



République Algérienne Démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Abou Bakr Belkaid –Tlemcen
Faculté de technologie
Département de télécommunications

Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de
Master en télécommunication
Spécialité : Systèmes des Télécommunications

Présentée par : Metalsi Tani Aissa Zakaria

Thème

Conception des antennes planaires directives à polarisations
Circulaires pour des applications spatiales

Soutenu le : 27/09/2021 devant le jury composé de :

Président : BOUKLI HACENE Nouredine Professeur à l'Université de Tlemcen

Examinatrice : BENOSMAN Hayat Maitre de conférences à l'Université de Tlemcen

Encadrante : BOUSALAH Fayza Maitre de conférences à l'Université de Tlemcen

Co-Encadreur : RABAH Mohammed Amin Maître de recherche au CDS- Oran

Année universitaire : 2020-2021

Dédicaces

A mes chers parents, Abdelkrim et Chekroun Fatima pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A mon cher frère Oussama pour son appui et son encouragement, permanent, et son soutien moral

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible,

Merci d'être toujours là pour moi.

Remerciements

En préambule à ce mémoire je remercie Allah qui m'a aidé et donné la patience et le courage durant ces longues années d'études.

Je souhaite adresser mes remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

Ces remerciements vont tout d'abord au corps professoral et administratif de la Faculté de technologie de Tlemcen, pour la richesse et la qualité de leur enseignement et qui déploient de grands efforts pour assurer à leurs étudiants une formation actualisée.

Je tiens à remercier sincèrement Mme BOUSALAH Fayza en tant que Directrice de mémoire, et aussi Mr RABAH Amine en tant que co-encadreur qui s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Je tiens à remercier profondément Mr BOUKLI HACENE Nouredine pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de présider ce jury.

J'exprime également mes sincères remerciements à Mme BENOSMANE Hayat d'avoir accepté d'examiner et discuter ce travail.

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à tous mes proches et amis, qui m'ont toujours encouragé au cours de la réalisation de ce mémoire.

Merci à tous et à toutes

Résumé

Dans ce projet, nous proposerons une nouvelle structure d'antenne patch pour établir une liaison montante avec les satellites géostationnaires fonctionnant en bande Ka. Le but est de concevoir ce type d'antenne plus directif qui s'adapte pour ce genre d'application tout en s'assurant d'obtenir un gain très élevé.

Mots-clés : Antenne planaire, patch, polarisation circulaire, haute fréquence 28GHz, bande Ka, paramètres-S, diagramme de rayonnement, CST WMS.

Abstract

In this project, we will propose a new patch antenna structure to establish a rising link with geostationary satellites operating in Ka band. The goal is to design this type of more directive antenna that works for this kind of application while ensuring that a very high gain is obtained.

Keywords: Planar antenna, patch, circular polarization, high frequency 28GHz, Ka band, S-parameters, radiation pattern, CST WMS.

ملخص

هذا المشروع، سنقترح هيكلًا جديدًا لهوائي الرقعة لإنشاء وصلة صاعدة مع الأقمار الصناعية المستقرة بالنسبة إلى الأرض الهدف هو تصميم هذا النوع من الهوائي الأكثر توجيهًا والذي يعمل مع هذا النوع من التطبيقات مع Ka العاملة في النطاق ضمان الحصول على مكاسب عالية جدًا.

الكلمات المفتاحية مخطط: هوائي مستوي ، رقعة ، استقطاب دائري ، تردد عالي 28 جيجا هرتز ، نطاق كا ، إشعاع ،
معلومات CST WMS.

Liste des figures

Figure 1-1 : principe d'une liaison radioélectrique.....	17
Figure 1-2: configuration d'antennes filaires (a) Dipôle (b) boucle circulaire(carré) (c)hélice	17
Figure 1-3 : Configuration d'antennes à ouverture.....	18
Figure 1-4:Réflecteur d'angle	19
Figure 1-5:Configurations typiques de réseau d'antenne filaire, d'ouvertures et de microrubans.....	20
Figure 1-6: Configurations typiques d'antenne à lentille	21
Figure 1-7: Système de coordonnées pour l'analyse d'antenne.	23
Figure 1-8:(a) Polarisation elliptique. (b) Polarisation circulaire. (c) polarisation Linéaire (17).	26
Figure 1-9: Puissance directe et réfléchi due à une discordance.....	28
Figure 1-10: schéma de circuit équivalent d'une antenne d'émission.....	28
Figure 1-11:Structure de base d'une antenne imprimée.	30
Figure 1-12:Antenne imprimée alimentée par ligne microruban	32
Figure 1-13:Antenne imprimée alimentée par sonde coaxiale	33
Figure 1-14: Antenne imprimée alimentée par fente.	33
Figure 1-15: Antenne imprimée alimentée par proximité.	34
Figure 1-16 : Modélisation de l'antenne quart d'onde.	34
Figure 1-17 : adaptation par quart d'onde.....	35
Figure 1-18: Modélisation de l'antenne à Adaptation simple stub.	35
Figure 1-19 : Stub en circuit ouvert.....	35
Figure 1-20: Patch adapté par encoches.....	36
Figure 1-21: L'équivalence en circuit.....	36
Figure 1-22:ligne microruban	37
Figure 1-23: Les lignes de champs.....	37
Figure 1-24:Représentation des murs électriques et magnétiques dans le modèle de la cavité d'une antenne patch de forme rectangulaire	38
Figure 2-1 : Spoutnik1 Russe (1957).....	42
Figure 2-2:Telstar1-USA (1962).	42
Figure 2-3:Les principaux orbites terrestres.	43
Figure 2-4: Composantes d'un système de télécommunications par satellite.	45
Figure 2-5: Composantes d'un système de télécommunications par satellite.	46
Figure 2-6 Schéma fonctionnel général d'un satellite de communication.....	47
Figure 2-7:Transpondeur à conversion unique.	49
Figure 2-8:Transpondeur à double conversion	49
Figure 2-9:Transpondeur régénératif.....	49
Figure 2-10: Carte des régions et zones d'attribution des fréquences dans le Règlement des radiocommunications (RR) de l'UIT [UIT-16].....	51
Figure 2-11: Communication par satellite bidirectionnelle point à point.....	53
Figure 2-12: Communication par satellite unidirectionnelle à plusieurs points.	53
Figure 2-13: Communication par satellite bidirectionnelle point à plusieurs points.....	54
Figure 2-14: Configuration des satellites radar.	55
Figure 2-15: Configuration des satellites de télédétection passive.	55
Figure 3-1: Géométrie de l'antenne initiale.....	59

Figure 3-2:(a) : Coefficient de réflexion. (b) : Taux d'onde stationnaire. (c) : Gain de l'antenne.	61
Figure 3-3:. (a) : Diagramme de rayonnement en 2D, plan H. (b) : Diagramme de rayonnement en 2D, plan E. (c) : Diagramme de rayonnement en 3D.	62
Figure 3-4:Géométrie antenne triangulaire.	63
Figure 3-5:Variation de S11 en (dB) en fonction de la fréquence.....	64
Figure 3-6: VSWR en fonction de la fréquence.	64
Figure 3-7:Diagramme de rayonnement en présentation polaire $\phi = 0$	65
Figure 3-8:Diagramme de rayonnement en présentation polaire $\phi = 90$	65
Figure 3-9:: Diagramme de rayonnement (gain IEEE) de l'antenne patch.....	65
Figure 3-10: Diagramme de rayonnement (directivité) de l'antenne patch.	66
Figure 3-11: Impédance d'entrée de l'antenne (partie réelle).....	66
Figure 3-12: Impédance d'entrée de l'antenne (partie imaginaire).....	66
Figure 3-13 : Rapport axial de l'antenne élémentaire.....	67
Figure 3-14:Réseau linéaire avec une alimentation parallèle	69
Figure 3-15: Réseau linéaire avec une alimentation en série.	69
Figure 3-16: Schéma d'un diviseur de puissance [34].	70
Figure 3-17: Exemples sur la jonction T [34].	70
Figure 3-18:Structure de jonction T d'alimentation.	71
Figure 3-19 : Structure de jonction de la division reliée avec 2 éléments.	72
Figure 3-20: (a) : Coefficient de réflexion. (b) : Taux d'onde stationnaire. (c) : Gain de l'antenne.	73
Figure 3-21 : Diagramme de rayonnement (directivité) de réseau d'antenne à 2 éléments.	73
Figure 3-22: Rapport axial de réseau d'antenne a 2 elements.	74
Figure 3-23 : Réseau d'antenne à 4 éléments proposé.....	75
Figure 3-24 : S11(dB) en fonction de la fréquence.....	76
Figure 3-25 : Le résultat de l'impédance d'entrée de réseau.	76
Figure 3-26 : VSWR en fonction de la fréquence.	77
Figure 3-27: Diagramme de rayonnement (directivité) de réseau d'antenne.	77
Figure 3-28 : Diagramme de rayonnement (Gain) de réseau d'antenne.	78
Figure 3-29:Diagramme de rayonnement en présentation polaire $\phi = 90$	78
Figure 3-30 : Diagramme de rayonnement polaire de réseau l'antenne sur le plan E.	78
Figure 3-31: Rapport axial de réseau d'antenne.	79
Figure 3-32: Le réseau d'antenne à 8 éléments proposé.....	82
Figure 3-33: S ₁₁ (dB) en fonction de la fréquence.	82
Figure 3-34: Impédance d'entrée de l'antenne (a) : partie réelle et (b) : partie imaginaire.....	83
Figure 3-35: Le VSWR en fonction de la fréquence.....	84
Figure 3-36: (a) : Directivité de l'antenne. (b) : Gain de l'antenne.	85
Figure 3-37: Réseau d'antenne à 16 éléments.....	86
Figure 3-38: S11(dB) en fonction de la fréquence.....	86
Figure 3-39: Impédance d'entrée de l'antenne (a) : partie réelle et (b) : partie imaginaire.....	87
Figure 3-40: VSWR en fonction de la fréquence.	88
Figure 3-41: (a) : Directivité de l'antenne. (b) : Gain de l'antenne.	89

Liste des tableaux

Tableau 1-1:Equations de l'antenne patch rectangulaire.	30
Tableau 2-1: Les bandes de fréquences selon la norme IEEE.	50
Tableau 2-2 : Répartition de la fréquence descendante et montante par L'UIT pour la région1.....	52
Tableau 3-1:Dimensions de l'antenne patch.....	60
Tableau 3-2:Paramètres fondamentaux de l'antenne patch dans la fréquence 28GHz.	68
Tableau 3-3: Paramètres fondamentaux de réseau d'antennes à 2 éléments.	74
Tableau 3-4 : Dimensions du réseau d'antennes patch.	75
Tableau 3-5: Paramètres fondamentaux de réseau d'antennes à 4 éléments.	79
Tableau 3-6: Paramètres de comparaison.	80
Tableau 3-7:Comparaison des résultats de l'antenne.....	81
Tableau 3-8: Paramètres fondamentaux de réseau d'antennes à 8 éléments.	85
Tableau 3-9: Paramètres fondamentaux de réseau d'antennes à 16 éléments.	89
Tableau 3-10:Tableau récapitulatif.	90

Table des matières

1. Chapitre :	15
Généralités sur les Antennes.....	15
1 Introduction.....	16
2 Historique des antennes.....	16
3 Définition d'une antenne.....	16
4 Types d'antennes.....	17
4.1 Antennes filaires.....	17
4.2 Antenne à ouverture	17
4.3 Antennes réflectrices.....	18
4.4 Antenne réseaux.....	19
4.5 Antenne à lentille	20
4.6 antenne imprimée	21
5. Caractéristiques des antennes	21
5.1 Largeur de bande.....	21
5.2 Diagramme de rayonnement	22
5.3 Directivité et Gain.....	23
5.4 Efficacité	24
4.5 polarisations	25
4.6 Impédance d'entrée	27
4.7 Adaptation d'impédance et VSWR	28
5. Antennes imprimées	29
5.1 Structure d'une antenne imprimée.....	29
5.2 Domaines d'applications	31
5.3 Avantages et inconvénients	31
5.4 Techniques d'alimentation des antennes imprimées	32
5.5 Technique d'adaptation	34
6. Méthodes d'analyse	36
6.1 Méthodes analytiques.....	36
6.2 Méthodes numériques	38
7. Conclusion	39
2. Chapitre :	40

SYSTEMES DE COMMUNICATION PAR SATELLITES	40
1.Introduction.....	41
2. Historique des satellites	41
3. Définition d'un satellite	42
4. Composition d'un satellite	43
5. Orbites	43
5.1 Orbite GEO.....	44
5.2 Orbite LEO	44
5.3 Orbite MEO.....	45
5.4 Orbite HEO.....	45
6. Architecture d'un système de communications par satellite.....	45
6.1 Segment spatial	46
6.2 Segment terrestre	46
6.3 Fonctionnement d'un système satellitaire.....	46
6.4 Sous-systèmes de satellite	47
7. Bandes de fréquence.....	50
8.1 Services fixes par satellite	52
8.2 Services de diffusion par satellite.....	53
8.3 Services de radio audio numérique.....	53
8.4 Services haut débit directs à domicile.....	54
8.5 Services de communications mobiles	54
9.Satellites radar.....	54
10. Satellites de navigation	55
11. Satellites de télédétection.....	55
12. Conclusion	56
3. Chapitre :.....	57
Conception antenne imprimée pour application spatiale	57
1.Introduction.....	58
2. Description du logiciel	58
3.Conception et simulation du réseau d'antennes pour la bande des 28 GHz.....	58
3.1. Conception d'une antenne rectangulaire résonante à 28 GHz.....	59
3.2. Conception d'une antenne résonante à 28 GHz avec une nouvelle structure.....	62
4. Mise en place de réseaux d'antennes pour la bande des 28 GHz à partir de l'élément précédemment conçu	68

4.1. Techniques d'alimentation d'un réseau d'antennes imprimées.....	68
5. Diviseur de puissances.....	69
5.1 Définition d'un diviseur de puissance	69
6 Réseau d'antenne à 2 éléments	71
6.1 Structure de réseau d'antenne proposée	71
6.2 Résultats et discussions.....	72
7. Réseau d'antenne à 4 éléments	74
7.1 Structure de réseau d'antenne proposée	74
7.2 Résultats et discussions.....	75
8. Comparaison des résultats	80
9. Réseau d'antenne à 8 éléments	82
9.1 Structure de réseau d'antenne proposée	82
9.2 Résultats et discussions.....	82
10. Réseau d'antenne à 16 éléments	85
10.1 Structure de réseau d'antenne proposée	85
10.2 Résultats et discussions.....	86
Conclusion générale	92
References Bibliographiques.....	95

Liste des abréviations

ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line

BDP: Bagley Power Divider

BSS: Broadcasting-satellite service

CST: Computer Simulation Technology

DARS: Digital audio radio service

DTH: Direct-to-home

FSS: Fixed-satellite service

FDTD: Finite Difference Time Domain

GEO: (Geostationary Earth Orbit)

GPD: Gysel Power Divider

GPS: Global Positioning System

HEO: (High Earth Orbit)

IEEE : Institut des ingénieurs électriciens et électroniciens

LEO: (Low Earth Orbital)

MMIC: Monolithic Microwave Integrated Circuit

MEF : méthode des éléments finis

MEO : (Medium Earth Orbital)

MoM: Method of Moments.

MSA: Microstrip antenna

MWS: Microwave Studio

VSWR: Voltage Standing Wave Ratio

RFID : radio frequency identification

RR : Règlement des Radiocommunications

TV : Télévision

UIT : Union internationale des télécommunications

VSAT: Very Small Aperture Terminal

WPD: Wilkinson Power Divider

Introduction Générale

A l'aube de l'humanité, les humains ont senti le besoin de communiquer. La communication a pris diverses formes susceptibles de produire, d'échanger des biens et des services permettant la création d'un tissu relationnel économique, culturel et social qui s'est progressivement développé jusqu'à arriver à une société d'information moderne ou tout repose sur les réseaux de télécommunication. Ces derniers ont permis l'apparition des médias (radio, téléphone, télévision) mais le besoin de l'homme d'aller vers de nouveaux services réduisant sensiblement les distances entre les quatre coins de la planète a donné naissance à de nouveaux moyens tels que les satellites de télécommunications.

L'avènement des satellites avec leurs fonctionnalités nombreuses et modernes ont facilité la diffusion de canaux de télévision, et donné des réponses aux attentes des entreprises comme aux particuliers leur permettant de transmettre davantage de types de données outre de compléter les réseaux terrestres par des réseaux satellitaires. Ces derniers offrent en effet des bandes passantes adaptées aux transferts rapides d'informations et une grande capacité de transmission devant désengorger les réseaux terrestres.

Entre autres avantages, les satellites sont venus fournir une multitude d'applications (télémétrie, télécommande, réception GPS) qui impliquent l'intégration de plusieurs antennes dont notamment l'antenne Patch qui constitue la nouvelle génération des antennes modernes. Ces antennes planaires multiéléments ayant fait, au cours des dernières années l'objet de plusieurs recherches notamment dans le domaine des applications à l'instar de la communication par satellite ce qui a permis la découverte de nombreux avantages de ce type d'antenne tel que sa capacité de faisceau. Sa grande fiabilité en sus de son coût réduit qui motivent, à long terme, l'entame de nouvelles recherches dans ce domaine. Les antennes microruban sont largement utilisées dans les antennes réseau en raison de leurs faibles coûts et de leur poids. Ils peuvent également être facilement imprimés sur un substrat diélectrique avec des techniques de photolithographie. La démocratisation des systèmes terrestres de réception satellite a par ailleurs entraîné la multiplication des systèmes de réception au sol qui ont nettement contribué à la pollution visuelle induite particulièrement par les antennes placées sur les toits ou dans les jardins et dans les balcons d'immeubles. Au-delà de la maîtrise des coûts, la notion de discrétion et donc d'intégration dans le paysage urbain, devient de plus en plus primordial. Au cours de ces dernières années, le critère discrétion a revêtu une importance rivalisant avec le critère coût allant dans le sens d'éviter toute nuisance publique et pour ce

faire, de nouvelles solutions antennaires à faible impact visuel ont progressivement vu le jour ces dernières années.

Ce travail, débuté en mars 2021, s'inscrit dans le cadre d'une continuité de la recherche sur les antennes miniatures. Notre objectif consiste à concevoir et simulé un petit réseau d'antennes travaillant dans la bande de fréquences ka de 28 GHz pour une application spatiale. Pour ce faire, nous nous basons sur la théorie des antennes afin de déterminer les paramètres géométriques de notre antenne proposée et nous utilisons le logiciel CST MICROWAVE STUDIO (Computer Science Technology) comme outil de simulation pour notre travail

Ce travail est composé de 3 chapitres :

Le premier chapitre présente une étude détaillée sur les antennes, en général, et l'antenne imprimée en particulier, Ainsi, le principe de fonctionnement, la conception et les caractéristiques de l'antenne sont présentées.

Le deuxième chapitre est une introduction générale sur les télécommunications par satellite. L'objectif est de présenter les principales notions relatives aux systèmes de communications par satellite. Nous présentons l'architecture du système satellitaire et son fonctionnement ainsi que les différentes bandes fréquence utilisées pour ce type de communications, ainsi que les différentes applications spatiales

Dans le troisième chapitre, les étapes à suivre pour concevoir et simuler un réseau d'antennes patch à l'aide des outils logiciels CST Microwave Studio sont fournies. Ensuite, les résultats de simulations sont illustrés avec des interprétations.

Enfin, nous clôturons ce mémoire par une conclusion générale.

1. Chapitre :

Généralités sur les

Antennes

1 Introduction

Dans les applications aéronautiques, aérospatiales et militaires qui nécessitent principalement un faible volume, un faible poids, un faible coût, des performances élevées et une mise en œuvre facile, les antennes à profil bas sont essentielles. Aujourd'hui, avec le développement rapide des télécommunications, ces contraintes se retrouvent dans les applications commerciales sans fils. Afin de répondre à ces exigences, un nouveau type d'antenne a été proposé : les antennes imprimées.

Dans ce chapitre, nous présentons, en premier lieu, la définition, historique des antennes en général ainsi que leurs types et caractéristiques fondamentaux. Ensuite nous allons nous intéresser aux antennes imprimées, leurs domaines d'utilisation, leurs avantages ainsi que leurs Inconvénients et les différentes techniques d'alimentation.

Enfin, nous terminerons ce chapitre en passant brièvement en revue les principes de certaines méthodes numériques d'analyse de ces antennes.

2 Historique des antennes

Lorsque James Clerk Maxwell, dans les années 1860, a uni l'électricité et le magnétisme en électromagnétisme, il a décrit la lumière comme un phénomène électromagnétique et il l'a prouvé. Il a prédit l'existence d'ondes électromagnétiques à des fréquences radio, c'est-à-dire à des fréquences beaucoup plus basses que la lumière. En 1886, Heinrich Rudolf Hertz donnera raison à Maxwell qui, sans s'en rendre compte lui-même, créa le tout premier système radio, consistant en d'un émetteur et d'un récepteur,

L'antenne émettrice, connectée à un éclateur au niveau des enroulements secondaires d'une bobine de conduction, était une antenne dipôle. L'antenne de réception était une antenne cadre se terminant par un deuxième éclateur. Hertz, qui a mené ses expériences à des fréquences voisines 50 MHz, a pu créer des ondes électromagnétiques et transmettre et recevoir ces ondes en utilisant des antennes.[1]

3 Définition d'une antenne

Une antenne est un dispositif permettant de transmettre ou de recevoir des ondes électromagnétiques. Une antenne convertit les courants électriques en ondes électromagnétiques (antenne émettrice) et vice versa (antenne réceptrice). La norme IEEE Définitions des termes relatifs aux antennes (IEEE Std 145–1983) * définit l'antenne comme « un moyen pour rayonner ou recevoir des ondes radio. » En d'autres termes, l'antenne est la

structure de transition entre l'espace libre et un dispositif de guidage, Le dispositif de guidage ou la ligne de transmission peut prendre la forme d'une ligne coaxiale ou d'un tuyau creux (guide d'ondes), et il est utilisé pour transporter l'énergie électromagnétique de l'émetteur. Source vers l'antenne, ou de l'antenne vers le récepteur.

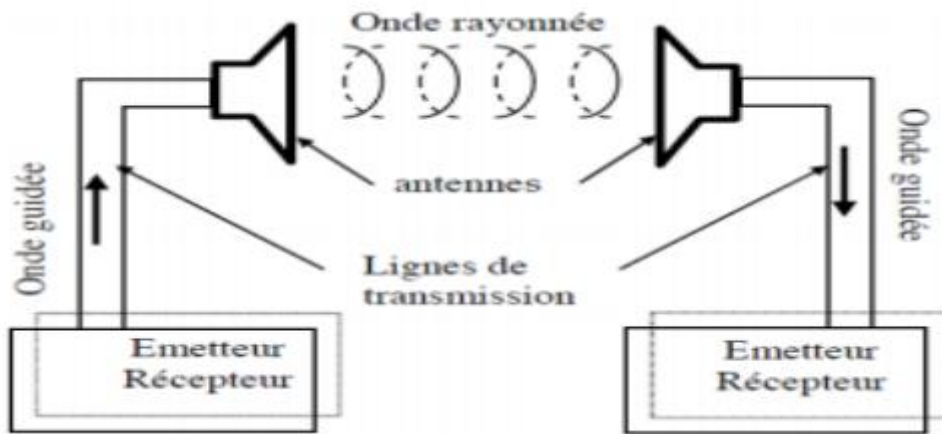


Figure 1-1 : principe d'une liaison radioélectrique.

4 Types d'antennes

Nous allons maintenant présenter et définir brièvement les différents types d'antennes.

4.1 Antennes filaires

Les antennes filaires sont les plus populaire car elles sont vues pratiquement partout - sur les automobiles, les bâtiments, les navires, les avions, les vaisseaux spatiaux, etc. Il existe différentes formes d'antennes filaires telles qu'un fil droit (dipôle), une boucle et une hélice qui sont représentées sur la figure 1-2. Les antennes en boucle ne doivent pas seulement être circulaires. Ils peuvent prendre la forme d'un rectangle, d'un carré, d'une ellipse ou de toute autre configuration. La boucle circulaire est la plus courante en raison de sa simplicité de construction.[2]

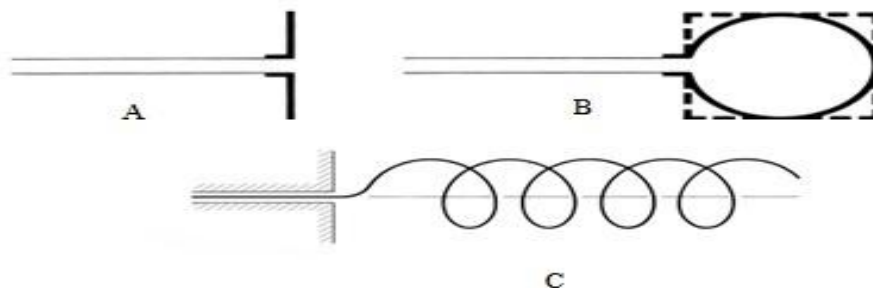


Figure 1-2: configuration d'antennes filaires (a) Dipôle (b) boucle circulaire(carré) (c)hélice

4.2 Antenne à ouverture

Les antennes à ouverture sont utilisées aux micro-ondes et aux fréquences d'ondes millimétriques. Il existe un grand nombre de catégories pour lesquelles les champs

électromagnétiques rayonnés peuvent être considérés comme émanant d'une ouverture plane. Cela comprend les antennes à réflecteur, les lentilles et les antennes cornet. La géométrie de l'ouverture peut avoir n'importe quelle forme [3]. Les antennes à ouverture sont plus populaires aujourd'hui que par le passé en raison de la demande croissante de formes d'antennes plus sophistiquées et de l'utilisation de fréquences plus élevées. Certaines formes d'antennes à ouverture sont illustrées à la figure 1- 3. Les antennes de ce type sont très utiles pour les applications aéronautiques et spatiales, car elles peuvent être très commodément encastrées sur la peau de l'aéronef ou de l'engin spatial. De plus, ils peuvent être recouverts d'un matériau diélectrique pour les protéger des conditions dangereuses de l'environnement. [1] [3]

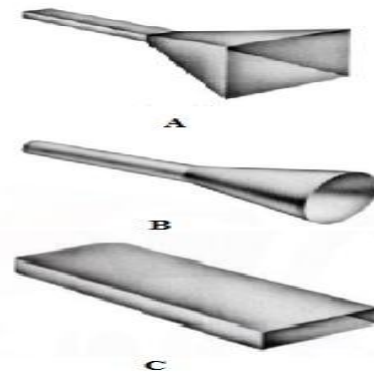


Figure 1-3 : Configuration d'antennes à ouverture

(a) Corne pyramidale b) Corne conique(c) Guide d'ondes rectangulaire

4.3 Antennes réflectrices

Le succès de l'exploration de l'espace extra-atmosphérique a conduit à l'avancement de la théorie des antennes. En raison de la nécessité de communiquer sur de grandes distances, des formes sophistiquées d'antennes ont dû être utilisées pour transmettre et recevoir des signaux qui devaient parcourir des millions de kilomètres. Les antennes réflectrices ont une variété de configurations qui ont été adaptées à différentes applications. Il existe trois configurations principales qui peuvent être symétriques ou décalées. Les géométries symétriques, illustrées à la figure 3, consistent en un seul réflecteur système, sur la figure 1- 4 (a), normalement connu sous le nom de système de mise au point principale ; le système à deux réflecteurs Cassegrain, sur la figure 1-4 (b) ; et le système à double réflecteur grégorien, sur la figure 1-4(c). La plupart de ces antennes à réflecteur traitent des applications de communication et de télédétection qui fonctionnent dans le champ lointain et nécessitent des gains et largeurs de faisceau étroites [4]. Des antennes de ce type ont été construites avec des diamètres aussi grands que 305 m [4]. De telles dimensions sont nécessaires pour obtenir le gain élevé requis pour transmettre ou recevoir des signaux après des millions de kilomètres de trajet. Une autre forme

de réflecteur, bien que moins courante que le parabolique, est le réflecteur d'angle, représenté sur la figure 1-4 (d).[4]

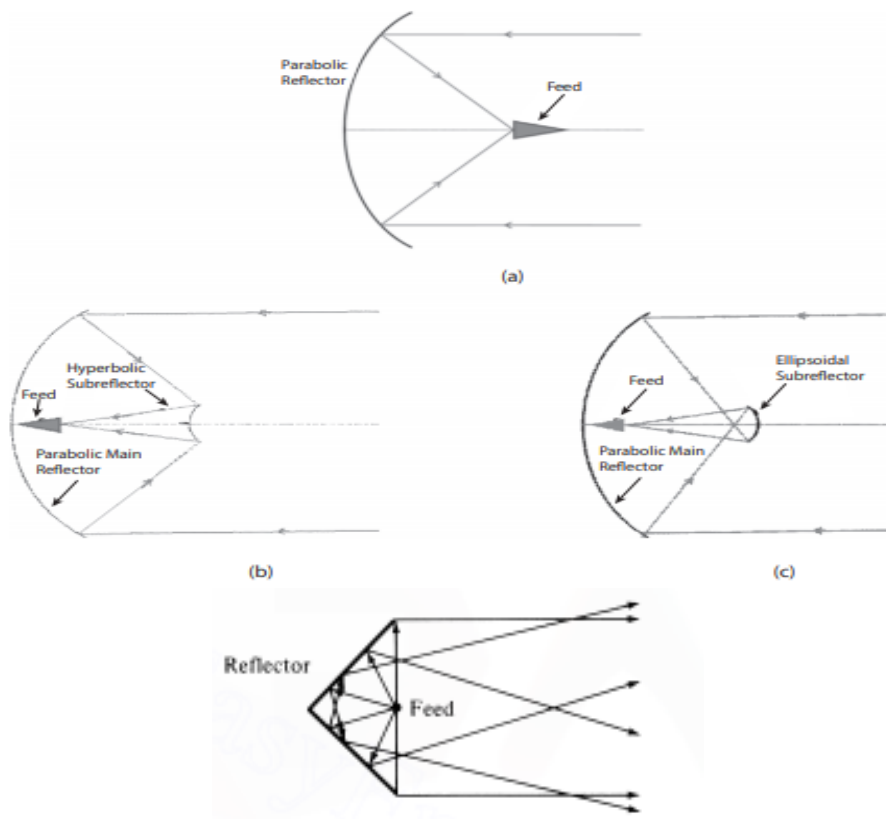


Figure 1-4: Réflecteur d'angle

4.4 Antenne réseaux

De nombreuses applications nécessitent des caractéristiques de rayonnement qui peuvent ne pas être réalisables par un seul élément (antenne individuelle). Il peut cependant être possible qu'un ensemble d'éléments rayonnants dans un agencement électrique et géométrique (un réseau) donne les caractéristiques de rayonnement souhaitées.

Les ondes électromagnétiques émises par chaque élément individuel se combinent et se superposent, s'additionnant pour donner un rayonnement maximum dans une direction ou des

directions particulières, et annulant pour réduire la puissance rayonnée dans d'autres directions, ou autrement comme souhaité. De même, lorsqu'ils sont utilisés pour la réception, les courants radiofréquences séparées des antennes individuelles se combinent dans le récepteur avec la relation de phase correcte pour améliorer les signaux reçus des directions souhaitées et annuler les signaux des directions indésirables [2].

