

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

Département de Télécommunication



## **MEMOIRE**

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

**En** : Télécommunication

**Spécialité** : Système de Télécommunication

**Par** :

- RABAHI Soumia Nebia

- RAHAL Hanane Mansouria

**Sujet**

**Réseau d'antenne pour réception diffusion des chaines  
du satellite en bande Ku**

Soutenu publiquement, le 03/07/2021, devant le jury composé de

Mr. KAMECHE Samir

Mr. IRID HADJ Sidi Mohammed

Mr. KOURDI Zakarya

Mr. KHELLADI Mounir

Université de Tlemcen

Université de Tlemcen

CDS-Oran

Université de Tlemcen

Président

Encadreur

Co-Encadreur

Examineur

**Année universitaire 2020/2021**

## **REMERCIEMENTS**

### **\*\*\* REMERCIEMENTS \*\*\***

Le travail présenté dans ce rapport a été effectué à l'université Abou-Beker Belkaid -Tlemcen- Avant tout, je remercie notre seigneur d'avoir donné à l'homme le pouvoir de raisonner et d'explorer les vérités de l'univers.

Que nos remerciements les plus sincères s'adressent à notre encadreur **IRID HADJ Mohammed**, maîtres de conférences classe A à l'université Abou-Beker Belkaid - Tlemcen-, pour avoir accepté de superviser mon travail et pour m'avoir initié aux bases de télécommunication système, et le soutien incondtionnel, les conseils précieux et la patience sans fin qu'ils m'ont généreusement fournis pendant mes recherches de mémoire..

Que mes remerciements les plus sincères s'adressent à notre co-encadreur **KOURDI Zakarya**, maître de recherche classe A au Centre développement des satellites à Oran, pour avoir accepté de superviser mon travail et pour m'avoir initié aux bases de télécommunication système. Mes sincères remerciements à **KAMECHE Samir** professeur à l'université Abou-Bakr Belkaid Tlemcen de m'avoir fait l'honneur de présider le jury de soutenance.

Je remercie également monsieur **KHELLADI Mounir**, Maitre de conférences classe A de m'avoir fait l'honneur d'examiner mon travail.

Je ne pourrais oublier de présenter mes vifs remerciements et ma sincère gratitude à toutes celles et tous ceux qui m'ont épaulé dans les moments durs et m'ont donné la force pour continuer et arriver au bout du travail.

Je ne peux terminer sans exprimer toute ma gratitude à tous les membres de ma famille qui m'ont soutenu et conseillé tout le long de ce travail, plus particulièrement ma mère.

## DÉDICACES

### \*\*\* DEDICACES \*\*\*

*Tout d'abord, je remercie le Dieu tout-puissant de m'avoir donné courage et patience, malgré toutes les difficultés, j'ai encore le courage et la patience de mener à bien ce travail et de me donner la volonté pour toute ma carrière universitaire.*

*A mes très chers parents qui m'ont construit le palais de l'espoir J'espère qu'ils sont en bonne santé et que Dieu les protège de toutes sortes de dommages. Merci de rester avec moi. J'apprécie vraiment leurs efforts.*

*Le plus important est que notre encadreur termine ce travail. Je lui souhaite un plus grand succès et je lui dédierai les résultats de mes efforts.*

*A mes frères **Mohammed, Fathallah et Brahim**, à ma sœur **Latifa**, à mes chères amis, A toute ma grande famille, à mes amis de la promotion M2 télécommunication et à tous mes enseignants. Merci pour ses efforts.*

*RAHAL Hanane Mansouria*

## DÉDICACES

*Tout d'abord, je remercie le Dieu tout-puissant de m'avoir donné courage et patience, malgré toutes les difficultés, j'ai encore le courage et la patience de mener à bien ce travail et de me donner la volonté pour toute ma carrière universitaire.*

*A mes très chers parents qui m'ont construit le palais de l'espoir J'espère qu'ils sont en bonne santé et que Dieu les protège de toutes sortes de dommages. Merci de rester avec moi. J'apprécie vraiment leurs efforts.*

*Le plus important est que notre encadreur termine ce travail. Je lui souhaite un plus grand succès et je lui dédierai les résultats de mes efforts.*

*A mon frère **Amine**, à mes sœurs **Fatima**, **Asma et Karima**, à mes chères amis A toute ma grande famille, à mes amis de la promotion M2 télécommunication et à tous mes enseignants. Merci pour ses efforts.*

*RABAH Soumia Nebia*

## *Abréviations*

### **\*\*\* ABBREVIATIONS \*\*\***

AUPC	Automatic Uplink Power Control
BUC	Bloc Up Converter
DVB	Digital video Broadcasting
FAT	Final Acceptance Test
FDMA	Frequency Division Multiple Access
GIS	Geography Information System
LNB	Low Noise Bloc
MMBS	Band Multimedia Broadcasting System
NMS	Network Management System
ODU	Out Door Unit
OSAT	On-Site Acceptance Test
RCST	Return Channel Satellite Terminal
RF	Radio Frequency
TDM	Time Division Multiplexing
TTC& M	Telemetry and Tele-command Control & Maintenance
IDU	In Door Unit
VSAT	Very Small Aperture Antenna

\*\*\* SOMMAIRE \*\*\*

*** Remerciements *** .....	I
*** Dédicaces *** .....	II
*** Abréviations *** .....	IV
*** Sommaire *** .....	IV
Liste des figures.....	VIII
Listes Du Tableau .....	X
Introduction Générale .....	1
Chapitre I : Généralités sur les antennes utilisées dans le domaine spatial	3
I. Introduction.....	3
I.1 Définition d'antenne .....	3
I.2 Le rôle d'antenne .....	4
II. Les caractéristiques de l'antenne .....	4
II-1. Coefficient de réflexion $S_{11}$ .....	4
II-2. L'impédance d'entrée d'une antenne .....	5
II-3. Diagramme de rayonnement.....	6
II-4. Efficacité.....	7
II-5. Le Gain .....	8
.Rapport d'ondes stationnaires R.O.S :.....	8
II-6. Directivité .....	8
II-7. Rendement .....	9
II-8. Bande de fréquence .....	9
II-9. La polarisation .....	10
III. Antenne dans l'environnement spatial.....	12
III.1 Environnement radiatif .....	12
III-1-A. Ceintures des Particules pièges (Ceintures de Van Allen).....	12
III-1-B. Rayons cosmiques.....	13
III.2 Enivrement plasma .....	14
III.3 Environnement thermique.....	14
III.4 Environnement de lancement.....	15
IV. Architecture d'un système de télécommunications par satellite .....	16
IV.2. Le secteur terrien.....	16
IV.1 Paramètres d'une liaison satellitaire.....	17
IV-1-A. EIRP.....	17
IV-1-B. Gain de l'antenne.....	17

## Sommaire

IV-1-C. Puissance de transmission et de réception .....	17
IV-1-D. Capacité de transmission .....	18
IV-1-E. Bilan de Liaison.....	18
V. Différents types des antennes spatiales.....	18
V.1 Selon directivité .....	18
V-1-A. Les antennes filaires.....	18
1) Antenne élémentaire.....	19
V-1-B. Les antennes directives.....	19
V-1-C. Les antennes à ouverture rayonnante .....	19
1) Les antennes cornets.....	19
2) L'antenne parabole.....	19
3) Les antennes lentilles.....	20
V-1-D. Les réseaux d'antennes .....	21
V-1-E. Antennes omnidirectionnelles.....	21
V.2 Selon l'orbite.....	22
V.3 Selon le gain.....	22
V-3-A. Antennes à gain élevé $G \geq 6$ dBi .....	22
V-3-B. Antennes à gain faible $G \leq 6$ dBi.....	23
VI. Conclusion.....	23
Chapitre II : Caractéristique d'antenne patch pour Réception des chaînes satellitaire .....	25
I. Introduction .....	25
II. Antenne Imprimée .....	25
II-1. Description d'une antenne patch.....	26
II-2. Les différentes formes d'une antenne patch.....	27
II-3. Description Du substrat .....	27
III. Caractéristique de l'antenne patch.....	28
III-1. Diagramme de rayonnement Et Efficacité de Rayonnement .....	28
III-2. Type de polarisation.....	30
III-2-A. Polarisation orthogonales .....	30
III-2-B. Polarisation circulaire .....	31
III-3. L'alimentation .....	34
III-3-A. Les alimentations par contact.....	34
III-3-B. L'alimentation sans contact (par proximité) .....	35
1) Alimentation par guide d'ondes coplanaires .....	35
2) Couplage par fente (d'ouverture) .....	36
3) Le couplage de proximité (couplage électromagnétique) .....	36

## Sommaire

III-4. Le modèle de ligne de transmission.....	37
III-4-A. Le modèle de cavité .....	38
III-4-B. La méthode de réseau multi-ports (MNM).....	38
III-5. Méthodes numériques .....	39
III-5-A. La méthode des moments (MoM) .....	39
III-5-B. La méthode des éléments finis (FEM) .....	40
III-5-C. La technique du domaine spectral (SDT).....	41
III-5-D. La méthode du domaine temporel à différence finie (FDTD) .....	41
III-6. Technique d'alimentation du réseau d'antenne.....	42
III-6-A. Réseaux d'alimentation en chandelier .....	43
III-6-B. Réseaux d'alimentation périodiques .....	44
III-6-C. Réseaux d'alimentation périodiques refermés.....	45
IV. Dimensions de l'antenne patch .....	45
IV-1. Trouve Fréquences de résonance.....	45
IV-1-B. Principes de fonctionnement de base .....	45
IV-1-C. Le mode transverse magnétique .....	46
IV-2. Fréquence de résonance du mode (m, n).....	46
IV-3. Trouve longueur effective $L_e$ et la permittivité effective $\xi_e$ .....	47
V. Les Avantages et l'inconvénient des antennes microrubans .....	49
VI. Conclusion.....	49
Résultats et discussion Antenne Patch Pour réception des chaînes satellitaire .....	51
I. Introduction .....	51
II. Présentation du logiciel CST MICROWAVE STUDIO.....	51
II-1. Aperçu de la structure de l'interface utilisateur .....	52
II-2. Paramètre géométrique de l'antenne .....	53
II-2-A. Dimensions de l'antenne patch.....	53
II-3. Création initiale de la structure d'antenne patch.....	54
II-3-A. Le plan de masse .....	54
II-3-B. Le substrat diélectrique.....	54
II-3-C. L'antenne patch.....	55
II-3-D. La ligne microruban .....	55
II-3-E. Le port de polarisation .....	56
II-4. Définir le domaine de fréquence.....	57
II-5. Méthode des encoches .....	57
II-7. CONCEPTION D'UNE ANTENNE PATCH RECTANGULAIRE .....	58
II-8. Antenne patch modifiée à partir de l'antenne initiale (Méthode d'itération) .....	58

## Sommaire

III. Les résultats et interprétations .....	60
III-1. Performance d'antenne Patch .....	60
III-1-A. Coefficient de réflexion $S_{11}$ .....	60
III-1-B. VSWR .....	61
III-1-C. Gain d'antenne patch .....	62
III-1-D. Diagramme de rayonnement .....	62
III-1-D. Etude paramétrique sur la longueur de la ligne micro ruban .....	64
III-1-E. Efficacité d'antenne patch .....	65
III-1-f. Distribution du courant sur le patch .....	65
III-2. Réseau d'antenne à deux patches rectangulaires .....	67
III-2-A. Coefficient de réflexion $S_{11}$ .....	67
III-2-B. VSWR .....	68
III-2-C. Gain d'antenne patch .....	68
III-2-D. Diagramme de rayonnement .....	69
III-3. Réseau d'antenne à quatre patches rectangulaires .....	70
III-3-A. Coefficient de réflexion $S_{11}$ .....	70
III-3-B. VSWR .....	71
III-3-C. Gain d'antenne patch .....	71
III-3-D. Diagramme de rayonnement .....	72
III-4. Réseau d'antenne à huit patches rectangulaires .....	73
III-4-A. Coefficient de réflexion $S_{11}$ .....	73
III-4-B. VSWR .....	74
III-4-C. Gain d'antenne patch .....	74
III-4-D. Diagramme de rayonnement .....	75
III-5. Réseau d'antenne à seize patches rectangulaires .....	76
III-5-A. Coefficient de réflexion $S_{11}$ .....	76
III-5-B. VSWR .....	77
III-5-C. Gain d'antenne patch .....	77
III-5-D. Diagramme de rayonnement .....	78
III-6. Comparaison entre les performances des réseaux antenne 4*4 .....	78
IV. Conclusion.....	79
Conclusion générale.....	80
Références .....	81

**LISTE DES FIGURES**

Figure 1 : Exemples de pollution visuelle générée par les antennes paraboles [4] .....2

**Chapitre I :**

Figure I- 1 : Schéma de principe d'un système de communication radio [I.6]. .....3

Figure I- 2 : Schéma d'une antenne connectée à une ligne de transmission et un générateur. ...4

Figure I- 3 : Représentation du coefficient de réflexion [I.7]. .....5

Figure I- 4 : Représentation de l'impédance d'antenne [I.8]. .....6

Figure I- 5 : Diagramme de rayonnement de l'antenne omnidirectionnelle [I.8]. .....6

Figure I- 6 : Diagramme de rayonnement de l'antenne directive [I.27]. .....7

Figure I- 7 : Ports de référence et les pertes d'une antenne [I.10]. .....7

Figure I- 8 : Mesure de la bande passante à partir du coefficient de réflexion [I.9]. .....9

Figure I- 9 : Rotation d'une onde plane et son ellipse de polarisation en fonction du temps [I.5].  
.....10

Figure I- 10 : La polarisation linéaire.....11

Figure I- 11 : Polarisation circulaire [I.13]. .....11

Figure I- 12 : Polarisation elliptique [I.14] .....12

Figure I- 13 : Représentations schématisées de la ceinture de Van Allen [I.15]. .....13

Figure I- 14 : Représentations Rayons cosmiques [I.16]. .....13

Figure I- 15 : Enivrement plasma [I.15] .....14

Figure I- 16 : Représentation d'environnement thermique [I.16] .....15

Figure I- 17 : Lancement imminent du satellite Konnect d'Eutelsat [I.20] .....15

Figure I- 18 : Liaison station d'émission-Satellite-station de réception [I.21]. .....16

Figure I- 19 : Antenne cornet cylindrique et rectangulaire [I.22] .....19

Figure I- 20 : Antenne parabole [I.24]. .....20

Figure I- 21 : Antenne lentille [I.23] .....20

Figure I- 22 : Réseau cornet, réseau patch [I.24] .....21

Figure I- 23 : Antenne omnidirectionnel REF .....21

Figure I- 24 : Les réseaux d'antenne a) la deuxième génération de TDRS (GEO) b) METEOLIST de première génération (LEO) [I.25]. .....22

Figure I- 25 : L'antenne AKATUSKI (Japon) [I.26]. .....23

Figure I- 26 : Antenne patch [I.7]. .....23

## Liste des figures

### Chapitre II :

Figure II- 1 : Antenne Imprimée _____	26
Figure II- 2 : Structure d'Antenne Imprimé _____	26
Figure II- 3 : Apparence de l'antenne _____	27
Figure II- 4 : les différents formes de antenne patch _____	27
Tableaux II- 5 : les différents types de substrat _____	28
Figure II- 6 : Lignes de champ entre les bords de patch et le plan de masse _____	29
Figure II- 7 : Diagramme de rayonnement normalisé pour antenne microruban (patch) _____	29
Figure II- 8 : Niveau E et direction des courants à la surface de l'élément radioactif, a. Selon la situation ou b. Du point d'excitation _____	30
Figure II- 9 : Polarisation horizontale et polarisation verticale _____	30
Figure II- 10 : Polarisation orthogonale _____	31
Figure II- 11 : L'excitation qui permet les polarisations orthogonales d'un élément : carré, b. Circulaire, c. à grilles orthogonales _____	31
Figure II- 12 : Créez un décalage de 90 degrés entre les points d'alimentation : a) par des lignes dont les longueurs diffèrent de $\lambda /4$ . D'après Zürcher et Gradiol. b) par un coupleur à 3 dB _____	32
Figure II- 13 : Point d'alimentation pour obtenir une polarisation circulaire avec un élément : a. presque carré, b. carré avec une fente en diagonale, c. carré à coins tronqués. _____	32
Figure II- 14 : Polarisation circulaire _____	33
Figure II- 15 : Type de polarisation de réseau d'antenne Ref _____	33
Figure II- 16 : Alimentation par ligne microruban _____	35
Figure II- 17 : Alimentation coaxiale _____	35
Figure II- 18 : Alimentation guide d'ondes coplanaires _____	36
Figure II- 19 : Couplage par fente _____	36
Figure II- 20 : Le couplage de proximité _____	37
Figure II- 21 : Volume de calcul et cellule élémentaire _____	40
Figure II- 22 : Élément de base tétraédrique _____	41
Figure II- 23 : Géométrie d'antenne de l'antenne microruban _____	47

### Chapitre III :

Figure III- 1 : <i>La fenêtre principale du logiciel CST</i> .....	52
Figure III- 2 : <i>Créer un plan de masse</i> . .....	54
Figure III- 3 : <i>Créer de substrat diélectrique</i> .....	55
Figure III- 4 : <i>Créer le premier élément d'antenne</i> .....	55

## Liste des figures

Figure III- 5 : Créer la ligne microbande. ....	56
Figure III- 6 : Définir le port de polarisation. ....	56
Figure III- 7 : Définir le domaine de fréquence. ....	57
Figure III- 8 : Créer les encoches. ....	57
Figure III- 9 : La structure d'antenne patch proposé. ....	58
Figure III- 10 : La structure finale proposer pour l'antenne patch. ....	59
Figure III- 11 : Choisir la précision. ....	60
Figure III- 12 : Coefficient de réflexion. ....	61
Figure III- 13 : Taux d'onde stationnaire. ....	61
Figure III- 14 : Gain de l'antenne. ....	62
Figure III- 15 : Diagramme de rayonnement en 2D pour quelques fréquences de résonances. .....	63
Figure III- 16 : L'étude paramétrique de la ligne micro-ruban. ....	64
Figure III- 17 : Efficacité d'antenne patch. ....	65
Figure III- 18 : Distribution du courant sur le patch : (a) 11.25 GHz, (b) 11.5 GHz, (c) 12.0 GHz. ....	66
Figure III- 19 : Structure d'antenne réseau à deux patches. ....	67
Figure III- 20 : Coefficient de réflexion $S_{11}$ à réseaux d'antenne 2*1. ....	68
Figure III- 21 : VSWR à réseaux d'antenne 2*1. ....	68
Figure III- 22 : Gain à réseaux d'antenne 2*1. ....	69
Figure III- 23 : Diagramme de rayonnement en 2D à réseaux d'antenne 2*1. ....	70
Figure III- 24 : Structure réseau d'antenne à quatre patches. ....	70
Figure III- 25 : Coefficient de réflexion $S_{11}$ à réseaux d'antenne 2*2. ....	71
Figure III- 26 : VSWR à réseaux d'antenne 2*2. ....	71
Figure III- 27 : Gain à réseaux d'antenne 2*2. ....	72
Figure III- 28 : Diagramme de rayonnement en 2D à réseaux d'antenne 2*2. ....	73
Figure III- 29 : Structure d'antenne réseau à patches 4*2. ....	73
Figure III- 30 : Coefficient de réflexion $S_{11}$ à réseaux d'antenne 4*2. ....	74
Figure III- 31 : VSWR à réseaux d'antenne 4*2. ....	74
Figure III- 32 : Gain à réseaux d'antenne 4*2. ....	75
Figure III- 33 : Diagramme de rayonnement en 2D à réseaux d'antenne 4*2. ....	75
Figure III- 34 : Structure d'antenne réseau à patches 4*4. ....	76
Figure III- 35 : Coefficient de réflexion $S_{11}$ à réseaux d'antenne 4*4. ....	76

## *Liste des figures*

Figure III- 36 : VSWR à réseaux d'antenne 4*4.....	77
Figure III- 37 : Gain à réseaux d'antenne 4*4. ....	77
Figure III- 38 : Diagramme de rayonnement en 2D à réseaux d'antenne 4*4.....	78

**LISTES DU TABLEAU**

Tableau I- 1 : Bandes de fréquence allouée pour les applications spatiales [I.12] .....	10
Tableau II- 1 : Les différents types de substrat [II.7]. .....	28
Tableau II- 2 : Dimensions physiques de l'antenne patch.....	48
Tableau III- 1 : <i>Dimensions de l'antenne patch rectangulaire.</i> .....	58

# **Introduction Générale**

## **INTRODUCTION GENERALE**

Depuis maintenant plusieurs années, l'industrie du spatial s'est très largement développée et présente de très intéressantes perspectives avec plus de 1000 nouveaux satellites lancés d'ici 2023 [1].

Depuis la mise en orbite du premier satellite artificiel de la Terre par l'URSS en 1957 [2.3], dont la seule fonction était l'émission d'un signal sonore deux tons, l'industrie du spatial a largement évolué. Elle a également vu se multiplier ses domaines d'application. Ainsi, les quelques milliers de satellites en orbite autour de la Terre couvrent un spectre aussi large que l'observation météorologique et celle de la Terre en général, la scrutation de l'Univers, la géolocalisation et la reconnaissance militaire, et enfin les télécommunications de manière générale.

À l'origine des premières communications par satellite, la maîtrise technologique ne permettait pas les émissions à très fortes puissances. La contrainte pour assurer le bilan de liaison était alors reportée sur les antennes au sol dont la surface de captation devait alors être très grande pour assurer le gain nécessaire. Suite aux avancées technologiques successives, la puissance d'émission au niveau des satellites a augmenté de manière importante. Les contraintes sur le gain, donc sur la taille des antennes, ont alors été considérablement relaxées. Ces évolutions sont ainsi permises d'adresser des marchés de masse comme la télédiffusion, l'Internet haut débit et bien d'autres encore. La réception individuelle de signaux satellites implique donc la mise en œuvre de solutions bon marché. La dimension Coût représente donc un critère prépondérant dans la conception de tel système.

La démocratisation des systèmes terrestres de réception satellite a entraîné la multiplication des systèmes de réception au sol. Les limitations d'un tel déploiement de masse résident alors dans la potentielle détérioration visuelle du paysage. En particulier, les antennes placées sur les toits ou dans les jardins des pavillons, ou encore aux balcons des immeubles, ont envahi notre paysage urbain au point d'être considérées comme une nuisance publique, encore appelée pollution visuelle. Au-delà de la maîtrise des coûts, la notion de discrétion, et donc d'intégration dans le paysage urbain, prend une part de plus en plus importante. Ainsi, de nouvelles solutions antennaires à faible impact visuel ont progressivement vu le jour ces dernières années

## *Introduction general*



Figure 1 : Exemples de pollution visuelle générée par les antennes paraboliques [4]

Dans cet objectif, cette mémoire vise à étudier et simuler un réseau d'antenne imprimée large bande pour la réception des chaînes de télévision émises en bande Ku.

Ce mémoire est décomposé en trois chapitres. Dans le premier chapitre nous présentons des généralités sur les antennes spatiales et sur leurs caractéristiques rayonnements des antennes telles que le gain, la directivité, et les caractéristiques électriques des antennes : coefficient de réflexion, la bande passante (BP)... etc. Nous présentons aussi les différents types d'antenne selon la directivité, selon l'orbite et selon le gain

Le deuxième chapitre on étudie, une antenne à patch. Il a expérimenté ce type d'antennes et a développé des courbes de conception pour présenter les caractéristiques des antennes en termes de réseau d'antenne pour application des chaîne satellitaire, de directivité et de rapport axial.

Le troisième chapitre présente les différents modèles de simulation. Les informations sur les caractéristiques de champ proche et lointain et sur l'impédance d'entrée pour une large gamme de paramètres sont présentées sous une forme appropriée pour la conception d'antennes pratiques, l'étude avec le logiciel de CST studio software de réseau d'antenne patch simulée dans ce contexte a permis d'identifier facilement plusieurs performances.

Ce travail se termine par une conclusion générale, en discutant les différents points de vue potentiels sur l'antenne patch.

**Chapitre I :**  
**Généralités sur les**  
**antennes utilisées dans le**  
**domaine spatial**

**CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES ANTENNES UTILISEES DANS LE DOMAINE SPATIAL**

**I. INTRODUCTION**

Depuis la découverte de l'onde hertzienne par Hertz, les techniques de l'information et de la communication à distance ont connues une évolution considérable «l'apparition de l'antenne».

Les antennes sont des dispositifs utilisés pour rayonner le champ électromagnétique dans l'espace ou pour le capter. Le chapitre I de notre travail est destiné à présenter dans le cas général la description d'une antenne, ces caractéristiques, son principe de fonctionnement ainsi que les principaux types d'antennes employées pour les radiocommunications.

**I.1 Définition d'antenne**

Une antenne d'émission est un dispositif qui assure la transmission de l'énergie entre un émetteur et l'espace libre où cette énergie va se propager. Réciproquement, une antenne de réception est un dispositif qui assure la transmission de l'énergie d'une onde se propageant dans l'espace à un appareil récepteur.

Si nous considérons un système de communication sans fil le plus simple qui soit, celui-ci serait composé d'un bloc d'émission et d'un bloc de réception. Ces deux blocs seraient séparés par un canal de propagation dans lequel le signal émis transite avant d'être reçu comme le montre la Figure I-1.

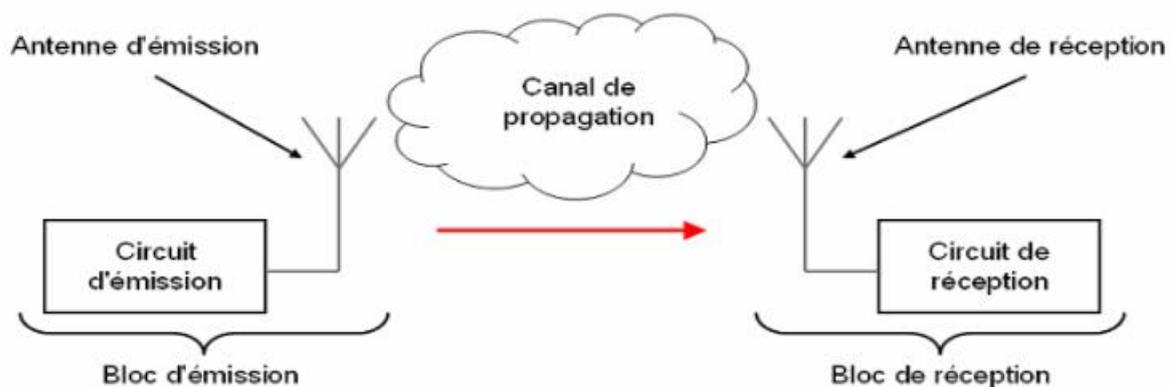


Figure I- 1 : Schéma de principe d'un système de communication radio [I.1].

## CHAPITRE I : Généralités sur les antennes utilisées dans le domaine spatial

Au niveau du bloc d'émission, le circuit d'émission fournit à sa sortie une courante haute fréquence généralement modulée qui va être transformé en ondes électromagnétiques capables de se propager dans le canal, c'est l'antenne d'émission qui assure ce rôle. A l'inverse au niveau du bloc de réception, lorsque les ondes atteignent le récepteur c'est l'antenne de réception qui a le rôle de les transformer en courant susceptible d'être traité par le circuit de réception.

### I.2 Le rôle d'antenne

Le rôle d'antenne est de convertir l'énergie électrique d'un signal en énergie électromagnétique transportée par une onde électromagnétique (ou inversement) 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. Ceci est une conséquence du théorème de réciprocité qui sera démontré plus loin. Dans quelques cas exceptionnels pour lesquels les antennes comportent des matériaux non linéaires ou bien anisotropes, elles ne sont pas réciproques.

## II. LES CARACTERISTIQUES DE L'ANTENNE

Bien qu'une antenne soit destinée à rayonner, elle reste un composant en partie défini par des caractéristiques électriques que nous allons détailler et énumérer dans cette partie :

### II-1. COEFFICIENT DE REFLEXION $S_{11}$

On considère un système comportant l'antenne, un générateur et une ligne de transmission d'impédance caractéristique  $Z_C$  :

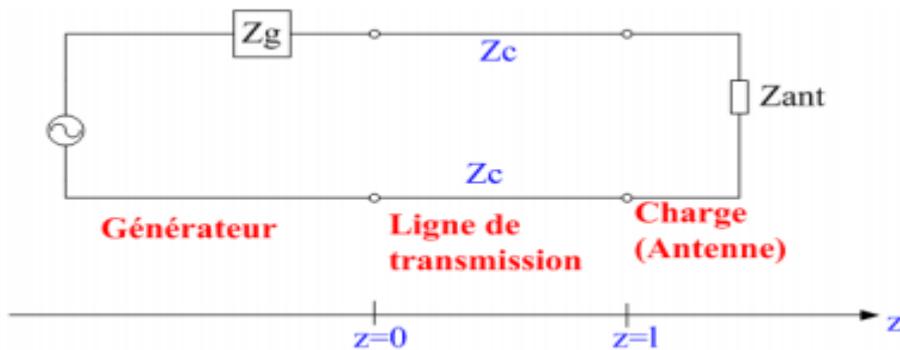


Figure I- 2 : Schéma d'une antenne connectée à une ligne de transmission et un générateur.

On donne le paramètre de réflexion  $S_{11}$  ou  $\Gamma$  en  $z = l$ , par la formule suivante :

$$S_{11} = \Gamma = \frac{Z_{ant} - Z_c}{Z_{ant} + Z_c} \quad \dots (I.1)$$

## CHAPITRE I : Généralités sur les antennes utilisées dans le domaine spatial

Le coefficient de réflexion assure la transmission d'énergie à travers l'antenne. Dans un système électrique caractérisé par le paramètre S, le  $S_{11}$  peut avoir une forte atténuation à une fréquence spécifiée qu'on l'appelle la 'fréquence de résonance', on obtient un maximum de transmission de puissance entre le générateur et la charge. C'est la façon d'optimiser l'antenne à l'aide de ce paramètre. Il faut que ce dernier soit égale à -10 dB pour avoir une adaptation au niveau de l'antenne si non les valeurs inférieures à -10 dB l'empêchent. Ceci est représenté dans la Figure I-3.

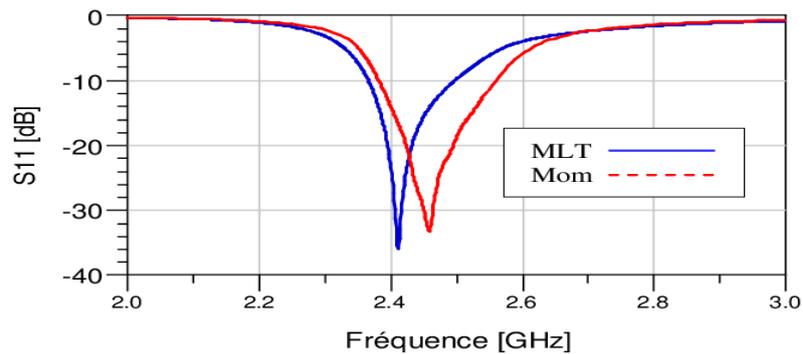


Figure I- 3: Représentation du coefficient de réflexion [I.7].

### II-2. L'IMPEDANCE D'ENTREE D'UNE ANTENNE

L'impédance d'entrée est l'impédance présentée par une antenne à ses bornes ou le rapport des composants appropriés du champ électrique au champ magnétique à un point. L'impédance de l'antenne est donnée par [I.2] :

$$Z_{int} = R_A + X_A \quad \dots (I.2)$$

Tell que :

$$R_a = R_r + R_p \quad \dots (I.3)$$

**R<sub>r</sub>** : résistance de rayonnement de l'antenne

**R<sub>p</sub>** : résistance de perte de l'antenne

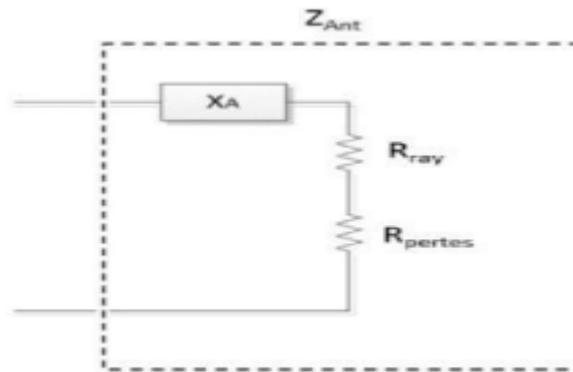


Figure I- 4 : Représentation de l'impédance d'antenne [I.3].

D'autre part, l'impédance d'entrée de l'antenne peut s'écrire en fonction du coefficient de réflexion  $S_{11}$  sous la formule :

$$Z_{Ant} = Z_c * \frac{1 + |S_{11}|}{1 - |S_{11}|} \quad \dots (I.4)$$

### **II-3. DIAGRAMME DE RAYONNEMENT**

Le diagramme de rayonnement d'une antenne représente le changement de la puissance rayonnée issue de l'antenne dans tous les trajets de l'espace. Ce paramètre dépend de la structure globale de l'antenne.

On peut diviser le diagramme de rayonnement en deux formes typiques malgré chacun d'eux se varie en fonction de l'antenne. Ces formes sont :

#### **II-3-A. Omnidirectionnel**

Une antenne omnidirectionnelle (Figure I.5) est une antenne qui fournit un diagramme de rayonnement horizontal de 360 degrés.

