half fonctionnant dans la bande X.....	109
Figure III-81 : Paramètres [S] d'AOF reconfigurable en Half mode (bandeX).....	109
Figure III-82 : Diagrammes de rayonnements de l'antenne LWA reconfigurable en mode half opérant dans la bande x dans le plan polaire.....	110
FigureIII-83 : Diagrammes de rayonnements de l'antenne LWA reconfigurable en mode half opérant dans la bande x dans le plan 3-D.....	110

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 Bandes de fréquences allouées par l'Union Internationale des télécommunications (UIT)	56
--	-----------

LISTE D'ABREVIATIONS ET ACRONYMES

ϵ	Permittivité relative.
ω	La pulsation de l'onde.
dB	Decibel.
SIW	Substrate Integrated waveguide (en français GIS).
CST	Computer Simulation Technology.
W	La largeur du guide SIW.
Q	Le facteur de qualité.
a,b	Largeur et hauteur du guide d'onde rectangulaire.
ϵ_r	La permittivité relative.
fc	La fréquence de coupure.
λ	La longueur d'onde.
λ_c	La longueur d'onde de coupure.
λ_g	La longueur d'onde guidée
C	La vitesse de la lumière.
BP	La bande passante.
TE	Transverse électrique.
TM	Transverse Magnétique.
TEM	Mode Electromagnétique Transversale.

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Les télécommunications au sens large comprennent l'ensemble des moyens techniques nécessaires à l'acheminement aussi fidèle et fiable que possible d'informations entre deux points a priori quelconques, à une distance quelconque, avec des coûts raisonnables et à des instants quelconques.

les principaux moyens de transmission utilisés seront de nature électromagnétique.

Les télécommunications sont par définition permettre la communication à distance. Ils vont donc mêler électronique et informatique pour assurer un échange rapide des informations et ce quel que soit la distance.

Mise à part la rapidité dans les systèmes de télécommunications, il faut savoir que ce système est d'une qualité irréprochable

Au vu de la variété des moyens de télécommunications, ils vont donc pouvoir permettre une meilleure adaptation du canal en fonction de la cible et de l'objectif. En d'autres termes, au niveau pratique, les télécommunications comprennent plusieurs types d'appareils comme le téléphone, l'ordinateur, le cellulaire et le fax. Au niveau du marketing et de la communication destinée au grand public, les professionnels choisissent d'utiliser en plus la radio et la télévision.

Il y a lieu de croire que toutes les entreprises n'ont pas spécialement les mêmes besoins au niveau des télécommunications car cela dépend non seulement des activités et de la taille des entreprises. C'est pour cela qu'une communication efficace ne peut être assurée qu'en cas d'un système de télécommunication adapté.

Les systèmes de communication modernes utilisent plusieurs fonctions et caractéristiques d'antenne sans en modifier sa structure physique ou géométrique. C'est ce qu'on appelle la reconfigurabilité. Une antenne reconfigurable est une antenne dans laquelle au moins l'une de ses caractéristiques est modifiable après sa fabrication (bande passante, fréquence opérationnelle, diagramme de rayonnement et polarisation).

Le guide d'onde rectangulaire est l'un des composants les plus utilisés en micro-ondes, toutefois, dû à sa structure volumineuse, il est difficile de le fabriquer à faible coût et de

l'intégrer aux structures planaires. Pour répondre à ce problème et pour un encombrement moindre, les scientifiques ont optés au développement des structures planaires. Une nouvelle technologie qui représente une solution très prometteuse a vu le jour à savoir les guides d'ondes intégrés au substrat (ou SIW en anglais : Substrat Integrated Waveguide).

La technologie SIW s'est développée principalement parce qu'elle montre plusieurs avantages tels qu'un faible coût de production, un bon facteur de qualité et une facilité d'intégration aux circuits de télécommunication.

Le travail présenté dans ce mémoire a pour objectif la conception d'une antenne reconfigurable à base de diode PIN. Il s'agit alors de concevoir une antenne capable de s'adapter à des conditions changeantes en ajustant sa fréquence dans deux bandes c et x. Pour atteindre cet objectif, le présent travail est réparti en trois chapitres, dont nous donnons une brève description dans les lignes suivantes :

L'ensemble des chapitres s'organisent en partant des concepts fondamentaux de la théorie des antennes, caractéristiques des antennes : diagramme de rayonnement, directivité, gain, polarisation...etc., les notions fondamentales de l'électromagnétisme, et les différents types d'antennes. Ensuite, nous présentons les antennes reconfigurables et leurs techniques ainsi que la classification des antennes reconfiguration. On termine le chapitre par en décrire les avantages et les inconvénients des antennes reconfigurables.

Et le second est consacré à la présentation de quelques notions sur les guides d'ondes avec les différents types de technologies existantes, puis une description détaillée sera donnée pour le cas de la technologie SIW puisqu'elle est la base de ce sujet d'étude. Ensuite, nous donnerons plus de détails pour les antennes à onde de fuite

Le dernier chapitre sera dédié à la présentation des résultats de conception des guides d'ondes SIW fonctionnant dans les deux bandes c et x à l'aide du logiciel de simulation « CST MICROWAVE STUDIO »; nous allons le décrire dans l'annexe en présentant ses modules de calcul et de simulation ainsi que ses méthodes utilisées. Pour obtenir des résultats satisfaisants en termes d'adaptation et de transmission, notre travail s'effectuera à l'aide d'une étude paramétrique avec une optimisation. Enfin nous allons concevoir les antennes a onde de fuite reconfigurable opérant dans les deux bandes désirées en utilisant la technologie SIW.

Ce document sera enfin clôturé par une conclusion générale répondant, une annexe sur le simulateur.

Chapitre I : Concepts des antennes et la reconfigurabilité

I.1 Introduction

Dans nos jours, les antennes jouent un rôle très important dans plusieurs applications, qui s'étendent différents domaines, elle est une partie indispensable de n'importe quel dispositif de communication sans fil. L'évolution actuels des communications impose des innovations importantes au niveau de la conception des systèmes et des antennes associées, dont les formes aujourd'hui très diverses varient beaucoup selon les utilisations : télécommunications mobiles, radars, satellites, etc. La simplicité des circuits et les exigences de moins de congestion et de faible volume, poids et coût sont toujours demandés. La miniaturisation est une façon de répondre à ces exigences [1].

Ce chapitre introductif sera consacré en premier lieu aux généralités sur les antennes, nous offrons brièvement leurs définitions et leurs caractéristiques. Ensuite, on présentera les antennes patch. Enfin on parle sur les antennes reconfigurables, qui correspondent à notre étude.

I.2 Définition

L'antenne est un dispositif permettant de transformer l'énergie électrique en énergie électromagnétique en émission ou en réception. Une antenne peut émettre dans toutes les directions (antenne omnidirectionnelle) ou dans une direction définie (antenne sectorielle ou directionnelle) [2].

La figure I-1 présente un système de communication sans fil simplifié est Composé d'une antenne d'émission et d'une antenne de réception séparés par un canal de propagation dans lequel le signal émis transite avant d'être reçu.

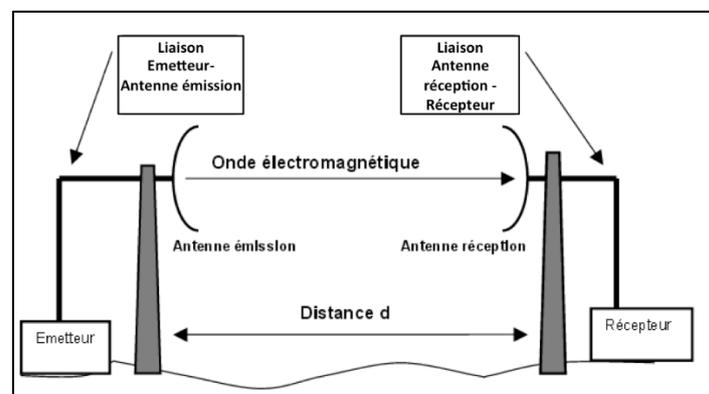


Figure I-1 : Principe de transmission par onde électromagnétique.

Une antenne en émission ou en réception, est définie selon son mode de fonctionnement. En émission, elle a pour rôle de transformer la puissance électromagnétique guidée, issue d'un générateur en une puissance rayonnée, on parle d'un transducteur. En réception, la puissance rayonnée peut être captée par une autre antenne. On parle d'un capteur et un transformateur de puissance rayonnée en puissance électromagnétique guidée.

En conséquence, une antenne est un dispositif, qui peut être exploité soit en émission ou en réception et avec les mêmes propriétés rayonnantes. On dit que le fonctionnement d'une antenne est réciproque et cela est dû au théorème de réciprocité. Par conséquent, les qualités qui seront annoncées pour une antenne dans les deux modes de fonctionnement, sans que cela soit précisé dans la plupart des cas [3].

Cependant, dans quelques cas exceptionnels pour lesquels les antennes comportent des matériaux non linéaires ou bien anisotropes, elles deviennent non réciproques.

I.3 Équations de Maxwell

Maxwell a développé quatre équations mathématiques différentielles qui lient les champs magnétique et électrique. Ces équations qui portent son nom sont définies comme suit [4] :

$$\text{Equation de Maxwell-Gauss :} \quad \operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon} \quad (\text{I.1})$$

$$\text{Equation de Maxwell Thompson:} \quad \operatorname{rot} \vec{E} = -d\vec{B}/dt \quad (\text{I.2})$$

$$\text{Equation de Maxwell Faraday :} \quad \operatorname{div} \vec{B} = 0 \quad (\text{I.3})$$

$$\text{Equation de Maxwell Ampère :} \quad \operatorname{rot} \vec{B} = \mu \left(\vec{j} + \epsilon \frac{d\vec{E}}{dt} \right) \quad (\text{I.4})$$

Avec :

- ϵ : la permittivité diélectrique du matériau.
- μ : La perméabilité magnétique du matériau.
- ρ : est la densité volumique de charge électrique.
- \vec{j} : est le vecteur densité de courant.

I.4 Les caractéristiques des antennes

Deux grandes familles sont distinguées

- Caractéristiques électriques.
- Caractéristiques de rayonnement.

I.4.1 Caractéristiques électriques**I.4.1.1 L'impédance d'entrée**

Une antenne est définie par deux bornes d'entrée A et B. Soit V_e la tension entre les bornes A et B et I_e le courant d'alimentation de l'antenne. L'impédance d'entrée de l'antenne est donnée par la formule suivante :

$$Z = \frac{V_e}{I_e} \quad (\text{I.5})$$

I.4.1.2 Coefficient de réflexion

D'une façon générale, lorsqu'une onde incidente change de milieu de propagation ou rencontre une nouvelle interface ; une partie de cette onde incidente est réfléchiée et l'autre partie est transmise dans le nouveau milieu. Le coefficient de réflexion Γ et le coefficient de transmission T, quantifient ces deux parties respectivement. Ils sont liés par l'expression (I.6), qui traduit la conservation de l'énergie [5] :

$$|\Gamma|^2 + |T|^2 = 1 \quad (\text{I.6})$$

Le coefficient de réflexion d'une antenne est le rapport entre l'impédance caractéristique et l'impédance d'entrée de l'antenne :

$$\Gamma = \frac{Z_{ant} - Z_0}{Z_{ant} + Z_0} \quad (\text{I.7})$$

Il peut également s'exprimer en décibel comme suit : [1.2]

$$S_{11}[dB] = 20 \log_{10}(\Gamma) \quad (\text{I.8})$$

I.4.1.3 Rapport d'onde stationnaire

Le Rapport d'Onde Stationnaire ou ROS est le rapport des valeurs maximales et minimales de l'amplitude de l'onde stationnaire. En anglais, il est connu par le VSWR (Voltage Standing Wave Ratio), qui peut également s'exprimer à partir du coefficient de réflexion. Sa formule est donnée par l'expression suivante [6] :

$$ROS = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (\text{I.9})$$

I.4.1.4 Bande d'utilisation

C'est la bande de fréquences que l'antenne peut émettre ou recevoir sans changement appréciable de ses caractéristiques de gain, d'impédance, de directivité et de polarisation. Elle ne doit pas créer de distorsion sur le signal lorsque ce dernier y circule aussi bien en émission qu'en réception. La transformation du champ électromagnétique en tension électrique s'effectue via un quadripôle (antenne + périphériques) possédant une fonction de transfert [7].

La définition de la bande d'utilisation fait intervenir des notions très diverses. Elle est limitée par les paramètres suivants :

*Le Rapport d'onde stationnaire ROS maximal admissible (désadaptation de l'antenne par rapport aux systèmes d'émission et / ou de réception), par exemple $ROS < 2$.

*La variation du gain de l'antenne.

*La déformation du diagramme de rayonnement en fonction de la fréquence. Pour les antennes constituées d'éléments rayonnants résonnants (dipôles demi -onde, antenne microbande) qui ont une bande d'utilisation faible, on définit la largeur de bande en pourcentage % comme suit [7] :

$$Bp(en\%) = 100 \times \frac{F_s - F_i}{F_c} \quad (\text{I.10})$$

Où :

F_c : la fréquence centrale d'utilisation pour laquelle l'antenne est conçue,

F_s et F_i : les fréquences limites supérieures et inférieures, respectivement (pour un ROS donné)

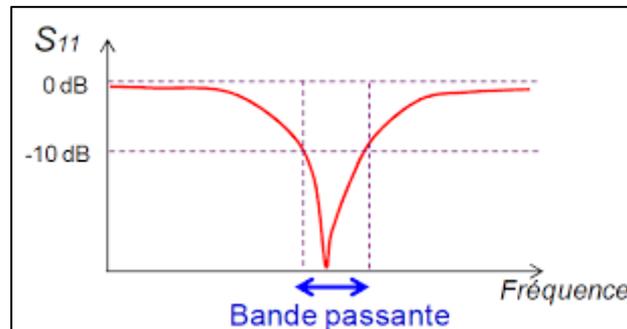


Figure I-2 : représente la bande passante.

I.4.2 Les caractéristiques de rayonnement

I.4.2.1 Diagramme de rayonnement

Le diagramme de rayonnement est la représentation graphique de la fonction caractéristique de l'antenne. Il représente l'intensité de rayonnement $U(\theta, \phi)$, ce qui permet d'attribuer les directions de rayonnement les plus efficaces de l'antenne. Sa représentation est caractérisée par un lobe principal et des lobes secondaires. Lorsque l'on désire établir une liaison directe entre deux points A et B, il faut que la direction de rayonnement maximal coïncide avec la direction AB. Par conséquent, la puissance rayonnée hors de cette direction est inutile, elle peut même perturber des liaisons situées dans d'autres directions. Il est donc nécessaire d'affiner le lobe de rayonnement principal et de réduire au minimum le niveau des lobes secondaires [8].

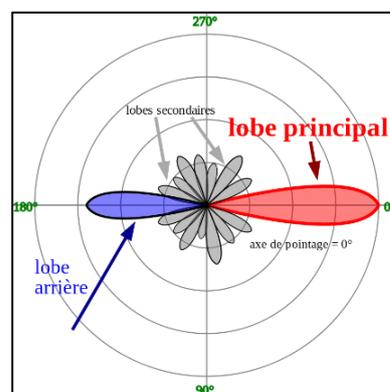


Figure I-3 : Diagramme polaire montrant la distribution des intensités en lobes.

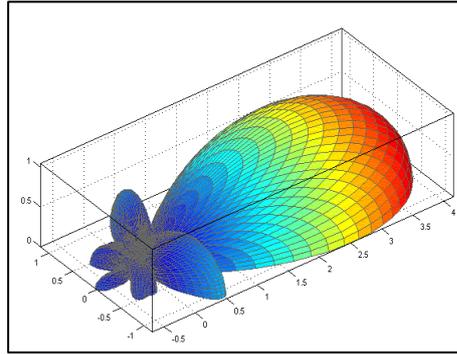


Figure I-4 : Diagramme de rayonnement d'une antenne.

I.4.2.2 Puissance rayonnée

La puissance rayonnée est la puissance qui traverse une sphère de rayon infini [9].

Afin de déterminer la puissance de rayonnement en intègre le vecteur de Poynting sur une surface sphérique.

Le vecteur de Poynting dans la zone de rayonnement est défini par :

$$\vec{P}_{ray} = \frac{1}{2} R_e(\vec{E} * \vec{H}') \quad (\text{I.11})$$

La puissance rayonnée à travers une sphère de rayon infini est donnée par:

$$W_{ray} = \lim_{n \rightarrow \infty} \oiint \vec{P}_{ray} \cdot \vec{n} ds \quad (\text{I.12})$$

Avec :

\vec{n} : est un vecteur normal à tout point de la surface de la sphère.

I.4.2.3 Directivité

La directivité d'une antenne caractérise la façon dont cette antenne concentre le rayonnement dans certaines directions de l'espace. La directivité c'est le rapport de l'intensité de rayonnement dans une direction donnée par la valeur moyenne de cette intensité de rayonnement d'une antenne isotrope [9] [10].

$$D(\theta, \varphi) = \frac{U_{max}}{\frac{1}{4\pi} \iint U d\Omega} \quad (\text{I.13})$$

Avec :

U : Intensité de rayonnement,

$d\Omega$: Angle solide.

La directivité n'a pas d'unité. En général, on l'exprime en décibels :

$$D(\theta, \varphi) \text{ dB} = 20 \log D(\theta, \varphi) \quad (\text{I.14})$$

I.4.2.4 Gain

Le gain $G(\theta, \varphi)$ dans la direction (θ, φ) est une grandeur proche de la directivité. Il considère les pertes intrinsèques de l'antenne [10]

$$G(\theta, \varphi) = \eta D(\theta, \varphi) \quad (\text{I.15})$$

η : l'efficacité de l'antenne, elle varie dans l'intervalle $[0 - 1]$, représente les pertes de l'antenne.

I.4.2.5 Polarisation

La polarisation est un paramètre très important dans la caractérisation d'une antenne [11]. La polarisation du champ électromagnétique rayonné par une antenne est donnée par la direction du champ électrique \vec{E} . Si \vec{E} garde une direction constante dans le temps, on parle d'une polarisation rectiligne. Si la direction varie avec le temps de telle sorte que si, en un point donné, on schématise les positions successives de champ \vec{E} et l'extrémité du vecteur représentatif décrit un cercle ou une ellipse, on dit alors que le champ rayonné est en polarisation Circulaire ou elliptique. Les différents types de polarisation sont donnés par les figures suivantes [12]

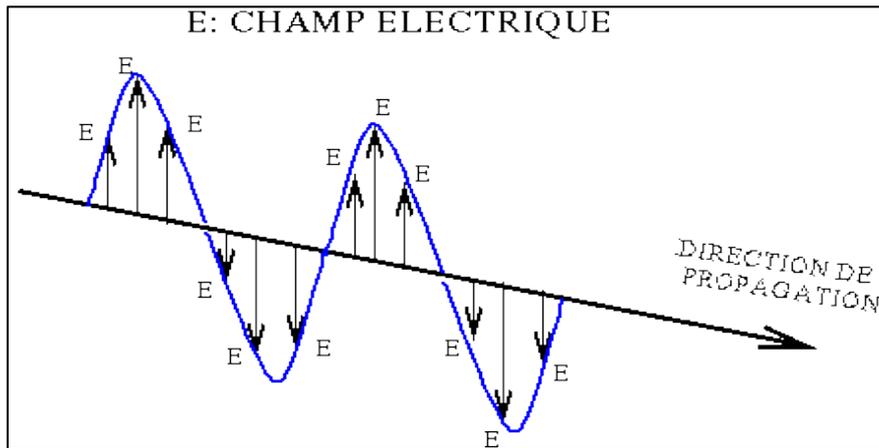


Figure I-5 : Polarisation linéaire.

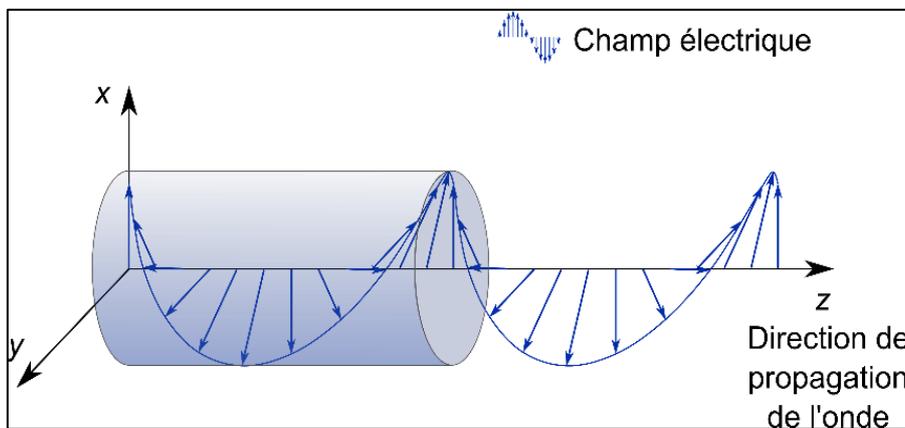


Figure I-6 : Polarisation circulaire.

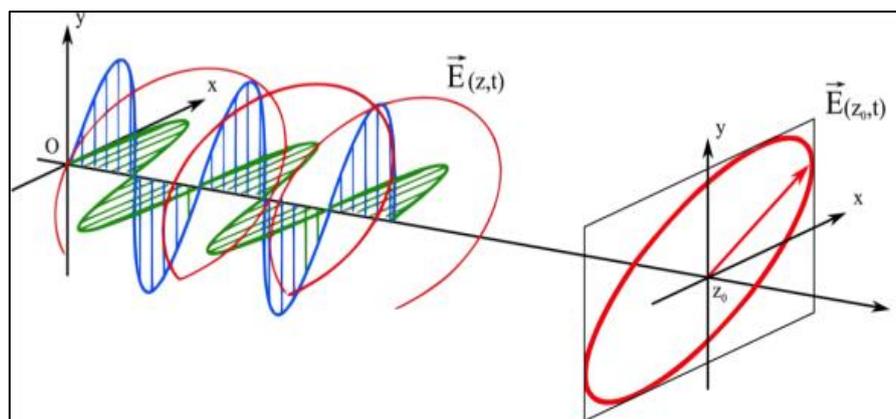


Figure I-7 : Polarisation elliptique.

I.5 Antenne patch (micro ruban)

Le concept d'antenne imprimée fut pour la première fois imaginé en 1953 par Georges Deschamps. Alors que le premier brevet reprenant ce concept fut déposé en 1956 par Henri

Gutton et Georges Boissinot. Il fallut cependant attendre les années 1970 pour voir apparaître la réalisation des premiers prototypes, notamment grâce à l'amélioration des techniques de photo lithogravure du cuivre et de l'or sur substrat diélectrique, ainsi que des progrès dans la modélisation [14].

Terme français établi par l'usage pour désigner l'antenne élémentaire dont le nom anglais est « patch » (« pavé » ou « pastille », en français). On utilise le plus souvent « antenne imprimée » ou « antenne micro ruban » car les premières antennes imprimées rectangulaires étaient constituées par une partie de ligne micro ruban rayonnante [15].

I.5.1 Description d'une antenne imprimée

L'antenne imprimée est constituée d'une mince couche métallique d'épaisseur t de forme géométrique appropriée (rectangle, cercle, triangle ou d'autres formes plus complexes) formant l'élément rayonnant, déposée sur la face supérieure d'un substrat diélectrique (FR4, Roger4350, ...). Un type récent d'antenne dont le développement et l'utilisation sont de plus en plus fréquents [16].

I.5.2 Structure d'une antenne imprimée

Elle est composée d'un élément rayonnant qui a une forme géométrique quelconque (rectangle, cercle, carré, ...), spécifiée selon les besoins. L'élément rayonnant est séparé d'un plan réflecteur conducteur par une ou plusieurs couches de substrat diélectrique qui peuvent avoir des permittivités (ϵ_r) égales ou différentes [17].

Les substrats diélectriques ont généralement une faible permittivité ($\epsilon_r \leq 3$) pour faciliter et favoriser le rayonnement, en évitant le confinement des champs dans la cavité comprise entre l'élément imprimé et le plan de masse [17].

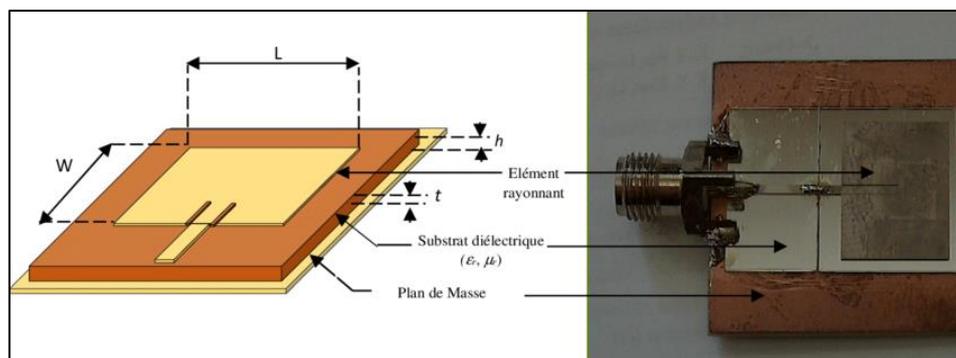


Figure I-8 :Présentation d'une antenne imprimée.

L : Longueur du patch.

t : épaisseur du patch.

W : Largeur du patch.

h : épaisseur du substrat.

Les gravures des parties métalliques peuvent prendre des formes très variées en fonction des objectifs fixés pour la répartition du rayonnement dans l'espace. Ceci donne une grande souplesse de conception [18].

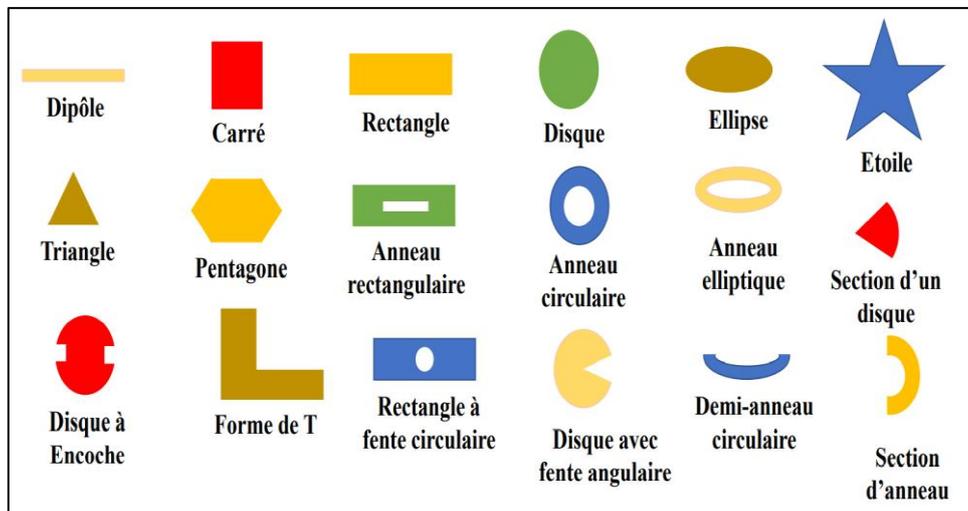


Figure I-9 : Différentes formes d'antennes micro ruban.

I.5.3 Les paramètres géométriques d'une antenne imprimée

I.5.3.1 Largeur du patch

La largeur du patch a un effet mineur sur les fréquences de résonance et sur le diagramme de rayonnement de l'antenne. Par contre, elle joue un rôle pour l'impédance d'entrée de l'antenne et la bande passante à ses résonances : [19]

$$W = \frac{c2}{f} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \tag{I-16}$$

ϵ_r : Permittivité.

f : Représente la fréquence fondamentale de l'antenne.

C : La vitesse de la lumière (3.108m/s)

I.5.3.2 Longueur du patch

La longueur du patch détermine les fréquences de résonance de l'antenne. Il ne faut surtout pas oublier de retrancher la longueur L correspond aux extensions des champs : [19]

$$L = \frac{C}{2f\sqrt{\epsilon_r \text{eff}}} \quad (\text{I-17})$$

$\epsilon_r \text{eff}$: Permittivité effective donner par :

$$\begin{aligned} \epsilon_r \text{eff} = & \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right) \\ & + \left(\frac{\epsilon_r - 1}{2} \right) \left(1 + 12 * \left(\frac{h}{W} \right) \right)^{-1/2} \end{aligned} \quad (\text{I-18})$$

La longueur effective du patch :

$$L_{\text{eff}} = L + 2\Delta L \quad (\text{I-19})$$

L : longueur du patch

$$\Delta L = 0.421h \frac{(\epsilon_{\text{eff}} + 0.3)((Wh) + 0.264)}{(\epsilon_{\text{eff}} - 0.258)((wh) - 0.8)} \quad (\text{I-20})$$

I.5.3.3 Choix du substrat

Les substrats exploités dans la conception des antennes imprimées sont nombreux et doivent être compatibles avec le matériau de patch [19].

Dans le cas où le matériau du patch de l'antenne est normal comme le cuivre, la permittivité relative du substrat varie de 1 à 12 [20].

Les substrats exploités dans la conception des antennes patches sont nombreux, Ils doivent être de permittivité relative faible ($\epsilon_r \leq 3$) de façon à permettre le rayonnement, et éviter le confinement des champs, la constante diélectrique du substrat s'étale de 2.2 à 12, et les matériaux les plus couramment utilisés sont des composites à base de téflon ($2 \leq \epsilon_r \leq 3$ et $\tan \delta \approx 10^{-3}$), du polypropylène ($\epsilon_r = 2.18$ et $\tan \delta = 3.10^{-4}$), ainsi que mousses synthétiques contenant beaucoup de minuscules poches d'air ($\epsilon_r = 1.03$ et $\tan \delta \approx 10^{-3}$). [24].

I.5.4 Techniques d'alimentation

L'alimentation des antennes patches est l'une des parties les plus importantes dans le processus de la conception. Pour cela, plusieurs techniques ont été considérées dans ce but [21].

I.5.4.1 Alimentations par contact

a. Alimentation par une ligne micro ruban

Dans cette méthode d'alimentation, une ligne micro-ruban (généralement de 50Ω) est connecte directement au bord du patch rayonnant. La longueur de la bande conductrice est plus petite par rapport au patch. Ce genre d'alimentation a l'avantage que l'alimentation peut être gravée sur le même substrat pour fournir une structure planeaire. C'est la technique la moins coûteuse et la plus simple a réalisé [22].

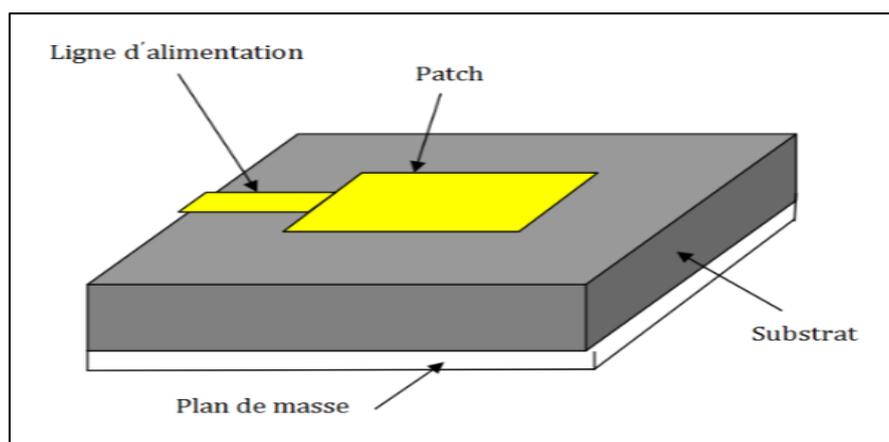


Figure I-10 : Antenne imprimée alimentée par ligne micro-ruban.

b. Alimentation coaxiale directe

L'alimentation des éléments rayonnants peut aussi être effectuée par connexion directe en utilisant une ligne coaxiale. Ce dernier arrive par derrière le substrat et joint la plaque en traversant le plan de masse et le diélectrique. Le conducteur central de la ligne coaxiale est connecté en un point situé sur l'axe de symétrie de l'élément rayonnant, plus ou moins près du bord, afin de réaliser l'adaptation, tandis que le conducteur extérieur est soudé au plan de masse [18].

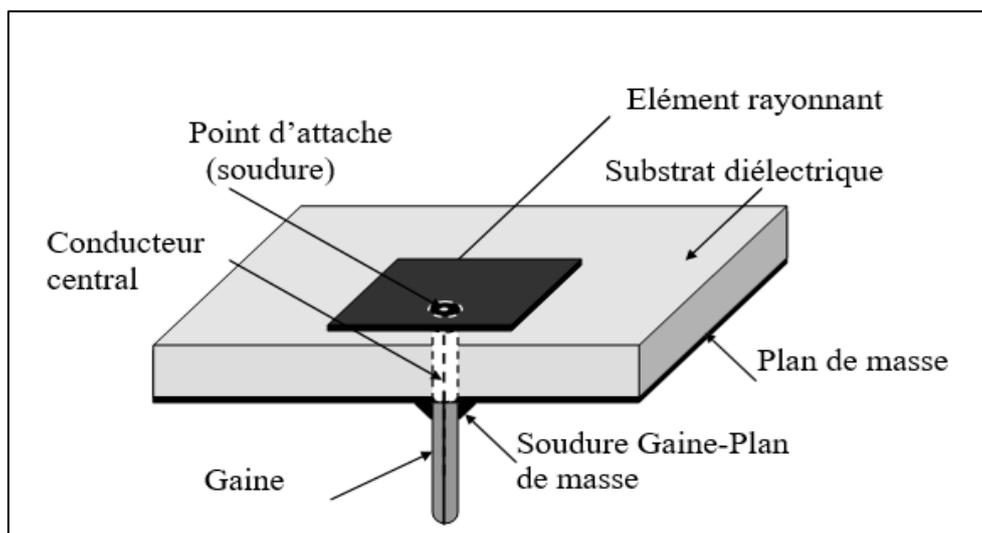


Figure I-11 : Alimentation coaxiale directe.

I.5.4.2 Alimentations par proximité

- Alimentation par couplage électromagnétique

Ce type d'alimentation se fait par couplage électromagnétique d'une ligne micro rubana l'élément rayonnant. Les avantages principaux de cette alimentation sont l'élimination de rayonnement parasite et l'élargissement de la bande passante et son inconvénient réside dans la difficulté de la mise en œuvre [21].

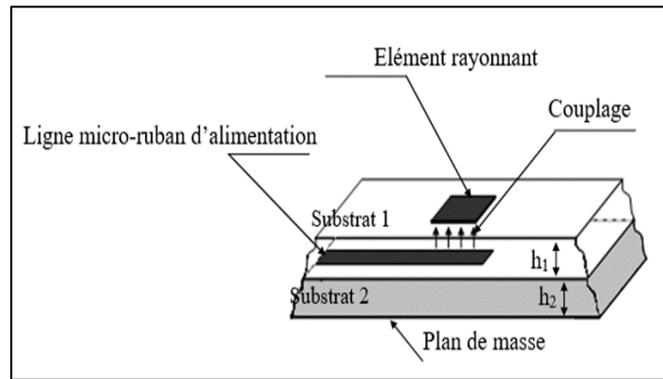


Figure I-12 : Alimentation par couplage électromagnétique.

- **Alimentation par couplage à ouverture (fente) dans le plan de masse**

L'élément rayonnant et la ligne micro-ruban d'alimentation sont placés de part et d'autre du plan de masse. La fente de couplage dans le plan de masse permet la circulation de l'énergie entre la ligne d'alimentation et l'élément rayonnant. Cette méthode nécessite un positionnement précis de la fente [21].