Habituellement, le terme réseau est réservé à une disposition dans laquelle les éléments individuels sont séparés comme le montrent les figures 1-5 (a – c). Cependant, le même terme est également utilisé pour décrire un ensemble d'éléments montés sur une structure continue, illustré sur la figure 1-5 (d) [2].

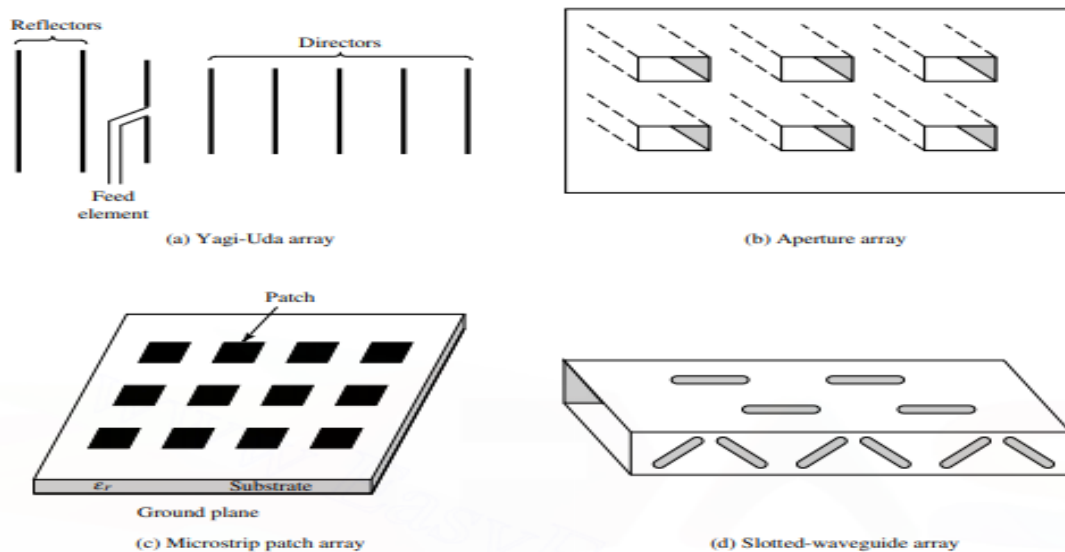


Figure 1-5: Configurations typiques de réseau d'antenne filaire, d'ouvertures et de microrubans.

4.5 Antenne à lentille

Les lentilles sont principalement utilisées pour collimater l'énergie divergente incidente afin de l'empêcher de se répandre dans des directions indésirables. En façonnant correctement la configuration géométrique et en choisissant le matériau approprié des lentilles, elles peuvent transformer diverses formes d'énergie divergente en ondes planes. Ils peuvent être utilisés dans la plupart des mêmes applications que les réflecteurs paraboliques, en particulier à des fréquences plus élevées. Leurs dimensions et leur poids deviennent extrêmement importants à des fréquences plus basses. Les antennes à lentilles sont classées selon le matériau dans lequel elles sont construites ou selon leur forme géométrique. Certaines formes sont présentées dans la figure 1-6 [5].

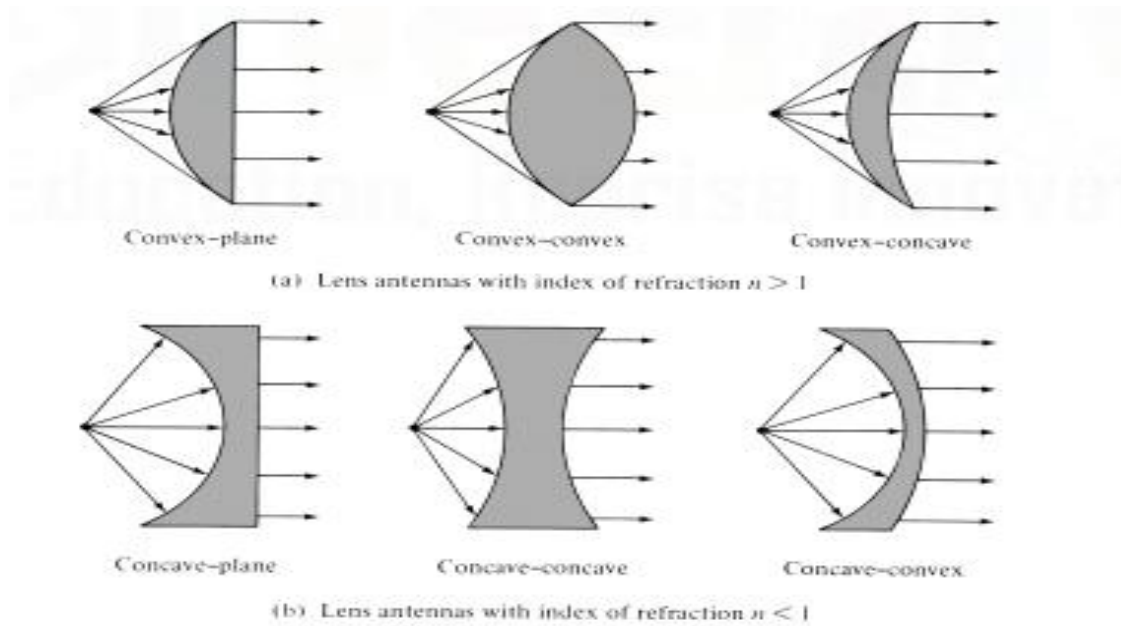


Figure 1-6: Configurations typiques d'antenne à lentille

4.6 antenne imprimée

Les antennes imprimées sont devenues très populaires dans les années 1970, principalement pour les applications spatiales. Aujourd'hui, ils sont utilisés dans beaucoup d'applications gouvernementales et commerciales. Ces antennes sont vues plus en détail dans la suite de ce chapitre.

5. Caractéristiques des antennes

5.1 Largeur de bande

La largeur de bande, également appelée bande passante, d'une antenne définit le domaine de fréquences dans lequel le rayonnement de l'antenne présente les caractéristiques requises. Il s'agit la plupart du temps de la puissance transmise par l'antenne, mais on peut définir d'autres caractéristiques exigées pour le fonctionnement d'une antenne telle que la (polarisation, Impédance d'entrée, angle d'ouverture, diagramme de rayonnement, niveau du lobe mineur, gain, direction du faisceau)

La valeur des limites du critère de performance pour laquelle l'antenne définissant le domaine fréquentiel est comprise entre la valeur minimale f_{\min} et la valeur maximale f_{\max} au niveau des -10dB [5].

La bande de fréquence Δf est définie par la différence entre ces deux fréquences :

$$\Delta f = f_{\max} - f_{\min} \quad \text{Équation [1]}$$

La largeur relative de bande B_r est un pourcentage exprimant le rapport de la bande à la fréquence centrale f_0 .

$$B_r = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{f_0} \quad \text{Équation [2]}$$

La largeur de bande est également définie par l'entre les deux fréquences extrêmes :

$$B_f = \frac{f_{\max}}{f_{\min}} \quad \text{Équation [3]}$$

Où :

f_{\max} : La fréquence maximale.

f_{\min} : La fréquence minimale.

f_0 : La fréquence centrale.

5.2 Diagramme de rayonnement

Un diagramme de rayonnement d'antenne ou diagramme d'antenne est défini comme une fonction mathématique ou une représentation graphique des propriétés de rayonnement de l'antenne en fonction des coordonnées spatiales. Dans la plupart des cas, le motif de rayonnement est déterminé dans la région du champ lointain et est représenté en fonction des coordonnées directionnelles. Les propriétés de rayonnement comprennent la densité de flux de puissance, l'intensité du rayonnement, l'intensité du champ, la directivité, la phase ou la polarisation. La propriété de rayonnement la plus préoccupante est la distribution spatiale en deux ou trois dimensions de l'énergie rayonnée en fonction de la position de l'observateur le long d'un trajet ou d'une surface de rayon constant. Un ensemble pratique de coordonnées est illustré à la figure 1- 6. Une trace du champ électrique (magnétique) reçu à un rayon constant est appelée modèle de champ d'amplitude. D'autre part, un graphique de la variation spatiale de la densité de puissance le long d'un rayon constant est appelé un modèle de puissance d'amplitude [2].

Souvent, les modèles de champ et de puissance sont normalisés par rapport à leur valeur maximale, ce qui donne des modèles de champ et de puissance normalisés. En outre, le modèle de puissance est généralement tracé sur une échelle logarithmique ou plus communément en décibels (dB). Cette échelle est généralement souhaitable car une échelle logarithmique peut accentuer en plus de détails les parties du motif qui ont des valeurs très faibles, que nous appellerons plus tard lobes mineurs.

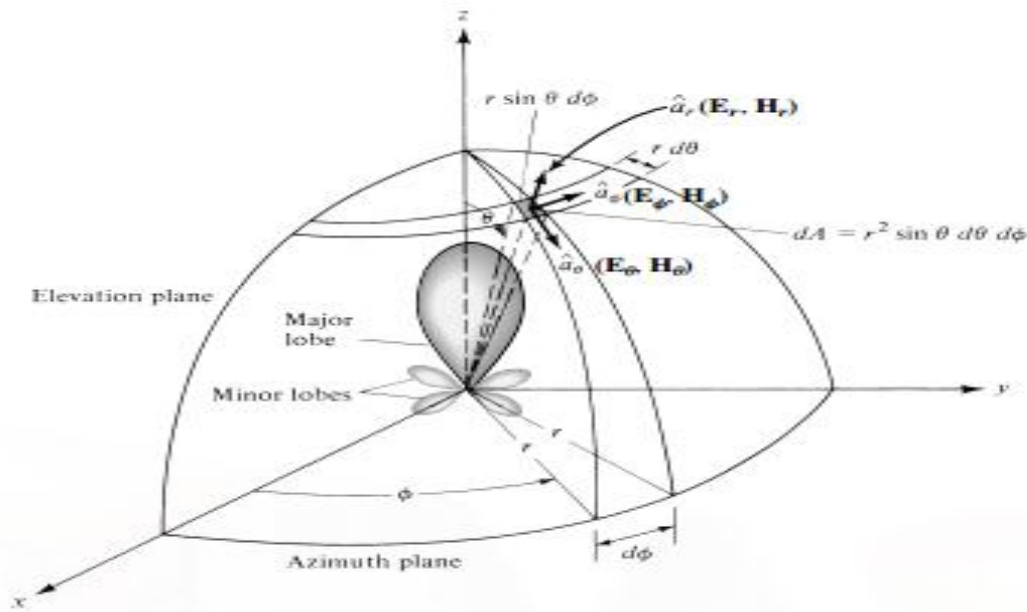


Figure 1-7: Système de coordonnées pour l'analyse d'antenne.

Il existe trois types de rayonnement couramment utilisés pour les caractéristiques de rayonnement d'antenne :

1. **L'antenne isotrope** : un rayonnement isotrope est défini comme une antenne hypothétique sans perte ayant un rayonnement égal dans toutes les directions. Bien qu'il soit idéal et non réalisable physiquement, il est souvent considéré comme une référence pour exprimer les propriétés directives des antennes réelles.

2. **L'antenne directionnelle** : Une antenne directionnelle est une antenne ayant la propriété de rayonner ou de recevoir des ondes électromagnétiques plus efficacement dans certaines directions que dans d'autres. Ce terme est généralement appliqué à une antenne dont la directivité maximale est nettement supérieure à celle d'un dipôle demi-onde.

3. **L'antenne omnidirectionnelle** : il est défini comme « ayant un motif essentiellement non directionnel dans un plan donné et un motif directionnel dans n'importe quel plan orthogonal ». Un motif omnidirectionnel est alors un type spécial de motif directionnel.

5.3 Directivité et Gain

- Directivité :

La directivité est un paramètre d'antenne fondamental. C'est une mesure de la façon dont le diagramme de rayonnement d'une antenne est « directionnel ». Une antenne qui rayonne également dans toutes les directions aurait effectivement une directivité nulle, et la directivité de ce type d'antenne serait de 1 (ou 0 dB) [6] [7] [8].

Le diagramme de rayonnement normalisé d'une antenne peut être écrit comme une fonction en coordonnées sphériques :

$$F(\theta, \varphi) \quad \text{Équation [4]}$$

Un diagramme de rayonnement normalisé est identique à un diagramme de rayonnement ; il est simplement mis à l'échelle de telle sorte que le pic (valeur maximale) de l'amplitude du diagramme de rayonnement (F dans l'équation [1]) soit égal à 1. Mathématiquement, la formule de directivité (D) s'écrit :

$$D = \frac{1}{\frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^\pi |F(\theta, \varphi)|^2 \sin \theta d\theta d\varphi} \quad \text{Équation [5]}$$

Cette équation de directivité peut sembler compliquée, mais le numérateur est la valeur maximale de F , et le dénominateur représente simplement la « puissance moyenne rayonnée dans toutes les directions ». Cette équation n'est alors qu'une mesure de la valeur de crête de la puissance rayonnée divisée par la moyenne, ce qui donne la directivité de l'antenne.

- **Gain :**

Le gain d'antenne est plus couramment cité que la directivité dans la fiche technique d'une antenne car il prend en compte les pertes réelles qui se produisent. Le terme gain d'antenne décrit la quantité de puissance transmise dans la direction du rayonnement de crête vers celle d'une source isotrope.

Une antenne émettrice avec un gain de 3 dB signifie que la puissance reçue loin de l'antenne sera 3 dB plus élevée (deux fois plus) que ce qui serait reçu d'une antenne isotrope sans perte avec la même puissance d'entrée. Notez qu'une antenne sans perte serait une antenne avec une efficacité d'antenne de 0 dB (ou 100%). De même, une antenne de réception avec un gain de 3 dB dans une direction particulière recevrait 3 dB de puissance de plus qu'une antenne isotrope sans perte.

Le gain d'antenne est parfois discuté en fonction de l'angle. Dans ce cas, nous traçons essentiellement le diagramme de rayonnement, où les unités (ou l'amplitude du diagramme) sont mesurées en gain d'antenne. Cependant, le plus souvent un seul nombre est cité, le gain est le « gain de crête » dans toutes les directions. Le gain d'antenne (G) peut être lié à la directivité (D) et à l'efficacité (ϵ_R) de l'antenne par :

$$G = \epsilon_R D \quad \text{Équation [6]}$$

5.4 Efficacité

L'efficacité d'une antenne est un rapport de la puissance délivrée à l'antenne par rapport à la puissance rayonnée par l'antenne. Une antenne à haut rendement a la majeure partie de la puissance présente à l'entrée de l'antenne rayonnée. Une antenne à faible rendement a la plupart de la puissance absorbée sous forme de pertes à l'intérieur de l'antenne, ou réfléchi en raison d'une discordance d'impédance.

L'efficacité est la même que nous utilisons soit pour une antenne d'émission ou de réception. Par conséquent, nous pourrions définir l'efficacité de l'antenne comme le rapport de la « puissance potentielle reçue de tous les angles possibles », mais c'est plus compliqué. N'oublions pas que l'efficacité des antennes d'émission et de réception est la même, et comme il est plus facile de comprendre l'efficacité en termes de puissance rayonnée par rapport à la puissance fournie, nous utilisons simplement cette définition. Cette propriété des antennes est connue sous le nom de réciprocité d'antenne [6][7][8].

L'efficacité de l'antenne (ou efficacité de rayonnement) s'écrit comme le rapport de la puissance rayonnée à la puissance d'entrée de l'antenne :

$$\epsilon_R = \frac{P_{rayonnée}}{P_{entrée}} \quad \text{Équation [7]}$$

Le rapport du gain de l'antenne sur la directivité pour une direction donnée donne également l'efficacité dans cette direction, L'efficacité est déduite alors par la relation :

$$\epsilon_R = \frac{G}{D} \quad \text{Équation [8]}$$

4.5 polarisations

La polarisation d'une antenne dans une direction donnée est définie comme « la polarisation de l'onde émise (rayonnée) par l'antenne ». En pratique, la polarisation de l'énergie rayonnée varie avec la direction à partir du centre de l'antenne, de sorte que différentes parties du diagramme peuvent avoir des polarisations différentes.

La polarisation d'une onde rayonnée est définie comme « cette propriété d'une onde électromagnétique décrivant la direction variant dans le temps et l'amplitude relative du vecteur champ électrique ; plus précisément, la figure tracée en fonction du temps par l'extrémité du vecteur à un emplacement fixe dans l'espace, et le sens dans lequel il est tracé, tel qu'observé le long de la direction de propagation. » Polarisation, c'est la courbe tracée par la fin point de la flèche (vecteur) représentant le champ électrique instantané. Le champ doit être observé dans la direction de propagation [2].

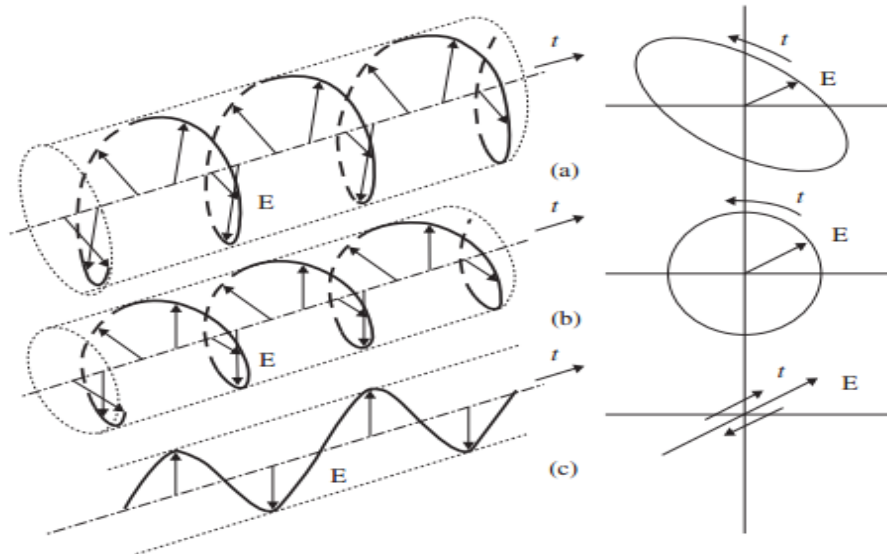


Figure 1-8:(a) Polarisation elliptique. (b) Polarisation circulaire. (c) polarisation Linéaire (17).

En d'autres termes La polarisation d'une antenne est identique à la direction du champ électrique. On parle de polarisation verticale si le plan E est perpendiculaire au sol, et d'une polarisation horizontale s'il est parallèle au sol, Une antenne polarisée horizontalement ne communiquera pas avec une antenne polarisée verticalement. En raison du théorème de réciprocité, les antennes émettent et reçoivent exactement de la même manière. Par conséquent, une antenne polarisée verticalement émet et reçoit des champs polarisés verticalement. Donc, si une antenne polarisée horizontalement tente de communiquer avec une antenne polarisée verticalement, il n'y aura pas de réception [2].

Il existe trois types de polarisation d'antenne et ils sont les suivants [5] :

➤ **Polarisation linéaire**

Une onde harmonique temporelle est polarisée linéairement en un point donné de l'espace si le vecteur champ électrique (ou champ magnétique) en ce point est toujours orienté le long de la même ligne droite à chaque instant. Ceci est accompli si le vecteur champ (électrique ou magnétique) possède :

- a. Un seul composant, où
- b. Deux composantes linéaires orthogonales qui sont en phase temporelle ou déphasées à 180° (ou multiples de 180°).

➤ **Polarisation circulaire**

Une onde harmonique temporelle est polarisée de manière circulaire en un point donné de l'espace si le vecteur de champ électrique (ou magnétique) en ce point trace un cercle en fonction du temps.

Les conditions nécessaires et suffisantes pour y parvenir sont si le vecteur champ (électrique ou magnétique) possède toutes les caractéristiques suivantes :

- a. Le champ doit avoir deux composantes linéaires orthogonales,
- b. Les deux composantes doivent avoir la même grandeur,
- c. Les deux composantes doivent avoir une différence de phase temporelle de multiples impairs de 90° .

➤ **Polarisation elliptique**

Une onde harmonique temporelle est polarisée elliptiquement si l'extrémité de vecteur de champ (électrique ou magnétique) trace une ellipse dans l'espace. A divers instants de temps, le vecteur champ change continuellement avec le temps de manière à décrire une ellipse.

Une onde est polarisée elliptiquement si elle n'est pas polarisée linéairement ou circulairement. Bien que les polarisations linéaires et circulaires soient des cas particuliers d'elliptique, la polarisation elliptique se réfère généralement en pratique à une polarisation autre que linéaire ou circulaire ; les conditions pour y parvenir sont si le vecteur champ (électrique ou magnétique) possède tous les éléments suivants :

- a. Le champ doit avoir deux composantes linéaires orthogonales, et
- b. Les deux composantes peuvent être de taille identique ou différente.
- c. Si les deux composantes ne sont pas de la même grandeur, le déphasage entre les deux composantes ne doit pas être de 0° ou de multiples de 180° (car elle sera alors linéaire). Et Si les deux composantes sont de même grandeur, la différence de phase entre les deux composantes ne doit pas être des multiples impairs de 90° (car il sera alors circulaire)

4.6 Impédance d'entrée

L'un des paramètres les plus importants d'une antenne est son impédance d'entrée :

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in} \quad \text{Équation [9]}$$

Il s'agit de l'impédance présente au point d'alimentation de l'antenne. Sa partie réelle R_{in} peut être divisée en résistance de rayonnement R_R et résistance à la perte R_L

$$R_{in} = R_R + R_L \quad \text{Équation [10]}$$

Il faut cependant noter que la résistance de rayonnement, étant le quotient de la puissance rayonnée et le carré de la valeur moyenne quadratique du courant d'antenne, est spatialement dépendante. Ceci s'applique également au courant d'antenne lui-même. Par conséquent, lors de la spécification de la résistance au rayonnement, son emplacement sur l'antenne doit être indiqué.

Très souvent, le point d'alimentation de l'antenne est spécifié, ainsi que souvent le courant maximal. Les deux points coïncident pour certains, mais en aucun cas pour tous les types d'antennes.

La partie imaginaire X_{in} de l'impédance d'entrée disparaît si l'antenne fonctionne à la résonance. Les antennes linéaires électriquement très courtes ont des valeurs d'impédance capacitive ($X_{in} < 0$), tandis que les antennes linéaires électriquement trop longues peuvent être reconnues par leur partie imaginaire inductive ($X_{in} > 0$) [1].

4.7 Adaptation d'impédance et VSWR

Si l'impédance d'une antenne n'est pas égale à l'impédance du câble et / ou à l'impédance de l'émetteur, une certaine discontinuité se produit. L'effet de cette discontinuité est mieux décrit pour le cas de transmission, où une partie de la puissance est réfléchiée et par conséquent n'atteint pas l'antenne (voir Figure 1-9.)

Cependant, la même chose se produira avec la puissance reçue de l'antenne qui n'atteint pas complètement le récepteur en raison d'une discordance causée par la même discontinuité.[9]

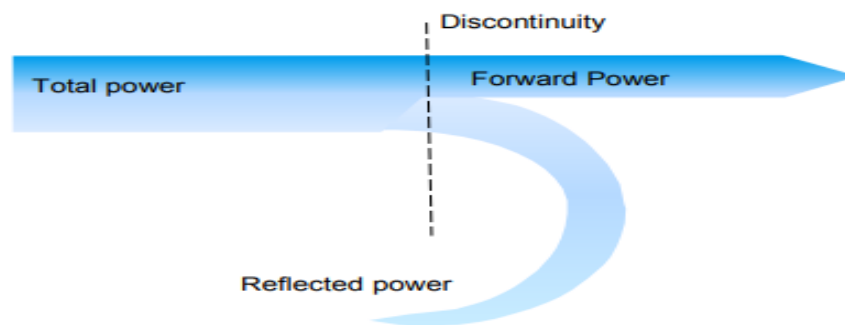


Figure 1-9: Puissance directe et réfléchiée due à une discordance

La quantité de puissance réfléchiée peut être calculée sur la base du schéma de circuit équivalent d'une antenne d'émission (voir Figure 1-10).

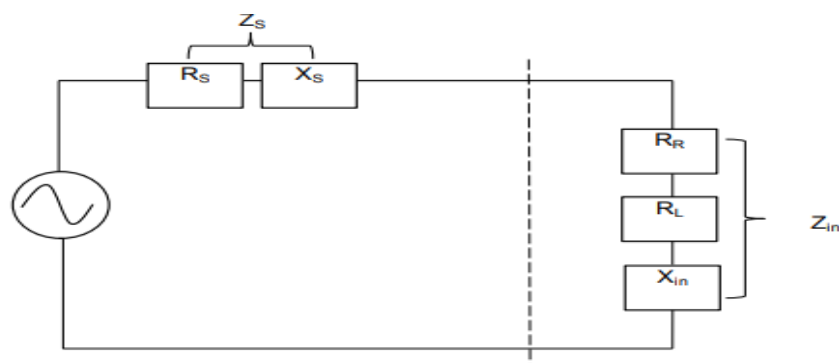


Figure 1-10: schéma de circuit équivalent d'une antenne d'émission

Pour des performances optimales, l'impédance de l'émetteur (Z_S) doit être adaptée à l'impédance d'entrée d'antenne Z_{in} . Selon le théorème de transfert de puissance maximale, la puissance maximale ne peut être transférée que si l'impédance de l'émetteur est un conjugué

complexe de l'impédance de l'antenne et vice versa [9]. Ainsi, la condition suivante pour l'appariement s'applique :

$$Z_{in} = ZS \quad \text{Équation [11]}$$

$$\text{Où } Z_{in} = R_{in} + jX_{in} \quad \text{Équation [12]}$$

$$\text{Et } ZS = RS + jXS \quad \text{Équation [13]}$$

Si cette condition n'est pas satisfaite, et une partie de la puissance est réfléchie, cela conduit à la création d'ondes stationnaires, qui peut être caractérisé par un paramètre appelé le rapport d'ondes stationnaires de tension (Voltage Standing Wave Ratio : VSWR). Le VSWR est donné par Makarov [8] par :

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad \text{Équation [14]}$$

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_i} = \frac{Z_{in}-Z_s}{Z_{in}+Z_s} \quad \text{Équation [15]}$$

Où ; Γ : est appelé le coefficient de réflexion.

V_r : est l'amplitude d'onde réfléchie.

V_i : est l'amplitude d'onde incidente.

Le rapport d'onde stationnaire de tension (VSWR) est essentiellement une mesure de la différence d'impédance entre l'émetteur et l'antenne [10]. Plus le VSWR est élevé, plus la différence d'impédance est grande.

5. Antennes imprimées

Aujourd'hui les antennes patch ou micro ruban sont la classe d'antennes la plus largement utilisée. Ils sont importants dans de nombreuses applications commerciales telles que la radio mobile et les communications sans fil aussi dans les applications aéronautiques, aérospatiales, et de missiles hautes performances, où la taille, le poids, le coût, les performances, la facilité d'installation et le profil aérodynamique sont des contraintes. Ces antennes sont à profil bas et adaptables à des surfaces planes et non planes allant des formes d'avions et de fusées aux corps humains.

5.1 Structure d'une antenne imprimée

La structure de base de l'antenne imprimée est constituée d'un fin conducteur métallique de forme arbitraire, appelé élément rayonnant, déposer sur un substrat diélectrique dont la face inférieure est métallisée pour former un plan de masse.

La figure suivante montre la structure d'une antenne imprimée. En pratique, les formes couramment utilisées d'éléments rayonnants sont les carrés, les rectangles, les disques et les anneaux. Mais d'autres géométries plus complexes peuvent être rencontrés [11].

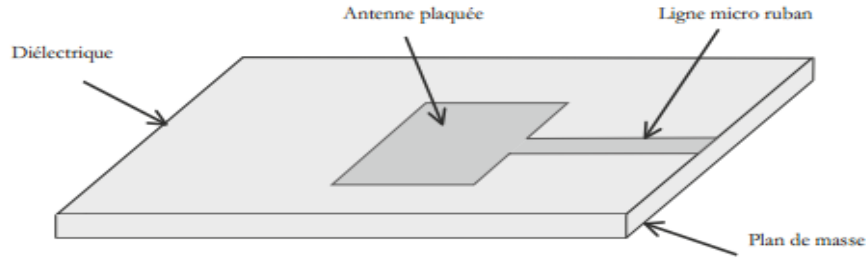


Figure 1-11: Structure de base d'une antenne imprimée.

Sur le tableau 1, on donne les équations de l'antenne patch rectangulaire.[21] [2]

Paramètres de l'antenne patch rectangulaire		Equations
La largeur		$w = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}}$
Fréquence de résonance		$f_r = \frac{c}{2L_{eff} \sqrt{\epsilon_{eff}}}$
Constant diélectrique (ϵ_{reff})		Pour $w/h > 1$: $\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{-\frac{1}{2}}$
La longueur		$L = L_{eff} - 2\Delta L$
L'extension de la longueur (ΔL)		$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{w}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{w}{h} + 0.8 \right)}$
Substrat et plan de masse	La longueur	$L_{gs} = L_{1s} + 2a + 6 \times h$
	La largeur	$w_{gs} = 2a + 6 \times 4$
La longueur de la ligne d'alimentation	Simple	$L_{1s} = \frac{\lambda}{2} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}}$
	Quart d'onde	$L_1 = \frac{\lambda}{4} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}}$
L'impédance caractéristique de la ligne microruban		$Z_c = \frac{Z_0}{2\pi\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left(\frac{8h}{w} + \frac{w}{4h} \right) \quad w/h \leq 1$ $Z_c = \frac{Z_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} (w/h + 1.393 + 0.667 \ln(w/h + 1.444))^{-1} \quad w/h \geq 1$

Tableau 1-1: Equations de l'antenne patch rectangulaire.

Avec :

L_{eff} : Longueur effective du patch.

L : longueur du patch.

$\varepsilon_{r\text{ eff}}$: Permittivité effective.

ε_r : Permittivité relative.

h : épaisseur du substrat.

W : largeur du patch, pour une bonne efficacité de rayonnement.

$Z_0 \cong 120\pi \Omega$ est l'impédance caractéristique du vide.

5.2 Domaines d'applications

Les domaines d'applications des antennes imprimées sont de plus en plus diversifiés, les principales applications sont :

- Les radars
- La téléphonie mobile
- Les télécommunications spatiales
- La télémétrie des missiles et la télésurveillance
- Paiement sans contact
- Technologie d'identification RFID

5.3 Avantages et inconvénients

Les antennes imprimées présentent de nombreux avantages comparés aux antennes classiques (cornet, dipôle filaire...) ; Certains avantages sont les suivants :

- Faible poids
- Facile à intégrer avec les circuits MMICs (Un circuit intégré monolithique hyperfréquence) sur un même substrat.
- Souple en termes de fréquence de résonance
- Polarisation linéaire et circulaire pour les télécommunications.
- Facile à Fabriquer
- Conforme sur les surfaces planaires et non-planaires (avec les substrats minces).