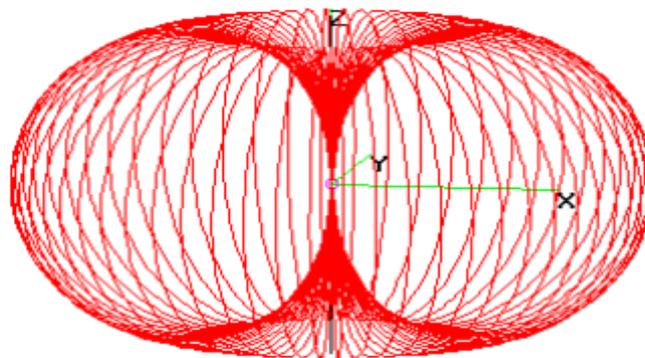


Figure I- 5 : Diagramme de rayonnement de l'antenne omnidirectionnelle [I.3].

Celle-ci est utilisée quand la couverture est requise dans toutes les directions (horizontalement) à partir de l'antenne avec des degrés divers de couverture verticale.

## CHAPITRE I : Généralités sur les antennes utilisées dans le domaine spatial

Mais cette antenne n'est qu'une antenne théorique qui sert à fonder la directivité ou le gain d'une antenne réelle.

### II-3-B. Directif

Une antenne directive est l'antenne la plus typique qui est caractérisée par son rayonnement qui se fait en une seule direction dans l'espace (Figure I.6).

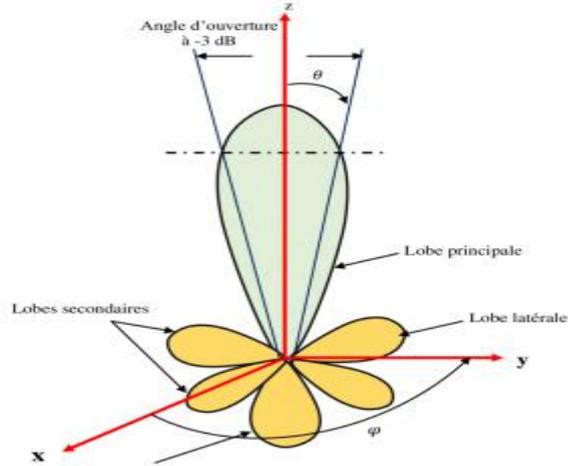


Figure I- 6 : Diagramme de rayonnement de l'antenne directive [I.4].

### II-4. EFFICACITE

Certaines efficacités sont associées à une antenne et peuvent être définies en utilisant la figure I.10. L'efficacité totale  $e_0$  est employée pour tenir compte des pertes sur les ports d'entrée et dans la structure de l'antenne [I.5].

$$e_0 = e_r e_c e_d \quad \dots (I.5)$$

Avec

$e_r$  : Efficacité de réflexion ( $1 = -\Gamma$ )

$e_c$  : Efficacité de conduction

$e_d$  : Efficacité de diélectrique

$\Gamma$  : Le coefficient de réflexion au port d'entrée de l'antenne

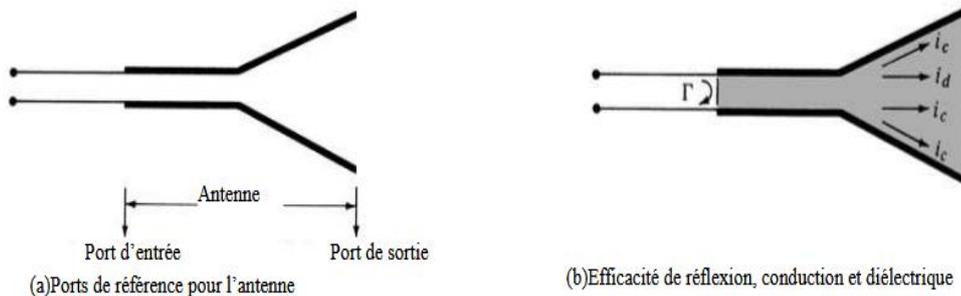


Figure I- 7 : Ports de référence et les pertes d'une antenne [I.6].

## **II-5. LE GAIN**

Le gain est une autre mesure utile décrivant la performance d'une antenne. Bien qu'il soit étroitement lié à la directivité, c'est une mesure qui tient en compte l'efficacité de l'antenne aussi bien que ses capacités directionnelles.

Le gain d'une antenne est le rapport de l'intensité, dans une direction donnée, à l'intensité de rayonnement qui serait obtenue si la puissance reçue par l'antenne étaient rayonnées isotropiquement :

$$G = \frac{4\pi * P(\theta, \varphi)}{P_{in}} \quad \dots (I. 6)$$

$P_{in}$  : puissance totale d'entrée.

### **.Rapport d'ondes stationnaires R.O.S :**

Le ROS ou le VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) rassemble au coefficient de réflexion qui traduit l'adaptation ou la désadaptation de l'impédance entre deux éléments. Quand l'adaptation n'est pas parfaite, une superposition se passe entre l'onde réfléchie et l'onde incidente afin de former une seule onde qu'on l'appelle onde stationnaire.

En cas de séparation d'impédance, l'émetteur émet une partie de la puissance  $P_1$  qui sera réfléchie au point de séparation, vers l'émetteur soit  $P_2$ . Un  $VSWR < 2$  assure une bonne performance. Le VSWR est donné par :

$$VSWR = \frac{P_1 + P_2}{P_1 - P_2} \quad \dots (I. 7)$$

On donne le rapport d'onde stationnaire en fonction du coefficient de réflexion par :

$$VSWR = \frac{1 + |S_{11}|}{1 - |S_{11}|} \quad \dots (I. 8)$$

## **II-6. DIRECTIVITE**

La directivité  $D(\theta, \varphi)$  d'une antenne dans la direction  $(\theta, \varphi)$  est le rapport entre la puissance rayonnée par unité d'angle solide dans la direction  $(\theta, \varphi)$  et la puissance que rayonnerait la source isotrope de référence par unité d'angle pour une même puissance totale rayonnée.

$$D = 4\pi * \frac{P(\theta, \varphi)}{P_r} \quad \dots (I. 9)$$

$P(\theta, \varphi)$  : puissance rayonnée par unité d'angle solide

$P_r$  : puissance totale rayonnée.

## II-7. RENDEMENT

Le rendement d'une antenne est alors défini comme étant le rapport de la puissance totale  $P$  qu'elle rayonne à sa puissance d'alimentation  $P_a$ , on le note  $\eta$  :

$$\eta = \frac{P}{P_a} \quad \dots (I. 10)$$

## II-8. BANDE DE FREQUENCE

On peut définir la bande passante d'une antenne par un intervalle de fréquences utiles, dans lequel se produit un transfert d'énergie électromagnétique idéal de l'alimentation vers l'antenne et ensuite de l'antenne vers le récepteur. L'obtention de la bande passante se fait en limitant des valeurs selon les conditions de fonctionnement de l'antenne qui définissent un ensemble de fréquences situées entre une valeur minimale  $F_1$  et une valeur maximale  $F_2$  [I.7]

$$BP = \frac{F_2 - F_1}{F_0} \quad \dots (I. 11)$$

$F_0$  : représente la fréquence de résonance (centrale)

La mesure de la bande passante d'une antenne patch est représentée dans la figure

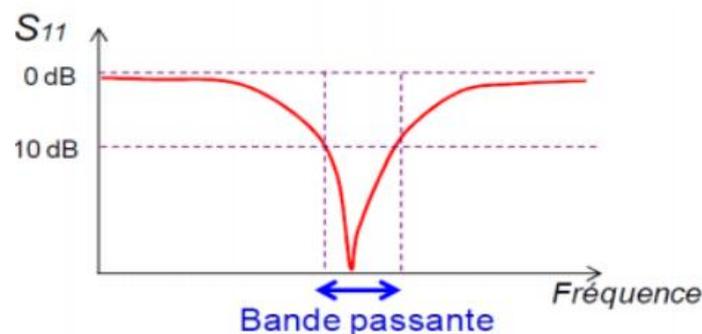


Figure I- 8 : Mesure de la bande passante à partir du coefficient de réflexion [I.8].

---

**La bande S:** 2.025 –2.110 GHz (liaison ascendante)

2.110 –2.120 GHz (liaison ascendante d'espace lointain)

2.200 –2.290 GHz (liaison descendante)

2.290 –2.300 GHz (liaison descendante d'espace lointain)

**La bande X:** 7.145 –7.190 GHz (liaison ascendante)

7.190 –7.235 GHz (liaison ascendante d'espace lointain)

8.400 –8.450 GHz (liaison descendante)

8.450 –8.500GHz (liaison descendante d'espace lointain)

**La bande Ku:** 14.400 –14.470 GHz (liaison descendante)

---

**16.600 –17.100 GHz (liaison ascendante)**

**La bande Ka: 31.800 –32.30 GHz (liaison descendante d'espace lointain)**  
**34.200 –34.700 GHz (liaison ascendante d'espace lointain)**  
**37.000 –38.000 GHz (liaison descendante)**  
**40.000 –40.500 GHz (liaison ascendante)**

Tableau I- 1 : Bandes de fréquence allouée pour les applications spatiales [I.9]

**II-9. LA POLARISATION**

La polarisation d'une antenne dans une direction donnée est la polarisation de l'onde transmise (rayonné) par l'antenne. La polarisation d'une onde rayonnée est la figure tracée en fonction du temps par l'extrémité du vecteur à un endroit fixe dans l'espace, et le sens dans lequel elle est tracée, comme observé le long de la direction de propagation (figures I-9).

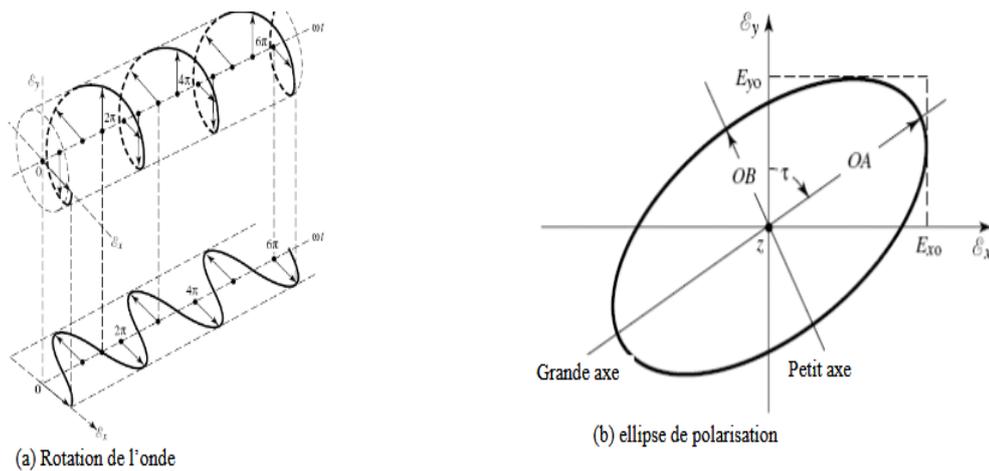


Figure I- 9 : Rotation d'une onde plane et son ellipse de polarisation en fonction du temps [I.5].

**II-9-A. Polarisation linéaire**

La polarisation est considérée comme linéaire si à chaque instant, le champ électrique est orienté selon une même direction. Ceci est un cas particulier de la polarisation elliptique qui apparaît lorsque le rapport  $E_x/E_y$  vaut l'infini ou zéro, ou alors lorsque les deux composantes sont en phases ou en opposition de phase. Une polarisation linéaire est dite verticale lorsque le vecteur champ électrique est orienté verticalement par rapport à l'horizon (figure I-10). Inversement, une polarisation linéaire est dite horizontale lorsque le vecteur champ électrique est orienté parallèlement par rapport à l'horizon.

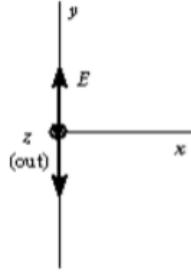


Figure I- 10 : La polarisation linéaire.

### **II-9-B. Polarisation circulaire**

Si le champ  $E$  dessine un cercle dans le plan d'onde, on parle de polarisation circulaire. Le sens de rotation de  $E$  définit une polarisation :

*Droite*, si l'onde tourne dans le sens trigonométrique

*Gauche*, si l'onde tourne dans le sens horaire

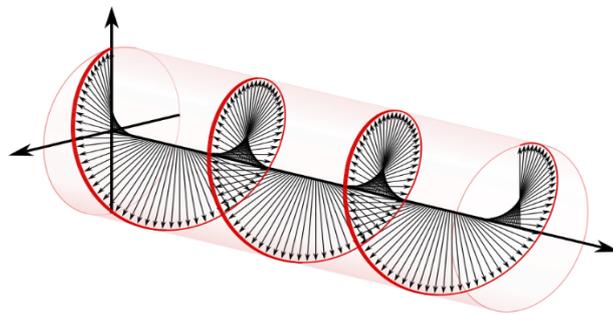


Figure I- 11 : Polarisation circulaire [I.10].

### **II-9-C. Polarisation elliptique**

Si le champ  $E$  dessine une ellipse dans le plan d'onde, on parle de polarisation elliptique. C'est le cas le plus général. On peut alors décomposer le champ électrique selon deux composantes perpendiculaires :

$$E_x = E_{x0} * \cos(kz - \omega t) \quad \dots (I - 11)$$

Où

$\omega = 2\pi f$  : est la pulsation de l'onde électromagnétique ;

$k = \frac{2\pi f}{c}$  : Le nombre d'onde et  $\phi$  le déphasage entre les deux composantes.

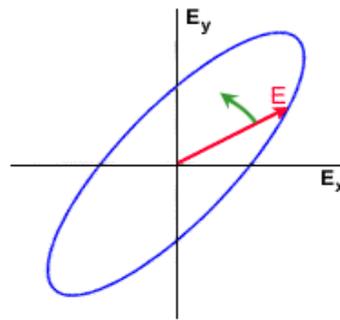


Figure I- 12 : Polarisation elliptique [I.11]

En pratique, on utilise des antennes à ondes polarisées lorsque la transmission se fait en espace libre. Sans obstacle comme pour une liaison par faisceau hertzien, ou pour des propagations à grande distance. On peut aussi utiliser des antennes polarisées pour caractériser l'environnement de propagation et déterminer le taux de polarisation croisée, c'est-à-dire le résidu en puissance d'une polarisation sur l'autre polarisation. Complémentairement, il est possible de "jouer" sur la polarisation pour optimiser certains paramètres de propagation et affecter les effets de multi trajets et de diffraction [I.12].

### **III. Antenne dans l'environnement spatial**

Nous allons commencer avec un aperçu relativement simple de l'environnement spatial, mettant l'accent sur les phénomènes météorologiques variables qui interagissent avec les vaisseaux spatiaux.

C'est une liste plutôt intimidante, si vous avez pensé à l'espace principalement comme un vide. Nous laissera la plupart des détails jusqu'à ce que nous discutons des dangers spécifiques ci-dessous

#### **III.1 Environnement radiatif**

##### **III-1-A. Ceintures des Particules pièges (Ceintures de Van Allen)**

On appelle ceinture de rayonnement, de radiations ou de Van Allen une zone de la magnétosphère d'une planète dans laquelle se trouvent piégées des particules d'énergie élevée.

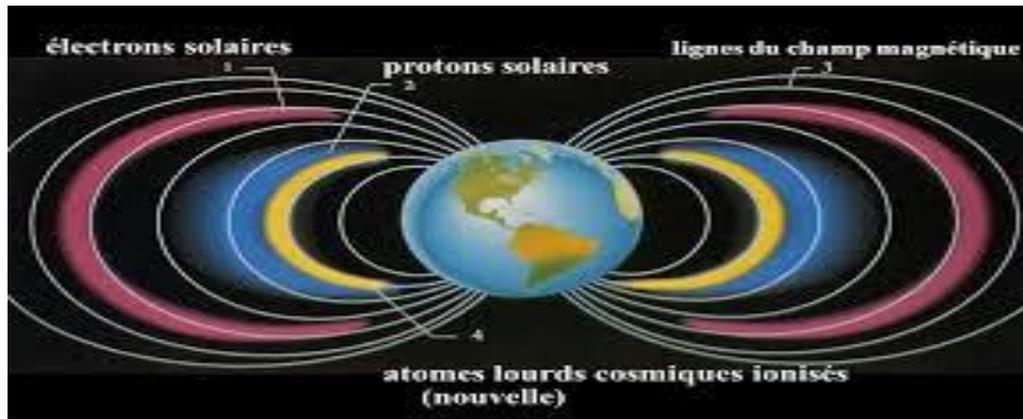


Figure I- 13 : Représentations schématique de la ceinture de Van Allen [I.13].

Les particules des ceintures de Van Allen se déplacent très rapidement entre les pôles Nord et Sud de la magnétosphère. Une infime partie de ces particules réussissent à s'échapper de l'influence du champ magnétique terrestre et reparte dans l'espace, une autre partie descend plus bas dans l'atmosphère et donne lieu aux aurores polaires lors de leur rencontre avec les molécules de la haute atmosphère [I.14].

### III-1-B. Rayons cosmiques

Les rayons cosmiques sont des noyaux atomiques et des particules élémentaires qui voyagent dans l'espace à des vitesses voisines de celle de la lumière Certains d'entre eux s'approchent suffisamment de la Terre pour être détectés par des instruments placés dans des satellites en orbite terrestre ou dans des sondes spatiales.



Figure I- 14 : Représentations Rayons cosmiques [I.15].

## CHAPITRE I : Généralités sur les antennes utilisées dans le domaine spatial

Les rayons cosmiques proviennent de l'extérieur du système solaire. Les flux de ces particules sont faibles mais, parce qu'ils comprennent des ions lourds à haute énergie tels que le fer, ils provoquent l'ionisation intense lors de leur passage à travers la matière. Il est difficile de se protéger contre ces types d'ions et par conséquent, ils constituent un danger important.

### III.2 Enivrement plasma

Le plasma est une phase de la matière qui se forme lorsqu'un gaz est suffisamment chauffé ou lorsqu'il est soumis à un rayonnement ionisant (un flux des électrons et des ions) [1-16]

Un plasma contient des densités égales des charges positives et négatives, les électrons sont beaucoup plus mobiles et le flux des électrons à une surface «non chargé» dépasse le flux des ions.

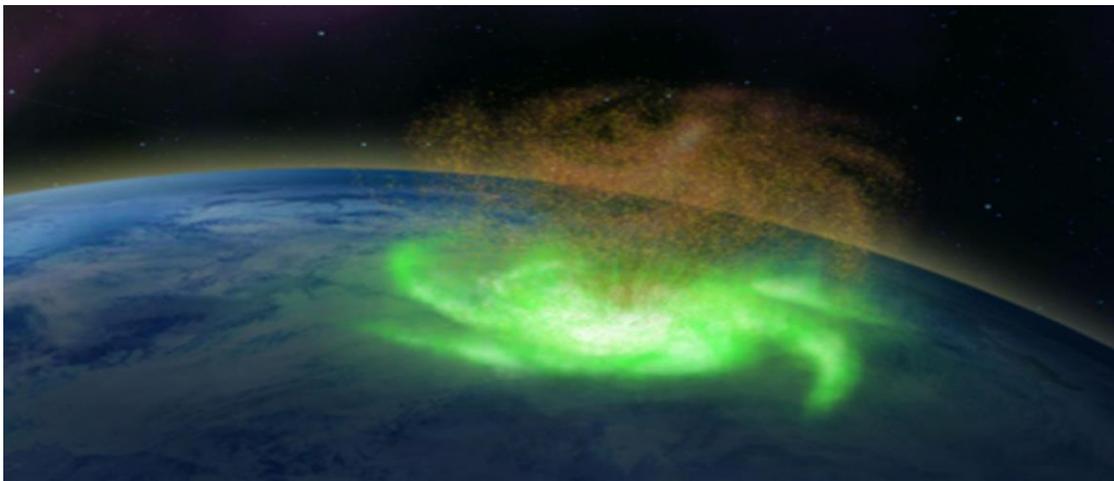


Figure I- 15 : Enivrement plasma [I.17]

### III.3 Environnement thermique

Le soleil est en fin de compte responsable de nombreux dangers pour les vaisseaux spatiaux. Le rayonnement particulaire sous forme de rayons cosmiques solaires (protons très énergétiques et noyaux atomiques plus lourds d'origine solaire), les proéminences éruptives et les éjections de masse **coronale sont des événements énergétiques** sporadiques qui peuvent produire des environnements et des satellites dangereux. Anomalies lorsque le rayonnement atteint le voisinage de la Terre. Le soleil est également une source de rayons X provenant de certaines éruptions solaires et de bruit radio [I.18].



Figure I- 16 : Représentation d'environnement thermique [I.19]

Le rayonnement solaire se situe essentiellement dans le visible. Une partie du flux solaire, réfléchié par les nuages et le sol, est renvoyée vers l'espace (albédo). Son spectre est voisin de celui du soleil avec cependant quelques bandes d'absorption ( $H_2O$ ,  $CO_2$ ).

#### III.4 Environnement de lancement

Lors du lancement du lanceur, il produira un bruit très fort, susceptible de produire des contraintes mécaniques, susceptibles d'endommager les différents sous-systèmes du satellite. L'émetteur monte, créant un environnement sonore large bande très sévère dans tout l'émetteur.



Figure I- 17 : Lancement imminent du satellite Konnect d'Eutelsat [I.20]

**L'intensité** du flux sonore est très élevée. Dans la gamme de fréquences couverte par les 31,5 octaves, il peut atteindre 140 dB (niveau de pression acoustique limité) à 2000 Hz, Les antennes

## CHAPITRE I : Généralités sur les antennes utilisées dans le domaine spatial

et les panneaux solaires sont fortement affectés par ce flux en raison de leurs bonnes performances [I.20].

### IV. ARCHITECTURE D'UN SYSTEME DE TELECOMMUNICATIONS PAR SATELLITE

Le secteur spatial

Les satellites artificiels sont des engins lancés dans l'espace par l'homme à l'aide d'une fusée (ou de la navette spatiale). A ne pas confondre les satellites artificiels et satellites naturels qui sont des astres tournant autour d'une planète : par exemple, la Lune est le satellite naturel de la Terre.

Ils sont destinés à tourner autour de la Terre ou d'un autre objet de l'Univers (planètes, étoiles, etc.). Ils sont tous équipé d'antennes (pour la communication), de panneaux solaires (pour l'alimentation en électricité) et d'instruments sophistiqués dédiés à la mission (caméra, altimètre, magnétomètre, détecteurs de particules, etc.).

#### IV.2. Le secteur terrien

Il est constitué de l'ensemble des stations terriennes, raccordées aux terminaux des utilisateurs par un réseau Terrestre pour la plupart. Les stations, bien que jouant le même rôle, se distinguent par leurs tailles, qui varient en fonction du volume du trafic à acheminer et du type de trafic (téléphone, télévision, données).

Certaines stations sont à la fois émettrices et réceptrices tandis que d'autres sont uniquement réceptrices.

La liaison de communication par satellite est illustrée à la Figure (I-18) Différents paramètres importants pour la conception des liens sont définis comme suit :

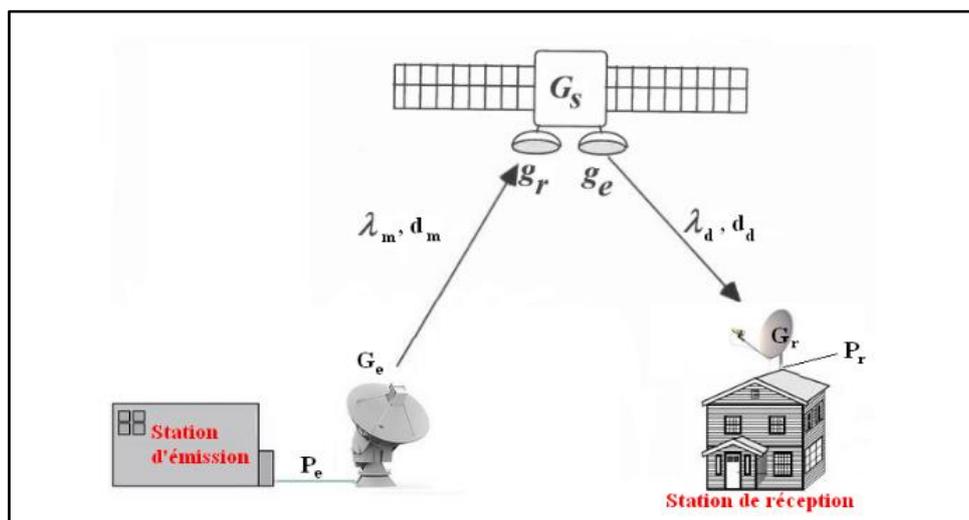


Figure I- 18 : Liaison station d'émission-Satellite-station de réception [I.21].

<b>dm:</b> Distance entre l'émetteur et le satellite	<b>Gr:</b> Gain de l'antenne réceptrice
<b>Pr:</b> Puissance reçu par le récepteur	<b>gr:</b> Gain de l'antenne réceptrice du satellite
<b>dd:</b> Distance entre le satellite et le récepteur	<b>Gs:</b> Gain du transpondeur du satellite
<b>Ge:</b> Gain de l'antenne émettrice	<b><math>\lambda_m</math>:</b> Longueur d'onde du faisceau montant
<b>ge:</b> Gain de l'antenne émettrice du satellite	<b><math>\lambda_d</math>:</b> Longueur d'onde du faisceau descendant
<b>Pe:</b> Puissance émise par l'émetteur	

## IV.1 Paramètres d'une liaison satellitaire

### IV-1-A. EIRP

La puissance isotrope rayonnée équivalente (PIRE) représente la puissance relative à la puissance de l'émission de l'antenne satellite reçue en direction du sol. Elle est déterminée à partir de la puissance de l'émetteur ainsi que du gain de l'antenne d'émission dans la direction considérée :

$$PIRE = G_e P_e \quad \dots (I - 12)$$

Avec  $G_e$  et  $P_e$ , respectivement, le gain de l'antenne et la puissance électrique d'émission.

### IV-1-B. Gain de l'antenne

Le gain d'antenne est la puissance d'amplification passive de l'antenne. C'est le rapport de la puissance rayonnée du lobe principal à la puissance rayonnée d'une antenne de référence isotrope ou dipôle

$$G = \frac{4\pi * P(\theta, \varphi)}{P_{out}} \quad \dots (I - 13)$$

### IV-1-C. Puissance de transmission et de réception

Une antenne de réception dirigée dans la direction de rayonnement principal de l'antenne d'émission va recevoir une fraction de la puissance rayonnée. Cette fraction est proportionnelle à la surface de l'antenne de réception et à son orientation par rapport à la direction de propagation de la puissance émise.

La puissance reçue s'écrit :

$$P_r = \frac{P_T G_T A_R}{4\pi d_2^2} \quad \dots (I - 14)$$

Avec

$$A_r = \frac{D_2}{4} \eta \pi \quad \dots (I - 15)$$

## CHAPITRE I : Généralités sur les antennes utilisées dans le domaine spatial

### IV-1-D. Capacité de transmission

En 1948, Shannon a prouvé un théorème selon lequel tant que la capacité C (bits / s seconde) n'est pas dépassée, la capacité s'écrit :

$$C = W \log_2 \left( 1 + \frac{S}{B} \right) \quad \dots (I - 16)$$

Le rapport S/B représente le rapport signal sur bruit

### IV-1-E. Bilan de Liaison

Le nombre d'intérêt pour l'évaluation des performances de la liaison est le rapport signal sur bruit SNR. Pour la transmission numérique, la probabilité d'erreur sur les symboles binaires reçus doit être raisonnable compte tenu de tous les dommages. Utilisez l'évaluation du lien pour évaluer le rapport SNR au niveau du récepteur, qui répertorie toutes les dégradations à divers endroits sur le lien [5] :

$$SNR = \frac{P_r}{N} = \frac{G_r RIPE}{N L_{fs}} = \frac{RIPE \cdot G_r}{B \cdot N_0 L_{fs}} \quad \dots (I - 17)$$

$$N_0 = \frac{N}{B} \quad \dots (I - 18)$$

$$\frac{P_r}{N_0} = \frac{RIPE \cdot G_r / T}{K \cdot L_{TOT}} \quad \dots (I - 19)$$

Tel que :

- ✚ N : le bruit global du système.
- ✚ L<sub>TOT</sub> : les pertes totales
- ✚ B : la bande passante de l'antenne
- ✚ G<sub>r</sub>/T : représente la figure de mérite.

## V. DIFFERENTS TYPES DES ANTENNES SPATIALES

Les antennes peuvent être classées selon la forme structurale, la bande de fréquences de fonctionnement, la directivité, le gain, l'orbite...

### V.1 Selon directivité

#### V-1-A. Les antennes filaires

La catégorie des antennes filaires regroupe l'ensemble des antennes formées d'une structure de câble conducteur de diamètre faible ou l'on considérera des densités linéiques de courant. Les antennes de bases sont : les dipôles, les monopoles, les boucles. Pour étudier de telles antennes, il suffit de les décomposer en petite partie (d'antennes Élémentaires ou doublet d'hertz).

**1) Antenne élémentaire**

Le doublet **d'Hertz** ou l'antenne élémentaire ou le doublet élémentaire est une antenne filaire mince de forme cylindrique (diamètre  $d \ll \lambda$ ) parcourue par un courant variable dans le temps, d'amplitude complexe associée constante. Pour avoir cette amplitude associée de courant constant tout le long de cette antenne, sa longueur doit donc être très petite devant la longueur d'onde ( $l \ll \lambda$ ), elle doit être munie à ses extrémités de deux plaques métalliques conductrices constituant une charge capacitive, afin d'assurer le courant non nul aux extrémités de l'antenne et de satisfaire l'équation de continuité. Cependant l'étude de cette antenne est d'une très grande importance, car le champ total rayonné de l'antenne filaire mince ou composée s'obtient en calculant le champ rayonné par N doublet **d'Hertz**.

**V-1-B. Les antennes directives**

Les antennes directives, comme leur nom indique, concentrent la totalité de leur rayonnement dans une direction unique. Ce type d'antenne est utilisé pour des liaisons de type point à point pour lesquelles les positions des antennes d'émission et de réception sont connues. La directivité et l'angle d'ouverture du lobe dépendent des applications visées. Les applications sont en général des liaisons Terre-Satellites. L'intérêt de ces antennes se concentre sur l'augmentation de la portée des liaisons radio et sur l'augmentation du débit des transmissions.

**V-1-C. Les antennes à ouverture rayonnante**

**1) Les antennes cornets**

L'ouverture rayonnante peut être rectangulaire pour la polarisation linéaire ou circulaire pour la polarisation circulaire.



Figure I- 19 : Antenne cornet cylindrique et rectangulaire [I.22]

**2) L'antenne parabole**

Les paraboles sont des antennes à projecteur d'onde assimilables à des ouvertures rayonnantes de grandes dimensions par rapport à la longueur d'onde. Leur rôle est de transformer une onde sphérique en onde plane : la source est placée au point focal (foyer) du système à lentilles ou à réflecteurs



Figure I- 20 : Antenne parabole [I.23]

### 3) Les antennes lentilles

De la même manière que les paraboloïdes, les antennes lentilles sont des projecteurs d'ondes transformant une onde sphérique en onde plane, d'ailleurs, un certain nombre de similitudes existent entre des deux types d'antennes capables de rayonner l'énergie d'une source primaire dans une direction donnée.

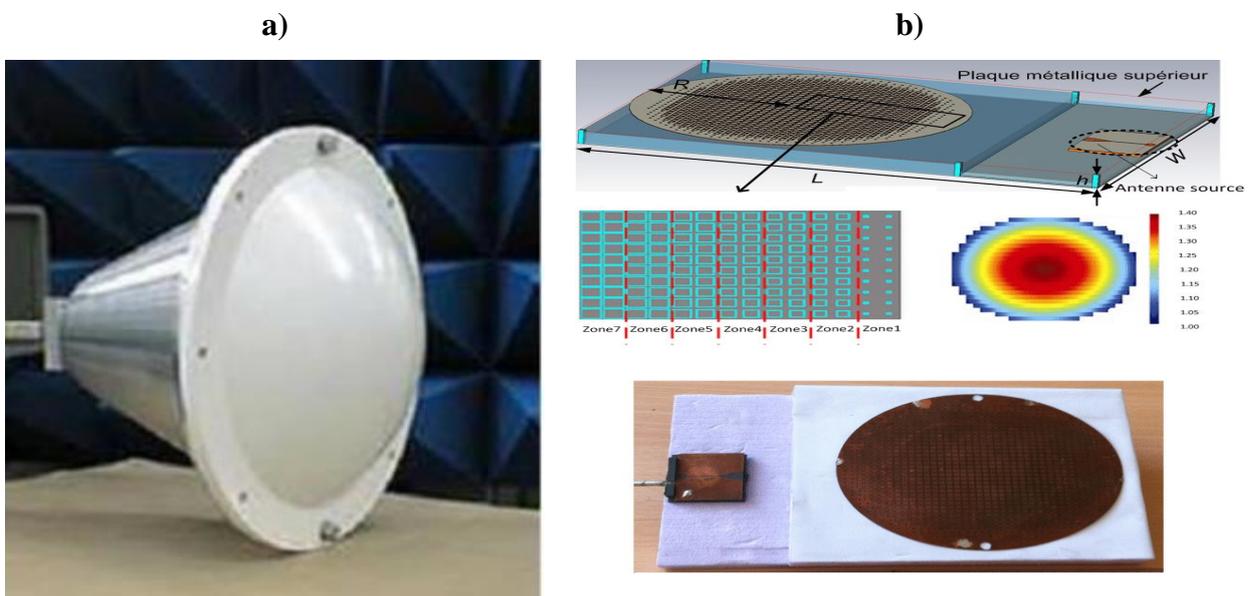


Figure I- 21 : Antenne lentille [I.23]

Les antennes à ouvertures rayonnantes permettent d'obtenir des diagrammes de rayonnement ayant un lobe très directif avec des faibles lobes secondaires. Leur inconvénient est surtout l'encombrement volumique qu'elles engendrent.