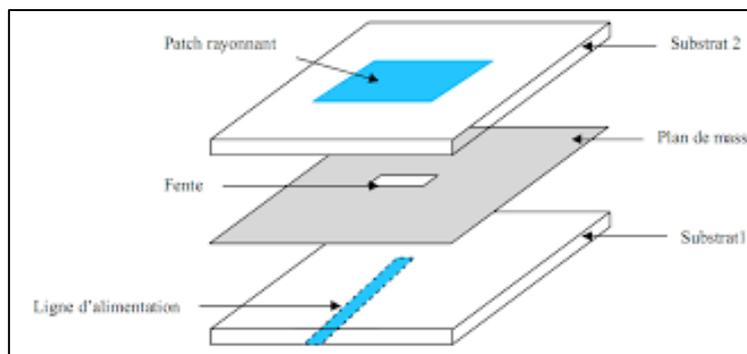


Figure I-13: Alimentation par couplage à ouverture (fente) dans le plan de masse.

I.5.5 Techniques d'adaptation des antennes patch

I.5.5.1 Adaptation par ligne quart d'onde

Une ligne « quart d'onde » permet de réaliser une adaptation d'impédance en insérant un élément d'adaptation en série entre 2 éléments d'impédances différentes à condition qu'elles soient purement réelles [23].

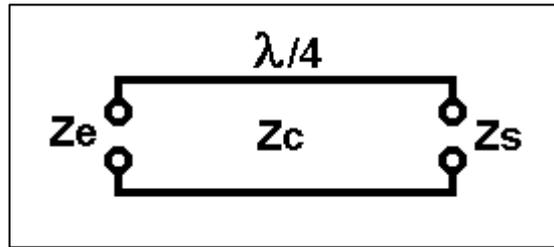


Figure I-14 : Adaptation par ligne quart d'onde.

I.5.5.2 Adaptation par STUB

Un stub ramène en parallèle sur la charge une certaine admittance pure qui dépend de son impédance caractéristique et de sa longueur. Cette admittance s'ajoute donc à celle de la charge. Si elle est convenablement calculée, elle permet ainsi d'annuler la partie imaginaire présentée par la charge [23].

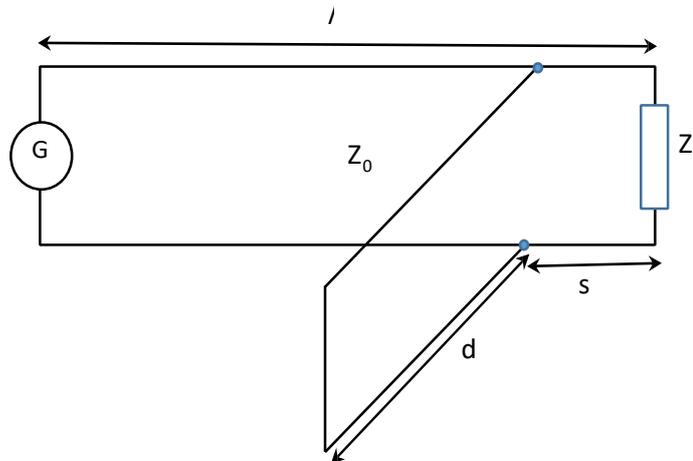


Figure I-15 : Adaptation par STUB.

I.5.5.3 Adaptation avec encoche

On utilise des encoches pour adapter l'antenne, donc il suffit de modifier la géométrie du patch [23].

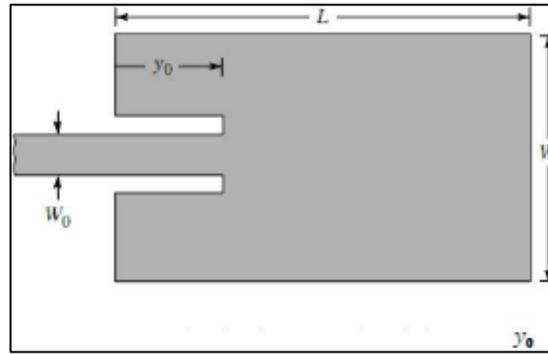


Figure I-16 : Adaptation avec encoche.

I.5.6 Applications des antennes patch

Pour les conceptions pratiques, les avantages des antennes patch l'emportent de loin sur leur inconvénient. Il existe plusieurs systèmes d'application qui exigent une bonne directivité pour lequel ils furent développés, Parmi ces applications on cite : [24]

- Les télécommunications par satellites.
- La commande et contrôle.
- La télémessure par missile.
- Les équipements portatifs.
- Les éléments d'alimentation dans les antennes complexes.
- Les antennes d'émission utilisées en médecine.
- Les récepteurs satellite de navigation.

I.6 Réseau d'antennes :

Un réseau d'antennes est un assemblage d'antennes élémentaires identiques (antennes filaires, cornets, patchs ...) avec la même orientation, disposées selon une forme donnée et excitées par un système d'alimentation, afin de créer un rayonnement de forme particulière. Le rayonnement résultant est la superposition des rayonnements provenant de chaque élément, la puissance rayonnée est donc plus grande. Le diagramme de rayonnement d'un réseau d'antenne est plus étroit que celui d'une antenne élémentaire, sa directivité et son gain sont aussi importants, c'est pour ces avantages que les systèmes de télécommunication récents utilisent les réseaux d'antennes comme dispositifs d'émission et de réception [25].

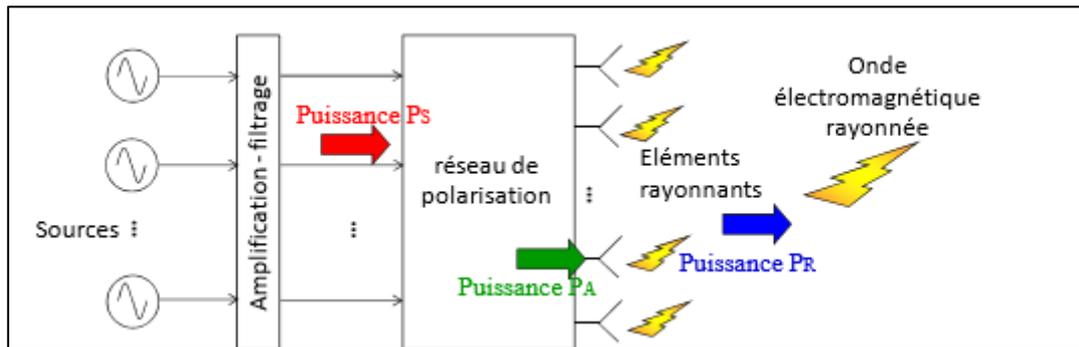


Figure I-17 : Structure d'un réseau d'antenne.

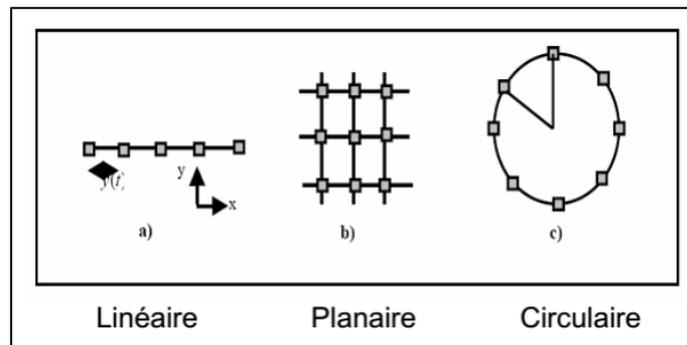


Figure I-18 : Différentes topologies du réseau d'antennes.

I.7 Les antennes reconfigurables

I.7.1 Définition

Une antenne reconfigurable est définie comme un dispositif qui offre la possibilité de modifier une de ses caractéristiques fondamentales comme sa fréquence de fonctionnement, son diagramme de rayonnement et/ou sa polarisation en fonction de l'utilisation spécifique souhaitée. Le changement dans l'un de ses paramètres électriques, optiques, physiques (modification mécanique) ou l'intégration de matériaux commandables (ferrites, cristaux liquides) permet de modifier les caractéristiques de l'antenne, même durant le fonctionnement de l'antenne en temps réel. Ces changements permettent à l'antenne de s'adapter au changement de l'environnement et aux contraintes liées aux systèmes de communications [26].

I.7.2 Les techniques de reconfigurabilité

Une antenne reconfigurable est une antenne dont au moins une de ses caractéristiques est modifiable après sa fabrication, par application d'une commande. Il existe diverses

techniques pour adopter la reconfigurabilité. Parmi celles-ci, on peut citer l'utilisation des composants localisés actifs tels que les diodes PIN et les RF-MEMS et les Varactors pour les types électriques, les éléments de commutations optiques tels que les photoconducteurs pour le domaine optique. De même, la reconfigurabilité peut utiliser des matériaux intelligents tels que les ferrites et les liquides cristaux. Il y a une autre technique connue par la reconfigurabilité physique. Cette technique peut être réalisée par une modification mécanique dans la structure de l'antenne.

MEMS

Un MEMS (Micro Electro Mechanical System) est un composant microsystème qui permet par une déformation mécanique de microstructures, plus souvent de micro membranes, d'obtenir un court-circuit ou un circuit ouvert dans une ligne de transmission RF. Ils sont conçus pour fonctionner dans une bande de fréquences allant de 0,1 GHz à 500GHz. Le principe de fonctionnement des MEMS repose sur un mouvement mécanique de l'ensemble, régi par les lois de l'électrostatique, de la magnétostatique, de la piézo-électricité ou de la thermodynamique [27].

Un MEMS présentent plusieurs avantages tel que sa faible consommation de puissance DC, faible perte d'insertion, une bonne isolation entre ses deux états dépolarisation et un temps de réponse extrêmement rapide. De même, il présente quelques inconvénients majeurs qui résident dans la tension importante nécessaire pour son activation, également son coût de fabrication élevé et la non-garantie de sa fiabilité.

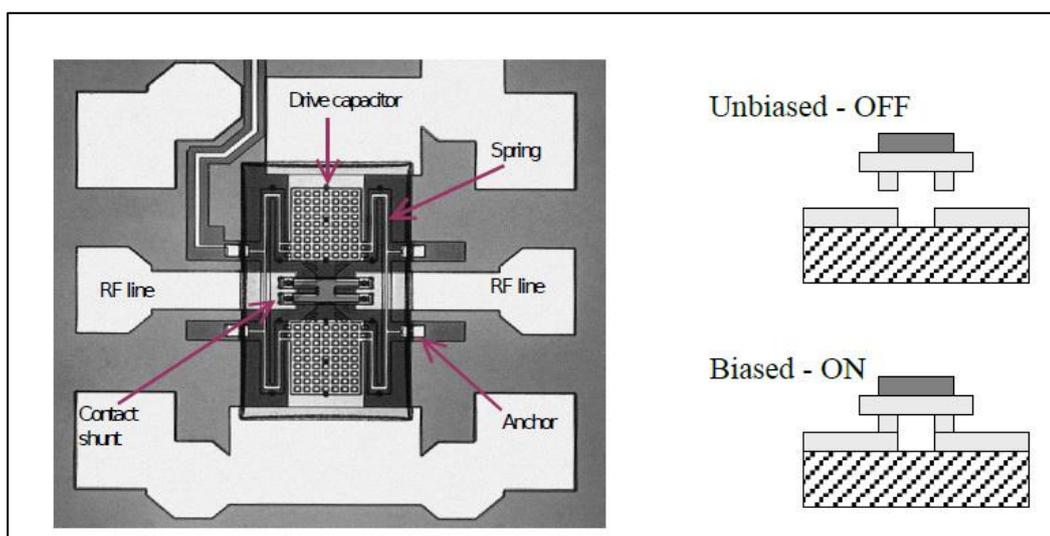


Figure I-19 : Commutateur MEMS.

Commutateur optique

Le commutateur optique photoconducteur est utilisé pour éviter le recours aux circuits de polarisation utilisés par d'autres techniques qui peuvent ajouter de la complexité et perturber le rayonnement de l'antenne. En outre, il présente un faible temps de réponse, meilleur que les autres techniques citées ci-dessus, mais son coût de fabrication reste très important [28].

Matériaux agiles

Une autre technique plus innovante pour atteindre la reconfigurabilité consiste à utiliser des matériaux agiles dont les propriétés EM (permittivité et/ou perméabilité) peuvent être accordées. Récemment, plusieurs études ont été menées pour utiliser les matériaux agiles pour réaliser la reconfigurabilité, notamment les métamatériaux, les cristaux liquides, les ferromagnétiques, et les ferroélectriques.

Les avantages de ces matériaux restent le faible encombrement et la faible consommation d'énergie nécessaire à la commande.

Cependant, les inconvénients de cette technique sont nombreux, nous pouvons citer la complexité de fabrication, les réseaux d'alimentation sont complexes, et le temps de réponse est élevé [29].

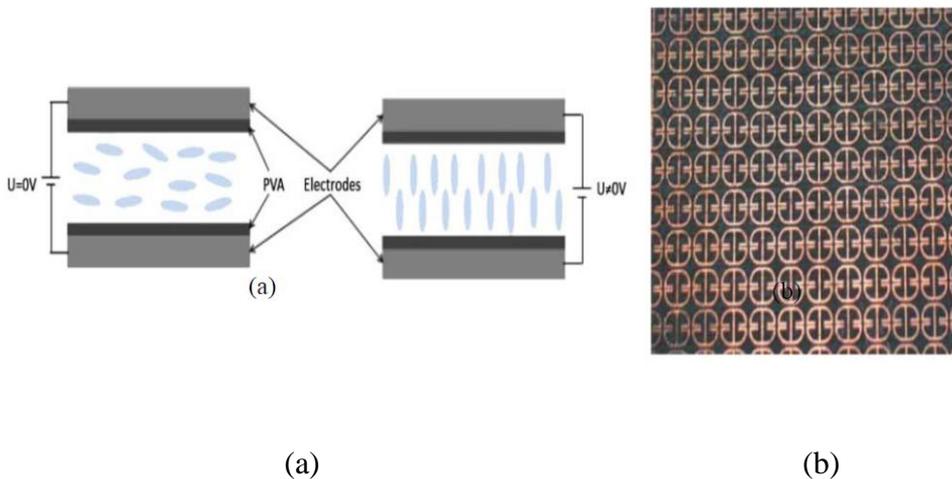


Figure I-20: (a) Cristal liquide (PVA : PolyVinylAlcohol) et (b) métamatériau [29].

Les diodes

Les diodes sont des dipôles de base de l'électronique de puissance classique. Il existe de nombreux types de diodes dont le principe de fonctionnement diffère légèrement. Diodes PIN, Varactor, Schottky, Zener..., toutes se basent sur l'utilisation des propriétés des semiconducteurs.

C'est l'application visée qui va déterminer le type de diodes à utiliser. Ainsi, pour réaliser la reconfigurabilité du circuit en hyperfréquences, les diodes les plus utilisées sont les diodes PIN qui permettent une commutation d'un état passant à un état bloquant et les varactors qui se basent sur la variation de la capacité de la diode.

Diode varactor

La diode varactor (de l'anglais variable capacitor), est une diode qui se comporte comme un condensateur dont nous pouvons contrôler sa capacité en appliquant une tension inverse à ses bornes (Figure I.20). Contrairement aux diodes PIN qui offrent une variation discrète des caractéristiques de l'antenne, la diode varactor offre une variation continue en fonction de la tension de polarisation. Les diodes varactor présentent plusieurs avantages, nous pouvons citer par exemple la grande agilité continue, la facilité d'intégration, et une faible consommation de puissance DC. Cependant, les pertes d'insertion sont parfois importantes et la complexité du réseau de polarisation augmente avec le nombre des diodes varactor utilisées. Il est à noter que ces diodes sont souvent utilisées pour obtenir la reconfigurabilité de fréquence. Dans la littérature, la combinaison de diodes PIN et varactor est souvent utilisée pour obtenir un recouvrement fréquentiel important [29].

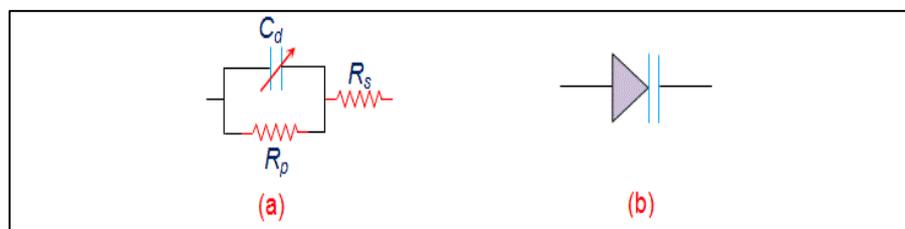


Figure I-21 : (a) circuit équivalent, (b) symbole d'une diode varactor.

Diode PIN

La diode PIN (Positive Intrinsic Negative diode en anglais) est un composant à semi-conducteur utilisée comme un interrupteur rapide pour les signaux de hautes fréquences. Lorsqu'elle est polarisée en direct, la diode présente une impédance relativement faible, et par conséquent, elle se comporte comme un circuit fermé (l'état ON). Mais une polarisation dans le sens inverse elle offre une très grande impédance en parallèle avec une très faible conductance, elle se comporte donc comme un circuit ouvert (l'état OFF). Pour un circuit planaire, en plaçant la diode sur le chemin de propagation de l'onde hyperfréquence, il est possible de laisser passer ce signal (polarisation directe) ou de le réfléchir (polarisation inverse) ; on réalise de cette manière un interrupteur. Cette technique est largement utilisée pour réaliser des antennes reconfigurables, que ce soit pour la reconfigurabilité en fréquence, pour la reconfigurabilité de la polarisation, ou de la phase des ondes électromagnétiques.

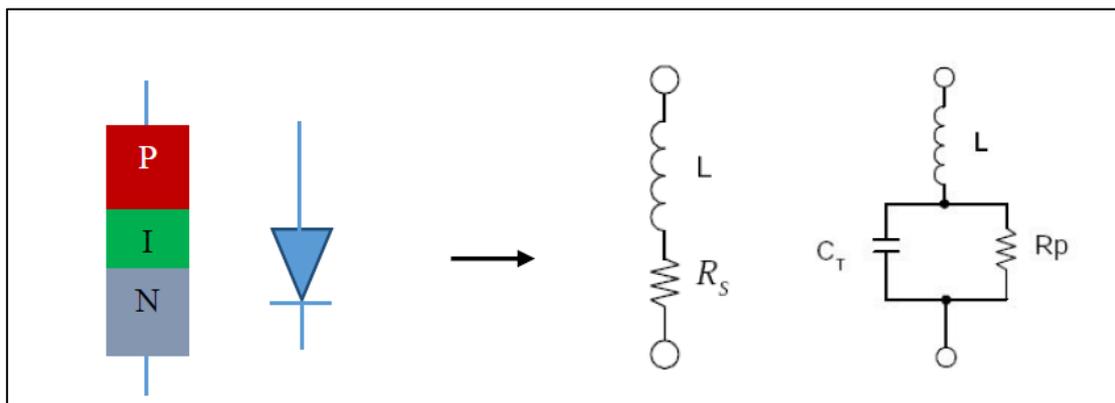


Figure I-22 : Le circuit d'une diode équivalent dans les états ON et OFF.

Caractéristiques importantes d'une diode PIN :

Les diodes PIN sont caractérisées en direct par la valeur de la résistance R_s et en inverse par la valeur de la capacité C_T . Pour la plupart des diodes R_s varie de 0,6 à 6 Ω , et la capacité de 0,04 à 1 pF toutes applications et fréquences de fonctionnement confondues. Les temps de commutation sont rapides (< 100 ns) et les boîtiers sont de petites dimensions.

Les diodes CMS (Composant Monté en Surface) présentent un certain nombre d'avantages si on désire travailler en dessous de 3 GHz. En effet ces composants occupent peu de place et permettent donc l'implantation d'un grand nombre de composants sur un même circuit (simple ou double face). Ces composants sont relativement bon marché (< 1€l'unité) et

disponibles chez tous les distributeurs de composants. Pour des applications à des fréquences supérieures, jusqu'à 20 GHz, il faut compter 15€ la diode. Le prix sera un argument limitant le nombre de diodes par circuit.

La diode est aujourd'hui un composant abouti. Quelle que soit la fréquence de fonctionnement, les diodes sont disponibles en boîtier dans le commerce et sont facilement intégrables sur circuit imprimé.

Le coût varie ensuite, comme on l'a vu, en fonction de la fréquence de fonctionnement. Aux fréquences microondes, ces composants restent relativement chers.

Les pertes et la consommation constituent l'inconvénient majeur des diodes [30].

Avantages et inconvénients d'une diode PIN :

Les avantages :

- Facilité d'intégration dans les structures antennaires.
- Bonne tenue en puissance ($>10\text{dBm}$).
- Tension de polarisation basse pour les diodes PIN ($<10\text{V}$).
- Temps de commutation rapide ($0.001\text{-}0.1\mu\text{s}$).
- Possibilité d'avoir de faibles pertes.
- Coût bas.

Les inconvénients :

- Circuit de polarisation complexe.
- Pertes élevées ($1\text{-}5\Omega$).

I.7.3 Classification des antennes reconfigurables

Il existe plusieurs critères pour classer les antennes reconfigurables, selon la fonctionnalité nous distinguons trois grandes familles :

- Antennes agiles en fréquence.
- Antennes agiles en diagramme de rayonnement
- Antennes agiles en polarisation
- La combinaison de deux fonctionnalités ou plus reste possible.

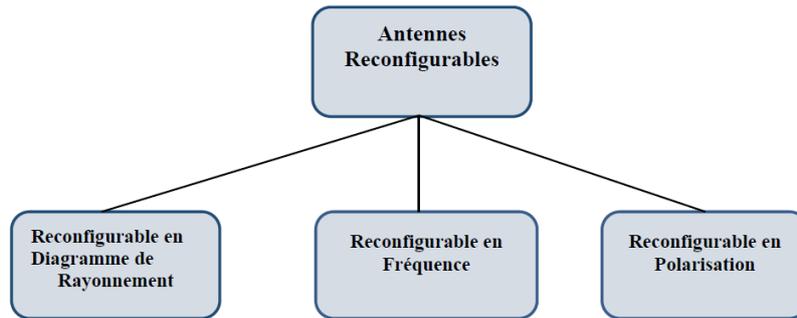


Figure I-23 : Schéma des types d'antennes reconfigurables.

I.7.3.1 Antennes reconfigurables en fréquence

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

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

Une seconde technique est basée sur des commutateurs (les diodes PIN, les transistors à effet de champ FET, les photodiodes, les MEMS ou des commutateurs à base de matériaux à transition isolant-métal). Cette technique permet de varier la fréquence de résonance de l'antenne de manière discrète.

Il existe aussi des antennes reconfigurables en fréquence qui combinent les deux réglages, continu et discret [31].

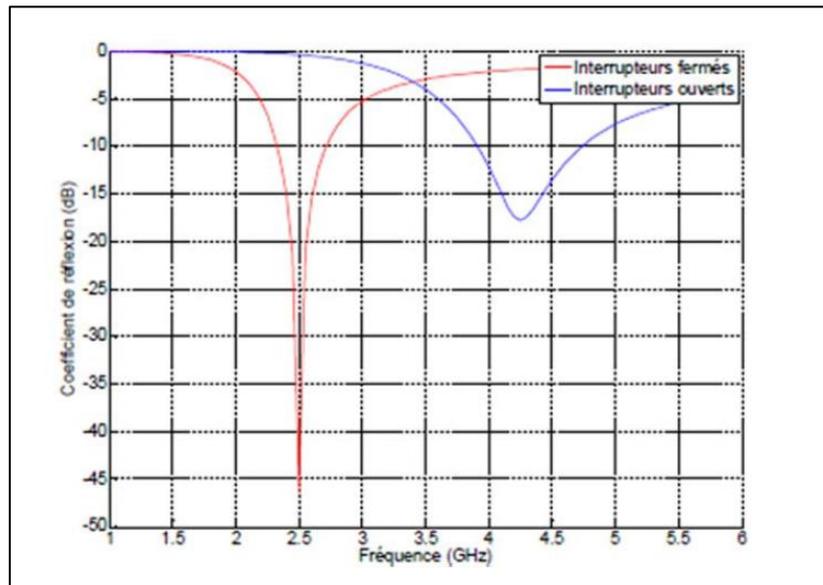


Figure I-24 : Coefficients de réflexion dipôle reconfigurable [30].

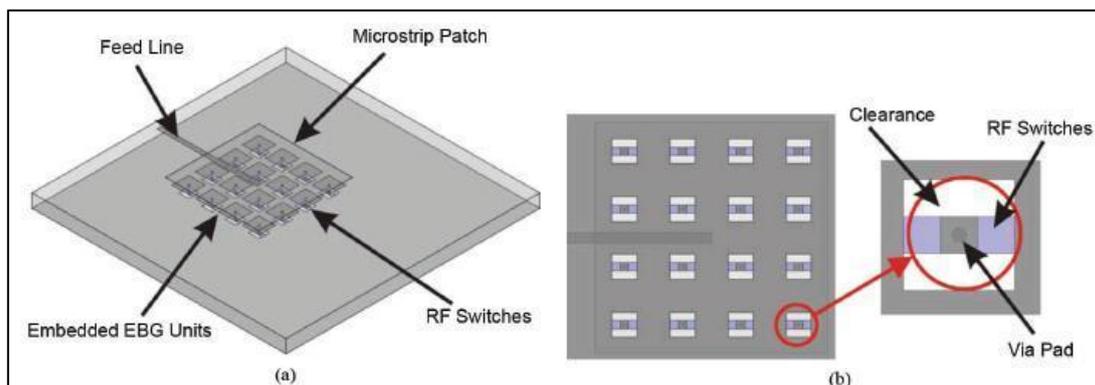


Figure I-25 : Antenne patch reconfigurable en fréquence sur substrat EBG [29].

I.7.3.2 Antennes reconfigurables en diagramme de rayonnement

En général, la reconfigurabilité du rayonnement s'effectue en modifiant la forme, la direction, ou le gain des diagrammes de rayonnement afin d'atteindre ou éviter certaines directions. Ce type de reconfiguration peut être utilisé pour éviter les sources de bruit ou le brouillage électronique, améliorer la sécurité, et économiser l'énergie en changeant la directivité vers les utilisateurs visés. Par conséquent, ce type de reconfiguration est un candidat prometteur pour renforcer le signal dans une direction souhaitée ou éviter les signaux qui viennent des directions non souhaitées. En outre, la reconfiguration du diagramme de rayonnement sera très utile pour les applications de RC afin d'effectuer le balayage spatial et

d'assurer la communication dans une direction précise. Ce type de reconfiguration est basé sur l'utilisation d'un seul élément rayonnant ou d'un réseau d'antennes.

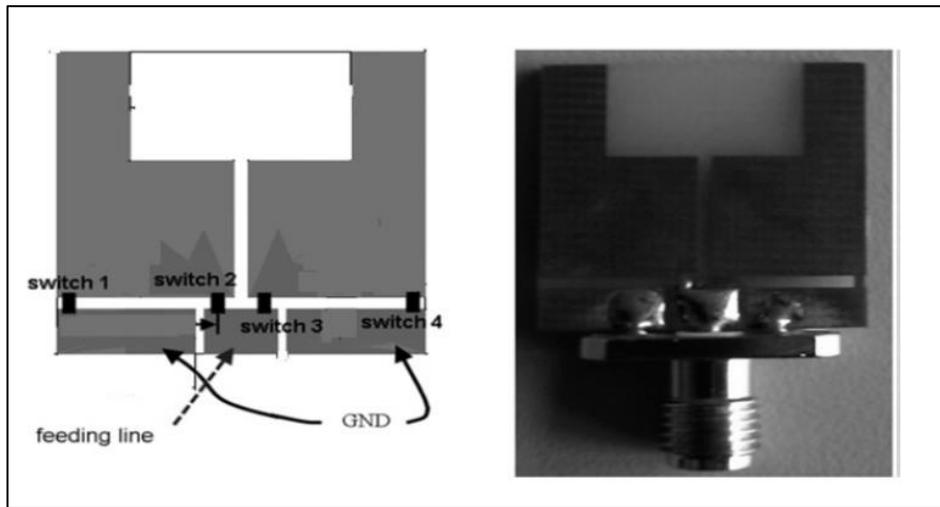


Figure I-26 : L'antenne agile en diagramme de rayonnement [28].

I.7.3.3 Antennes reconfigurables en polarisation

Le dernier type de reconfiguration correspond à la modification de la polarisation de l'antenne, linéaire (verticale ou horizontale) ou circulaire (droite ou gauche), dynamiquement. L'objectif principal est la modification de l'orientation du champ électrique émis et cela sans changer ni la fréquence de fonctionnement ni la forme du diagramme de rayonnement. Ce type de reconfigurabilité a été utilisé pour atténuer les phénomènes d'évanouissements de signaux dus aux propagations multi-trajets.

Il peut également être utilisé pour réaliser la réutilisation de fréquences afin de résoudre le problème de la rareté du spectre RF. En outre, il est utilisé dans les systèmes cognitifs pour éviter les interférences entre PU et SU ainsi que pour améliorer la qualité du signal.

Cependant, la combinaison de plusieurs types de reconfiguration dans un seul système antennaire permet de construire un système innovant et plus performant en termes d'amélioration de qualité de signal, de réduction des interférences et les phénomènes d'évanouissements, et surtout de surmonter le problème de la rareté du spectre RF.

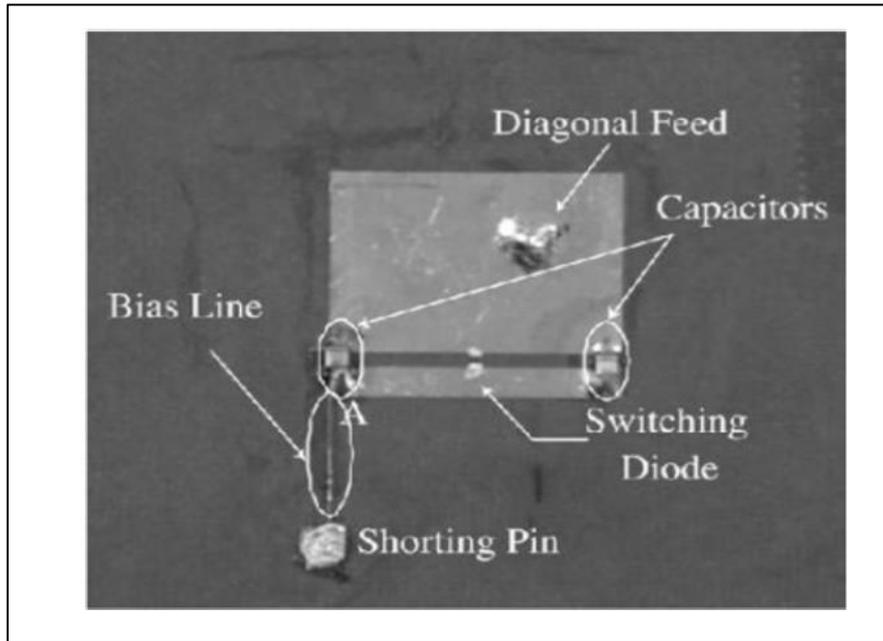


Figure I-27 : Antenne à patch rectangulaire et une diode PIN reconfigurable en Polarisation [32].

I.7.4 Avantages et inconvénients des antennes reconfigurables

Avantage

- Réalisation de plusieurs fonctionnalités généralement accomplies par plusieurs antennes classiques.
- Reconfigurabilité en fréquence est utile à l'appui de nombreuses applications sans fil.
- La reconfigurabilité de rayonnement permet d'avoir une diversité spatiale.
- La réallocation et la gestion dynamique du spectre.
- Offre la flexibilité et répond aux exigences de plate-forme radio sans fil (des services multiples dans un seul appareil).
- Réduction du nombre d'antennes dans le système ce qui réduit la taille et le coût de l'appareil.
- Une bonne isolation entre les différentes normes sans fil et les bandes.

Inconvénients

- Consommation énergétique (dans le domaine du courant continu que dans le domaine RF).
- Une efficacité réduite.
- Le coût de fabrication (plus élevé que celui d'antennes classiques).

- La complexité : l'intégration de composants actifs dans une structure rayonnante, entraîne des difficultés de conception, notamment au niveau des calculs électromagnétiques [33].

I.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté des initiations de base sur les antennes imprimées et les antennes reconfigurables et leurs nécessités dans le domaine de la télécommunication. Nous avons cité les différentes caractéristiques des antennes, et on a montré quelques techniques d'alimentation.

Autrement dit nous avons parlé sur les antennes patch reconfigurables, leurs applications et leurs techniques d'adaptation. Nous avons également clôturé ce chapitre par une description générale des réseaux d'antennes et les techniques de reconfigurabilité puis les avantages et inconvénients de ces antennes reconfigurables.

Références bibliographiques

- [1] Christophe Caloz, Tatsuo Itoh “Electromagnetic Metamaterials: Transmission line theory and microwave applications”, JOHN WILEY & sons, 2006.
- [2] Alain PRIOU, “Matériaux composites en électromagnétisme : Matériaux chargés, matériaux électroniques et métamatériaux”, Techniques de l’ingénieur, Tl.e 1165.
- [3] V.G.Veselago ,”The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ϵ and μ “ , soviet physics USPEKHI, Vol .10, No .14, pp .509-514, January –February 1968.
- [4] Alexandre Boyer, » support du cours », http://www.alexandreboyer.fr/alex/enseignement/cours_antennes_oct11_v4_5RT.pdf
- [5] Mohammed El amine CHAIB”Modélisation et caractérisation de fonctions électroniques générées par des dispositifs à méta matériaux”Février 2012.
- [6] V. Veselago: “The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of μ and ϵ ,” Soviet Physics Uspekhi, Vol. 92, no. 3, pp. 517-526, 1967.
- [7] J. B. Pendry, A. J. Holden, W. J. Stewart and I. Youngs: “Extremely low frequency plasmons in metallic mesostructures,” Physical Review Letters, Vol. 76, No. 25, pp. 4773-4776, 17 June 1996
- [8] J. B. Pendry, A. J. Holden, D. J. Robbins and W. J. Stewart : “Magnetism from conductors and enhanced nonlinear phenomena,” IEEE Transactions on microwave theory and technique, Vol. 47, No. 11, pp. 2075-2084, November 1999.
- [9] R. A. Shelby, D. R. Smith, S. Schultz: “Experimental verification of a negative index of refraction,” Science, Vol. 292, pp. 77-79, 2001.
- [10] E.Yablonovitch,”photonic band-gap structures”. Journal of the optical society of America B, Vol.10, No.2, pp.283-295, 1993
- [11] Belgacem Aouadi “ en technologies de l’information et de la communication “le 21/11/2015

- [12] M.Thevenot,C.Cheypre,A.Reinex ,and B .jecko,,"Directive photonic band gap antennas", IEEE transactions on microwave theory and techniques ,Vol.47,No.11,pp.2115-2122,November 1999.
- [13] s.enoch,G.tayeb,P.Sabouroux,N.Guérin,and P .Vincent ,,"A metamaterial for directive emission", Physical Review Letters ,Vol .89,No.21,213902,November 2002.
- [14]- K. R. Carver and J. W. Mink, "Microstrip Antenna Technology," IEEE Trans. AntennasPropagat. ,Vol. AP-29, No. 1, pp. 2–24, January 1981.
- [15]-Abla. B,"Contribution à l'étude des antennes microstrip Supraconducteur de forme triangulaire", Mémoire de Magistère en Micro-ondes. Université Mentouri. Constantine 2010.
- [16]- Odile Picon et coll « LES ANTENNES Théorie, conception et application » Préface de Maurice Bellanger, Paris, 2009.
- [17]-SalimaAzzazRahmani, "Analyse des antennes imprimées en anneaux concentriques : Etude et simulation des antennes imprimées fonctionnant en multibandes", Mémoire fin d'étude , université Tlemcen avril 2012.
- [18]- D. Aissaoui, " Analyse à l'aide de modèles équivalents d'antennes imprimées alimentées par ligne adaptées ", Mémoire de Magister, Université de Abou Baker BelkaidTlemcen , 03/2007.
- [19]- E. O. Hammerstad,," Equations for Microstip circuit design ", proceeding of the fifth European microwave conference, pp 268-272, September 1975.
- [20]- S. Courreges, " Les matériaux ferroélectriques et supraconducteurs appliqués à la conception de dispositifs micro-ondes" Thèse de Doctorat, Université de Limoges, 2007.
- [21]- A. Boufrioua, "Contribution à l'étude des antennes à patch résistif et parfaitement conducteur tenant compte d'une source d'excitation et des nouvelles formes asymptotiques de courant", Thèse de Doctorat, Université Mentouri, Constantine, 2006.
- [22]- AISSAOUI Djelloul, « ETUDE ET CONCEPTION D'ANTENNES FRACTALES POUR DES APPLICATIONS ULTRA-LARGE-BANDE », thèse, Université de Tlemcen, le 08 Janvier 2019.