Possibilité d'être intégrées dans des appareils électroniques transportables :

- Téléphones mobiles
- Ordinateurs personnels (PC)
- Assistants personnels (PDA)
- Récepteurs portables GPS
- Transpondeurs RFID,
- Appareils photos numériques

Elles présentent cependant aussi quelques inconvénients tels que :

- Faible efficacité de rayonnement.
- Possibilité de fonctionnement en faible puissance.
- Faible pureté de polarisation.
- Effet de couplage du rayonnement de l'alimentation.
- Largeur de bande de fréquence très étroite.
- Le gain légèrement inférieur comparé aux antennes conventionnelles à micro-ondes.

5.4 Techniques d'alimentation des antennes imprimées

Un point important lors de la conception des antennes patch est leur alimentation. Elle détermine les modes excités ainsi que l'adaptation.

L'excitation des éléments rayonnants se fait soit par couplage soit par contact direct. Plusieurs techniques d'alimentation existent. On trouve ci-dessous quelques-unes des différentes alimentations utilisées.

5.4.1 Alimentation par ligne microruban

Il s'agit d'une technique d'alimentation, dans laquelle le patch microruban est directement connecté à la ligne d'alimentation microruban conductrice. Les dimensions de la ligne d'alimentation sont différentes de celles du patch microruban. Il est facile à fabriquer et à assortir. L'alimentation de ligne microruban est celle illustrée à la figure 1-12.

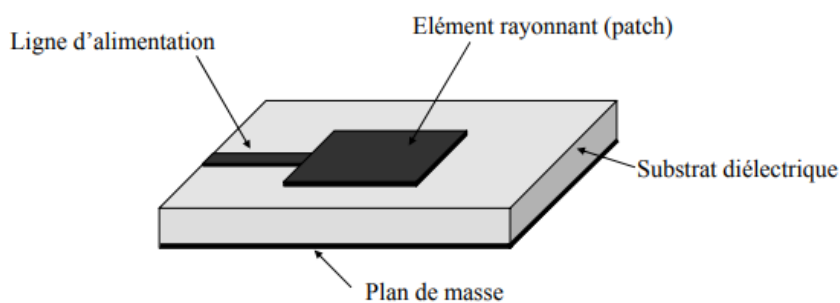


Figure 1-12: Antenne imprimée alimentée par ligne microruban

5.4.2 Alimentation par une sonde coaxiale

Dans ce procédé d'alimentation, le conducteur interne du câble coaxial est connecté au patch microruban d'une antenne et le conducteur externe est connecté au plan de masse [13]. La plupart du temps, les réseaux d'alimentation sont isolés du patch microruban, mais dans ce mécanisme, ce n'est pas comme ça [14]. La minimisation des rayonnements parasites, une fabrication facile et une alimentation efficace sont les avantages de la méthode d'alimentation coaxiale. L'alimentation de la sonde coaxiale est comme indiqué sur la figure 1-13.

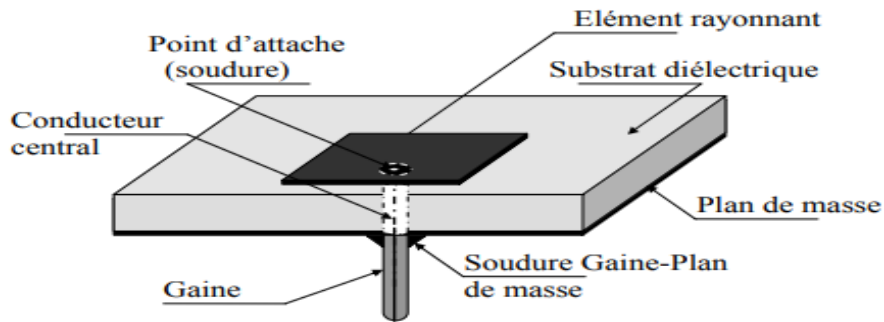


Figure 1-13: Antenne imprimée alimentée par sonde coaxiale

5.4.3 Alimentation couplée par fente

Cette alimentation comporte deux substrats différents l'un de l'autre et séparés par un plan de masse [15]. Dans ce procédé, le patch microruban et la ligne d'alimentation sont couplés à travers une fente dans le plan de masse [14]. La minimisation des interférences et la polarisation pure sont les avantages de la méthode d'alimentation couplée à l'ouverture. L'alimentation couplée à l'ouverture est comme le montre la figure 1-14.

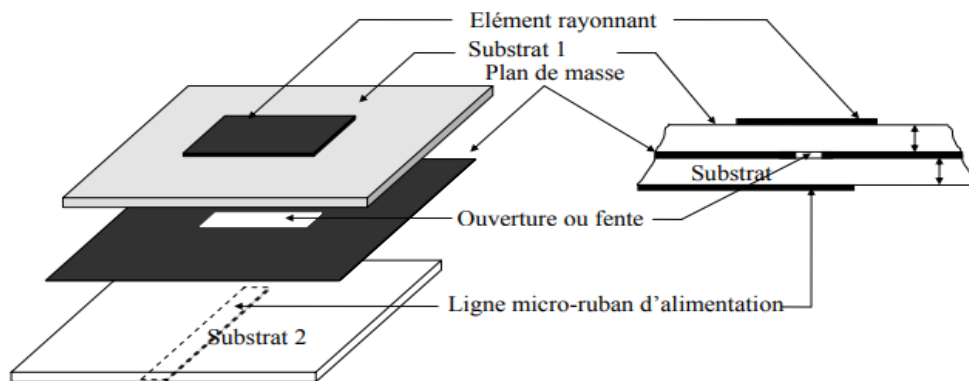


Figure 1-14: Antenne imprimée alimentée par fente.

5.4.4 Alimentation couplée par proximité

La fabrication de cette méthode d'alimentation est un peu compliquée comparativement. Deux substrats diélectriques sont utilisés dans cette technique. Le patch microruban est là à la surface supérieure du substrat diélectrique supérieur et la ligne d'alimentation est là entre deux substrats. Il fournit la bande passante la plus élevée et évite les rayonnements parasites. L'alimentation couplée de proximité est comme le montre la figure 1-15.

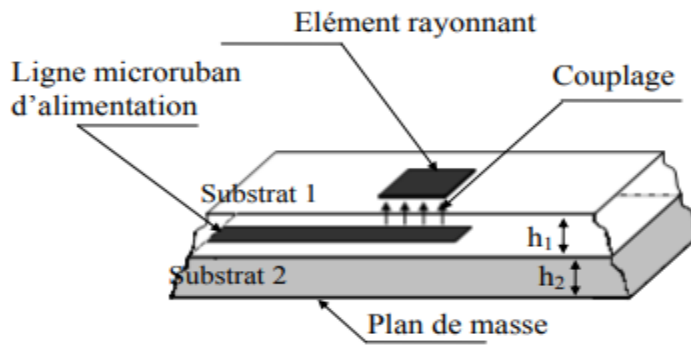


Figure 1-15: Antenne imprimée alimentée par proximité.

5.5 Technique d'adaptation

Tout système qui transforme l'énergie dans une ligne de transmission nécessite une adaptation car la ligne transforme l'impédance de la charge en une valeur équivalente à l'impédance de la source. Ce que perçoit la source dépend donc de l'impédance de charge, de la longueur électrique de la ligne et de son impédance caractéristique.

5.5.1 Adaptation par ligne quart d'onde

Dans la création de circuits hyperfréquences, on sollicite souvent l'adaptation, c'est à dire à se ramener à une impédance différente (qui est souvent l'impédance caractéristique) que celle obtenue au bout de circuit [16].

Pour fortifier l'adaptation de l'antenne on utilise un transformateur quart d'onde, il suffit que le transformateur soit placé entre la ligne microruban et l'extrémité du patch comme le montre la Figure 1.16.

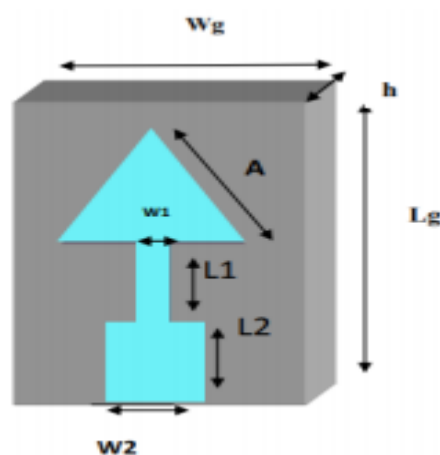


Figure 1-16 : Modélisation de l'antenne quart d'onde.

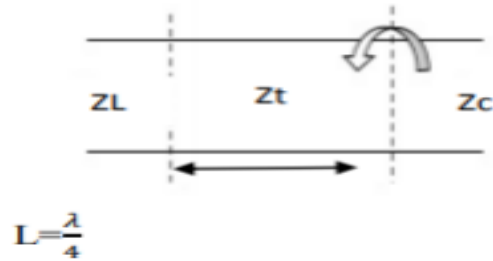


Figure 1-17 : adaptation par quart d'onde.

5.5.2 Adaptation par stub

Une autre méthode s'adapter à n'importe quelle charge est l'utilisation des stubs. Grâce à un stub en court-circuit (short stub) ou en un circuit ouvert (open stub). La solution généralement sélectionnée est celle affichant le plus faible encombrement. Le raisonnement peut se faire en impédance mais il est plus facile de travailler dès le départ en admittance pour faire la somme des impédances parallèles ramenées [17].

Un stub est un tronçon ligne de longueur L_s que l'on branche en dérivation sur la ligne principale à une distance d de la charge (voir Figure 1-18 et voir Figure 1-19.) [17]

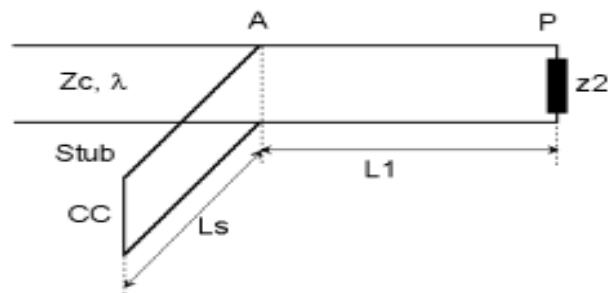


Figure 1-18: Modélisation de l'antenne à Adaptation simple stub.

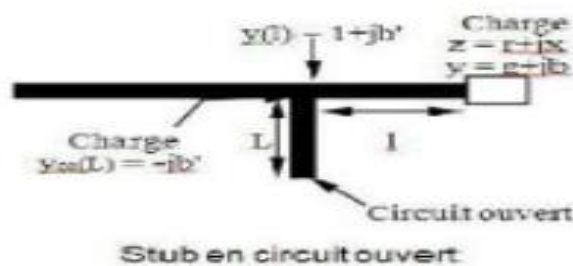


Figure 1-19 : Stub en circuit ouvert.

5.5.3 Adaptation avec encoches

La technique des encoches permet d'avoir une bonne adaptation en modifiant la géométrie de l'antenne au niveau de la connexion entre ligne d'alimentation avec l'élément résonant (voir la Figure 1-20).

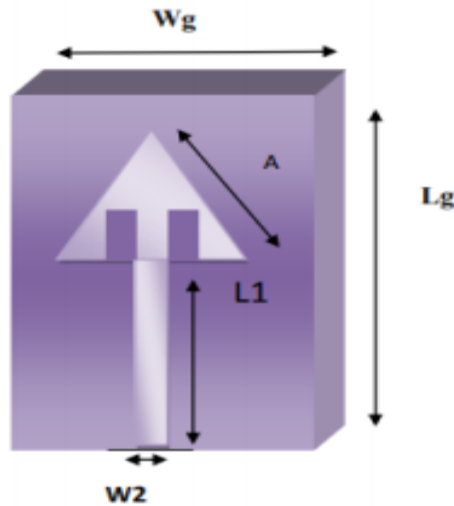


Figure 1-20: Patch adapté par encoches.

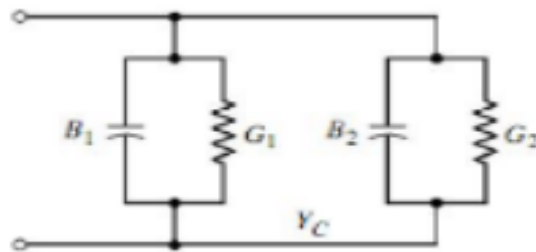


Figure 1-21: L'équivalence en circuit.

6. Méthodes d'analyse

Afin de prédire les caractéristiques de l'antenne imprimée, les chercheurs ont développé plusieurs modèles mathématiques. Parmi les plus répondus nous pouvons citer :

6.1 Méthodes analytiques

Ces méthodes prennent en compte au départ la nature des phénomènes physiques, ce qui permet d'effectuer des approximations permettant la modélisation du modèle [10]. Parmi ces méthodes on peut citer :

- Modèle de la ligne de transmission.
- Modèle de la cavité

6.1.1 Modèle de la ligne de transmission

Ce modèle représente l'antenne microruban par deux fentes de largeur W et de hauteur h , séparées par une ligne de transmission de longueur L . Le microruban est essentiellement une ligne non homogène de deux diélectriques, typiquement le substrat et l'air. La figure suivante illustre ceci. [18].

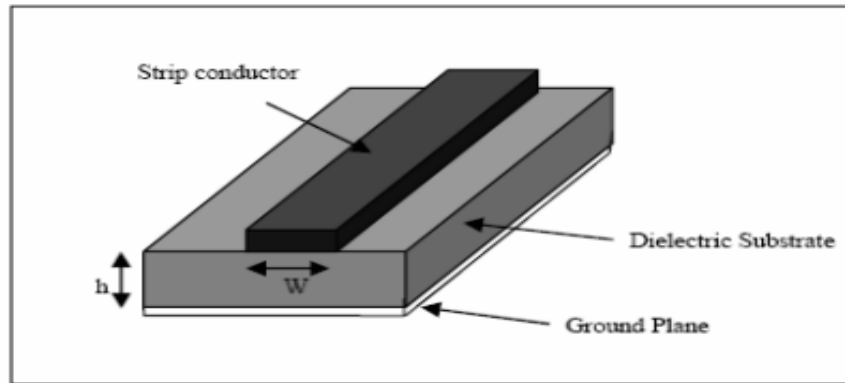


Figure 1-22: ligne microruban

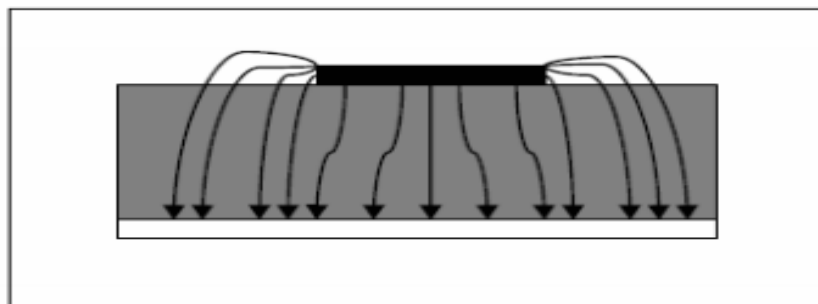


Figure 1-23: Les lignes de champs

La méthode tient compte des réflexions aux extrémités de la ligne et permet une estimation des pertes dues à la présence des ondes de surface dans le substrat diélectrique [11], Ce modèle offre un bon aperçu physique, mais moins de certitude. Dans cette méthode, les principaux paramètres de la ligne sont l'impédance caractéristique et la constante de propagation effective [19].

6.1.2 Modèle de la cavité

Le modèle de cavité donne des résultats plus précis que le modèle de ligne de transmission. Dans le modèle de cavité, une antenne patch est représentée comme une cavité chargée diélectrique. La cavité est formée via un substrat qui est tronquée en haut et en bas par deux frontières électriques parfaitement conductrices, le patch et le plan de masse. Les parois latérales sont parfaitement conductrices de frontières magnétiques déterminées par la dimension du patch. Par conséquent, les lignes de champ électrique contenues dans le substrat (entre le patch et le plan de masse) se propagent perpendiculairement aux parois conductrices, comme requis par Équations de Maxwell. Dans le cas d'une antenne patch, lorsque le patch microruban est sous tension, une distribution de charge s'établit sur les surfaces supérieure et

inférieure du patch, ainsi qu'à la surface du plan de masse. Le mouvement de ces charges crée des densités de courant électrique en haut et en bas Surfaces du patch [10][19][20].

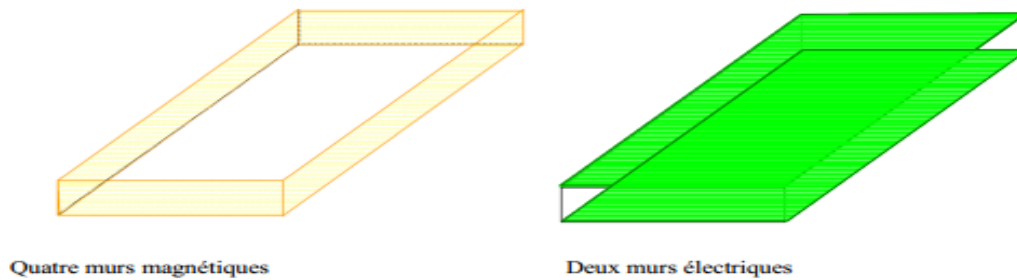


Figure 1-24: Représentation des murs électriques et magnétiques dans le modèle de la cavité d'une antenne patch de forme rectangulaire

L'antenne patch rectangulaire sera assimilée dans à une cavité avec deux parois électriques parfaites (correspondant à une surface conductrice parfaite) et quatre parois magnétiques parfaites. [21]

6.2 Méthodes numériques

6.2.1 Méthode des différences finies

La technique FDTD est bien adaptée aux MSA, elle offre de nombreux avantages en tant qu'outils de simulation électromagnétique, de modélisation et d'analyse. Il peut être capable de créer une géométrie de modèle tridimensionnelle arbitraire et prédire la réponse de l'antenne microruban sur une large gamme de fréquences [20]. Pour une considération pratique du FDTD, le choix initial est la taille de la cellule. À la fréquence la plus élevée, la taille de la cellule doit être petite pour la précision résultats. FDTD est la technique la plus appropriée pour l'analyse des milieux non homogènes et non linéaires. Cependant, en raison de la discrétisation de l'ensemble du domaine de la solution, sa demande de mémoire système est élevée. Les discrétisations spatiales le long des coordonnées cartésiennes sont les mêmes. Les bords de la cellule E sont alignés avec la limite du patch et les champs H sont situés au centre de chaque cellule E [10] [11][19].

Les techniques numériques ci-dessus, qui sont basées sur la distribution du courant électrique sur le conducteur patch et le plan de masse, donnent des résultats pour toute antenne de forme arbitraire avec une bonne précision, mais ils prennent du temps. Ces méthodes peuvent être utilisées pour tracer les distributions de courant sur les patches, mais ne fournissent pas autrement les informations physiques requises pour la conception de l'antenne.

6.2.2 Méthode des moments

Le MoM est la technique pour résoudre les équations intégrales de volume dans le domaine fréquentiel. Dans cette méthode, le courant de surface et le courant de polarisation volumique sont utilisés pour modéliser les champs en microruban patch et plaque diélectrique respectivement. Les champs frangeants en dehors de la limite physique du patch bidimensionnel prennent en compte pour obtenir une solution plus exacte [20].

6.2.3 Méthode des éléments finis

MEF est une méthode dans laquelle nous utilisons la forme de variation pour résoudre les problèmes électromagnétiques évalués aux limites du domaine fréquentiel. Pour une discrétisation très précise du domaine de la solution, MEF peut être utilisé avec des éléments coniques à deux ou trois dimensions de formes différentes. Contrairement au MoM, cette méthode convient aux configurations volumétriques. Sur la base des structures à analyser, la région est d'abord divisée en nombre d'éléments de volume fini. Ces éléments finis peuvent être des formes géométriques bien définies comme des éléments triangulaires et rectangulaires pour une configuration plane et une géométrie tétraédrique et courbe pour des configurations tridimensionnelles [20].

7. Conclusion

Ce chapitre a constitué, dans son ensemble, une présentation des antennes en général et des antennes imprimées en particulier.

On a souligné l'importance de ces éléments dans les défis technologiques d'aujourd'hui et leur utilisation dans divers domaines. Les caractéristiques de l'antenne microruban et certaines méthodes d'analyse sont également présentées.

2. Chapitre :
SYSTEMES DE
COMMUNICATION
PAR SATELLITES

1.Introduction

Les télécommunications ont dans nos sociétés un rôle économique et social d'une extrême importance. C'est grâce à elles que se répandent les informations qui vont stimuler les processus d'innovation de toute sorte.

Les satellites offrent un certain nombre de fonctionnalités qui ne sont pas facilement disponibles avec d'autres moyens de communication. Ces fonctionnalités peuvent être de type civil ou militaire pour le transfert de données internet, la télévision numérique, la téléphonie, la télémédecine ou la surveillance de la terre. Étant donné que de très grandes zones de la terre sont visibles depuis un satellite, ce dernier peut former le point d'étoile d'un réseau de communication, reliant simultanément de nombreux utilisateurs qui peuvent être largement séparés géographiquement. La même fonctionnalité permet aux satellites de fournir des liaisons de communication aux communautés éloignées dans des zones peu peuplées qui sont difficiles d'accès par d'autres moyens.

Ce chapitre est une introduction générale sur les télécommunications par satellite. L'objectif est de présenter les principales notions relatives aux systèmes de communications par satellite, nous allons commencer par l'historique et la définition du satellite ainsi que sa structure, nous présentons ensuite l'architecture du système satellitaire et son fonctionnement ainsi que les différentes bandes utilisées pour ce type de communications, et nous finirons ce chapitre par la présentation des différents services satellite.

2. Historique des satellites

Les satellites de télécommunications sont des satellites artificiels placés dans l'espace pour des nécessités de télécommunications. Le concept de télécommunications par satellite a été proposé pour la première fois par Arthur C, qui a publié un article intitulé "Extraterrestrial Relay" dans le magazine britannique "Wireless World" [22] en octobre 1945. Cet article décrit les lois de base pour le déploiement de satellites artificiels en orbite géostationnaire dans le but de relayer des signaux radio. Par conséquent, Arthur C. Clarke est considéré comme l'inventeur des satellites de communication.

Plus tard, le premier satellite a été lancé le 4 octobre 1957 [23], c'était le satellite russe nommé SPOUTNIK1. Il s'agit du premier satellite artificiel avec des objectifs scientifiques, politiques et militaires. Mais en 1960 [23], les Américains mettent en orbite leur premier satellite (Echo 1) en mode passif. Après de nombreuses tentatives, le premier satellite de communication actif était Telstar1 et la première transmission de télévision par satellite a eu lieu en 1962 [24]. En août 1964 [24], le premier satellite fixe de l'orbite géostationnaire Syncom3 a véritablement fourni des services de télécommunication point à point pour la transmission longue distance.

Depuis lors, plus de 5 000 satellites artificiels sont entrés en orbite terrestre, dont des centaines de satellites de télécommunications actifs.

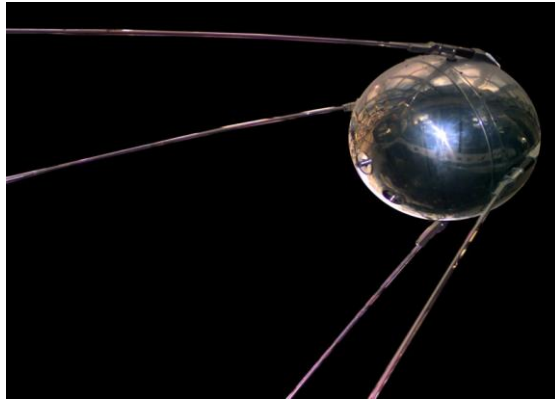


Figure 2-1 : Spoutnik1 Russe (1957).

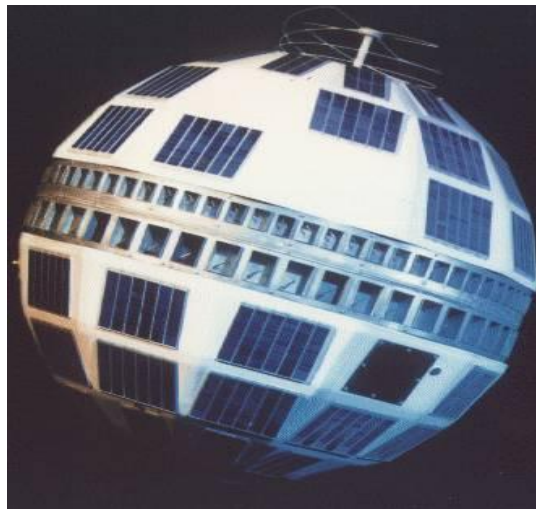


Figure 2-2: Telstar1-USA (1962).

3. Définition d'un satellite

Le Règlement des Radiocommunications (RR) de l'UIT définit le satellite comme suite : « Corps qui tourne autour d'un autre corps de masse prépondérante et dont le mouvement est principalement déterminé, d'une façon permanente, par la force d'attraction de ce dernier » [25].

Des milliers de satellites artificiels gravitent autour de la Terre. Certains satellites sont équipés de caméras et de capteurs scientifiques. Parfois, ces instruments pointent vers la Terre pour recueillir des informations sur sa terre, son air et son eau. D'autres fois, ils font face à l'espace pour collecter des données du système solaire et de l'univers.

D'autres satellites encore sont principalement utilisés pour les communications, telles que la transmission de signaux de télévision et les appels téléphoniques dans le monde entier. Un groupe de plus de 20 satellites composent le système de positionnement global, ou GPS. Si vous possédez un récepteur GPS, ces satellites peuvent vous aider à déterminer votre position exacte.

4. Composition d'un satellite

Les satellites se présentent sous de nombreuses formes et tailles. Mais la plupart ont au moins deux parties en commun : une charge utile et une plateforme.

-La plateforme contient tous les équipements qui permettent d'assurer le bon fonctionnement du satellite. Ces éléments essentiels, appelés « modules » [26], sont généralement les suivants :

- la gestion du bord qui pilote le fonctionnement du satellite ;
- le système de production de l'énergie ;
- le système de contrôle thermique ;
- le système de contrôle d'attitude et d'orbite ;
- le système de propulsion.

-La charge utile est la partie du satellite chargé de mener à bien sa mission. Elle varie en fonction du type de satellite ou en trouve des instruments pour la télécommunication et la télédétection et dans bien d'autres domaines [27].

5. Orbites

La trajectoire effectuée par un satellite autour de la Terre est appelée orbite, Ces orbites sont des trajectoires qui sont basées sur un système de référence spécifié, le centre de gravité d'un satellite ou un autre objet spatial soumis de façon prépondérante aux forces naturelles, essentiellement les forces de gravitation. Cette trajectoire a la forme d'une ellipse avec une extension maximale appelée l'apogée, une extension minimale appelée le périégée et une inclinaison. L'apogée est le point le plus haut du satellite auquel sa vitesse est la plus lente, périégée est le point le plus bas du satellite auquel sa vitesse est la plus rapide et l'inclinaison est l'angle formé entre le plan orbital et le plan équatorial. Plus l'angle est important, plus la surface couverte par le satellite est grande [28]. On peut classer les orbites selon leur altitude, périégée, apogée, période, inclinaison et leur forme [29], ces orbites sont illustrées dans la Figure 2-3.

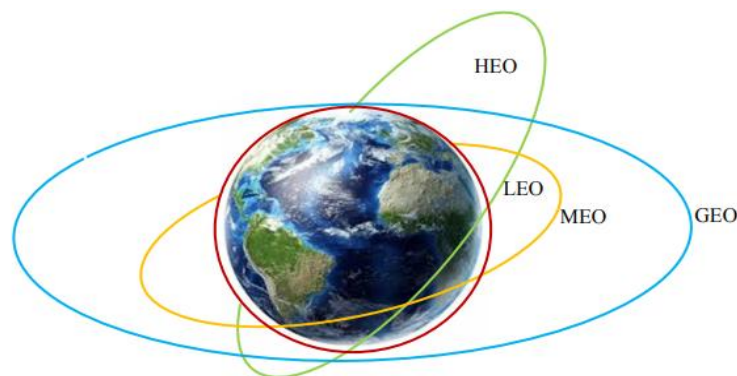


Figure 2-3: Les principales orbites terrestres.

5.1 Orbite GEO

L'orbite GEO correspond à la trajectoire circulaire des satellites dans le plan équatorial de la terre. Ces satellites sont en orbite à 35 786 km au-dessus de la surface de la Terre et tournent autour de celle-ci à la même vitesse de sa rotation. Cela signifie que les satellites GEO restent dans la même position par rapport à la surface de la Terre. L'un d'eux fait le tour de la terre en 23 h 56 min 4 s et peut couvrir 1/3 .de sa surface [30].

Avantages

La distance d'un satellite GEO par rapport à la Terre lui confère une large zone de couverture, près d'un tiers de la surface de la Terre. Les satellites GEO ont une vue sur une zone particulière pendant 24 heures. Ces facteurs le rendent idéal pour la diffusion par satellite et d'autres applications multipoint, Décalage Doppler minimal.

Désavantages

La distance d'un satellite GEO lui donne également à la fois un signal relativement faible et un retard dans le signal, ce qui est mauvais pour la communication point à point. Les satellites GEO, centrés au-dessus de l'équateur, ont du mal à diffuser des signaux vers les régions polaires proches. Les lancements de satellites en orbite sont complexes et coûteux.

5.2 Orbite LEO

L'orbite LEO est une orbite circulaire, ses satellites sont beaucoup plus proches de la Terre que les satellites GEO, allant de 500 à 1 500 km au-dessus de la surface. Les satellites LEO ne restent pas en position fixe par rapport à la surface et ne sont visibles que pendant 15 à 20 minutes à chaque passage. Un réseau de satellites LEO est nécessaire pour que les satellites LEO soient utiles [30].

Avantages

La proximité d'un satellite LEO avec la terre par rapport à un satellite GEO lui donne une meilleure force de signal et moins de retard, ce qui le rend meilleur pour la communication point à point. La plus petite zone de couverture d'un satellite LEO représente moins un gaspillage de bande passante.

Désavantages

Un réseau de satellites LEO est nécessaire, ce qui peut être coûteux Les satellites LEO doivent compenser les décalages Doppler provoqués par leur mouvement relatif. La traînée atmosphérique affecte les satellites LEO, provoquant une détérioration orbitale progressive.

5.3 Orbite MEO

Une orbite à altitude moyenne, communément appelée orbite circulaire intermédiaire ou MEO

Un satellite MEO est en orbite entre 8 000 km et 18 000 km au-dessus de la surface de la Terre.

Les satellites MEO sont similaires aux satellites LEO en termes de fonctionnalité.

Ils sont visibles pendant des périodes beaucoup plus longues que les satellites LEO, généralement entre 2 et 8 heures et ils ont une zone de couverture plus étendue que les satellites LEO [30].

Avantage

La durée de visibilité plus longue d'un satellite MEO et son empreinte plus large signifient que moins de satellites sont nécessaires dans un réseau MEO qu'un réseau LEO.

Désavantage

La distance d'un satellite MEO lui donne un délai plus long et un signal plus faible qu'un satellite LEO, mais pas aussi mauvais qu'un satellite GEO.

5.4 Orbite HEO

Utilisé par la Russie depuis des décennies, L'orbite HEO connu sous le nom de Molniya est une orbite elliptique elle a un apogée de 39 750 km et un périgée de 500 km. Sa période est de 11 h 58 mn et son inclinaison $63,4^\circ$. Le satellite reste dans une position presque fixe par rapport à la Terre pendant huit heures.

