

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib
Faculté des Sciences et de Technologie
Département Électroniques et Télécommunications



Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du diplôme de Master en : Télécommunications
Domaine : Science et Technologie
Filière : Télécommunications
Spécialité : Réseaux Télécommunications
Thème

Conception d'une antenne large bande pour les Applications satellitaires

Présenté Par :

- 1) Mr SALHI Fethallah
- 2) Mr GARGOUA Med Amine

Devant le jury composé de :

Dr BENGANA Abdelfatih	MCB	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Président
Dr MOULESSEHOUL Wassila	MCB	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Examinatrice
Dr DEBBAL Mohammed	MCA	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant
Dr KOURDI Zakarya	MRA	CDS (Oran)	Co-Encadrante
Dr RABAH Mohamed Amin	MRA	CDS (Oran)	Invité

Année Universitaire 2020/2021



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة عين تموشنت - بلحاج بوشعيب
Université Ain Témouchent- Belhadj Bouchaib -
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie



**Formulaire de déclaration sur l'honneur
Relatif à l'engagement pour respecter les règles d'authenticité
scientifique dans l'élaboration d'un travail de recherche**

(Annexe de l'arrêté n°933 du 28 juillet 2016 fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le plagiat)

Je soussigné,

Etudiant, M. ou M^{lle} : GARGOUA MOHAMMED AMINE

Détenteur d'une carte d'étudiant N° : 161637075374 ,délivrée le : 2016 à Ain T'émouchent

Inscrit à la faculté : **Sciences et de Technologie**

Département : **Electroniques et Télécommunications**

Et chargé de préparer un mémoire de fin d'études Master 2 en **Télécommunications**

Intitulé : **Design d'une antenne large bande pour satellite application**

Déclare sur l'honneur, m'engager à respecter les règles scientifiques, méthodologiques, et les normes de déontologie professionnelle et de l'authenticité académique requise dans l'élaboration du projet de recherche suscité.

À Ain Temouchent, le :

Signature



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة عين تموشنت - بلحاجبوشعيب -
Université Ain Témouchent- Belhadj Bouchaib -
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie



**Formulaire de déclaration sur l'honneur
Relatif à l'engagement pour respecter les règles d'authenticité
scientifique dans l'élaboration d'un travail de recherche**

(Annexe de l'arrêté n°933 du 28 juillet 2016 fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le plagiat)

Je soussigné,

Etudiant, Mr :**Salhi fethallah**

Détenteur d'une carte d'étudiant N° :10369-T-15délivrée le : 2015/10/07àAin témouchent

Inscrit à la faculté : **Sciences et deTechnologie**

Département :**Electroniques et Télécommunications**

Et chargé de préparer un mémoire de fin d'études Master 2 en **Télécommunications**

Intitulé : **Désigne d'une antenne large bande passante pour application satellite**

Déclare sur l'honneur, m'engager à respecter les règles scientifiques, méthodologiques, et les normes de déontologique professionnelle et de l'authenticité académique requise dans l'élaboration du projet de recherche suscité.

ÀAin Temouchent, le :

Signature

REMERCIEMENT

Nous remercions ALLAH le tout puissant de nous avoir donné le courage et la volonté de mener à terme ce travail dans le cadre de mémoire de master.

Le travail a été réalisé à la faculté de technologie, au département de génie Électrique de centre universitaire Belhadj Bouchaib – Ain Temouchent, sous la direction de Dr. **KOURDI Zakarya** maître de recherche au centre développement des satellites à Oran, et Dr. **DEBBAL Mohammed**, maître de conférence classe A à l'université Belhadj Bouchaib– Ain Temouchent.

Tous nos remerciements les plus sincères vont à Monsieur **BENGANA Abdelfatih**, maître de conférence classe B à l'université Belhadj Bouchaib – Ain Temouchent, pour nous avoir fait l'honneur d'examiner notre travail et de présider le jury.

Nous adressons nos sincères remerciements à Madame **MOULESSEHOUL Wassila**, maître de conférence classe B à l'université Belhadj Bouchaib – Ain Temouchent, qui nous a donné de son temps précieux et a eu la gentillesse d'examiner le travail et d'être membre du jury.