[23]- Fouad Benamrane, « Conception d'une antenne patch microstrip », Université Sidi Mohamed Ben Abdellah (Fès) MAROC - Master télécoms hyperfréquence 2011.

[24]- GUENNACH Mohamed, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah Faculté des Sciences et Techniques Fès Département Génie Electrique "Conception d'une antenne ''PIFA'' Multi-bandes pour applications sans fil"

[25] GUELLIL Nasser « Etude et conception d'un réseau d'antennes beamforming à base de la matrice de Butler en utilisant ADS Momentum » Université Ferhat Abbas –SETIF1, 2014.

[26] C. G. Christodoulou, et al, "Reconfigurable Antennas for Wireless and Space Applications," *Proceedings of the IEEE*, vol. 100, no. 7, pp. 2250–2261, Jul. 2012.

[27] Fabien FERRERO, " Reconfiguration dynamique d'antennes imprimées en directivité Et polarisation," THÈSE de doctorat, 2007.

[28] Tanguy JAFFRE, " Caractérisation Des Matériaux a Bande interdite

Electromagnétique Multi périodiques et Leurs Applications aux antennes", THESE pour obtenir le grade de docteur de l'université de limoges, le 04 Février 2005.

[29] Hamza NACHOUANE, " Contribution à la conception et à la réalisation d'antennes reconfigurables large bande à diversité pour les systèmes de communication radiocognitive de la quatrième génération", pour obtenir le grade de Docteur, 2017

[30] F. Meseguer, " Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects", *Liquids and MesoScience*, vol. 270-271, 2005, p. 1-7 (DOI 10.1016/j.colsurfa.2005.05.038, lire en ligne [archive] [PDF]).

[31] J. H. Lim, G. T. Back, Y. I. Ko, C. W. Song, and T. Y. Yun, "A Reconfigurable PIFA Using a Switchable PIN-Diode and a Fine-Tuning Varactor for USPCS/WCDMA/m-WiMAX/WLAN," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 58, no. 7, pp. 2404–2411, Jul. 2010.

[32] Trong Duc, " THÈSE Pour obtenir le grade de DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE GRENOBLE , 2006.

[33] MOHAMED LAMINE SEDDIKI, " Nouvelles approches pour l'amélioration des performances des communications sans fil au niveau des résonateurs RF", Thèse de Doctorat en Électronique, Université Djilali Liabes Sidi Bel Abbas, 2018

Chapitre II : Guide SIW et AOF.

II.1 Introduction

Ce deuxième chapitre a pour but d'introduire les concepts théoriques qui seront utilisés dans cette thèse, subdivisé en trois parties pour une meilleure compréhension. La première portera sur Technologie SIW. Commencera par une définition puis le principe de Types de structures et Avantages de technologie SIW.

La deuxième s'intéresse aux guides d'ondes, qui seront définis puis on va mettre de la lumière sur les avantages et les inconvénients.

La troisième nous présenterons en premier lieu la théorie des antennes à ondes de fuite (AOF), puis on explique le principe de fonctionnement des différents types d'AOF à une dimension (1-D) : les antennes uniformes, les antennes périodiques et les antennes quasi-uniformes. Enfin nous terminerons par un rapide descriptif des AOF à deux dimensions (2-D), et les différents types de ligne de transmission.

II.2 Technologie SIW

II.2.1 Structure SIW

Théoriquement une structure SIW est très similaire à celle d'un GOR en modes TE_{mn} et différentes en modes TM_{mn} dû au fait que le SIW est constitué de deux plaques métalliques horizontales séparées par un diélectrique comme dans le GOR et ces deux dernières sont reliées entre eux par deux rangées de trous métalliques ou de l'air par contre dans le GOR ces trous sont remplacés par deux autres plaques verticales formant ainsi le guide.

Les études théoriques montrent que les caractéristiques de propagation dans une structure SIW sont similaires à celles d'un guide d'ondes rectangulaire [1].

Plus précisément, si on néglige les pertes de rayonnement entre les trous métalliques, les modes SIW coïncident exactement avec les modes de propagation d'un guide d'ondes rectangulaire transverse électrique TE_{nm} mais pas les modes transverse magnétiques.

Le mode transverse magnétique nécessite des courants surfaciques sur les deux plans conducteurs horizontaux d'un guide d'onde rectangulaire, mais dans notre cas, à cause de l'espace créé par les trous métalliques, ces courants horizontaux ont des difficultés à circuler [2].

Le mode fondamental du SIW est le même que le GOR en modes TE_{mn} qui est TE_{10} . Sur la figure II.1 nous représentons la structure d'un SIW.

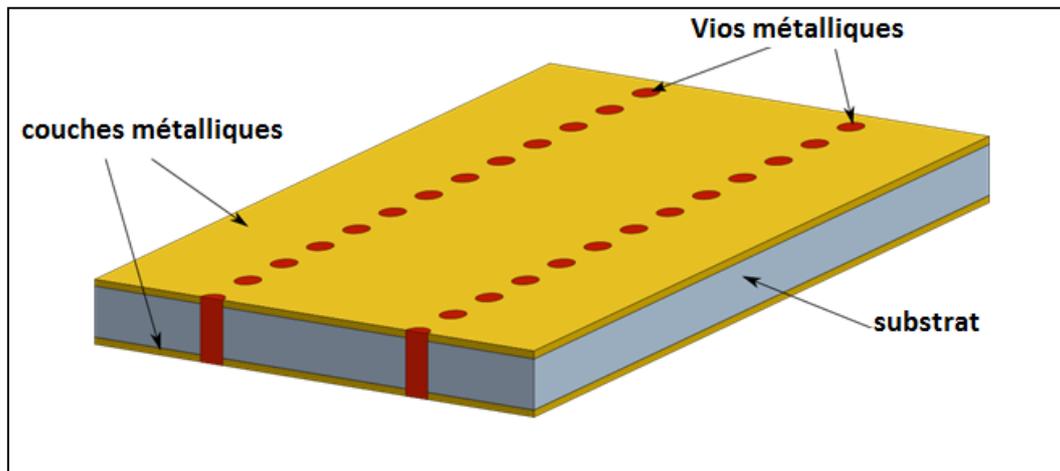


Figure II-1 : Structure d'un guide SIW.

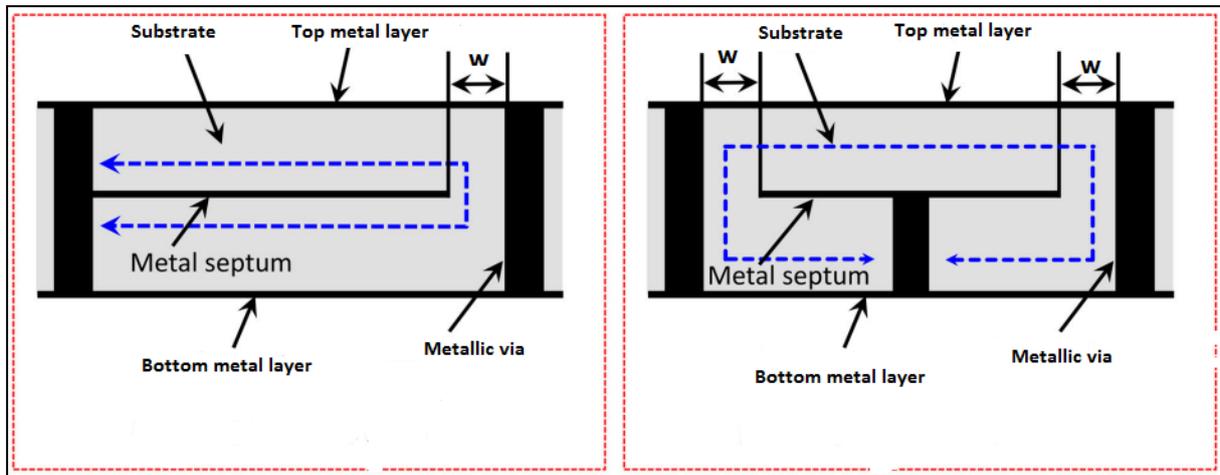
II.2.2 Types de structures SIW

Tous les paramètres présents dans un GOR en TE_{mn} sont présents aussi dans un SIW en modes TE_{mn} comme la fréquence de coupure, l'impédance TE, la vitesse de phase, la vitesse de groupe etc. Tout comme le GOR, le SIW opère en monomode lorsque la fréquence d'excitation est entre les fréquences des modes TE_{10} et TE_{20} , ceci nous permet d'avoir les meilleures performances du guide, car si la fréquence est inférieure à celle du mode TE_{10} elle ne passera pas et si elle est supérieure à celle du mode TE_{20} différents modes se propageront créant ainsi des distorsions et des dispersions de l'onde. Pour la bande d'opération d'un SIW, on se limite à la bande de fréquence comprise entre f_{c10} et f_{c20} de cette façon nous garantissons les performances optimales du guide. Différentes topologies ont été proposées pour améliorer la structure du SIW en termes de taille et de bande passante.

La structure SIW plié a été proposée dans (Figure II.2a). et consiste à ajouter un troisième plan métallique entre les deux plans en haut et en bas et qui touche une seule rangée des trous conducteurs.

Ceci permet une réduction significative de la taille accompagnée par une augmentation des pertes. Le demi-mode SIW a été introduit dans [3] (Figure II.2). Ce dernier est basé sur une

coupure verticale au milieu du guide d'ondes comme un plan magnétique virtuel ; ce qui permet une réduction considérable de la taille.



C-Type plié SIW

T-Type plié SIW

Figure II-2 : Coupe transversale des SIW pliés de type C et T.

II.2.3 Avantages

Les guides d'ondes intégrés au substrat montrent des avantages tels que [4] :

- Faible coût de réalisation.
- Faibles pertes.
- Un facteur de qualité élevé.
- Taille réduite.
- Facilité d'intégration avec d'autres systèmes.

II.3 Guide d'onde

II.3.1 Définition

Un guide d'onde est une structure permettant le confinement et le guidage de la lumière dans une direction bien déterminée. Selon sa dimension et la longueur d'onde du faisceau guidé, un guide d'onde peut être sub-longueur d'onde ou pas. Selon le matériau avec lequel ils sont fabriqués, les guides d'onde sont divisés en deux groupes.

Il existe un très grand nombre de guides d'ondes, les uns métalliques, les autres diélectriques. Ce sont dans tous les cas, des structures qui restent invariantes quand on effectue une translation selon un axe qui constitue la direction de propagation de la puissance active.

Les guides d'onde sont utilisés dans les techniques de transmission par faisceaux hertziens, dans les gammes hyperfréquences, dans les techniques de détection d'obstacles (radar, navigation aérienne et maritime), dans les techniques de diffusion à grandes puissances et sur ondes très courtes. Les informations transmises, à la fois par l'onde porteuse et par le guide, sont de nature variée [5]

- Signaux téléphoniques simples ou multiplex.
- Signaux de télévision.
- Impulsions numériques.
- Données.



Figure II-3 : Quelques exemples de guide d'ondes.

II.3.2 Les avantages du guide d'onde [6]

- La grande surface des guides en cuivre réduit les pertes métalliques,
- Les lignes de transmission à deux fils en cuivre ont une surface relativement petite.
- La transmission d'un câble coaxial de grande puissance est moins efficace que celle dans leurs guides ondes.
- Les pertes diélectriques sont également inférieures dans les guides vides (de transmission) que dans les lignes de transmission.

II.3.3 Les inconvénients du guide d'onde [6]

- La largeur du guide (section transversales) doit être approximativement la moitié de la longueur d'onde de l'onde transportée.
- Guides ondes sont soumis à des pertes diélectriques provoquées par les ondes stationnaires.
- La surface métallique interne du guide est souvent recouvert avec de l'argent ou de l'or pour réduire les pertes dues à l'effet de peau, Ce besoin augmente le cout et diminue leur utilisation.
- La fréquence de travail augmente plus la longueur d'onde diminue.

II.3.4 Types des guides d'ondes

II.3.4.1 Guide d'ondes rectangulaire

Les guides d'ondes rectangulaires sont l'un des premiers types de lignes de transmission. Un guide d'onde rectangulaire prend en charge les modes TM et TE, mais pas les modes TE_{mn} [7].

Le guide d'onde rectangulaire est constitué de quatre parois conductrices (généralement parfaits) comme illustré sur la figure II.4. Donc, ce type de guide d'onde possède une section conductrice fermée, donnant la forme d'un conducteur simple et creux. Le guide d'onde rectangulaire est définie transversalement (selon x) par la largeur a et verticalement (selon y) par l'épaisseur b. Un diélectrique-souvent de l'air-remplit l'intérieur du conducteur creux. La lumière se déplace dans le diélectrique, mais il est confiné dans l'espace par les quatre parois conductrices. L'axe (z) définit toujours la direction de la propagation [8].

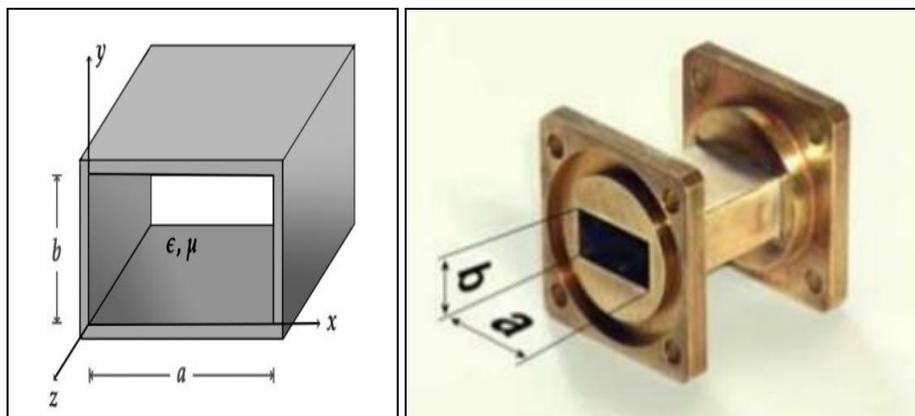


Figure II-4 : Guide d'onde rectangulaire.

II.3.4.2 Les guides d'ondes circulaires

Le guide d'ondes circulaire est un cylindre métallique, creux, de rayon a . Il est représenté dans le système de coordonnées de cylindriques sur la (figure II.5) ou l'axe z est toujours défini comme étant la direction de propagation. Le guide d'ondes circulaires a été utilisé avec succès dans la télévision avec haute puissance d'émission (UHF) depuis 1984 AT&T (le plus grand fournisseur de service téléphonique) l'avait aussi utilisé comme un standard pour le trafic téléphonique de longue distance, avec plus de 15.000 installations à travers les États-Unis. [9]

Les guide d'ondes circulaires permettent également de faire véhiculer deux signaux à polarisation orthogonale dans le meme guide. [10]

Les modes se propageant à travers ce type de guide peuvent être le mode TE ou le mode TM . Le mode de fonctionnement est le même du guide rectangulaire. [11]

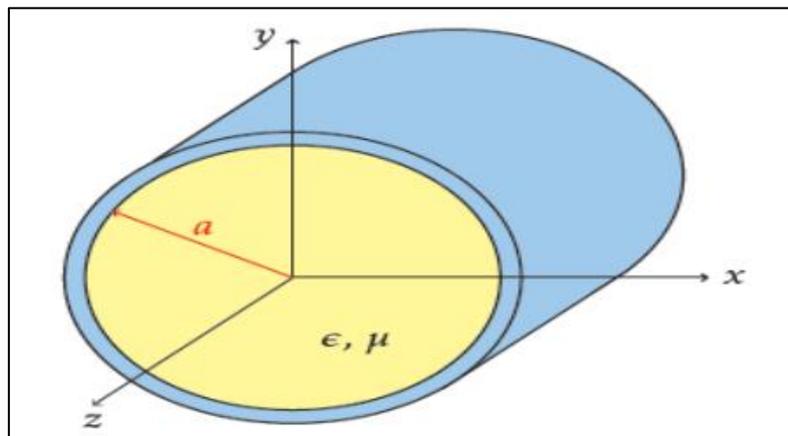


Figure II-5 : Géométrie du guide d'onde circulaire.

II.3.4.3 Guide d'onde elliptique

Le guide d'onde à section elliptique avec une ondulation longitudinale permet de réaliser des guides faciles à poser sur des distances importantes, à l'intérieur des bâtiments de caoutchouc de protection. ce type de guide d'onde se laisse assez facilement couder et (tordre), ce qui permet d'arriver exactement de l'antenne [12 a].



(a)

(b)

Figure II-6 : Exemple d'un guide métallique elliptique, b) Schéma du guide elliptique.

II.4 Les types des circuits

Les SICs (Substrate Integrated Circuits) peuvent être construits en utilisant les structures synthétisées mentionnées ci-dessus intégrées avec les autres circuits planaires comme la ligne micro-ruban ou autres sur le même substrat diélectrique [12]. Divers SICs passifs et actifs sont rappelés dans cette partie.

II.4.1 Circuits passifs SIW

Concernant les circuits passifs, la plupart des composants hyper fréquences classiques ont été mis en œuvre dans les technologies SIW. Cette solution permet généralement d'obtenir des composants avec une taille réduite [13] par comparaison avec les fonctions de guide d'ondes classiques. Parmi les composants passifs, les filtres ont reçu une attention particulière.

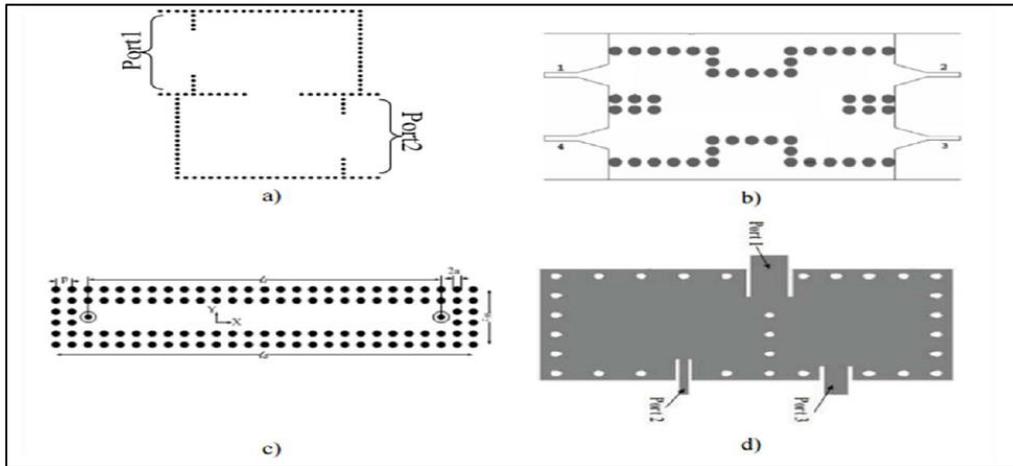


Figure II-7 : Exemples des circuits passifs SIW, a) Filtre passe-bande SIW, b) Coupleur SI, c) Guide rectangulaire SIW, d) Duplexeur SIW.

II.4.2 Circuits actifs SIW

L'implémentation de composants actifs dans la technologie SIW a attiré moins d'attention comparée à celle des circuits passifs. Néanmoins, de nouvelles possibilités de conception vers une intégration complète SoS (System-on-Substrate) sont ouvertes.

Essentiellement, la conception et l'optimisation des circuits actifs consistent à intégrer des dispositifs actifs dans des circuits SIW passifs et les relier en utilisant les avantages de la technologie tels que, par exemple, les faibles pertes, l'isolation élevée et une taille compacte pour obtenir de bonnes performances à faible coût.

Généralement l'une des faces conductrices du SIW est utilisée pour reporter la fonction active, la connexion étant assurée par des lignes micro-ruban. Les développements récents d'oscillateurs en 2012 [14], de mélangeurs [15] et d'amplificateurs [16] sont notables.

Quelques exemples sont reportés sur les **Figures II.8**.

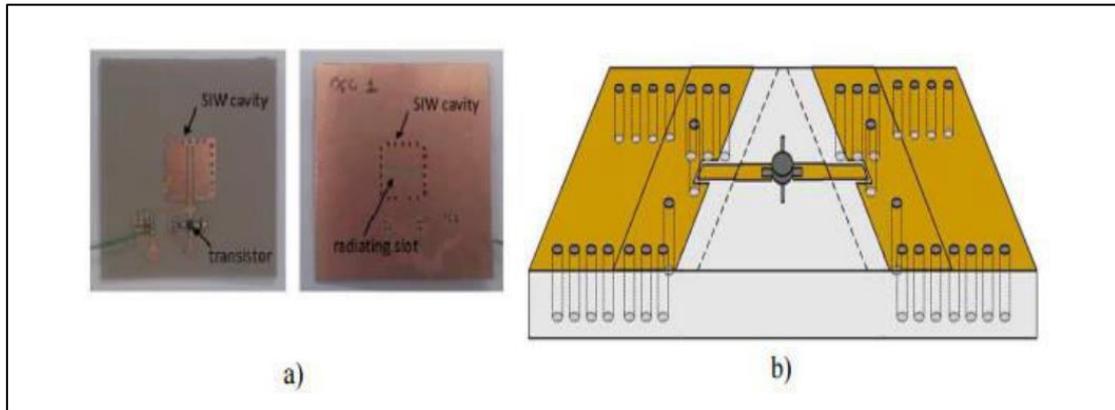


Figure II-8 : Exemples des circuits actifs SIW a) oscillateur SIW b) amplificateur SIW.

II.5 Implémentation des antennes SIW

Au cours des dernières années, il y a eu un intérêt croissant pour les antennes basées sur les technologies SIW. Plusieurs configurations ont été proposées, en commençant par les antennes à fentes classiques.

La première antenne SIW était basée sur un réseau d'antenne à fentes quatre par quatre fonctionnant à 10 GHz [14]. Cette antenne est obtenue en gravant des fentes longitudinales sur la surface du métal guide d'ondes créé sur la base des technologies SIW. L'alimentation de ce réseau d'antenne est aussi basée sur des diviseurs de puissance SIW. Une autre topologie pour concevoir une antenne "leaky-wave", a été introduite dans [15].

Cette antenne exploite une caractéristique fondamentale du SIW, à savoir, sa propriété à produire un rayonnement quand l'espacement longitudinal entre les trous métalliques du métal est suffisamment grand. Une autre antenne SIW "leaky-wave", basée sur le mode TE_{20} , a été proposée dans [16] et elle a donné de meilleures performances, comparées à une antenne "leaky-wave" conventionnelle.

Les antennes SIW à cavité résonante ont été développées et testées dans [17]. Elles consistent en une cavité SIW alimentée par un guide d'ondes coplanaires. L'antenne entière avec son système d'alimentation peut être facilement intégrée sur un seul substrat diélectrique.

Récemment, plusieurs chercheurs se sont intéressés à l'antenne cornet dite plan H en utilisant la technologie SIW. [18-19]. Cette antenne était combinée avec un diélectrique dans le même substrat qui a permis une augmentation de gain et une diminution de largeur du lobe principal dans les deux plans H et E.

Cette topologie d'antenne a été utilisée pour former un réseau d'antennes afin d'augmenter davantage le gain. Dans [20], les auteurs ont proposé déconnecter des circuits avec des fentes empilées à l'ouverture de l'antenne SIW cornet plan H.

Ces dernières permettent une amélioration pas seulement de la directivité, même assure l'adaptation d'impédance (bande passante).

Les antennes de petite taille présentant de bonnes performances en rayonnement et une bonne isolation sont recherchées, notamment dans le domaine de l'aéronautique des télécommunications, des systèmes embarqués.

Les antennes SIW sont très appropriées pour ces applications [19-21]. Sur la Figure II.9 est présentée une antenne SIW.

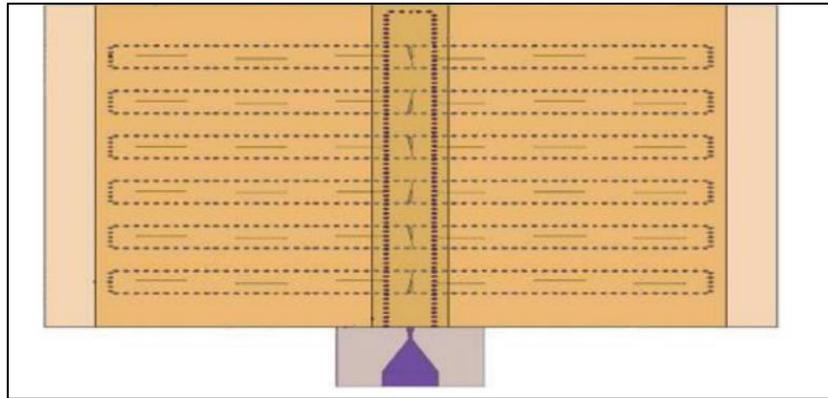


Figure II-9 : Antenne SIW [23].

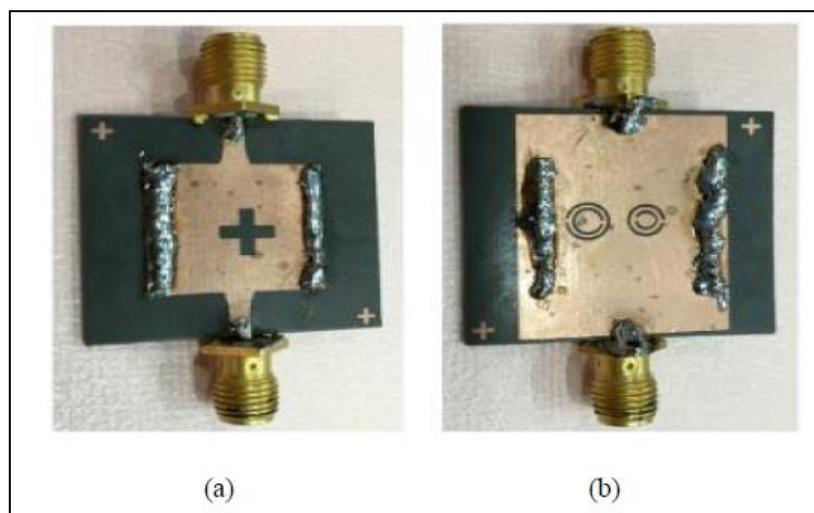


Figure II-10 : Photo de la structure fabriquée (a) Dessus (b) Dessous

II.6 Antennes SIW

Les antennes de petite taille présentant de bonnes performances en rayonnement et une bonne isolation sont recherchées, notamment dans le domaine de l'aéronautique des télécommunications, des systèmes embarqués. Les antennes SIW sont très appropriées pour ces applications [22]. Sur la Figure II.11 est présentée des antennes SIW.

Ces antennes sont utilisées aussi pour les applications d'imagerie à onde millimétriques à cause de plusieurs avantages tel que les faibles pertes, faible poids, une taille compacte et une excellente intégration avec des composants actifs par rapport à la technologie de guide d'ondes métallique conventionnel dans le développement de systèmes à ondes millimétriques.

II.6.1 Différents types d'antennes

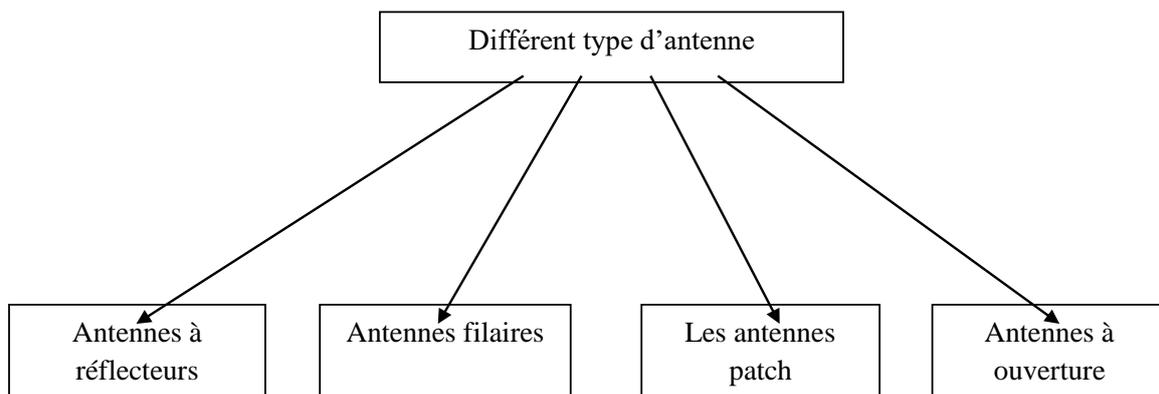


Figure II-11 : Différentes type d'antennes.

II.6.1.1 Antennes à réflecteurs

Ces antennes consistent principalement en une source illuminant une surface réfléchissante. Les applications principales de ce type d'antennes se situent dans le domaine des communications spatiales qui nécessitent des antennes capables de communiquer sur des distances importantes de plusieurs millions de kilomètre. Le réflecteur parabolique est la forme la plus connue de ce type d'antennes.[27]

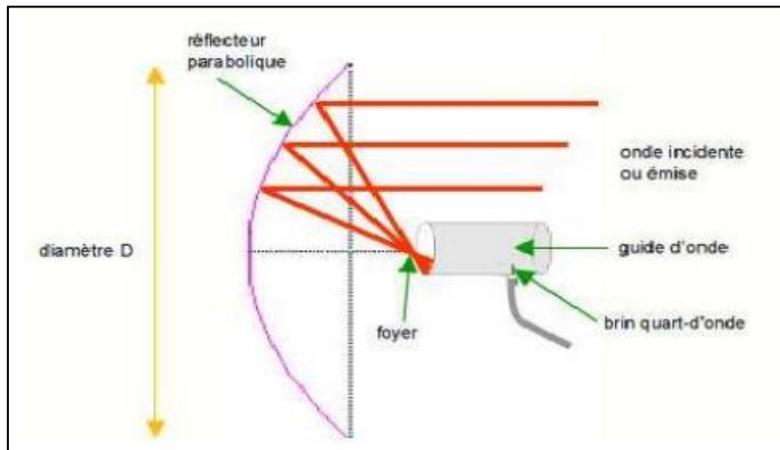
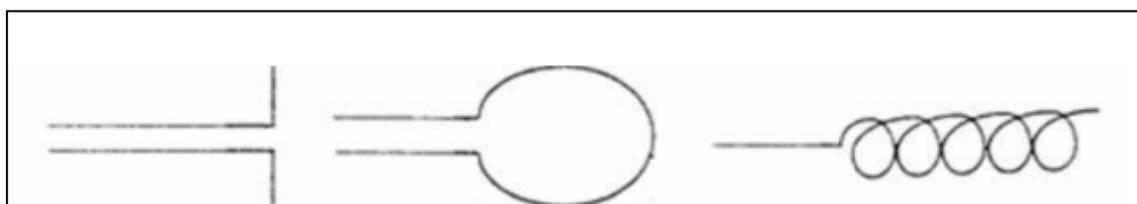


Figure II-12 : Schéma illustrant l'antenne parabolique.

II.6.1.2 Antennes filaires

C'est les plus familiers des antennes puisque vue partout : sur les toits, les avions, les voitures...etc. Il existe une grande variété de forme : rectiligne (dipôle), boucle, circulaire, rectangulaire, ellipse et hélice. [28]

Le dipôle est l'antenne de référence en radiocommunication et elle est largement utilisée tel quel où en l'association avec d'autres conducteurs pour former une antenne Yagi. Le dipôle a une longueur totale d'une demi-longueur d'onde. [29]



Fil rectiligne (dipôle)

boucle circulaire

hélice

Figure II-13 : Exemples d'antennes à ouverture rayonnante.

II.6.1.3 Antennes à ouverture rayonnante

Les antennes à ouverture rayonnante sont plus récentes que les précédentes. Leur utilisation est motivée par les émissions à des fréquences plus hautes. Compte tenu de leur facilité de montage ces antennes sont très couramment utilisées dans le domaine de l'aviation. Elles peuvent être couvertes d'un matériau diélectrique les protégeant contre les conditions

aléatoires de l'environnement . [29]

II.6.1.4 Antennes patch

Antenne patch est un type récent d'antenne dont le développement et l'utilisation sont de plus fréquents. Elle est constituée d'un diélectrique, possédant un plan de masse métallique sur une face. Sur l'autre face, une gravure métallique permet de supporter des courants de surface qui créent le rayonnement électromagnétique (figure II.14). Les courants sont amenés du générateur à l'antenne par une ligne micro ruban [30]

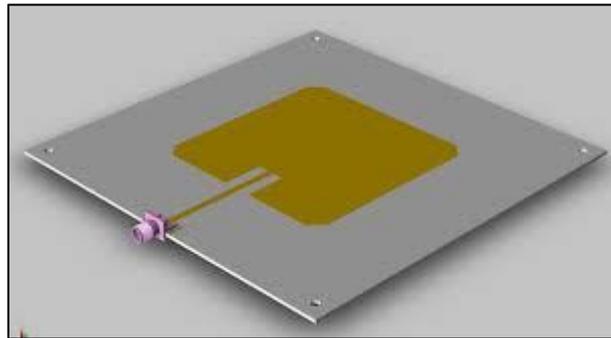


Figure II-14 : Antenne patch.

- Avantage et inconvénient

Avantages

- Faible poids, masse, épaisseur, et volume.
- Possibilité d'être intégrées dans des appareils électroniques transportable.
- Faible cout et facilité de fabrication.
- Capables d'émettre à deux ou trois fréquences.
- Simples, robustes, et moins encombrantes et adaptables aux surfaces planes et non planes. [31] [32]

Inconvénient

- Faible rendement, puissance d'émission (<100W) et un faible gain (6 dB).
- Facteur de qualité Q trop élevé (50 jusqu'à 75) et bande passante étroite (de 1 à 5 %).
- Faible pureté de polarisation.
- Pertes de rayonnement par onde de surfaces dans le substrat diélectrique.[33]

II.6.1.5 Domaine d'application des antennes patch

Les domaines d'applications des antennes patch sont de plus en plus variés les principales applications sont :

- La téléphonie mobile.
- Les radars.
- Les télécommunications spatiales.
- La télémétrie des missiles et la télésurveillance.
- Guidage des missiles et télédétection. [34]

II.7 Les antennes à ondes de fuites

II.7.1 Définition

Les antennes sont des composants radiofréquences permettant de faire la transition entre la propagation guidée et la propagation en espace libre. Ils sont des structures guidées utilisant la propagation d'une onde de fuite (OF) comme mécanisme de radiation. Cette onde va perdre de la puissance par rayonnement tout au long de sa propagation dans la structure. Le rayonnement d'une AOF intervient donc sur sa longueur.[41]

Dans ce type d'antennes, l'onde est guidée par une interface entre deux milieux d'indices différents dont l'un est constitué par la structure de l'aérien et l'autre par le vide. Par contre, une structure résonante donne naissance à des ondes stationnaires. [42]

A cause de la fuite, l'AOF possède nombre d'onde de propagation complexe, avec une constante de phase \mathbf{B} et une constante de fuite \mathbf{a} , \mathbf{a} est grande ou petite selon que la fuite par unité de longueur est grande ou petite. Un grand \mathbf{a} implique que le taux de fuite large donne une ouverture efficace courte, si bien que le faisceau de rayonnement a une grande largeur de faisceau Inversement, une faible valeur de \mathbf{a} donné une longueur d'ouverture efficace et un faisceau étroit, à condition que l'ouverture physique soit suffisamment longue. [43]

II.7.2 Les types d'antennes à onde de fuite

Les antennes à ondes de fuites peuvent être divisées en différentes types selon la géométrie et le principe de fonctionnement. Le premier type qui peut être faite entre une antenne à onde de fuite unidimensionnelle (1D) et une antenne à onde de fuite à deux dimensions (2D). Un autre classement est de savoir si la structure est uniforme, ou périodique.