Une série de trois satellites Molniya peut agir comme un satellite GEO [30].

6. Architecture d'un système de communications par satellite

Le système de communication par satellite est divisé en deux sous- segment, le segment terrestre et le segment spatial, comme le montre la Figure 2-4.

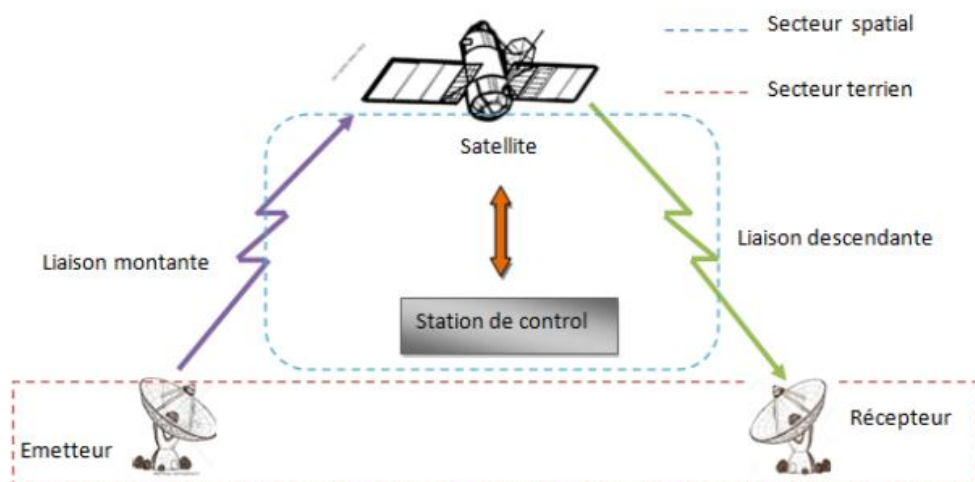


Figure 2-4: Composantes d'un système de télécommunications par satellite.

6.1 Segment spatial

Le segment spatial se compose du satellite, qui dispose de trois systèmes principaux : a) système d'alimentation en carburant ; (b) système de contrôle par satellite et télémétrie ; et (c) des transpondeurs. Le système d'alimentation en carburant est chargé de faire fonctionner le satellite pendant des années. Il dispose de panneaux solaires, qui génèrent l'énergie nécessaire au fonctionnement du satellite. Le satellite et le système de contrôle de télémétrie est utilisé pour envoyer des commandes au satellite ainsi que pour envoyer l'état de bord systèmes aux stations au sol. Le transpondeur est le système de communication, qui agit comme un relais dans le ciel. Le transpondeur reçoit les signaux des stations au sol, les amplifie, puis les renvoie au sol stations. La réception et la transmission se font à deux fréquences différentes. Le transpondeur doit effectuer la traduction de fréquence nécessaire.

6.2 Segment terrestre

Le segment sol se compose de toutes les stations terrestres de trafic. Selon le type de service considéré, la taille de ces sites peut varier de quelques centimètres à des dizaines de mètres. Il existe 3 types de stations, des stations fixes, des stations mobiles et les stations transportables. Quelques stations émettent et reçoivent. D'autres sont seulement réceptrices : c'est le cas des systèmes de radiodiffusion par satellite par exemple

6.3 Fonctionnement d'un système satellitaire

La station émettrice envoie les informations au satellite, qui à son tour les retransmet aux stations réceptrices. Si une station émettrice ne peut pas communiquer directement avec une ou plusieurs stations réceptrices en raison de restrictions de visibilité directe, un satellite peut être utilisé.

Le satellite dans cette application est ce que l'on appelle généralement un répéteur. [30] [31] [32]

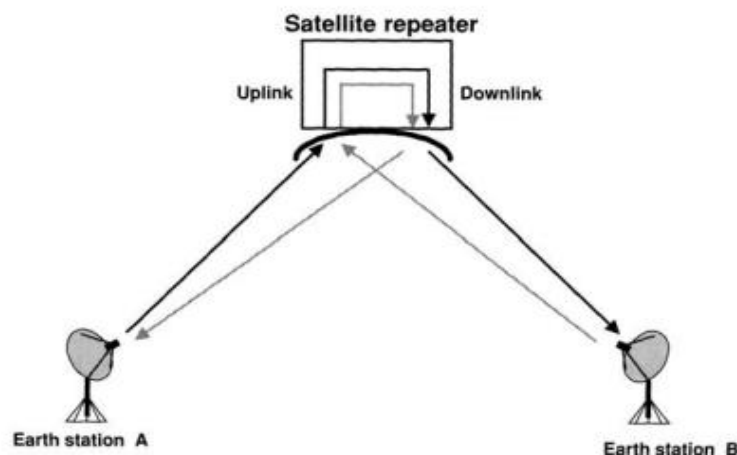


Figure 2-5: Composantes d'un système de télécommunications par satellite.

6.4 Sous-systèmes de satellite

Les principaux sous-systèmes de satellite se composent de :

- Panneau solaire
- Sous-système d'alimentation
- Sous-système de communication
- Sous-systèmes de télémétrie, de commande et de contrôle.

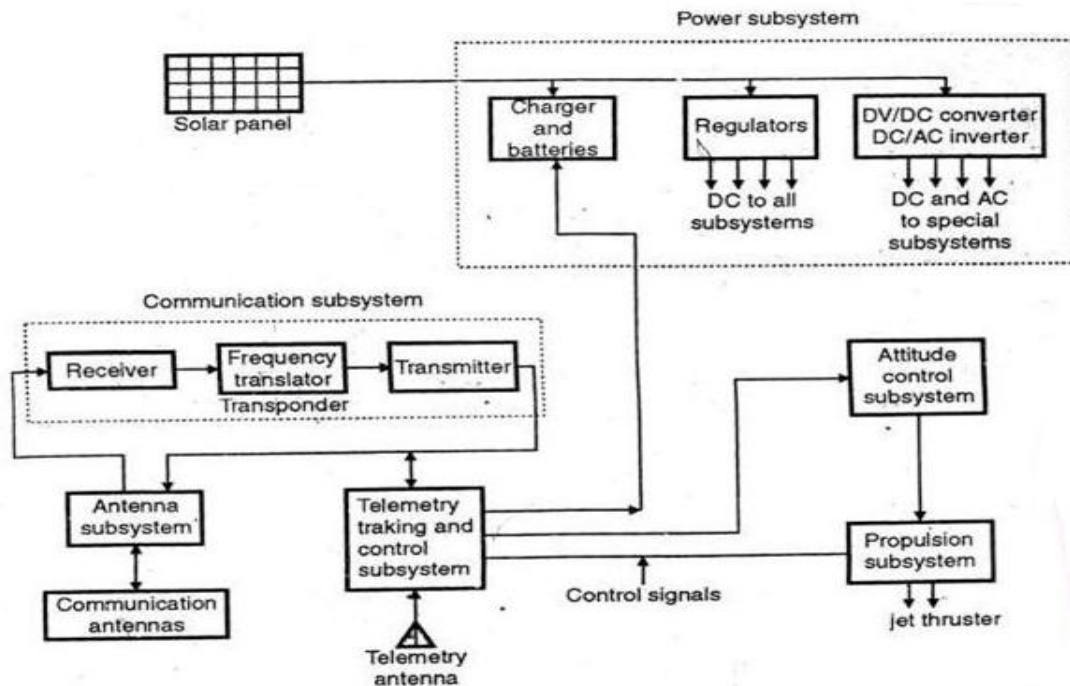


Figure 2-6 Schéma fonctionnel général d'un satellite de communication.

6.4.1 Panneau solaire

Les panneaux solaires sont de grands ensembles de cellules photoélectriques connectées en différentes séries et circuits parallèles pour créer une puissante source de courant continu. Ces panneaux solaires génèrent un courant continu qui sert à faire fonctionner les différents composants du satellite. Les onduleurs sont utilisés pour fournir des tensions spéciales à certains sous-systèmes.

6.4.2 Sous-système d'alimentation

La tension continue de base des panneaux solaires est conditionnée de différentes manières. Par exemple, il traverse généralement des circuits de régulation de tension avant d'être utilisé pour alimenter des circuits électroniques individuels.

6.4.3 Sous-système de communication

Le cœur d'un satellite de communication est le sous-système de communication ; ce sous-système de communication fait office de répéteur ou de station relais. Le composant qui remplit

cette fonction est appelé un transpondeur. Son objectif fondamental est simplement de régénérer le signal de liaison montante et de le retransmettre sur la liaison descendante. Dans ce rôle, le transpondeur remplit la fonction d'un amplificateur [30].

Un amplificateur est un circuit qui prend un signal et augmente la tension ou le niveau de puissance de ce signal sans changer sa fréquence ou son contenu.

Le sous-système de communication se compose de plusieurs transpondeurs. Ceux-ci reçoivent les signaux de liaison montante, les amplifient, traduisent leurs fréquences et les amplifient à nouveau pour une retransmission sous forme de signaux de liaison descendante. Les transpondeurs partagent un sous-système d'antenne pour la réception et la transmission.

La plupart des satellites de communication modernes contiennent au moins 12 transpondeurs.

- **Répéteurs et transpondeur**

Le satellite contient un récepteur qui capte le signal transmis, l'amplifie et le traduit sur une autre fréquence. Le signal sur la nouvelle fréquence est ensuite retransmis aux stations de réception à terre. La combinaison émetteur-récepteur dans le satellite est connue sous le nom de transpondeur.

Cependant, les transpondeurs sont plus que de simples amplificateurs, ils se composent d'un récepteur et d'un émetteur [31]. Le récepteur et l'émetteur du transpondeur satellite sont conçus pour fonctionner à des fréquences distinctes. De cette façon, ils n'interfèrent pas les uns avec les autres. Aux fréquences de la bande ka, le signal de liaison montante est dans la plage de 27,5 à 31 GHz et le signal de liaison descendante est dans la plage de 17,3 à 21,2 GHz.

Cet espacement d'environ 10 GHz est suffisant pour éliminer la plupart des problèmes.

- Type de transpondeur

- **La conversion unique**

Un transpondeur à conversion unique utilise un mélangeur unique pour traduire le signal de liaison montante en fréquence de liaison descendante (voir Figure 2-7.).

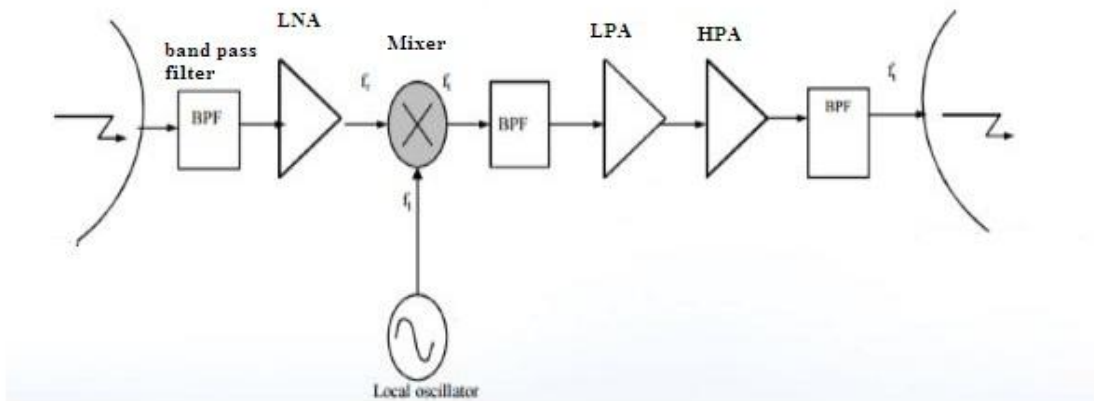


Figure 2-7: Transpondeur à conversion unique.

- **Double conversion**

Un transpondeur à double conversion effectue la traduction de fréquence en deux étapes avec deux mélangeurs comme le montre la figure suivante.

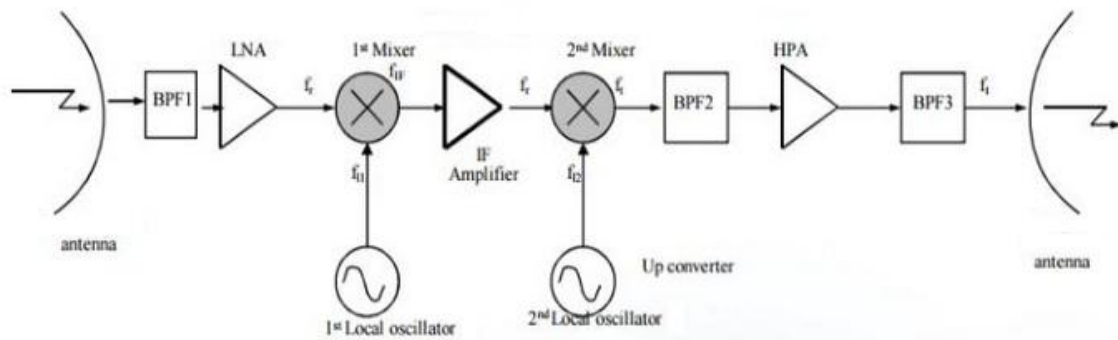


Figure 2-8: Transpondeur à double conversion

- **Transpondeurs régénératifs**

Un répéteur régénératif démodule le signal de liaison montante après que la fréquence a été traduite en une fréquence intermédiaire inférieure. Le signal en bande de base récupéré est ensuite utilisé pour moduler le signal de liaison descendante (voir Figure 2-9.).

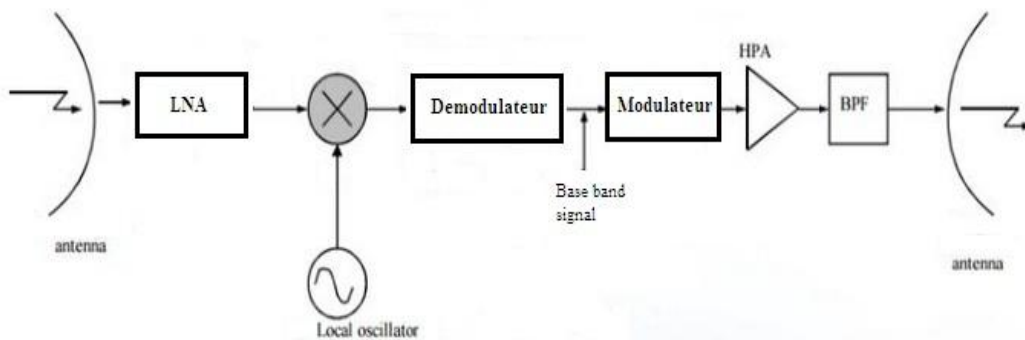


Figure 2-9: Transpondeur régénératif.

6.4.4 Sous-systèmes de télémétrie, de commande et de contrôle

Tous les satellites ont un sous-système de télémétrie, de commande et de contrôle (TC&C) qui permet à une station au sol de surveiller et de contrôler les conditions du satellite.

Le système de télémétrie est utilisé pour signaler l'état des sous-systèmes embarqués à la station au sol, il est composé généralement de divers capteurs électroniques pour mesurer les températures, les niveaux de rayonnement, les tensions d'alimentation et d'autres caractéristiques de fonctionnement clés. Les capteurs sont sélectionnés par un multiplexeur puis convertis en un signal numérique, qui sont module dans un émetteur interne.

Cet émetteur renvoie les informations de télémétrie à la station terrienne, où elles sont enregistrées et surveillées. Un système de commande et de contrôle permet à la station au sol de contrôler le satellite.

En règle générale, le satellite contient un récepteur de commande qui reçoit des signaux de commande d'un émetteur de station terrienne. Les signaux de commande sont constitués de divers codes numériques qui indiquent au satellite ce qu'il doit faire.

7. Bandes de fréquence

Un élément fondamental de la définition du système par satellite est la répartition réglementaire des bandes de fréquences à utiliser dans les communications par satellite. L'Union internationale des télécommunications (UIT) et la Commission fédérale des communications (FCC) gèrent les attributions de fréquences pour les satellites. Ces organisations autorisent un satellite à fonctionner sur un ensemble de bandes de fréquences spécifiques à un emplacement orbital spécifique.

Les bandes de fréquences attribuées sont indiquées dans le tableau 2. [33]

Bande	Fréquence (GHz)
Bande L	1-2
Bande S	2-4
Bande C	4-8
Bande X	8-12
Bande Ku	12-18
Bande K	18-27
Bande Ka	27-40

Tableau 2-1: Les bandes de fréquences selon la norme IEEE.

Pour faciliter la planification des fréquences, le monde est divisé en trois régions :

Région 1 : Europe, Afrique, Moyen-Orient, Russie, et la Mongolie.

Région 2 : Amérique du Nord et du Sud et Groenland.

Région 3 : Asie (à l'exclusion des zones de la région 1), Australie et Pacifique sud-ouest.

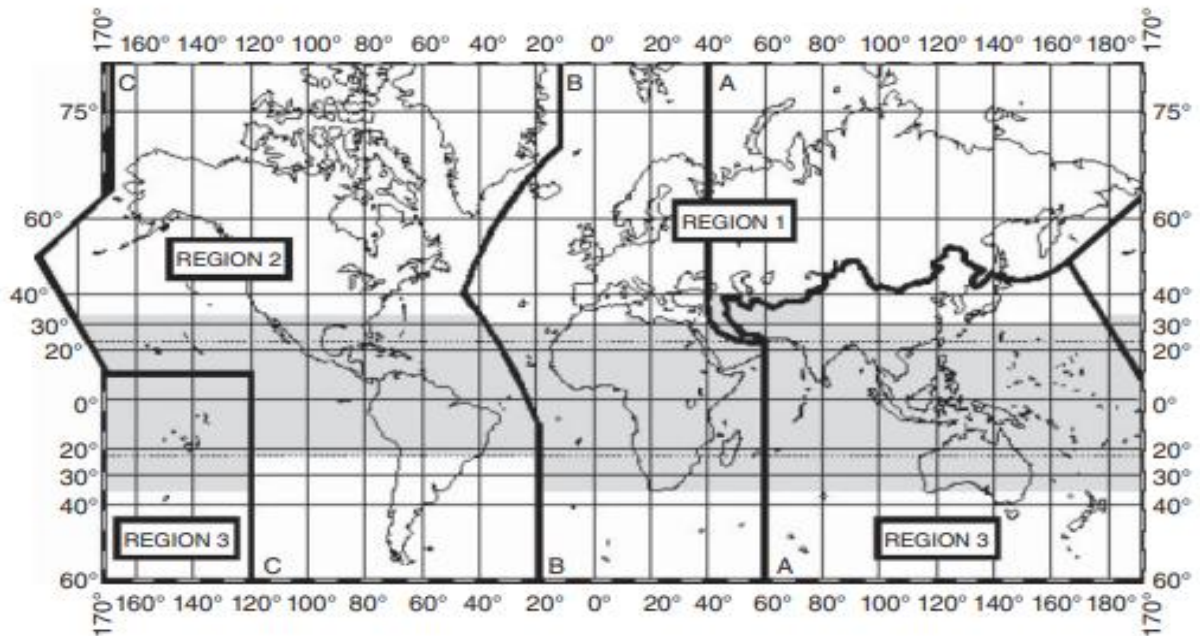


Figure 2-10: Carte des régions et zones d'attribution des fréquences dans le Règlement des radiocommunications (RR) de l'UIT [UIT-16].

Dans ces régions, des bandes de fréquences sont attribuées à divers services par satellite, bien qu'un service donné puisse se voir attribuer différentes bandes de fréquences dans différentes régions [21]. Certains des services fournis par Les satellites sont :

Les services fixes par satellite (FSS),

Les services de radiodiffusion par satellite (BSS),

Les services numériques

Services de radio audio (DARS),

Services Internet directs à domicile (SRD) et services de communications mobiles (mobiles).

Parfois, les systèmes BSS sont appelés systèmes DBS (Direct Broadcast Service).

La bande Ka

La bande Ka se trouve à des fréquences supérieures à celle de la bande Ku, qui est principalement utilisée dans les systèmes de diffusion TV par satellite et VSAT (un système de communication bidirectionnel pour les applications professionnelles). Par rapport aux bandes de fréquences inférieures, les faisceaux produits dans la bande Ka ont une plus grande directivité : l'énergie est mieux concentrée et le spectre peut être réutilisé de manière intensive

(dans des zones géographiquement séparées). Par ailleurs, la bande Ka dispose de plus de fréquences que la bande Ku.

Par conséquent, la bande Ka peut augmenter la capacité fournie, de sorte qu'elle peut fournir des services à un prix inférieur à la bande Ku. En raison de ces deux avantages, la bande Ka a été proposée pour les satellites à haut débit afin de fournir des services Internet par satellite à un prix comparable à l'ADSL et de fournir des services Internet par satellite dans les zones où les services d'infrastructure sont faibles.

Répartition de la fréquence par L'UIT pour région 1		
Bande	Fréquence descendante (GHz)	Fréquence montante (GHz)
Bande S	1.98-2.010	2.170-2.2
Bande C	3.7-4.2	5.925-6.425
Bande X	7.25-7.75	7.90-8.40
Bande Ku	10.5 -11.75	12.75-14.5
Bande Ka	17.7-21.2	27,5-31

Tableau 2-2 : Répartition de la fréquence descendante et montante par L'UIT pour la région1.

8. Services de télécommunication par satellite

8.1 Services fixes par satellite

Les systèmes FSS fournissent une connexion de communication entre les utilisateurs séparés par de grandes distances. En tant que tels, ces systèmes sont appelés systèmes point à point. La connexion se présente généralement sous la forme d'un circuit de communication bidirectionnel (voir Figure 2-11). Par exemple, les systèmes FSS fournissent des services téléphoniques aux flottes maritimes, des services vidéo pour les nouvelles agences ou des services de vérification de carte de crédit pour les stations-service individuelles. Les systèmes FSS fonctionnent en bande C et en bande Ku avec une gamme considérable de niveaux de puissance et de couverture. Des zones qui varient de petites zones géographiques à des zones continentales ou hémisphériques. [33]

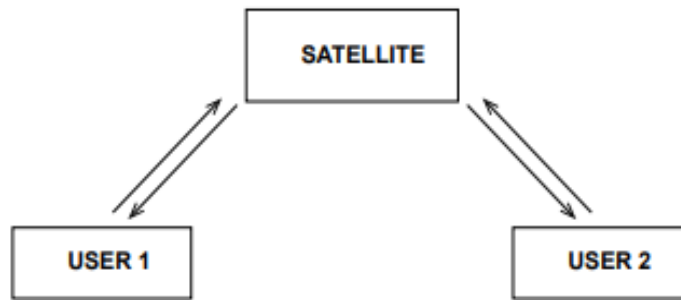


Figure 2-11: Communication par satellite bidirectionnelle point à point.

8.2 Services de diffusion par satellite

Les systèmes BSS (ou DBS) sont utilisés pour fournir des services de télévision et de radio à de nombreux utilisateurs sur de vastes zones géographiques à travers le monde en les connectant à des centres de diffusion. En tant que telles, les architectures du système BSS sont un point à plusieurs points. Autrement dit, un centre de diffusion relie les signaux au satellite, qui à son tour les transmet à de nombreux utilisateurs dans une ou plusieurs zones de couverture distinctes (voir la Figure 2-12). Des exemples de systèmes BSS comprennent les systèmes de télévision par satellite. [33]

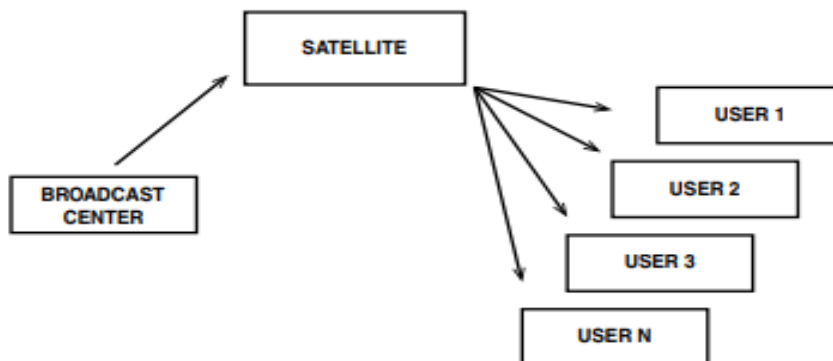


Figure 2-12: Communication par satellite unidirectionnelle à plusieurs points.

Les systèmes BSS fonctionnent en bande C, en bande Ku et en bande K. Un exemple de ces services est la diffusion TV en bande C, disponible depuis des décennies, mais qui exige que les abonnés individuels disposent d'une antenne parabolique de 3 m dans le jardin. Les systèmes BSS en bande Ku comprend également des services d'abonnement à la télévision, mais ceux-ci nécessitent beaucoup des systèmes utilisateurs plus petits, généralement avec des paraboles d'environ 0,75 m de diamètre [33].

8.3 Services de radio audio numérique

Les systèmes DARS sont relativement nouveaux. Comme les systèmes BSS, ils pointent vers des architectures en plusieurs points. Ces systèmes sont utilisés pour fournir des services radio basés sur les abonnés à des automobiles et des radios portables correctement équipées. Les

systèmes fonctionnent à des fréquences plus basses et avec une puissance de satellite significative pour s'adapter à la portabilité ou à la mobilité des systèmes utilisateurs. [33]

8.4 Services haut débit directs à domicile

Comme les systèmes DARS, les systèmes DTH sont relativement nouveaux. Ils se développent de manière significative en tant que secteur d'activité et, en particulier, au cours de la dernière décennie, des investissements importants ont été réalisés dans les services Internet par satellite à large bande par DTH. Les architectures sont un point à plusieurs points mais se distinguent des systèmes BSS en étant des connexions bidirectionnelles (Figure 2-13). De plus, le système DTH moderne atteint la capacité requise par le plan d'affaires grâce à une réutilisation agressive de la fréquence et de la polarisation. Cela n'augmente pas la complexité du système de communication de manière significative, mais augmente directement la taille du système.

La réutilisation de fréquence impose également des exigences de performances croissantes au sous-système d'antenne, car les performances du lobe latéral deviennent le facteur limitant de la capacité globale du système. [33]

8.5 Services de communications mobiles

Les systèmes mobiles sont conçus pour fournir des connexions d'utilisateur à utilisateur, principalement pour le téléphone ou la transmission de données. Ce sont des systèmes point à point. La caractéristique qui distingue les systèmes mobiles des systèmes FSS est le nombre d'utilisateurs et le fait que de nombreux utilisateurs partagent un circuit de communication par satellite commun. Le schéma d'accès multiple utilisé par le système dicte les exigences pour prendre en charge ces utilisateurs.

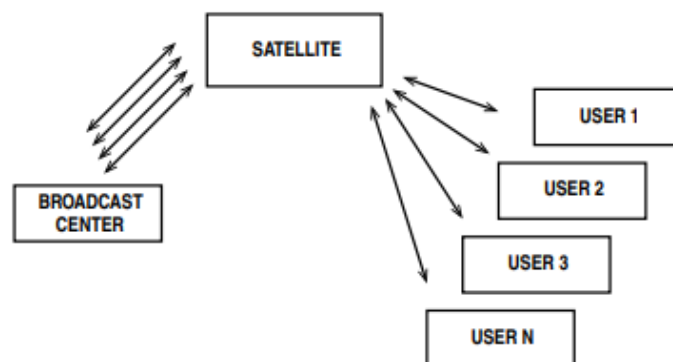


Figure 2-13: Communication par satellite bidirectionnelle point à plusieurs points.

9.Satellites radar

Les satellites radar constituent un sous-ensemble du plus grand groupe de satellites de télédétection. Il existe de nombreux exemples de systèmes radar utilisés en météorologie et en sciences de la Terre. De plus, les satellites radar peuvent faire partie d'un système de suivi

d'aéronef. Ce qui rend les satellites radar intéressants, c'est l'électronique hyperfréquence qui compose le système radar. En conséquence, bien que les paramètres de performance soient différents, les processus analytiques impliqués dans l'ingénierie sont très similaires à ceux utilisés pour les satellites de communication (voir Figure 2-14).

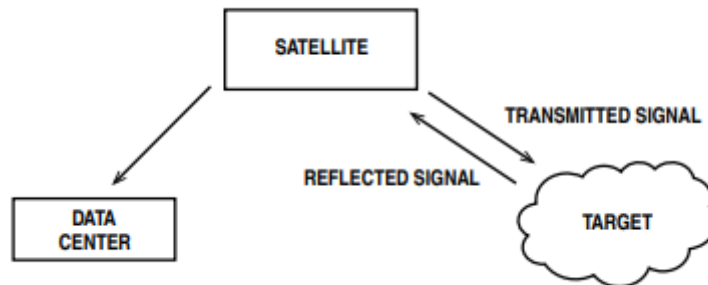


Figure 2-14: Configuration des satellites radar.

10. Satellites de navigation

Le système de navigation par satellite le plus connu est le système de positionnement global (GPS). Le GPS est une constellation de satellites en orbite autour de la Terre et transmettant des signaux aux utilisateurs. L'électronique hyperfréquence est très similaire à celle des satellites du système de communication, mais des exigences supplémentaires sont imposées aux horloges stables.

11. Satellites de télédétection

Les satellites utilisés pour la météorologie, les sciences de la terre ou de l'espace, ou les observations à distance constituent la famille des satellites de détection. Comme décrit ci-dessus, les satellites radar en sont un sous-ensemble. Poursuivant cette définition, le reste de cette classe de satellites appartient à la catégorie de ceux qui font de la télédétection passive (voir la Figure 2-15). La principale caractéristique de cette classe de satellites est le récepteur de télédétection.

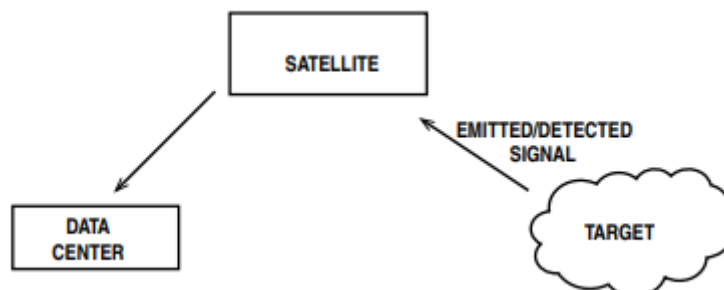


Figure 2-15: Configuration des satellites de télédétection passive.

12. Conclusion

Ce chapitre a permis de décrire la communication par satellite dont le système se subdivise en trois sous parties. Notre intérêt s'est particulièrement porté sur les sous -systèmes de satellite et leurs rôles et fonctionnements. Par ailleurs, nous avons mis le point sur les bandes de fréquence tout en se penchant sur la bande KA qui sera l'espace d'application de l'antenne qui sera réalisée dans le chapitre suivant.

3. Chapitre :
Conception antenne
imprimée pour
application spatiale

1.Introduction

L'objectif de ce chapitre est de concevoir une antenne imprimée pour les applications spatiales. Nous allons d'abord brièvement introduire le logiciel utiliser CST Microwave Studio (MWS), ensuite nous commencerons par la première étape qui est l'étude de la première antenne avec un seul élément rayonnant, Nous mettrons l'accent sur la conception en se basant sur une petite taille à une fréquence de résonance de 28GHz. Ensuite, nous procéderons à une simulation pour trouver des paramètres internes (paramètres S...., bande passante) et des caractéristiques externes (gain, directivité et modèle de rayonnement).