**V-1-D. Les réseaux d'antennes**

Un réseau d'antennes est un assemblage d'antennes élémentaires, suivant une ou deux dimensions, séparées et alimentées. L'antenne élémentaire peut être cornet un patch ou une fente.



Figure I- 22 : Réseau cornet, réseau patch [I.24]

**V-1-E. Antennes omnidirectionnelles**

L'antenne omnidirectionnelle est aussi appelée antenne verticale ou antenne bâton. Elle est généralement utilisée dans un système de connexion internet Wifi, c'est-à-dire sans fil. En effet, l'antenne omnidirectionnelle émet un rayon de 360° autour d'elle et permet de capter un signal fort et de l'étendre à partir d'un point d'accès.

On peut retrouver l'antenne omnidirectionnelle sur tous les dispositifs sans fil. Elle est, à l'origine, connectée à un connecteur rp-sma proposant un gain entre 2 et 4 décibels. Selon votre choix, vous pouvez encore augmenter ce gain jusqu'à obtenir 9 à 15 décibels pour obtenir des résultats optimaux. Il suffit de remplacer l'antenne intérieure par un câble coaxial.



Figure I- 23 : Antenne omnidirectionnel [I.25]

## **V.2 Selon l'orbite**

Les antennes peuvent être classées selon le type d'orbite :

- Orbite basse, appelée LEO (orbite terrestre basse), avec une altitude comprise entre 600 et 1600 km ;
- Orbite moyenne, telle que tous les MEO de moyenne altitude (orbite de la Terre du Milieu) ;
- Orbite géostationnaire, appelée GEO (orbite géostationnaire), située à 36000 km ;

Les antennes GEO utilisent généralement comme les bandes Ku et Ka, elles sont montées dans les orbitales GEO par exemple les satellites de télécommunication.



Figure I- 24 : Les réseaux d'antenne a) la deuxième génération de TDRS (GEO) b) METEOLIST de première génération (LEO) [I.26].

## **V.3 Selon le gain**

Par la valeur du gain  $G=6$  dBi, les antennes spatiales ayant 02 catégories :

### **V-3-A. Antennes à gain élevé $G \geq 6$ dBi**

Antennes à réflecteur parabolique, réseaux d'antennes patch et antennes pour les applications spatiales lointaines, telles que les antennes **AKATSUKI** sont des antennes à gain élevé.

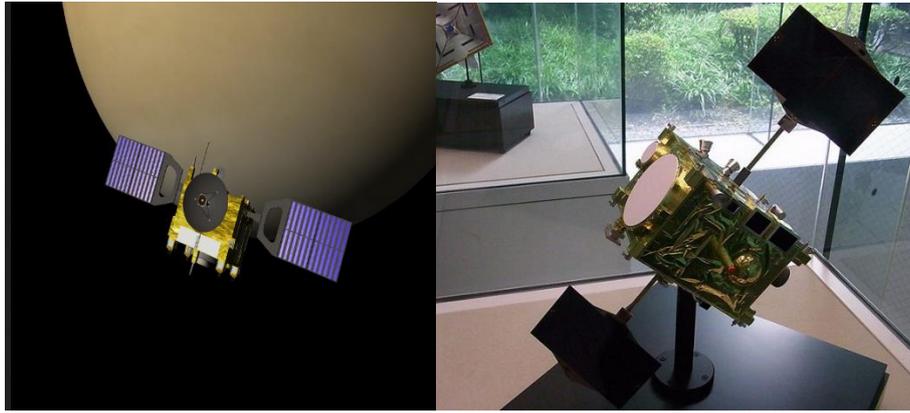


Figure I- 25 : L'antenne AKATUSKI (Japon) [I.27].

### V-3-B. Antennes à gain faible $G \leq 6$ dBi

L'antenne planaire est une antenne dont l'élément rayonnant est une surface conductrice généralement carrée, séparée d'un plan réflecteur conducteur par une lame diélectrique. Sa réalisation ressemble à un circuit imprimé double face, elle est donc favorable à une production industrielle. Ces antennes et spécialement les antennes imprimées ont été beaucoup développées et utilisées ces dernières années pour leur faible encombrement.

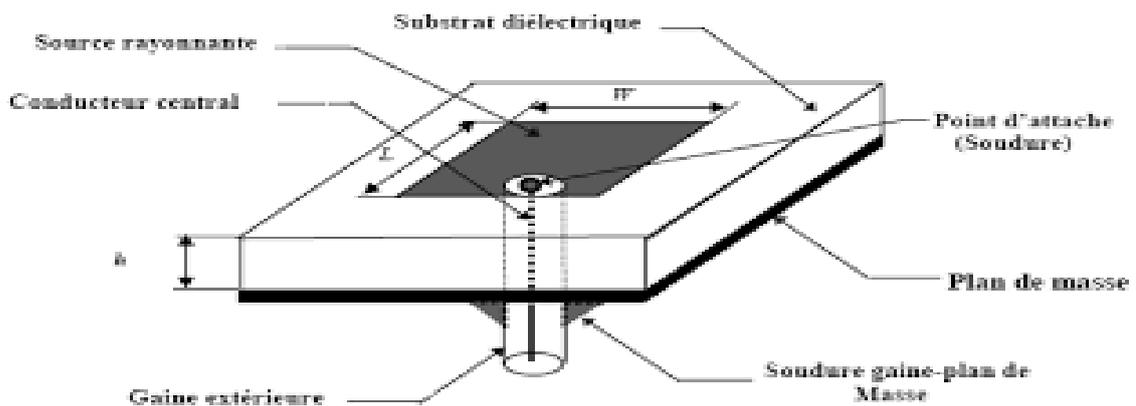


Figure I- 26 : Antenne patch [I.2].

D'autre part, la conformation facile et leur compatibilité avec l'intégration du circuit actif, font qu'elles sont particulièrement adaptées pour réaliser des systèmes compacts d'émission-réception.

## VI. CONCLUSION

Nous vous bien présenté une généralité sur les antennes spatiales, les principaux paramètres des antennes, permettant de distinguer entre les différents types et les caractéristiques antennes, ont été présentées que soient de rayonnement, etc.

## **CHAPITRE I : Généralités sur les antennes utilisées dans le domaine spatial**

La maîtrise de la théorie des antennes est plus que nécessaire, elle nous permet de comprendre leur comportement à des différentes gammes de fréquences. Car pour toute application, il faut choisir des caractéristiques bien conforme au standard spécifique.

L'environnement spatial est un milieu agressif aux engins spatiaux. Il provoque des contraintes sévères thermiques et mécaniques qui dégradent les matériaux constructifs, particulièrement sur certains composants tels que les antennes à cause de leurs comportements physiques importants.

La diversité des applications spatiales implique l'utilisation de large gamme des antennes. Afin de réduire le nombre total des antennes au bord du minisatellite, les techniques sont utilisées pour assurer à l'antenne de fonctionner dans plusieurs bandes. Pour cela, le deuxième chapitre sera consacré à l'état de l'art de la technique des antennes patch.

# **Chapitre II :**

**Caractéristique d'antenne patch  
pour Réception des chaines  
satellitaire**

## CHAPITRE II : CARACTERISTIQUE D'ANTENNE PATCH POUR RECEPTION DES CHAINES SATELLITAIRE

### I. INTRODUCTION

Aujourd'hui, l'industrie des télécommunications suscite un vif intérêt pour les circuits miniatures et les composants électroniques. Concernant la conduction des objets, cette tension est surtout focalisée sur l'antenne, qui est en général l'un des éléments les plus complexes du système.

Les systèmes micro-ondes à petite structure en ruban ont été à l'origine du développement d'antennes imprimées souvent utilisées dans les réseaux pour améliorer leurs performances et permettre de réaliser des fonctions très spécifiques.

Le concept des antennes imprimées (antennes micro-ruban aussi connues sous l'appellation anglaise **patch antenna**) est apparu dans les années 1950.

Il a été proposé par Deschamps. Après quelques années en France, Guton et Pacno ont été brevetés par l'antenne à petite bande, car il n'y avait pas de piliers de recherche pour une récession de 15 ans [II-1].

Cependant, la nécessité d'une antenne mince pour les industries militaires et spatiales a réaménagé les antennes imprimées au début des années 1970 [II.1].

La structure planaire qui est constituée d'une plaque conductrice gravée sur un substrat diélectrique qui repose sur un plan de masse a été décrite par Byron, un peu plus tard Munson a réalisé la première antenne micro-ruban. En 1979, un séminaire sur les antennes tenu au Mexique a lancé un intérêt international dans les antennes micro-ruban plusieurs articles ont été proposés à cette réunion. L'un des premiers livres qui a identifié les propriétés des antennes micro-ruban a été écrit par Bahl et Bhartia [II.1].

La technologie actuelle a souligné l'importance et l'utilité des antennes radio pour la communication radio, une technologie qui cible de plus en plus les composants en diminution [II.2].

Dans ce chapitre, nous présentons d'abord une description de la structure simplifiée des antennes imprimés (antennes patch), leurs avantages, leurs limites et leurs caractéristiques, puis nous examinons les différents types de source d'énergie et les méthodes d'analyse de ces antennes en terminant le chapitre par un bref aperçu de leurs domaines d'application.

### II. ANTENNE IMPRIMEE

L'antenne imprimée, appelée aussi antenne patch est un type récent d'antenne dont le développement et l'utilisation sont de plus en plus fréquents.

## Chapitre II : Caractéristique d'antenne patch pour Réception des chaînes satellite

L'avantage de l'antenne de patch par rapport à certaines antennes, est que les gravures des parties métalliques peuvent prendre des formes très variées en fonction de des objectifs fixés pour la répartition du rayonnement dans l'espace. Ceci donne une grande souplesse de conception. [3]

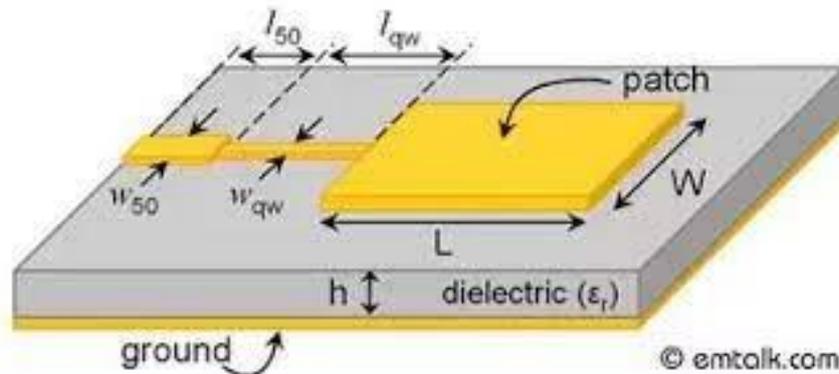


Figure II- 1 : Antenne Imprimée [II.3].

### II-1. Description d'une antenne patch

Dans sa structure de base, une antenne plaquée se compose par

- **Un plan de masse (ground)** est en métal à haute conductivité (généralement du cuivre) couvrant la partie inférieure du substrat. Elle permet de faire rayonner la partie supérieure
- **L'élément rayonnant (patch)** une pièce métallique rayonnante est de longueur  $L$ , de largeur  $W$  et assis au sommet (motif), elle est généralement fabriquée à base d'un matériau conducteur tel que le cuivre ou l'or (à cause de leurs conductivités élevées)
- **Substrat diélectrique (dielectric substrat)** composé par un matériau isolant, d'hauteur  $h$  généralement faible devant la longueur d'onde de fonctionnement mais ne devrait pas être beaucoup plus petite que 0,025 d'une longueur d'onde ou l'efficacité de l'antenne sera dégradée et de permittivité relative  $\epsilon_r$  est utilisé pour augmenter la puissance rayonnée par l'antenne et réduire les pertes par effet de joule et amélioré la bande passante de l'antenne.

Parfois, il est préférable d'utiliser des substrats diélectriques d'épaisseur importante et de faible permittivité pour avoir une grande efficacité et une large bande passante [II.4].

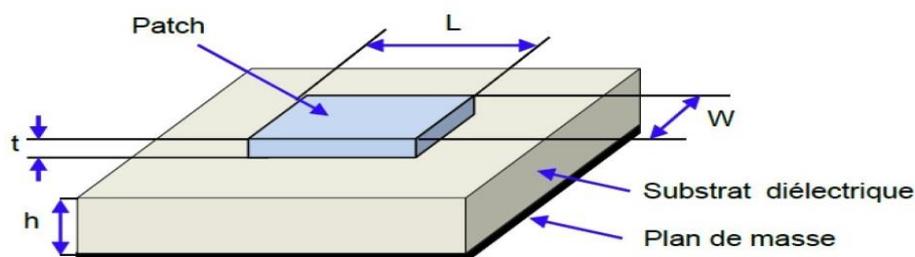


Figure II- 2 : Structure d'Antenne Imprimé [II.5].

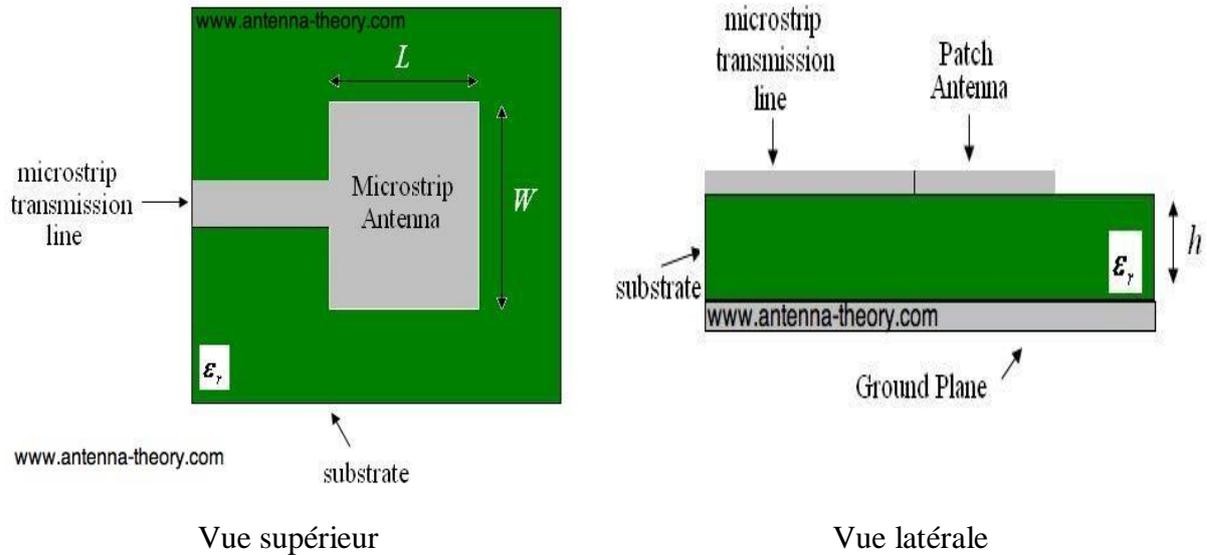


Figure II- 3 : Apparence de l'antenne [II.6].

### II-2. Les différentes formes d'une antenne patch

L'antenne patch peut prendre plusieurs formes qui peuvent être rectangulaire, carré, circulaire ou simplement un dipôle. Ces formes sont les plus courantes car elles présentent une grande facilité d'analyse et de fabrication, mais également un diagramme de rayonnement très intéressant. La figure suivante montre ces différentes formes.

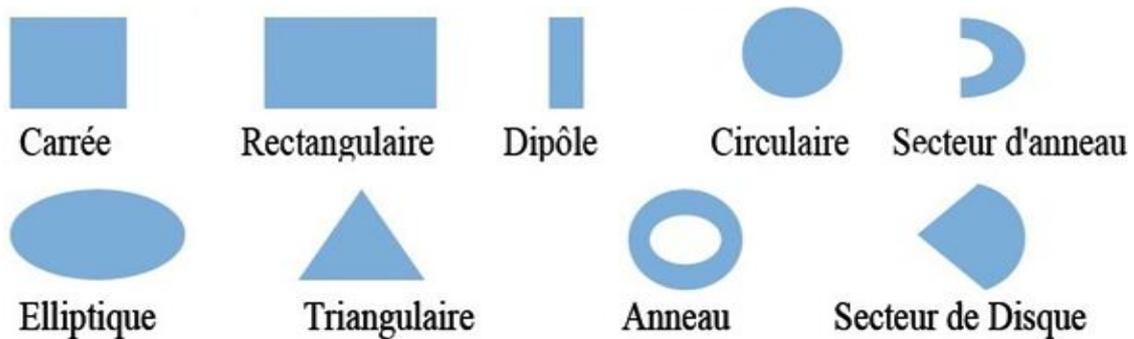


Figure II- 4 : Les différentes formes d'antenne patch [II.5].

### II-3. Description Du substrat

Dans la conception des antennes patches le substrat diélectrique est un paramètre très efficace représenté par  $\epsilon_r$ , donc son importance réside dans son influence directe sur la fréquence de résonance, la bande passante, et le rayonnement de l'antenne.

Alors, maintenant, regardons quels sont les substrats à utiliser pour l'antenne microruban, nous avons donné quelques noms populaires sur le substrat :

## Chapitre II : Caractéristique d'antenne patch pour Réception des chaines satellitaire

- **L'alumine** est l'un des substrats utilisé largement, pour les circuits intégrés à micro-ondes et très peu d'applications pour une antenne microruban, nous utilisons l'alumine dans une antenne compacte.

Le constant diélectrique typique de 9,8 est bien que cela puisse varier de 9,6 à environ 10,2. Il a une tangente de perte très faible qui est de 0,001 donc, l'alumine n'est pas très utile comme antenne car c'est un  $\epsilon_r$  élevé qui conduit à très moins de rayonnement.

- **Le substrat en verre époxy également** connu sous le nom de **substrat (FR4)**. C'est le substrat couramment utilisé pour toutes les cartes de circuits imprimés.

Le constant diélectrique typique peut être de 4.4, mais en réalité elle peut être de 3,8 à environ 4,6. Le problème est que la tangente de perte est très élevée, ce qui est de 0,02, mais le gros avantage est que le coût est très faible.

- **Duroid ou Arlon** est type de substrat avec le constant diélectrique typique du substrat est d'environ 2,2.

En fait, il s'agit en fait d'une variation de verre [II.7].

Le substrat	Le constant diélectrique $\epsilon_r$	Tangente de perte	Coût
L'alumine	9.8	0.001	Très chère
Substrat (FR4).	4.4	0.02	Faible
Duroid ou Arlon	2.2	0.0009	Très chère
Foarn	1.05	0.0001	Faible
Air	1	0	//

**Tableau II- 1 : Les différents types de substrat [II.7].**

### III. CARACTERISTIQUE DE L'ANTENNE PATCH

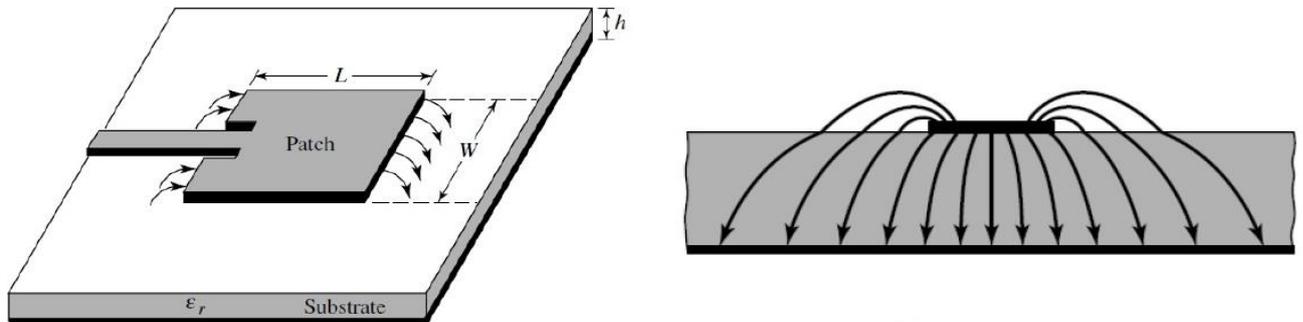
#### III-1. Diagramme de rayonnement Et Efficacité de Rayonnement

Diagramme de rayonnement est généralement une fonction mathématique ou représentation graphique des propriétés de rayonnement d'une antenne en fonction de coordonnées géométriques, généralement sphériques, L'intensité du rayonnement est influencée de manière significative par la longueur du conducteur, L, et la largeur, W, et dans une moindre mesure par la hauteur du substrat h selon l'équation suivante :

$$E(\theta) = \frac{\sin \left[ KW \frac{\sin \theta \sin \emptyset}{2} \right]}{KW \frac{\sin \theta \sin \emptyset}{2}} \cos \left( \frac{KL \sin \theta \cos \emptyset}{2} \right) \cos(\emptyset) \quad \dots II - 1$$

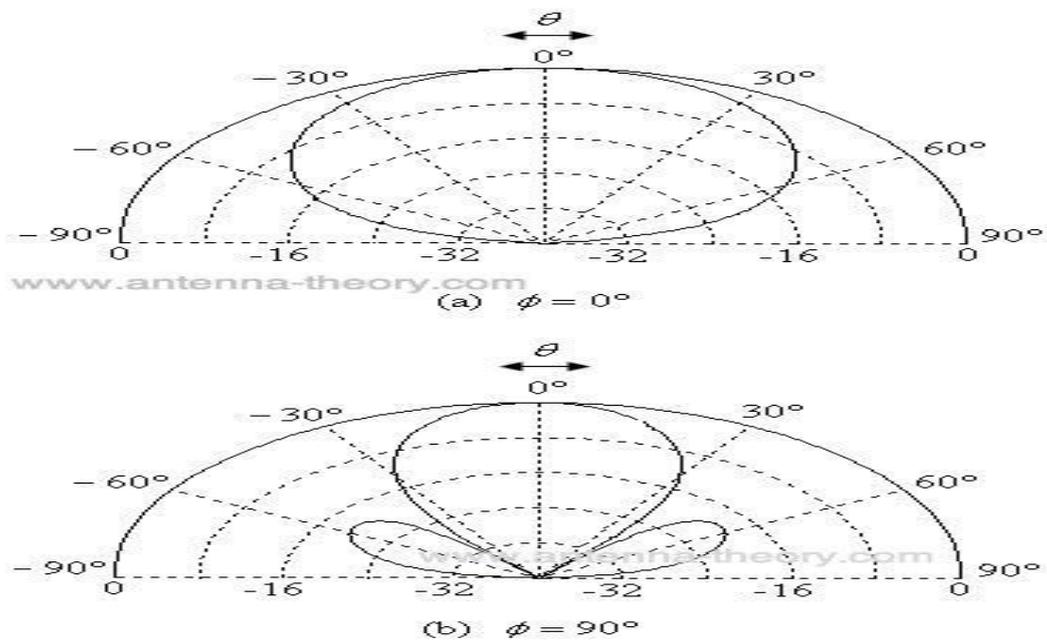
$$E(\theta) = \frac{\sin \left[ KW \frac{\sin \theta \sin \phi}{2} \right]}{KW \frac{\sin \theta \sin \phi}{2}} \cos \left( \frac{KL \sin \theta \cos \phi}{2} \right) \cos(\theta) \sin(\phi) \quad \dots II - 2$$

Le graphique de la figure II- 6 représente l'antenne patch rectangulaire avec les différents paramètres identifiés.



**Figure II- 5 : Lignes de champ entre les bords de patch et le plan de masse [II.8].**

Notez spécifiquement la configuration du champ électrique rayonnant à chaque bord du conducteur micro ruban. Parce que la longueur effective du conducteur micro ruban est une demi-longueur d'onde, le champ électrique est un maximum sur les bords gauche et droit en raison du circuit ouvert efficace et du motif de champ répétitif à des intervalles de demi-longueur d'onde.



**Figure II- 6 : Diagramme de rayonnement normalisé pour antenne microruban (patch) [II.6].**

L'intensité du rayonnement est influencée de manière significative par la longueur du conducteur L, et la largeur W, et dans une moindre mesure par la hauteur du substrat h [II.6].

**III-2. Type de polarisation**

**III-2-A. Polarisation orthogonales**

Le champ électrique est le seul à être utilisé pour définir la polarisation, Alors que Les courants surfaciques qui sont produits sur l'élément métallique sont dirigés selon l'axe de symétrie passant par le point d'excitation ils sont donc à polarisation uniforme, et il en résulte que les champs E et H rayonnés pour une excitation donnée sont à polarisations rectilignes.

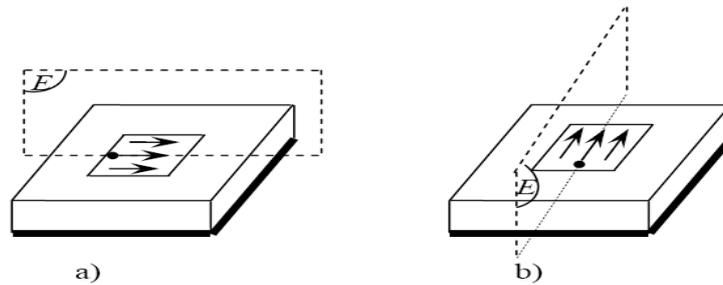


Figure II- 7 : Niveau E et direction des courants à la surface de l'élément radioactif, a. Selon la situation ou b. Du point d'excitation [II.9].

Si ces excitations sont effectuées simultanément en des points homologues situés sur de axes de symétrie d'un élément rayonnant carré ou circulaire, le rayonnement de l'antenne se fera selon deux polarisations orthogonales [II.9].

Il existe deux types de polarisation orthogonale qui appelle polarisation vertical et polarisation horizontal :

Si le champ E est situé sur axe (o x) donne onde polarisée verticalement

Si le champ E est situé sur axe (o y) donne onde polarisée horizontalement

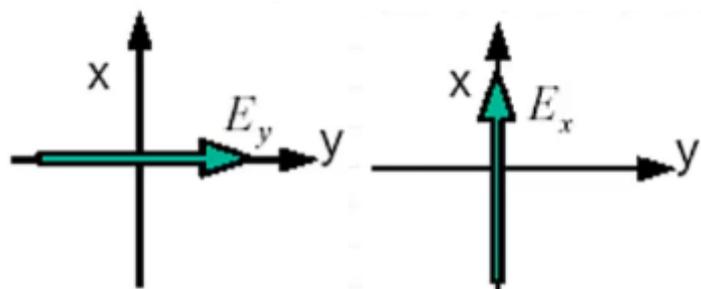


Figure II- 8 : Polarisation horizontale et polarisation verticale [II.10].

Si l'excitation est réalisée simultanément (Fig. II-9 a et b) en des points homogènes situés sur deux axes de symétrie d'un élément de rayonnement carré ou circulaire, alors l'antenne est irradiée selon deux pôles orthogonaux.

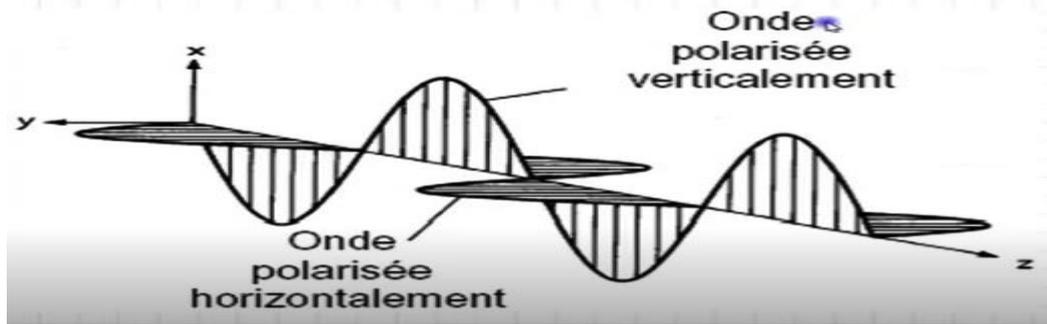


Figure II- 9 : Polarisation orthogonale [II.10].

Cette caractéristique reste valable, que l'excitation soit réalisée par une ligne coaxiale ou une ligne microruban, selon couplage direct ou couplage électromagnétique.

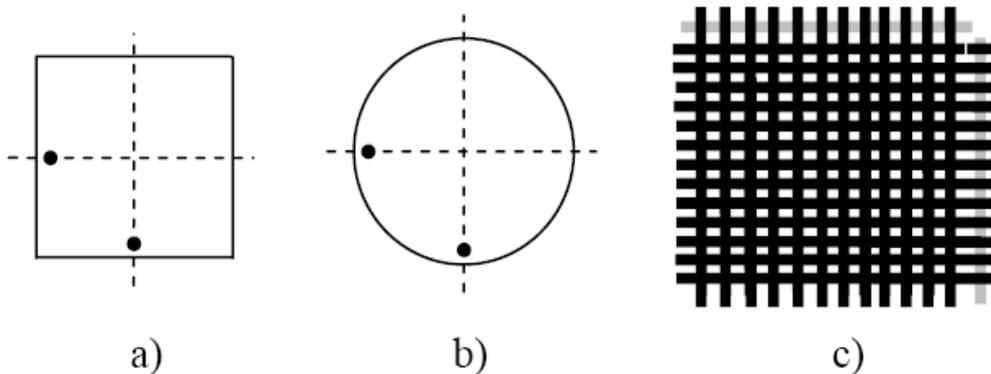


Figure II- 10 : L'excitation qui permet les polarisations orthogonales d'un élément : carré, b. Circulaire, c. à grilles orthogonales [II.9].

### III-2-B. Polarisation circulaire

La polarisation est dite circulaire si l'extrémité du vecteur du champ électrique, en un point de l'espace, décrit un cercle lorsque les ondes se propagent, il faut que les deux excitations orthogonales dans l'espace soient, de plus, déphasées de  $90^\circ$  dans le temps.

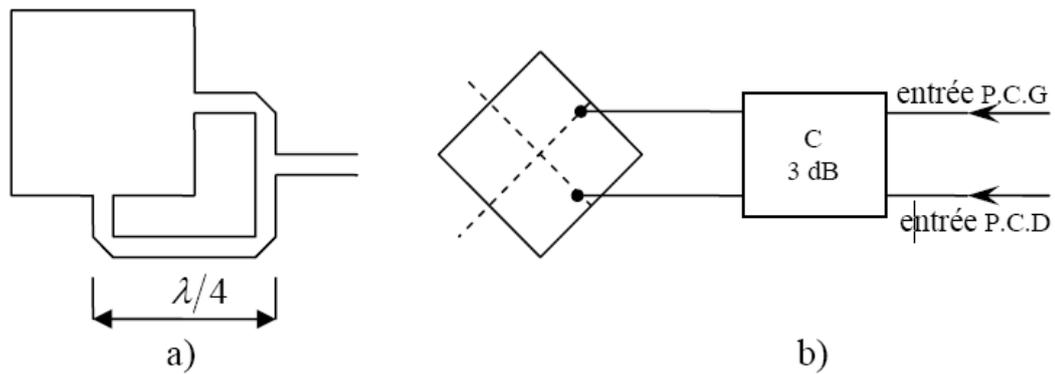


Figure II- 11 : Créez un décalage de 90 degrés entre les points d'alimentation : a) par des lignes dont les longueurs diffèrent de  $\lambda / 4$ . D'après Zürcher et Gradiol. b) par un coupleur à 3 dB [II.9].

Ceci est obtenu soit en utilisant deux lignes d'alimentation dont les longueurs diffèrent de  $\lambda / 4$  (figure II-12), soit en fournissant deux points d'excitation à partir d'un coupleur à 3 dB (figure II-12b) qui, nous le savons, fournit des ondes d'amplitude identique, mais à 90 degrés en dehors de la phase. Pour un déphasage de  $+ 90^\circ$ , la polarisation est circulaire droite (P.C.D), tandis que gauche est circulaire (P.C.D) pour deux Déphasage  $- 90$  degrés.

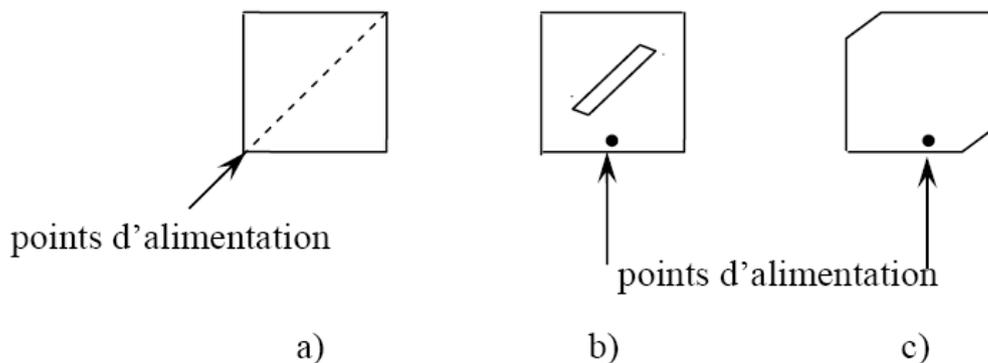


Figure II- 12 : Point d'alimentation pour obtenir une polarisation circulaire avec un élément : a. presque carré, b. carré avec une fente en diagonale, c. carré à coins tronqués [II.9].