II.7.2.1 Les antennes 1-D

L'antenne à onde de fuite 1D est celle où la structure de guidage est essentiellement unidimensionnelle, c'est-à-dire, la structure supporte une onde se propageant dans une direction fixe. Cette catégorie est ensuite découpée en trois grandes familles : les antennes uniformes, les antennes périodiques et enfin les antennes quasi-uniformes.[44] Leur principe de fonctionnement est globalement similaire mais leurs performances et leur conception diffèrent.

II.7.2.2 Les antennes uniformes

Les antennes uniformes à une dimension sont les premiers types d'AOF à avoir été réalisés. La première étant le guide d'onde à fente. Sont des structures invariantes (constante) sur la longueur de la structure de guidage, et sont caractérisé par une constante de propagation positive a toutes les fréquences, dans ce type de structure le seul mode onde rapide (fast wave) qui peut se propager et celui apparaissant à la fréquence limite inférieure de la zone de rayonnement, les modes apparaissant aux fréquences inférieures à cette fréquence limite sont guidé dans la structure et ne créent pas de rayonnement. [43]

Si la fente est étroite et qu'un plan de masse infini est utilisé autour de l'ouverture, la structure est équivalente à une ligne de courant se propageant suivant l'axe z de la forme :

$$K(z) = Ae^{(-jkz)} \quad (\text{II.1})$$

Avec kz complexe égal à : $\beta - j\alpha$. Le mode fondamental du guide, TE_{10} , est de type onde rapide. Il est impropre et limite donc les angles de rayonnement à l'intervalle $[0^\circ ; 90^\circ]$. Il est cependant difficile d'obtenir un rayonnement broadside car cet angle correspond à la fréquence de coupure du guide. Ceci est le principal inconvénient de cette antenne. Une façon de le contourner est d'alimenter le guide à chaque extrémité à une fréquence très légèrement supérieure à la fréquence de coupure. Il est résulté alors deux rayonnements proches de broadside. Si les deux lobes sont suffisamment proches, il en résultera un rayonnement équivalent à broadside mais moins directif (puisque composé de la somme des deux lobes). [41]

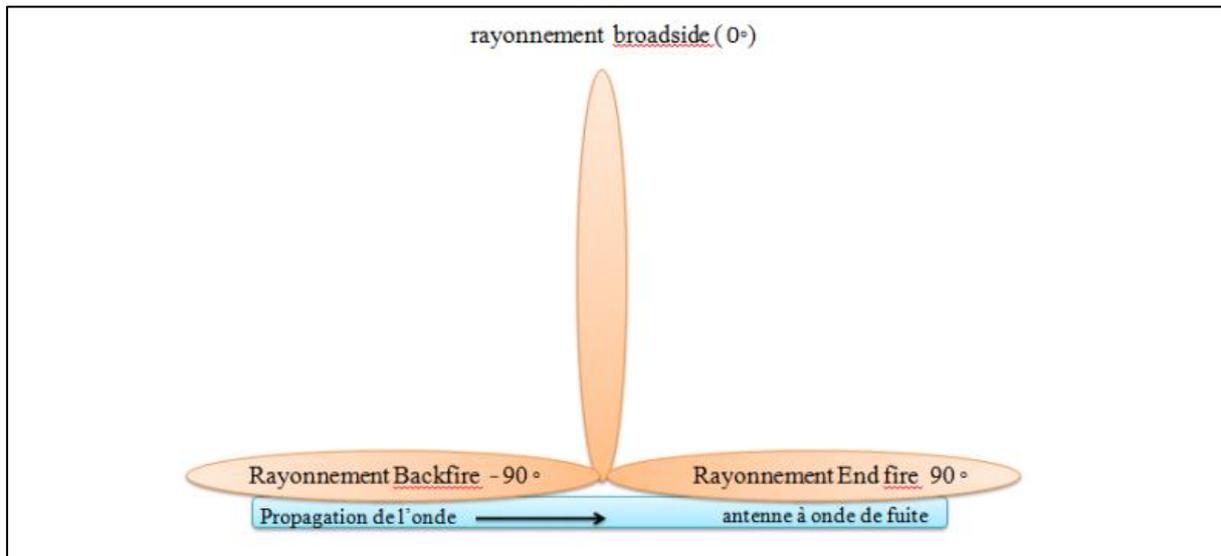


Figure II-15 : Convention de rayonnement des antennes : "Backfire", rayonnement arrière: -90° , "Broadside", rayonnement perpendiculaire : 0° , "Endfire", rayonnement avant $+90^\circ$.

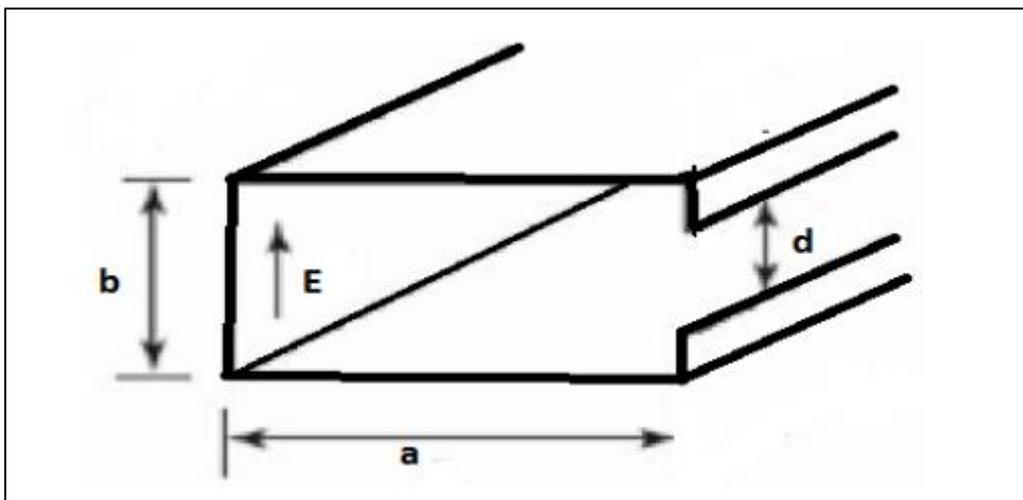


Figure II-16 : antenne à onde de fuite uniforme.

II.7.2.3 Les antennes périodiques

Les AOF périodiques sont assez similaires aux antennes uniformes d'un point de vue général. Les seules différences concernent la façon de produire le rayonnement et et l'intervalle de balayage du rayonnement.

Dans les antennes à ondes de fuite périodique, une partie de la modulation périodique de la structure de guidage est introduit, et il est cette périodicité qui produit la fuite. La modulation périodique est uniforme sur la longueur de la structure, Un exemple d'une AOF

périodique est un guide d'onde rectangulaire diélectrique sur lequel un réseau de bandes métalliques est placé périodiquement (**Figure II.17**) Cette antenne présentée pour la première fois par R.C. Honey [45]

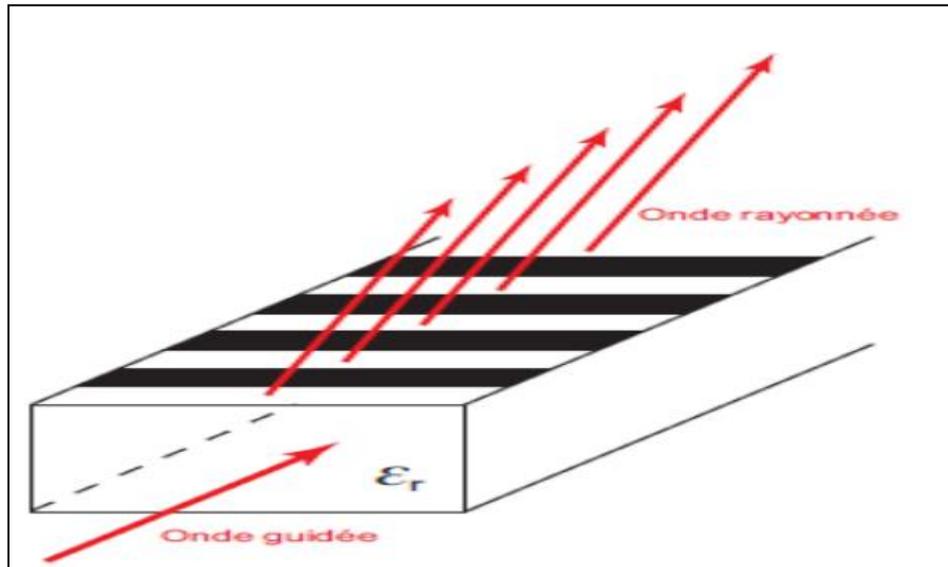


Figure II-17 : Antenne à onde de fuite périodique.

Une différence importante entre les AOFs uniformes et périodique est le mode dominant; dans le premier type est une onde rapide (fast wave) qui rayonne à chaque fois que la structure est ouverte le mode dominant sur une AOF périodique est une onde lente qui est donc parfaitement guidé (ne rayonne pas). L'ajout des plaques métalliques de façon périodique produit une infinité d'harmoniques spatiaux, dont certains peut être rapide tandis que le reste sont lents; les harmoniques spatiaux rapides rayonnent.[43]

II.7.2.4 Les antennes quasi-uniformes

Ce type d'antenne est similaire à l'AOF uniforme, à l'exception que une structure périodique est utilisée dans la géométrie de la structure de guide d'ondes . Elles ont une structure périodique mais leur rayonnement provient exclusivement de leur harmonique d'espace fondamental. Les AOF de type métamatériaux, basées sur des lignes de transmission périodiques de type CRLH, sont aussi des antennes quasi-uniforme car c'est l'harmonique fondamental qui est utilisé pour rayonner [46] [47]. Ces structures ont la particularité de permettre un rayonnement broadside sous certaines conditions d'équilibre.

II.7.2.5 Les antennes AOF 2-D

Les AOF 2-D sont des antennes dont la structure guidante a deux dimensions. L'onde de fuite qui en émerge est une onde cylindrique. La première antenne de ce type fut créée par von Trenteni en 1956 [45] Elles permettent d'obtenir assez facilement des faisceaux très directifs à l'aide d'une source comme un dipôle. [41] Ce type d'antenne est capable de produire un faisceau de crayon au broadside, ou un faisceau conique avec l'axe du cône perpendiculaire au plan de l'ouverture, comme illustré sur la figure II.18.

Pour la plupart des AOF 2D la structure de guidage est uniforme ou quasi uniforme, et le mode de propagation est une onde rapide. [43]

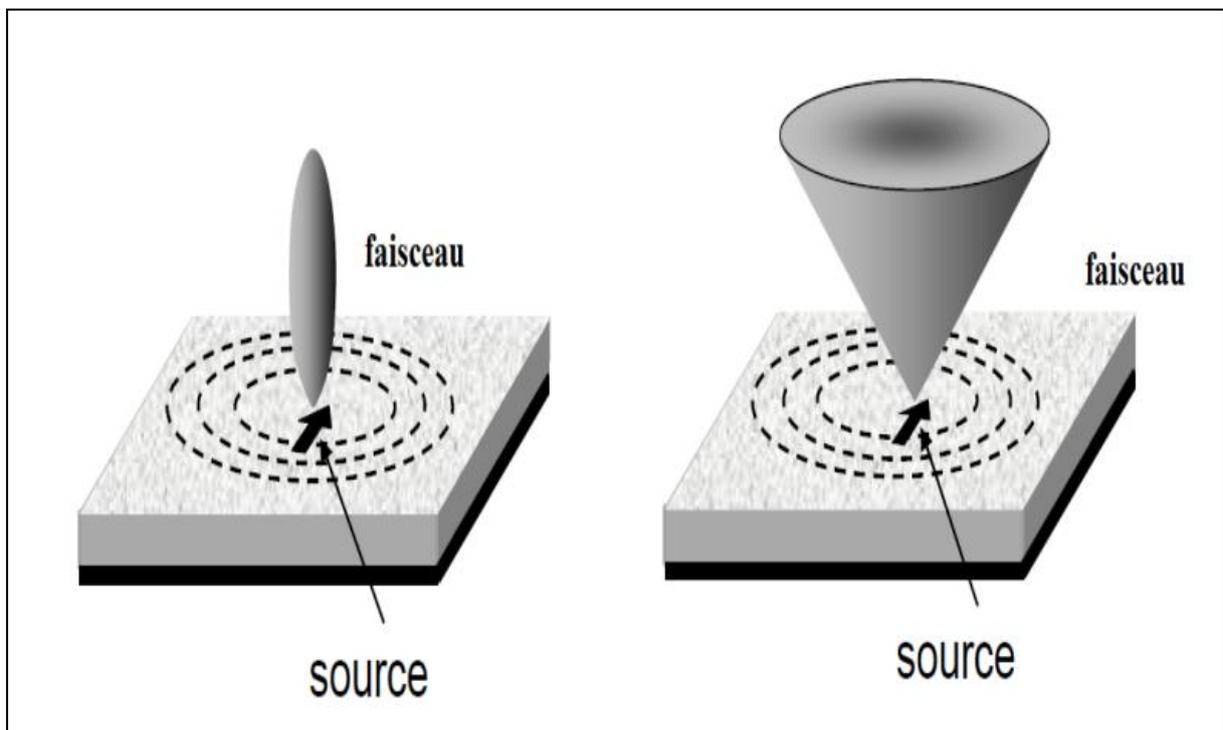


Figure II-18 : rayonnement de AOF 2D.

II.8 Les caractéristiques principales des antennes

L'antenne est un dispositif permettant de transformer la puissance électromagnétique guidée, issue d'un générateur en une puissance rayonnée (émetteur), ou transforme la puissance rayonnée en puissance électromagnétique guidée (récepteur). Dans la plupart des cas, une antenne peut être utilisée en réception ou en émission avec les mêmes propriétés rayonnantes on dit que son fonctionnement est réciproque [1].

II.8.1 Largeur de bande

La largeur de bande d'une antenne se rapporte à la gamme de fréquences sur laquelle celle-ci peut fonctionner convenablement, la largeur de bande peut également être décrite en termes de pourcentage de la fréquence centrale de la bande.

$$\text{largeurdebande} = 100 \times FH - FL / FC$$

Où :FH est la fréquence plus élevée de la bande, FL est la fréquence la plus basse de la bande et FC est la fréquence centrale de la bande [26].

II.8.2 Rendement

Le rendement η d'une antenne traduit sa capacité à transmettre la puissance électrique en entrée PA sous forme de puissance rayonnée PR. On le définit comme le rapport entre la puissance totale rayonnée par une antenne et la puissance qui lui est fournie : $PR = \eta PA$.

II.8.3 Bande passante

Bandes	Fréquences	Applications
L	1 à 2 GHZ	Radionavigation, communications mobiles par satellites
S	2 à 4 GHZ	Communications mobiles par satellites (aéronautique, terrestre, maritime)
C	4 à 8 GHZ	Téléphonie fixe et radio diffusion
X	8 à 12 GHZ	Communication gouvernementales et militaires cryptées
Ku	12 à 18 GHZ	Contenus informatifs importants : diffusion de télévision, applications multimédia (fichiers informatiques)
K	18 à 26 GHZ	Services multimédia
Ka	26 à 40 GHZ	Communications militaires
V	50 à 70 GHZ	Liaisons inter-satellites

Tableau 1 : Bandes de fréquences allouées par l'Union Internationale des télécommunications (UIT).

II.9 Les lignes de transmission

Une ligne de transmission est un ensemble d'un ou de plusieurs conducteurs acheminant un signal électrique, d'une source (ou émetteur) vers une charge (ou récepteur). Elles peuvent être aussi utilisées pour réaliser des filtres, des transformateurs d'impédance, des coupleurs, des lignes à retard. [35]

Ainsi, Les lignes utilisées pour les liaisons téléphoniques transatlantiques sont des fibres optiques de plusieurs milliers de kilomètres de longueur propageant des ondes électromagnétiques à des fréquences optiques, alors que celles reliant les composants électroniques dans un circuit intégré sont des pistes de quelques microns de long propageant des ondes électriques et électromagnétiques à des fréquences allant de quelques Hz à quelques GHz.[35]

II.9.1 La ligne micro-ruban

II.9.1.1 Définition

La ligne micro-ruban ou encore microbande (en anglais micro strip) est une des structures de guidage pour circuits micro-ondes et millimétriques, parmi les plus connues.[<] Elle comporte un substrat diélectrique, complètement métallisé sur l'une de ces faces (plan de masse) et d'une bande métallique (ruban) sur l'autre. [36]

La ligne micro-ruban présente plusieurs avantages tels que :

- La possibilité de transmettre des signaux en courant alternatif ou en courant continu.
- Cette structure est applicable à des fréquences allant de quelques GHz à plusieurs dizaines de GHz.
- La facilité d'implantation des composants actifs (diodes et transistors).
- La longueur d'onde de la ligne est considérablement réduite, ce qui entraîne des dimensions des composants répartis relativement petites.
- La structure peut résister à des tensions et des niveaux de puissance élevés. [38]

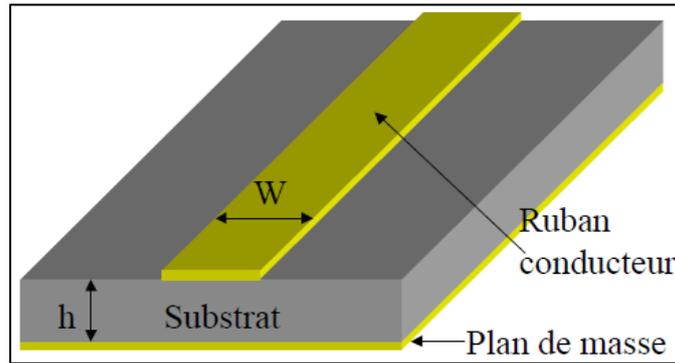


Figure II-19 : ligne micro-ruban (micro strip).

II.9.2 Ligne coplanaire

La ligne coplanaire est un guide d'onde souvent utilisé dans les circuits intégrés. Il ressemble à la ligne micro-ruban, sauf que les mises à terre sont placées de chaque côté du conducteur [39].

Dans le domaine des hautes fréquences au-delà de quelques 100 MHz, on utilise des lignes spéciales sur les circuits pour relier les "puces" ou les composants entre eux. Elles sont bons marchés car elles utilisent la technologie des circuits imprimés. Les caractéristiques Électriques des lignes dépendent des dimensions des métallisations et des caractéristiques des matériaux utilisés (métaux et diélectriques) [40].

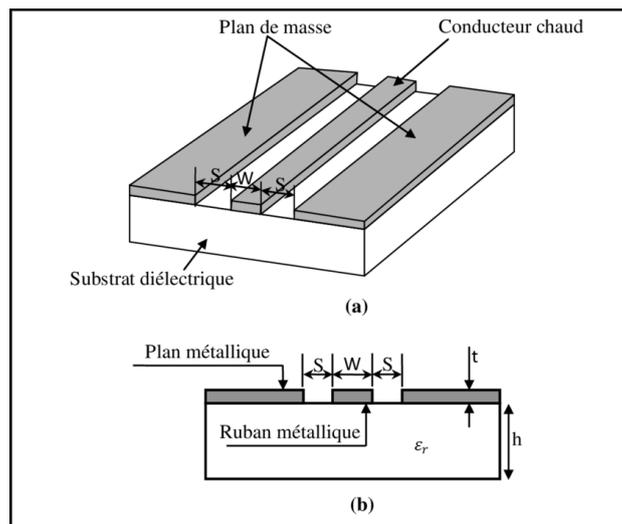


Figure II-20 : Lignes coplanaires.

Malgré ces inconvénients, la technologie coplanaire possède de réels avantages

- La facilité de report de composants (actifs ou passifs) en parallèle ou en série.
- L'élimination des trous métallisés et par conséquent des effets parasites associés.
- La possibilité d'assurer un fort découplage entre les lignes compte tenu de la présence du plan de masse sur la même face du substrat.
- La souplesse de conception liée à la possibilité de réaliser une même impédance caractéristique avec différents dimensionnements de lignes.
- Les lignes coplanaires sont moins dispersives que les lignes micro ruban, ce qui est un atout indéniable pour une utilisation aux fréquences millimétriques.

II.9.3 La ligne triplique

La ligne triplaque (en anglais strip-line) est constituée de deux plaques métalliques (plan de masse) séparées par un substrat de diélectrique au sein duquel se trouve une bande métallique, voir la figure II-21. L'épaisseur du ruban est très faible devant l'épaisseur de diélectrique, donc il est possible de considérer que le milieu est homogène, et le mode de propagation sera de type TE_m .

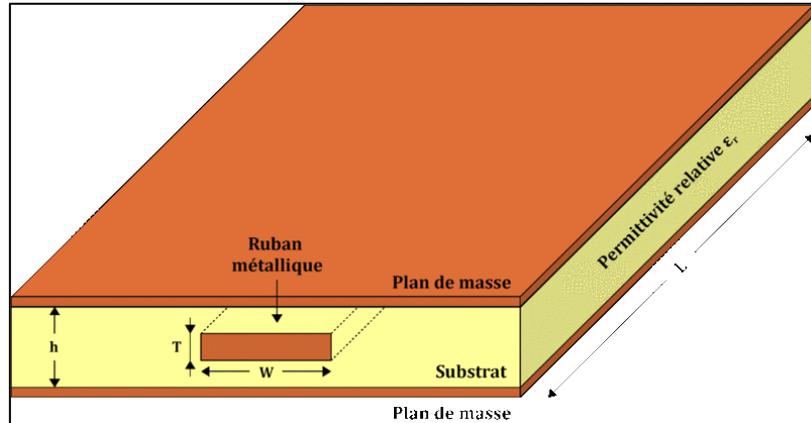


Figure II-21 : Structure de la ligne triplique.

II.10 Conclusion

Ce chapitre intéressant nous a permis de regrouper les différentes informations sur la technologie SIW et de voir leurs structures et leurs caractéristiques. Dans la deuxième partie de ce même chapitre nous avons exposé, l'historique, le principe de fonctionnement et les différents types d'antennes à onde de fuite à une dimension et à deux dimensions. Nous avons terminé ce chapitre par une démonstration de ligne de transmission.

Le chapitre suivant présente la simulation des antennes à ondes de fuites reconfigurables en technologie SIW.

Références bibliographiques

- [1] Daniels, R.C., Heath, R.W.: '60 GHz wireless communications: emerging requirements and design recommendations', IEEE Veh. Technol. Mag., 2007, 2, (3), pp. 41-50. 94
- [2] Daniels, R.C, Heath, R.W. '60 GHz wireless communications: emerging requirements and design recommendations', IEEE Veh. Technol. Mag., 2007, 2, (3), pp. 41-50.
- [3] Lai, Q., Fumeaux, Ch., Hong, W., Vahldieck, R.: 'Characterization of the propagation properties of the half-mode substrate integrated waveguide', IEEE Trans. Microw. TheoryTech., 2009, MTT-57, pp. 1996-2004.
- [4] D. Deslandes and K.Wu. (2006, Jun). accurate Modeling wave Mechanisms, and design consideration of substrate waveguide. IEEE Transaction on microwave theory and techniques.vol54.
- [5] Djebbari Barkat.<<Conception, simulation et la réalisation d'un guide d'onde rectangulaire en bande X>> licence, Université de Tlemcen , Mai 2014.
- [6] Conception Des Coupleurs en Anneau de type Rat-Race 0°,180° Miniaturise Demi-Modes en Technologie SIW operant en Bande C et S pour les Applications Spatiales.
- [7] Contribution à la Conception et à la Réalisation des Configurations Compactes des Filtres SIW DGS pour les Applications de Télécommunications Spatiales.
- [8] D. Grenier, " Electromagnétique et transmission des ondes " Département de génie électrique et de génie informatique, Université de Laval, Québec, 2012.
- [9] Conception des Coupleurs en Anneau de type Rat-Race 0°,180° Miniaturise Demi-Mmodes en Technologie SIW Operant en Bande C et S Pour les Applications Spatiales.
- [10] Djebbari et Barkat.<< Conception, simulation et la réalisation d'un guide d'onde rectangulaire en bande X >> Licence , université de Tlemcen, mai 2014.
- [11] Contribution à la Conception et à la Réalisation des Configurations Compactes des Filtres SIW DGS pour les Applications de Télécommunications Spatiales

-
- [12] Ke. WU, "Substrate Integrated Circuits (SICs) for GHz and THz Electronics and Photonics: Current Status and Future Outlook," German Microwave Conference , pp. 292-295, 2010.
- [12a] CHERIFI Hakima, MIRAOUI Lemya « Conception des Nouvelles Configurations des Filtres Hyperfréquences par Technologie SIW » Université de Tlemcen, Faculté de Technologie, juin 2017.
- [13] M. Georgiadis, A. Wu, K., Bozzi, "Review of substrate-integrated waveguide circuits and antennas," *Microwaves, Antennas & Propagation, IET*, vol. 5, no. 8, pp. 909-920, June 2011.
- [14] Yong Liu, Xiao-Hong Tang, Tao Wu, Ling Wang, and Fei, Xiao, "A SIW-based concurrent dual-band oscillator," *Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT)*, vol. 1, pp. 1-4, May 2012.
- [15] J., Wu, K., Xu, "A subharmonic self-oscillating mixer using substrate integrated wave guide cavity for millimeter-wave application," *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp*, pp. 1-4, June 2005.
- [16] M. Shahabadi, M. Abdolhamidi, "X-Band Substrate Integrated Wave guide Amplifier," *Microwave and Wireless Components Letters, IEEE*, vol. 18, no. 12, pp. 815-817, Dec 2008.
- [17] A. Georgiadis, A. Collado, M. Bozzi, L. Perregrini, F. Giuppi, "Tunable SIW Cavity Backed Active Antenna Oscillator," *IET Electronics Letters*, vol. 46, no. 15, pp. 1053-1055, July 2010.
- [18] H. Yousef, H. Kratz, Shi. Cheng, "79 GHz Slot Antennas Based on Substrate Integrated Waveguides (SIW) in a Flexible Printed Circuit Board," *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on* , vol. 57, no. 1, pp. 64-71, Jan 2009.
- [19] Li Yan et al., "Simulation and experiment on SIW slot array antennas," *Microwave and Wireless Components Letters, IEEE*, vol. 14, no. 9, pp. 446-448, Sept 2004.
- [20] A. Borji, M. Shahabdi, S. Safavi-Nwini, D. Busuioc, "Low loss integrated wave guide feed network for planar antenna arrays," *Antennas and Propagation Society International Symposium, IEEE*, vol. 2B, pp. 646-649, July 2005.
- [21] A. Borji, D. Busuioc, S. Safavi-Naeini, A. Bakhtafrooz, "Novel two-layer millimeter wave slot array antennas based on substrate integrated waveguides," *Progress In Electromagnetics Research*, vol. 109, pp. 475-491, 2010.

-
- [22] H.-W. Yao, A. Abdelmomen, J.-F Liang, K.A. Zaki "A Full Wave Analysis of Micro strip-to-Waveguide Transitions", Microwave Symposium Digest, IEEE MTT-S International, Vol.1, pp. 213-216 -1994.
- [23] Wang, H., Fang, D.-G., Zhang, B., Che, W.-Q.: 'Dielectric loaded substrate integrated waveguide (SIW) - plane hom antennas ', IEEE Trans. Antennas Propag., 2010, 58, (3), pp. 640-647.
- [24] El-Nawawy, M. ; Allam, A.M.M.A. ; Ghoneima, M. "Design and fabrication of W -band SIW hom antenna using PCB pro cess" Communications, Signal Processing, and their Applications (ICCSPA), 2013 1st International Conference on, 12-14 Feb. 2013.
- [25] Tsao, H.-Y., Yang, D.-H., Cheng, J.-C., Fu, J. S., and Lin, W.-P., "W-band SIW H-plane hom antenna development," 4th International High Speed Intelligent Communication Forum (HSIC), 1-3, 2012.
- [26] Bozzi, M., Perregrini, L., Wu, K.: 'Modeling of losses in substrate integrated waveguide by boundary integral-resonant mode expansion method'. IEEE Int. Microwave Symp. (IMS 2008) Digest, Atlanta, GA, 2008, pp. 515-518.
- [27] Conception et Simulation d'une antenne patch ultra large bande [1-8 GHz].
- [28] O. Picon et coll. Les antennes. Théorie, conception et applications.
- [29] Conception et Simulation d'une Antenne Imprimée /Industries électroniques MCIL.
- [30] Conception et modélisation d'une antenne microruban compacte pour une utilisation dans les terminaux mobile.
- [31] I .J . Bahl and P.Bhartia, " Microstrip Antenna", Dedham, Artech House, 1980.
- [32] D.M. POZAR "Microstrip Antennas ", IEEE, Vol.80 N° 1, pp .79-91, January 1992.
- [33] Antenne de Téléphonie mobile, caractérisation et optimisation /Département d'Automatique de Télécommunication et d'Electronique
- [34] Conception et Simulation d'une Antenne Imprimée / Spécialité : Industries électroniques MCIL.

- [35] Analyser et étudier des lignes micro rubans cylindriques inhomogènes et conception de nouveaux types de circuits micro-ondes pour des applications hautes fréquences en télécommunications
- [36] Commandes optiques d'une ligne de transmission
- [38] Etude d'un Guide D'ondes Multicouches Avec Substrat /chiral – chiroferrite- ferrite
- [39]
http://www8.umoncton.ca/umcmmcormier_gabriel/Hyperfrequences/GELE5223_Notes1.pdf
- [40] PDF les lignes de transmission - Thierry Ditchi
https://instru.lpem.espci.fr/sites/instru.lpem.espci.fr/IMG/pdf/poly_lignes_23.pdf.
- [41] Étude de nouvelles fonctions radiofréquences à base d'antennes à onde de fuite composite main droite/gauche.
- [42] Contribution à l'Etude des Caractéristiques de Rayonnement et Performances d'Antennes Diélectriques Microruban à Ondes de fuite Non Uniformes. Application au Balayage Electronique.
- [43] Contribution à la Conception des Réseaux d'Antennes à Ondes de Fuites à Dépointage de Faisceau Alimentés par des Guides d'Ondes Intégrés aux Substrats
- [44] R. C. Honey. "A flush-mounted leaky wave antenna with predictable patterns". IRE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-7 :320–329, October 1959.
- [45] Von G. Trentini. "partially reflective sheet arrays". IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 4 :666–671, October 1956.
- [46] J. L. Volakis. Antenna Engineering Handbook Fourth Edition. New-York : McGraw-Hill, 2007.
- [47] L. Liu, C. Caloz, and T. Itoh. "dominant mode leaky-wave antenna with backfire-to-endfire scanning capability". Electron. Lett., vol. 38 :1414–1416, November 2002.

Chapitre III : Antenne à onde de fuite : Résultats et discussion

III.1 Introduction

Ce dernier chapitre est entièrement consacré à la présentation et l'analyse des résultats de simulation des guides d'ondes en utilisant la technologie SIW ainsi que le coupleur half-mode hyperfréquence pour télécommunication spatiales fonctionnant en bande C qui s'étale sur [4-8 GHz] et la bande X [8-12 GHz] et en discutant les résultats obtenus à travers une simulation avec CST. La fin de ce chapitre sera dédiée à la conception d'un guide d'onde avec diode.

III.2 Conception et simulation des antennes en bande C

III.2.1 Cahier de charge

Nous allons simuler notre antenne SIW à l'aide de simulateur CST Microwave Studio avec les données suivantes : Permittivité diélectrique du substrat (ROGERS) : $\epsilon_r=2.2$, $T_g=0.009$.

- Hauteur du substrat diélectrique : $h_s = 1.49$ mm
- Fréquence de résonance : $f_r = 4.5$ GHz.
- Adaptation à 50 Ohm.
- Alimentation par ligne micro-ruban.
- Epaisseur de la métallisation : $h = 0.05$ mm.

$$f_c = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2} \quad (\text{III.1})$$

Où :

C : la vitesse de la lumière.

m, n: les nombres des modes.

a,b :les dimensions de guide d'onde.

$$d < \frac{\lambda_g}{5} \quad (\text{III.2})$$

$$s \leq 2d \quad (\text{III.3})$$

$$\lambda_g = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{(2\pi f)^2 \epsilon_r}{c^2} - \left(\frac{\pi}{a}\right)^2}} \quad (\text{III.4})$$

$$a_d = \frac{a}{\sqrt{\epsilon}} \quad (\text{III.5})$$

$$a_s = a_d \frac{d^2}{0.95s} \quad (\text{III.6})$$

III.2.2 Conception et simulation des guides SIW

Après le calcul des dimensions, nous avons simulé l'antenne planaire sous l'environnement CST. La figure III-1 ci-dessus montre le modèle qu'on a réalisé avec les dimensions précédentes.

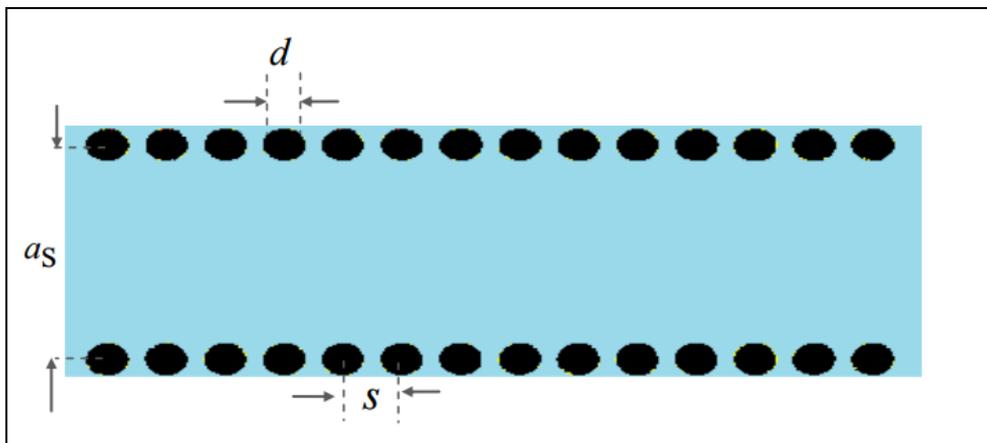


Figure III-1 : Les paramètres de guide d'onde intégré au substrat opérant dans la bande C de réception.