Pour augmenter le gain total de l'antenne et avoir une bande passante plus large et en profitant de la fonctionnalité de la superposition de rayonnement de plusieurs éléments rayonnants dans une même direction [2], nous suggérons la deuxième étape, qui est la plus importante afin de concevoir un réseau d'antennes regroupant des patchs identiques à notre première antenne patch proposée à la première étape.

Finalement, nous présentons les résultats des simulations réalisés pour évaluer les performances de notre antenne proposée en termes de coefficient de réflexion, le taux des ondes stationnaires (VSWR), le diagramme de rayonnement, le gain, la direction, l'impédance ainsi que l'efficacité. Et nous clôturent ce chapitre par une conclusion.

2. Description du logiciel

CST MICROWAVE STUDIO® (CST MWS) est un outil spécialisé pour la simulation électromagnétique 3D de composante haute fréquence, CST MWS permet l'analyse rapide et précise des dispositifs haute fréquence (HF) tels que les antennes, les filtres, les coupleurs, les structures planaires et multicouches et les effets SI et CEM. Il simplifie l'insertion des structures en fournissant un solide 3D pour modéliser chaque élément à la fin, c'est un simulateur électromagnétique basé sur la technique des intégrations finies (FIT).

Le logiciel CST met à disposition des solveurs de domaine temporel et de domaine fréquentiel, CST MWS propose d'autres modules de solveur pour des applications spécifiques. Les filtres pour l'import de fichiers CAO spécifiques et l'extraction des paramètres SPICE améliorent les possibilités de conception et font gagner du temps.

3.Conception et simulation du réseau d'antennes pour la bande des 28 GHz

La réalisation et la simulation de réseaux d'antennes pour la bande des 28 GHz peuvent être divisés en 3 aspects généraux :

1. Conception d'une antenne rectangulaire résonante à 28 GHz.
2. Conception d'une antenne résonante à 28 GHz avec une nouvelle structure
3. Mise en place de réseaux d'antennes pour la bande des 28 GHz à partir de l'élément antennaire précédemment conçu.

Chacun de ces aspects à ses propres caractéristiques et, en même temps, ils doivent être décomposés en autres étapes de conception.

3.1. Conception d'une antenne rectangulaire résonante à 28 GHz

Pour réaliser notre projet il faut une antenne patch microruban qui résonne à la fréquence de 28 GHz. L'antenne de base sera de forme rectangulaire connu dans la littérature alimenter par une ligne microruban (voir Figure 3-1), elle est déposée sur un substrat diélectrique de type FR-4 avec une permittivité diélectrique $\epsilon_r = 4.3$, des dimensions L_s et W_s et d'une épaisseur h_s et une tangente de perte diélectrique, $\tan \delta = 0,025$. Le plan de masse de type matériaux Copper (annealed) recouvre toute la face arrière du substrat.

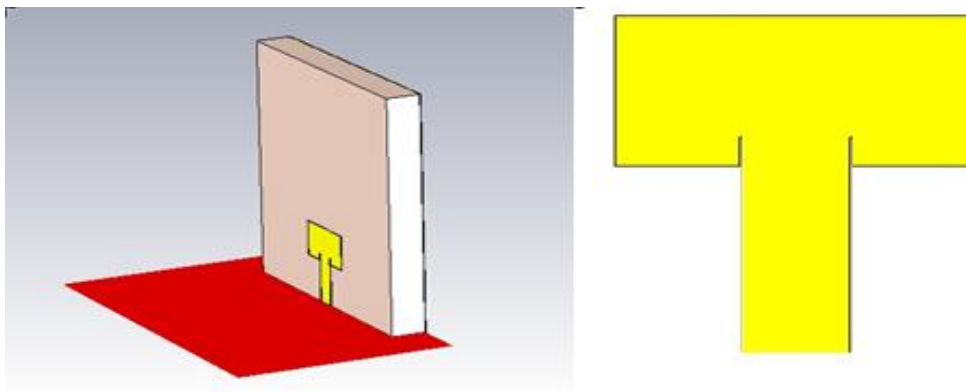


Figure 3-1: Géométrie de l'antenne initiale.

3.1.1. Cahier de charge

Nous allons simuler notre antenne patch sous CST Microwave Studio avec les données suivantes :

- Patch : rectangulaire
 - Substrat: FR4 Lossy ($h = 1.6mm$, $\epsilon_r = 4.3$).
 - Tangente de perte diélectrique, $\tan \delta = 0,025$.
 - Fréquence de résonance : $f_r = 28GHz$.

3.1. 2. Sélection de la fréquence de résonance

L'antenne est conçue pour fonctionner dans un système satellitaire, sur des fréquences allant de 27,50 GHz à 31GHz (bande ka fréquence montante pour la région 1) dont la fréquence $f_r = 28GHz$.

3.1.3. Sélection de la constante diélectrique du substrat

Le choix du matériau diélectrique du substrat doit tenir compte de son épaisseur et de sa constante diélectrique, plus elle est élevée plus les dimensions de l'antenne sont réduites. Dans notre travail nous avons choisi le matériau FR-4, par ces bonnes caractéristiques électriques son prix et sa disponibilité ce substrat est parmi les plus utilisés dans les antennes patch, principalement il est utilisé à des fréquences plus basses parce que les pertes augmentent à mesure que la fréquence augmente sachant que la tangente de perte diélectrique du substrat $\tan \delta = 0,025$.

3.1.4 Epaisseur du substrat diélectrique (h)

Pour l'antenne patch qui est utilisée dans les systèmes de télécommunications par satellite, il est essentiel que l'antenne soit peu encombrante, par conséquent la hauteur du substrat est toujours prise petite (quelque millimètre).

Sur le tableau 3-1, on donne les dimensions de l'antenne initiale en utilisant les équations du tableau 1-1 (Chapitre I) avec des encoches, comme il est montré dans la figure 3-1.

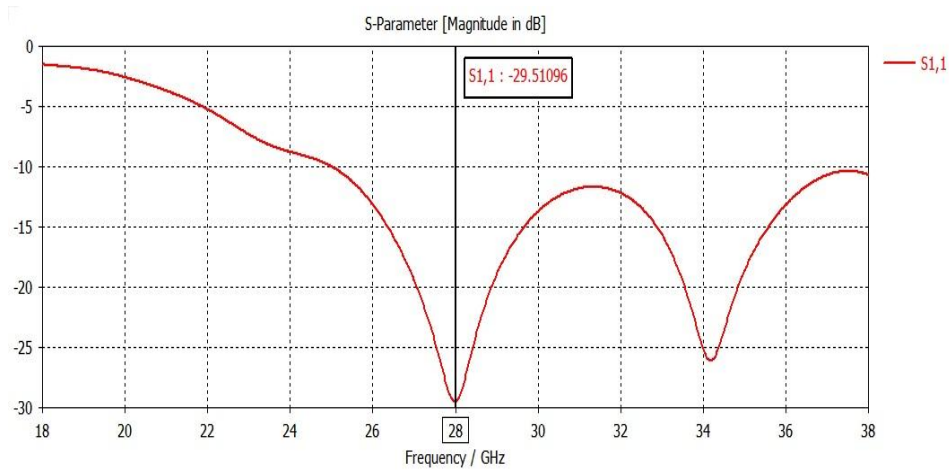
Paramètres	Description	Valeurs (mm)
L	Longueur substrat et plan de masse	11.29
W	Largeur substrat et plan de masse	12.89
Hp	Epaisseur plan de masse et patch	0.035
Lp	Longueur Patch	1.638
Wp	Largeur Patch	3.29
Hs	Epaisseur Substrat	1.6
Lf	Longueur de ligne	2.84
Wf	Largeur de ligne	1

Tableau 3-1: Dimensions de l'antenne patch

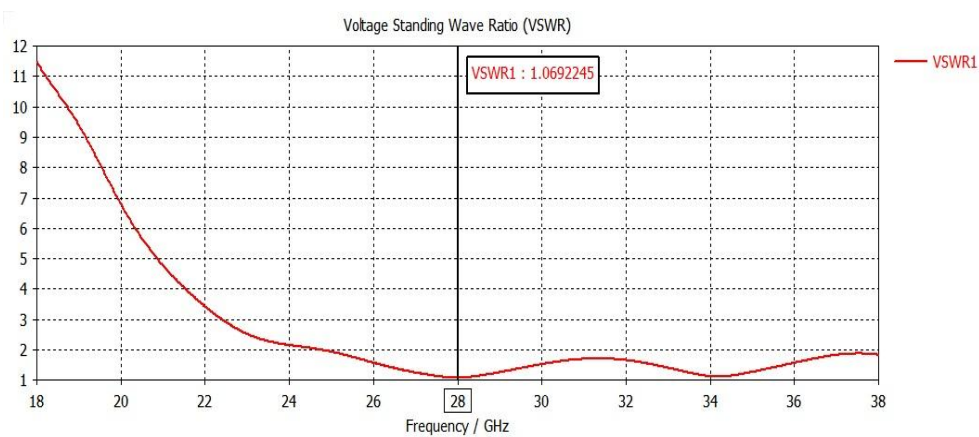
Comme la fréquence de fonctionnement est élevée, il doit être conçu avec une structure simple ; donc, le patch est alimenté par une ligne micro ruban.

3.1.5. Résultats de simulation

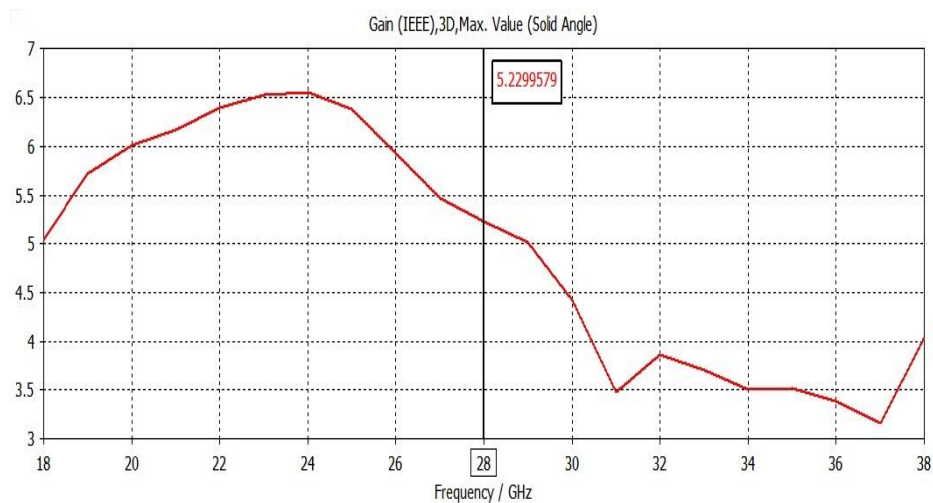
Sur la figure 3-2. ((a) et (b)) et (c)), on représente respectivement le coefficient de réflexion, le taux d'onde stationnaire TOS et le gain de l'antenne initiale.



(a)



(b)



(c)

Figure 3-2:(a) : Coefficient de réflexion. (b) : Taux d'onde stationnaire. (c) : Gain de l'antenne.

La figure 3-2. (a) montre que l'adaptation est bien réalisée puisque le coefficient de réflexion S_{11} atteint un niveau proche de -29.51 dB à la fréquence de résonance 28 GHz, On peut visualiser que l'antenne a une largeur de bande maximale de 12.4 GHz à ($S_{11} = -10$ dB).

Autour de la fréquence de résonance (28GHz) dans l'intervalle (25 – 37.4) GHz. Nous avons présenté aussi le rapport d'onde stationnaire, nous avons relevé un TOS est < 2 dans la bande passante. Ce qui confirme que notre antenne est adaptée très proche à la fréquence de résonance. Le gain de l'antenne quant à lui est autour de 5.22 dB à la fréquence de résonance 28 GHz. Sur les figures 3-3. ((a), (b) et (c)), on représente respectivement les diagrammes de rayonnements polaires en 2D et en 3D de l'antenne à la fréquence de résonance 28 GHz.

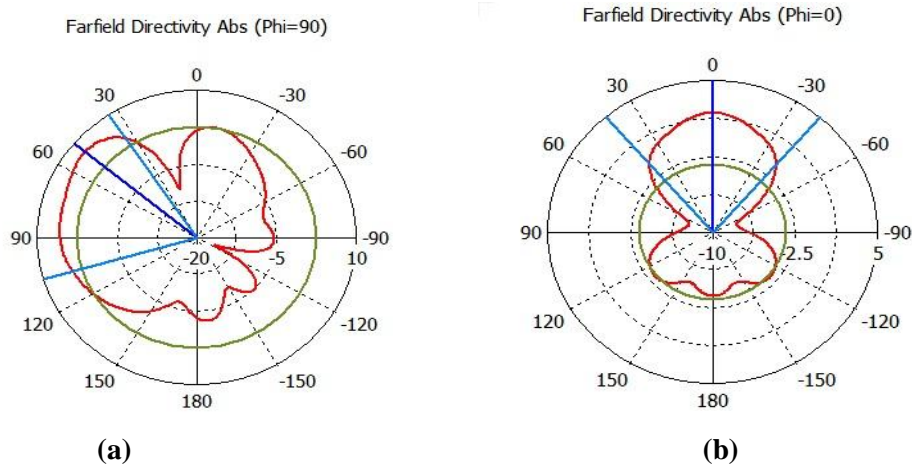


Figure 3-3: (a) : Diagramme de rayonnement en 2D, plan H. (b) : Diagramme de rayonnement en 2D, plan E. (c) : Diagramme de rayonnement en 3D.

On remarque que l'antenne présente un rayonnement presque quasi directionnel dans le plan E ($\varphi = 0^\circ$) et dans le plan H ($\varphi = 90^\circ$). Ces tracés sont vérifiés sur le tracé du diagramme de rayonnement en 3D.

3.2. Conception d'une antenne résonante à 28 GHz avec une nouvelle structure

Après avoir réalisé une antenne patch qui résonne à 28 GHz de forme rectangulaire connue dans la littérature, je vous propose maintenant un nouveau design de l'antenne précitée

Et pour cela, nous avons opté une forme triangulaire parce qu'elle occupe moins de surface sur le substrat que d'autres formes existantes telles que le patch rectangulaire et circulaire, même si elle est connue également dans littérature, cependant on lui a rajouté une étoile au milieu pour arriver enfin à un design nouveau et original tout en obtenant de bonnes performances.

3.2.1. Structure de l'antenne

La structure de l'antenne proposée comme le montre la figure 3-4, présente une étoile insérer au milieu de patch triangulaire (un triangle équilatéral), ses trois côtés ont la même longueur $a=1.305$ mm, Ses trois angles internes ont alors la même mesure de 60 degrés, sachant que tous les autres paramètres sont les mêmes que la première antenne vue précédemment.

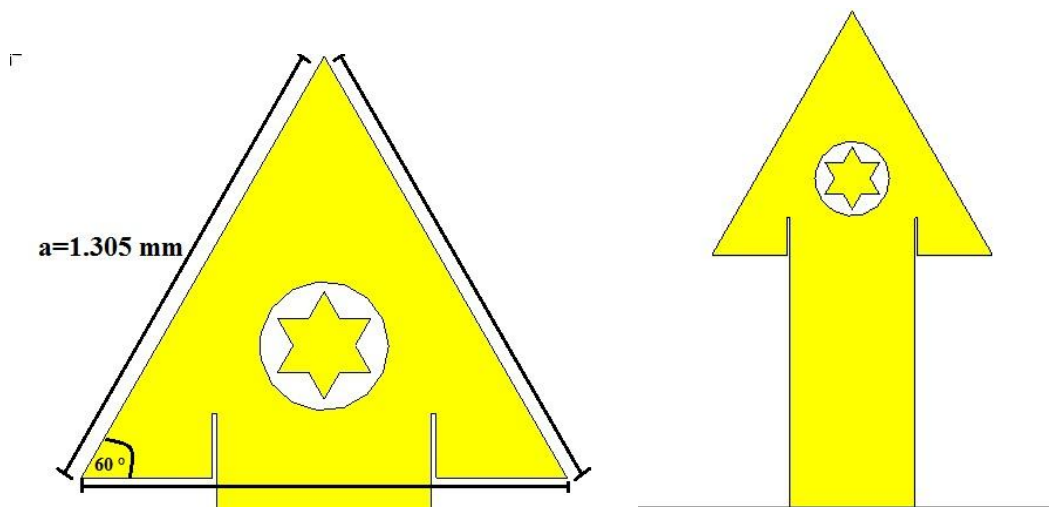


Figure 3-4: Géométrie antenne triangulaire.

3.2.2. Résultats et discussions

Les résultats de simulation pour les valeurs S_{11} , les diagrammes de directivité 3D, et le VSWR sont illustrés sur les figures 3-5 jusqu' à figure 3-10

3.2.2.1. Coefficient de réflexion

Le paramètre S_{11} de l'antenne patch présente un comportement approprié, comme le montre la figure 3-5. L'antenne résonne à 28 GHz, répondant ainsi à cette exigence de conception.

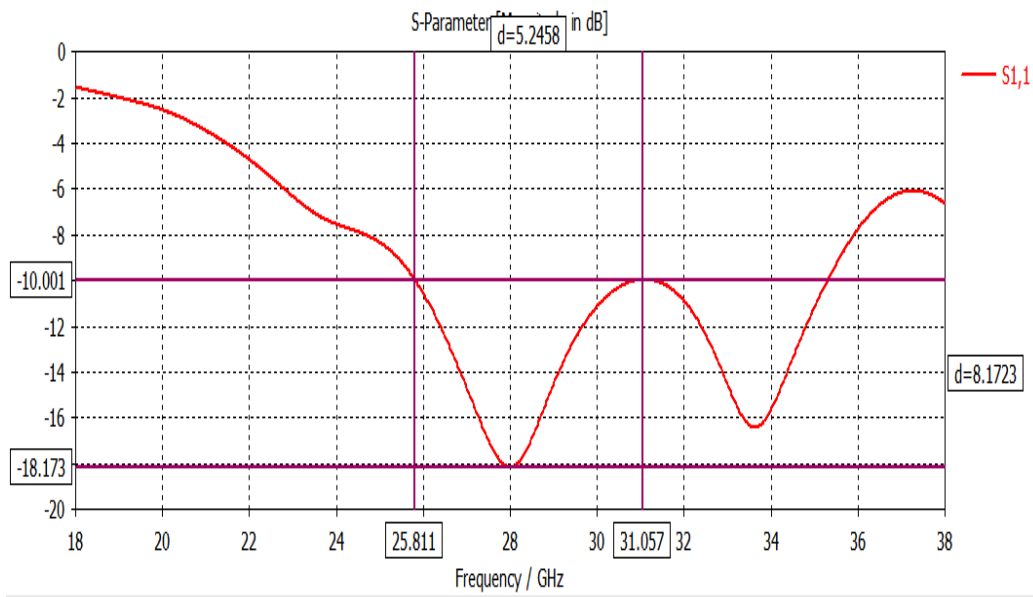


Figure 3-5: Variation de S11 en (dB) en fonction de la fréquence.

On peut visualiser que l'antenne a une largeur de bande maximale de 5.246 GHz autour de la fréquence de résonance (28GHz) dans l'intervalle (31.057 - 25.811) GHz.

3.2.2.1 Taux d'onde stationnaire (VSWR)

Comme le paramètre S11, le taux d'onde stationnaire nous donne également l'appréciation de l'adaptation. Pour la fréquence 28 GHz, nous avons relevé un TOS est < 2 dans la bande passante comme le montre la figure 3-6. Ce qui confirme que notre antenne est adaptée très proche à la fréquence de résonance.

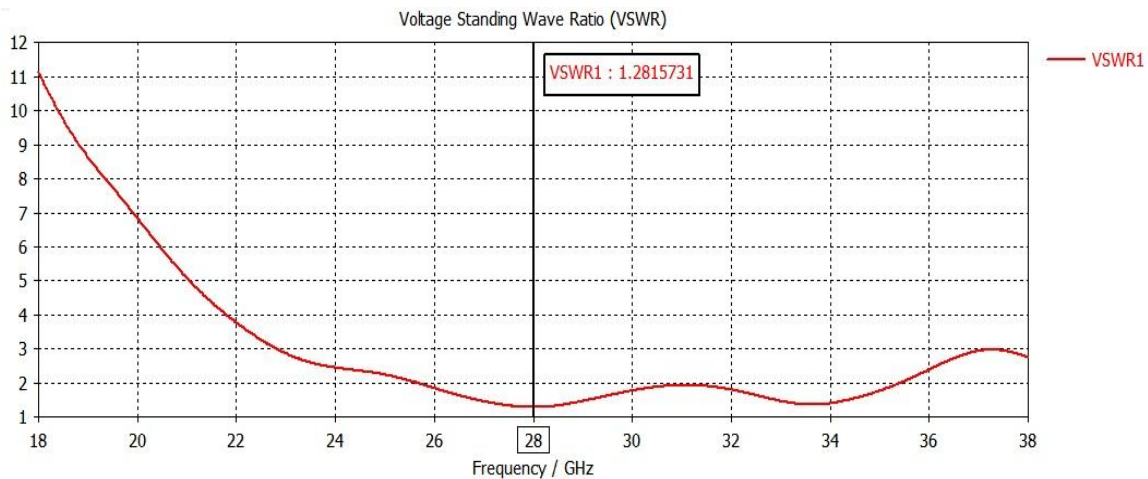


Figure 3-6: VSWR en fonction de la fréquence.

3.2.2.2 Diagramme de rayonnement et du gain

Les figure 3-7 et 3-8 respectivement, représenté le diagramme de rayonnement en présentations polaire et en 3D. Nous remarquons que l'antenne présente un rayonnement directionnel.

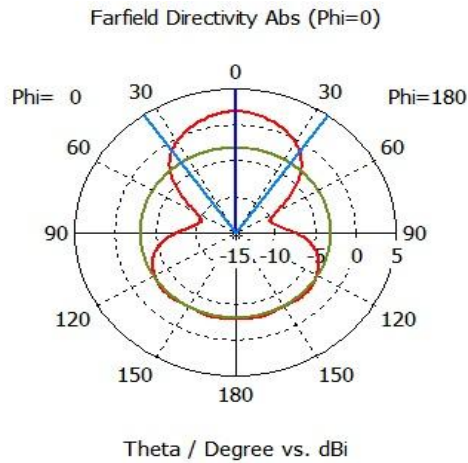


Figure 3-7: Diagramme de rayonnement en présentation polaire phi =0.

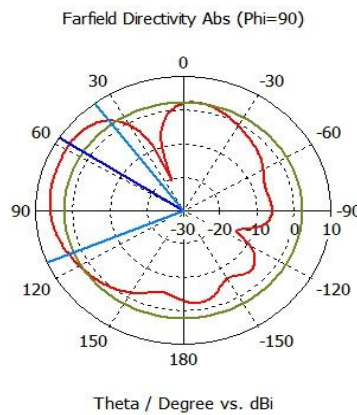


Figure 3-8: Diagramme de rayonnement en présentation polaire phi =90.

Le diagramme de rayonnement de l'antenne a une forme appropriée comme le montre la figure 3-9 parce que le rayonnement est concentré dans la partie supérieure de l'antenne (entre le plan Y et Z), la valeur de gain = 4.606 dB, la directivité maximale = 6.562 dB.

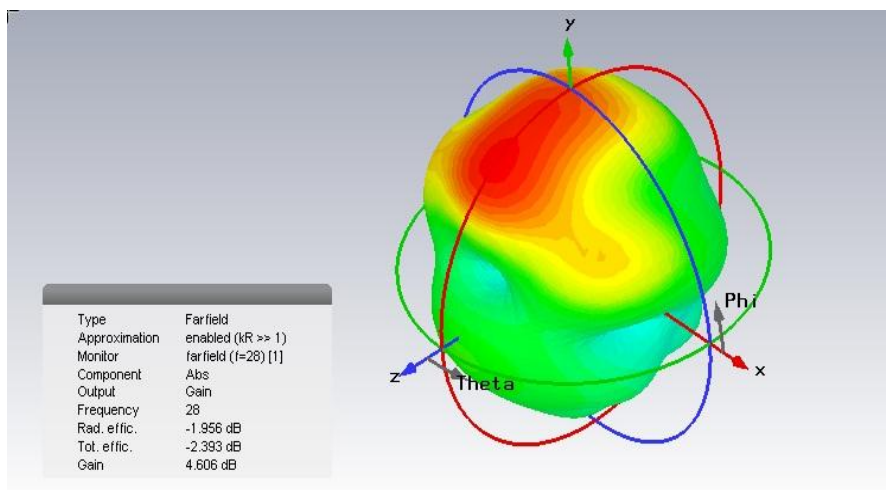


Figure 3-9: Diagramme de rayonnement (gain IEEE) de l'antenne patch.

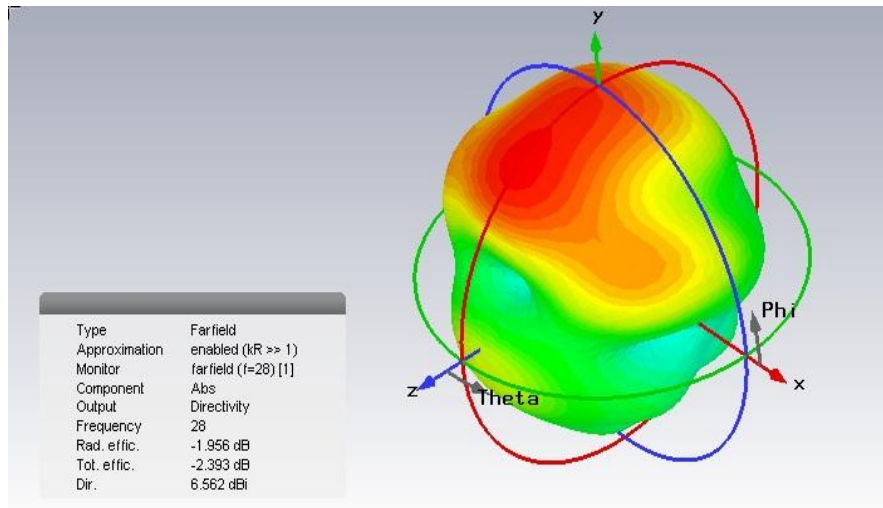


Figure 3-10: Diagramme de rayonnement (directivité) de l'antenne patch.

3.2.2.3 Impédance d'entrée

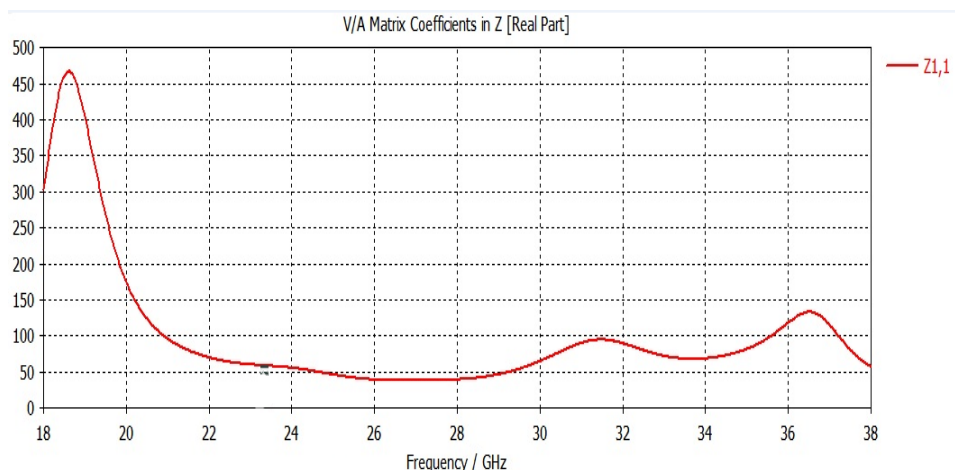


Figure 3-11: Impédance d'entrée de l'antenne (partie réelle).

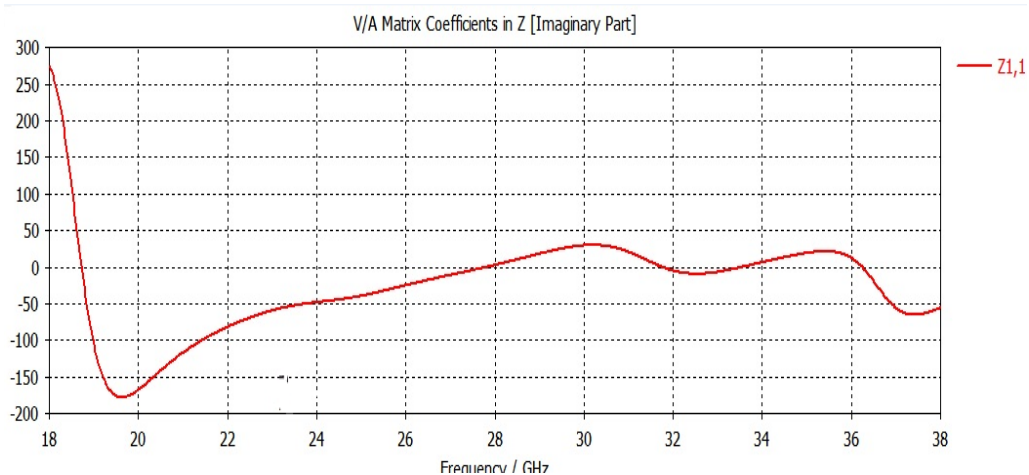


Figure 3-12: Impédance d'entrée de l'antenne (partie imaginaire).

Le résultat de la figure 3-11 présente la partie réelle de l'impédance d'entrée de l'antenne. La valeur est autour l'impédance caractéristique (50 Ohm), ce qui implique un bon transfert de

l'énergie entre l'alimentation et la ligne microruban. La partie imaginaire de l'impédance d'entrée est illustré sur la figure 3-12, nous constatons qu'elle est autour de « 0 » dans la bande souhaitée.

3.2.2.4 Rapport axial

Le rapport axial d'une antenne est défini comme le rapport entre le grand et le petit axe d'un diagramme d'antenne à polarisation circulaire. Si une antenne a une polarisation circulaire parfaite alors ce rapport serait de 1 (0 dB). Cependant il est difficile d'obtenir une polarisation circulaire pure, donc si le rapport axial est égal ou inférieur à 3 dB, c'est une polarisation circulaire et s'il est compris entre 3 et 10 dB c'est une polarisation elliptique, Plus que cela est considéré comme une polarisation linéaire [2][5].