La polarisation circulaire peut aussi être obtenue en alimentant un élément métallique rectangulaire, presque carré (fig. II.13a) à partir d'un point situé sur une diagonale, ou encore avec des éléments carrés alimentés en un seul point d'un de leurs axes de symétrie (fig. II.13b et II.13c) si le carré est rendu asymétrique.

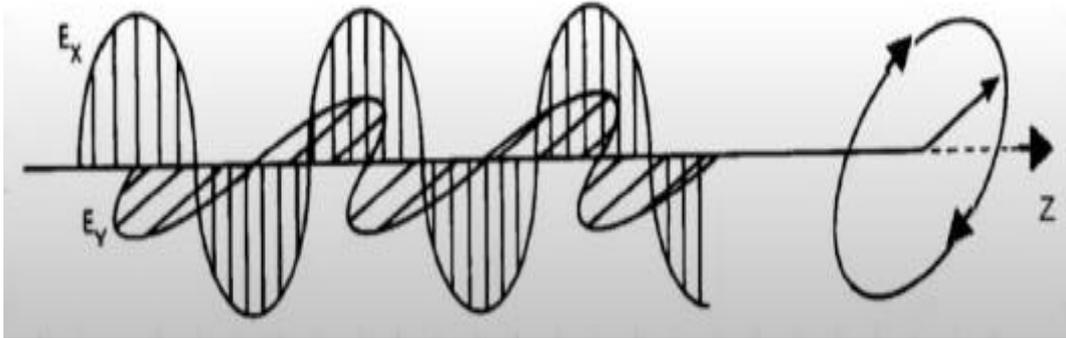


Figure II- 13 : Polarisation circulaire [II.10].

Par exemple par une petite fente découpée selon une diagonale du carré ou en tronquant deux coins opposés. On générale. Il y a Trois techniques principales:

- Alimentation unique avec modes propres « presque dégénérés » (bande passante CP compacte mais faible).
- Double alimentation avec ligne à retard ou déphaseur hybride  $90^\circ$  (plus large bande passante CP mais utilise plus d'espace).
- Technique de sous-réseau synchrone (produit un CP de haute qualité en raison de l'effet d'annulation, mais nécessite encore plus d'espace) [II.11].

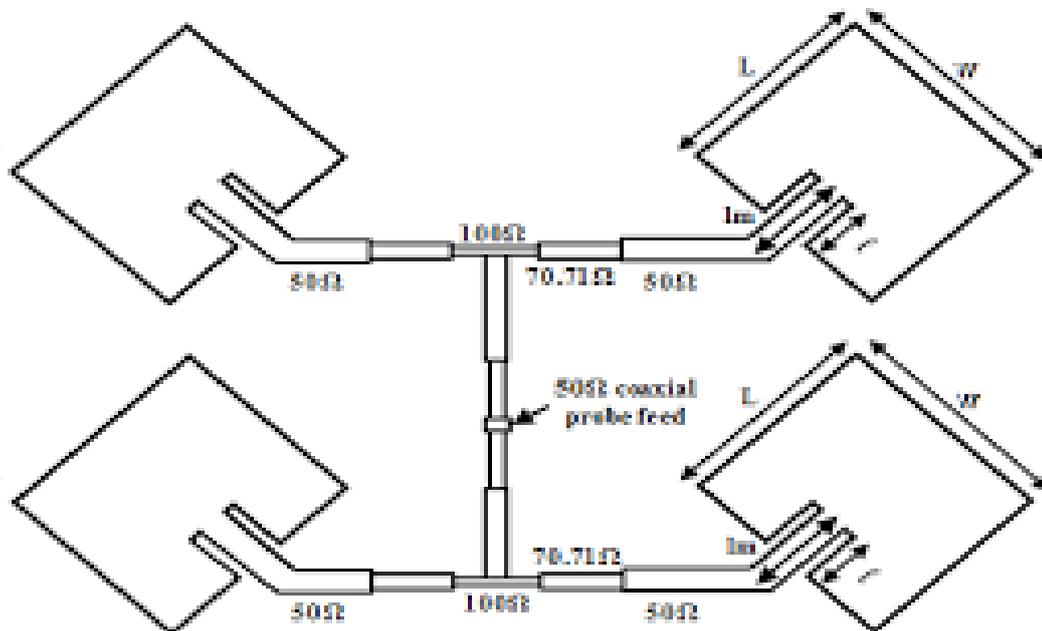


Figure II- 14 : Type de polarisation de réseau d'antenne [II.12].

#### Antenne double polarisée 2x2

Comme le montre la figure II-15, les conceptions à polarisation linéaire double 2x2 sont alimentées par une sonde coaxiale. Ceci a été intégré avec une antenne réseau à double polarisation

## **Chapitre II : Caractéristique d'antenne patch pour Réception des chaines satellitaire**

1x2 et une alimentation au centre de la ligne de transmission quart d'onde en utilisant la technique coaxiale. Comparé au résultat attendu pour une conception à un seul élément, ce résultat peut être considéré comme un meilleur résultat lorsqu'un seul élément microruban produit un gain très faible. Les résultats les plus importants de la conception du réseau qui devraient être obtenus sont la perte de retour, la bande passante, le diagramme de rayonnement et le résultat du gain.

### **III-3. L'alimentation**

L'alimentation est très importante dans la conception d'antennes de microscope qui peuvent modifier leurs propriétés de rayonnement. La source d'alimentation peut être focalisée ou arbitraire par rapport à la géométrie de l'élément. Par sa position, il détermine l'adaptation de l'antenne de la ligne d'alimentation, il existe deux catégories principales d'excitation : l'excitation avec contact et l'excitation sans contact, fournissant ainsi à l'antenne l'énergie dont elle a besoin pour le rayonnement.

Elles peuvent être classées en deux grandes catégories :

- Les alimentations par contact (par sonde coaxiale ou ligne micro ruban).
- Les alimentations par proximité (couplage électromagnétique par ligne ou fente)

#### **III-3-A. Les alimentations par contact**

Dans les méthodes avec contact, la puissance RF est alimentée directement au patch rayonnant en utilisant un élément de liaison comme une ligne micro-ruban l'énergie est envoyée aux spots radioactifs à l'aide d'un élément de contact tel qu'un câble coaxial et une ligne microruban.

- ❖ **Ligne micro ruban** : Dans ce type de technique d'alimentation, la ligne microruban est directement connectée à l'élément rayonnant, le point de jonction peut être sur l'axe de symétrie du patch ou complètement décalé pour permettre une meilleure adaptation d'impédance. En effet, cette technique d'alimentation présente un avantage puisque l'antenne et le circuit d'alimentation sont gravés sur le même substrat. Le but de l'encoche gravée sur le patch est de faire correspondre l'impédance caractéristique de la ligne d'alimentation à l'impédance d'entrée du patch sans avoir besoin d'éléments supplémentaires. Ceci est réalisé en contrôlant la bonne profondeur de l'encoche.

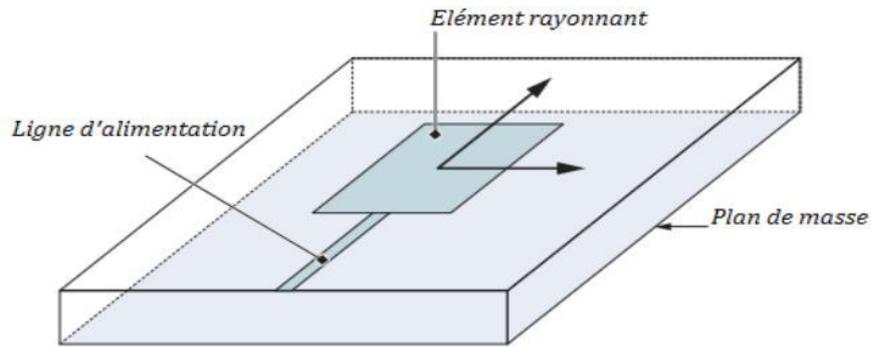


Figure II- 15 : Alimentation par ligne microruban [II.13].

- ❖ **Sonde coaxiale :** L'alimentation coaxiale est également largement utilisée, où le conducteur interne est connecté de l'essieu au patch de rayonnement tandis que le conducteur externe est connecté au plan de masse, Cette alimentation est très utilisée avec les patches de formes circulaire et annulaire.

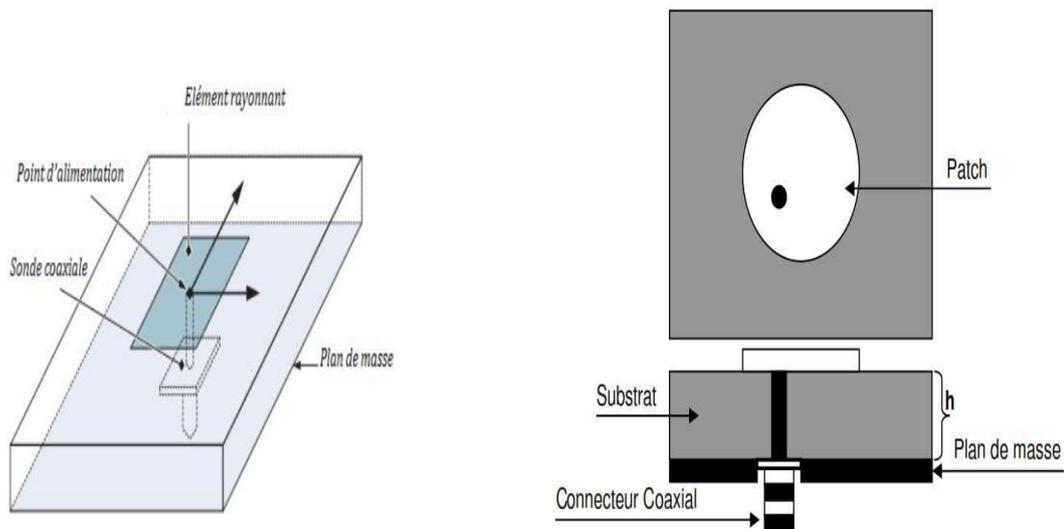


Figure II- 16 : Alimentation coaxiale [II.13].

### III-3-B. L'alimentation sans contact (par proximité)

Dans la deuxième classe d'excitation, le couplage électromagnétique est utilisé pour transférer la force de la ligne microruban au radiateur.

#### 1) Alimentation par guide d'ondes coplanaires

Le guide d'ondes coplanaire est une ligne de transmission efficace largement utilisée, la ligne d'alimentation et le plan de masse se trouvent sur la même face du substrat. A cette partie est rajouté un élément rayonnant imprimé sur un second substrat déposé au-dessus à hauteur des fentes rayonnantes. Le pavé rayonnant est alors excité par couplage électromagnétique :

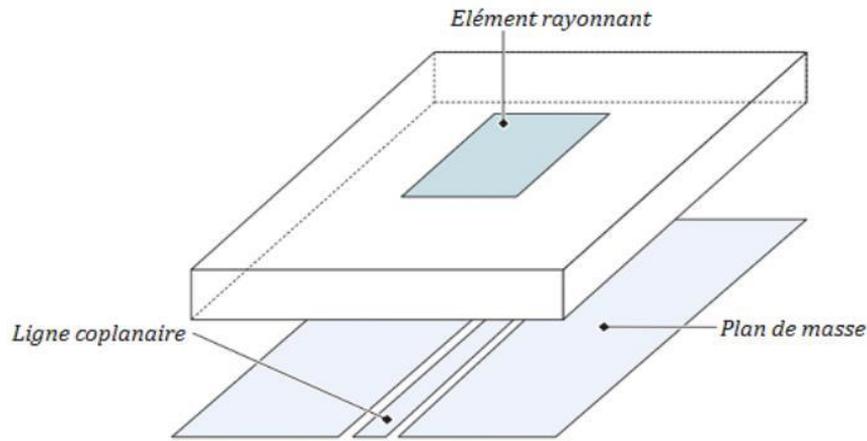


Figure II- 17 : Alimentation guide d'ondes coplanaires [II.13].

### 2) Couplage par fente (d'ouverture)

Dans la configuration des antennes patch à ouverture couplée, le champ est couplé de l'alimentation de la ligne microruban au patch rayonnant à travers une petite ouverture ou fente électriquement découpé dans le plan de masse.

Généralement, les matériaux à permittivité élevée sont employés pour le substrat inférieur par contre les matériaux à faible constante diélectrique sont utilisés pour le substrat supérieur dans le but d'optimiser le rayonnement du patch

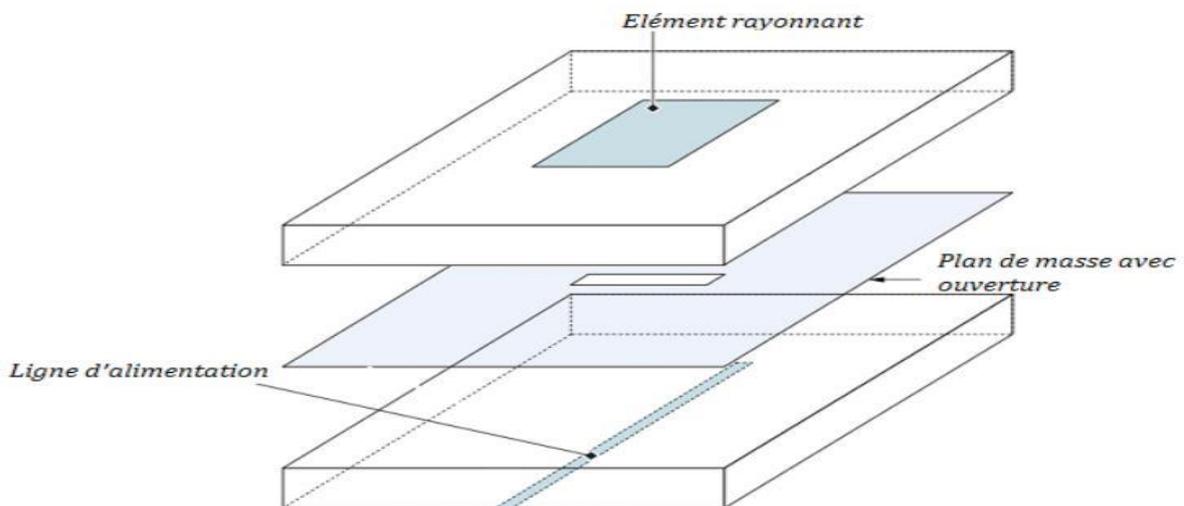


Figure II- 18 : Couplage par fente [II.13].

### 3) Le couplage de proximité (couplage électromagnétique)

Ce type d'alimentation dépend de Deux substrats diélectriques sont employés de façon que la ligne d'alimentation est placée entre le patch et le plan de masse, qui est séparé par deux milieux diélectriques.

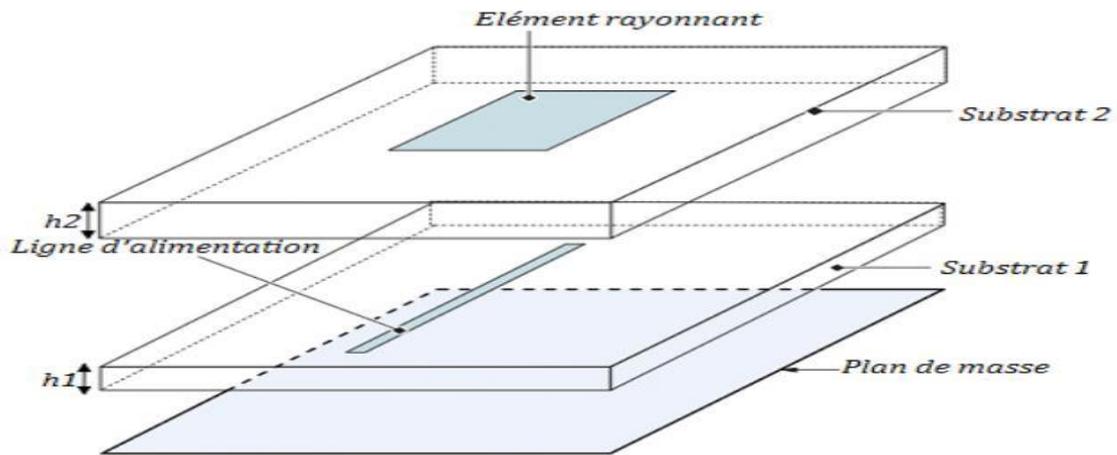


Figure II- 19 : Le couplage de proximité [II.13].

Les antennes patch contiennent généralement un patch de rayonnement bidimensionnel sur une fine couche isolante et peut donc être classé comme un composant plan bidimensionnel de l'analyse. Les méthodes d'analyse MSA peuvent être largement divisées en deux groupes

Dans le premier groupe, les méthodes sont basées sur une distribution de courant magnétique équivalente autour des bords du patch (similaire aux antennes à fente). Il existe trois techniques analytiques populaires :

- ✓ Le modèle de ligne de transmission ;
- ✓ Le modèle de cavité ;
- ✓ La méthode de réseau multi-ports (MNM)

Dans le deuxième groupe, les méthodes sont basées sur la distribution du courant électrique sur le conducteur de patch et le plan de masse (similaire aux antennes dipôles, utilisées en conjonction avec les méthodes de simulation / analyse numérique pleine onde). Certaines des méthodes numériques d'analyse des MSA sont répertoriées comme suit:

- ✓ La méthode des moments (MoM);
- ✓ La méthode des éléments finis (FEM);
- ✓ La technique du domaine spectral (SDT);
- ✓ La méthode du domaine temporel à différence finie (FDTD).

#### **III-4. LE MODELE DE LIGNE DE TRANSMISSION**

Le modèle de ligne de transmission est très simple et utile pour comprendre les performances de base d'un MSA, donc l'élément de radiateur à microruban est considéré comme un résonateur de ligne de transmission sans variations de champ transversal (le champ ne varie que le long de la longueur  $L$ ), et le rayonnement se produit principalement à partir des champs de franges aux extrémités ouvertes en circuit.

## **Chapitre II : Caractéristique d'antenne patch pour Réception des chaines satellitaire**

Le patch est représenté par deux fentes espacées de la longueur du résonateur pour cela le modèle de la ligne de transmission est utilisée pour résoudre le problème, où les inconnues sont la constante de propagation et l'impédance caractéristique.

Bien que le modèle de ligne de transmission soit facile à utiliser, tous les types de configurations ne peuvent pas être analysés à l'aide de ce modèle car il ne prend pas en charge la variation de champ dans la direction orthogonale à la direction de propagation.

### **III-4-A. Le modèle de cavité**

Le modèle de cavité est plus complexe par rapport au modèle de la ligne de transmission mais il est plus précis.

Dans ce modèle, la région entre le patch et le plan de masse est traitée comme une cavité entourée de quatre murs magnétiques autour de la périphérie et de deux murs horizontaux électriques.

Puisque des substrats minces sont utilisés, le champ à l'intérieur de la cavité est uniforme le long de l'épaisseur du substrat. Les champs sous le patch pour les formes régulières telles que les formes rectangulaires, circulaires, triangulaires et sectorielles peuvent être exprimés comme une somme des différents modèles de résonance de la résonance bidimensionnelle.

Les champs de franges autour de la périphérie sont pris en charge en étendant la limite du patch vers l'extérieur de sorte que les dimensions effectives soient plus grandes que les dimensions physiques du patch.

L'effet du rayonnement de l'antenne et la perte de conducteur sont pris en compte en ajoutant ces pertes à la tangente de perte du substrat diélectrique. Le champ lointain et la puissance rayonnée sont calculés à partir du courant magnétique équivalent autour de la périphérie [II.14].

### **III-4-B. La méthode de réseau multi-ports (MNM)**

Le MNM pour l'analyse du MSA est une extension du modèle de cavité, Dans cette méthode les champs électromagnétiques sous le patch et à l'extérieur du patch sont modélisés séparément, comme suivant :

- Le patch est analysé comme un réseau plan à deux dimensions, avec un nombre multiple de ports situés autour de la périphérie.
- La matrice d'impédance multiport du patch est obtenue à partir de sa fonction de Green à deux dimensions.
- Les champs frangeants le long de la périphérie et les champs rayonnés sont incorporés en ajoutant un réseau d'admittance de bord équivalent.

## Chapitre II : Caractéristique d'antenne patch pour Réception des chaines satellitaire

- La méthode de segmentation est ensuite utilisée pour trouver la matrice d'impédance globale.
- Les champs rayonnés sont obtenus à partir de la distribution de tension autour de la périphérie.

Les trois méthodes d'analyse ci-dessus offrent à la fois simplicité et compréhension physique. Ces méthodes sont précises pour les géométries de patch régulières, mais, à l'exception de MNM avec des techniques d'intégration de contour, elles ne conviennent pas aux configurations de patch de forme arbitraire. Pour les géométries complexes les techniques numériques décrites ci-dessous sont utilisées.

### III-5. Méthodes numériques

Ces méthodes sont les plus utilisées récemment, elles sont basées sur la distribution du courant électrique sur le conducteur et la résolution des équations de dérivée partielle inspirée par les équations différentielles de Maxwell.

Ces méthodes sont classées généralement en deux types les méthodes intégrales et les méthodes différentielles.

#### III-5-A. La méthode des moments (MoM)

La méthode des moments est basée sur une formulation intégrale faisant intervenir les courants surfaciques induits sur des plans métalliques présents dans la structure étudiée.

Donc les courants de surface sont utilisés pour modéliser le patch microruban, et les courants de polarisation de volume dans la plaque diélectrique sont utilisés pour modéliser les champs dans la plaque diélectrique.

Dans cette méthode, le champ électromagnétique est calculé à partir du vecteur potentiel A. La méthode dépend des propriétés des fonctions de Green. Et alors permet de relier le vecteur de potentiel à la courante source du champ électromagnétique, selon l'expression

$$\vec{A}(\vec{r}) = \iiint \overline{\overline{G_A}}(\vec{r}, \vec{r}') \vec{J}(\vec{r}') d\vec{r}' \quad \dots II - 3$$

Avec  $\overline{\overline{G_A}}(\vec{r}, \vec{r}')$  : le tenseur de Green relatif au vecteur potentiel.

$\vec{J}(\vec{r}')$  : La densité surfacique du courant.

$\vec{r}, \vec{r}'$  : Les vecteurs unitaires du point d'observation et de la source respectivement

Et on

$$\vec{E} = \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} - \overrightarrow{grad} \varphi \quad \dots II - 4$$

Donc on obtient l'expression du champ électrique en régime harmonique est écrite comme suite

$$\vec{E}_r(\vec{r}) = \frac{j}{\omega \epsilon} (k_0^2 + \nabla \cdot \nabla) \left( G(\vec{r}, \vec{r}') \times \vec{J}(\vec{r}') \right) \dots II - 5$$

La méthode du moment MoM comme toutes les méthodes intégrales est bien adaptée à la programmation sur ordinateur puisqu'elles utilisent peu de place mémoire et nécessitent de faibles temps de calcul. Cette méthode prend en compte les champs de franges en dehors de la limite physique du patch bidimensionnel, fournissant ainsi une solution plus exacte [II.15].

### III-5-B. La méthode des éléments finis (FEM)

Le FEM, contrairement au MoM, convient aux configurations volumétriques, Elle est basée sur la résolution des équations différentielles des champs électromagnétiques dans le domaine spectral.

Il s'agit donc de résoudre un système linéaire d'équations, les champs étant les inconnus. Pour cela, Dans cette méthode, la région d'intérêt est divisée en un nombre quelconque de surfaces finies ou d'éléments de volume en fonction des structures planes ou volumétriques à analyser. Ces unités discrétisées, généralement appelées éléments finis, peuvent être toutes les formes géométriques bien définies telles que les éléments triangulaires pour les configurations planes et les éléments tétraédriques et prismatiques pour les configurations tridimensionnelles, qui conviennent même pour la géométrie courbe. Il implique l'intégration de certaines fonctions de base sur l'ensemble du patch conducteur, qui est divisé en un certain nombre de sous-sections.

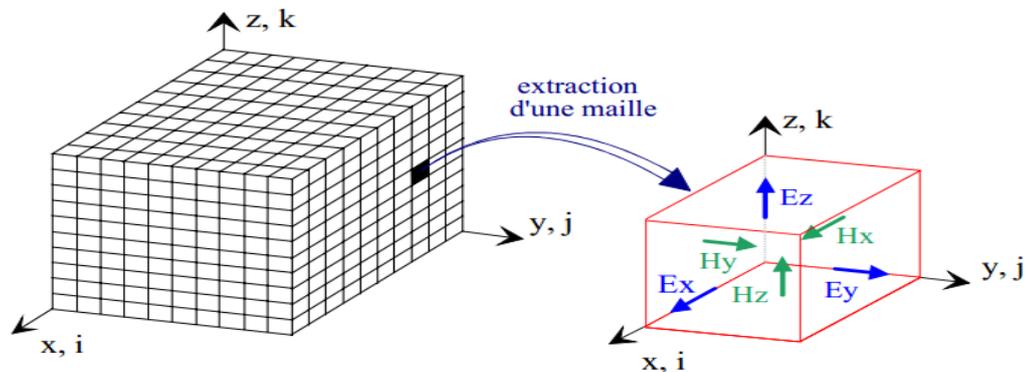


Figure II- 20 : Volume de calcul et cellule élémentaire [II.16].

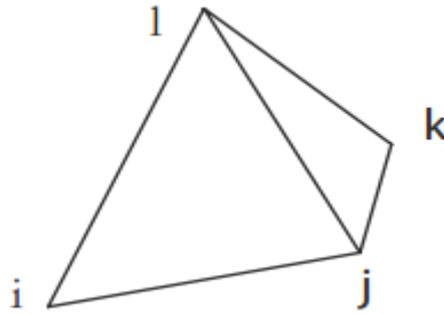


Figure II- 21 : Élément de base tétraédrique [II.16].

Le problème de la résolution d'équations d'ondes avec des conditions aux limites inhomogènes est abordé en le décomposant en deux problèmes de valeurs aux limites, l'un avec l'équation de Laplace avec une frontière inhomogène et l'autre correspondant à une équation d'ondes inhomogène avec une condition aux limites homogène

### **III-5-C. La technique du domaine spectral (SDT)**

La technique de SDT est basée sur la connaissance des champs électromagnétiques dans chaque région, elle prend en considération l'équation intégrale du champ électrique Dans le domaine spectral. Elle permet de résoudre le problème électromagnétique fréquence par fréquence à l'aide d'un processus matriciel implicite donc on peut s'écrire Le système d'équations intégrales sous la forme matricielle, le choix de la condition de continuité surfacique et le vecteur de courant sur les patches permet de réduire une relation entre les composantes tangentielles des champs électromagnétiques et les courants surfaciques et il faut aussi savoir à l'avance la fréquence de résonance des structures simulées.

L'approche de l'équation intégrale dans le domaine spectral est largement utilisée dans l'analyse et la conception de structures imprimées [II.13].

### **III-5-D. La méthode du domaine temporel à différence finie (FDTD)**

La méthode FDTD est bien adaptée aux MSA, car elle peut facilement modéliser de nombreuses inhomogénéités structurelles rencontrées dans ces configurations. Il peut également prédire la réponse du MSA sur la large bande avec une seule simulation. Elle permet la résolution d'équations différentielles spatio-temporelles sur ordinateur

Dans cette technique, une grille spatiale et temporelle pour les champs électriques et magnétiques est générée sur laquelle la solution est requise, donc l'espace est divisé en cellules élémentaires (ou mailles élémentaires) parallélépipédiques, à l'intérieur desquelles sont calculées les 6 composantes orthogonales des champs électromagnétiques ( $E_x$ ,  $E_y$ ,  $E_z$  et  $H_x$ ,  $H_y$ ,  $H_z$ ).

La forme particulière des équations de Maxwell conduit au calcul des composantes du champ électrique au milieu des arêtes des mailles, les bords des cellules E sont alignés avec la limite de

## **Chapitre II : Caractéristique d'antenne patch pour Réception des chaines satellitaire**

la configuration et les champs H sont supposés être situés au centre de chaque cellule E , Chaque cellule contient des informations sur les caractéristiques du matériau. Les cellules contenant les sources sont excitées avec une fonction d'excitation appropriée, qui se propage le long de la structure et Les variations temporelles discrétisées des champs sont déterminées aux emplacements souhaités.

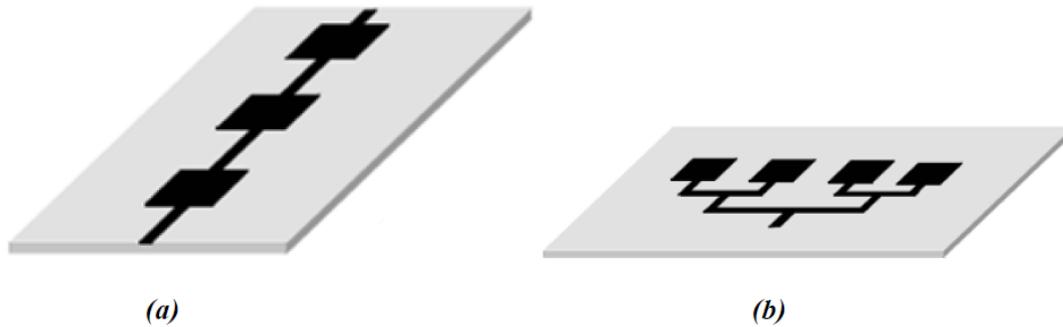
En utilisant une ligne intégrale du champ électrique, la tension aux deux emplacements peut être obtenue. Le courant est calculé par une boucle intégrale du champ magnétique entourant le conducteur, où la transformée de Fourier donne une réponse en fréquence.

Les avantages de cette technique dans le domaine temporel résident dans la formulation relativement simple, la robustesse de l'algorithme et surtout dans la possibilité d'effectuer des études sur une large bande de fréquences, les calculs s'effectuant directement dans le domaine temporel [II.14].

### **III-6. TECHNIQUE D'ALIMENTATION DU RESEAU D'ANTENNE**

La synthèse d'un réseau consiste à trouver les bons coefficients de pondération en amplitude et/ou en phase qui permettent d'approcher au mieux le besoin. Pour cela, l'alimentation d'un réseau d'antennes s'effectue à travers un réseau d'alimentation qui assure la répartition d'énergie sur différentes antennes élémentaires. Selon le besoin, le réseau d'excitation peut avoir des architectures différentes. Dans le cas d'un réseau d'antennes patch, le principe de la répartition d'énergie se fait par des lignes microrubans, où les déphaseurs, les diviseurs et les combineurs de puissance sont réalisés par des lignes microruban. Nous montrons sur la figure II.23 deux types d'alimentations d'un réseau d'antennes.

- Alimentation série : les éléments rayonnants sont excités en série à travers une ligne de transmission. Entre deux éléments rayonnants consécutifs il y a un déphaseur qui permet d'imposer la loi de phase appropriée (Fig. II.23.a).
- Alimentation parallèle : le circuit d'alimentation possède une entrée et plusieurs sorties égales aux nombres des éléments rayonnants. La synthèse du réseau permet de déterminer les coefficients de pondération et les déphasages des signaux à affecter à chaque élément (Fig. II.23.b).



**Figure II- 22 : Alimentation d'un réseau d'antennes patch. (a)-série (b)-parallèle [II-15].**

Le problème de synthèse doit répondre aux contraintes de rayonnement, surtout la réduction des lobes secondaires et l'amélioration du lobe principal. Pour cela, il existe diverses lois d'alimentation en amplitude d'un réseau d'antennes, telles que celles données par [II.15] :

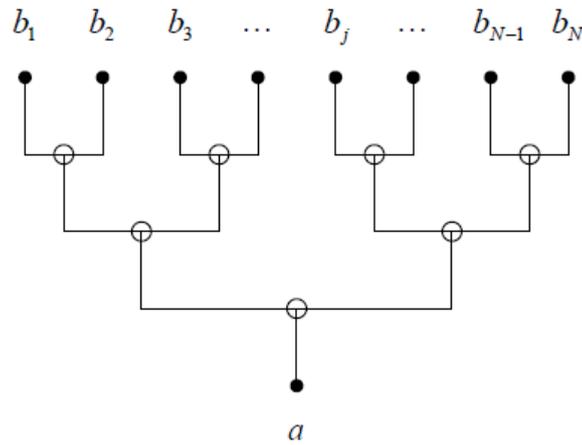
Pour un réseau de  $N$  éléments rayonnants, les coefficients d'excitation  $C_i$  sont donnés par :

- Loi uniforme ;
- Loi triangulaire
- Loi cosinus
- Loi cosinus carré
- Loi binomiale

### **III-6-A. Réseaux d'alimentation en chandelier**

Le concept de réseau d'alimentation multifaisceaux en chandelier, également appelé en parallèle. Le premier document le décrivant de façon relativement précise dans une configuration en parallèle est le brevet de Kadak [II.16]. Cela dit, certains principes fondateurs sont déjà présents dans [II.17], et Butler fait référence à un concept visiblement très similaire lorsqu'il introduit sa matrice [II.18].

Pour bien comprendre le principe de ce réseau d'alimentation, nous commençons par décrire le cas monofaisceau. En fait, l'objectif d'un réseau en chandelier dans sa forme équilibrée est de produire une loi d'alimentation en sortie uniforme en amplitude et phase. Pour cela, il suffit de chaîner différents niveaux de diviseurs de puissance.