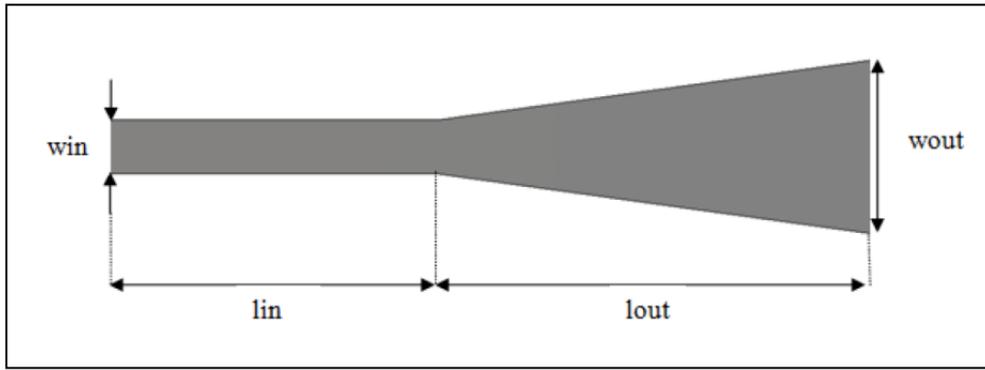
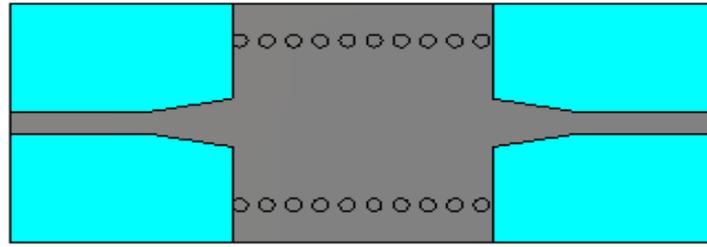


Figure III-2 : Structure générale du taper avec ces paramètres.

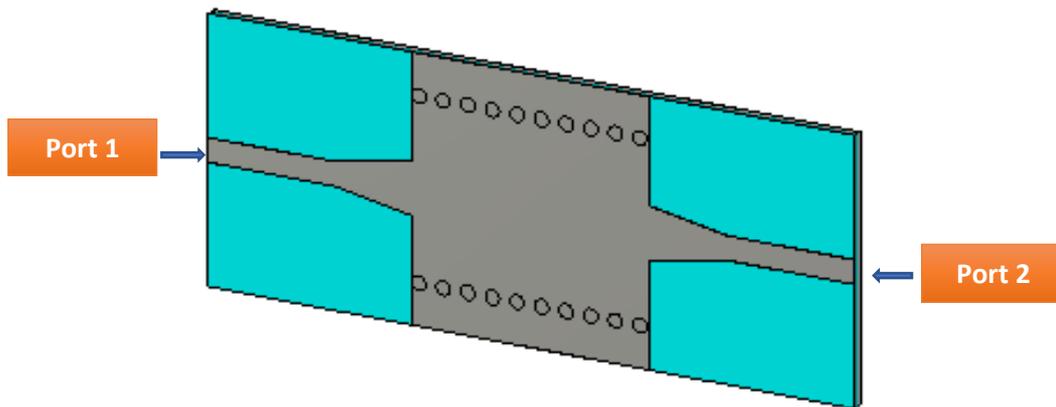
Le taper micro-ruban est utilisé pour adapter l'impédance de sortie du guide SIW à l'impédance d'entrée de la ligne micro-ruban. On calcule les dimensions du taper l_{in} , l_{out} , w_{in} et w_{out} qui seront intégrées au guide d'onde SIW sous l'outil ADS.

Dimensions (mm)	$l_{in} = 18$
	$l_{out} = 11$
	$w_{in} = 3.4$
	$w_{out} = 7.5$

III.2.2.1 Guide d'onde SIW avec 10 Vias



(a)

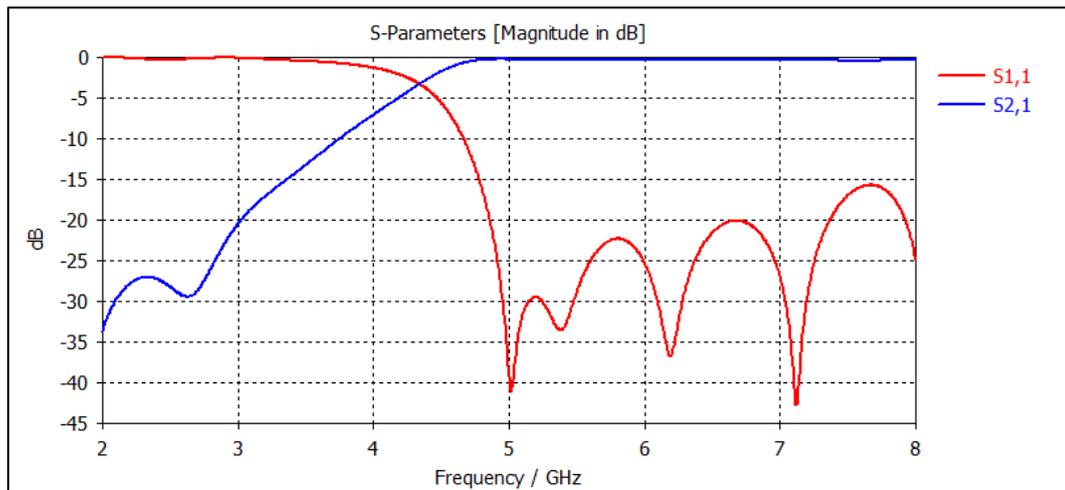


(b)

Figure III-3 : Structure du guide SIW fonctionnant dans la bande c(a) Vue de face. (b) Vue en perspective.

Nous avons conçu l'antenne à l'aide du logiciel CST ensuite nous l'avons adapté à la fréquence de résonance [4-8] GHz qui représente la fréquence de la bande C. La figure III-4 montre les résultats de simulations de l'antenne SIW sans encoches avec les différents paramètres S. Pour le mode TE₁₀, la fréquence de coupure prise est $f_c = 4.5$ GHz, l'épaisseur du conducteur est de 0.05 mm Le diélectrique utilisé possède les propriétés suivante son utilisant 'Rogers'.

La permittivité relative	ϵ_r	2.2
les pertes tangentiellees	Tg	0.0009
la hauteur du substrat	h	1.49
Le diamètre de via	d	2
La distance entre les vias du centre au centre	S	3.5



FigureIII-4 : Coefficient de transmission S21 et de réflexion S11 de guide SIW après adaptation.

D’après la figure III-4 nous observons qu’au-dessous de la fréquence de coupure $f_c=4.5\text{GHz}$ nous avons une transmission minimale qui atteint à 0 dB.et un coefficient de réflexion maximale. Après la fréquence de 4.5 GHz nous remarquons qu’il y a une amélioration du coefficient de transmission qui atteint -3.3043 dB, ainsi que plusieurs pics de résonance se figurent avec des niveaux qui atteignent jusqu’au -44 dB pour une fréquence de 7.2 GHz.

III.2.2.2 Guide d’onde SIW avec 20 vias

Notre prochain objectif est d’augmenter le nombre des vias de l’antenne et étudier l’effet de l’augmentation sur les parametres S.

Le diamètre de via	D	1
La distance entre les vias du centre au centre	S	1.5

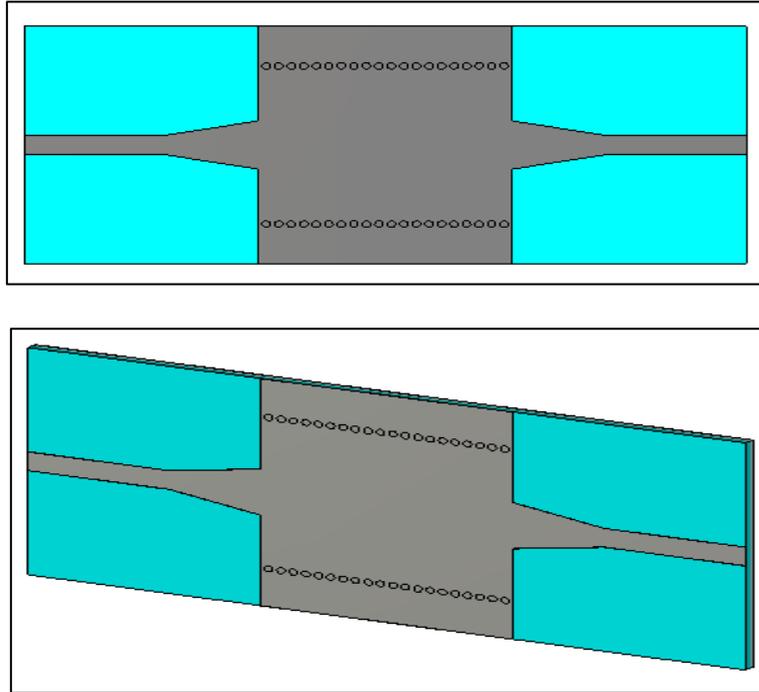


Figure III-5 : représente une antenne SIW avec 20 vias.

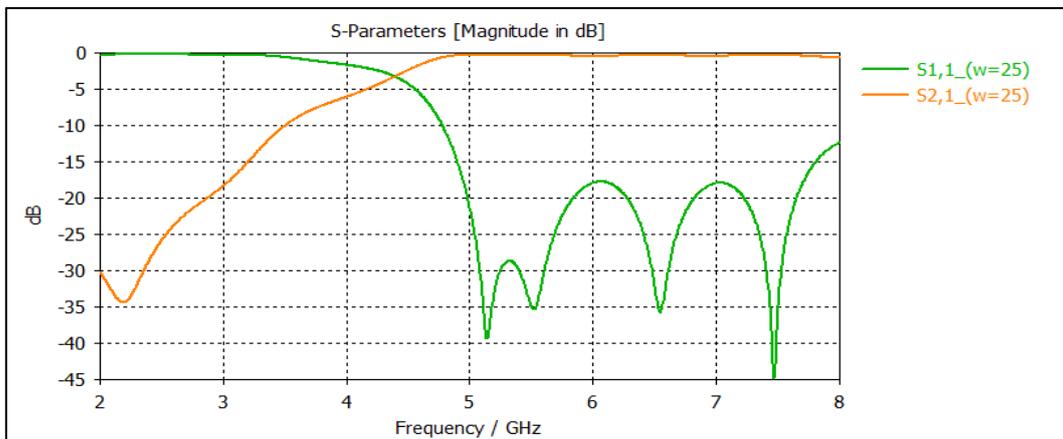
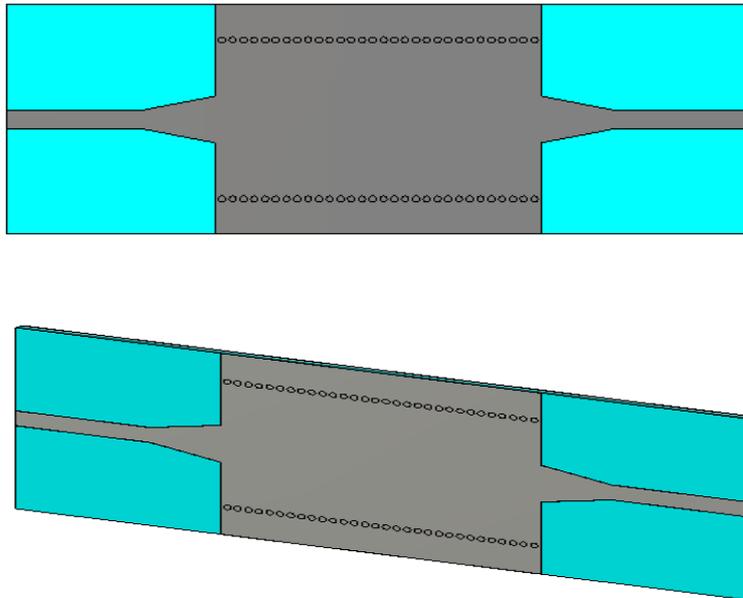


Figure III-6 : Coefficient de transmission S21 et de réflexion S11 de guide SIW après adaptation.

D'après la figure III-6 nous observons qu'au-dessous de la fréquence de coupure $f_c=4.39\text{GHz}$ nous avons une transmission minimale qui à 0 dB. et un coefficient de réflexion maximale. Au-delà ,de la fréquence de 4.5 GHz nous remarquons qu'il y a une amélioration du coefficient de transmission qui atteint -3.29dB, ainsi que plusieurs pics de résonance se figurent avec des niveaux qui atteignent jusqu'au-45 dB pour une fréquence de 7.5GHZ.

III.2.2.3 Guide d'onde SIW avec 30 vias

Le diamètre de via	D	1
La distance entre les vias du centre au centre.	S	1.5



FigureIII-7: Guide d'onde SIW avec 30 vias.

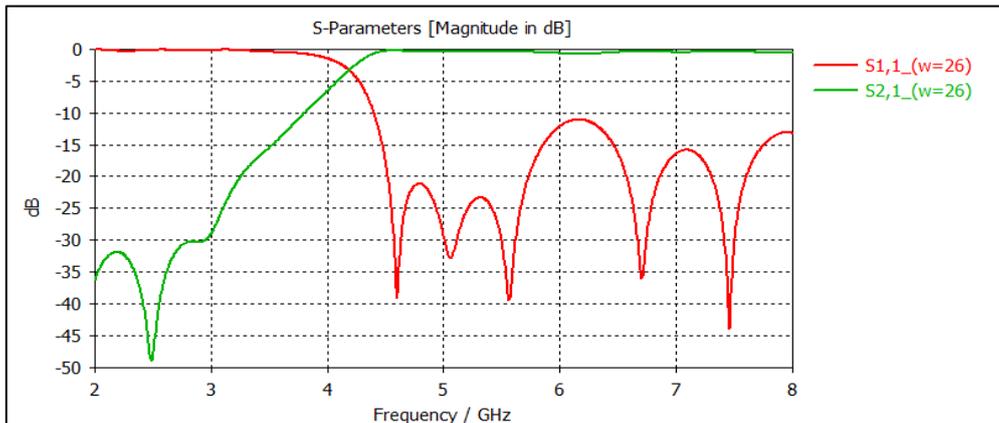


Figure III-8 : Coefficient de transmission S21 et de réflexion S11 de guide SIW après adaptation.

D'après la figure III-8 nous observons qu'au-dessous de la fréquence de coupure $f_c = 4.1$ GHz nous avons une transmission minimale qui atteint à 0 dB. et un coefficient de réflexion maximale. Au-delà de la fréquence de 4.1 GHz nous remarquons qu'il y a une amélioration du

coefficient de transmission qui atteint -3.30 dB, ainsi que plusieurs pics de résonance se figurent avec des niveaux qui atteignent jusqu’au -45 dB pour une fréquence de 7.5 GHz.

III.2.3 Conception et simulation des antennes à onde de fuite

III.2.3.1 Antenne à onde de fuite avec 10 vias

La structure finale obtenue après une transition micro-ruban vers le guide SIW avec trois fentes est représentée sur la figure III.10 La longueur de fente peut être obtenue à l'aide de la relation suivante:

$$L = \frac{\lambda_0}{\sqrt{2(\epsilon_r + 1)}} \tag{III.7}$$

Où :

λ_0 : La longueur d’onde en espace libre.

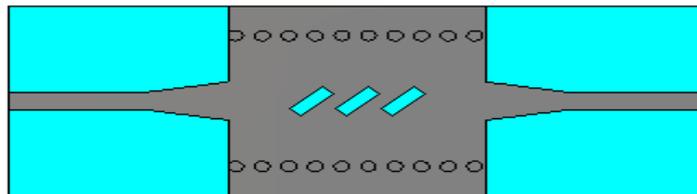


Figure III-9 : La structure de l’antenne LWA basée sur SIW dans la bande C, avec $l_s=3$.

La largeur de fente “ c “ doit être inférieure à la moitié de L, et l’espacement entre les fentes de l’antenne est sélectionné à une demi-longueur d’onde guidée ($\lambda_g / 2$) afin de localiser les fentes pour avoir un rayonnement dans une même phase.

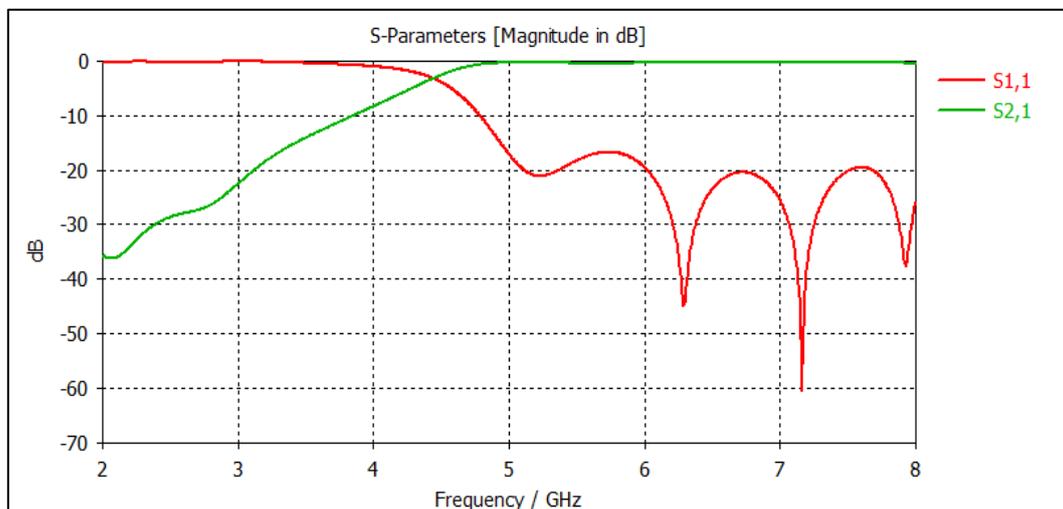


Figure III-11: Coefficient de transmission S21 et de réflexion S11 de AOF.

Le résultat de simulation obtenu à l'aide du logiciel CST est représenté sur la figure III-11 L'antenne a été conçue pour résonner à la fréquence de 4.43 GHz.

A partir de la figure III-11 nous remarquons qu'il y a une transmission à partir de la fréquence de coupure et il existe des pics de S11 qui sont inférieurs à -50 dB dans la bande de fréquence Les diagrammes de rayonnement simulé dans le plan 3-D et polaire à des fréquences différentes sont représentés sur les figures suivants.

Ce diagramme de rayonnement nous permet de voir le gain réalisé de notre élément ainsi que leur gain de transmission, dans ce cas le gain de rayonnement

F=6.29 GHZ.

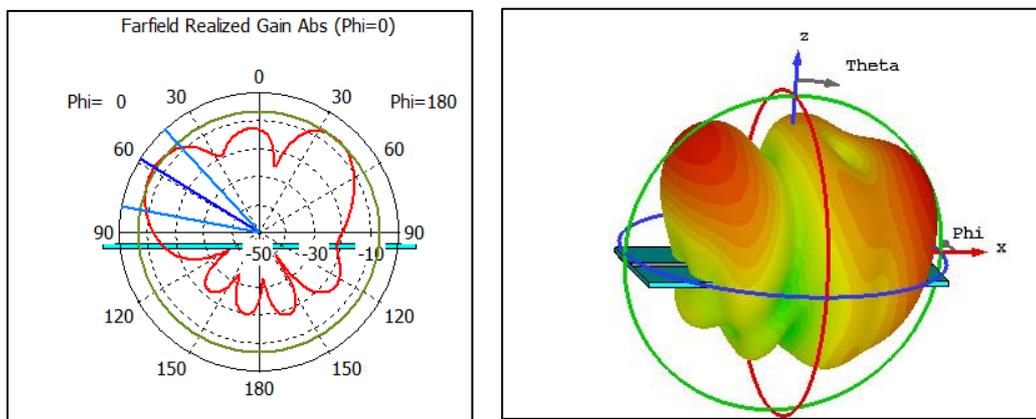


Figure III-10 : Diagramme de rayonnements de l'antenne LWA avec trois fentes opérant dans la bande C dans le plan 3-D.

Figure III-11 : Diagramme de rayonnement de l'antenne LWA avec trois fentes opérant dans la bande C dans le plan polaire.

Le diagramme de rayonnement permet de visualiser dans deux ou trois dimensions, dans le plan horizontal ($\phi=0^\circ$). Ses résultats obtenus lors de ce travail ont apporté une contribution à la conception d'une antenne qui se caractérise par une bande passante.

Pour la fréquence 6.9 GHz on a obtenu des angles d'ouverture de pour $\phi=0^\circ$. On remarque une diminution importante au niveau de cet angle. Le diagramme montre une antenne Multi

directionnel. Il y a un lobe principal et plusieurs lobes secondaires. On remarque que le lobe principal a une ouverture de largeur de l'angle à la valeur de 3dB égale à 36.5° pour une direction de 58.0° à la fréquence de résonance de 6.29GHz et que les autres lobes secondaires rayonnent faiblement dans d'autres directions.

F=7.16 GHZ

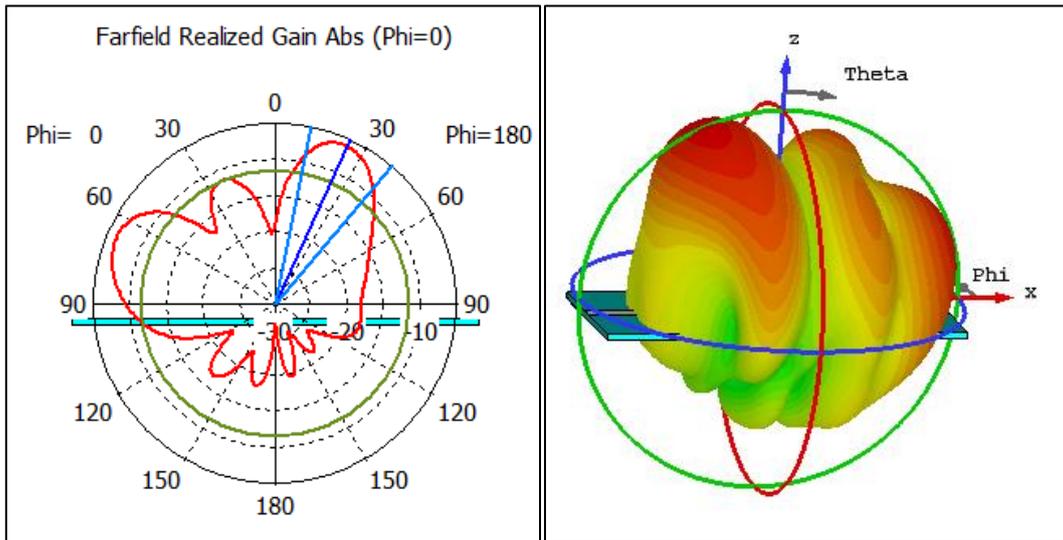


Figure III-12 : Diagramme de rayonnement de l'antenne LWA avec trois fentes opérant dans la bande C dans le plan 3-D.

Figure III-13 : Diagramme de rayonnement de l'antenne LWA avec trois fentes opérant dans la bande C dans le plan polaire.

Pour la fréquence 7.16 GHz on a obtenu des angles d'ouverture de pour $\phi=0^\circ$. On remarque une diminution importante au niveau de cet angle. Le diagramme montre une antenne Multi directionnel. Il y a un lobe principal et plusieurs lobes secondaires. On remarque que le lobe principal a une ouverture de largeur de l'angle à la valeur de 3dB égale à 28.5° pour une direction de 24.04° à la fréquence de résonance de 7.16GHz et que les autres lobes secondaires rayonnent faiblement dans d'autres directions.

III.2.3.2 Antenne à onde de fuite avec 20 vias

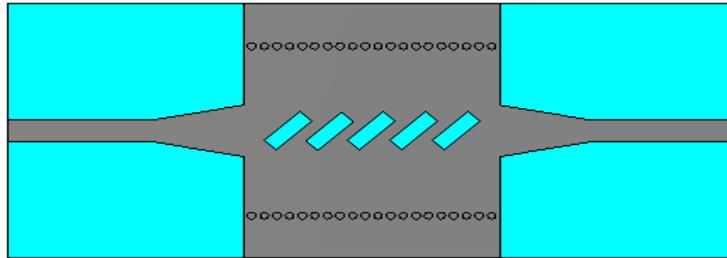


Figure III-14: La structure de l'antenne LWA basée sur SIW dans la bande C, avec $l_s=3$.

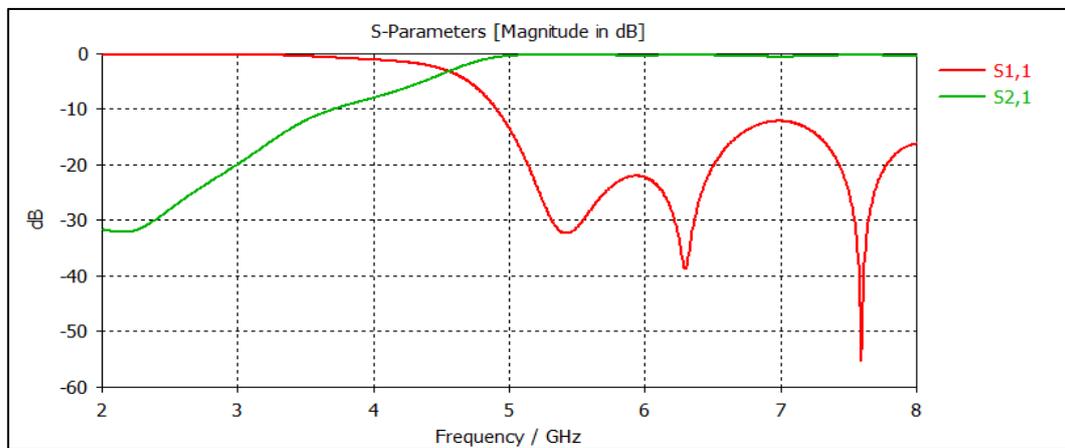
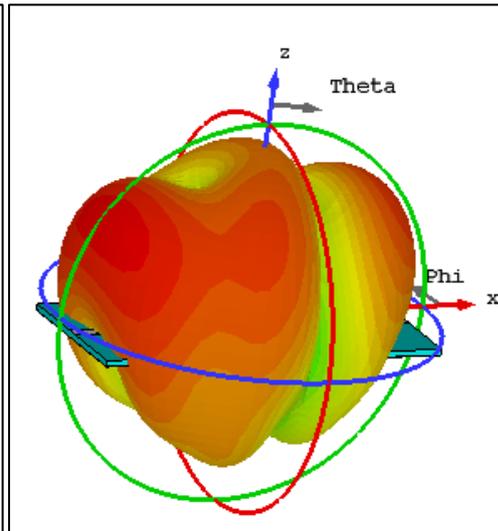
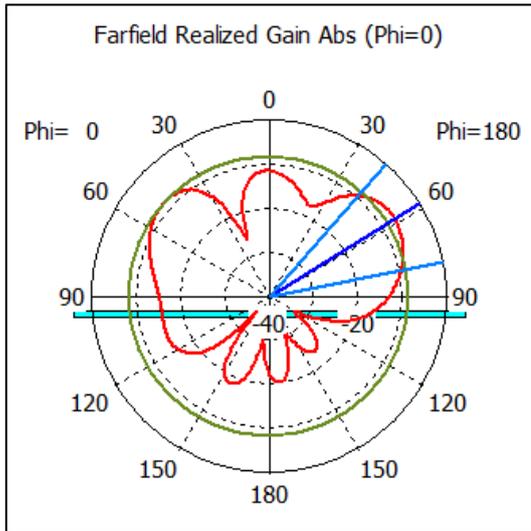


Figure III-15: Coefficient de transmission S21 et de réflexion S11 de AOD.

A partir de la figure III-15 nous remarquons qu'il y a une transmission à partir de la fréquence de coupure et il existe des pics de S11 qui sont inférieurs à -50 dB dans la bande de fréquence.

$$F=6.3\text{GHZ}$$

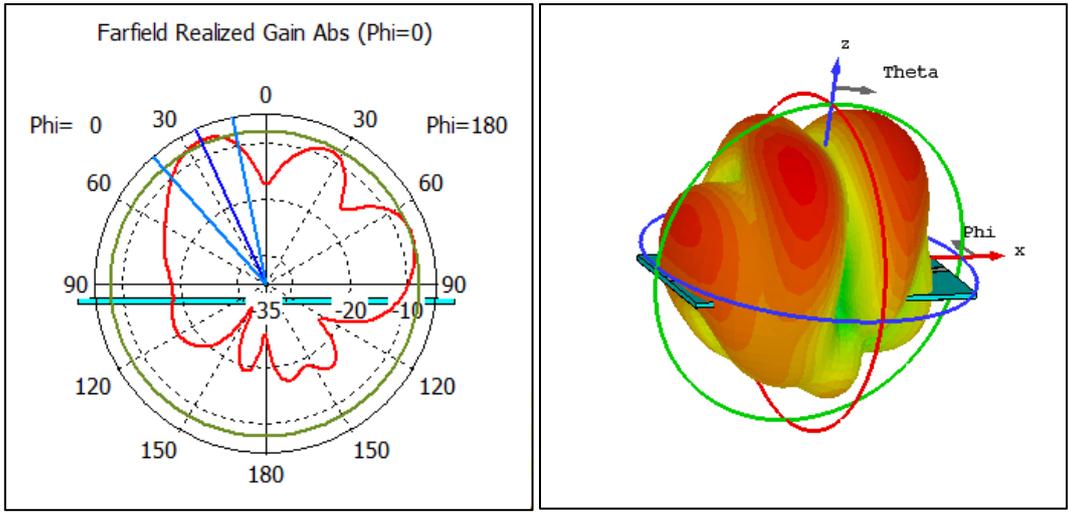


FigureIII-16: Diagramme de rayonnement de l'antenne LWA avec cinq fentes opérant dans la bande C dans le plan polaire.

FigureIII-17 : Diagramme de rayonnement de l'antenne LWA avec cinq fentes opérant dans la bande C dans le plan 3-D.

Pour la fréquence 6.3 GHz on a obtenu des angles d'ouverture de pour $\phi=0^\circ$. On remarque une diminution importante au niveau de cet angle. Le diagramme montre une antenne Multi directionnel. Il y a un lobe principal et plusieurs lobes secondaires. On remarque que le lobe principal a une ouverture de largeur de l'angle à la valeur de 3dB égale à 37.7° pour une direction de 58.0° à la fréquence de résonance de 6.3GHz et que les autres lobes secondaires rayonnent faiblement dans d'autres directions.

F=7.6 GHZ



FigureIII-18 Diagramme de rayonnement de l’antenne LWA avec cinq fentes opérant dans la bande C dans le plan polaire.

FigureIII-19Diagramme de rayonnement de l’antenne LWA avec cinq fentes opérant dans la bande C dans le plan 3-D.

Pour la fréquence 7.6 GHz on a obtenu des angles d’ouverture de pour $\phi=0^\circ$. On remarque une diminution importante au niveau de cet angle. Le diagramme montre une antenne Multi directionnel. Il y a un lobe principal et plusieurs lobes secondaires. On remarque que le lobe principal a une ouverture de largeur de l’angle à la valeur de 3dB égale à 30.3° pour une direction de 24.0° à la fréquence de résonance de 7.6GHz et que les autres lobes secondaires rayonnent faiblement dans d’autres directions.

III.2.3.3 Antenne à onde de fuite avec 30vias

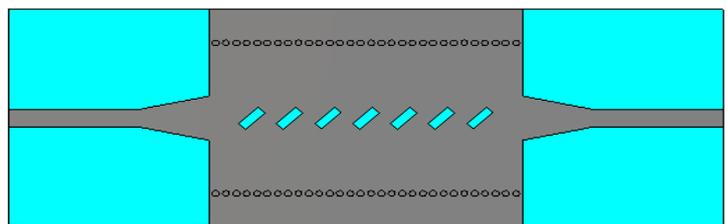


Figure III-20: La structure de l’antenne LWA basée sur SIW dans la bande C, avec $l_s=2$.

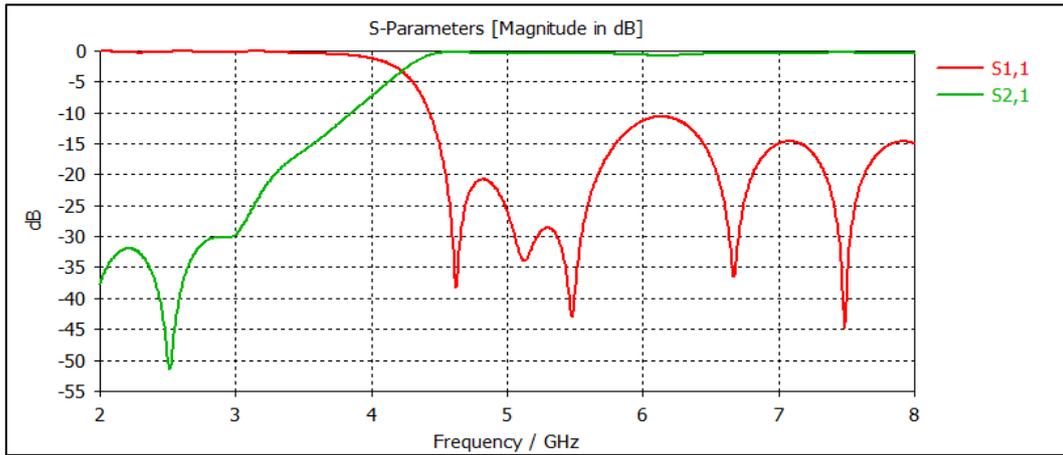


Figure III-21 : Coefficient de transmission S_{21} et de réflexion S_{11} de LWA.

A partir de la figure III-21 nous remarquons qu'il y a une transmission à partir de la fréquence de coupure et il existe des pics de S_{11} qui sont inférieurs à -45 dB dans la bande de fréquence.

F=4.62GHZ

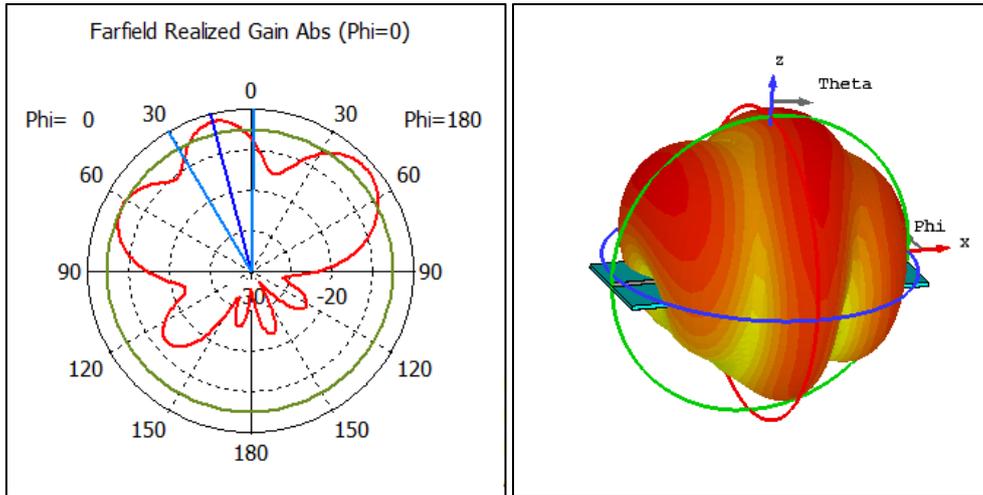
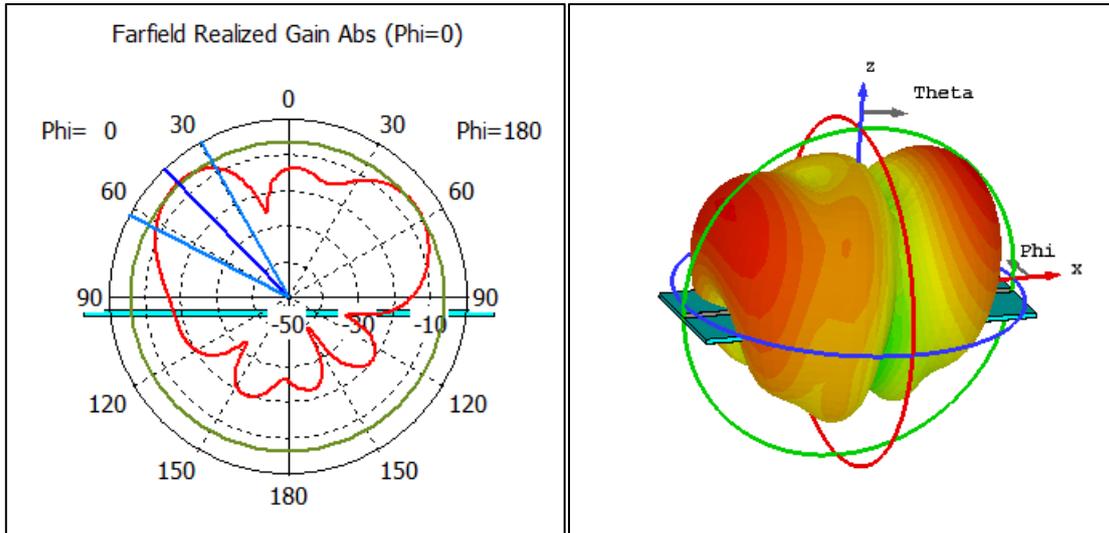


Figure III-22 : Diagramme de rayonnement de l’antenne LWA avec sept fentes opérant dans la bande C dans le plan polaire.