Nous voudrions témoigner toute notre reconnaissance et toute notre gratitude à Dr. **DEBBAL Mohammed** qui a fait preuve de patience et pédagogie. Nous lui exprimons toute notre reconnaissance pour nous avoir fait bénéficier de ses compétences et sa maîtrise en la matière. Nous voudrions aussi lui témoigner toute notre gratitude pour ses qualités humaines et sa constante disponibilité.

Nous vous serions, toutes et tous, très reconnaissant.

Nous ne pourrions oublier de présenter nos vifs remerciements et notre sincère gratitude à toutes celles et tous ceux qui nous ont épaulés dans les moments durs et nous ont donné la force pour continuer et arriver au bout du travail.

Nous ne pouvons terminer sans exprimer toute notre gratitude à tous les membres de ma famille qui nous ont soutenu et conseillé tout le long de ce travail, plus particulièrement nos mères et nos pères.

DEDICACE

Je dédie ce Modeste travail aux personnes qui me sont chers et qui m'ont soutenu tout au long des épreuves qui ont donné lumière à ce travail. Je cite particulièrement

+ Mon père, en vous je voie un père dévoué à sa famille. Ta présence en toute circonstance m'a maintes fois rappelé le sens de la responsabilité.

+ Ma mère, en vous, je voie la maman parfaite, toujours prête à se sacrifier pour le bonheur de ses enfants, merci pour tout.

*+ je remercie mes frères: **Abdelhakim Et Abdelillah**, et la **petite princesse Chaima** pour le soutien moral et qui était toujours là pour moi.*

+ A tous ceux qui me sont chers, si mes vœux pouvaient avoir quelque pouvoirs j'en serai profondément heureux car je veux pour vous et vos familles toutes les réussites et satisfactions de ce monde.

GARGOUA MOHAMMED AMINE

Je dédie ce travail a toute ma chère famille et mes Magnifiques Amies.

✚ A mes parents, Pour leur grand amour, leur incroyable soutien, leur Gigantesque patience et leur considérables sacrifices.

✚ A mes sœurs insaf et marwa.

✚ A mon binôme amine.

✚ A tous mes amis et étudiants de ma promotion télécom.

✚ A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

Salhi Fethallah.

Résume :

Dans ce travail l'accent étant mis principalement sur l'antenne large bande linéaire et circulaire mono et double alimentation de ses caractéristiques de rendement dans des bandes de fréquences à vaste intégrale.

La conception du système d'antenne pour application satellite est un problème critique en raison de la demande de large bande passante, de gain élevé, et de polarisation circulaire.

Dans ce travail de manuscrit principal, deux types d'alimentation un linéaire et une circulaire pour trois types d'antennes pour des applications satellitaires proposé dans une large bande de fréquences. Sur la base de cette étude, une comparaison entre trois model d'antennes une antenne patch rectangulaire simple alimenté par la ligne micro ruban, une antenne patch avec 2 lignes d'alimentation, une polarisation circulaire avec un seul port et le 3^{ème} type une ligne micro ruban à double alimentation avec une polarisation circulaire à double ports, les trois sont adaptés par la technique de fente, ce qui a donné des meilleurs résultats pour la 3eme manipulation.

Mot clés : polarisation circulaire, applications satellite, antenne, large bande, double alimentation.

Abstract

In this work the main emphasis is on the mono and dual feed linear and circular wideband antenna of its performance characteristics in wide integral frequency bands. The design of the antenna system for satellite application is a critical problem due to the demand for wide bandwidth, high gain, and circular polarization. In this main manuscript work, two types of feed one linear and one circular for three types of antennas for satellite applications offered in a wide frequency band. Based on this study, a comparison between three antenna models: a simple rectangular patch antenna fed by the micro ribbon line, a patch antenna with 2 feed lines, a circular polarization with a single port and the 3rd type a line micro ribbon with 2 feed lines and circular polarization with double ports, the three are adapted by the slit technique, which gave better results for the 3rd manipulation.

Keywords: circular polarization, antenna, patch, wide band, satellite application, double feed line.