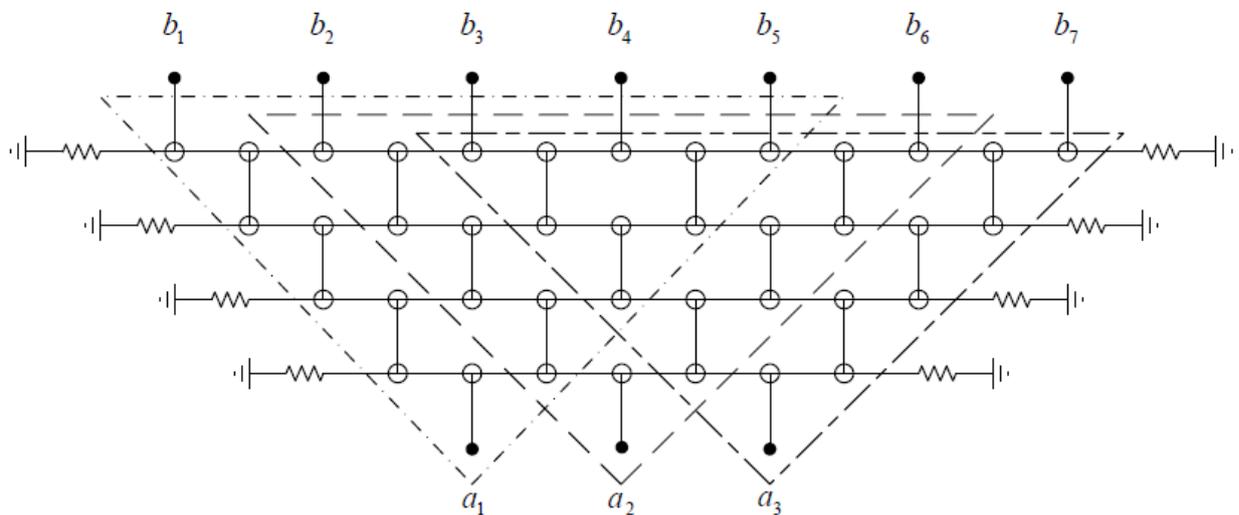


**Figure II- 23 : Réseau d'alimentation en chandelier monofaisceau [II.16].**

Dans le cas général, on peut envisager d'utiliser des diviseurs de puissance déséquilibrés pour produire une loi formée en amplitude. L'intérêt de cette structure dans le cas équilibré est de dissocier le réseau d'alimentation de la couche de contrôles en amplitude (atténuateurs) et/ou phase (déphaseurs) permettant la formation de faisceau.

**III-6-B. Réseaux d'alimentation périodiques**

La particularité de ce réseau d'alimentation en comparaison de la structure précédente est d'alterner des diviseurs et des combineurs de puissance équilibrés afin de produire une loi de distribution en puissance proche de la loi binomiale.



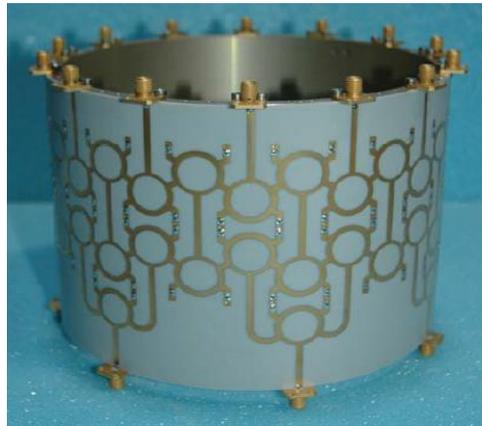
**Figure II- 24 : Réseau d'alimentation périodique multifaisceau [II.17].**

Cette loi présente une symétrie par rapport à l'élément (cas impair) ou aux deux éléments (cas pair) centraux et est caractérisée par une décroissance gaussienne vers les bords.

Les lois d'alimentation à distribution en amplitude gaussienne sont particulièrement intéressantes pour réduire le niveau des lobes secondaires.

**III-6-C. Réseaux d'alimentation périodiques refermés**

Les réseaux étudiés dans la section précédente présentent une topologie pseudopériodique. Il nous a donc paru intéressant de pousser un peu plus loin cette particularité en refermant la structure sur elle-même, lui donnant ainsi une forme d'invariance ou périodicité par rotation autour d'un axe principal. Il consiste en une portion rectangulaire du réseau d'alimentation périodique précédemment décrit refermée sur elle-même, en ce sens que les chemins électriques de l'extrémité gauche sont reliés aux chemins électriques de l'extrémité droite. De cette façon, la structure par faisceau est inchangée, chaque faisceau présentant le même nombre de sorties. Par contre, les résistances en bord de structure ne sont plus nécessaires et le nombre de composants est réduit pour un nombre de faisceaux et de couches donnés.



**Figure II- 25 : Réseau d'alimentation périodique refermé en technologie microruban**  
[II.18].

**IV. DIMENSIONS DE L'ANTENNE PATCH**

Maintenant, la partie suivante est déterminer les paramètres géométriques une antenne patch, nous suivons l'étape suivantes :

**IV-1. Trouve Fréquences de résonance**

La Fréquence de résonance  $f_r$  présente un minimum d'amplitude du coefficient de réflexion. Elle est donnée par cette relation :

$$f_r = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon_r}} \frac{1}{L + 2\Delta L} \quad \dots II - 5$$

**IV-1-B. Principes de fonctionnement de base**

Il existe plusieurs expressions disponibles dans la littérature et ce sont des expressions assez compliquées et ces expressions ont été dérivées en écrivant des conditions aux limites pour le champ électrique, le champ magnétique, en résolvant toutes ces équations de Maxwell, mais cela prend beaucoup de temps. Mais En réalité, c'est une chose relativement simple.

On a :

$$\nabla^2 E_z + K^2 E_z = 0 \quad H_z = 0 \quad K = K_1 = K_0 \sqrt{\epsilon_r} \quad \dots II - 6$$

$$E_z = \cos\left(\frac{m\pi x}{L}\right) \cos\left(\frac{n\pi y}{L}\right) \quad \dots II - 7$$

#### IV-1-C. Le mode transverse magnétique

Après avoir séparé les variables :

$$\left[ -\left(\frac{m\pi}{L}\right)^2 - \left(\frac{n\pi}{W}\right)^2 + K_1^2 \right] E_z = 0 \quad \dots II - 8$$

$$\left[ -\left(\frac{m\pi}{L}\right)^2 - \left(\frac{n\pi}{W}\right)^2 + K_1^2 \right] = 0 \quad \dots II - 9$$

Nous obtenons

$$K_1^2 = \left(\frac{m\pi}{L}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{W}\right)^2 \quad \dots II - 10$$

Et

$$K_1 = K_0 \sqrt{\epsilon_r} = \omega \sqrt{\epsilon_0 \mu_0} \sqrt{\epsilon_r} \quad \dots II - 11$$

$$\omega = 2\pi f$$

$K_0$  : Nombre d'onde [ $m^{-1}$ ]

$$f = \frac{c}{2\pi \sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{L}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{W}\right)^2} \quad \dots II - 12$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \quad \dots II - 13$$

D'abord, j'explique le mode 1 0. Je vais vous expliquer un par un. Donc, si nous prenons le mode fondamental 1 0 donc ; cela signifie que m est égal à 1 et n égal à 0 quand il est égal à 0 ce terme n'existera pas. Alors, m sur L est égal  $1 / L^2$  et il y a une racine carrée.

Donc, L sortira ici. Et en réalité, si vous voyez réellement ce n'est rien, mais quand L devient à peu près égal à  $\lambda_0 / 2$ , c'est ce qui sera la fréquence de résonance pour le mode fondamental, ce mode est généralement utilisé car le diagramme de rayonnement a un faisceau large.

#### IV-2. Fréquence de résonance du mode (m, n)

La fréquence de résonance est principalement contrôlée par la longueur du patch L et la permittivité du substrat, Même si la formule de Hammerstad implique une permittivité effective, nous utilisons toujours la permittivité réelle du substrat dans la formule de fréquence de résonance.

$$f_m = \frac{c}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{L}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{W}\right)^2} \quad \dots II - 14$$

Donc :

$$f_{10} = \frac{c}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}} \left(\frac{1}{L}\right) \quad \dots II - 15$$

La fréquence de résonance est principalement contrôlée par la longueur du patch L et la permittivité du substrat, Même si la formule de Hammerstad implique une permittivité effective, nous utilisons toujours la permittivité réelle du substrat dans la formule de fréquence de résonance.

On peut améliorer la fréquence de résonance en ajoutant une « extension de longueur de frange »  $\Delta L$  à chaque bord du patch pour obtenir une « longueur effective  $L_e$  ». Cela nous dirigeons à la deuxième étape [II.11].

### IV-3. Trouve longueur effective $L_e$ et la permittivité effective $\epsilon_e$

Tout d'abord si nous avons un patch, ce patch aura donc un champ de franges. Ainsi, la capacité totale sera la capacité de la plaque parallèle plus la capacité du champ de franges.

Donc, que fait-on réellement pour tenir compte de ces capacités à cause du champ de franges, on définit la quantité  $L_e$  et  $W_e$ .

Donc, la longueur totale est égal L plus ce  $\Delta L$  qui représente le champ de franges dans les côtés.

$$L_e = L + 2\Delta L$$

De même, nous définissons

$$W_e = W + 2\Delta W$$

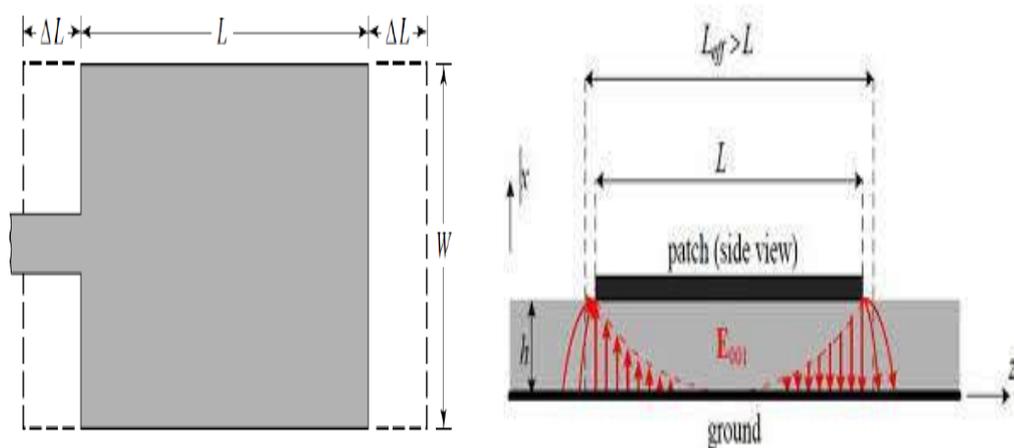


Figure II- 26 : Géométrie d'antenne de l'antenne microruban [II.20].

## Chapitre II : Caractéristique d'antenne patch pour Réception des chaines satellitaire

Pour la conception, nous devons calculer le constant diélectrique effectif  $\xi_e$ . Pourquoi le constant diélectrique efficace laisse juste revenir en arrière et voir la distribution. Ainsi, nous pouvons voir que la majeure partie du champ est confinée dans le substrat, mais une partie du champ monte dans l'air. Donc, à cause de cela, la constante diélectrique effective n'est pas vraiment seulement  $\xi_r$ , mais est légèrement inférieure à  $\xi_r$  car une partie du champ de franges est dans l'air. Donc, nous pouvons utiliser cette formule particulière pour calculer ce qui est  $\xi_e$

$$\xi_e = \frac{\xi_r + 1}{2} + \frac{\xi_r - 1}{2} \left[ 1 + 10 \left( \frac{h}{W} \right) \right]^{-1/2} \quad \dots II - 16$$

Dans le cas d'un motif carré, La longueur L et la largeur w de la ligne est demi-onde, donc La longueur L est la moitié d'une longueur d'onde dans le diélectrique donc  $\lambda_d$  est égal  $\lambda_0 / 2$  qui est environ la moitié de la longueur d'onde. Et puis, cela est divisé par le constant diélectrique effectif entre la couche diélectrique en dessous et une au-dessus.

$$L = \frac{\lambda_0}{2\sqrt{\xi_e}} - 2\Delta L = \frac{c}{2f_0\sqrt{\xi_e}} - 2\Delta L \quad \dots II - 17$$

D'après Formule Hammerstad:

$$\Delta L/h = \left[ \frac{(\xi_e + 0.3) \left( \frac{w}{h} + 0.264 \right)}{(\xi_e - 0.258) \left( \frac{w}{h} + 0.8 \right)} \right] \quad \dots II - 18$$

**Remarque :**  $\Delta L = 0.5h$

Paramètre	mm
Wg=ws	30
lg=ls	30
Wp	18
Lp	17.95
Wf	8.375
Lf	5.54
Hg	1.4
Hs	1.6

Tableau II- 2 : Dimensions physiques de l'antenne patch

**V. LES AVANTAGES ET L'INCONVENIENT DES ANTENNES MICRORUBANS**

Les antennes à microruban deviennent de plus en plus populaires grâce à leurs nombreuses applications. Dans le domaine des communications, l'antenne microruban présente de nombreux avantages par rapport aux antennes microondes classiques comme suivant :

- ✓ Couvrant une large gamme de fréquences : jusqu'à 100 GHz.
- ✓ Faible poids.
- ✓ Facile à alimenter (câble coaxial, ligne microruban, ... etc.)
- ✓ Facile à fabriquer en masse en utilisant les techniques des circuits imprimés dont le faible coût.
- ✓ Facile à intégrer avec d'autres éléments de circuit microruban et intégrer dans le système.

Cependant, il présente certains défauts qui limitent son efficacité, à savoir :

- ✓ Faible bande passante (mais peut être améliorée par une variété de techniques).
- ✓ L'efficacité peut être inférieure à celle d'autres antennes.
- ✓ Utilisé uniquement aux fréquences micro-ondes et au-dessus
- ✓ Faible gain.

Pour pallier ces lacunes, plusieurs recherches ont été menées et ont fait de grands progrès dans l'amélioration des performances de ces antennes. En raison de l'explosion technologique des télécommunications et de la recherche scientifique continue sur les antennes imprimées, et compte tenu des multiples exigences dans le domaine de la communication, l'utilisation d'antennes microondes classiques devient incapable de répondre à ces exigences. Pour cette raison, les antennes microruban remplacent les antennes traditionnelles dans la plupart des applications, Parmi ces applications on cite :

- ✓ Les télécommunications par satellites.
- ✓ La commande et contrôle.
- ✓ La télémétrie 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.

**VI. CONCLUSION**

La technologie des antennes en général est très populaire dans l'industrie et les marchés, qu'ils soient terrestres ou par satellite, et en particulier les antennes patch. Nous avons présenté la description et le mécanisme de fonctionnement, les avantages, les inconvénients des antennes patches ainsi que les différents types d'alimentation

## **Chapitre II : Caractéristique d'antenne patch pour Réception des chaines satellitaire**

Bien que les antennes patch soient d'une grande importance grâce à leur adéquation et leur compatibilité avec les derniers appareils de télécommunications, ce type d'antenne est toujours confronté à des problèmes, en particulier son faible gain et ses limites de bande, que nous essayons d'optimiser pour de meilleures performances à moindre coût. Nous avons essayé de résumer les avantages et les inconvénients de ce type d'antenne afin de choisir l'optimum et d'étudier l'étendue de son efficacité et de sa compatibilité avec nos besoins. La simulation de la structure et de la forme de l'antenne seront effectués dans le chapitre suivant.

**Chapitre III :**  
**Résultats and**  
**discussion**

## **RESULTATS ET DISCUSSION ANTENNE PATCH POUR RECEPTION DES CHAINES SATELLITAIRE**

### **I. INTRODUCTION**

La télévision par satellite à diffusion directe a connu un développement florissant dans le monde entier ces dernières années, et ensuite l'exigence de consommation pour les antennes de réception par satellite à diffusion directe est suivie.

De nombreuses antennes de réception satellite existantes sont des antennes paraboliques de petit calibre. Ils présentent certains inconvénients, tels qu'une installation et un débogage difficiles, un volume important, une apparence laide et des prix élevés, de sorte que de nombreuses études sur les antennes de réception de télévision DBS se sont concentrées sur les antennes micro-ruban. Beaucoup de travail a été fait pour une meilleure réception des signaux de télévision par satellite de diffusion directe.

Cela permet d'utiliser des antennes omnidirectionnelles à faible gain pour le trafic de bus par satellite et des antennes à gain élevé avec des largeurs de faisceaux plus étroites pour les antennes de charge utile. Dans le cas d'une attitude non nominale, la liaison de charge utile sera donc interrompue, mais le trafic de télémétrie, de poursuite et de commande peut être maintenu pour garantir que la commande du satellite puisse continuer, de sorte que l'attitude nominale puisse être rétablie.

Dans ce chapitre, nous avons conçu une antenne patch rectangulaire à substrat alimentée par une ligne micro ruban avec encoches que nous l'avons utilisée pour les réseaux d'antennes. Nous avons comparé les différentes structures dans le but d'avoir les meilleures caractéristiques de ces réseaux des antennes, en utilisant l'outil de simulation électromagnétique dans le domaine fréquentiel *CST MICROWAVE STUDIO*.

### **II. PRESENTATION DU LOGICIEL CST MICROWAVE STUDIO**

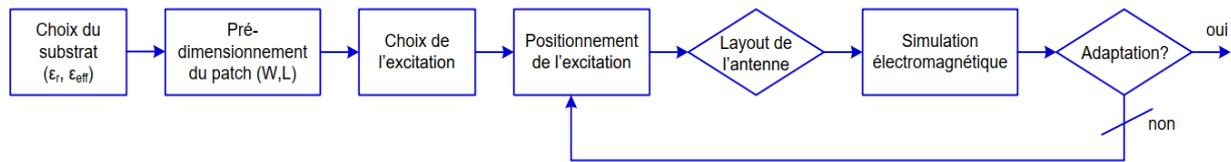
*CST MICROWAVE STUDIO* est un outil spécialisé pour la simulation et la conception électromagnétique à trois dimensions (3D) des composantes hautes fréquences [III-1].

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 III-1*. Après la modélisation du composant, une procédure de maillage automatique peut être appliquée avant que la procédure de simulation ne soit lancée.

*CST MICROWAVE STUDIO* est un module qui fait partie du logiciel *CST STUDIO SUITE* et propose un certain nombre de solveurs pour différents types d'application.

## Résultats et discussion antenne patch pour réception des chaînes satellitaire

Le logiciel contient quatre techniques différentes de simulation (solveur transitoire, solveur fréquentiel, solveur d'équation intégrale, et solveur de mode propre), pour mieux répondre aux applications particulières.



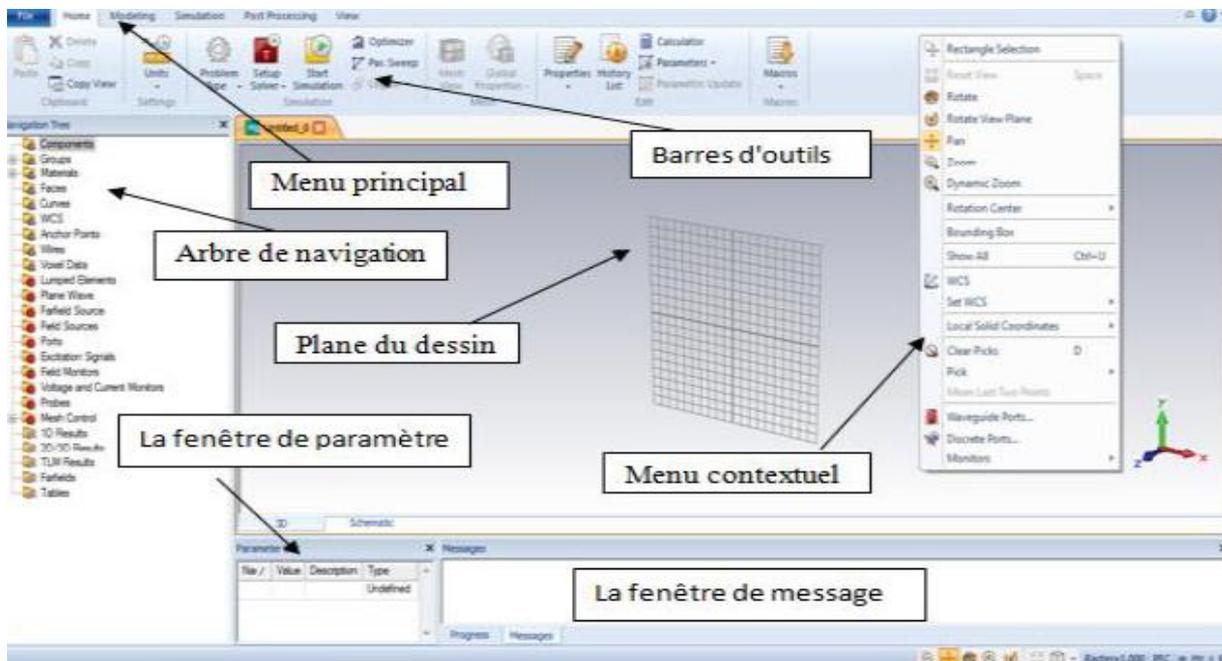
**Figure III- 1 : Organigramme du flot de conception d'une antenne microruban.**

L'outil le plus flexible est le solveur transitoire, qui peut obtenir le comportement fréquentiel pour une large bande de fréquence par une seule et unique simulation (contrairement à l'approche fréquentielle de nombreux autres simulateurs).

Il est basé sur la technique **FIT** (en anglais : Finite Integration Technique) qui a été introduite en électrodynamique plus de trois décennies auparavant. Ce solveur est efficace pour la plupart des types d'applications à haute fréquence tels que des connecteurs, des lignes de transmission, filtres, antennes etc... [III-1].

### II-1. Aperçu de la structure de l'interface utilisateur

La figure suivante montre une capture d'écran du CST Microwave Studio comme un exemple.



**Figure III- 2 : La fenêtre principale du logiciel CST.**

## Résultats et discussion antenne patch pour réception des chaînes satellitaires

- L'arbre de navigation est un élément essentiel de l'interface utilisateur. De là, nous pouvons accéder aux éléments structurels ainsi que les résultats de simulation. Les sections suivantes expliquent les différents articles dans cette fenêtre d'arbre.
- Les menus contextuels sont un moyen souple d'accéder à des commandes de menu les plus fréquemment utilisées pour le contexte actuel. Le contenu de ce menu qui peut être ouvert en appuyant sur le bouton droit de la souris.
- Le plan du dessin est le plan sur lequel nous allons dessiner des primitives de la structure. Comme la souris n'est qu'un localisateur 2D, même lors de la définition des structures 3D, les coordonnées doivent être projetées sur le plan du dessin, afin de spécifier un emplacement 3D. Comme on peut modifier l'emplacement et l'orientation du plan de dessin à l'aide de différents outils, cette caractéristique rend le modèleur très puissant.
- La fenêtre de paramètre affiche une liste de tous les paramètres précédemment définis avec leurs valeurs actuelles.
- La fenêtre de message affiche le texte de l'information (par exemple la sortie du solveur) le cas échéant
- Les autres éléments de l'interface utilisateur sont standards pour une application basée sur Windows.

## II-2. PARAMETRE GEOMETRIQUE DE L'ANTENNE

### II-2-A. Dimensions de l'antenne patch

Nous présentons les équations de différentes dimensions de l'antenne patch :

$$W = \frac{c}{2fr \times \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 11.5 \times 10^9 \times \sqrt{\frac{2.2 + 1}{2}}} = 10.515 \times 10^{-3} = 10.515 \text{ mm} \quad \dots III-1$$

$$\epsilon_{ref} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h_s}{W}\right)^{-\frac{1}{2}} = \frac{2.2 + 1}{2} \frac{2.2 - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{0.508}{10.515}\right)^{-\frac{1}{2}} = 1.516 \text{ mm} \quad \dots III - 2$$

$$L_{eff} = \frac{c}{2fr \times \sqrt{\epsilon_{ref}}} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 11.725 \times 10^9 \times \sqrt{1.516}} = 10.52 \times 10^{-3} = 10.93 \text{ mm} \quad \dots III-3$$

$$\Delta L = 0.412 \times h_s \left[ \frac{(\epsilon_r + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{ref} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8\right)} \right] = 0.412 \times 0.508 \left[ \frac{(2.2 + 0.3) \left(\frac{10.515}{0.508} + 0.264\right)}{(1.516 - 0.258) \left(\frac{10.515}{0.508} + 0.8\right)} \right] = 0.404 \quad \dots III-4$$

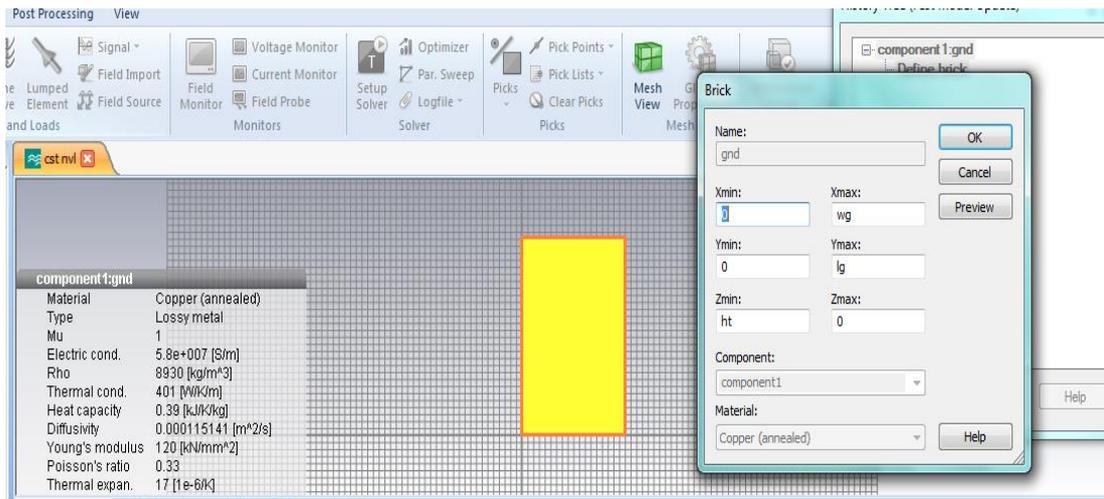
$$L = L_{ref} - 2\Delta L = 10.93 - 2 \times 0.404 = 10.122 \text{ mm} \quad \dots III-5$$

$$L_g = 2 \times L \qquad \qquad \qquad w_g = 2 \times w \quad \dots III-6$$

## **II-3. Création initiale de la structure d'antenne patch**

### **II-3-A. Le plan de masse**

1. Activez l'outil de briques en cliquant sur l'icône  correspondante dans la barre d'outils de l'objet
2. On peut définir un point de départ par un double-clic sur un emplacement sur le plan du dessin.
3. Maintenant, on peut sélectionner la base de la face de coin de la brique sur le plan du dessin par double-clic dessus.



**Figure III- 3 : Créer un plan de masse.**

4. Ensuite, définir la hauteur de la brique en faisant glisser la souris. Double-cliquez pour fixer la hauteur de la brique.
5. Enfin, une boîte de dialogue s'ouvre où on peut introduire les valeurs numériques de toutes les coordonnées et choisir le matériau dans ce cas (PEC : perfect electric conductor) et cliquez sur OK.

### **II-3-B. Le substrat diélectrique**

1. Choisir dans la barre d'outils l'icône  correspondante et les mêmes étapes que celles du plan de masse.
2. En utilisant la boîte de dialogue, on va introduire les valeurs numériques et choisir le matériau dans ce cas « **vacuum : air** » puis cliquez sur OK.

## Résultats et discussion antenne patch pour réception des chaînes satellitaire

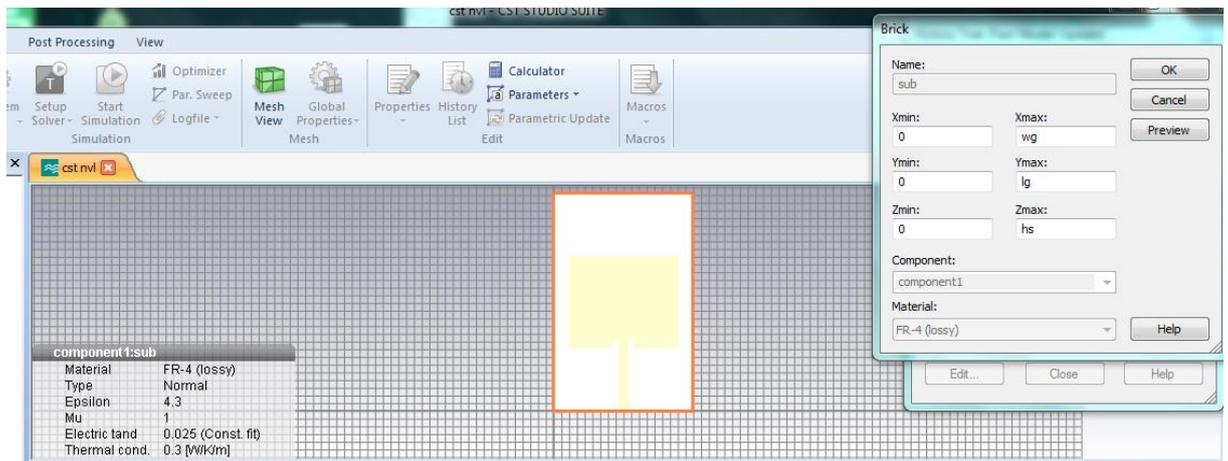


Figure III- 4 : Créer de substrat diélectrique.

### II-3-C. L'antenne patch

Pour créer les 02 éléments du réseau patches il faut :

1. Choisir dans la barre d'outils l'icône  correspondante et les mêmes étapes du plan de masse.
2. En utilisant la boîte de dialogue, on va introduire les valeurs numériques et choisir le matériau dans ce cas (PEC) et cliquez sur OK.
3. On va le refaire ces étapes pour le deuxième élément du réseau.

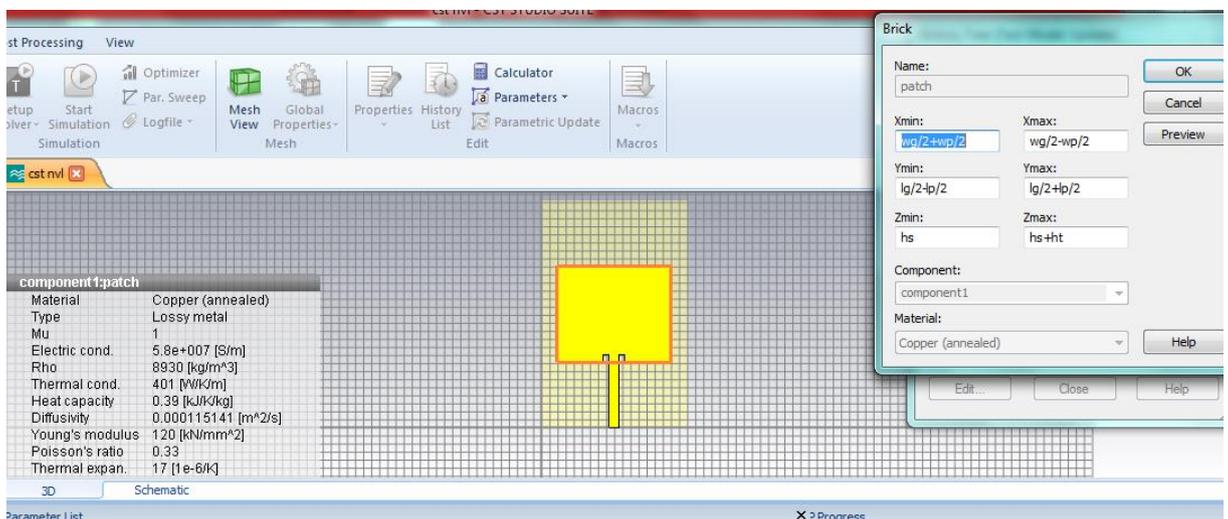


Figure III- 5 : Créer le premier élément d'antenne.