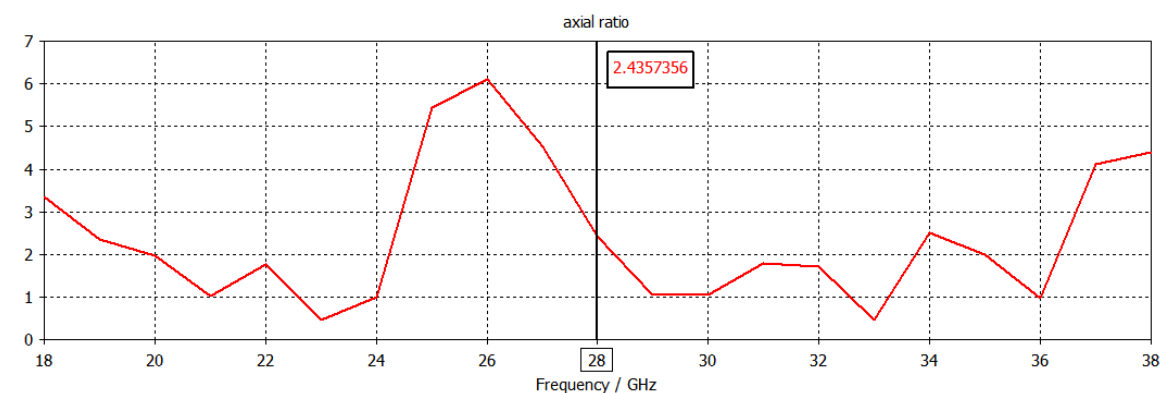


Figure 3-13 : Rapport axial de l'antenne élémentaire.

La figure 3-13 nous montre que la valeur de rapport axial de notre antenne à la fréquence de résonance est inférieure à 3dB (2.43 dB). Donc ça prouve que notre antenne a une bonne polarisation circulaire.

3.2.2.5 Efficacité

Le rapport du gain de l'antenne sur la directivité pour une direction donnée donne l'efficacité dans cette direction, L'efficacité est déduite alors par la relation : $\epsilon_R = \frac{G}{D} = \frac{4.606}{6.562} = 0.701$

Pour notre antenne nous avons une efficacité moyenne d'antenne égale à 70%. Vu que l'efficacité se désigne à la puissance rayonnée de l'antenne et à la puissance fournie. Un transfert moyen de l'énergie ou de puissance estimé à 70% est fourni à cette antenne.

Le tableau (3.2) présente les paramètres précédemment analysés de l'antenne avec un seul élément.

Paramètres	Valeur
Pertes de retour (S11)	S11 _{mín} = -18.17 dB
Directivité	D = 6.562 dB
Gain	G = 4.606 dB
Efficacité de rayonnement (η_{rad})	η_{rad} = -1.956 dB
Efficacité totale (η_T)	η_T = -2.393dB
Bande passante (BW)	BW = 5.246 GHz à S11 = -10 dB
Largeur de faisceau (AW)	AW = 71.3°

Tableau 3-2: Paramètres fondamentaux de l'antenne patch dans la fréquence 28GHz.

4. Mise en place de réseaux d'antennes pour la bande des 28 GHz à partir de l'élément précédemment conçu

4.1. Techniques d'alimentation d'un réseau d'antennes imprimées

L'objectif du réseau d'alimentation d'antenne est de fournir de l'énergie à différentes sources tout en respectant la loi de pondération. La technique la plus simple consiste à alimenter les éléments rayonnants par des lignes micro ruban. Le réseau d'excitation peut avoir diverses structures selon les besoins.

Le principe de répartition d'énergie se fait par utilisation des lignes microruban et des transformateurs d'impédances quartes d'ondes. Les déphaseurs dans le circuit d'alimentation peuvent être formés d'éléments supraconducteurs [2].

Toutes les architectures d'alimentations sont supposées uniformes de point de vue distribution de puissance (les patches doivent être alimentés avec la même puissance). Il faut prendre en compte que les signaux émis par les sources sont tous avec la même fréquence en fonction du temps. [34]

Le circuit d'excitation peut adopter diverses architectures, on distingue deux type l'alimentation en série et l'alimentation en parallèle. Le choix de l'une ou de l'autre se fait en fonction de différents paramètres qui sont soit la loi de pondération souhaitée (en amplitude et ou en phase), soit la bande passante souhaitée.

4.1.1 Alimentation en parallèle

L'alimentation en parallèle, est illustrée dans Figure 3-14 où les éléments de patch sont alimentés en parallèle par les lignes de transmission de diviseurs de puissance. La ligne de transmission se divise en deux branches et chaque branche se divise à nouveau jusqu'à ce qu'il atteigne les éléments de patch. Les réseaux parallèles seront plus gênants que les réseaux en

série. De plus, il convient de noter qu'un réseau parallèle présente des longueurs de lignes supérieures et un plus grand nombre de coudes ce qui cause d'avantage de pertes [34].

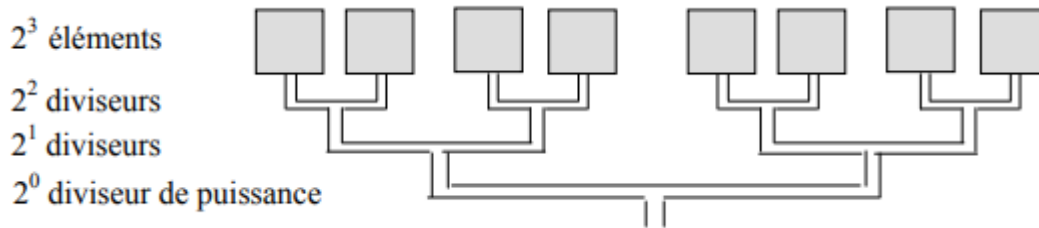


Figure 3-14: Réseau linéaire avec une alimentation parallèle

4.1.2 Alimentation en série

Dans une configuration d'alimentation en série, plusieurs éléments sont disposés linéairement et alimentés en série par une seule ligne de transmission. Il y a un déphaseur à l'entrée de chaque ligne, qui lui-même est lié de façon orthogonale à un guide d'alimentation commun (voir figure 3-15).

La distance des connexions des lignes sur la ligne principale doit être uniforme, et les signaux doivent arriver en phase jusqu'aux déphaseurs pour ne pas s'induire dans des erreurs de phase [34].

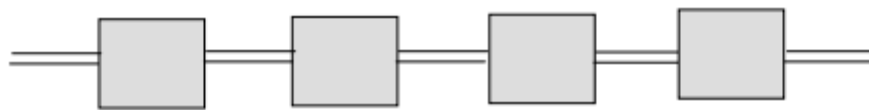


Figure 3-15: Réseau linéaire avec une alimentation en série.

5. Diviseur de puissances

5.1 Définition d'un diviseur de puissance

Les diviseurs de puissance RF ou répartiteurs de puissance sont des dispositifs RF passifs qui divisent un signal d'entrée en deux ou plusieurs signaux de sortie avec des pertes minimales. Les diviseurs de puissance sont largement utilisés dans les réseaux d'antennes, les amplificateurs équilibrés, les mélangeurs, les multiplicateurs de fréquence, etc...

L'utilisation de ces diviseurs est pour assurer une alimentation d'un réseau d'antennes, pour répartir la puissance de manière égale dans tout le réseau un chemin doit être branché en utilisant un ou plusieurs diviseurs de puissance permettant de faire une jonction entre une entrée d'une seule voie avec la sortie de plusieurs voies [17].

Les signaux de sortie générés par le diviseur de puissance sont généralement d'amplitude et de phase égale, mais en fonction des diviseurs requis, l'amplitude et la phase des signaux à la sortie peuvent varier [17].

Parmi les diviseurs les plus utiles dans les systèmes de communications sans fils, on peut citer :

Les diviseurs WPD, GPD, BDP et Le diviseur résistif adapté ainsi que le type de Diviseurs de puissance à N voies et aussi on peut trouver des réseaux à trois ports prennent la forme d'une jonction T [17].

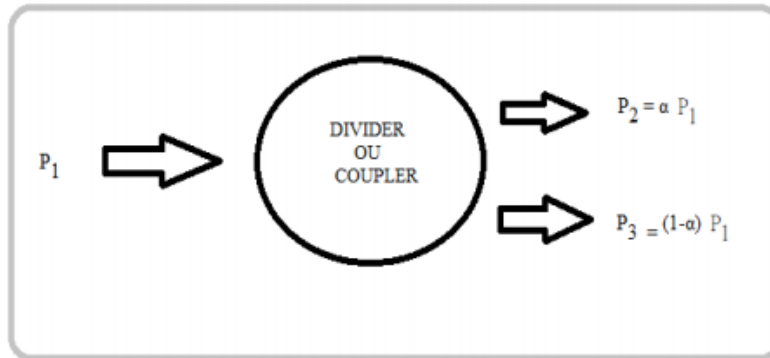


Figure 3-16: Schéma d'un diviseur de puissance [34].

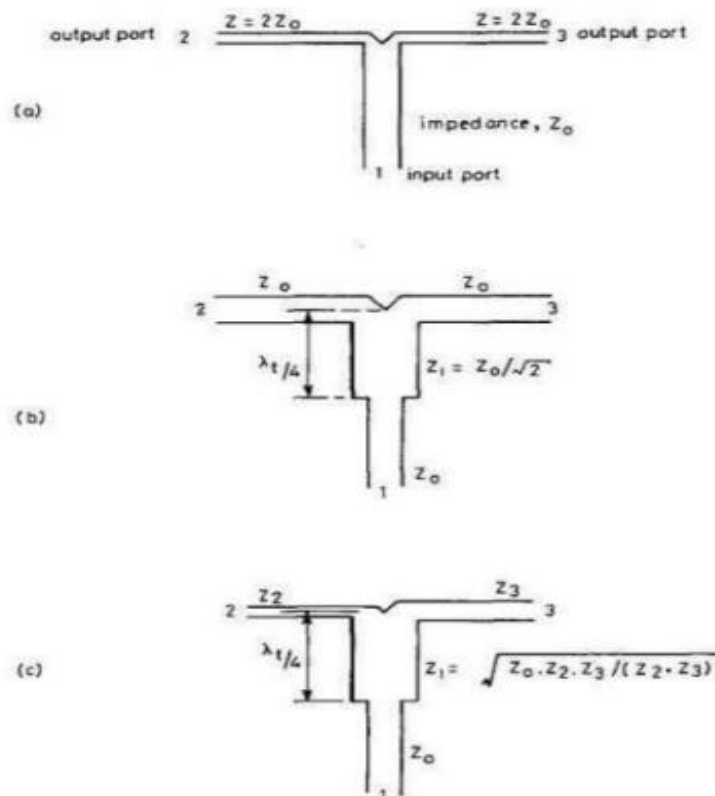


Figure 3-17: Exemples sur la jonction T [34].

L'exemple illustré à la figure 3-17 (a) est le plus simple, car l'impédance d'entrée est adaptée, en contrepartie, les impédances de sorties sont terminées avec la double valeur de l'impédance

d'entrée. Dans ce cas, la valeur de l'impédance d'entrée est de 50Ω , alors que l'impédance de sortie aura la valeur de 100Ω . Concernant l'exemple (3-17) (b), les ports ont tous la même impédance de 50Ω .

Dans notre travail, nous choisissons le diviseur de puissance de forme jonction T, car ce type est facile à modéliser, fabriquer, calculer et modifier, il est donc compatible avec La structure du réseau d'antennes. Il donne la forme de l'arbre.

Cette jonction permet d'augmenter le mouvement du courant dans les coudes de celle-ci, qui engendre une consommation de ce courant dans le réseau, et qui permet aussi la division symétrique de la puissance d'entrée à l'extrémité des coudes pour la réflexion des ondes, la figures (3-18) suivante montre la jonction de notre travail :

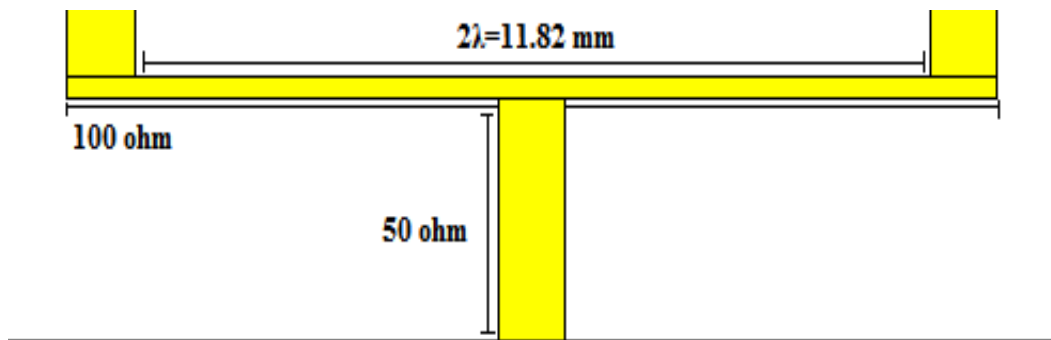


Figure 3-18: Structure de jonction T d'alimentation.

6 Réseau d'antenne à 2 éléments

6.1 Structure de réseau d'antenne proposée

Dans cette partie, nous allons nous focaliser sur l'étude de la conception d'un réseau d'antennes à deux éléments afin de d'augmenter la directivité et le gain. L'antenne Élémentaire utilisée dans ce réseau est notre antenne étoile conçue précédemment dans le chapitre.

En plus de la jonction T nous avons utilisé une adaptation quart de onde à la sortie de la ligne pour mieux adapter notre réseau comme le montre la figure qui suit (figure 3-19).

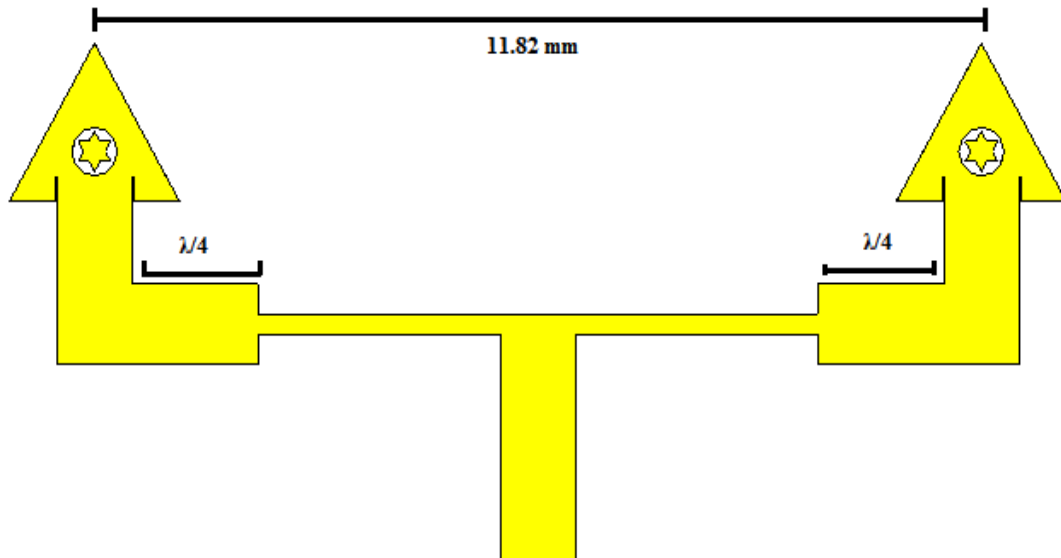
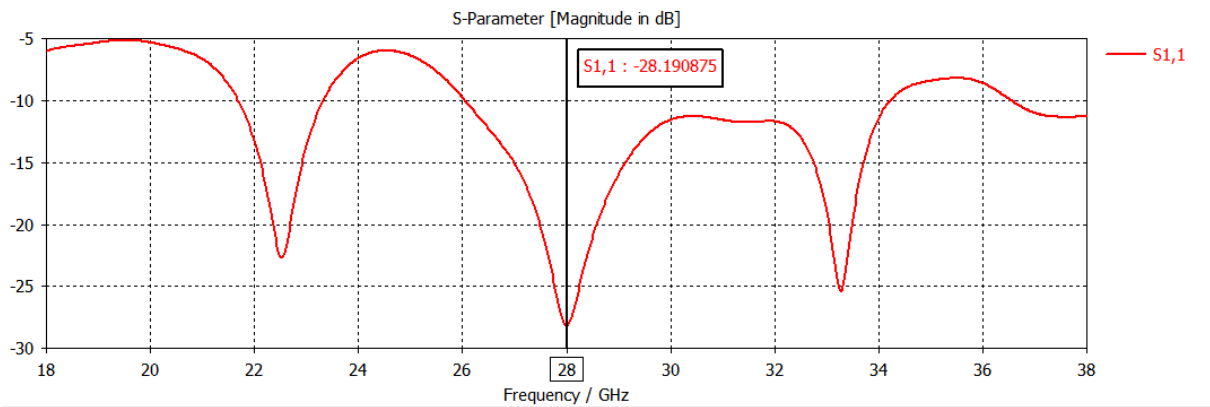


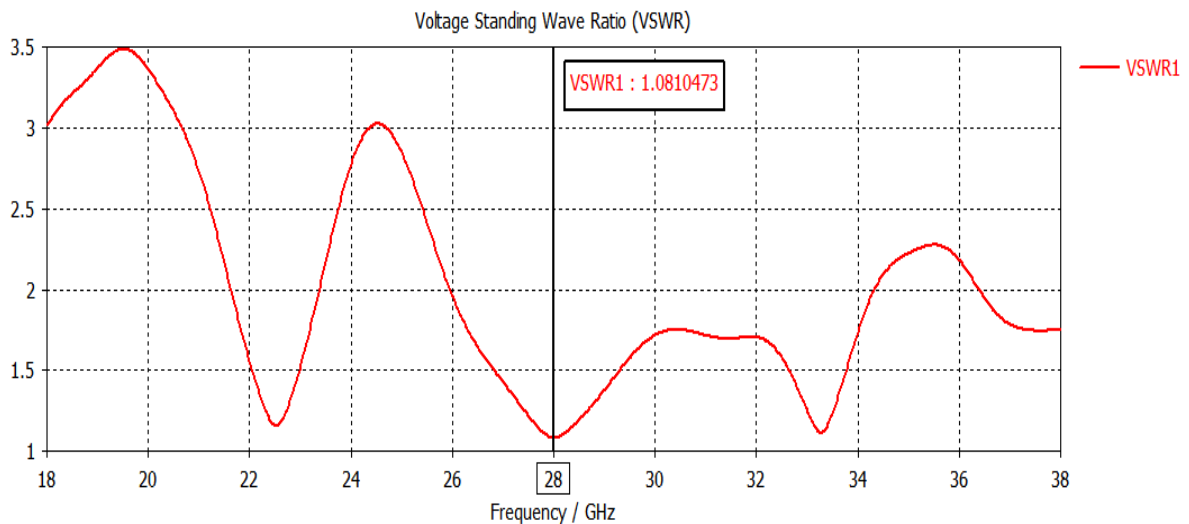
Figure 3-19 : Structure de jonction de la division reliée avec 2 éléments.

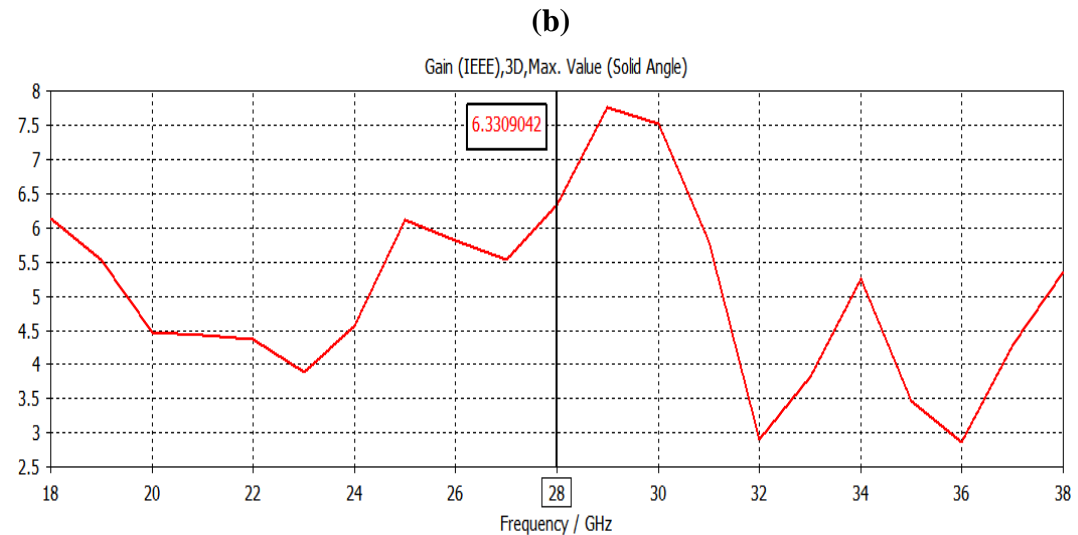
6.2 Résultats et discussions

Sur la figure 3-20. ((a) et (b)) et (c)), on représente respectivement le coefficient de réflexion, le taux d'onde stationnaire TOS et le gain de réseau d'antenne a 2 éléments.



(a)





(c)

Figure 3-20: (a) : Coefficient de réflexion. (b) : Taux d'onde stationnaire. (c) : Gain de l'antenne.

La figure 3-20 (a) montre que l'adaptation est bien réalisée puisque le coefficient de réflexion S11 atteint un niveau proche de -28.19dB à la fréquence de résonance 28 GHz, On peut visualiser que l'antenne a une largeur de bande maximale de 8.1674 GHz.

Autour de la fréquence de résonance (28GHz) dans l'intervalle (26.05 – 34.218) GHz. Nous avons présenté aussi le rapport d'onde stationnaire, nous avons relevé un TOS est < 2 dans la bande passante. Ce qui confirme que notre antenne est adaptée très proche à la fréquence de résonance. Le gain de l'antenne quant à lui est autour de 6.33 dB à la fréquence de résonance 28 GHz.

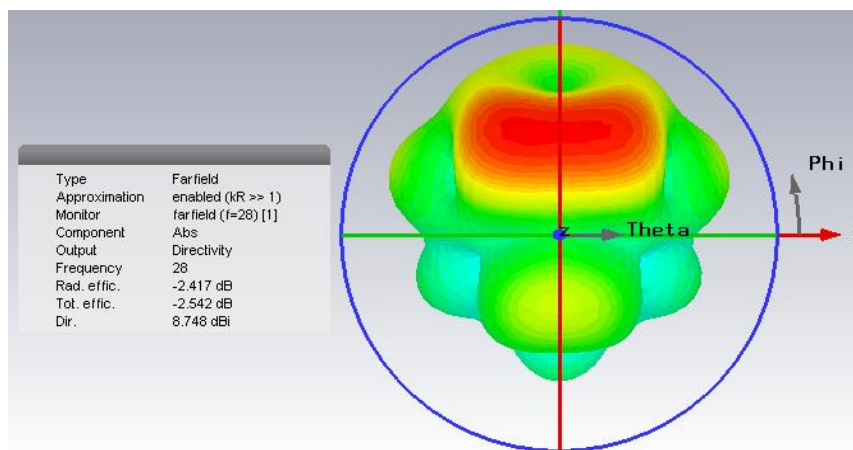


Figure 3-21 : Diagramme de rayonnement (directivité) de réseau d'antenne à 2 éléments.

Le diagramme de rayonnement de l'antenne a une forme appropriée comme le montre la figure 3-21 parce que le rayonnement est concentré dans la partie supérieure de l'antenne (entre le plan Y et Z), la valeur de la directivité maximale = 8.748 dB.

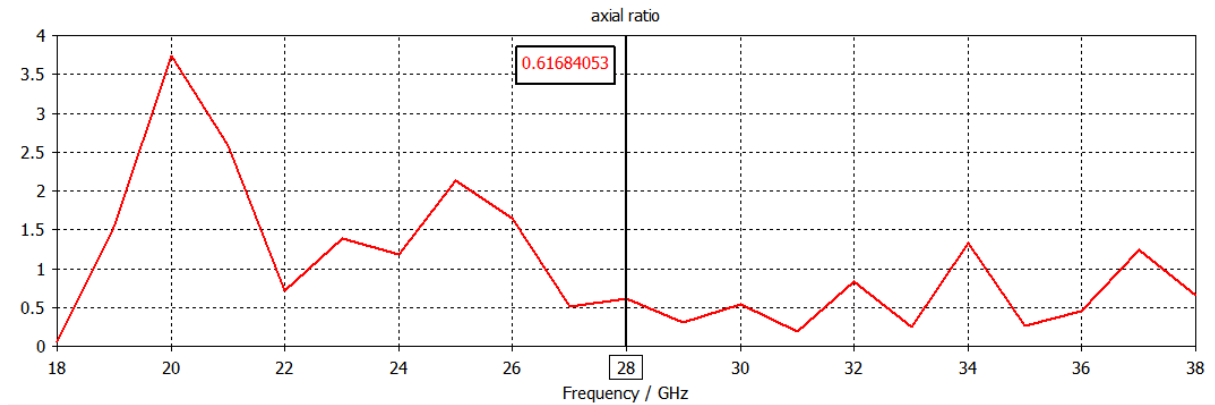


Figure 3-22: Rapport axial de réseau d'antenne a 2 éléments.

La figure 3-22 nous montre que la valeur de rapport axial de notre antenne à la fréquence de résonance est inférieure à 3dB (0.61 dB). Donc ça prouve que notre antenne a une excellente polarisation circulaire.

Le tableau (3.3) présente les paramètres précédemment analysés de l'antenne réseau avec deux éléments.

Paramètres	Valeur
Pertes de retour (S11)	S11 _{mín} = -28.19 dB
Directivité	D = 8.748 dB
Gain	G = 6.33 dB
Efficacité de rayonnement (η_{rad})	η_{rad} = -2.417dB
Efficacité totale (η_T)	η_T = -2.542 dB
Bande passante (BW)	BW = 8.1674 GHz
Largeur de faisceau (AW)	AW = 28.1°

Tableau 3-3: Paramètres fondamentaux de réseau d'antennes à 2 éléments.

7. Réseau d'antenne à 4 éléments

7.1 Structure de réseau d'antenne proposée

Dans cette partie, nous allons nous focaliser sur l'étude de la conception d'un réseau d'antennes à quatre éléments afin de d'augmenter la directivité et le gain. L'antenne Élémentaire utilisée dans ce réseau est notre antenne étoile conçue précédemment dans le chapitre.

En ce qui suit, nous décrivons la structure du réseau proposé et nous validons ces performances à travers une série de simulations qui évaluent l'amélioration obtenue en termes de gain. Comme le montre la figure qui suit (figure 3-23) la structure de réseau d'antennes à quatre éléments proposés.

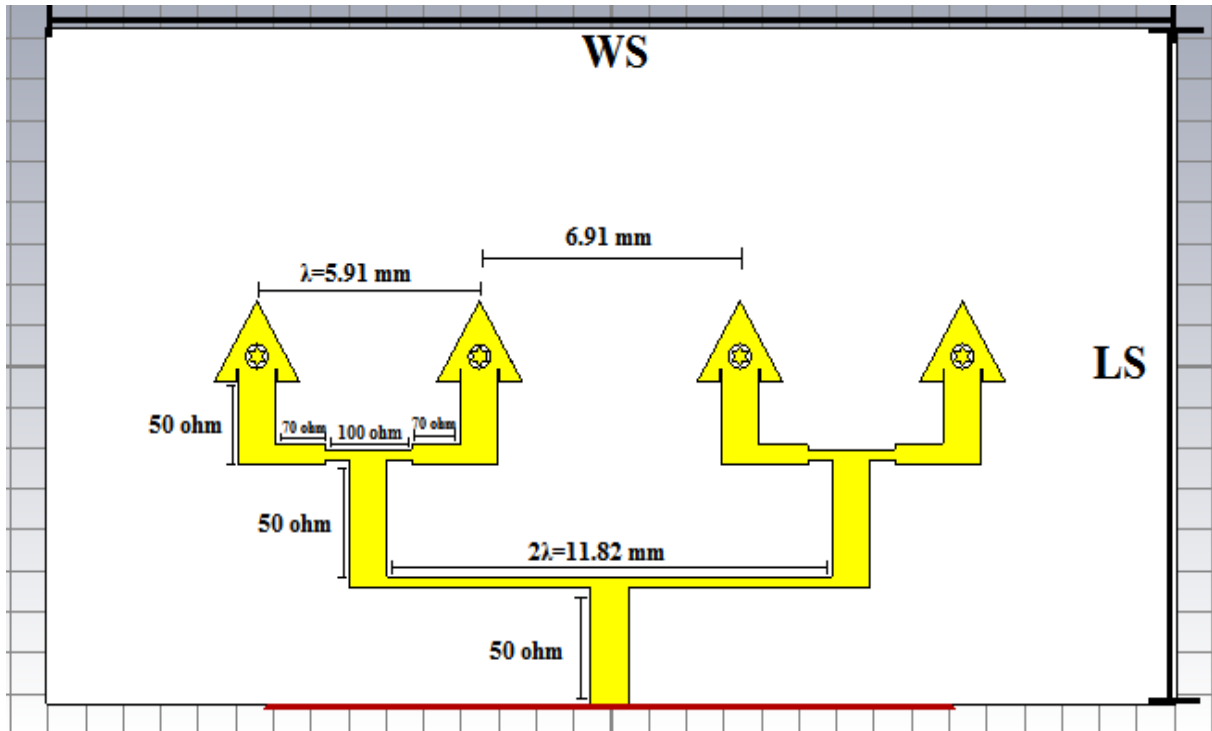


Figure 3-23 : Réseau d'antenne à 4 éléments proposé.

Le tableau (3-4) résume les valeurs des principaux paramètres suivis dans la conception de notre réseau d'antennes proposé :

Les paramètres	'Ws' (Largeur de Substrat et de plan de masse)	'Ls' (Longueur de Substrat et de plan de masse)	'Hs' (Épaisseur De substrat)	'λ' (L'espace entre Les 2 éléments du patch)
La valeur (mm)	30	16.44	1.6	5.91

Tableau 3-4 : Dimensions du réseau d'antennes patch.

7.2 Résultats et discussions

7.2.1 Coefficient de réflexion

Le résultat montré sur la Figure 3-24 représente le S_{11} (dB) en fonction de la fréquence indiquant la fréquence de résonance fondamentale de 28 GHz.

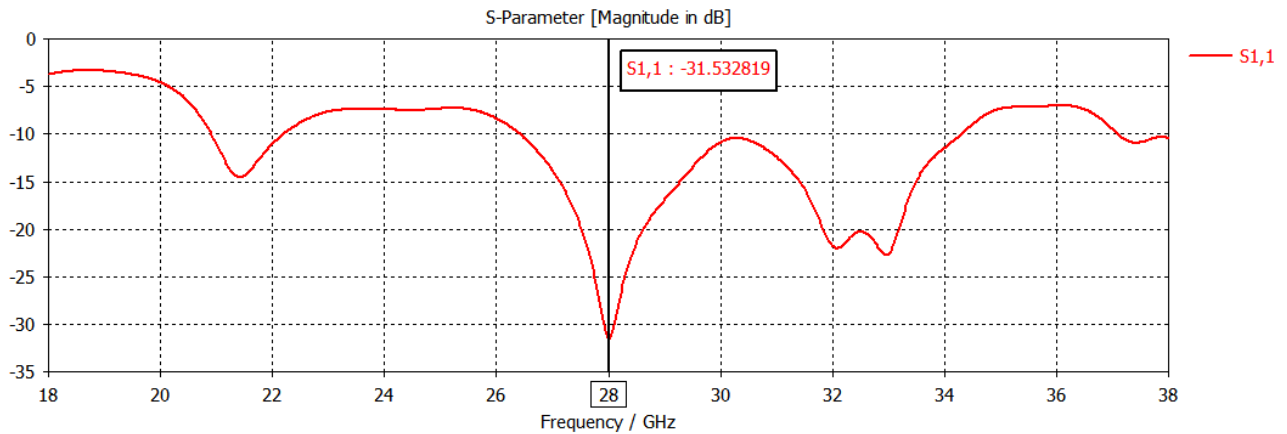


Figure 3-24 : S11(dB) en fonction de la fréquence.