FigureIII-23 : Diagramme de rayonnement de l’antenne LWA avec sept fentes opérant dans la bande C dans le plan 3-D.

Pour la fréquence 4.62 GHz on a obtenu des angles d’ouverture de pour $\phi=0^\circ$. On remarque une diminution importante au niveau de cet angle. Le diagramme montre une antenne Multi directionnel. Il y a un lobe principal et plusieurs lobes secondaires. On remarque que le lobe principal a une ouverture de largeur de l’angle à la valeur de 3dB égale à 31.5° pour une direction de 14° à la fréquence de résonance de 4.62GHz et que les autres lobes secondaires rayonnent faiblement dans d’autres directions.

F=5.48 GHZ



FigureIII-24 : Diagramme de rayonnement de l’antenne LWA avec sept fentes opérant dans la bande C dans le plan polaire.

FigureIII-25 : Diagramme de rayonnement de l’antenne LWA avec sept fentes opérant dans la bande C dans le plan 3-D.

Pour la fréquence 5.48 GHz on a obtenu des angles d’ouverture de pour $\phi=0^\circ$. On remarque une diminution importante au niveau de cet angle. Le diagramme montre une antenne Multi directionnel. Il y a un lobe principal et plusieurs lobes secondaires. On remarque que le lobe principal a une ouverture de largeur de l’angle à la valeur de 3dB égale à 33.4° pour une direction de 44.0° à la fréquence de résonance de 5.48GHz et que les autres lobes secondaires rayonnent faiblement dans d’autres directions.

F=7.484 GHZ

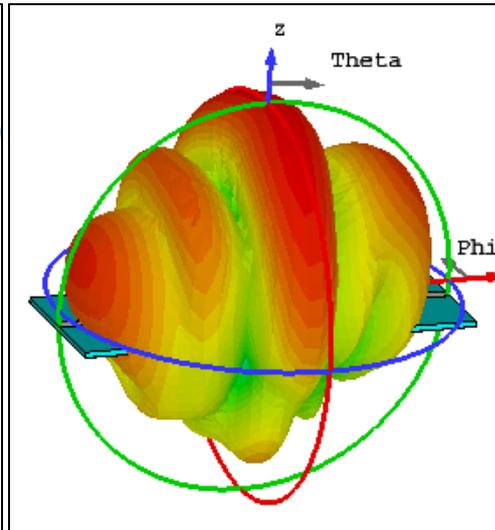
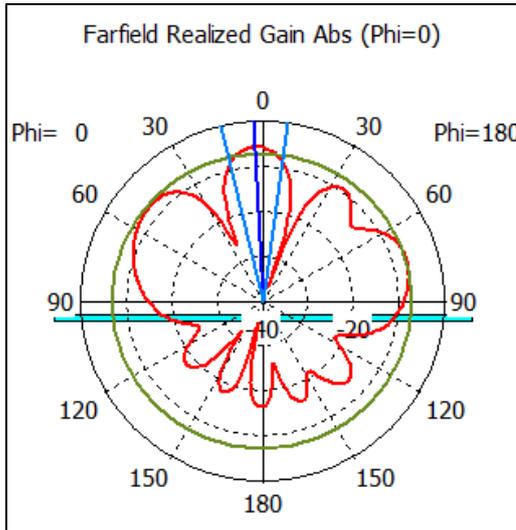


Figure III-26 : Diagramme de rayonnement de l’antenne LWA avec sept fentes opérant dans la bande C dans le plan polaire.

Figure III-27 : Diagramme de rayonnement de l’antenne LWA avec sept fentes opérant dans la bande C dans le plan 3-D.

Pour la fréquence 7.48 GHz on a obtenu des angles d’ouverture de pour $\phi=0^\circ$. On remarque une diminution importante au niveau de cet angle. Le diagramme montre une antenne Multi directionnel. Il y a un lobe principal et plusieurs lobes secondaires. On remarque que le lobe principal a une ouverture de largeur de l’angle à la valeur de 3dB égale à 21.3° pour une direction de 3.0° à la fréquence de résonnance de 7.48GHz et que les autres lobes secondaires rayonnent faiblement dans d’autres directions.

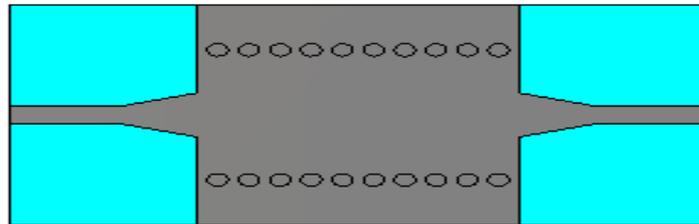
III.2.4 Résultats de simulation des antennes en bande X

Nous avons conçu l'antenne à l'aide du logiciel CST ensuite nous l’avons adapté à la fréquence de résonnance [8-12] GHz qui représente la fréquence de la bande X. La figure III-31 montre les résultats de simulations de l’antenne SIW sans encoches avec les différents paramètres S. Pour le mode TE₁₀, la fréquence de coupure prise est $f_c = 8$ GHz, l’épaisseur du conducteur est de 0.05 mm.

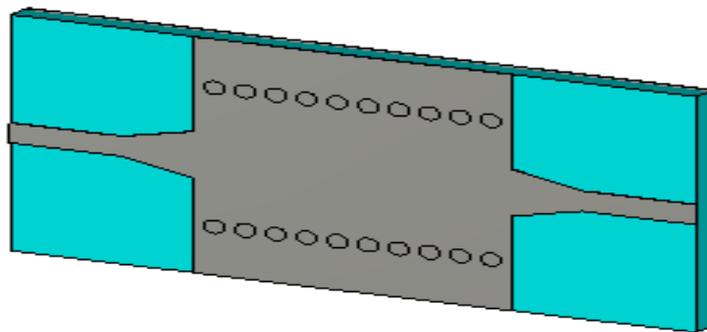
III.2.4.1 Conception et simulation des guide SIW

III.2.4.1.1 Guide d'onde SIW avec 10 vias

La permittivité relative	ϵ_r	4.3
les pertes tangentielles	T_g	0.018
la hauteur du substrat	H	1.49
Le diamètre de via	D	1
La distance entre les vias	S	1.5

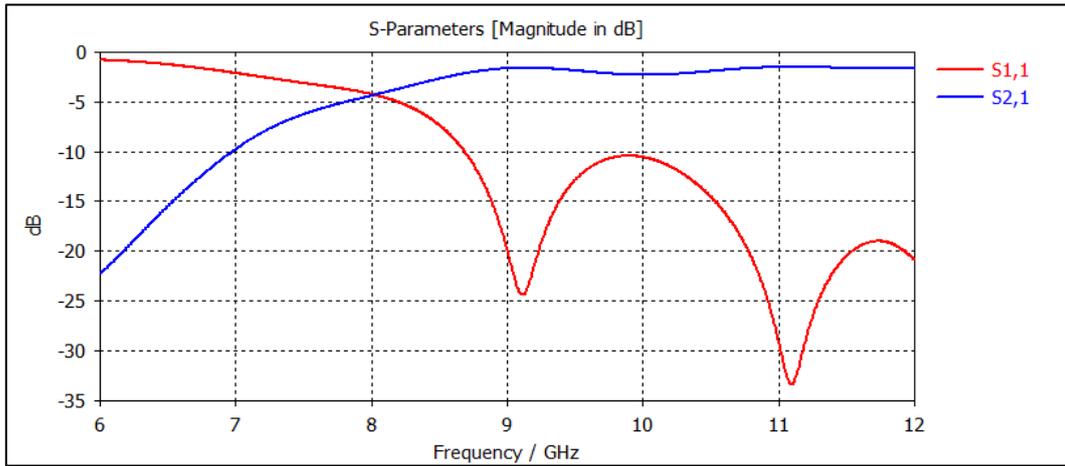


(a)



(b)

Figure III-28 : Structure du guide SIW fonctionnant dans la bande X(a) Vue de face. (b) Vue en perspective.

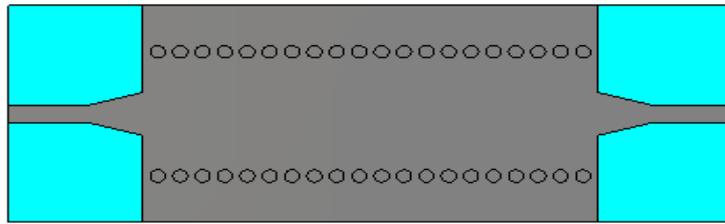


FigureIII-29 : Coefficient de transmission S21 et de réflexion S11 de guide SIW après adaptation.

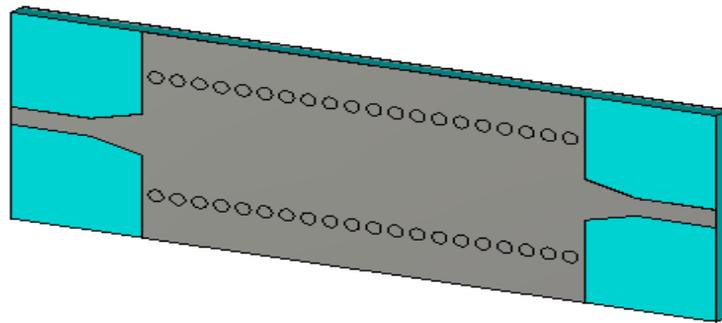
D’après la figure III-29 nous observons qu’au-dessous de la fréquence de coupure $f_c = 8$ GHz nous avons une transmission minimale qui atteint presque à 0 dB. et un coefficient de réflexion maximale. Au-delà de la fréquence de 8 GHz nous remarquons qu’il y a une amélioration du coefficient de transmission qui atteint -4.3312 dB, ainsi que plusieurs pics de résonance se figurent avec des niveaux qui atteignent jusqu’au -34dB pour une fréquence de 11.16GHz.

III.2.4.1.2 Guide d’onde Avec 20 Via

Le diamètre de via	D	1
La distance entre les vias	S	1.5

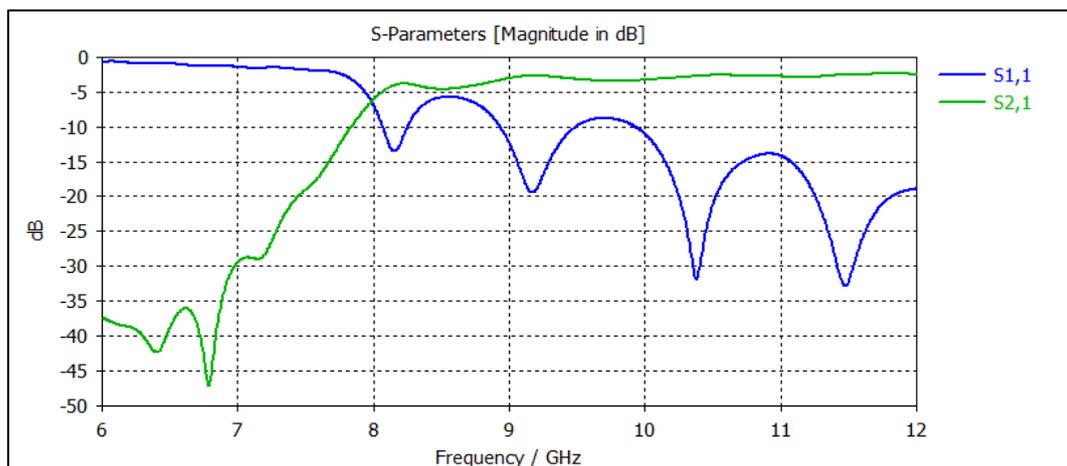


(a)



(b)

FigureIII-30 : Structure du guide SIW fonctionnant dans la bande X(a) Vue de face. (b) Vue en perspective.

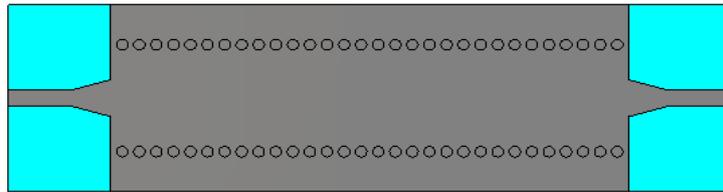


FigureIII-31 : Coefficient de transmission S21 et de réflexion S11 de guide SIW après adaptation.

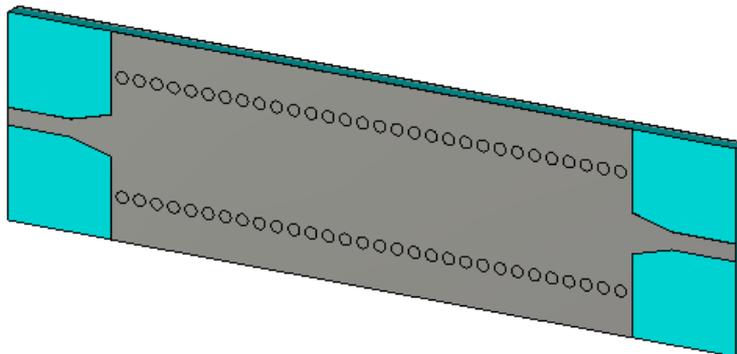
D'après la figure III-31 nous observons qu'au-dessous de la fréquence de coupure $f_c = 7.98$ GHz nous avons une transmission minimale qui atteint presque à 0 dB. et un coefficient

de réflexion maximale. Au-delà de la fréquence de 7.98 GHz nous remarquons qu'il y a une amélioration du coefficient de transmission qui atteint -6.365 dB, ainsi que plusieurs pics de résonance se figurent avec des niveaux qui atteignent jusqu'au -32dB pour une fréquence de 11.6GHZ.

Le diamètre de via	d	1
La distance entre les vias	s	1.5

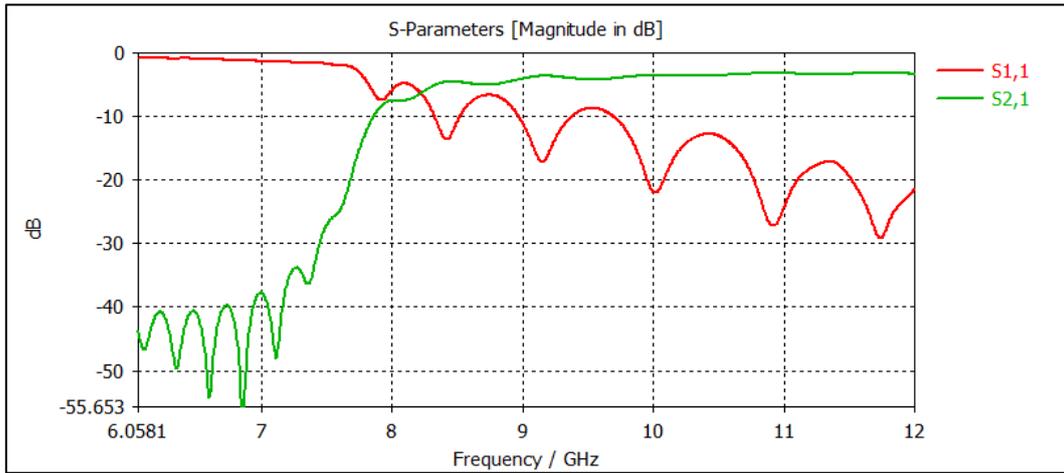


(a)



(b)

Figure III-32 : Structure du guide SIW fonctionnant dans la bande X(a) Vue de face. (b) Vue en perspective.



FigureIII-33 : Coefficient de transmission S21 et de réflexion S11 de guide SIW après adaptation.

D'après la figure III-33 nous observons qu'au-dessous de la fréquence de coupure $f_c = 8.22$ GHz nous avons une transmission minimale qui atteint presque à 0 dB. et un coefficient de réflexion maximale. A partir de la fréquence de 8.22 GHz nous remarquons qu'il y a une amélioration du coefficient de transmission qui atteint -6.377 dB, ainsi que plusieurs pics de résonance se figurent avec des niveaux qui atteignent jusqu'au -30 dB pour une fréquence de 11.8GHz.

III.2.4.2 Conception et simulation des antennes à onde de fuite

III.2.4.2.1 Antenne à onde de fuite avec 10 vias

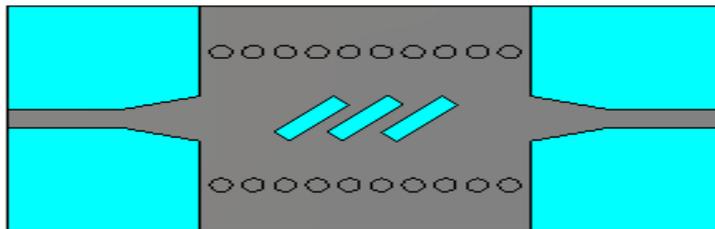


Figure III-34 : La structure de l'antenne LWA basée sur SIW dans la bande X, avec $l_s=2$.

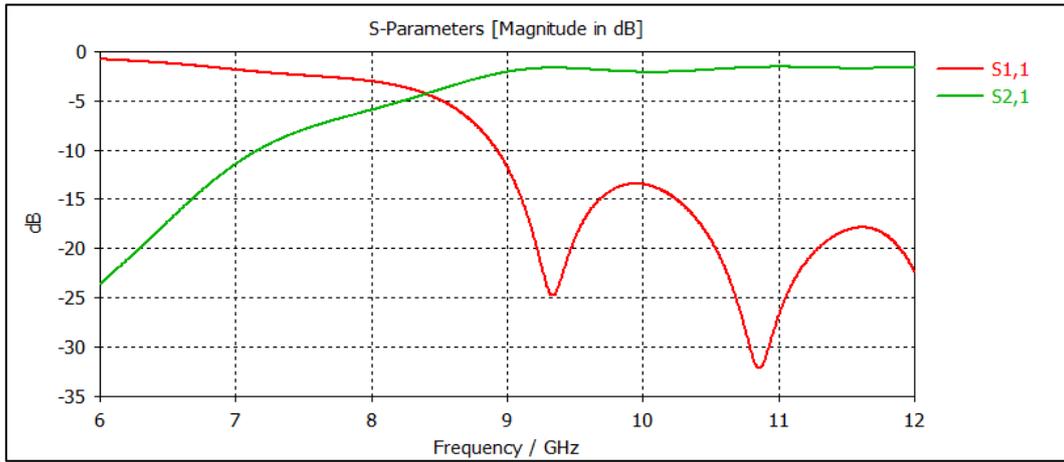


Figure III-35 : Coefficient de transmission S21 et de réflexion S11 de LWA.

Le résultat de simulation obtenu à l’aide du logiciel CST est représenté sur la figure III-35 L’antenne a été conçue pour résonner à la fréquence de 8 GHz.

A partir de la figure III-35 nous remarquons qu’il y a une transmission à partir de la fréquence de coupure et il existe des pics de S11 qui sont inférieurs à -30 dB dans la bande de fréquence.

F=9.336GHZ

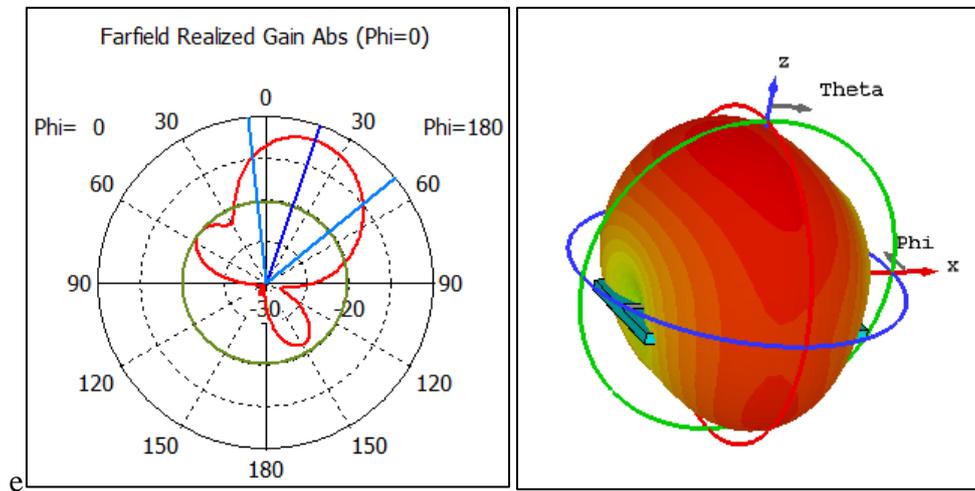
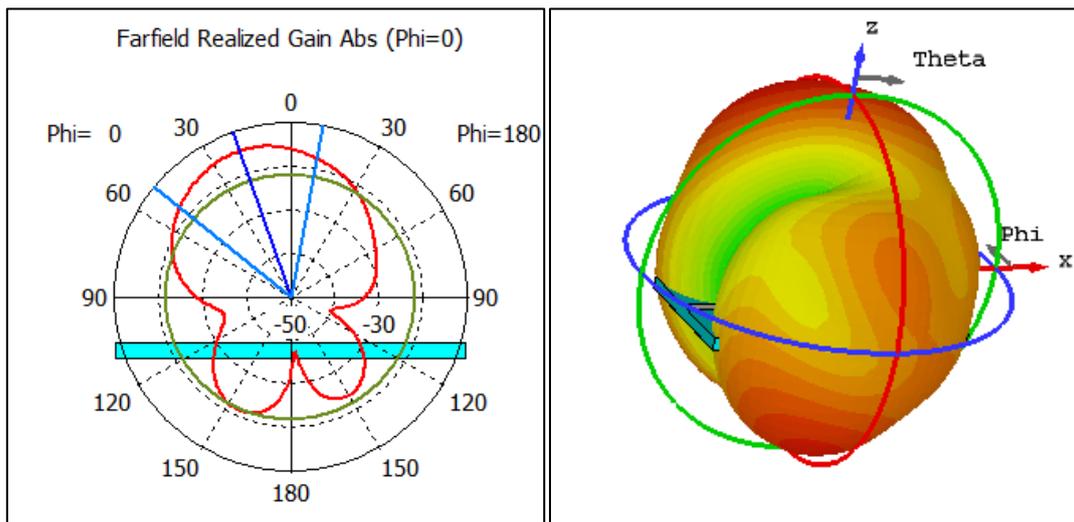


Figure III-36 : Diagramme de rayonnement de l’antenne LWA avec trois fentes opérant dans la bande x dans le plan polaire.

Figure III-37 : Diagramme de rayonnement de l’antenne LWA avec trois fentes opérant dans la bande x dans le plan 3-D.

Pour la fréquence 9.33GHz on a obtenu des angles d'ouverture de pour $\phi=0^\circ$. On remarque une diminution importante au niveau de cet angle. Le diagramme montre une antenne Multi directionnel. Il y a un lobe principale et deux lobes secondaires .On remarque que le lobe principal a une ouverture de largeur de l'angle à la valeur de 3dB égale à 56.7° pour une direction de 19.0° à la fréquence de résonance de 9.33GHz et que les autres lobes secondaires rayonnent faiblement dans d'autres directions.

F=10.86 GHZ

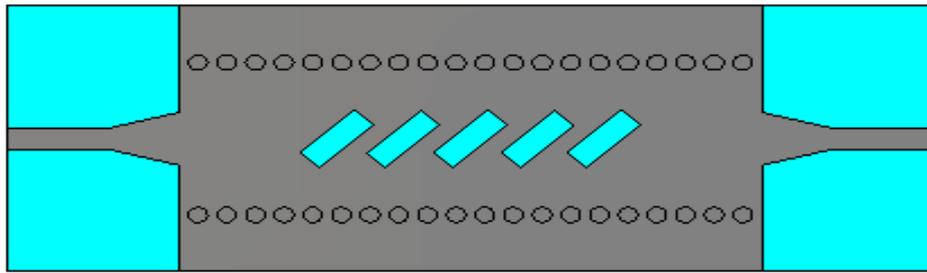


FigureIII-38 : Diagramme de rayonnement de l'antenne LWA avec trois fentes opérant dans la bande x dans le plan polaire.

FigureIII-39 : Diagramme de rayonnement de l'antenne LWA avec trois fentes opérant dans la bande x dans le plan 3-D.

Pour la fréquence 10.86GHz on a obtenu des angles d'ouverture de pour $\phi=0^\circ$. On remarque une diminution importante au niveau de cet angle. Le diagramme montre une antenne Multi directionnel. Il y a un lobe principale et plusieurs lobes secondaires. On remarque que le lobe principal a une ouverture de largeur de l'angle à la valeur de 3dB égale à 60.8° pour une direction de 19.0° à la fréquence de résonance de 10.86GHz et que les autres lobes secondaires rayonnent faiblement dans d'autres directions.

III.2.4.2.2 Antenne à onde de fuite avec 20 vias



FigureIII-40: La structure de l'antenne LWA basée sur SIW dans la bande X, avec $l_s=2$.

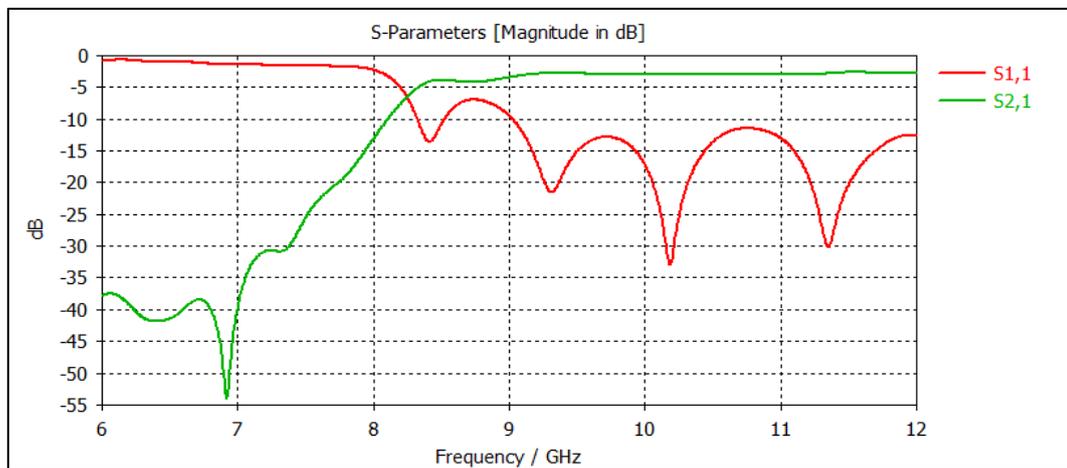
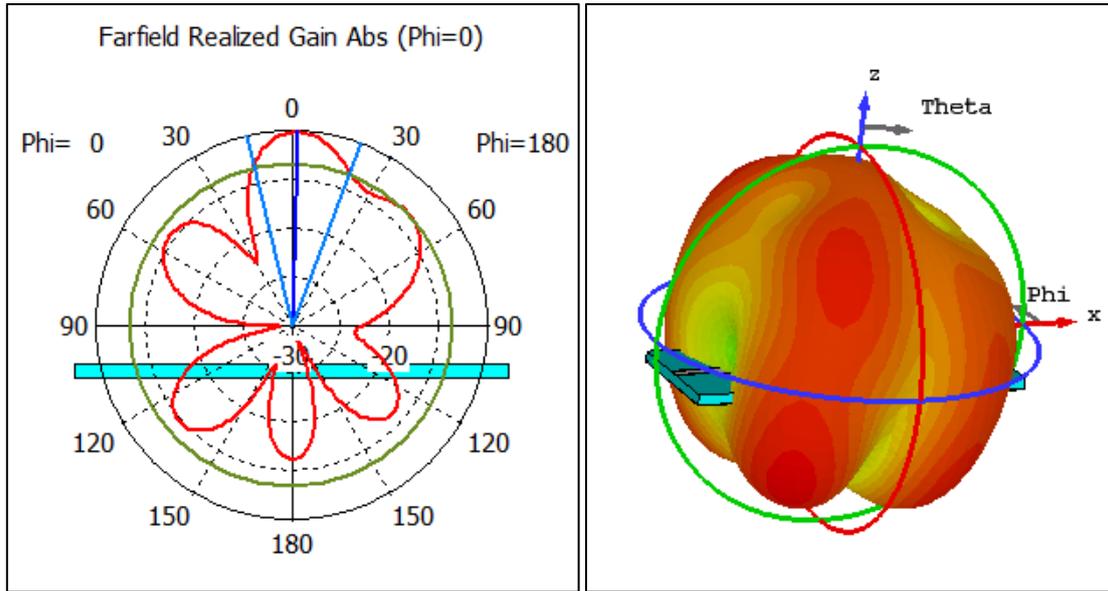


Figure III-41: Coefficient de transmission S₂₁ et de réflexion S₁₁ de LWA.

A partir de la figure III.41 nous remarquons qu'il y a une transmission à partir de la fréquence de coupure et il existe des pics de S₁₁ qui sont inférieurs à -30 dB dans la bande de fréquence.

F= 10.188GHZ



FigureIII-42 : Diagramme de rayonnement de l’antenne LWA avec cinq fentes opérant dans la bande x dans le plan polaire.

FigureIII-43 : Diagramme de rayonnement de l’antenne LWA avec cinq fentes opérant dans la bande x dans le plan 3-D.

Pour la fréquence 10.18GHz on a obtenu des angles d’ouverture de pour $\phi=0^\circ$. On remarque une diminution importante au niveau de cet angle. Le diagramme montre une antenne Multi directionnel. Il y a un lobe principal et plusieurs lobes secondaires. On remarque que le lobe principal a une ouverture de largeur de l’angle à la valeur de 3dB égale à 34.1° pour une direction de 2.0° à la fréquence de résonance de 10.18GHz et que les autres lobes secondaires rayonnent faiblement dans d’autres directions.

F= 11.352 GHZ

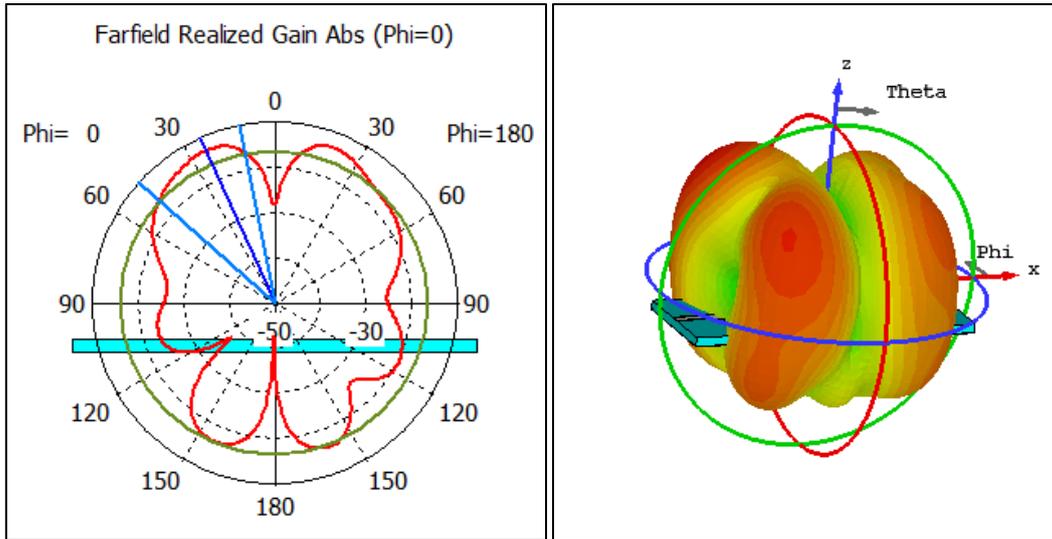


Figure III-44 : Diagramme de rayonnement de l'antenne LWA avec cinq fentes opérant dans la bande x dans le plan polaire.

Figure III-45 : Diagramme de rayonnement de l'antenne LWA avec cinq fentes opérant dans la bande x dans le plan 3-D.

Pour la fréquence 11.35 GHz on a obtenu des angles d'ouverture de pour $\phi=0^\circ$. On remarque une diminution importante au niveau de cet angle. Le diagramme montre une antenne Multi directionnel. Il y a un lobe principal et plusieurs lobes secondaires. On remarque que le lobe principal a une ouverture de largeur de l'angle à la valeur de 3dB égale à 37.1° pour une direction de 24.0° à la fréquence de résonance de 11.35GHz et que les autres lobes secondaires rayonnent faiblement dans d'autres directions.

III.2.4.2.3 Antenne à onde de fuite 30vias

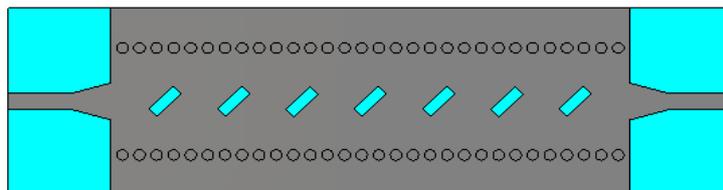


Figure III-46 : La structure de l'antenne LWA basée sur SIW dans la bande X, avec $l_s=1.5$.

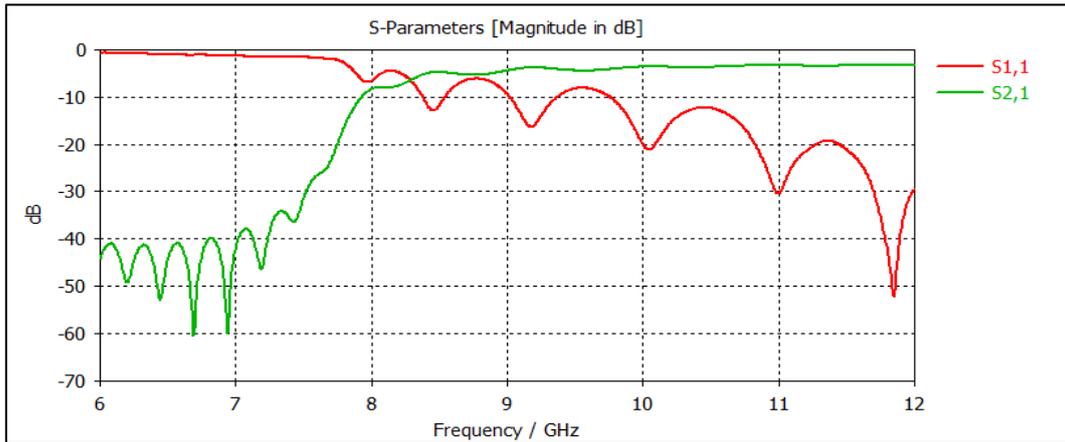
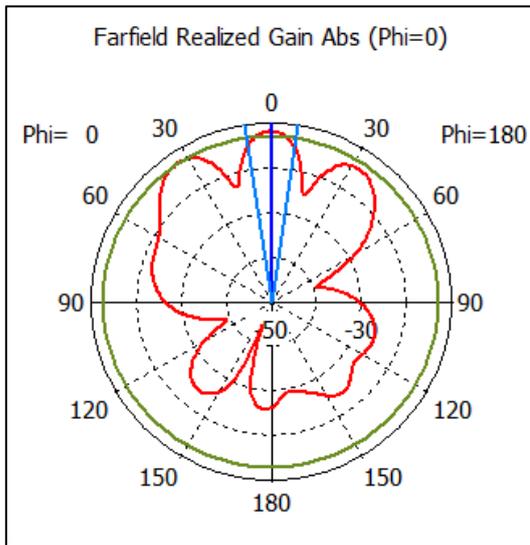


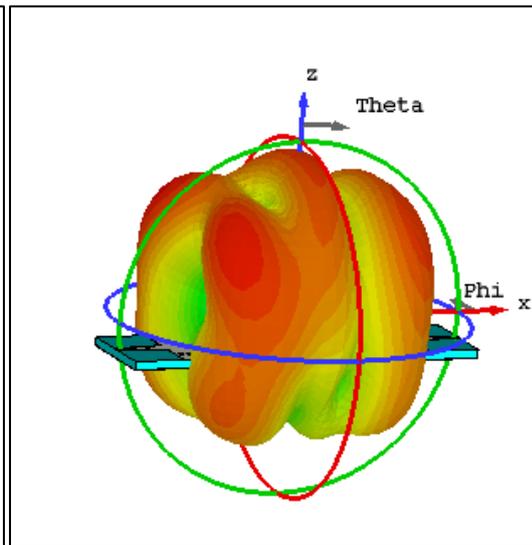
Figure III-47 : Coefficient de transmission S21 et de réflexion S11 de LWA.