### II-3-D. La ligne microruban

1. Choisir dans la barre d'outils l'icône correspondante et les mêmes étapes du plan de masse
2. En utilisant la boîte de dialogue, on va introduire les valeurs numériques et choisir le matériau dans ce cas (PEC) et clique sur **OK** ;

## Résultats et discussion antenne patch pour réception des chaînes satellitaire

3. On clique sur le patch, ensuite sur la barre d'outils on clique sur et choisir « **add** », après une autre clique sur l'encoche que l'on a créé puis sur **Entrée** ;

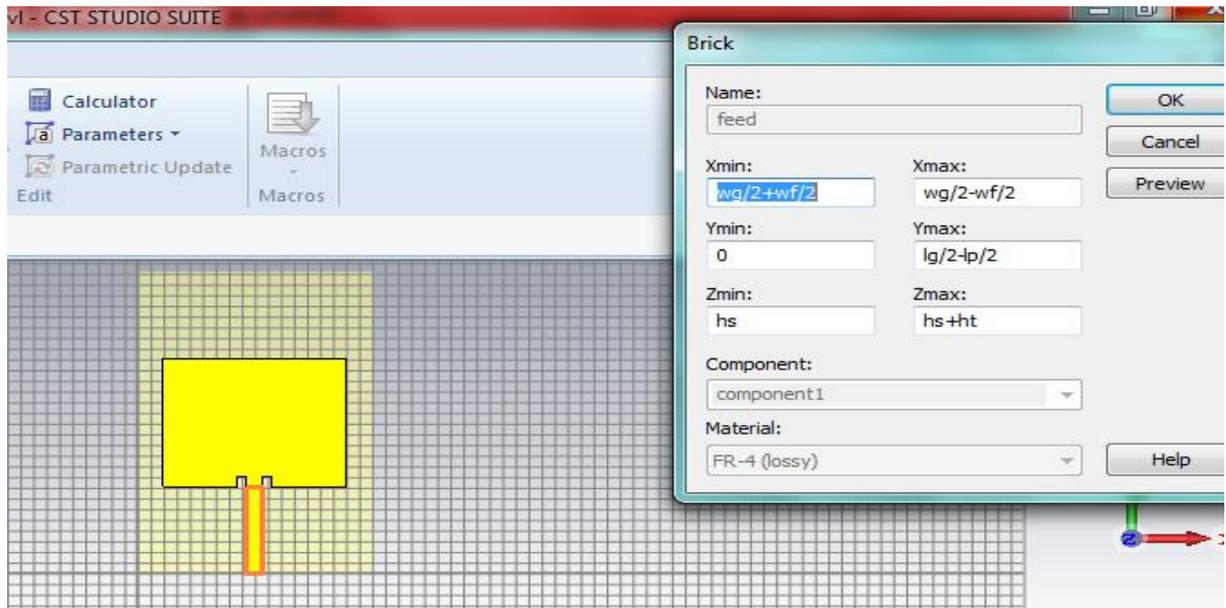


Figure III- 6 : Créer la ligne microbande.

### II-3-E. Le port de polarisation

1. Choisir dans la barre d'outils l'icône correspondante  dans la barre d'outils ;
2. Choisir **pick face**.
3. Choisir l'icône  complétez les paramètres et cliquez sur **OK**.

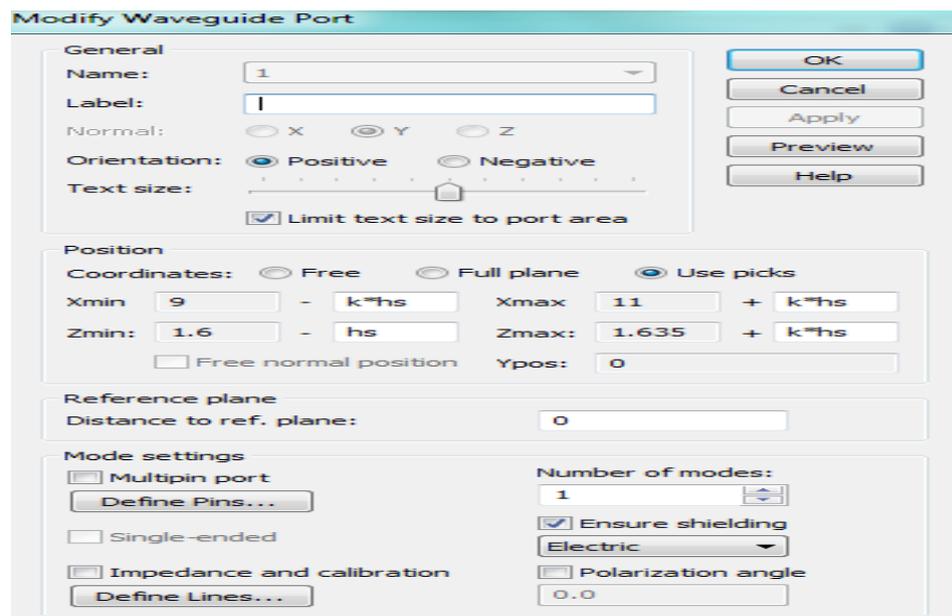


Figure III- 7 : Définir le port de polarisation.

## II-4. Définir le domaine de fréquence

1. Activez l'outil de fréquence en cliquant sur l'icône  correspondante dans la barre d'outils de l'objet ;
2. En utilisant la boîte de dialogue on limite le domaine de fréquence et cliquez sur OK.

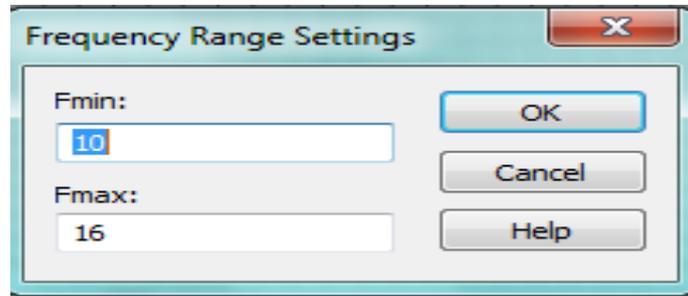


Figure III- 8 : Définir le domaine de fréquence.

## II-5. Méthode des encoches

1. Choisir dans la barre d'outils l'icône  correspondante et les mêmes étapes du plan de masse ;
2. En utilisant la boîte de dialogue, on va introduire les valeurs numériques et choisir le matériau dans ce cas (PEC) et clique sur **OK** ;
3. On clique sur le patch, ensuite sur la barre d'outils on clique sur  Boolean et choisir « **subtract** », après une autre clique sur l'encoche qu'on a créé puis sur **Entrée** ;
4. Les mêmes étapes pour la deuxième encoche ;

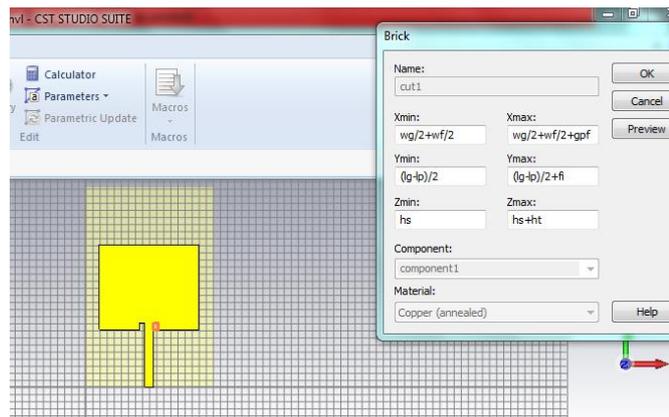


Figure III- 9 : Créer les encoches.

## Résultats et discussion antenne patch pour réception des chaînes satellitaire

### II-7. CONCEPTION D'UNE ANTENNE PATCH RECTANGULAIRE

Les dimensions de notre antenne sont obtenues par les calculs théoriques de l'antenne micro ruban à la fréquence 11.75 GHz (les équations sont indiquées dans le chapitre II). Les dimensions de l'antenne initiale sont mentionnées dans le Tableau III.1

Les paramètres	Les dimensions
$W_p$	8.375
$L_p$	5.54
$W_g$	18
$L_g$	17.95
Encoches	0.6
	1.4
H	1.6
$\epsilon$	4.3

Tableau III- 1 : Dimensions de l'antenne patch rectangulaire.

La structure de l'antenne patch choisie est de forme rectangulaire alimentée au centre par une ligne micro-ruban de longueur  $L_a$ . L'antenne est constituée d'un élément rayonnant rectangulaire ( $L_p \times W_p$ ) avec des encoches qui est imprimé sur la face supérieure d'un substrat diélectrique ( $L_g \times w_g$ ) de type FR4 de permittivité relative 4.3 et d'épaisseur  $h$ . Le plan de masse est imprimé sur la surface de dessous du substrat. La géométrie de cette antenne et sa structure dans le rédacteur du CST Microwave Studio sont données par la figure suivant :

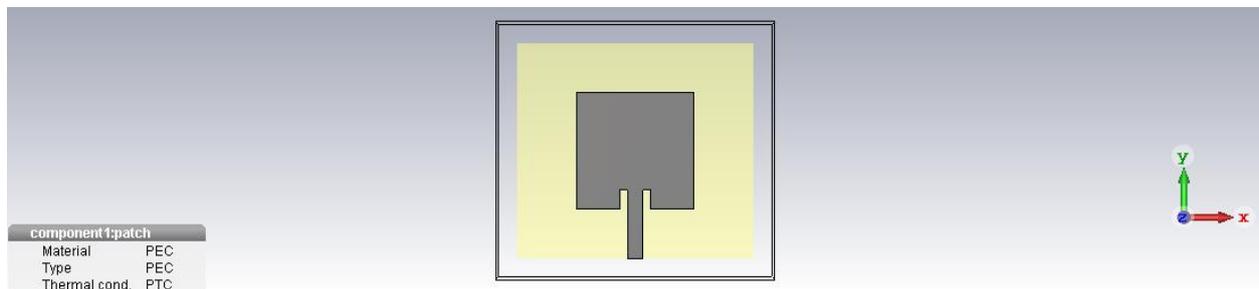


Figure III- 10 : La structure d'antenne patch proposé.

### II-8. Antenne patch modifiée à partir de l'antenne initiale (Méthode d'itération)

Pour améliorer le niveau d'adaptation de l'antenne dans la gamme de fréquence Ku bande, nous avons effectuées des modifications sur la structure d'antenne. Une antenne patch avec fente

### Résultats et discussion antenne patch pour réception des chaînes satellitaire

en U a été proposée dans [III-2]. L'antenne présente plusieurs avantages tels qu'un profil bas, une facilité de fabrication et une structure conforme. Il a été démontré que les antennes patch à fente en U avec polarisation linéaire (LP) [III-3, III-4] ont de bonnes caractéristiques de rayonnement qui incluent une large bande passante d'impédance et un gain assez stable.

La géométrie de l'antenne obtenue est représentée dans la figure III-10.

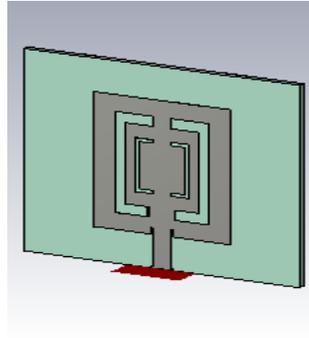


Figure III- 11 : La structure finale proposer pour l'antenne patch.

Le slot multiple permet de contrôler la fréquence de résonance, le coefficient de réflexion et la bande passante en Réglage de la largeur et de la longueur de la fente ( $W_{slot}$  et  $L_{slot}$ ). Le paramètre  $L_f$  permet de contrôler la caractéristique impédance d'entrée de l'antenne. La fente est modélisée comme un guide d'ondes inséré dans le substrat. Ses paramètres sont calculés à partir des équations classiques suivantes données dans [III-5].

$$L_{slot} = \frac{\lambda_g}{2} \quad \dots III - 7$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad \dots III - 8$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r - 1}{2} \quad \dots III - 9$$

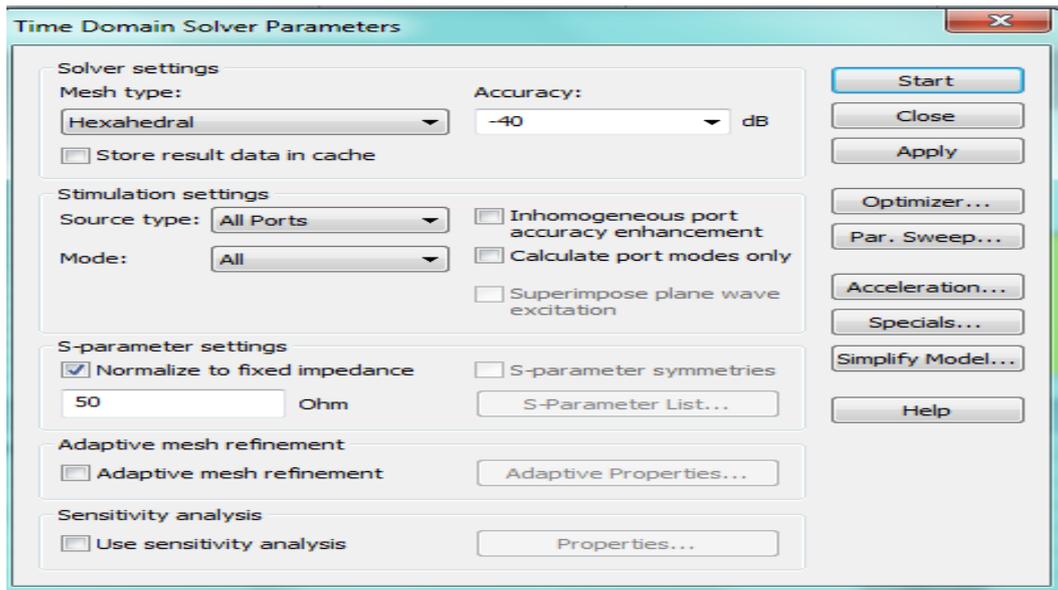
Des recherches approfondies sur les plans de masse défectueux et partiels ont révélé que leur présence améliore les performances des antennes patch microruban en termes de bande passante et d'efficacité de rayonnement [III-6, III-7, III-8, III-9].

Cela peut être dû à la réduction de l'effet de polarisation croisée en ne couvrant pas la zone de patch avec le plan de masse. La théorie EM de base note qu'avec une masse complète, un courant de surface de phase égale et opposée est induit sur le plan de masse, ce qui entraîne une désadaptation de couplage et une augmentation de la polarisation. Par conséquent, la longueur du plan de masse affecte considérablement le mode de résonance de la fréquence et de la bande passante.

### **III. LES RESULTATS ET INTERPRETATIONS**

Pour lancer la simulation il faut :

1. Activez l'outil de simulation en cliquant sur l'icône  correspondante dans la barre d'outils de l'objet.
2. En utilisant la boîte de dialogue on peut choisir la précision
3. Cliquez sur <Start>



**Figure III- 12 : Choisir la précision.**

#### **III-1. Performance d'antenne Patch**

Dans cette partie, nous présenterons et nous évaluerons tous les résultats de l'antenne conçue en termes du coefficient de réflexion, du rapport d'ondes stationnaires, du diagramme de rayonnement, du gain, de l'impédance, de la densité de courant et de l'efficacité.

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

Le résultat de simulation de coefficient de réflexion  $S_{11}$  de cette antenne et représenté sur la figure III-12.

## Résultats et discussion antenne patch pour réception des chaînes satellitaire

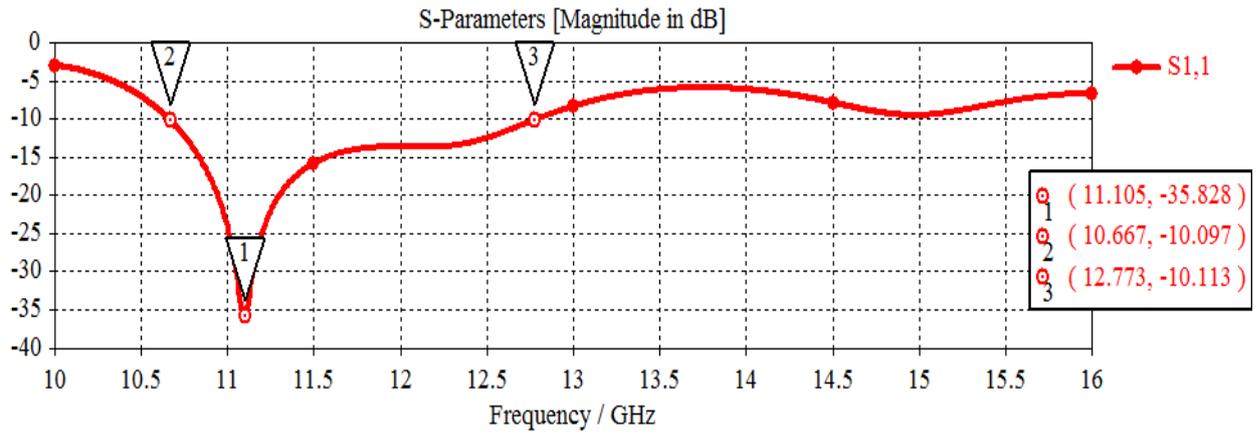


Figure III- 13 : Coefficient de réflexion.

Sur la figure III-12, on représente le coefficient de réflexion qui va nous permettre de visualiser le niveau d'adaptation et la bande passante à la fréquence de résonance de l'antenne GHz avec un niveau inférieur à -36.5 dB et une bande passante autour de 2 GHz de 10.66 GHz à 12.77 GHz. Donc l'antenne s'approche d'un fonctionnement très large bande dans les hautes fréquences.

L'antenne patch doit alors présenter une impédance d'entrée complexe conjuguée de celle de la source (généralement fixée à 50  $\Omega$ ).

### III-1-B. VSWR

La figure III-13 montre simulée du VSWR par polarisation linéaire pour l'antenne patch (rapport d'ondes stationnaires de tension).

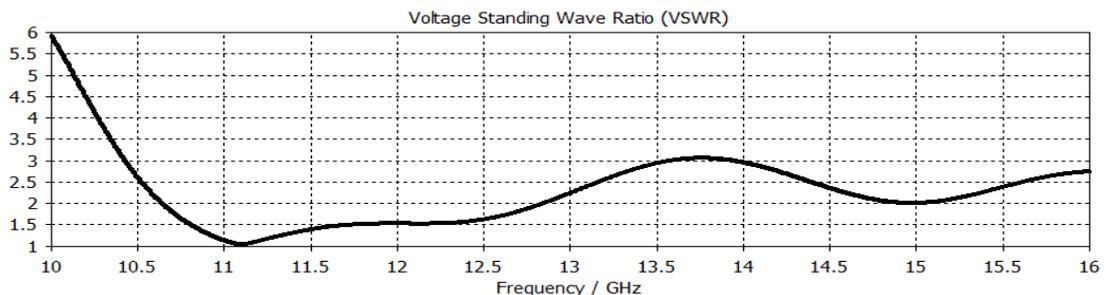


Figure III- 14 : Taux d'onde stationnaire.

VSWR (rapport de tension des ondes stationnaires), c'est une quantité d'efficacité avec laquelle une puissance radiofréquence est transmise d'une source d'alimentation, via une ligne de transmission, à une charge.

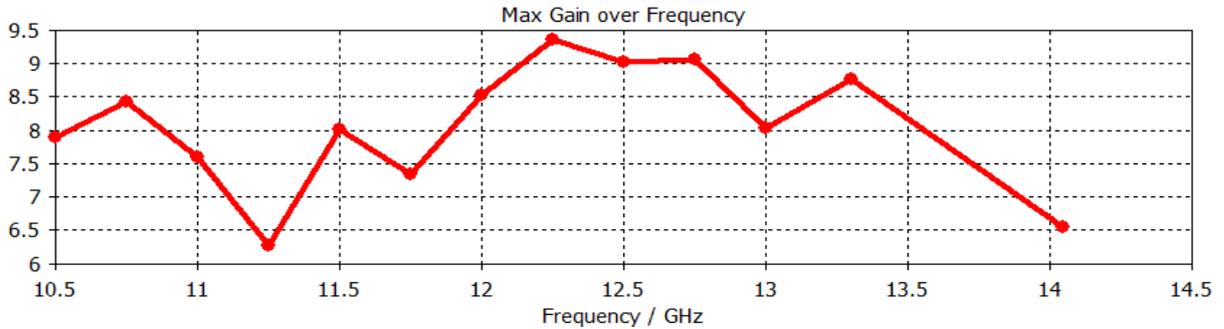
On remarque que le VSWR a une valeur comprise entre 1 et 3, une valeur maximale de VSWR < 3.2 dans une plage de fréquences comprise entre 10 et 16 GHz, aucune puissance réfléchie ne serait réfléchie, de 10.5 GHz jusqu' 12.5 GHz en vois que la tension aurait une amplitude stable

### Résultats et discussion antenne patch pour réception des chaînes satellitaires

pour notre bande Ku dans la partie de liaison descendante, ce qui signifie que l'antenne s'adapte sur cette partie de la plage.

#### III-1-C. Gain d'antenne patch

Le gain de l'antenne est simulé au-dessus de 10 GHz à 16 GHz gamme représentés sur la figure III-14.



**Figure III- 15 : Gain de l'antenne.**

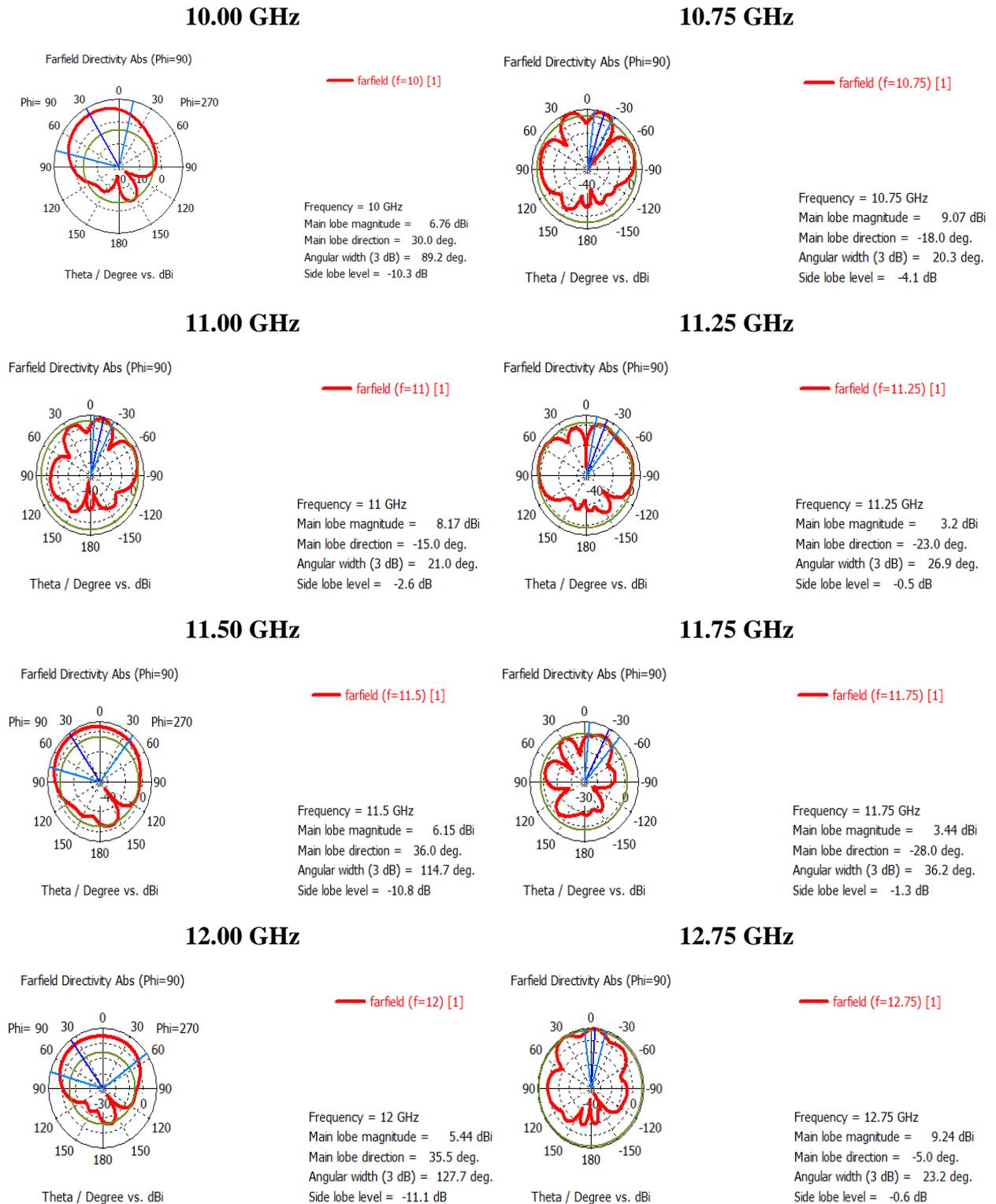
On peut remarquer que le gain est inférieur à 10 dB, entre 6 à 9.5 dB sur toute la bande de fréquence. Avant de 12,5 GHz, on constate qu'il est bien égal à 9.5 à la fréquence de résonance 12.25 GHz, puis démunie de 6 dB que la fréquence augmente, il est acceptable que le gain augmente avec l'augmentation de la fréquence [III-10]. Le patch modélisé avec la plus petite masse utilisé dans le strict besoin d'espace était quelque peu simplifié par rapport aux autres travaux réels, mais était qualitativement similaire en fonction avec un gain élevé.

#### III-1-D. Diagramme de rayonnement

Le logiciel CST MWS permet de visualiser aussi les diagrammes de rayonnement en 2D de l'antenne. C'est une représentation qui nous informe sur le gain et la directivité de l'antenne. Il nous donne la possibilité de visualiser le rayonnement sur un plan polaire ; ceci nous donne une idée sur l'angle d'ouverture.

Le diagramme de rayonnement permet de visualiser les lobes dans deux dimensions, dans le plan horizontal ( $\phi=0^\circ$ ) ou dans le plan vertical ( $\phi=90^\circ$ ) incluant le lobe le plus important. Notre étude sera sur le plan horizontal. Les résultats du diagramme de rayonnement pour les deux principaux plans en 2D pour les différentes fréquences de résonances 10.00 GHz, 11 GHz, 11.25 GHz, 12.75 GHz sont montrés sur la figure suivante :

## Résultats et discussion antenne patch pour réception des chaînes satellite



**Figure III- 16 : Diagramme de rayonnement en 2D pour quelques fréquences de résonances.**

Le diagramme de rayonnement permet de visualiser les lobes dans deux ou trois dimensions, dans le plan horizontal ( $\phi=0^\circ$ ) ou dans le plan vertical ( $\phi=90^\circ$ ) incluant le lobe le plus important. Notre étude sa sera sur le plan horizontal.

### Résultats et discussion antenne patch pour réception des chaînes satellitaire

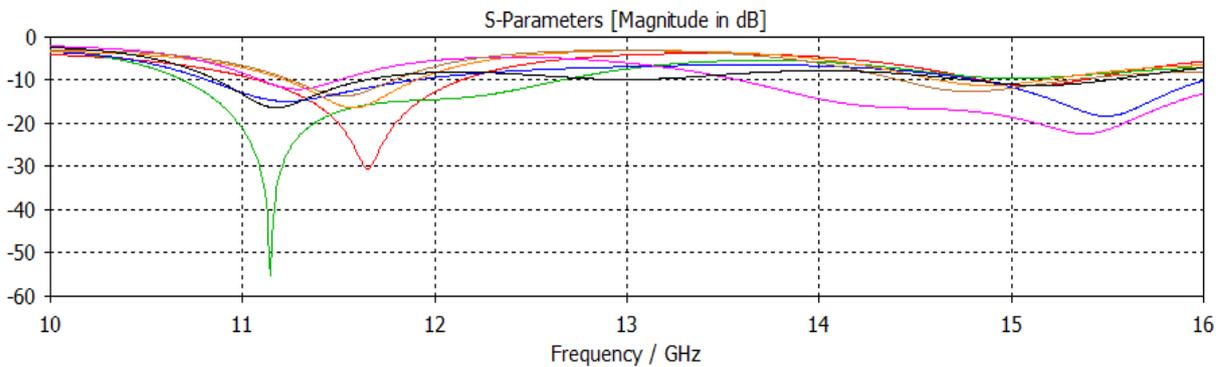
Ses résultats obtenus lors de ce travail ont apporté une contribution à la conception d'une antenne qui se caractérise par une très large bande passante adaptée aux réceptions diffusion des chaînes du satellite

Pour les fréquences 10, 11.5 et 12 GHz on a obtenu des angles d'ouverture de  $91.1^\circ$ ,  $114.7^\circ$  et  $127.7^\circ$  respectivement alors on remarque une augmentation importante au niveau de cet angle. Ceci montre que le diagramme de rayonnement est omnidirectionnel.

On constate une diminution au niveau de lobe latéral entre  $[-10.7 \text{ à } 11.1] \text{ dB}$ .

#### III-1-D. Etude paramétrique sur la longueur de la ligne micro ruban

La figure III-16 nous montre l'impact de longueur de la ligne sur la variation du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence. Où lorsqu'on' augmente la longueur de la ligne microruban on obtient l'adaptation plus acceptable.



**Figure III- 17 : L'étude paramétrique de la ligne micro-ruban.**

La figure III-16 présente les paramètres  $S_{ij}$  des monopôles optimisés en épaisseur de microruban, il apparaît que le paramètre  $S_{ii}$  de chaque monopôle est perturbé. L'antenne n'est pas adaptée et le couplage est très fort. Donc, on a toutes les informations électromagnétiques nécessaires pour calculer les impédances à présenter sur chaque élément ainsi que les ondes tensions/courants à générer.

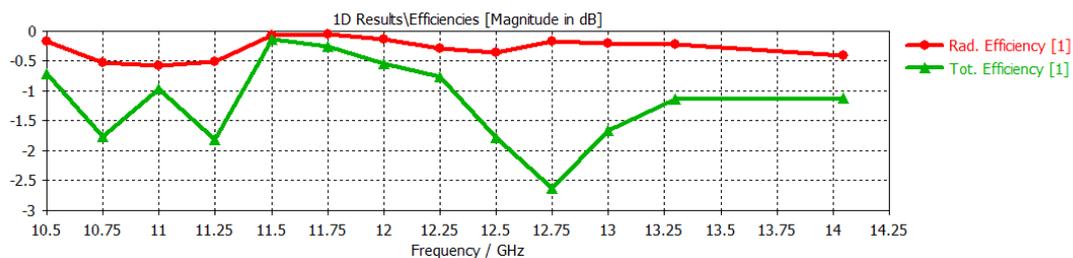
On rappelle que l'adaptation d'impédance se fait en faisant varier la longueur du  $L_g$  et les dimensions de la fente. Ainsi, pour une fente de 30 mm et un stub de longueur proche d'une ligne quart d'onde, le patch excité par fente est adapté ( $S_{11} < -10 \text{ dB}$ ) sur une bande passante d'environ 2 GHz.

## ***Résultats et discussion antenne patch pour réception des chaînes satellitaire***

La valeur de $L_f$	$S_{11}$
11.75 mm	-55 dB
10.75 mm	-30 dB
9.5 mm	-22 dB
7.5 mm	-19 dB
7mm	-16 dB
5.97 mm	-15 dB
4.75 mm	-12 dB

### **III-1-E. Efficacité d'antenne patch**

L'efficacité de rayonnement pour l'antenne patch est élevée proche de 0 dB dans la plus part de bande de liaison descendante d'antenne, avec rendement total de l'antenne patch alimentée par microruban est proche de 0 dB à 11.5 GHz, avec une légère détérioration après la bande de 13,5 GHz, comme le montre la Figure III-17.



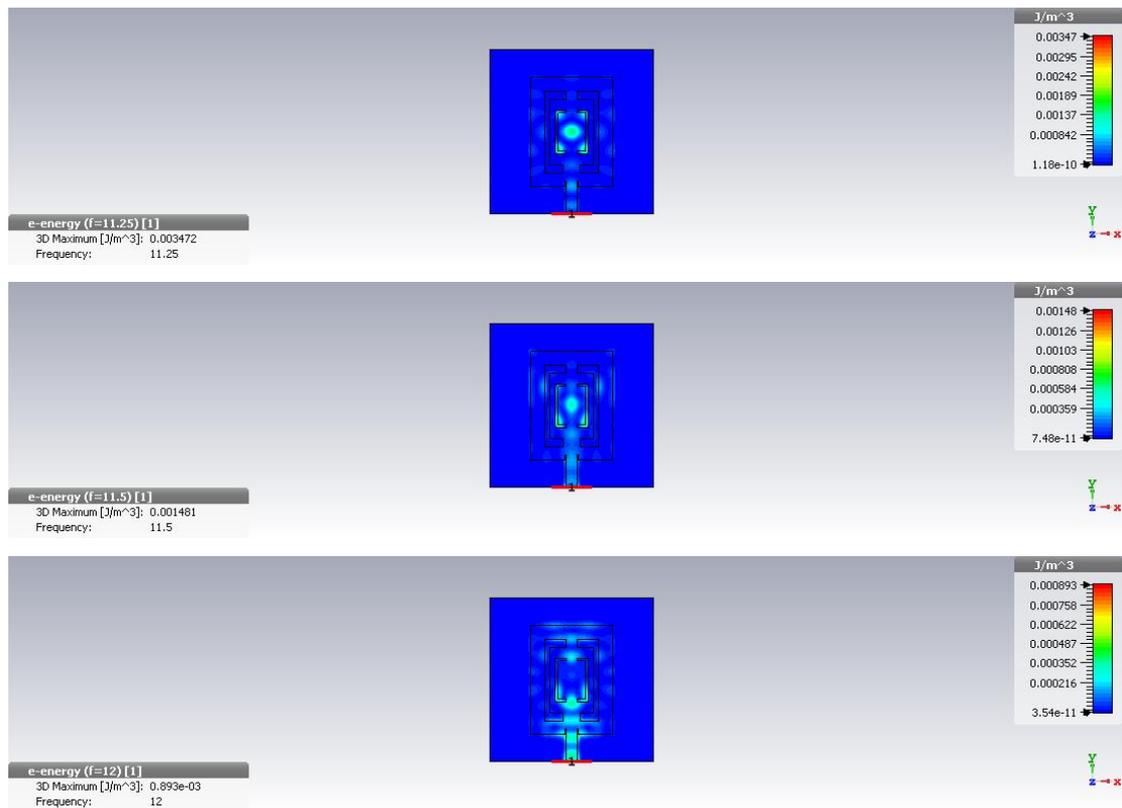
**Figure III- 18 : Efficacité d'antenne patch.**

Plus précisément, la structure d'une antenne patch est modifiée pour optimiser son efficacité de rayonnement avec une dimension globale constante sur l'impédance optimale présente la même efficacité de rayonnement tout en ayant des dimensions plus faibles (par rapport à la longueur d'onde de fonctionnement en espace libre).