On peut visualiser que l'antenne a une largeur de bande maximale de 7.8724 GHz autour de la fréquence de résonance (28GHz) dans l'intervalle (26.423 – 34.296) GHz.

7.2.2 Impédance d'entrée

Le résultat de la figure 3-25 présente la partie réelle de l'impédance d'entrée de l'antenne. La valeur est autour l'impédance caractéristique (50 Ohm), ce qui implique un bon transfert de l'énergie entre l'alimentation et la ligne microruban.

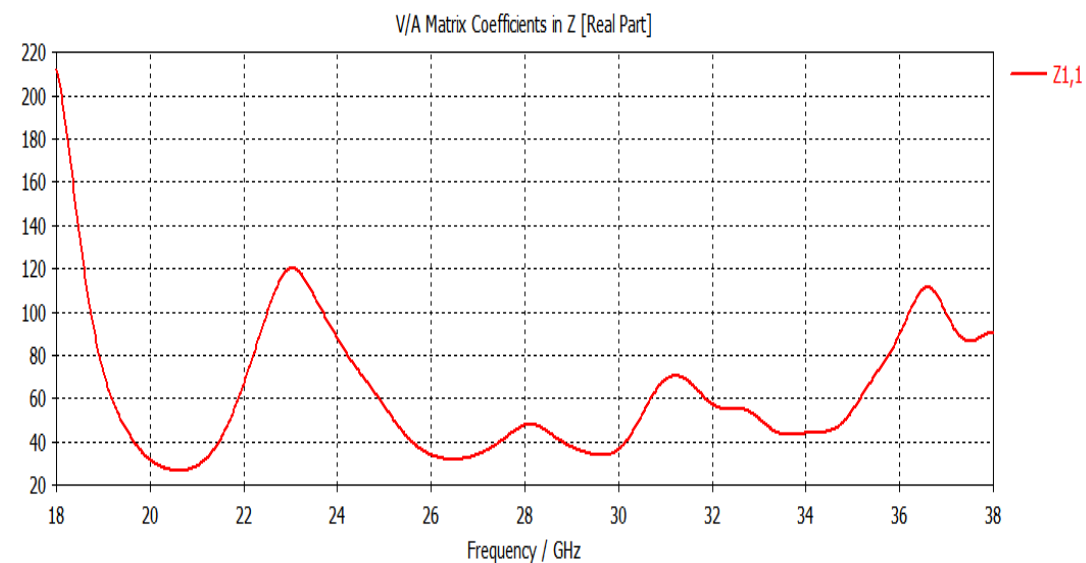


Figure 3-25 : Le résultat de l'impédance d'entrée de réseau.

7.2.3 Taux d'onde stationnaire (VSWR)

Comme le paramètre S11, le taux d'onde stationnaire nous donne également l'appréciation de l'adaptation. Pour la fréquence 28 GHz, nous avons relevé un TOS est < 2 dans la bande passante. Ce qui confirme que notre antenne est adaptée très proche à la fréquence de résonance.

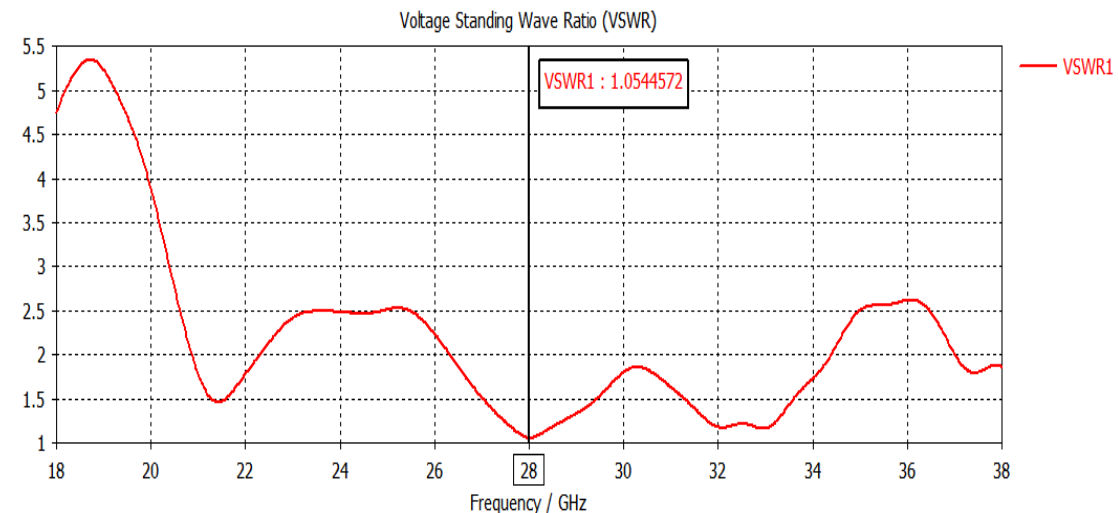


Figure 3-26 : VSWR en fonction de la fréquence.

7.2.4 Diagramme de rayonnement

Les figures (3-27 jusqu' à 3-30) représenté le diagramme de rayonnement en présentations polaire et en 3D. Nous remarquons que l'antenne présente un rayonnement directionnel localisés dans le plan Z avec une largeur de faisceau égale à 26.7° .

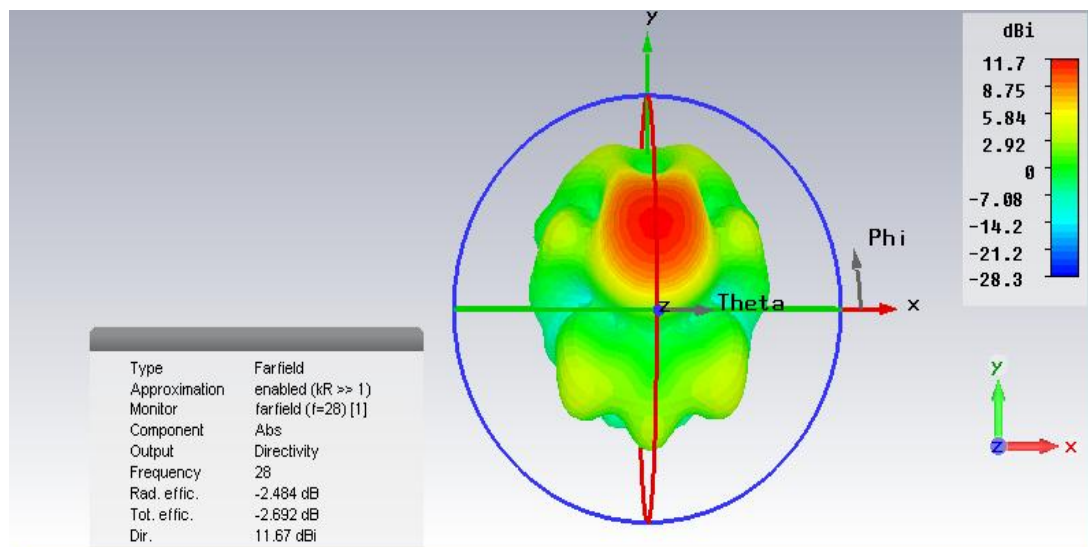


Figure 3-27: Diagramme de rayonnement (directivité) de réseau d'antenne.

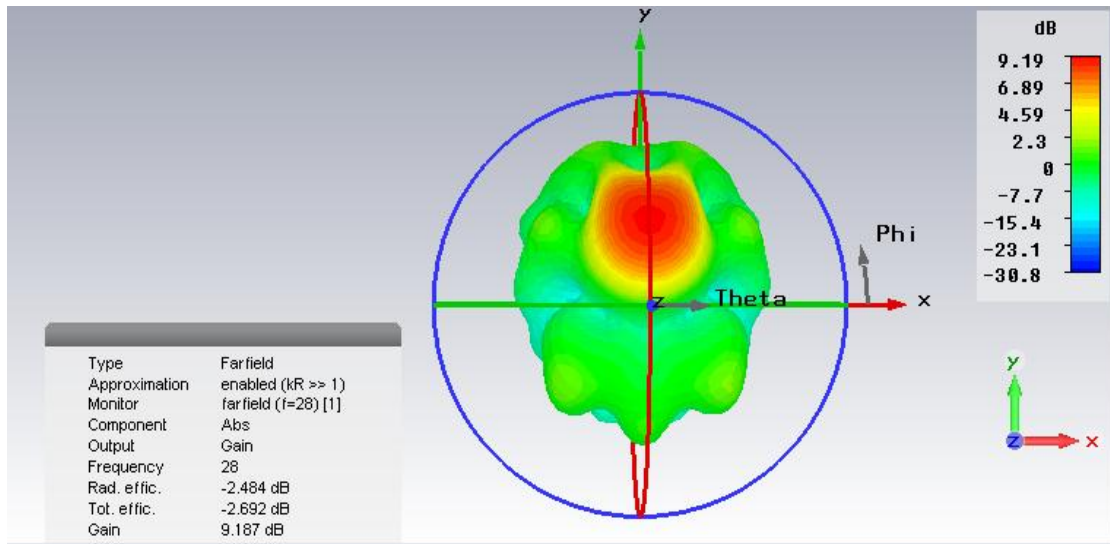


Figure 3-28 : Diagramme de rayonnement (Gain) de réseau d'antenne.

Le diagramme de rayonnement de l'antenne a une forme appropriée comme le montre la figure 3-28 parce que le rayonnement est concentré dans la partie supérieure de l'antenne (plan Z), la valeur de gain = 9.187dB, la directivité maximale = 11.67 dB.

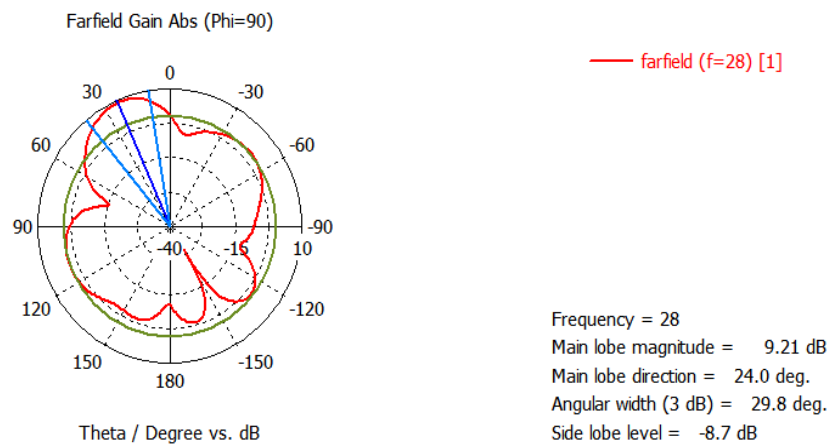


Figure 3-29:Diagramme de rayonnement en présentation polaire phi =90

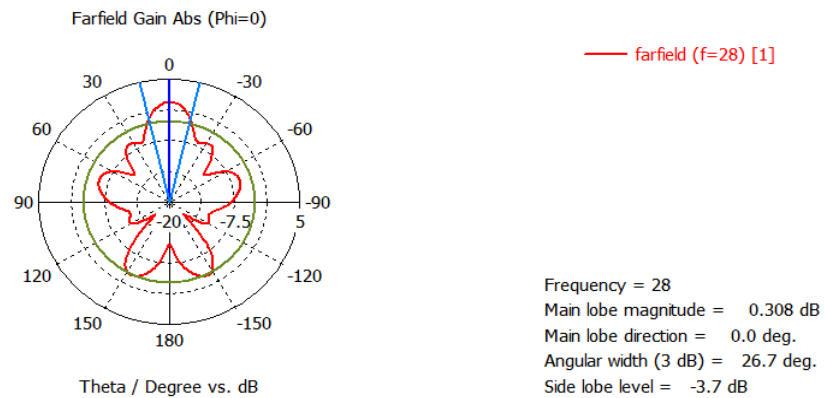


Figure 3-30 : Diagramme de rayonnement polaire de réseau l'antenne sur le plan E.

D'après les résultats de la figure (3-29 et 3-30), nous observons que le diagramme de rayonnement polaire de notre antenne il est bien directionnel. Or sur le plan E ($\varphi = 0$ la figure 3-30), nous remarquons que seulement le lobe principal dépasse 3 dB contrairement aux autres lobes secondaires.

7.2.5 Rapport axial

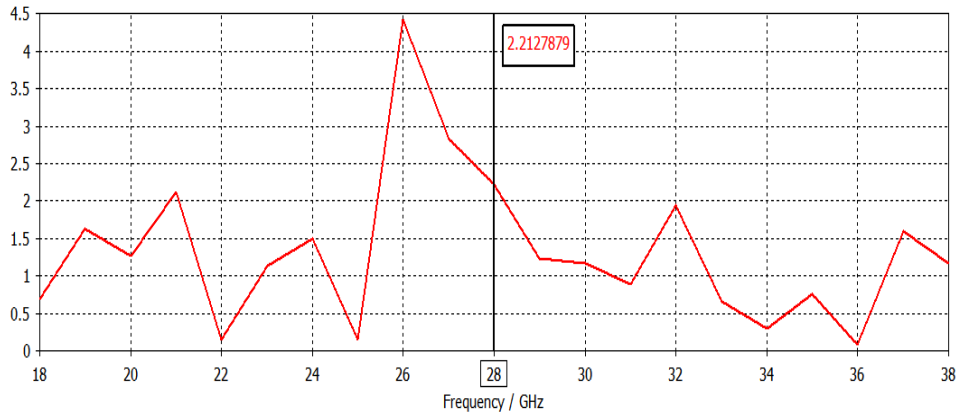


Figure 3-31: Rapport axial de réseau d'antenne.

La figure 3-31 nous montre que la valeur de rapport axial de notre antenne à la fréquence de résonance est inférieure à 3dB (2.21dB). Donc ça prouve que notre antenne a une bonne polarisation circulaire.

Le tableau (3-5) présente les paramètres précédemment analysés du réseau d'antennes proposé.

Paramètres	Valeur
Pertes de retour (S11)	S11_{mín} = -31.53 dB
Directivité	D = 11.67 dB
Gain	G = 9.187 dB
Efficacité de rayonnement (η_{rad})	η_{rad} = -2.484 dB
Efficacité totale (η_T)	η_T = -2.692 dB
Bande passante (BW)	BW = 7.8724 GHz
Largeur de faisceau (AW)	AW = 26.7°

Tableau 3-5: Paramètres fondamentaux de réseau d'antennes à 4 éléments.

8. Comparaison des résultats

Au cours des dernières années, des efforts importants ont été déployés dans la conception des réseaux d'antennes pour les applications en bande ka. Afin de valider les performances de notre réseau d'antennes, nous citons à titre comparatif le travail de recherche intitulé « Design and Analysis of 28 GHz Millimeter Wave Antenna for 5G Communication Systems » proposé par D. Mungur et S. Duraikannan [35]. Ce travail présente un modèle d'un réseau d'antennes destiné aux applications de la 5G ; le réseau est composé de quatre éléments (antennes) rectangulaires avec distribution uniforme, comme les performances de conception proposées sont évaluées sur différents types de substrats, notre analyse comparative sera non seulement pour juger les performances de notre antenne mais aussi pour étudier l'influence des paramètres du substrat sur les performances de l'antenne. Le tableau 3-6 récapitule les caractéristiques de notre réseau ainsi du travail cité.

Paramètres	Nos résultats	Résultat de l'article [35]
Substrat	FR4	FR4
Constante diélectrique	4.3	4.34
Tangente de perte diélectrique	0.025	0.013
Épaisseur (mm)	1.6	0.254
Fréquence de résonance (GHz)	28	27.01
S_{11} (-dB)	31.53	12.5
Bande passante (MHz)	7872.4	346.5
Directivité	11.67	16.29
Gain	9.187	8.69
Efficacité	78%	53%

Tableau 3-6: Paramètres de comparaison.

Comme nous pouvons le constater, le réseau d'antenne proposé par D. Mungur et S. Duraikannan possède une petite épaisseur qui le rend moins encombrant, mais au détriment d'une bande passante étroite tandis que notre conception offre un compromis plus que satisfaisant entre la taille et la largeur de bande passante. Si on compare notre réseau avec celui similaire (même substrat FR4) Contenu dans l'article, on relève que notre réseau permet d'aboutir à une adaptation et une efficacité plus intéressante que celle du travail de référence

tout en gardant un gain relativement élevé, néanmoins il reste insuffisant pour répondre à l'exigence de la communication spatiale avec des satellites géostationnaires.

Paramètres	Nos résultats	Résultat de l'article [35]		
		FR4	Taconic TLC	RT Duroid 5880
Substrat	FR4	FR4	Taconic TLC	RT Duroid 5880
Constante diélectrique	4.3	4.34	3.2	2.2
Tangente de perte diélectrique	0.025	0.013	0.002	0.0009
Épaisseur (mm)	1.6	0.254	0.254	0.254
Fréquence de résonance (GHz)	28	27.01	26.93	27.79
S11 (-dB)	31.53	12.5	10.72	17.6
Bande passante (MHz)	7872.4	346.5	152	540.8
Directivité	11.67	16.29	16.25	22.89
Gain	9.187	8.69	14.33	22.28
Efficacité	78%	53%	88%	97%

Tableau 3-7: Comparaison des résultats de l'antenne.

D'autre part si on compare notre réseau avec les autres réseaux de l'article conçu avec différents types de substrat, on remarque que le réseau composé de substrat (RT Duroid 5880) a un meilleur gain grâce notamment à la tangente de perte diélectrique de ce dernier qui a un impact direct sur la directivité et l'efficacité de l'antenne. Plus elle est petite, plus la directivité et l'efficacité augmentent ainsi que le gain [35]. Toutefois notre réseau reste le plus complet et le plus équilibré. Il résonne parfaitement dans la fréquence demandée avec un bon coefficient de réflexion et une bande passante favorable. Le seul paramètre qui reste à améliorer est le gain.

Donc pour remédier à ces problématiques, deux solutions se présentent :

- 1- Augmenter la taille du réseau passant de 4 éléments à 8 ou 16 jusqu'à avoir un gain supérieur à 20dB.
- 2- Changer le substrat de notre antenne en utilisant un autre ayant davantage de performances. Comme le changement du substrat implique le changement aussi de la constante diélectrique cela affecte les dimensions de l'antenne élémentaire donc pour cela nous allons essayer la première solution en augmentant la taille du réseau passant de 4 antennes à 8 ,16 éléments.

9. Réseau d'antenne à 8 éléments

La conception de cette structure d'antenne suit la même logique que le réseau de 4 éléments, on a ajouté une branche de 4 éléments en parallèle et en symétrie avec celle des 4 éléments précédents Comme le montre la figure qui suit (figure 3-32).

9.1 Structure de réseau d'antenne proposée

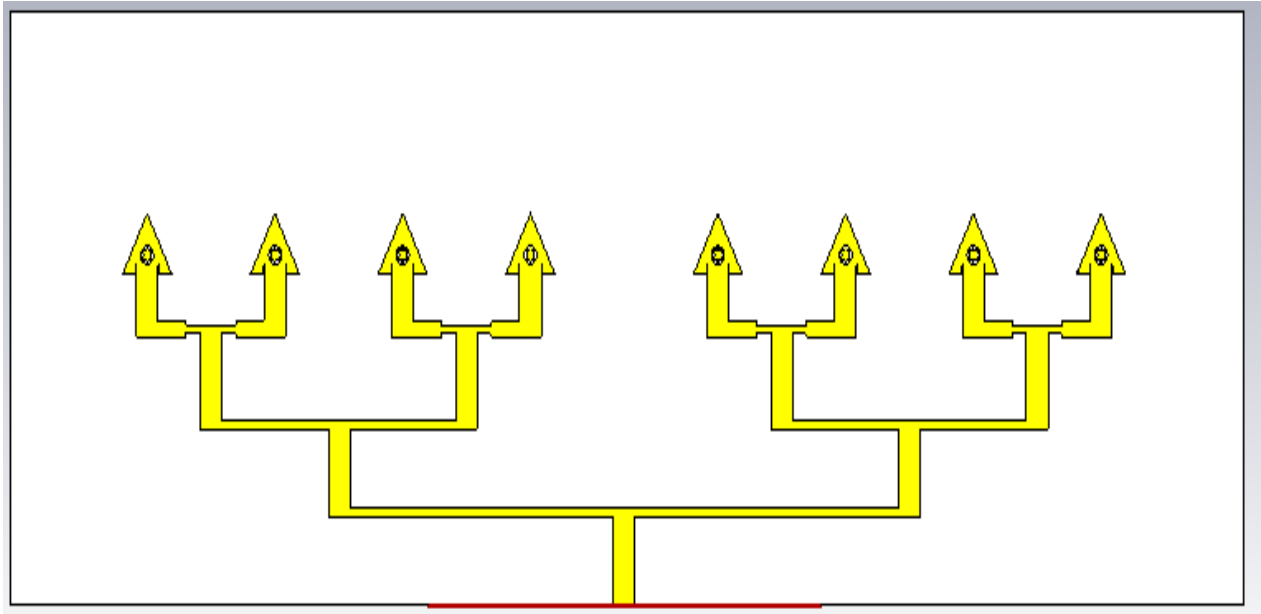


Figure 3-32: Le réseau d'antenne à 8 éléments proposé.

9.2 Résultats et discussions

9.2.1 Coefficient de réflexion

Le résultat montré sur la Figure 3-33 représente le S_{11} (dB) en fonction de la fréquence indiquant la fréquence de résonance fondamentale de 29.98 GHz.

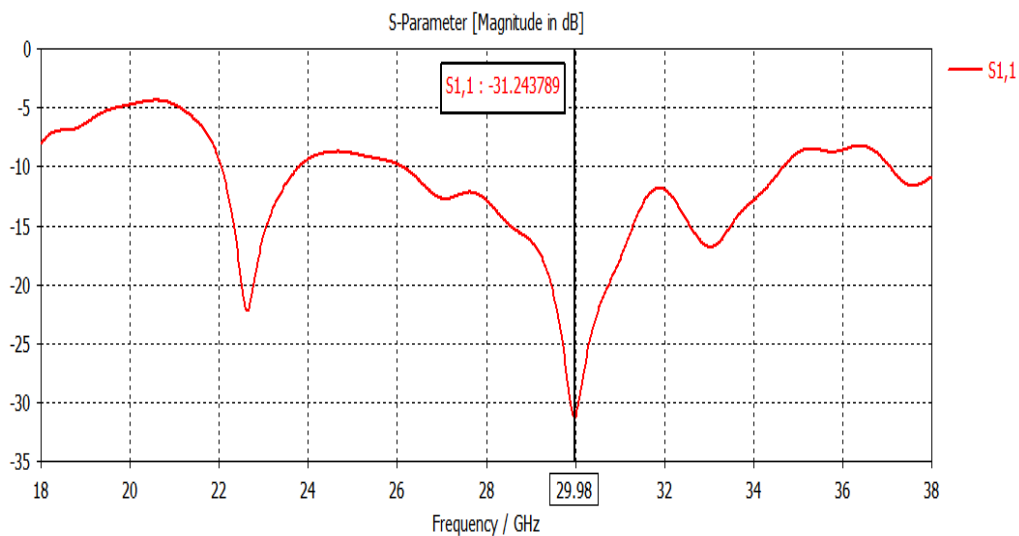
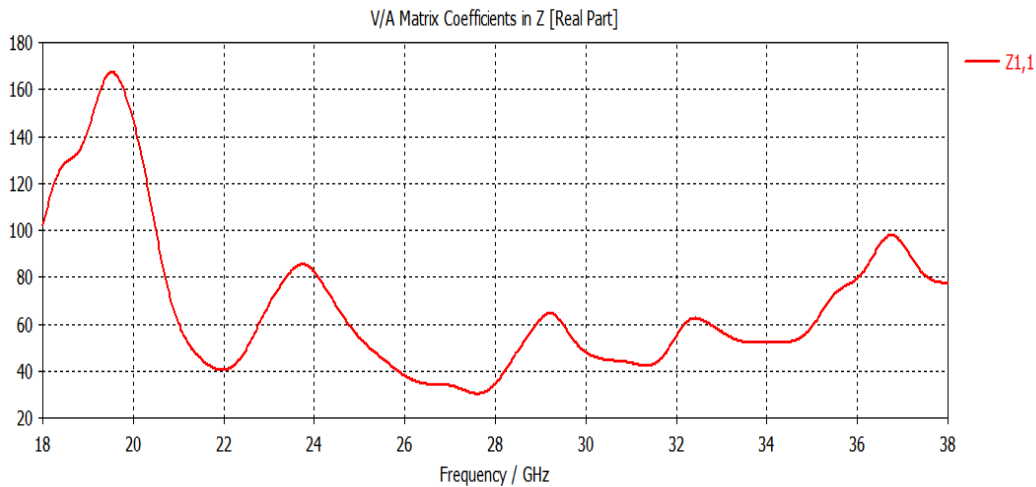


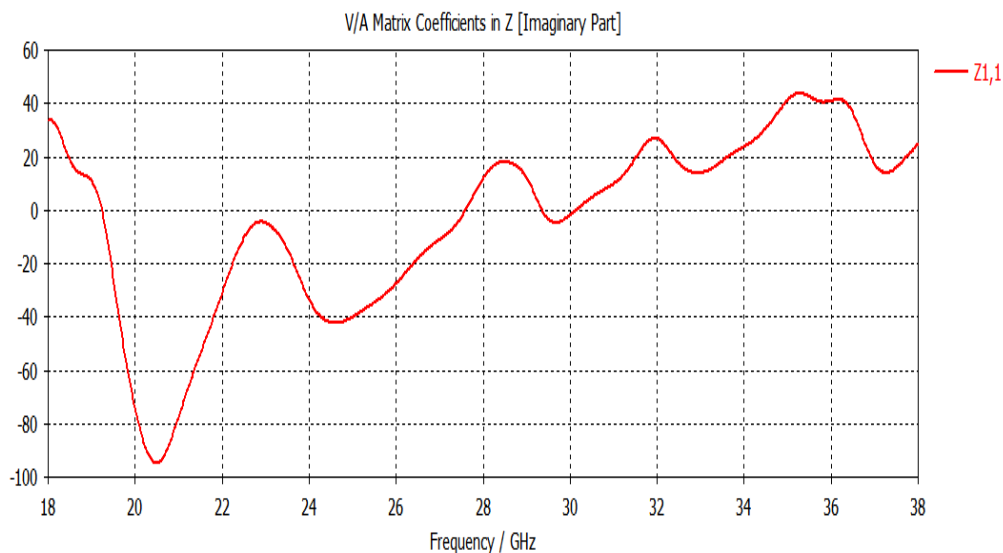
Figure 3-33: S_{11} (dB) en fonction de la fréquence.

On peut visualiser que l'antenne a une largeur de bande maximale de 8.5461 GHz autour de la fréquence de résonance (29.98GHz) dans l'intervalle (26.118 – 34.664) GHz.

9.2.2 Impédance d'entrée



(a)



(b)

Figure 3-34: Impédance d'entrée de l'antenne (a) : partie réelle et (b) : partie imaginaire.

Le résultat de la figure 3-34(a) présente la partie réelle de l'impédance d'entrée de l'antenne. La valeur est autour l'impédance caractéristique (50 Ohm), ce qui implique un bon transfert de l'énergie entre l'alimentation et la ligne microruban. La partie imaginaire de l'impédance d'entrée est illustré sur la figure 3-34(b), nous constatons qu'elle est autour de « 0 » dans la bande souhaitée.

9.2.3 Taux d'onde stationnaire (VSWR)

Le taux d'onde stationnaire comme le montre la figure suivante nous donne également l'appréciation de l'adaptation. Pour la fréquence 29.98 GHz, nous avons relevé un TOS est < 2 dans la bande passante. Ce qui confirme que notre antenne est adaptée très proche à la fréquence de résonance.

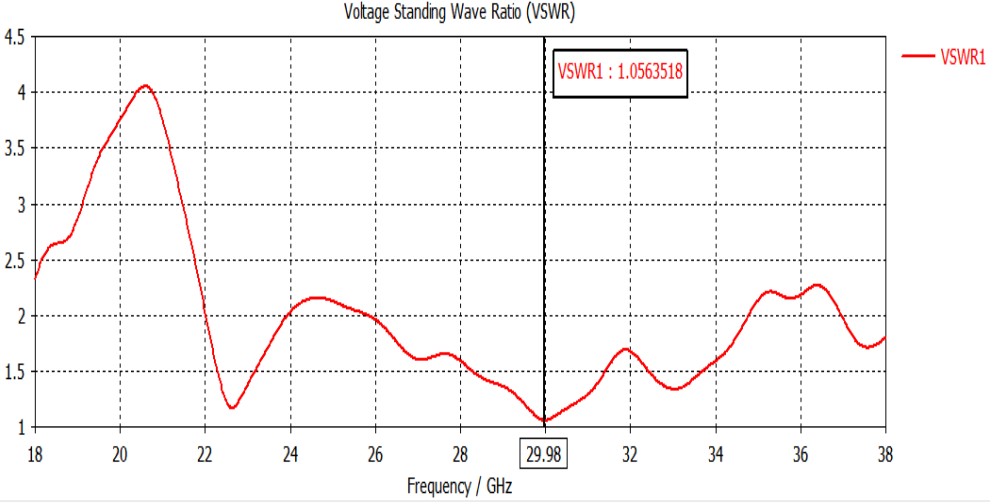
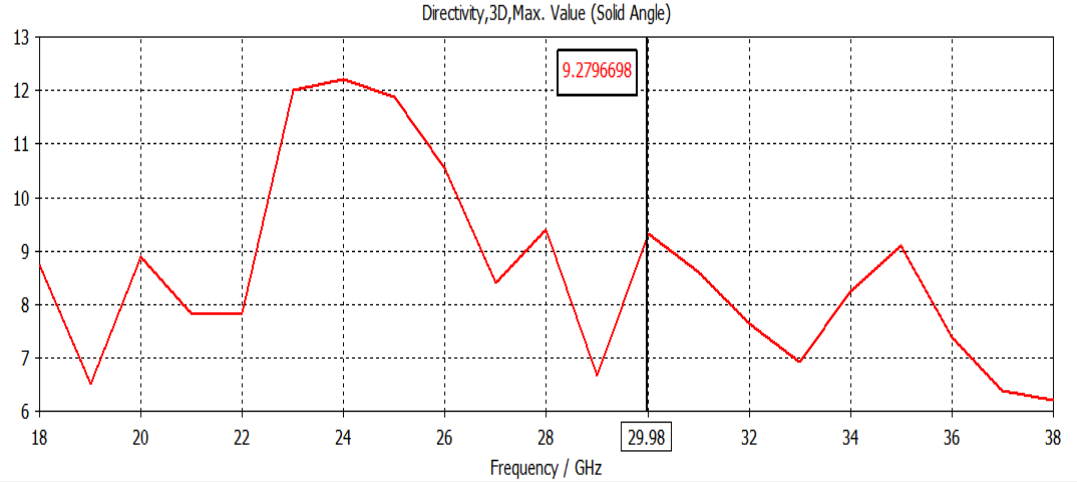
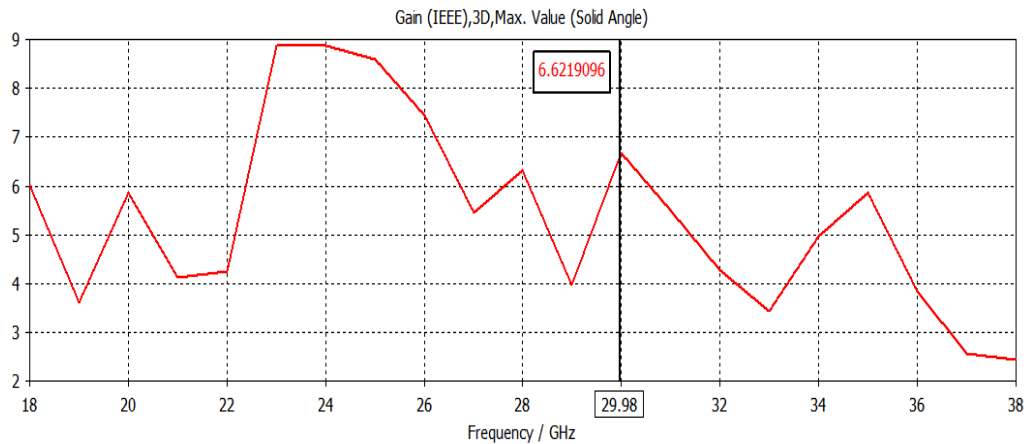


Figure 3-35: Le VSWR en fonction de la fréquence.