ملخص

ينصب التركيز الرئيسي في هذا العمل على هوائي النطاق العريض الخطي والدائري ذو التغذية الأحادية والثنائية لخصائص أدائه في نطاقات تردد متكاملة واسعة . يعد تصميم نظام الهوائي الخاص بالتطبيقات الساتلية مشكلة حرجة بسبب الطلب على النطاق الترددي العريض والكسب العالي والاستقطاب الدائري. في هذا العمل الرئيسي للمخطوطة، يوجد نوعان من التغذية أحدهما خطي والآخر دائري لثلاثة أنواع من الهوائيات لتطبيقات الأقمار الصناعية المقدمة في نطاق تردد عريض. على أساس هذه الدراسة ، تم إجراء مقارنة بين ثلاثة نماذج من الهوائيات: هوائي رقعة مستطيل بسيط يغذيه خط الشريط الصغير ، وهوائي متعدد الاتجاه مع خطي تغذية ، واستقطاب دائري بمنفذ واحد والنوع الثالث من الشريط الصغير الخطي مع مع خطي تغذية و استقطاب دائري مع منافذ مزدوجة ، تم تكييف الثلاثة بواسطة تقنية الشق ، والتي أعطت نتائج أفضل للمعالجة الثالثة.

الكلمات الرئيسية: : تتبع نطاق القيادة ، هوائي ، نطاق تردد عريض ، هوائي متعدد الاتجاه ، أقمار الاصطناعية، استقطاب دائري.

LISTE DES ACRONYMES

BP	Bande passante
dB	Décibels
GHZ	Giga Hertz
IEEE	Institute of electrical and electronics engineers
3D	Trois dimmensions
2D	Deux dimmensions
CST	Computer simulation technology
HF	Haute fréquence
SNR	Signal noise report
KU	Kurz-Unten
TCR	Telemetry command ranging
ULB	Ultra large band
GPS	Global Positioning System
TTC	Telemetry, Tracking & command
LEO	Low earth orbit
GEO	Geostationary orbit
MEO	Medium earth orbit

SOMMAIRE

REMERCIEMENT	I
DEDICACE	II
LISTE DES FIGURES	V
LISTE DES TABLEAUX	XIV
LISTE DES ACRONYMES	V
INTRODUCTION GENERALE	1

Chapitre 1 : Généralités sur les antennes

I. INTRODUCTION	3
I-1. LE ROLE D'UNE ANTENNE	3
• I-1-A. Antenne d'émission	3
• I-1-B. Antenne de réception	3
II. CARACTERISTIQUES DES ANTENNES SPATIALES	4
II-1. LES BANDES DE FREQUENCES	4
III-2. LE MECANISME DE RAYONNEMENT	5
• III-2-A. Diagramme de rayonnement dans le plan vertical	5
• II-2-B. Diagramme de rayonnement dans le plan horizontal	6
III-3. DIRECTIVITE	7
III-4. LE GAIN D'ANTENNE	8
III-5. RENDEMENT	9
III-6. POLARISATION	11
• Polarisation linéaire	12
• Polarisation circulaire	12
• Polarisation elliptique	12
III-7. COEFFICIENT DE REFLEXION ET ROS	14
III. LES TYPES D'ANTENNES	15
IV-1. SELON LA DIRECTIVITE	15

•IV-1-A. Antennes directives	15
•IV-1-B. Antennes à ouverture rayonnante	15
•IV-1-C. Antennes réseau	16
•IV-1-D. Antennes omnidirectionnelles	17
•IV-1-E. Antennes hémisphériques	18
IV-2. SELON L'ORBITE	18
IV-3. SELON LE GAIN	19
•IV-3-A. Antennes à gain faible $G \leq 6\text{dBi}$	19
•IV-3-B. Antennes à gain élevé $G \geq 6\text{dBi}$	20
IV. GENERALITE AUX SYSTEMES DE TELECOMMUNICATIONS PAR SATELLITE	21
•V-1-A. Gain de l'antenne	23
•V-1-B. EIRP	23
•V-1-C. Perte dans l'espace libre	23
•V-1-D. Perte par absorption atmosphérique	24
•V-1-E. Température de bruit	24
•V-1-F. Bilan de Liaison	24
V-2. TAILLE DE LA PLAGE DE FREQUENCE	25
•V-2-A. Bande Ka	25
•V-2-B. Bande Ku	26
V-3. LES AVANTAGES A UTILISER UNE BANDE KU	27
V-4. LES INCONVENIENTS A UTILISER UNE BANDE KU	27
V. CONCLUSION	28

chapitre II : l'antenne patch large bande

I. INTRODUCTION	29
• I-1 Defintion d'antenne large bande	29
II. DESCRIPTION D'UNE ANTENNE IMPRIMEE OU "PATCH"	30
III. ALIMENTATION DES ANTENNES "PATCH"	32
III-1. ALIMENTATION PAR LIGNE MICRO-RUBAN	32
III-2. ALIMENTATION COAXIALE	33