### **III-1-f. Distribution du courant sur le patch**

La figure III-18 illustre la distribution de courant sur la surface du patch pour différentes fréquences, où la zone verte représente les ventres de courant et la zone en bleu représente les nœuds de courant. On note ici, que les lignes de courant sont parallèles à la direction longitudinale L du patch et il n'y a pas de variation des lignes de courant suivant la largeur W du patch.

## Résultats et discussion antenne patch pour réception des chaînes satellite



**Figure III- 19 : Distribution du courant sur le patch : (a) 11.25 GHz, (b) 11.5 GHz, (c) 12.0 GHz.**

D'après la figure précédente on peut remarquer que plus la fréquence est élevée plus la propagation du courant électrique est importante dans l'antenne patch spécialement sur la ligne microruban.

A 11 GHz un régime d'onde stationnaire s'établit sur la ligne d'alimentation (Fig. III-18.a) et il n'y a pas de courant sur le patch (en fait, il y a une légère fuite de courant dans le patch due à l'impédance d'entrée qui n'est pas nulle). Le patch se comporte comme un court-circuit. On peut remarquer qu'il n'y a pas de maximum et de minimum de courant sur la ligne. Ceci est dû à la longueur de la ligne qui est inférieure à la longueur d'onde de travail (pour  $f = 11$  GHz). On remarque la même chose pour la fréquence égale à 3 GHz, mais cette fois des nœuds et des ventres de courant sont établis sur la ligne à cause de la longueur d'onde de travail qui est inférieure à la longueur de la ligne (Fig. III-18.c). A la fréquence de résonance ( $f = 12$  GHz) l'impédance d'entrée du patch est bien adaptée à la ligne d'alimentation, nous constatons qu'il y a une distribution de courant sur le patch où une demi-sinusoïde de courant suivant la direction longitudinale  $L$  va s'établir avec des nœuds de courant au bords et au centre du patch (Fig. III-18.b). Cette distribution surfacique de courant crée un champ électrique parallèle, et orthogonale à la direction de propagation, la polarisation résultante est donc rectiligne. Pour avoir une

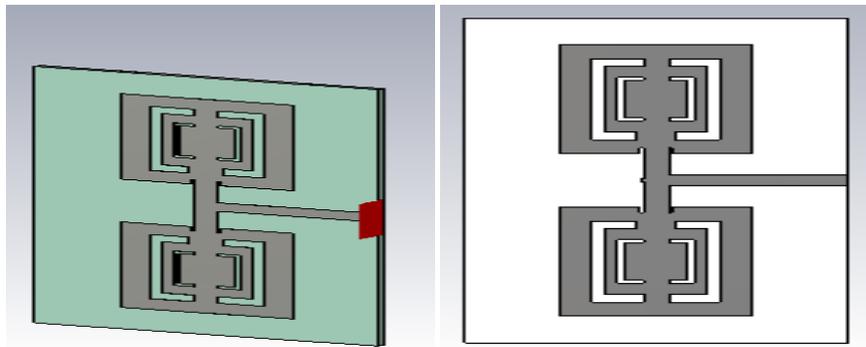
## Résultats et discussion antenne patch pour réception des chaînes satellitaire

polarisation circulaire il suffit de jouer sur la répartition de courant surfacique par l'excitation en deux points différents par deux sources en quadrature [III-12].

### III-2. Réseau d'antenne à deux patches rectangulaires

L'idée est de combiner entre plusieurs antenne la couverture de rayonnement, afin d'accroître en plus le rayonnement de l'antenne omni directions données.

En d'autres termes, il s'agit de créer une interférence constructive entre les ondes électromagnétiques issues de différentes sources. La combinaison de ces différentes ondes va dépendre de la disposition et de la séparation entre les éléments rayonnants, ainsi que des propriétés en amplitude et en phase de l'excitation. Le réseau d'antennes comprend les différents éléments rayonnants ainsi que les structures permettant de modifier l'excitation de chaque élément rayonnant.



**Figure III- 20 : Structure d'antenne réseau à deux patches.**

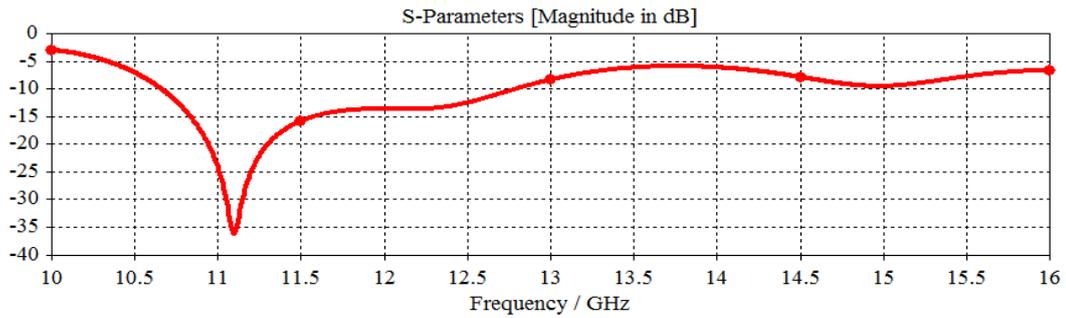
L'unique condition est que la mise en réseau de ces éléments ne modifie pas leurs caractéristiques propres. Par rapport aux éléments rayonnants, le gain et l'angle d'ouverture du réseau d'antenne seront donc modifiés.

En utilisant les mêmes dimensions citées précédemment et un espacement de  $\lambda/2$  entre les deux patches, un réseau d'antenne à deux patches rectangulaires est conçu.

#### III-2-A. Coefficient de réflexion $S_{11}$

Le résultat de simulation de coefficient de réflexion  $S_{11}$  réseaux d'antenne  $2 \times 1$  a représenté sur la figure III-20.

## ***Résultats et discussion antenne patch pour réception des chaînes satellitaire***



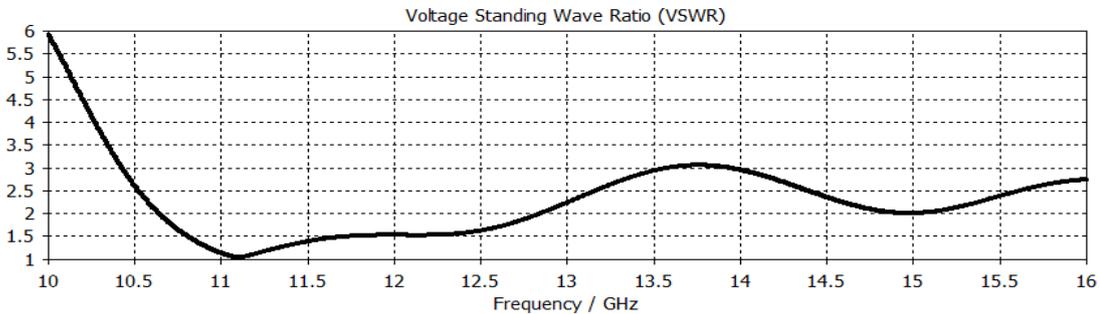
**Figure III- 21 : Coefficient de réflexion  $S_{11}$  à réseaux d'antenne 2\*1.**

Les résultats de simulation montrent bien que le coefficient de réflexion a une valeur minimale inférieure à  $-10$  dB dans la plage de fréquence basse de [10.66 à 12.88] GHz. Alors l'antenne garde son résultat précédent

Ses résultats obtenus lors de ce travail ont apporté une contribution à la conception d'une antenne qui se caractérise par une très large bande passante adaptée aux communications en liaison descendante bande Ku.

### **III-2-B. VSWR**

La figure III-21 montre simulée du VSWR par polarisation linéaire pour réseaux d'antenne 2\*1 (rapport d'ondes stationnaires de tension).



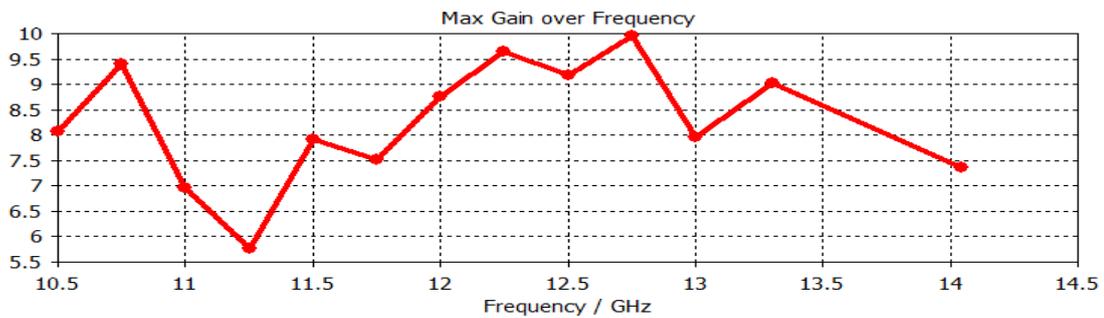
**Figure III- 22 : VSWR à réseaux d'antenne 2\*1.**

La figure III-21 montre bien que le taux d'onde stationnaire est resté inférieure à 1.5 à la bande, ce qui traduit une bonne adaptation à la bande passante choisie.

### **III-2-C. Gain d'antenne patch**

Le gain de l'antenne est simulé au-dessus de 10 GHz à 16 GHz gamme pour réseaux d'antenne 2\*1 est représenté sur la figure III-22.

## Résultats et discussion antenne patch pour réception des chaînes satellitaire



**Figure III- 23 : Gain à réseaux d'antenne 2\*1.**

On peut remarquer que le gain est environ de 10 dB était qualitativement similaire des autres travaux dans le demain de bande Ku en fonction avec un gain élevé [III-13].

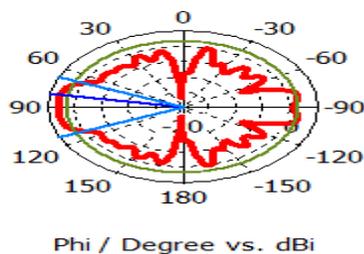
[III-13]

### III-2-D. Diagramme de rayonnement

Les modifications effectuées se voient clairement sur les résultats de simulation, cette différence est apparue aux gains et l'angle d'ouverture quand on remarque l'augmentation de gain où il touche le 10 dB à 12.75 GHz.

#### 10.5 GHz

Farfield Directivity Abs (Theta=90)

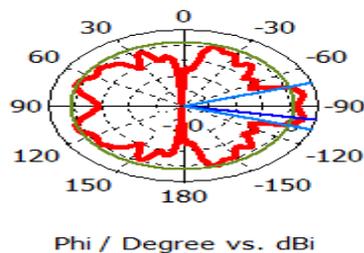


— farfield (f=10.75) [1]

Frequency = 10.75 GHz  
 Main lobe magnitude = 2.72 dBi  
 Main lobe direction = 80.0 deg.  
 Angular width (3 dB) = 47.3 deg.  
 Side lobe level = -1.2 dB

#### 11.0 GHz

Farfield Directivity Abs (Theta=90)



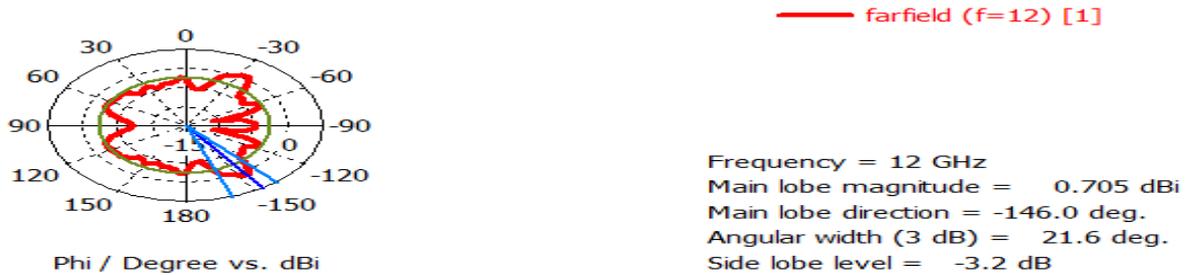
— farfield (f=11) [1]

Frequency = 11 GHz  
 Main lobe magnitude = 2.4 dBi  
 Main lobe direction = -100.0 deg.  
 Angular width (3 dB) = 36.3 deg.  
 Side lobe level = -1.6 dB

#### 12.0 GHz

## Résultats et discussion antenne patch pour réception des chaînes satellite

Farfield Directivity Abs (Theta=90)

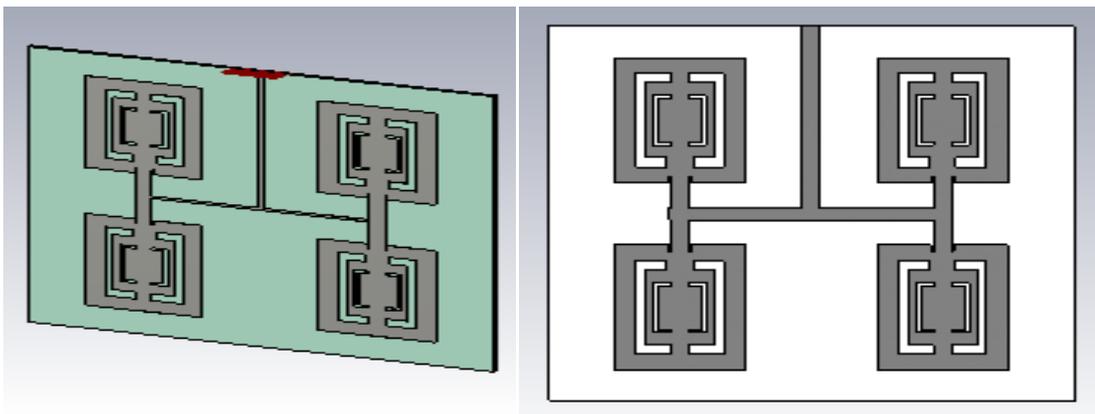


**Figure III- 24 : Diagramme de rayonnement en 2D à réseaux d'antenne 2\*1.**

Concernant l'angle d'ouverture  $47.3^\circ$ ,  $36.3^\circ$ ,  $21.6^\circ$  pour les fréquences 10.75 GHz 11 GHz et 12 GHz respectivement alors on remarque une diminution par rapport à les résultats de l'antenne initiale.

### III-3. Réseau d'antenne à quatre patches rectangulaires

Pour bien améliorer et augmenté le gain, nous avons effectuées des modifications au niveau de la structure d'antenne par réseau d'antenne 2\*2.

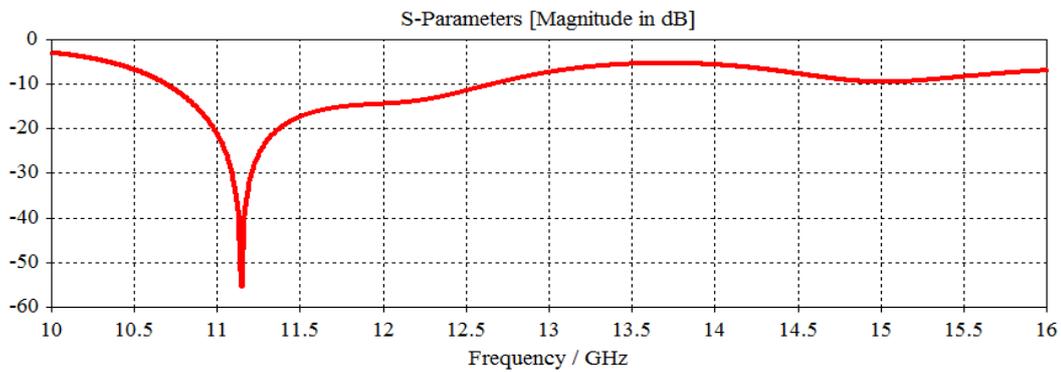


**Figure III- 25 : Structure réseau d'antenne à quatre patches.**

#### III-3-A. Coefficient de réflexion $S_{11}$

Le résultat de simulation de coefficient de réflexion  $S_{11}$  réseaux d'antenne 2\*2 a représenté sur la figure III-25.

## ***Résultats et discussion antenne patch pour réception des chaînes satellite***

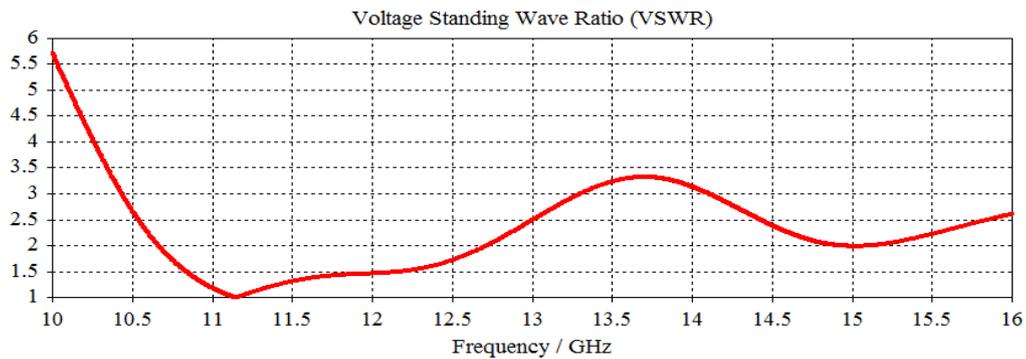


**Figure III- 26 : Coefficient de réflexion  $S_{11}$  à réseaux d'antenne 2\*2.**

La figure III.25 montre que le circuit est bien adapté sur la bande de fonctionnement.

### **III-3-B. VSWR**

La figure III-26 montre simulée du VSWR par polarisation linéaire pour réseaux d'antenne 2\*2 (rapport d'ondes stationnaires de tension).



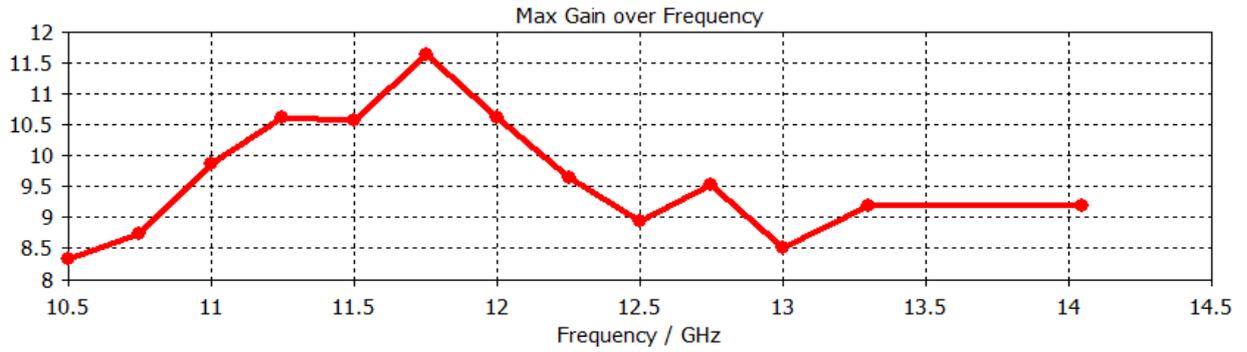
**Figure III- 27 : VSWR à réseaux d'antenne 2\*2.**

La figure III.26 montre bien que le taux d'onde stationnaire est reste inférieure à 1.5 à la bande, ce qui traduit une bonne adaptation à la bande passante choisi.

### **III-3-C. Gain d'antenne patch**

Le gain de l'antenne est simulé au-dessus de 10 GHz à 16 GHz gamme pour réseaux d'antenne 2\*2 est représenter sur la figure III-27.

## Résultats et discussion antenne patch pour réception des chaînes satellitaire



**Figure III- 28 : Gain à réseaux d'antenne 2\*2.**

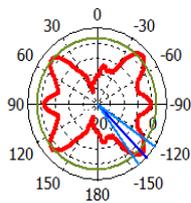
On peut observer d'après les résultats de simulation que la nouvelle structure présente un niveau de gain important par rapport à la structure de deux patches où il touche 11.5dB à la fréquence 11.75 GHz.

### III-3-D. Diagramme de rayonnement

Nous avons présenté aussi les diagrammes de rayonnements en 2D pour des différentes fréquences de résonances : 10.5 GHz, 11.0 GHz, 11.5 GHz, 12.0 GHz et 12.5 GHz simulés sous CST MWS selon les figures suivantes.

#### 10.5 GHz

Farfield Gain Abs (Theta=90)



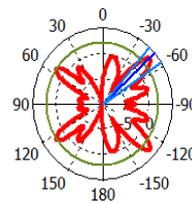
Phi / Degree vs. dB

— farfield (f=10.5) [1]

Frequency = 10.5 GHz  
Main lobe magnitude = 2.78 dB  
Main lobe direction = -135.0 deg.  
Angular width (3 dB) = 19.1 deg.  
Side lobe level = -1.1 dB

#### 11.0 GHz

Farfield Gain Abs (Theta=90)



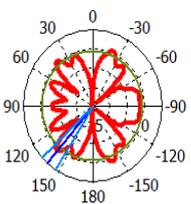
Phi / Degree vs. dB

— farfield (f=11) [1]

Frequency = 11 GHz  
Main lobe magnitude = 3.38 dB  
Main lobe direction = -48.0 deg.  
Angular width (3 dB) = 14.7 deg.  
Side lobe level = -1.3 dB

#### 11.5 GHz

Farfield Gain Abs (Theta=90)



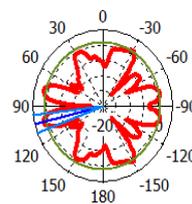
Phi / Degree vs. dB

— farfield (f=11.5) [1]

Frequency = 11.5 GHz  
Main lobe magnitude = 0.515 dB  
Main lobe direction = 139.0 deg.  
Angular width (3 dB) = 14.7 deg.  
Side lobe level = -1.1 dB

#### 12.0 GHz

Farfield Gain Abs (Theta=90)



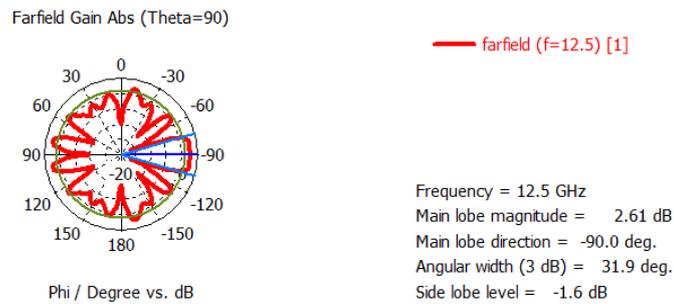
Phi / Degree vs. dB

— farfield (f=12) [1]

Frequency = 12 GHz  
Main lobe magnitude = 1.44 dB  
Main lobe direction = 104.0 deg.  
Angular width (3 dB) = 14.7 deg.  
Side lobe level = -0.6 dB

#### 12.5 GHz

## Résultats et discussion antenne patch pour réception des chaînes satellite

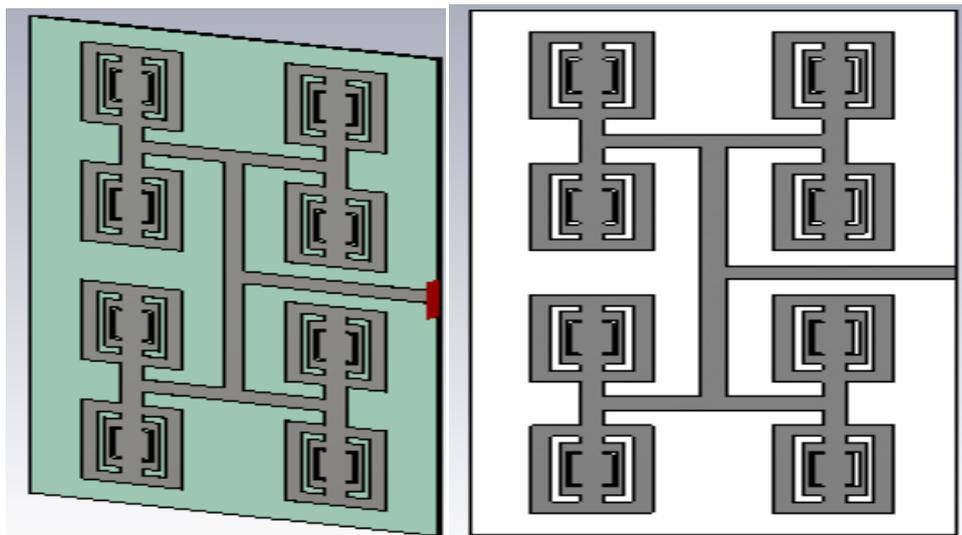


**Figure III- 29 : Diagramme de rayonnement en 2D à réseaux d'antenne 2\*2.**

Le diagramme de rayonnement de l'antenne dans le plan  $\theta = 0^\circ$  change lorsque la fréquence augmente, on constate une modification importante du diagramme de rayonnement avec la variation de la fréquence où l'angle d'ouverture est diminuer  $19.1^\circ$ ,  $14.7^\circ$  aux fréquences 10 GHz, 10.5 GHz, 11 GHz et 11.5 GHz respectivement, et augmente à 12.5 GHz où égal  $31.9^\circ$ .

### III-4. Réseau d'antenne à huit patches rectangulaires

Les figures ci-dessus peuvent représenter la conception d'un réseau d'antennes patch microruban 4\*2.



**Figure III- 30 : Structure d'antenne réseau à patches 4\*2.**

#### III-4-A. Coefficient de réflexion $S_{11}$

Le résultat de simulation de coefficient de réflexion  $S_{11}$  réseaux d'antenne 4\*2 a représenté sur la figure III-30.

## ***Résultats et discussion antenne patch pour réception des chaînes satellite***

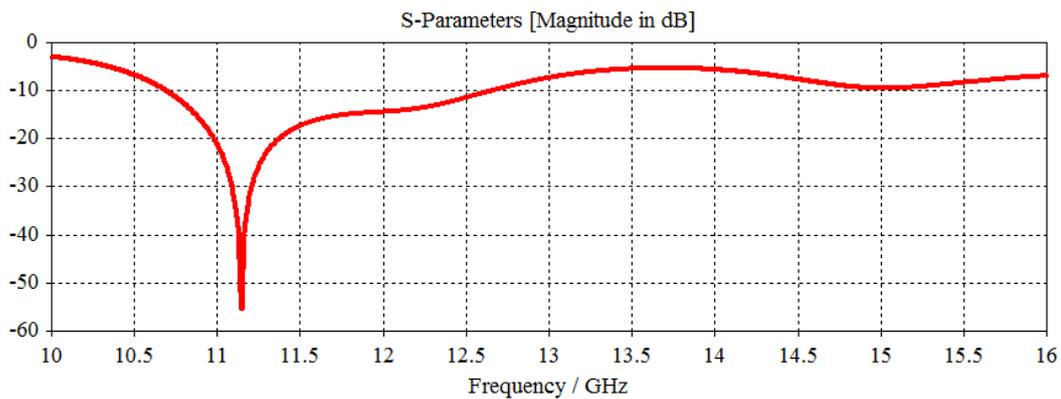


Figure III- 31 : Coefficient de réflexion  $S_{11}$  à réseaux d'antenne 4\*2.

La figure III.30 montre que la structure totale (antenne alimentée par le circuit de distribution) est bien adaptée sur toute la bande. L'impédance de charge n'est plus indépendante de la fréquence.

### **III-4-B. VSWR**

La figure III-31 montre simulée du VSWR par polarisation linéaire pour réseaux d'antenne 4\*2 (rapport d'ondes stationnaires de tension).

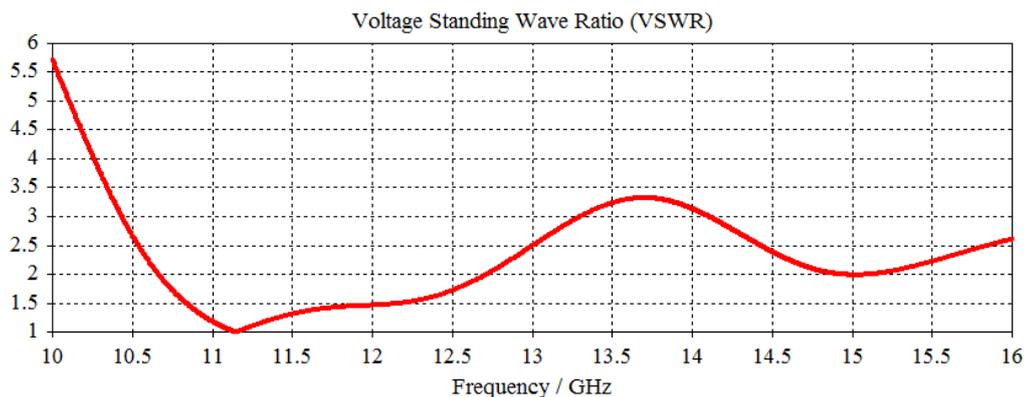


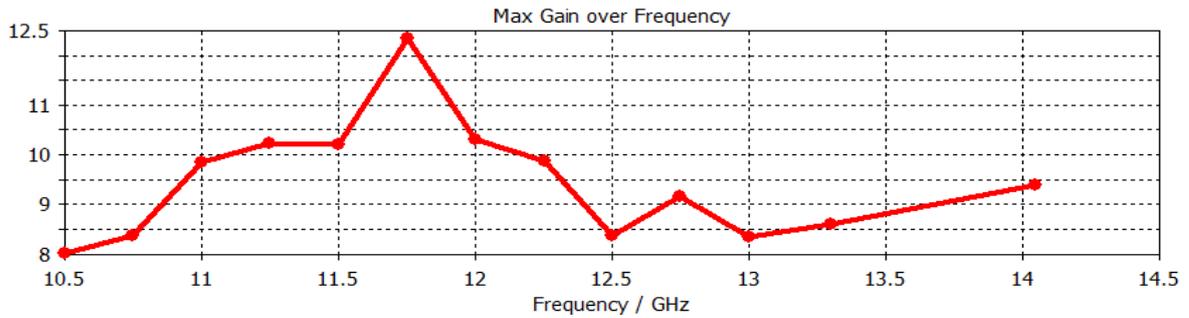
Figure III- 32 : VSWR à réseaux d'antenne 4\*2.

La figure III.31 montre bien que le taux d'onde stationnaire est resté inférieure à 1.5 à la bande, ce qui traduit une bonne adaptation à la bande passante choisie.

### **III-4-C. Gain d'antenne patch**

Le gain de l'antenne est simulé au-dessus de 10 GHz à 16 GHz gamme pour réseaux d'antenne 4\*2 est représenté sur la figure III-32.

## Résultats et discussion antenne patch pour réception des chaînes satellite

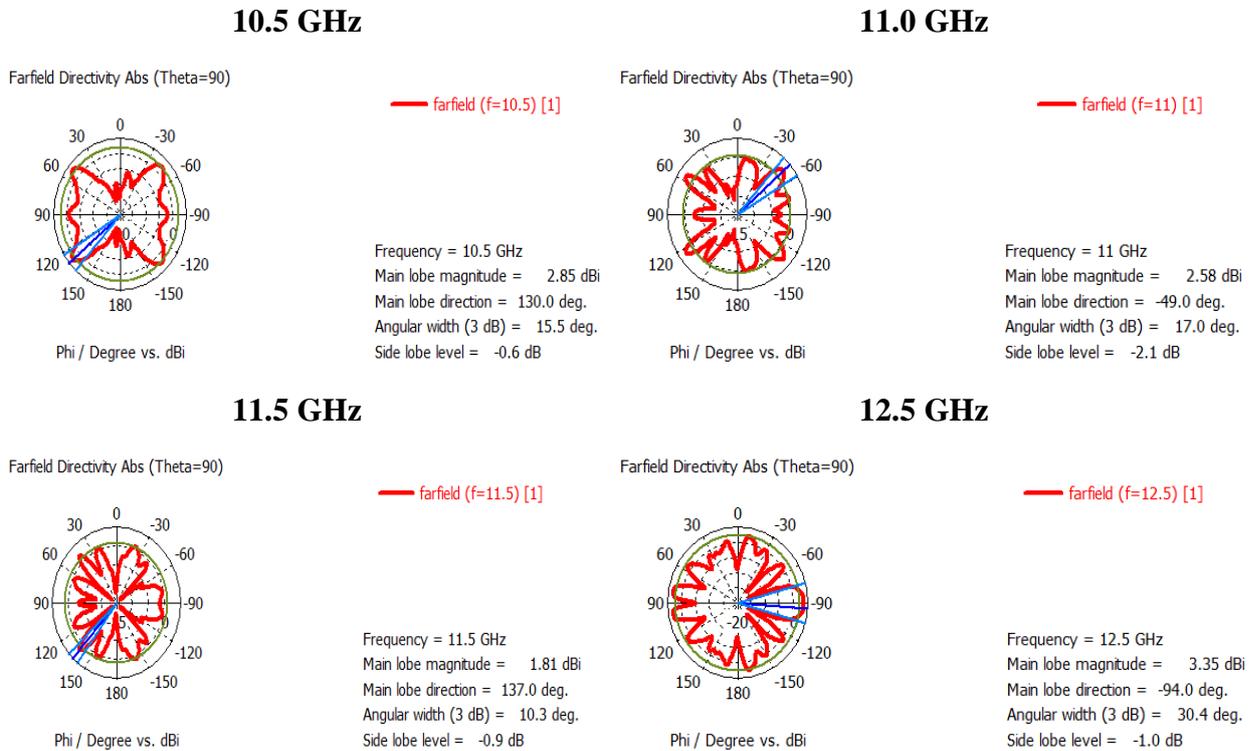


**Figure III- 33 : Gain à réseaux d'antenne 4\*2.**

Lorsque on applique la structure de huit antennes le gain continue de augmenté où il égal 12.5 dB a la fréquence 11.75 GHz.