9.2.4 Directivité et gain



(a)



(b)

Figure 3-36: (a) : Directivité de l'antenne. (b) : Gain de l'antenne.

Le résultat de la figure 3-36(a) et (b) présente respectivement la valeur de la directivité maximale $D = 9.27$ et la valeur de gain = 6.621 dB, la directivité maximale.

Le tableau (3-8) présente les paramètres précédemment analysés du réseau d'antennes à 8 éléments.

Paramètres	Valeurs
Pertes de retour S_{11}	$S_{11\min} = -31.24$ dB
Directivité	$D = 9.27$ dB
Gain	$G = 6.621$ dB
Efficacité de rayonnement	71%
Bande passante (BW)	$BW = 8.5461$ GHz

Tableau 3-8: Paramètres fondamentaux de réseau d'antennes à 8 éléments.

10. Réseau d'antenne à 16 éléments

10.1 Structure de réseau d'antenne proposée

La conception de cette structure d'antenne suit la même logique que le réseau de 4 et 8 éléments, L'espace entre les éléments est le même, la seule chose qui diffère est que on enlever

l'adaptation quart d'onde avec la ligne de 70 ohms car elle n'influencer pas beaucoup sur ce réseau contrairement au réseau de 4 éléments comme le montre la figure suivante.

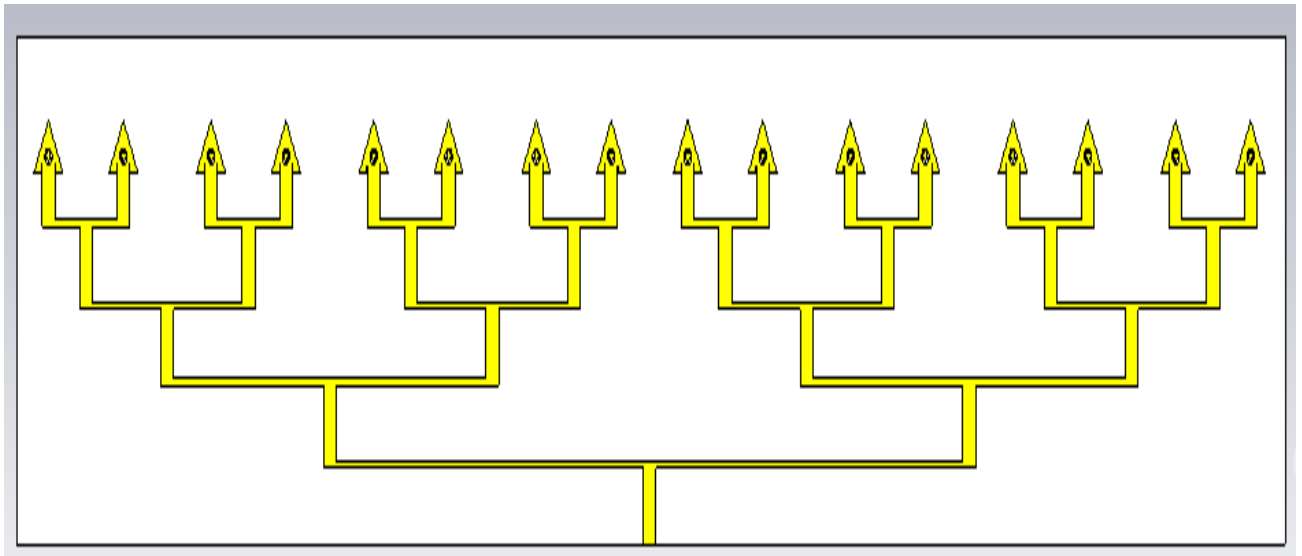


Figure 3-37: Réseau d'antenne à 16 éléments.

10.2 Résultats et discussions

10.2.1 Coefficient de réflexion

Le résultat montré sur la Figure 3-38 représente le S₁₁ (dB) en fonction de la fréquence indiquant la fréquence de résonance fondamentale de 27.8 GHz.

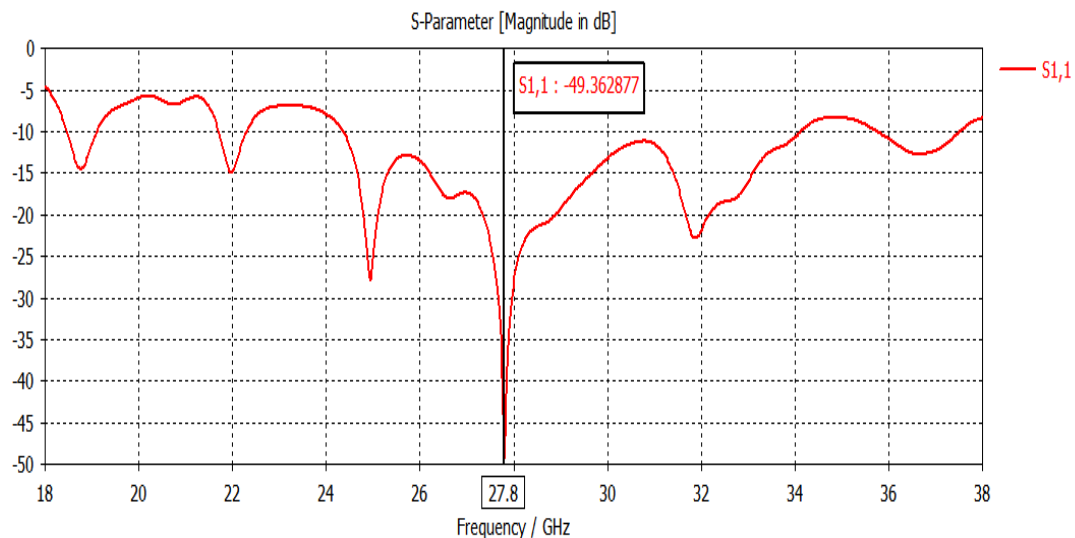
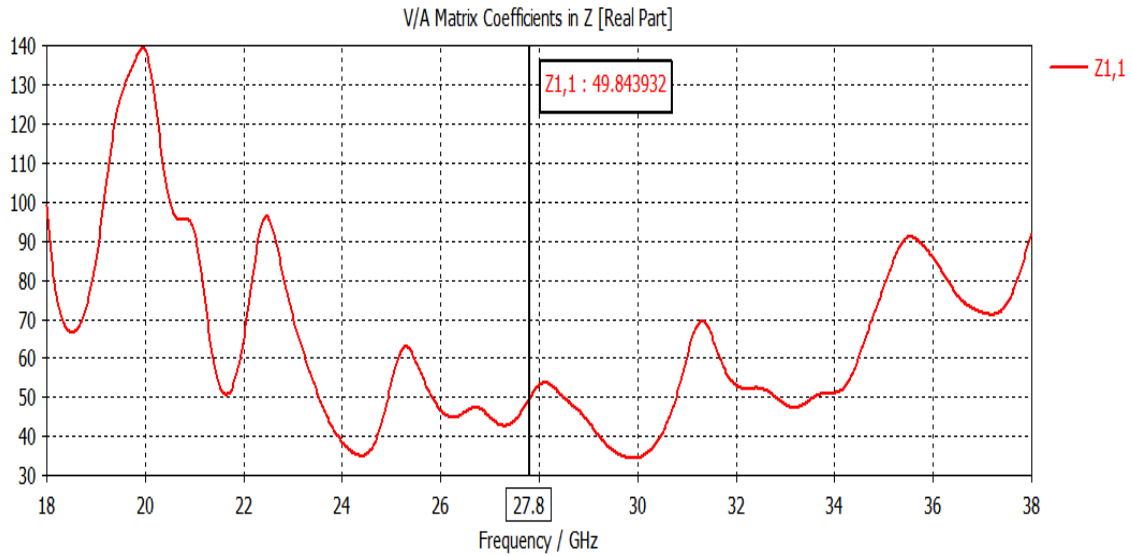


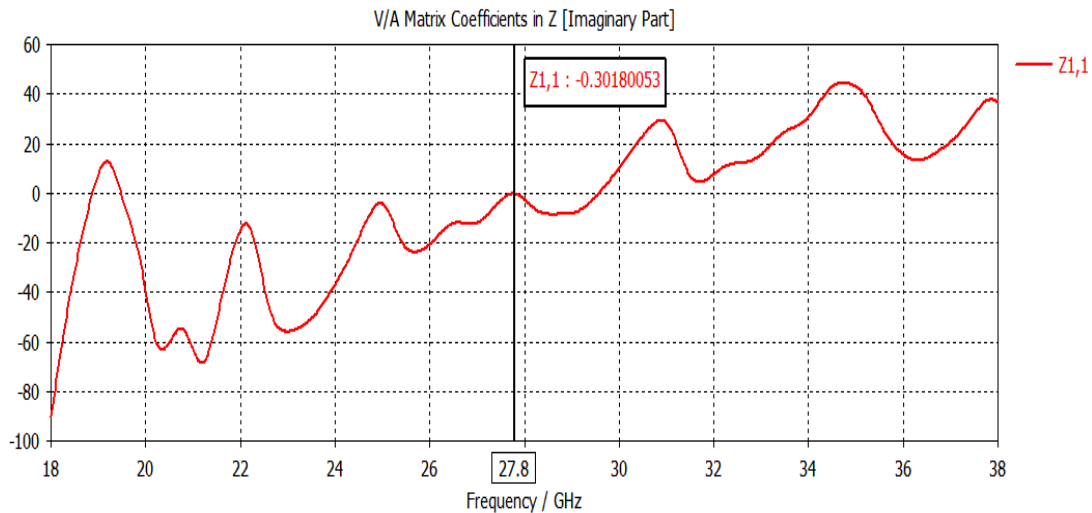
Figure 3-38: S₁₁(dB) en fonction de la fréquence.

On peut visualiser que l'antenne a une largeur de bande maximale de 9.7586 GHz autour de la fréquence de résonance (27.80GHz) dans l'intervalle (24.364 – 34.123) GHz.

10.2.2 Impédance d'entrée



(a)



(b)

Figure 3-39: Impédance d'entrée de l'antenne (a) : partie réelle et (b) : partie imaginaire.

Le résultat de la figure 3-39(a) présente la partie réelle de l'impédance d'entrée de l'antenne. La valeur est autour l'impédance caractéristique (50 Ohm), ce qui implique un bon transfert de l'énergie entre l'alimentation et la ligne microruban. La partie imaginaire de l'impédance d'entrée est illustré sur la figure 3-39(b), nous constatons qu'elle est autour de « 0 » dans la bande souhaitée.

10.2.3 Taux d'onde stationnaire (VSWR)

Le taux d'onde stationnaire comme le montre la figure suivante nous donne également l'appréciation de l'adaptation. Pour la fréquence 27.8 GHz, nous avons relevé un TOS est <2 dans la bande passante. Ce qui confirme que notre antenne est adaptée très proche à la fréquence de résonance.

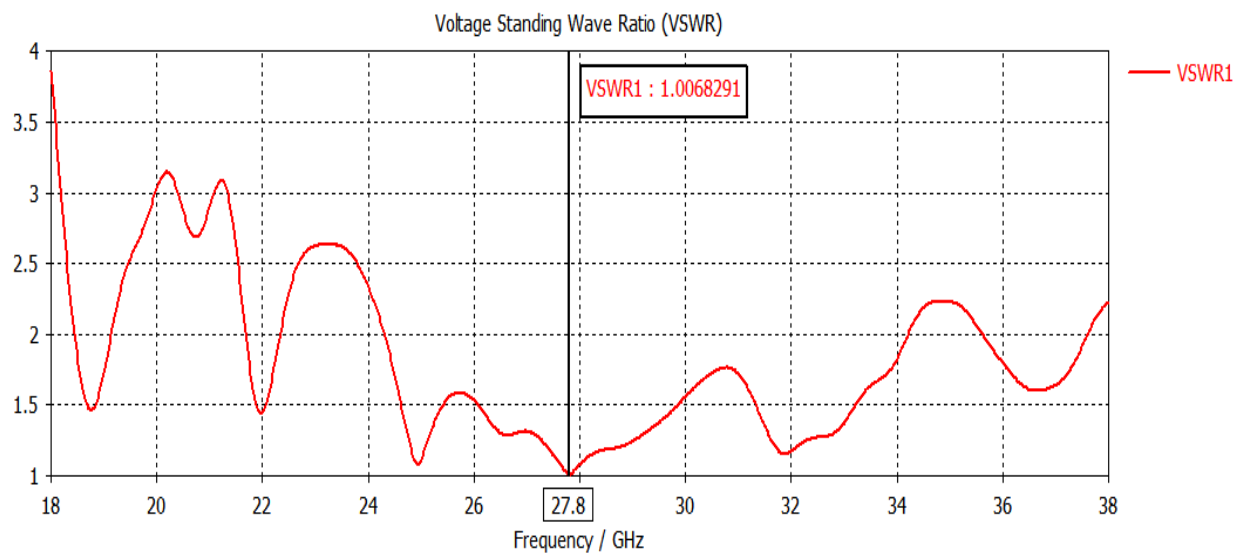
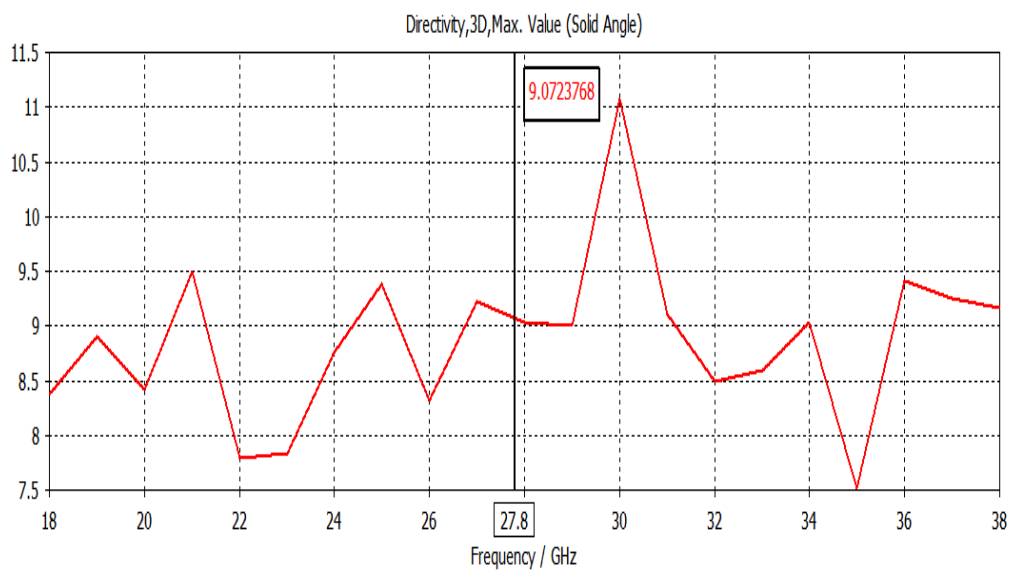
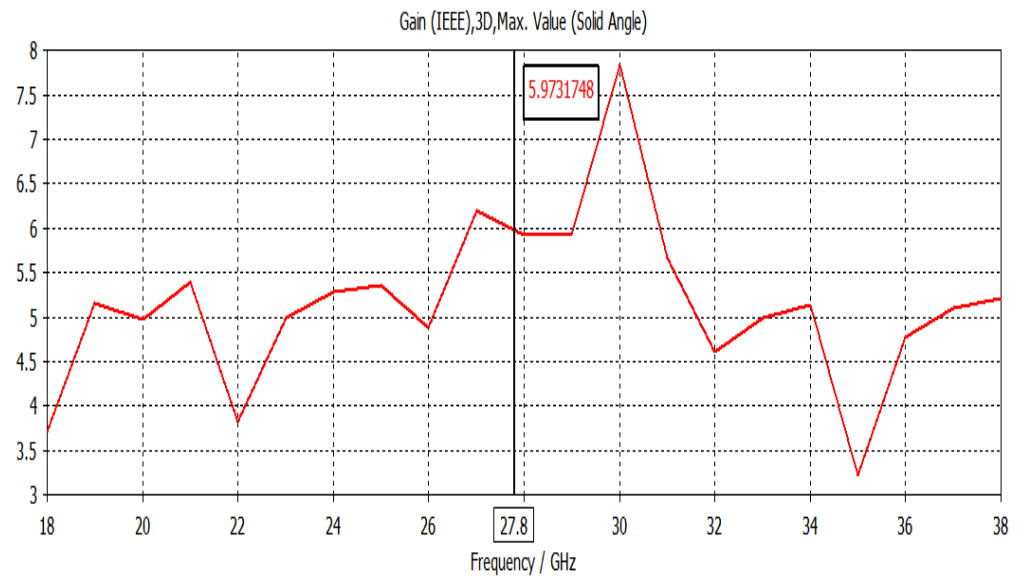


Figure 3-40: VSWR en fonction de la fréquence.

10.2.4 Directivité et gain



(a)



(b)

Figure 3-41: (a) : Directivité de l'antenne. (b) : Gain de l'antenne.

Le résultat de la figure 3-41(a) et (b) présente respectivement la valeur de la directivité maximale $D= 9.07$ et la valeur de gain $G= 5.973$ dB, la directivité maximale.

Le tableau (3-9) présente les paramètres précédemment analysés du réseau d'antennes proposé à 16 éléments.

Paramètres	Valeur
Pertes de retour (S11)	S11mín = -49.36 dB
Directivité	D = 9.07 dB
Gain	G = 5.973 dB
Efficacité de rayonnement	65%
Bande passante (BW)	BW = 9.7586 GHz

Tableau 3-9: Paramètres fondamentaux de réseau d'antennes à 16 éléments.

Le tableau 3-10 récapitule les caractéristiques de tous nos réseaux d'antennes conçu dans ce chapitre ainsi que l'antenne élémentaire.

Paramètres	1 élément	2 éléments	4 éléments	8 éléments	16 éléments
Fréquence de résonance (GHz)	28	28	28	29.89	27.8
S_{11} (dB)	-18.17	-28.19	-31.53	-31.24	-49.36
Directivité (dB)	6.562	8.748	11.67	9.27	9.07
Gain (dB)	4.606	6.33	9.187	6.621	5.973
Bande passante (GHz)	5.246	8.1674	7.8724	8.5461	9.7586
Efficacité	70%	72%	78%	71%	65%

Tableau 3-10:Tableau récapitulatif.

D'après les résultats du tableau (3-10), on constate que la fréquence de résonance s'est décalée pour le réseau de 8 et 16 éléments mais elle reste toujours favorable à la compatibilité dans les applications de la bande ka. On remarque aussi que certaines caractéristiques restent relativement constantes comme la bande passante sauf pour l'antenne à un seul élément.

Nous pouvons voir enfin que par rapport au gain depuis l'antenne d'un seul élément jusqu'à l'antenne de 4 éléments que l'effet est proportionnel entre le gain et le nombre d'éléments, Autrement dit, plus le nombre des éléments est croissant plus le gain augmente proportionnellement ce qui fait que le réseau devient plus directif et le faisceau de rayonnement se rétrécit. Cependant, cet effet prend fin à l'arrivée du réseau de 8 et de 16 éléments. Cette diminution de gain peut s'expliquer par les hypothèses suivantes : Dans les réseaux parallèles présentant des longueurs de lignes supérieures et un plus grand nombre de coudes, les pertes sont nettement grandes et la même chose se produit pour le substrat. Plus ce dernier est grand plus les pertes augmentent.

11. Conclusion

Ce chapitre a pour objectif de déterminer une solution qui répond à l'une des exigences des applications spatiales qui sera un gain très élevé. Cette solution est la mise en place d'un réseau d'antenne à partir de l'antenne élémentaire créée avec un design unique présenté dans ce chapitre. Les éléments du réseau sont reliés entre eux par un diviseur de puissance à jonction T plus une adaptation quart d'onde pour mieux l'optimiser. La conception a été faite dans cette optique, en conséquence l'analyse des résultats montrent une bonne adaptation autour de 28GHz avec une amélioration du gain. Par ailleurs, la bande passante du patch réseau répond aux applications en bande KA (28Ghz). Les résultats indiquent que le réseau de 4 éléments a de bonnes performances en termes de taux d'ondes stationnaires, d'impédance d'entrée et d'efficacité à la fréquence 28 GHz. Enfin, l'étude comparative nous a démontré que pour rendre

notre réseau plus performant en termes de gain et fonctionnel pour les applications spatiales, il est impératif d'augmenter la taille de réseau ou utiliser des matériaux mieux adaptés.

Conclusion générale

Porté par un intérêt accru envers la communication spatiale en tant que technologie prometteuse pour les télécommunications, la communauté scientifique cherche toujours à atteindre des meilleures performances. Cependant, garantir une bonne qualité tout en alliant les limitations de complexité, temps de latence, cout, gain ...etc., reste un défi qui occupe les chercheurs. Dans le premier chapitre de ce mémoire, Nous avons présenté les antennes, en général, et l'antenne imprimée en particulier, Ainsi, que leur principe de fonctionnement, la conception et les caractéristiques de l'antenne sont présentées. Dans le deuxième chapitre, systèmes de communication par satellites avec ses technologies clés ont été présentées d'une manière générale afin de se familiariser avec le concept de base de ces notions.

L'objectif de ce travail était d'élaborer un système multi antenne pour une application spatiale dans la bande KA qui fait partie de la bande des ondes millimétriques. Nous avons dans un premier temps mis l'accent sur la conception de l'antenne élémentaire qui va former notre réseau. Évidemment, l'antenne doit assurer de meilleures performances dans la bande désirée et qui est autour de la fréquence 28 GHz. Notre choix s'est penché vers une antenne imprimée grâce à ses nombreux avantages en particulier ses faibles dimensions qui permettent son intégration aisée dans un réseau. Notre conception a commencé par une antenne rectangulaire de base et afin d'avoir une antenne avec un design unique et propre à celle-ci , nous avons mené des études paramétriques et certaines modifications aboutissant ainsi, à notre antenne finale à une forme triangulaire avec une étoile insérée au milieu et les résultats de simulations montrent que les performances de notre antenne répondent aux exigences désirées en termes de coefficient de réflexion, d'adaptation, de diagramme de rayonnement et d'efficacité.

Le concept de réseau d'antennes patch est utilisé pour améliorer le gain des différentes antennes élémentaires en annulant ou plutôt en réduisant au maximum les lobes secondaires du diagramme de rayonnement. Toutefois, le défi réside dans la conception de l'alimentation de ces antennes, leurs nombres et leur emplacement dans le réseau. Le but donc est de concevoir un réseau compact, simple, à faible cout et à un gain élevé. Dans le troisième chapitre de ce mémoire, nous avons brièvement présenté les techniques d'alimentation des réseaux d'antennes phrasés avant d'entamer leurs conceptions. Puis, nous avons fait le choix sur le type d'alimentation de la jonction en T grâce à sa simplicité de conception. Le réseau conçu comporte quatre antennes alimentées par trois ponts de jonction T.

Enfin, dans la dernière partie de 3eme chapitre du manuscrit nous avons d'abord vérifié la validité de notre modèle d'antenne imprimée grâce au logiciel CST Microwave, ensuite interprété les résultats d'analyse en les comparant avec d'autres existants dans la littérature où nous avons constaté qu'avec le même nombre d'antennes, nous avons atteint une efficacité, une bande passante et gain élevés.

En général, les résultats encourageants obtenus par notre réseau patch ouvrent de par leur exploitation des perspectives nouvelles pour l'analyse des réseaux antennaires contenant plusieurs éléments.

References

Bibliographiques

- [1] Hubregt J Visser - Antenna theory and applications (2012, John Wiley & Sons).
- [2] C. A. Balanis, "Antenna Theory: analysis and design", 3rd edition, John Wiley & Sons, INC, ISBN: 0-471-66782-X, 2005.
- [3] D. J. Kozakoff and V. Tripp, "Aperture antenna radiation " International Conference on Antenna Theory and Techniques, 9-12 September, 2003, Sevastopol, Ukraine pp.25-29
- [4] Lotfollah Shafai, Satish K. Sharma, Sudhakar Rao (eds.) - Handbook of Reflector Antennas and Feed Systems, Volume 2 _ Feed Systems. 2-Artech House (2013)
- [5] O. Picon, "Les antennes, théorie, conception et application", Dunod Paris, ISBN 978-2-10-054245-1, 2009
- [6] <https://www.antenna-theory.com>
- [7] W.L. Stutzman, G. Thiele, "Antenna, Theory and Design", John Wiley & Sons, 1981.
- [8] Sergey N. Makarov "Antenna and EM Modeling with MATLAB", John Wiley & Sons, 2002
- [9] <https://scdn.rohde-schwarz.com/>
- [10] S. AZZAZ RAHMANI "ANALYSE ET CONCEPTION DES ANTENNES IMPRIMEES MULTIBANDES EN ANNEAUX CONCENTRIQUES POUR LES RESEAUX DE TELECOMMUNICATIONS "Thèse de doctorat présentée à l'université Abou Bakr Belkaid-Tlemcen-2013
- [11] M. BOUSAHLA "Analyse et synthèse de réseaux plans ou conformés d'antennes imprimées par méta-heuristiques floues " Thèse de doctorat présentée à l'université Abou Bakr Belkaid-Tlemcen-2012.
- [12] Y. HUANG, and K. BOYLE, «Antennas from theory to practice», 1stedn, England: John, 2008.
- [13] Indrasen Singh and Dr. V.S. Tripathi, "Micro strip Patch Antenna and its Applications: a Survey", Int. J. Comp. Tech. Appl., Vol 2 (5), 1595-1599, 2011
- [14] Sanchita Basu, Ashish Srivastava and Abhishek Goswami, "Dual Frequency Hexagonal Microstrip Patch Antenna", International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 3, Issue 11, November 2013.
- [15] P. J. Soh, M. K. A. Rahim, A. Asrokin and M. Z. A. Abdul Aziz, "DESIGN, MODELING, AND PERFORMANCE COMPARISON OF FEEDING TECHNIQUES FOR A MICROSTRIP PATCH ANTENNA", Jurnal Teknologi, 47(D) Dis. 2007: 103-120
- [16] F. BENAMRANE « Conception d'une antenne patch microstrip ». Mémoire online, université Sidi Mohamed Ben Abdellah (Fès) maroc. 2011.
- [17] A. BOUHAFS & A. ICHOU, « Etude et conception d'un réseau d'antenne pour des applications 5G », thèse de master à l'université Aboubakr Belkaïd- Tlemcen -, 2020.
- [18] P. Ramachandran, T. S. Keshav, L. Minz, V. Parupalli, S. Chakravarty, "Antenna Design-Simulation and Fabrication," Dept of Electronics and Computer Science Engineering, Visvesvaraya National Institute of Technology, (Deemed University Nagpur-440011, 2006-2007)

- [19] M. CHAABANE Abdelhalim « CONCEPTION D'UNE ANTENNE BIP LARGE BANDE A FORT GAIN" THÈSE de doctorat présentée à l'université Ferhat Abbas - Sétif 1-2017
- [20] A. ANNOU, T. MESSATFA "Bandwidth Improvement of Microstrip Patch Antenna Using DGS Technique Academic "Master Thesis KASDI MERBAH UNIVERSITY OF OUARGLA -2018
- [21] w. Abdellaoui, f. chergui "ETUDE DE L'ANTENNE PATCH RECTANGULAIRE PAR LE MODELE DE LA CAVITE " MEMOIRE DE FIN D'ETUDES En Vue de l'Obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Electronique présentée à l'université MOULOUD MAMMARI DE TIZI OUZOU-2012.
- [22] A. -C. CLARKE, "Extra-terrestrial relays: can rocket stations give worldwide radio coverage?", Magazine de Wireless World, pp.305–308, October 1945
- [23] D. -J. WHALE, "NASA : Communications Satellites : Making the Global Village Possible", <https://history.nasa.gov/satcomhistory.html>, 30 Novembre 2010.
- [24] « Les satellites de télécommunication", <http://www.centraphone.fr/satellite.html>.
- [25] <https://life.itu.int/radioclub/rr/art1.pdf>
- [26] F. Demim et N. Kemer, « Conception d'un Synthétiseur de Fréquences en bande S pour les systèmes de communication par satellites », thèse de master à l'université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen –,2017.
- [27] NASA administrateur, " What Are the Parts of a Satellite? », <https://www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/nasa-knows/what-is-a-satellite58.html>.
- [28] D. MINOLI, "innovation in satellite communications technology", Edition 1 ,2015.
- [29] G. MARAL, M. BOUSQUET, ZHILI SUN, "satellite communication, Systems technique and technologies", Edition 6, 2020.
- [30] Roddy, D, "Satellite Communications" Fourth Edition 2001 by The McGraw-Hill Companies.
- [31] Elbert, B. R, "Introduction to Satellite Communication ", Edition 3,2008.
- [32] M. Richharia, "Satellite Communications Systems Design Principles", Edition 1, 1995.
- [33] W. A. Imbriale, S. S. Gao, and L. Boccia, Space antenna handbook. John Wiley & Sons, 2012.
- [34] O. BARKAT. « Etude et Synthèse des Caractéristiques de Réseaux d'antennes Imprimées Supraconductrices dans la Bande Millimétrique ». Thèse doctorat, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, UNIVERSITE MENTOURI – CONSTANTINE, 2009.
- [35] Dheeraj Mungur & Shankar Duraikannan, 'Design and Analysis of 28 GHz Millimeter Wave Antenna Array for 5G Communication Systems', Journal of Science Technology Engineering and Management – Advanced Research and Innovation, Volume 1, Issue 3,2018.