A partir de la figure III-47 nous remarquons qu’il y a une transmission à partir de la fréquence de coupure et il existe des pics de S11 qui sont inférieurs à -50 dB dans la bande de fréquence.

F=10.998 GHZ



FigureIII-48 : Diagramme de rayonnement de l’antenne LWA avec sept fentes opérant dans la bande x dans le plan polaire.

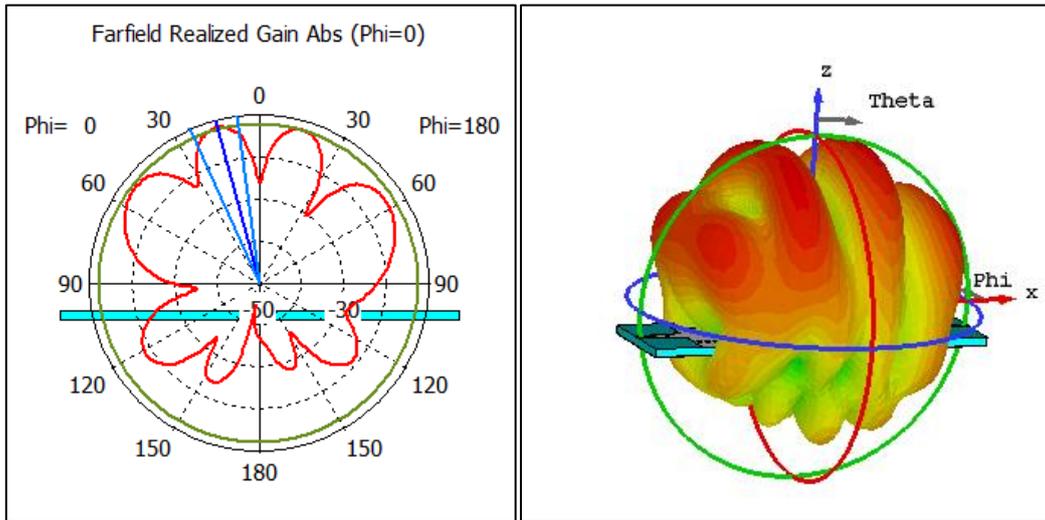


FigureIII-49 : Diagramme de rayonnement de l’antenne LWA avec sept fentes opérant dans la bande x dans le plan 3-D.

Pour la fréquence 10.99 GHz on a obtenu des angles d’ouverture de pour $\phi=0^\circ$. On remarque une diminution importante au niveau de cet angle. Le diagramme montre une antenne Multi directionnel. Il y a un lobe principale et plusieurs lobes secondaires .on

remarque que le lobe principal a une ouverture de largeur de l'angle à la valeur de 3dB égale à 16.7° pour une direction de 0.0° à la fréquence de résonance de 10.99GHz et que les autres lobes secondaires rayonnent faiblement dans d'autres directions.

F=11.85 GHZ



FigureIII-50: Diagramme de rayonnement de l'antenne LWA avec sept fentes opérant dans la bande x dans le plan polaire.

FigureIII-51 : Diagramme de rayonnement de l'antenne LWA avec sept fentes opérant dans la bande x dans le plan 3-D.

Pour la fréquence 11.85 GHz on a obtenu des angles d'ouverture de pour $\phi=0^\circ$. On remarque une diminution importante au niveau de cet angle. Le diagramme montre une antenne Multi directionnel. Il y a un lobe principal et plusieurs lobes secondaires. On remarque que le lobe principal a une ouverture de largeur de l'angle à la valeur de 3dB égale à 16.5° pour une direction de 15.0° à la fréquence de résonance de 11.85GHz et que les autres lobes secondaires rayonnent faiblement dans d'autres directions.

III.2.5 Résultats de simulation des antennes à onde de fuite reconfigurable

III.2.5.1 En bande C

III.2.5.1.1 Antenne à onde de fuite reconfigurable 10vias

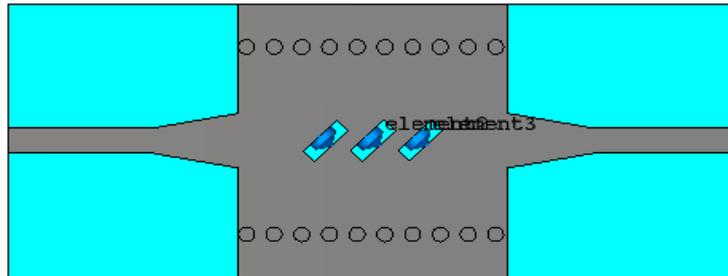


Figure III-52 : Structure du AOF reconfigurable fonctionnant dans la bande C.

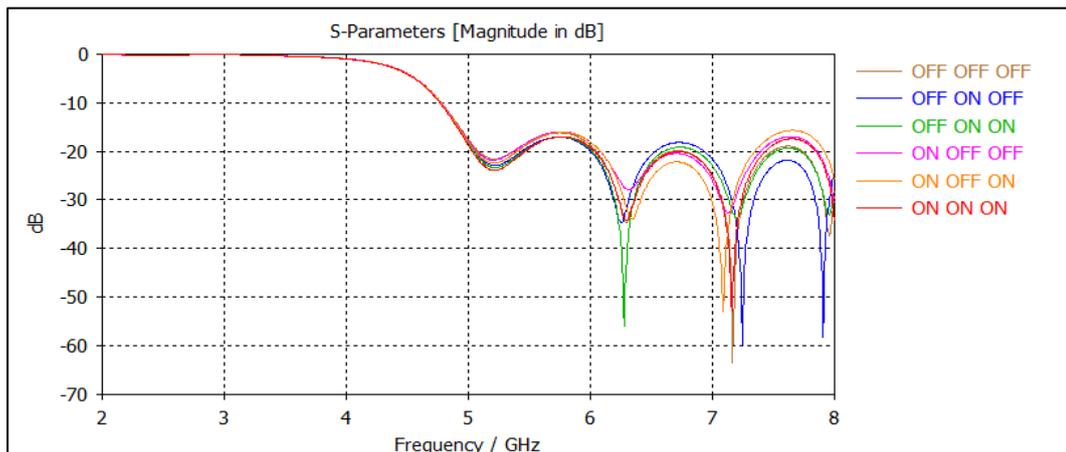


Figure III-53 : Paramètres [S] du AOF reconfigurable en bande C.

La figure III-53 présente étude paramétrique d'un AOF avec diode .Cette technique nous permet de balayer la fréquence de l'antenne de manière discret. Donc il existe une reconfigurabilité.

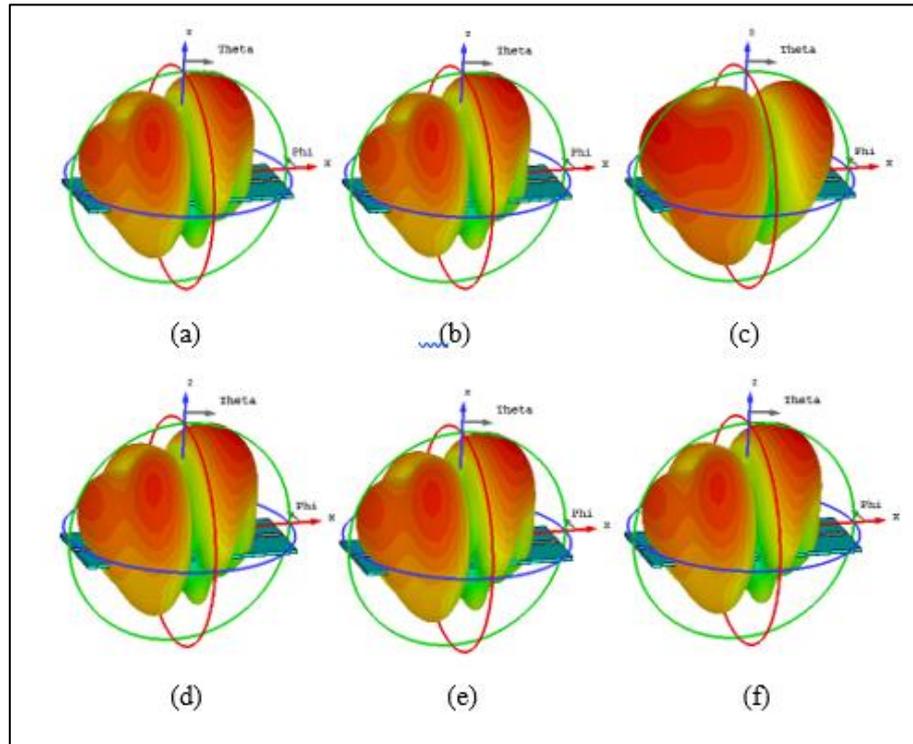


Figure III-54 : Diagrammes de rayonnements de l'antenne LWA reconfigurable opérant dans la bande C dans le plan 3-D.

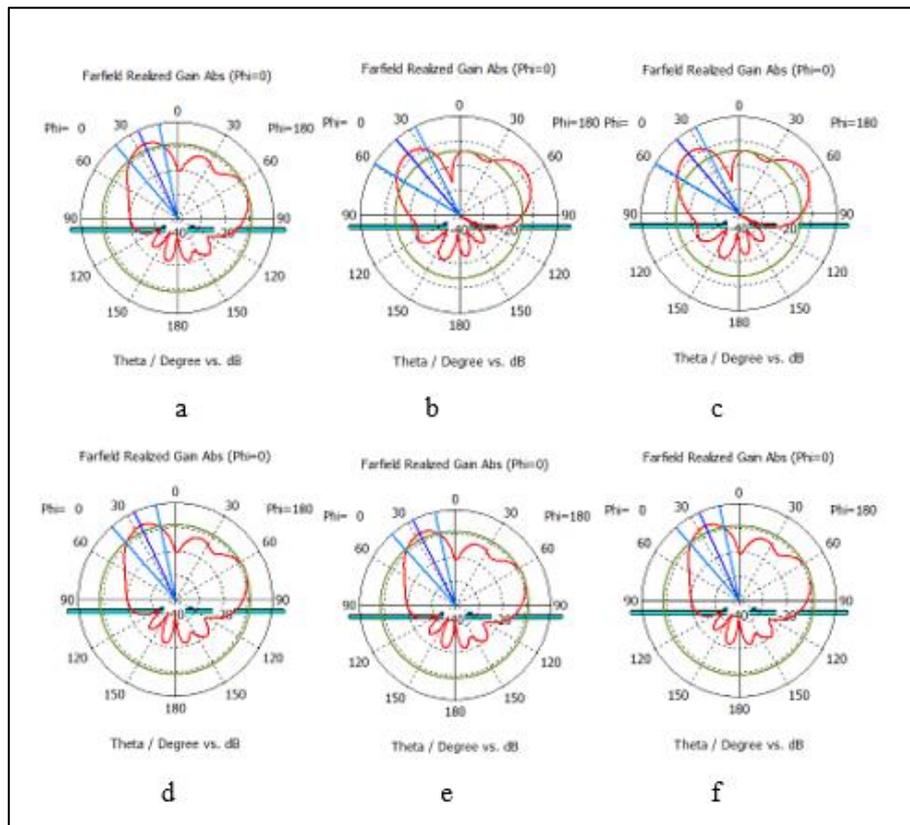
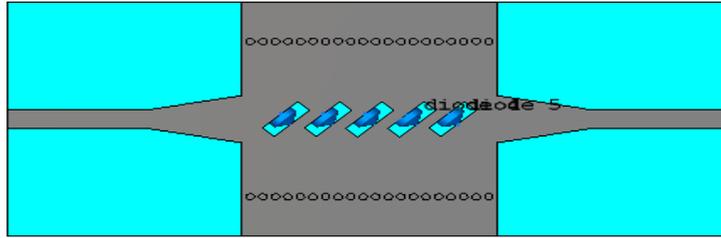


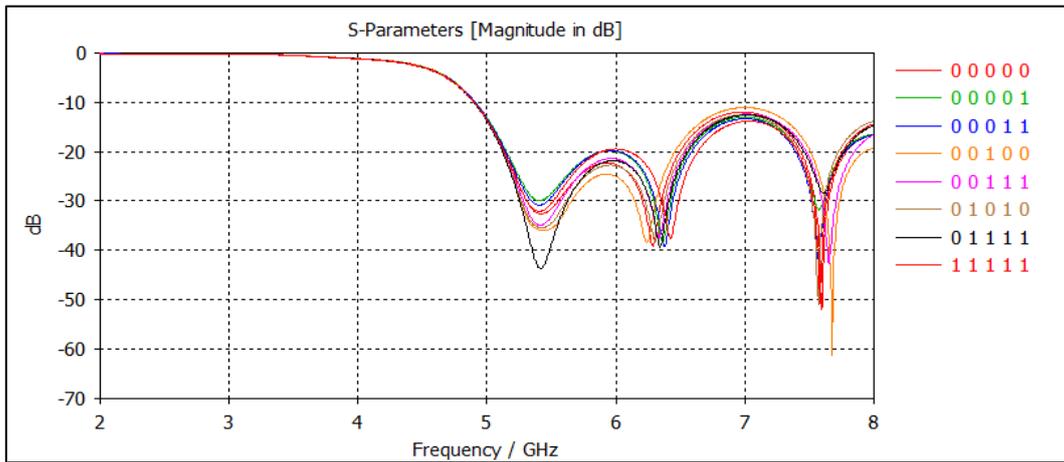
Figure III-55 : Diagrammes de rayonnements de l'antenne LWA reconfigurable opérant dans la bande C dans le plan polaire.

(a)	OFF OFF OFF	(b)	OFF ON OFF	(c)	OFF ON ON
(d)	ON OFF OFF	(e)	ON OFF ON	(f)	ON ON ON

III.2.5.1.2 Antenne à onde de fuite reconfigurable avec 20 vias



FigureIII-56 : Structure LWA avec diode fonctionnant dans la bande C.



FigureIII-57 : Paramètres [S] du LWA reconfigurable en bande C.

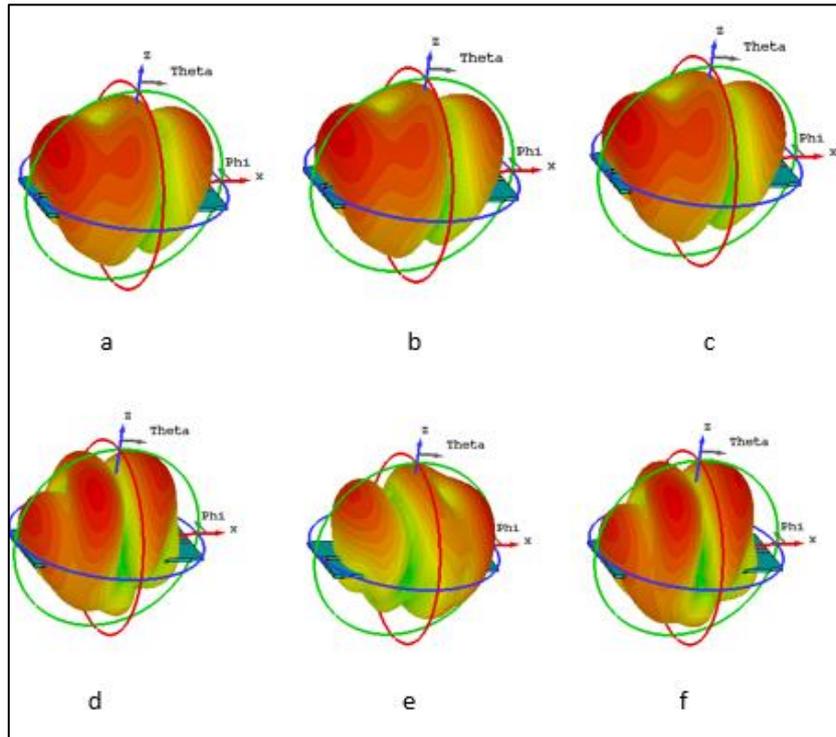


Figure III-58 : Diagrammes de rayonnements de l’antenne LWA reconfigurable opérant dans la bande c dans le plan 3-D.

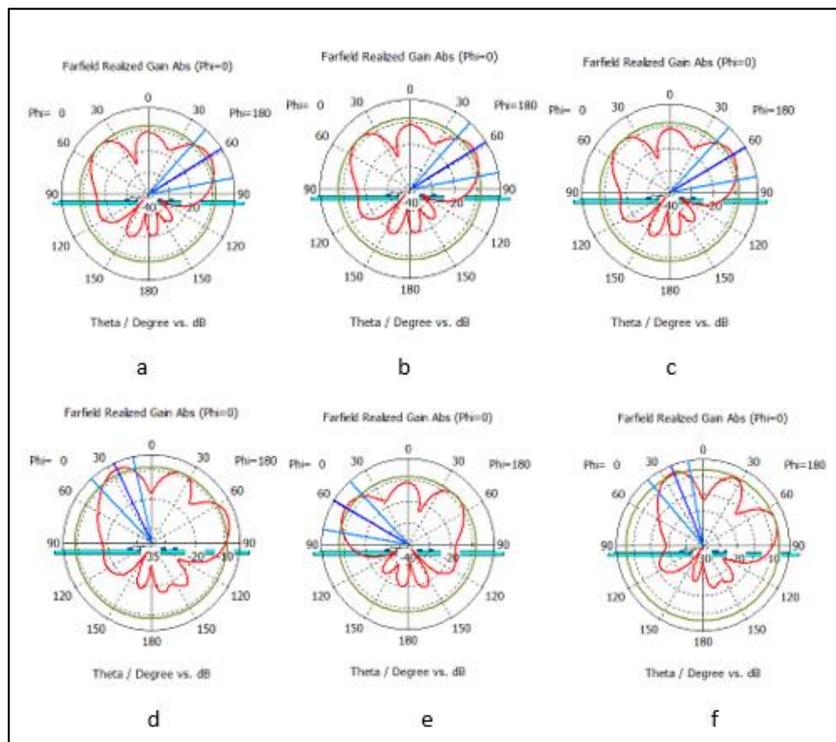


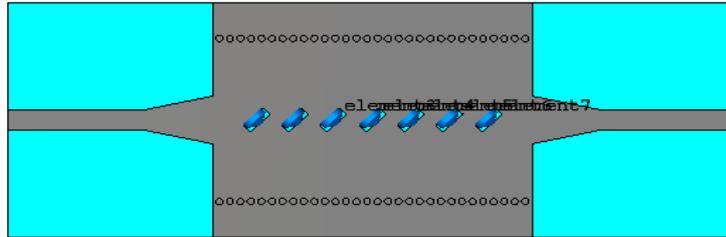
Figure III-59 : Diagrammes de rayonnements de l’antenne LWA reconfigurable opérant dans la bande c dans le plan polaire.

(a)	0 1 1 1 1	(b)	0 0 0 1 1	(c)	1 1 1 1 1
(d)	0 1 0 1 0	(e)	0 0 0 0 0	(f)	0 0 1 0 0

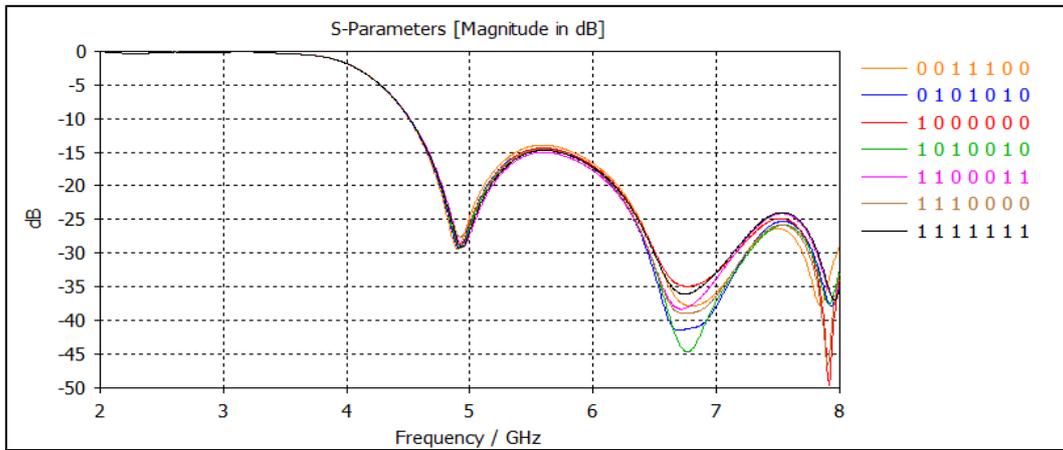
1 → diode ON.

0 → diode OFF.

III.2.5.1.3 Antenne à onde de fuite reconfigurable avec 30 vias



FigureIII-60 : Structure du LWA avec diode fonctionnant dans la bande C.



FigureIII-61 : Paramètres [S] du LWA reconfigurable en bande C.

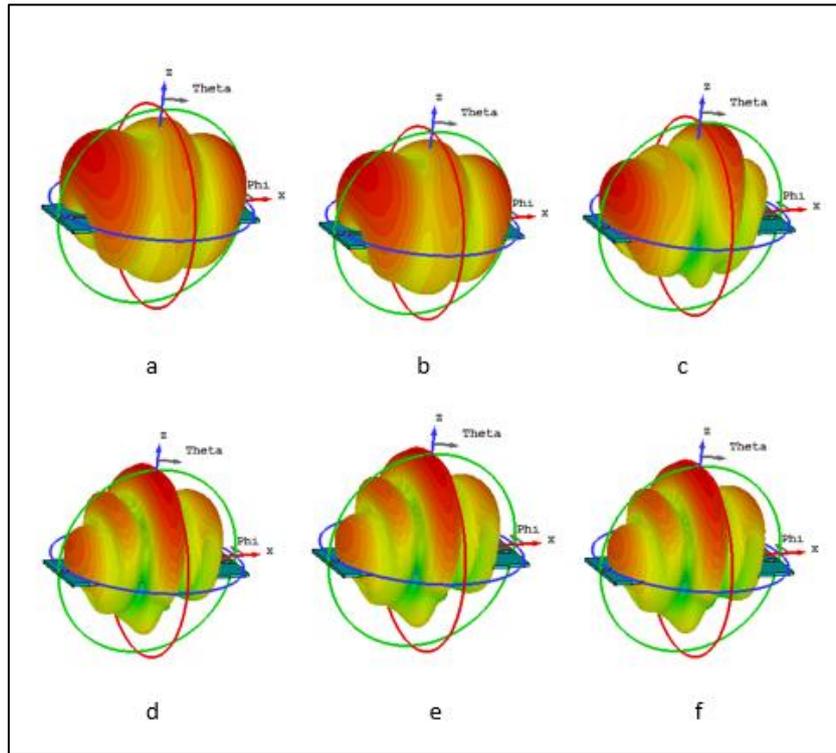


Figure III-62: Diagrammes de rayonnements de l'antenne LWA reconfigurable opérant dans la bande c dans le plan 3-D.

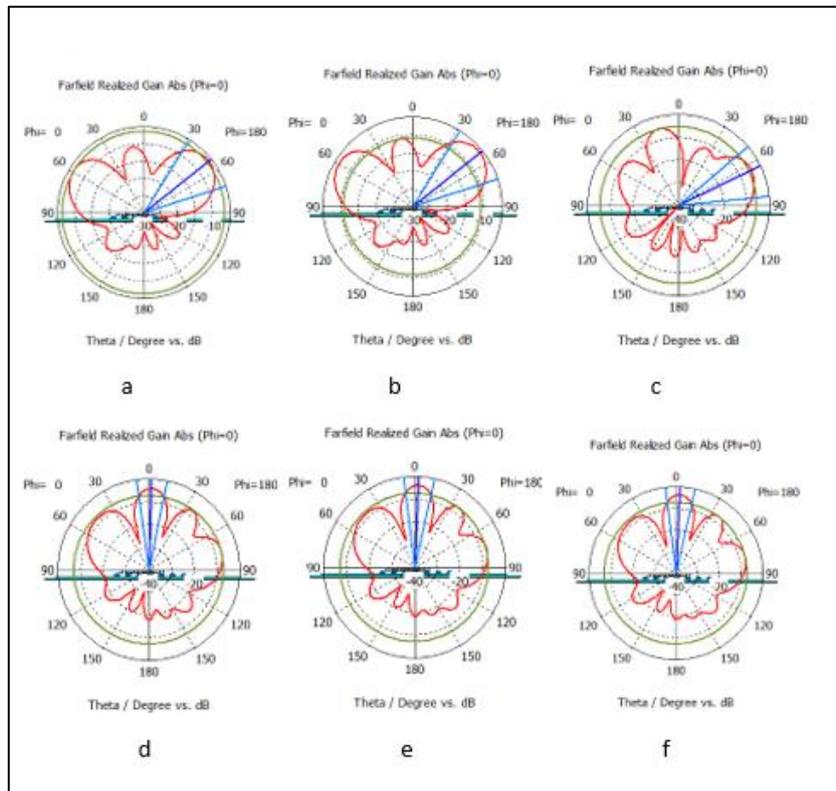


Figure III-63: Diagrammes de rayonnements de l'antenne LWA reconfigurable opérant dans la bande c dans le plan polaire.

(a)	1 0 0 0 0 0 0	(b)	1 1 1 1 1 1 1	(c)	1 0 1 0 0 1 0
(d)	0 0 1 1 1 0 0	(e)	1 0 0 0 0 0 0	(f)	0 1 0 1 0 1 0

III.2.5.2 En Bande X

III.2.5.2.1 Antenne à onde de fuite reconfigurable 10vias



Figure III-64 : Structure du LWA avec diode fonctionnant dans la bande X.

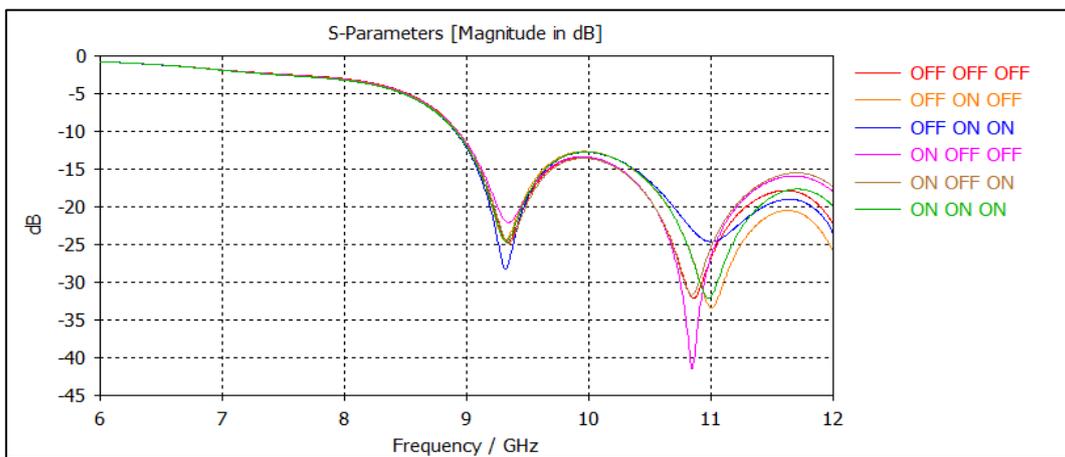


Figure III-65 : Paramètres [S] du LWA reconfigurable en bande X.

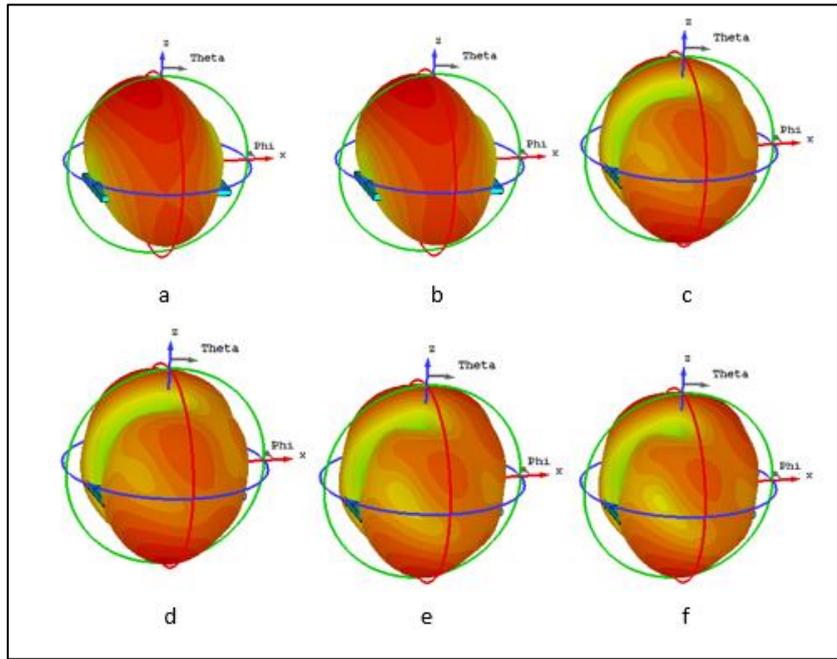


Figure III-66 : Diagrammes de rayonnements de l’antenne LWA reconfigurable opérant dans la bande x dans le plan 3-D.

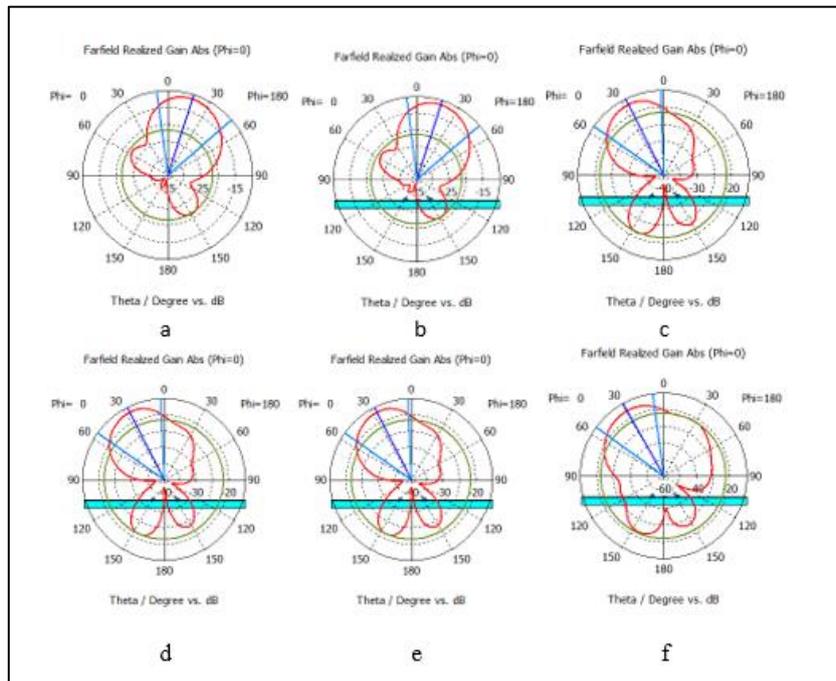
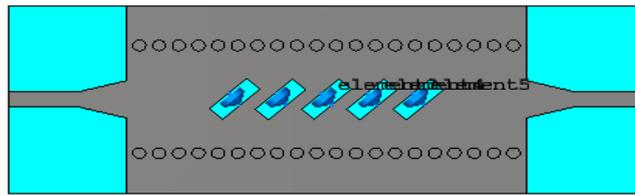


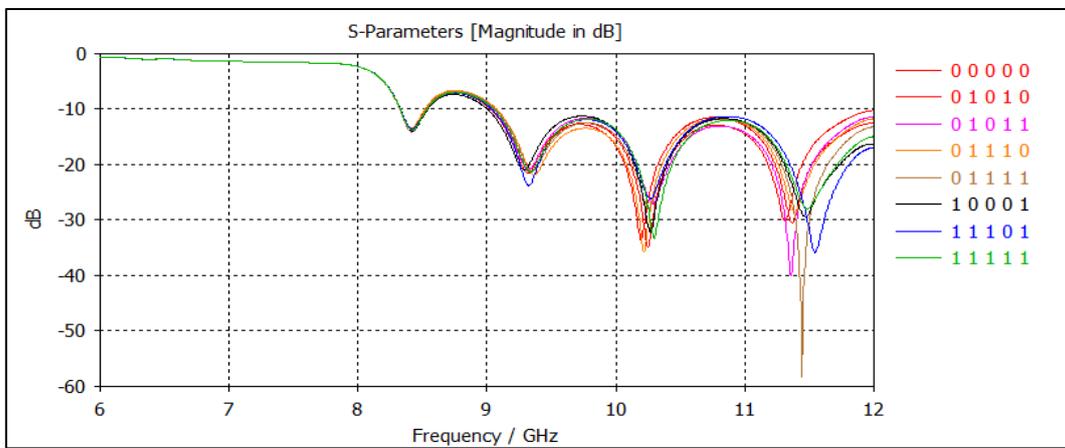
Figure III-67: Diagrammes de rayonnements de l’antenne LWA reconfigurable opérant dans la bande x dans le plan polaire.

- | | | | | | |
|-----|-------------|-----|-----------|-----|------------|
| (a) | OFF ON ON | (b) | ON OFF ON | (c) | ON OFF OFF |
| (d) | OFF OFF OFF | (e) | ON ON ON | (f) | OFF ON OFF |

III.2.5.2.2 Antenne à onde de fuite reconfigurable avec 20 vias



FigureIII-68 : Structure du LWA avec diode fonctionnant dans la bande X.