### III-4-D. Diagramme de rayonnement

Le diagramme de rayonnement (plan h) est montré à la figure (III-33). Nous avons présenté aussi les diagrammes de réyonnmnts on 2D de difrérents fréquences sur les figures suivants :



**Figure III- 34 : Diagramme de rayonnement en 2D à réseaux d'antenne 4\*2.**

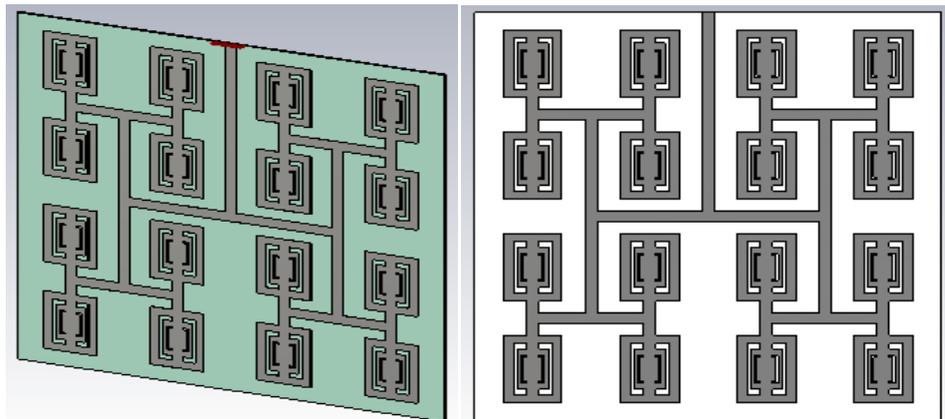
La puissance est rayonnée principalement dans l'hémisphère gauche et droit; La puissance est dirigée vers 15.4° à 30.4° avec une amplitude de lobe principal de 2.85 dBi a 3.35 dBi. et un angle d'ouverture entre 15.5 ° à 30.4°. On observe un diagramme de rayonnement omnidirectionnel.

### **III-5. Réseau d'antenne à seize patches rectangulaires**

Cependant, il peut ne pas convenir à la bande Ku car il est difficile d'atteindre une température et une pression élevées de manière uniforme lors de la fabrication du réseau avec une plus grande taille physique.

Un réseau d'antennes utilisant une alimentation décalée est formé à l'aide de 16 (4\*4) éléments. Comme le réseau d'alimentation d'entreprise microruban avec une mise en phase appropriée et des jonctions en T effilées sont formés pour obtenir 4\*4 matrices.

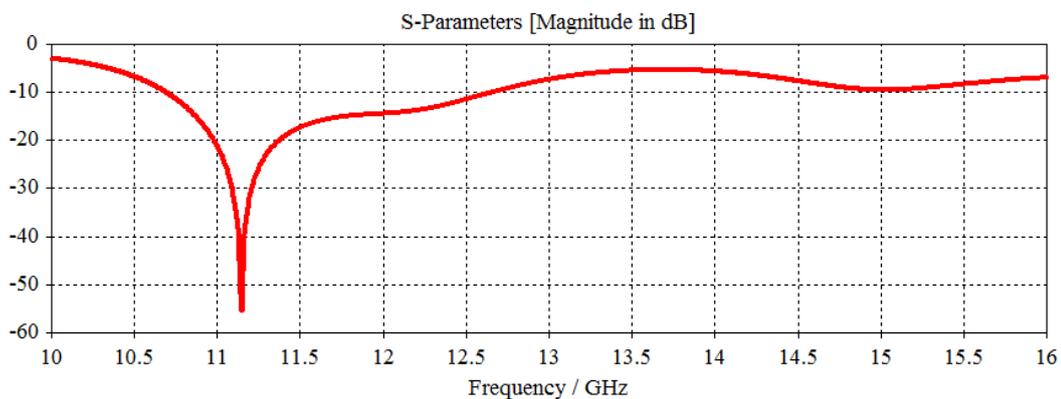
Dans ce travail, le sous-réseau de patch de tableau proposé est étudié en premier. Un réseau d'antennes 4\*4 patch est ensuite conçu et les résultats simulés sont en bon accord.



**Figure III- 35 : Structure d'antenne réseau à patches 4\*4.**

#### **III-5-A. Coefficient de réflexion $S_{11}$**

Le résultat de simulation de coefficient de réflexion  $S_{11}$  réseaux d'antenne 4\*4 a représenté sur la figure III-35.

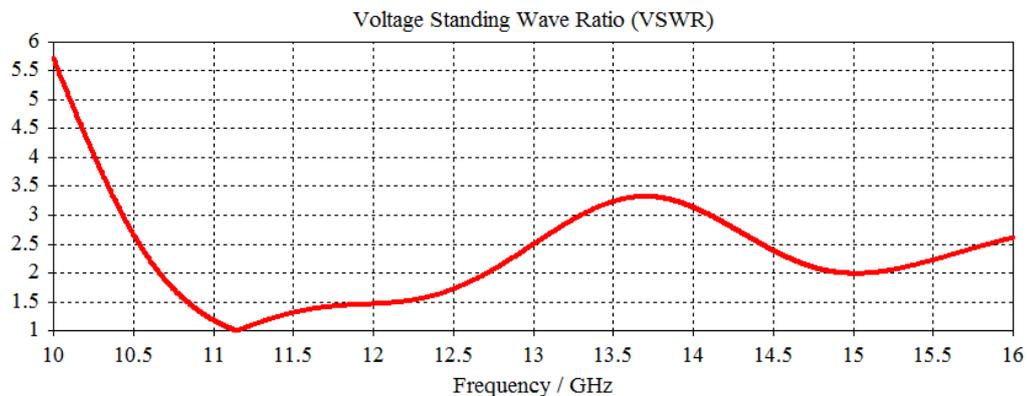


**Figure III- 36 : Coefficient de réflexion  $S_{11}$  à réseaux d'antenne 4\*4.**

La figure III.35 montre que la structure totale (antenne alimentée par le circuit de distribution) est bien adaptée sur toute la bande. L'impédance de charge n'est plus indépendante de la fréquence.

### III-5-B. VSWR

La figure III-36 montre simulée du VSWR par polarisation linéaire pour réseaux d'antenne 4\*4 (rapport d'ondes stationnaires de tension).

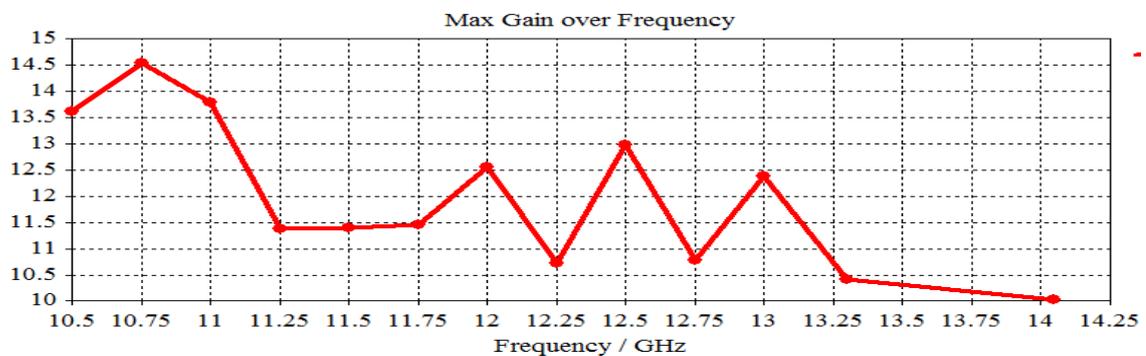


**Figure III- 37 : VSWR à réseaux d'antenne 4\*4.**

La figure III.36 montre bien que le taux d'onde stationnaire est resté inférieure à 1.5 à la bande, ce qui traduit une bonne adaptation à la bande passante choisi.

### III-5-C. Gain d'antenne patch

Le gain de l'antenne est simulé au-dessus de 10 GHz à 16 GHz gamme pour réseaux d'antenne 4\*4 est représenter sur la figure III-37.



**Figure III- 38 : Gain à réseaux d'antenne 4\*4.**

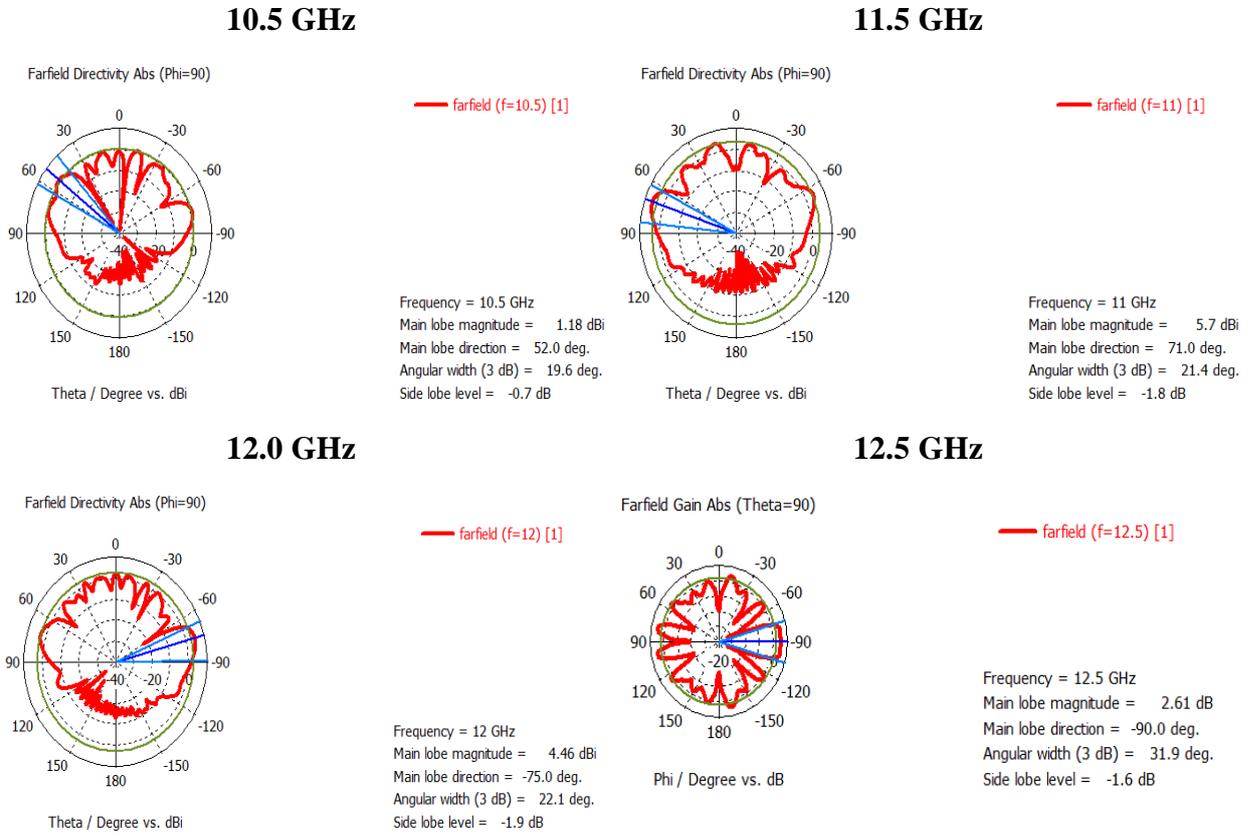
D'après cette étude, nous constatons que les techniques de réseau d'antenne que nous avons appliquées sur l'antenne précédente ont données de bon résultat de gain

Les résultats de simulation montrent bien que le gain a une valeur maximale supérieure à 14.5 dB et l'augmentation de gain sur toute la plage fréquences choisi.

***Résultats et discussion antenne patch pour réception des chaînes satellitaire***

**III-5-D. Diagramme de rayonnement**

Les résultats du diagramme de rayonnement pour les deux principaux plans en 2D pour les différentes fréquences de résonances 10.5 GHz, 11.0 GHz, 12.0 GHz et 12.5 GHz sont montrés sur les figures suivantes :



**Figure III- 39 : Diagramme de rayonnement en 2D à réseaux d’antenne 4\*4.**

Pour la fréquence 10.5 GHz, on remarque que le diagramme de rayonnement en 2D dans le plan H (phi=90) à un angle d’ouverture de 19.6°. A la fréquence 12 GHz l’angle d’ouverture est égal 22.1°.

**III-6. COMPARAISON ENTRE LES PERFORMANCES DES RESEAUX ANTENNE 4\*4**

En résumé, le tableau III-3 présente une comparaison entre les performances de ces antennes. Nous constatons que notre antenne proposée réalisée sur un substrat époxy FR-4 à faible coût réalise une performance compétitive par rapport aux autres antennes présentées dans [III-14], [III-15], [III-16] et [III-17]. Il dispose également d'une très large bande passante pour les applications de communication par satellite de diffusion.

Table 1 :

Paramètre	Antenne 4*4	Réf [III-14]	Réf [III-15]	Réf [III-16]	Réf [III-17]
Substrat	FR-4	FR-4	FR-4	Teflon PTFE	FR-4

### ***Résultats et discussion antenne patch pour réception des chaînes satellitaire***

Constante de diélectrique	4.3	4.4	4.4	2.55	4.3
La bande passante [GHz]	[10.75 – 12.75]	[9.34 - 19.82]	[11.2-14]	[12- 14.5]	[11.15-12.6]
S <sub>11</sub> [dB]	-36	-34.17	-49.07	-33	-32.5
Gain [dB]	14.5	6.27	8.25	8.44	12.0

L'étude comparative menée dans la dernière section a montré une meilleure performance obtenue notamment dans le gain.

#### **IV. CONCLUSION**

Un gain élevé au réseau d'antennes 4\*4 patches dans la bande Ku est démontré par simulation par le logiciel du studio CST. Les résultats sont en bon accord. Les patches rayonnants et le réseau d'alimentation du guide d'ondes sont conçus pour donner un bon coefficient de réflexion sur la bande de fonctionnement. Les coins tronqués d'un patch carré chargé d'une fente en U donnent une caractéristique CL à large bande.

Un gain stable de plus de 15 dBi sur toute la bande de fonctionnement avec un rayonnement large CL est obtenu par le réseau antenne 4\*4. L'antenne proposée fonctionnera en communication par satellite sur le canal de diffusion en bande Ku.

Dans ce travail, une structure d'antenne miniaturisée en liaison descendante à patch d'antenne en bande Ku, ayant une simplicité de construction à faible coût d'antennes réseau et une meilleure performance, a été proposée pour des applications de communication par canal de diffusion en bande Ku. Il peut également être réalisé en réseau d'antennes pour augmenter le gain et la directivité. Ce patch a un substrat époxy FR-4 à faible coût avec un epsilon diélectrique constant  $\epsilon_r = 4,3$  et  $\tan \delta = 0,02$ . Plusieurs slots symétriques ont été insérés au sol pour augmenter la taille de la bande passante. Cette antenne offre un gain de 14,5 dB, une très large bande de 2,5 GHz de 10,5 GHz à 13,00 GHz, un faible coût de mise en œuvre et une simplicité de fabrication.

L'étude comparative menée dans la dernière section a montré une meilleure performance obtenue en particulier la bande passante.

# **Conclusion**

## **Générale**

## *Conclusion générale*

### **CONCLUSION GENERALE**

La communication par satellite est en constante évolution au quotidien et c'est le résultat d'études et de recherches continues et de colossaux efforts à travers le développement de tout ce qui concerne les méthodes de diffusion par satellite et les dispositifs d'accompagnement, en particulier les antennes imprimés. L'étude examine l'évolution de ce domaine de communication.

Dans cette mémoire, Nous démontre la colossale essentialité de l'antenne patch dans le domaine de la communication par satellite, et son adaptation à la ligne de transmission à travers les résultats obtenus après conception et simulation dans chacun des deux logiciel de simulation CST Studio. C'est qui confirment son efficacité et son performance dans ce travail, qui se concentre principalement sur la réception de la chaine satellitaire sur la bande Ku. Nous avons utilisé la polarisation verticale en plus d'abrèger les dimensions du patch d'antenne au maximum que l'on peut prendre en compte les conditions de l'organisation mondiale de normalisation.

En effet, le réseau d'antennes patch  $1 \times 2$ ,  $2 \times 2$ ,  $2 \times 4$  et  $4 \times 4$  ont été conçus et simulés en liaison descendante vers la bande Ku pour des géométries conformes planaires.

Les travaux futurs incluront l'augmentation du nombre d'éléments et l'ajout d'éléments déphaseurs pour orienter le gain du faisceau. Le sous-réseau qui semble le plus adapté à notre application de TV par satellite est le réseau linéaire type T. Cependant, le principal problème qui demeure concerne le suivi du satellite par le sous-réseau, celui-ci ne pouvant pas être omnidirectionnel à couverture complété. De plus, le niveau des lobes secondaires doit être abaisse grâce à une pondération en amplitude afin d'éviter que l'antenne absorbe le bruit environnant. Tous ces constats concernant l'amélioration du sous-réseau linéaire fait l'objet d'une attention particulière dans la future.

## REFERENCES

- [1] FuturaSciences. 2014 [en ligne]. Available: <http://www.futurasciences.com/magazines/espace/infos/actu/d/utilisation-espace-plus-1000-nouveaux-satellites-seront-lances-ici-2023-54916>.
- [2] Donald M. Jansky. "Communication Satellites in the Geostationary Orbit". 1987
- [3] Lee K.F., Luk K.M., Tong K.F., Shum S.M., Huynh T., and Lee R.Q. Experimental and simulation studies of the coaxially fed u-slot rectangular patch antenna. *Microwaves, Antennas and Propagation, IEE Proceedings*, 144(5) :354–358, Oct 1997.
- [4] 2021. [en ligne]. Available: <https://www.pinterest.nz/pin/178103360247774778/?send=true>
- [I-1] Benaïd Katia, "Etude des antennes planaires avec le modèle de la cavité et le modèle de la ligne de transmission", Mémoire de Master, 2013.
- [I-2] Walid DEGHEFEL et Rami MERZOUGUI, "Etude et conception d'une antenne patch ultra large bande ULB à bande rejetée", Mémoire de Master en électronique, 2017.
- [I-3] Emmanuel DREINA, «Conception, optimisation et intégration RF ; un système ; antennes miniatures multi capteurs utilisant la diversité en vue ; augmenter les performances radio ; un terminal mobile 4G», Thèse de Doctorat, Institut Polytechnique de Grenoble, 2010
- [I-4] CHETOUAHFAROUK, «Etude et modélisation des antennes miniatures basées sur des matériaux diélectriques », thèse de doctorat, université Ferhat Abbas SETIF-1, 2018.
- [I-5] ZITOUNI Ahmed « Maître de Conférences Classe B » cours antenne ; Septembre, 2018.
- [I-6] Lamouri marwa Khaoumi Madjida "Etude et conception des antennes micro ruban pour la technologie ULB", mémoire de master, 2020.
- [I-7] "Circular.polarization.circularly.polarized.light left". Book HAND.2015
- [I-8] CC BY-NC-SA Eric Simon. Fourni par Blogger.2017
- [I-9] Brahmi Ali, "Etude de la Technologie des Antennes Multi-bandes pour les Applications Spatiales", mémoire de magister, université USTO-Oran, 2009.
- [I-10] The IceCube Collaboration, "Multimessenger observations of a flaring blazar coincident with high-energy", Vol. 361, Issue 6398, eaa1378, 2018.
- [I-11] M. H. Awida, "Substrate-integrated waveguide Ku-band cavity backed 2x2 microstrip patch array antenna," *Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 8, 2009, pp. 1054-1056.
- [I-12] H.C. Koons J.F. Fennell, *Space Weather Effects on Communications Satellites*, Radio Science Bulletin No 316, 2006.
- [I-13] Zhou, B. Liang, B. You, Q. Liu, and X. Yan, "A Fractal Microstrip Array Antenna with Slots Feeding Network for DTV Reception," *PIERS Proceedings*, Stockholm, Sweden, 2013, pp. 262-265.
- [I-14] Amel Harrabi, "Conception et réalisation d'une antenne plate pour la réception satellite", Docteur de l'Université de Tunis El Manar, 2015.
- [I-15] Miraoui abdelfettah, "Implémentation de quelques algorithmes de détection et de localisation d'objets par imagerie micro-onde", doctor of engineering researchgate. 2018
- [I-16] Abdallah dhouibi, "Broadband metamaterial-based half Maxwell fish-eye lens antenna", *IEEE Antennas And Propagation Society International Symposium (APSURSI)*, 2013, Orlando, United States. pp.1294-1295. (hal-01422987). 2016.
- [I-17] J. Sosa-Pedroza, F. Martinez-zuñiga, and M. Enciso-Aguilar, "Planar Antennas for Satellite Communications", *Satellite communications*, 2010, pp. 367-394.
- [I-18] Darmstadt, Germany, at the front of the EUMETSAT building. Taken by me, October 2006.
- [I-19] Satoh et al. "Performance of Akatsuki/IR2 in Venus orbit: the first year" and appear in the Nov 2017 edition of the planetary science journal *Earth, Planets, and Space*, 2017.
- [I-20] Marc Van Droogenbroeck, M Braham, S Piérard, M Van Droogenbroeck, "Semantic Background Subtraction, *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, 4552-4556, 2017.
- [II-1] F. T.-h. e. M. Souhila, «Antenne de Téléphonie mobile, caractérisation et optimisation,» 2016.
- [II-2] M. M. e. A. Bakouche, «L'effet des caractéristiques de l'antenne patch,» 2014.

## Références

- [II-3] K. C. M. U. J. Z. W. A. S. J. M. A. K. M. P. G. L. B. G. A. G. M. C. U. M. B. P. a. M. N. S. S. Gao, «Antennas for Modern Small Satellites,» *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 51, n° 14, pp. 40 - 56, 2009.
- [II-4] v. eLearning, Director, <https://www.youtube.com/watch?v=sSRVsSALhWU>. [Film]. 2019.
- [II-5] D. B. Ahcene, «Contribution à l'étude et à la modélisation des antennes,» 2012.
- [II-6] D. W. e. M. Rami, «Etude et conception d'une antenne patch ultra,» 2017.
- [II-7] «antenna-theory,» 2016. [En ligne]. Available: <http://www.antenna-theory.com/antennas/patches/antenna.php#introduction>.
- [II-8] «Antennas,» 2017. [En ligne]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=4RbVqpSWk4c&list=PLzJaFd3A7DZsL9dZDCeA3ijHZwwBb6R8y&index=19>.
- [II-9] A. D. Khaleel, "Design and Simulation Microstrip patch Antenna using CST Microwave," 2019.
- [II-10] M. B. N. e. M. M. B. Souaad, «Les antennes planaire pour les communications UWB».
- [II-11] A. LATIF, 2016. [En ligne]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=6P9pfS\\_s0\\_g](https://www.youtube.com/watch?v=6P9pfS_s0_g).
- [II-12] 2020. [en ligne]. Available: <https://www.intechopen.com/books/trends-in-telecommunications-technologies/dual-linearly-polarized-microstrip-array-antenna>
- [II-13] D. R. Jackson, "Introduction to Microstrip Antennas," 2013.
- [II-14] D. BELGUELLAOUI, «Analyse et conception des antennes microrubans,» 2016.
- [II-15] T.A. Milligan Modern Antenna Desing, second edition John Wiley & Sons, Inc, 2005
- [II-16] W. junjun, "Antenna Theory and Design".
- [II-17] B. Ali, «Etude de la Technologie des Antennes,» 2009.
- [II-18] B. Ali, *Etude de la Technologie des Antennes*, 2009.
- [II.19] G. Mitchell, "Steerable Directional Random Antenna Array," US Patent 3,056,961, 2 Octobre 1962.
- [II.20] J. Butler, R. Lowe, "Beam-Forming Matrix Simplifies Design of Electronically Scanned Antennas," *Electronic Design*, Avril 1961, pp. 170-173.
- [II.21] E.H. Kadak, "Conformal Array Beam Forming Network," US Patent 3, 868, 695, 25 Février 1975.
- [II.22] N. Jorge G. Fonseca, "Étude de Systèmes Micro-ondes d'Alimentation d'Antennes Réseaux pour Applications Multifaisceaux", Thèse de doctorate, université de toulouse, 2010.
- [III-1] CST MICROWAVE STUDIO Web page <http://www.cst.com/Content/Products/MWS/Overview.aspx>.
- [III-2] K. F. Lee, K. M. Luk, K. F. Tong, S. M. Shum, T. Huynh, and R. Q. Lee, "Experiment and simulation studies of the coaxially fed U-slot rectangular patch antenna," *IET Proc., Microw., Antennas and Propag.*, vol. 144, pp. 354-358, Oct. 1997.
- [III-3] Y. X. Guo, K. M. Luk, and K. F. Lee, "U-slot circular patch antennas with L-probe feeding," *Electron. Lett.*, vol. 35, pp. 1694-1695, Sep. 1999.
- [III-4] S. H. Yeung, K. F. Man, K. M. Luk, and C. H. Chan, "A trapeziform U-slot microstrip patch antenna," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 56, pp. 571-577, Feb. 2008.
- [III-5] K. Ray and Y. Ranga, "Ultrawideband printed elliptical monopole antennas," *IEEE transactions on antennas and propagation*, vol. 55, no. 4, pp. 1189-1192, 2007.
- [III-6] Liu W-C, Wu C-M, Dai Y. Design of triple-frequency microstrip-fed monopole antenna using defected ground structure. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 2011; 59:2457-2463.
- [III-7] Liu W-C, Wu C-M, Dai Y. Design of triple-frequency microstrip-fed monopole antenna using defected ground structure. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 2011; 59:2457-2463.
- [III-8] G. Ahmad, M. I. Babar, and M. Irfan, "A novel wideband microstrip patch antenna for satellite applications," *Journal of Engineering and Applied Sciences (JEAS)*, Peshawar, vol. 36, no. 2, 2017.
- [III-9] Ahsan MR, Islam MT, Ullah MH. A compact multiband inverted a shaped patch antenna for WiMAX and C-band. *Microwave and Optical Technology Letters* 2014; 56:1540-1543.
- [III-10] Bhowmik, L. Mohan, Armiento, C., Akyurtlu, A., Miniscalco, W., Chirravuri, J., McCarroll, Christopher, "Design and analysis of conformal ku-band microstrip patch antenna arrays", *IEEE International Symposium on Phased Array Systems and Technology*, 2013.
- [III-11] Zhang, Yan, Song, Zhe, Hong, Wei, Mitra, Raj, "Wideband high-gain  $\hat{A}\pm 45\hat{A}^\circ$  dual-polarised stacked patch antenna array for Ku-band back-haul services", *ET Microwaves, Antennas & Propagation*, 2020.
- [III-12] G. Kossiavas, A. Papiernik, R. Staraj, C. Luxey *Antennes imprimées - Bases et principes Dossier E 3310, Antenne, Techniques de l'Ingénieur*, 2012.

## ***Références***

- [III-13] Saini, Gurpreet Singh, Kumar, Rajeev, "A low profile patch antenna for Ku-band applications", International Journal of Electronics Letters, 2019.
- [III-14] A. Fatimi, S. Bri, and A. Saadi, "An ultra wideband antenna for Ku band applications", International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), Vol. 9, No. 1, February 2019, pp. 452~ 459.
- [III-15] G. Ahmad, M. I. Babar, and M. Irfan, "A novel wideband microstrip patch antenna for satellite applications," Journal of Engineering and Applied Sciences (JEAS), Peshawar, vol. 36, no. 2, 2017.
- [III-16] M. A. H. Oweis and H. H. M. Ghouz, "A novel ku-band microstrip antenna," in Engineering and Technology (ICET), 2014 International Conference on. IEEE, 2014, pp. 1–4.
- [III-17] K. So and C. H. Chan, "Circularly Polarized Patch Antenna Array for Satellite Communication in Ku Band", IEEE conference, 2016.

## Résumé

### \*\*\*Résumé\*\*\*

Malgré l'avancement en le développement de liaisons terrestres, les télécommunications par les satellites prennent de plus en plus de place dans la transmission de l'information. Pour que cette technologie puisse prévaloir à l'avenir, il faut trouver des alternatives des paraboles classiques antennes, qui étaient déployées massivement sur la planète vers des nouvelles structures plus esthétiques, moins chers et fonctionnelles.

Dans cet objectif, cette mémoire vise à concevoir et à conception un une nouvelle approche pour la simulation de réseaux d'antennes patch microruban conformes 1x2, 2x2, 2x4 et 4x4 fonctionnant en bande Ku ont été conçus et leurs caractéristiques de rayonnement ont été simulées et analysées en fonction de la fréquence pour la réception des chaînes de télévision émises en bande Ku. Sa mise en réseau d'antenne a demandes d'atteindre une directivité élevée largement suffisante pour la réception des signaux des satellites géostationnaires, et surtout aptes à s'orienter automatiquement vers le satellite désiré.

Les caractéristiques de performance modélisées incluent les paramètres S, les diagrammes de rayonnement, à des largeurs de faisceau de -10 dB, les niveaux des lobes latéraux, le ROS et l'efficacité du rayonnement.

Cependant, il n'y a pas de changement significatif dans les paramètres car il y a une omnidirectionnel au niveau du modèle de rayonnement et du rapport axial. Au fur et à mesure que nous augmentons le nombre d'éléments dans le réseau, le couplage devient plus important. Un gain maximum de 14,5 dB avec une bande passante de 2 GHz a été atteint dans l'application de liaison descendante en bande Ku.

En outre, il est montré que le gain, la fréquence de résonance, la largeur de faisceau et l'efficacité du rayonnement augmentent à mesure que la flexion de la structure du réseau augmente.

\*\*\*Mots-clés\*\*\* : Antenne patch, CST Studio, Diffusion des chaînes, Ku band, satellite.

### \*\*\*Abstract\*\*\*

Despite advancements in the development of terrestrial links, satellite communications are becoming increasingly important in the transmission of information. In order for this technology to prevail in the future, we must find alternatives from conventional satellite dishes, which were deployed on a massive scale on the planet, towards new structures that are more aesthetic, less expensive and functional.

For this purpose, this thesis aims to conceive and design a new approach for the simulation of compliant 1x2, 2x2, 2x4 and 4x4 microstrip patch antenna arrays operating in Ku band have been designed and their radiation characteristics have been simulated and analyzed as a function of frequency for the reception of television channels transmitted in Ku band. Its antenna networking requires reaching a high directivity largely sufficient for the reception of signals from geostationary satellites, and above all capable of automatically orienting itself towards the desired satellite. Modeled performance characteristics include S-parameters, radiation patterns, at -10dB bandwidths, side-lobe levels, SWR, and radiation efficiency.

However, there is no significant change in the parameters as there is omnidirectional in the radiation pattern and the axial ratio. As we increase the number of elements in the network, the coupling becomes more important. A maximum gain of 14.5 dB with 2 GHz bandwidth has been achieved in the Ku-band downlink application. Further, it is shown that the gain, resonant frequency, bandwidth and radiation efficiency increase as the bending of the network structure increases.

\*\*\*Keywords\*\*\*: Patch antenna, CST Studio, Channel broadcasting, Ku band, satellite.

### \*\*\*تلخيص\*\*\*

على الرغم من التقدم المحرز في تطوير الروابط الأرضية، تزداد أهمية الاتصالات عبر الأقمار الصناعية في نقل المعلومات. لكي تسود هذه التقنية في المستقبل، يجب أن نجد بدائل تغني عن استعمال أطباق الأقمار الصناعية التقليدية، التي تم نشرها على نطاق واسع على هذا الكوكب، نحو هياكل جديدة أكثر جمالية وأقل تكلفة وعملية. لهذا الغرض، تهدف هذه المذكرة إلى تصور وتصميم نهج جديد لمحاكاة مصفوفات هوائيات التصحيح 1x2 و 2x2 و 4x2 و 4x4 المتوافقة التي تعمل في نطاق Ku، وتم محاكاة خصائص الإشعاع الخاصة بها وتحليلها كدالة لتردد استقبال القنوات التلفزيونية المنقولة في Ku band. تتطلب شبكات الهوائي الخاصة بها الوصول إلى اتجاهية عالية بكافية إلى حد كبير لاستقبال الإشارات من الأقمار الصناعية المستقرة بالنسبة إلى الأرض، وقبل كل شيء قادرة على توجيه نفسها تلقائيًا نحو القمر الصناعي المطلوب. تشمل خصائص الأداء النمذجية على معاملات S وأنماط إشعاع وعروض حزم عند 10- ديسيبل ومستويات الفص الجانبي وSWR وكفاءة الإشعاع. ومع ذلك، لا يوجد تغيير كبير في المعلمات حيث يوجد اتجاه شامل في مخطط الإشعاع والنسبة المحورية. مع زيادة عدد العناصر في الشبكة، يصبح الاقتران أكثر أهمية. تم تحقيق كسب أقصى قدره 14.5 ديسيبل مع عرض نطاق 2 جيجاهرتز في تطبيق Ku-band للوصلة الهابطة. علاوة على ذلك، يتضح أن الكسب وتردد الرنين وعرض حزمة وكفاءة الإشعاع تزداد مع تضاعف بنية الشبكة.

\*\*\*الكلمات المفتاحية\*\*\*: هوائي التصحيح، استوديو CST، بث القناة، نطاق Ku، الأقمار الصناعية.