FigureIII-69 : Paramètres [S] du LWA reconfigurable en bande X

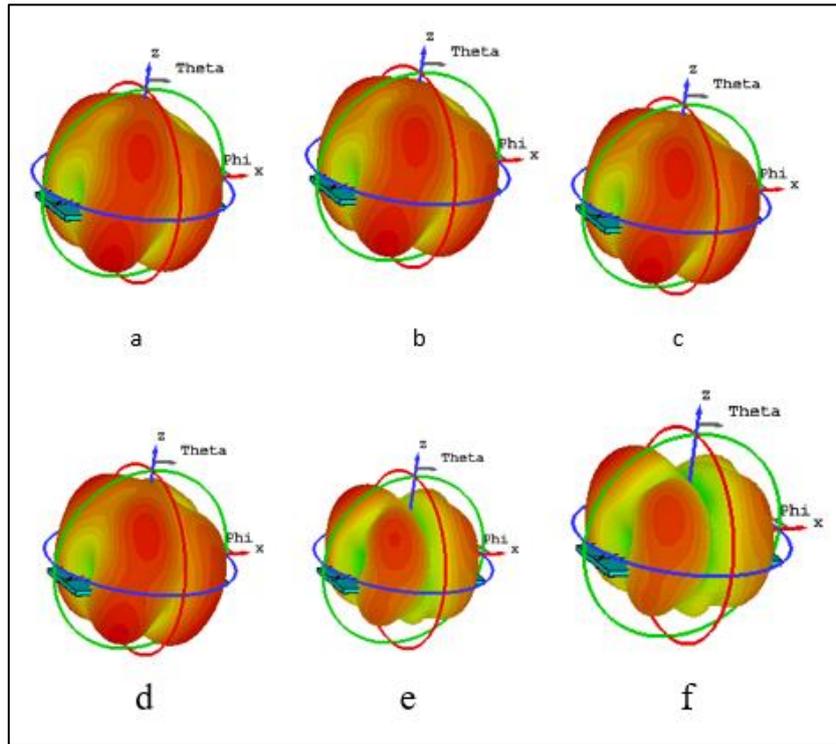


Figure III-70 : Diagrammes de rayonnements de l'antenne LWA reconfigurable opérant dans la bande x dans le plan 3-D.

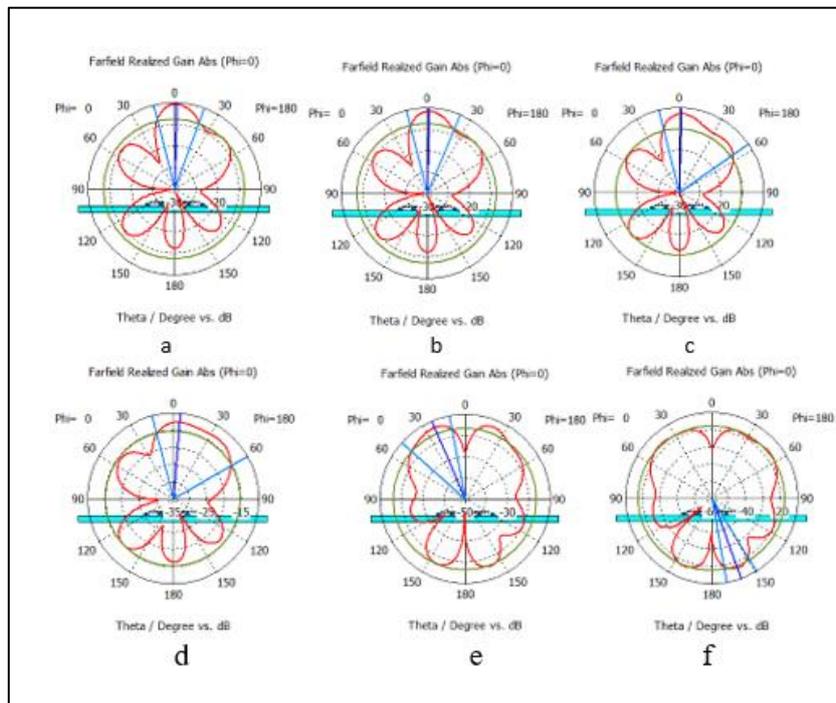
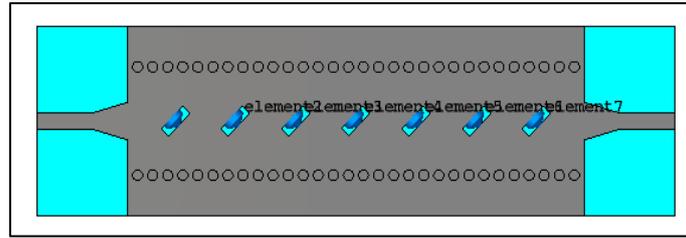


Figure III-71 : Diagrammes de rayonnements de l'antenne LWA reconfigurable opérant dans la bande x dans le plan polaire.

(a)	0 0 0 0 0	(b)	0 1 1 1 0	(c)	0 1 0 1 0
(d)	1 1 1 1 1	(e)	0 1 0 1 1	(f)	0 1 1 1 1

III.2.5.2.3 Antenne à onde de fuite reconfigurable avec 30 vias



FigureIII-72 : Structure du LWA avec diode fonctionnant dans la bande X.

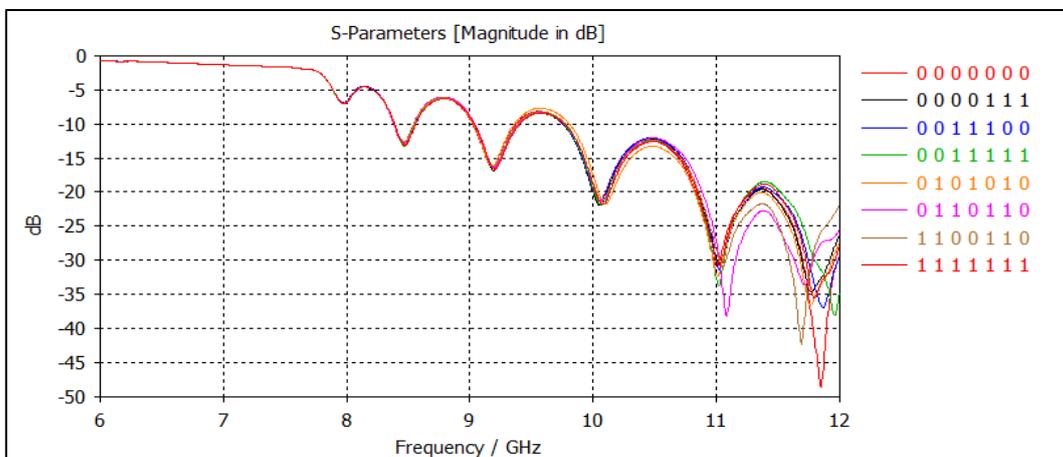


Figure III-73 : Structure du AOF reconfigurable fonctionnant dans la bande X.

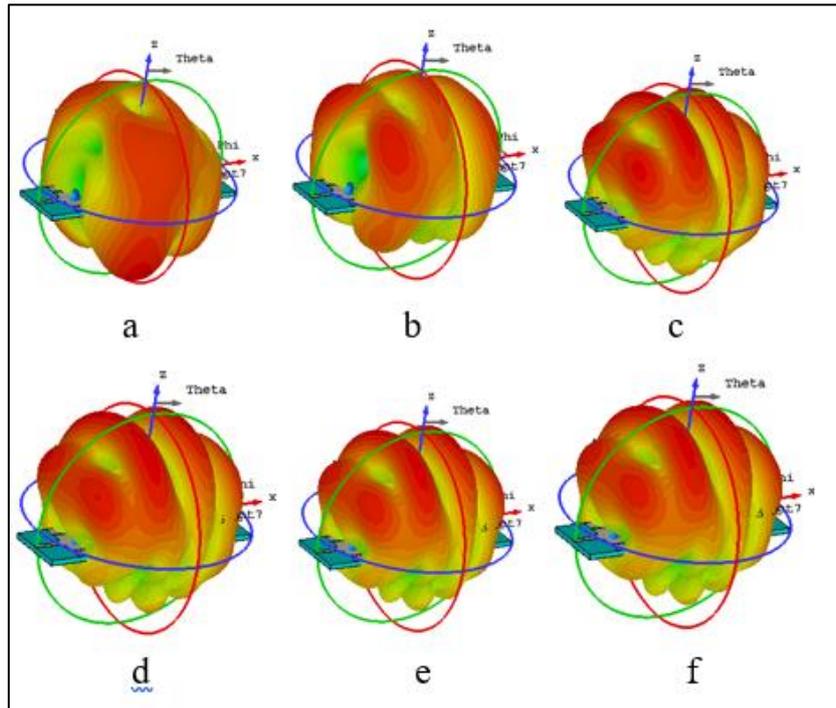


Figure III-74 : Diagrammes de rayonnements de l'antenne LWA reconfigurable opérant dans la bande x dans le plan 3-D.

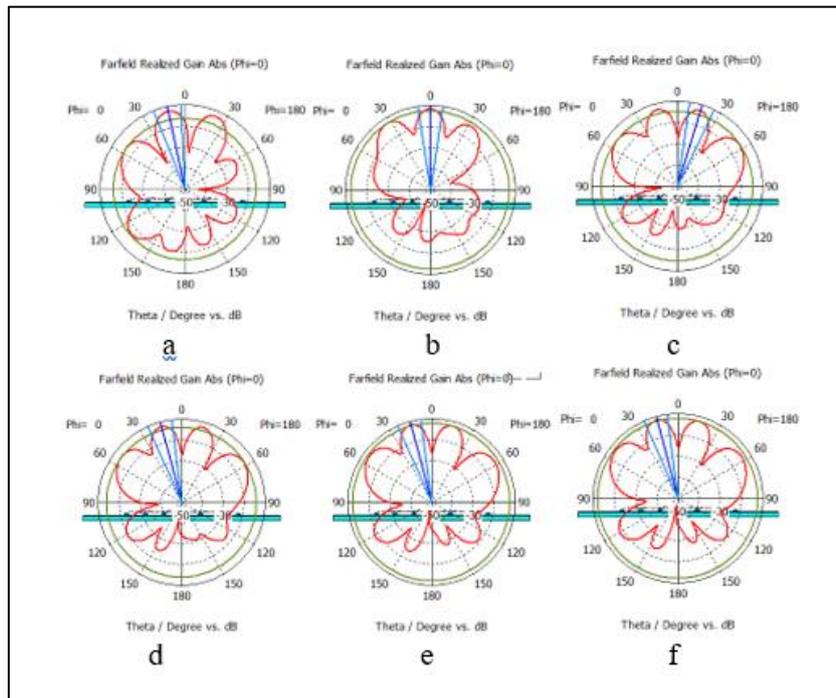


Figure III-75 : Diagrammes de rayonnements de l'antenne LWA reconfigurable opérant dans la bande x dans le plan polaire.

(a) 1 1 1 1 1 1 1
(d) 0 1 0 1 0 1 0

(b) 0 0 0 0 1 1 1
(e) 0 0 0 0 0 0 0

(c) 1 1 0 0 1 1 0
(f) 0 0 1 1 1 0 0

III.2.6 Résultats de simulation en half-mode

Maintenant nous allons réduire la taille de près de 50 % sans détériorer la performance d’antenne SIW, c’est à dire nous avons coupé notre antenne précédent en deux . Cette nouvelle structure réalisée dit HMSIW «half mode substrateinte grated wave guide», qui est représenté sur la figure III.79

III.2.6.1 Half mode en bande C

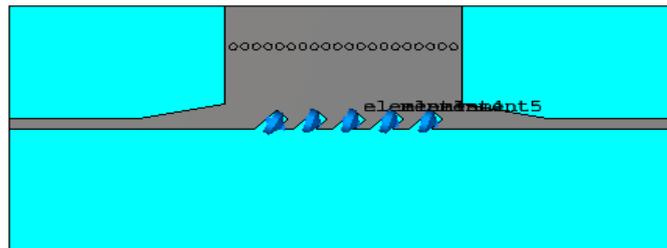
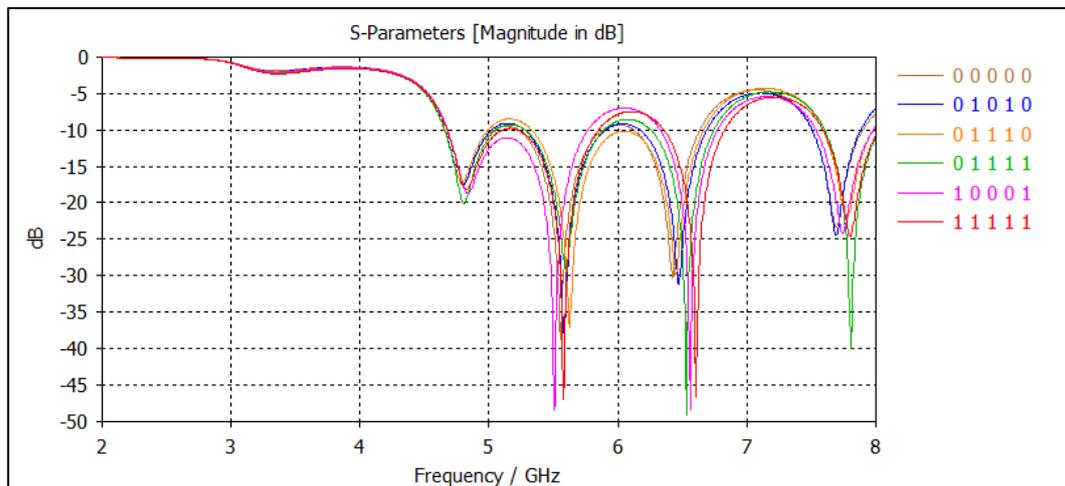


Figure III-76 : Structure LWA avec diode en mode half fonctionnant dans la bande C.



FigureIII-77 : Paramètres [S] du AOF reconfigurable en Half mode (bande C).

La figure III-77 présente étude paramétrique d’un AOF en half mode avec diode.

Il est clair que la fréquence centrale de guide d’onde est de 4 GHz et la largeur de bande est d’environ [4-8 GHz]. Nous remarquons à travers la figure III.80 Une bonne concordance entre les résultats simulés du AOF reconfigurable et ceux obtenus avec HM. Donc on a la même performance du AOF HM que celle du AOF.

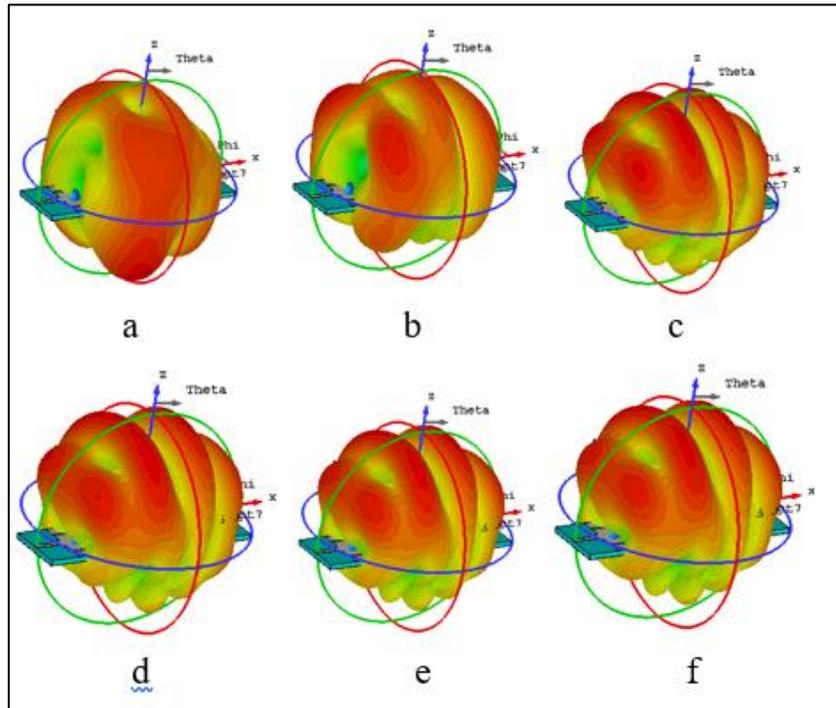


Figure III-78 : Diagrammes de rayonnements de l’antenne LWA en mode half operant dans la bande c dans le plan 3-D.

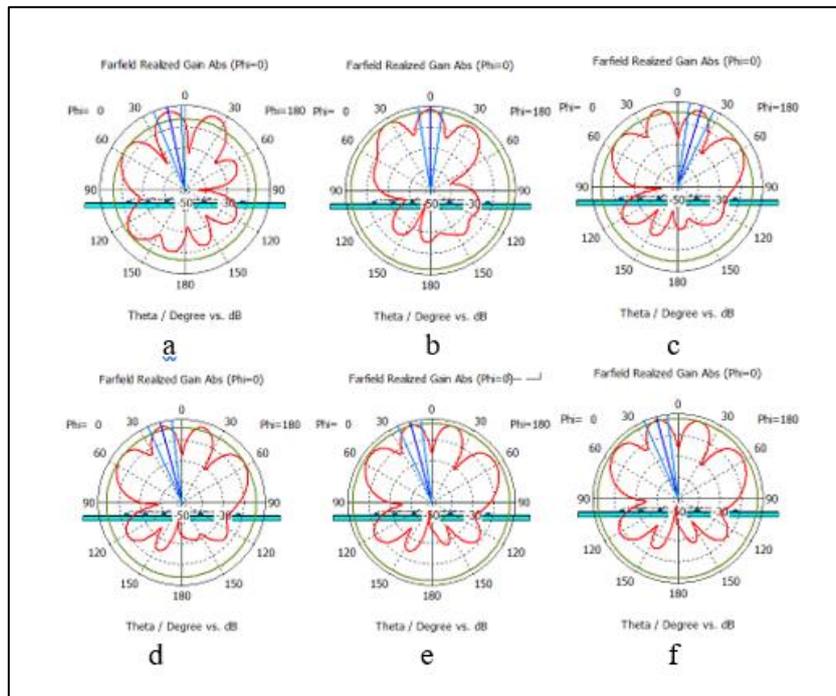


Figure III-79 : Diagrammes de rayonnements de l’antenne LWA en mode half opérant dans la bande c dans le plan polaire.

(a)	0 0 0 0 0	(b)	1 1 1 1 1	(c)	0 1 1 1 0
(d)	0 1 0 1 0	(e)	1 0 0 0 0	(f)	0 1 1 1 1

III.2.6.2 Half mode en bande X

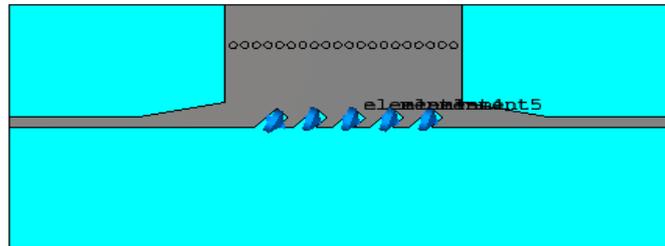


Figure III-80 : Structure LWA avec diode en mode half fonctionnant dans la bande X.

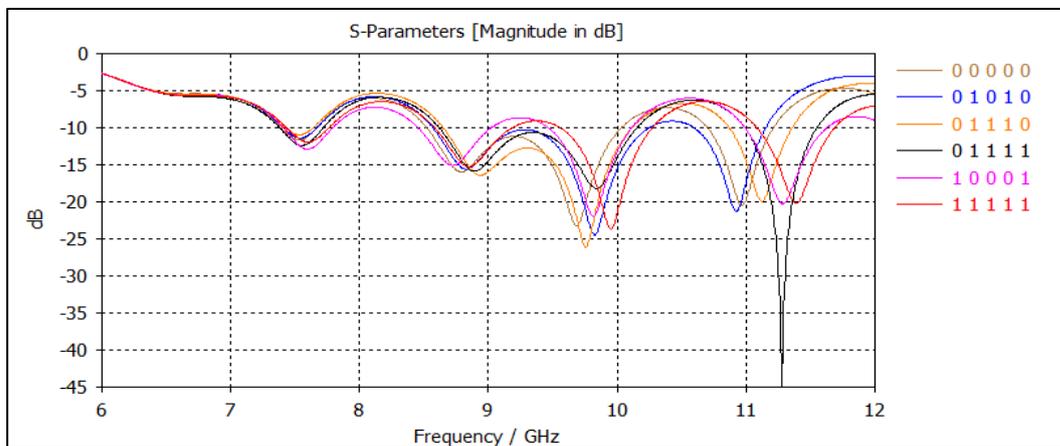


Figure III-81 : Paramètres [S] d’AOF reconfigurable en Half mode (bandeX).

La figure III-81 présente étude paramétrique d’un AOF reconfigurable en half mode .les résultats est plutôt satisfaisant car nous retrouvons qu’ils sont identiques à ceux du AOF avec diode. Nous remarquons que la transmission reste toujours maximale autour de -3 dB dans la bande fréquentielle [8-12 GHz] ainsi qu’une bonne réflexion avec un pic de -45dB pour une fréquence de 8 GHz.

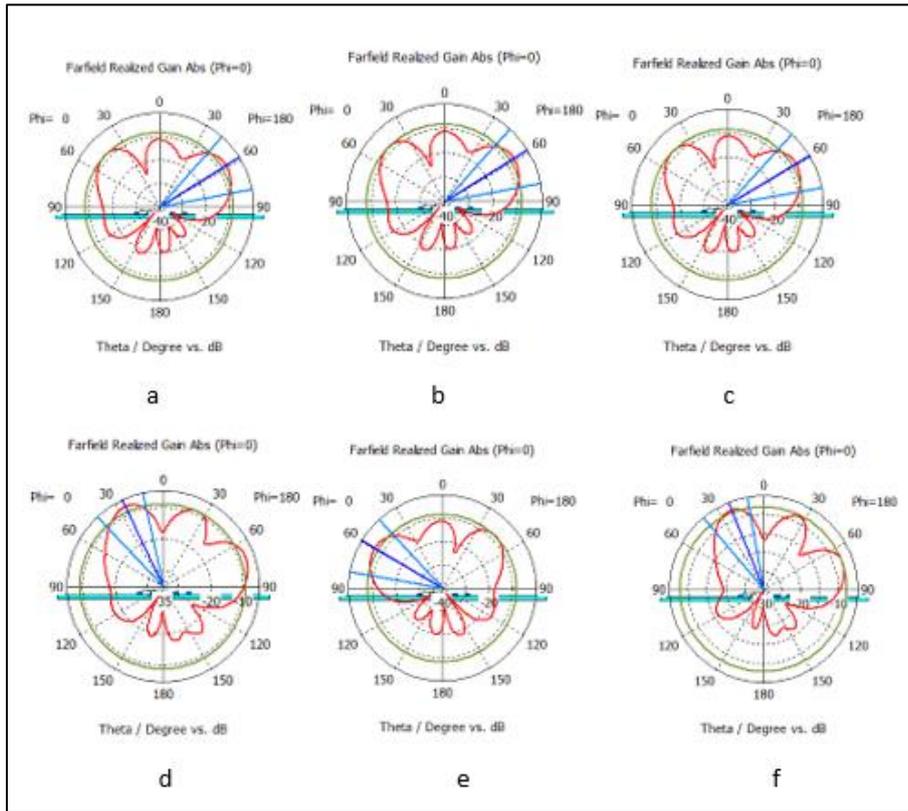
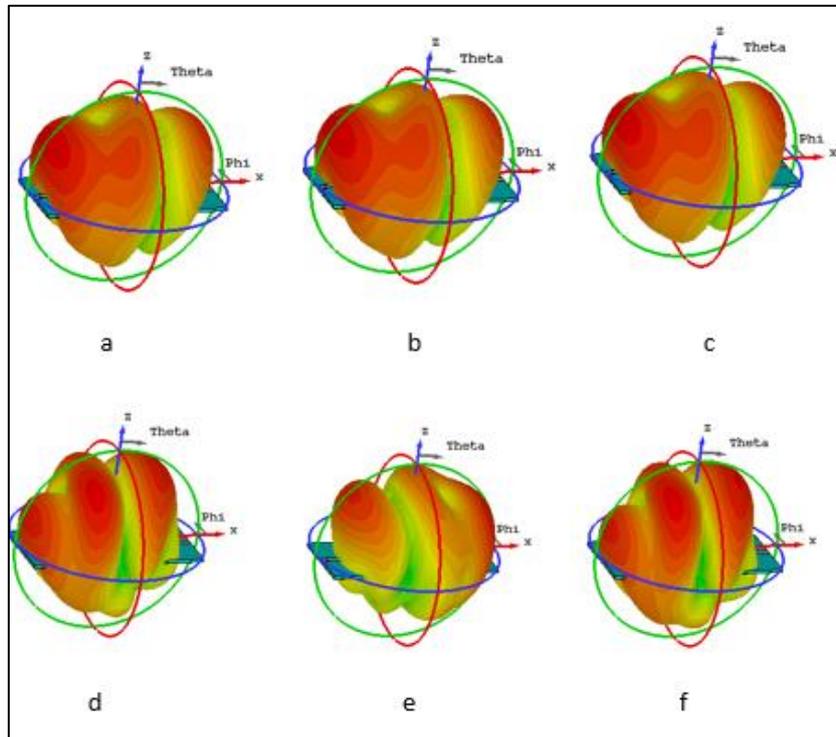


Figure III-82 : Diagrammes de rayonnements de l’antenne LWA reconfigurable en mode half opérant dans la bande x dans le plan polaire.



FigureIII-83 : Diagrammes de rayonnements de l’antenne LWA reconfigurable en mode half opérant dans la bande x dans le plan 3-D.

(a)	0 1 1 1 0	(b)	1 0 0 0 1	(c)	0 1 0 1 0
(d)	0 0 0 0 0	(e)	0 1 1 1 1	(f)	1 1 1 1 1

I.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons réalisé des guide SIW et effectué quelques simulations dans les bandes C et X à l'aide du logiciel CST, Après on a ajouté des fentes pour obtenu des AOF, Finalement pour une AOF reconfigurable on ajoute des diodes pin.

Des résultats intéressants ont été obtenus concernant les guides SIW et AOF et on half mode. D'après les résultats de simulation, nous pouvons conclure qu'il y a une reconfigurabilité de fréquence après l'ajoute des diodes.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les antennes reconfigurables suscitent depuis quelques années un intérêt croissant, dans la mesure où elles apparaissent de plus en plus apportées des solutions nouvelles et enrichissantes à l'interface entre le milieu et l'étage d'extrémité des terminaux ou stations mettant en œuvre des approches de radio flexible. En effet, les antennes reconfigurables offrent la possibilité de déléguer à l'antenne elle-même une partie des fonctionnalités généralement réservées à l'étage radio ou au traitement du signal numérique.

Dans le premier chapitre nous avons présenté une généralité sur les antennes reconfigurables. Les types de reconfiguration étudiés concernent la fréquence, la polarisation et le diagramme de rayonnement. Nous nous sommes intéressés à l'optimisation et à la conception d'antennes reconfigurables dédiées pour les systèmes de télécommunication multistandard.

Ensuite, nous avons consacré un deuxième chapitre pour parler, dans une première étape des généralités sur la technologie de guide d'onde grâce à ses avantages, les lignes de propagation ainsi que leurs topologies sont réalisées. Puis une nouvelle technologie SIW qui a le même principe des guides d'ondes rectangulaires. Nous avons parlé, des généralités sur la technologie des guides d'onde et des lignes de transmission planaires puis nous avons passé à la technologie des guides d'onde intégrés aux substrats qui est une technologie hybride, son concept est inspiré des deux autres technologies. Nous avons exposé la théorie des guides d'ondes classiques et planaires avec les différents types de technologies existantes. Après nous avons détaillé la technologie des guides d'ondes intégrés au substrat SIW qui a le même principe des guides d'ondes rectangulaires mais elle est plus performante et prometteuse en termes de fiabilité et de coût.

Enfin, le troisième chapitre a été consacré à la présentation des résultats de simulation que nous avons réussis à réaliser. Les résultats de simulation obtenus par le logiciel CST ont montré que les antennes conçues présentent de bonnes performances.

Dans un premier temps, un guide d'onde a été conçu opérant dans la bande C sur [4-8 GHz]. Dans un deuxième temps, nous avons conçu un guide d'onde opérant dans une autre bande de fréquence à savoir la bande X qui s'étale sur [8-12 GHz] et en utilisant la même méthode que pour la bande C. Plusieurs études paramétriques ont été effectuées sur différents paramètres des guides d'onde

Enfin le troisième chapitre constitue le cœur du travail réalisé. Il est consacré à la
Présentation des résultats de simulation en utilisant le logiciel commercial CST
MICROWAVE STUDIO qui porte sur la conception des guides SIW opérant dans les bandes
C et X ainsi que le demi mode HMSIW à base de ces guides d'ondes nous avons réalisés des
Coupleurs en Anneau de type Rat-race opérant dans les mêmes bandes.

ANNEXE

ANNEXE

Dans cette partie, nous avons présenté le logiciel de simulation CST Studio Suite, cet outil permet de réaliser plusieurs structures électromagnétiques avec différentes grandeurs et dimensions, pour la simulation et la conception.[1]

1. Description du logiciel de simulation CST Studio Suite

Aujourd'hui, le développement des programmes informatiques est basé sur les logiciels de simulations les plus utilisés dans les différents domaines.

Dans le domaine électromagnétique plusieurs logiciels de simulation sont disponibles, parmi ces logiciels, nous allons utiliser le logiciel de simulation électromagnétique CST Studio Suite.

Fondé en 1992, le logiciel de simulation électromagnétique CST STUDIO SUITE est l'aboutissement de nombreuses années de recherche et de développement dans les solutions les plus efficaces et précises de calcul pour la conception électromagnétique. CST Microwave

Studio est un logiciel de simulation électromagnétique de structures passives en 3 Dimensions basée sur la résolution des équations de Maxwell suivant la technique des équations intégrales (Finite Intégration Technique) . Cette méthode numérique offre une discrétisation de l'espace permettant la description directement en 3 Dimensions de tous les composants des systèmes décrits, ce qui lui permet d'être appliqué à de nombreux problèmes électromagnétiques allant de la statique aux hyperfréquences en analyses temporelles et fréquentielles. De plus, contrairement à la plupart des logiciels de simulation électromagnétiques, CST, d'une part sa méthode, discrétise la forme intégrale des équations de Maxwell plutôt que leurs formes différentielles. CST Microwave Studio fait partie de la CST DESIGN STUDIO suite, offre un certain nombre de solveurs différents pour différents types d'applications. Étant donné aucune méthode ne fonctionne aussi bien dans tous les domaines d'application.[2]

1.1. Description du logiciel de simulation CST Studio Suite

CST Studio Suite est un logiciel complet pour l'analyse et la conception électromagnétique dans la bande des hautes fréquences. Il simplifie le processus de saisie de la structure et la définition des équipements en fournissant une interface graphique de modélisation puissante et solide (Figure A.1). Le moteur de simulation soit lancé, après la modélisation du composant. [1]

Architectures Originales des Coupleurs SIW -3dB/90° Half-mode Hyperfréquence pour Télécommunications Spatiale

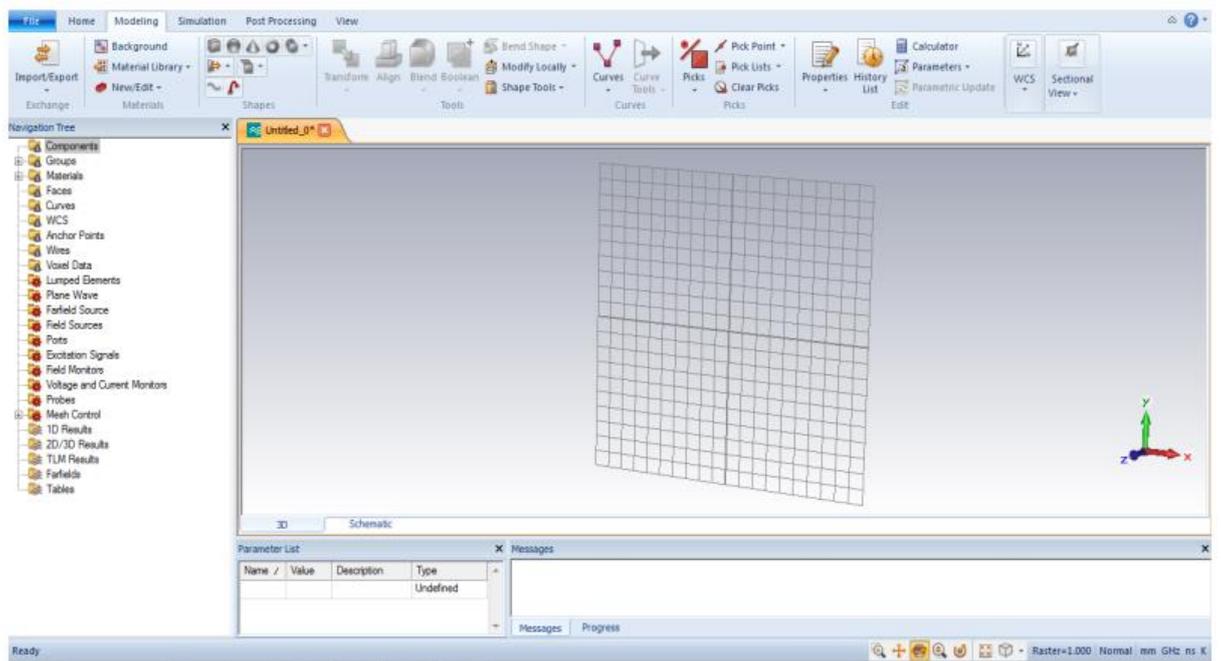


Figure A.1 : Interface graphique de CST Studio Suite.

1.2 Modules de CST

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

a) **Solveur transitoire**



Il s'agit d'un module 3D général qui permet d'obtenir des simulations en temps réel, ce qui peut être intéressant pour étudier la propagation du champ dans un composant électronique en fonction du temps.



b) Solveur fréquentiel

Comme le solveur transitoire, il est constitué d'un solveur général basé sur une méthode fréquentielle. Selon la structure étudiée, le maillage peut être cartésien ou tétraédral.



c) Solveur intégral

Ce solveur est dédié aux plus grandes structures électriques. Il se fonde sur la Méthode des moments avec une formulation intégrale des champs électriques et magnétiques. Afin de réduire la complexité numérique l'approche MLFMM (Multi level Fast Multipole Method) est utilisée.



d) Solveur modal

Ce solveur est dédié à des simulations de structures fermées résonantes. Les résultats qui peuvent être obtenus sont par exemple la distribution des modes ainsi que les fréquences de résonance de la structure. Nous avons choisis ce logiciel car son utilisation est très avantageuse en termes de temps de calcul pour notre simulation.

2. Caractéristiques du logiciel CST Microwave Studio

Les principales caractéristiques de logiciel CST Microwave Studio sont :

- Une mémoire technique efficace d'intégration finie.
- La structure peut être vue soit comme un modèle 3D ou un schéma.
- Très bonne performance en raison de rapprochement frontière Perfect (PBA)

- Caractéristique hybride à base de modélisation permet rapide changements structurels
- Importation d'un ensemble de données modèle humain visible ou d'autres ensembles de données.
- L'importation de modèles 2D et 3D.
- Paramétrages des fichiers de CAO importés [2]

3. La méthode qui décrit la structure

Les méthodes qui décrivent la structure sont :

- Modélisation du diélectrique.
- Modélisation du conducteur interne à l'intérieur de la partie diélectrique.

Après démarrage de l'environnement CST de conception et la création d'un nouveau projet CST Studio Suite, la sélection du modèle de base doit être le plus proche possible du diélectrique à concevoir.[1]

4. Principales étapes d'une réussite de la simulation

Nous avons résumé les étapes nécessaires pour la réussite d'une simulation de manière suivante :

- Définir les unités
- Définir le matériau de base
- Modèle de la structure
- Définir la gamme de fréquence
- Définir les ports
- Définir les conditions aux limites et symétrie
- Régler les moniteurs sur le terrain

- Début de simulation.[2]

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

[1] Architectures Originales des Coupleurs SIW -3dB/90° Half-mode Hyperfréquence pour Télécommunications Spatiales.

[2] Conception des coupleurs en anneau de type RAT-RACE 0° , 180° miniaturise demi-modes en technologie SIW opérant en bande C et S pour les applications spatiales.