•III-3-A. Alimentation couplée par proximité	34
•III-3-B. Alimentation couplée par ouverture	35
III-3-B-1. Couplage par fente	38
III-3-B-2. Couplage par une ligne CPW	38
III-3-B-3. Alimentation doublée	39
IV. LA TECHNIQUE DE POLARISATION D'ANTENNE MICRO RUBAN	39
IV-1. LES ANTENNES MONOPOLE A POLARISATION LINEAIRE	40
IV-2. LES ANTENNES A POLARISATION CIRCULAIRE	40
IV-3. LES ANTENNES A DOUBLE POLARISATION	41
•IV-3-A. La première technique	42
•IV-3-B. La deuxième technique	42
•IV-3-C. La troisième technique	43
IV-4. PROBLEMATIQUE AU NIVEAU DE LA BANDE PASSANTE D'UNE ANTENNE PATCH	43
V. METHODES D'ANALYSE	44
V-1. METHODES ANALYTIQUES	44
•V-1-A. Modèle de la ligne de transmission	44
•V-1-B. Modèle de la cavité	45
V-2. METHODES NUMERIQUES	45
•V-2-A. Méthode des éléments finis	45
•V-2-B. Méthode des différences finies	46
•V-2-C. Méthode des moments	47
VI. CONCLUSION	47
 <i>chapitre III: Résultat et interprétation de mécanisme de polarisation pour l'antenne patch</i>	
I. INTRODUCTION	48
II. LOGICIELS UTILISE	48
II-1. LOGICIEL CST MICRO WAVE STUDIO (MWS)	48
II.1. Description générale du logiciel	49
• <input type="checkbox"/> Création d'un projet	49
• <input type="checkbox"/> L'Interface de CST	52

II-2. PARAMETRE GEOMETRIQUE DE L'ANTENNE	53
• <i>Tel que:</i>	54
III-1. ANTENNE A POLARISATION LINEAIRE	56
• <i>III-1-A. Coefficient de réflexion S_{11}</i>	56
• <i>III-1-2. Le rapport d'ondes stationnaires (VSWR)</i>	57
• <i>III-1-3. L'efficacité de rayonnement</i>	58
• <i>III-1-4. Diagramme de rayonnement</i>	59
• <i>III-1-5. Carte 2D de l'énergie d'antenne</i>	61
• <i>III-1-6. Le gain d'antenne</i>	62
III-2. ANTENNE DOUBLE A POLARISATION CIRCULAIRE	63
• <i>III-2-2. Le rapport d'ondes stationnaires (VSWR)</i>	64
• <i>III-2-3. L'efficacité de rayonnement</i>	64
III-3. ANTENNE A DOUBLE PORT A POLARISATION CIRCULAIRE	67
• <i>III-3-2. Le rapport d'ondes stationnaires (VSWR)</i>	68
• <i>III-3-3. L'efficacité de rayonnement</i>	69
III. CONCLUSION	71

LISTE DES FIGURES

Chapitre 1 : Généralités sur les antennes

Figure I-1: Principe de transmission par onde électromagnétique .	2
Figure I-2 : Diagramme de rayonnement dans le plan vertical .	4
Figure I-3 : Diagramme de rayonnement dans diagramme de rayonnement dans le plan horizontal .	5
Figure I-4 : Rayonnement d'une antenne directive .	7
Figure I-5 : Doublet demi onde dans l'espace d'une antenne isotrope montrant la relation entre le gain et le rayonnement .	8
Figure I-6 : l'efficacité de radiation en fonction de la fréquence dans une Antenne unipolaire imprimée tri band compacte pour les applications WLAN et WiMax .	10
Figure I-7 : Rotation d'une onde plane et son ellipse de polarisation en fonction du temps à 0Z(1) Rotation de l'onde et (2) elliptique de polarisation .	11
Figure I-8 : Les différents types de polarisation .	12
Figure I-9 : Diagramme de rayonnement des différentes antennes existantes, (a) directive, (b) omnidirectionnelle, (c) sectorielle .	14
Figure I-10 : (a) Photo de deux types d'antennes cornet, (b) évolution des lignes du champ électrique dans le guide et dans l'espace libre .	15
Figure I-11 : Exemples d'antennes réseaux, (a) réseau de patch, (b) réseau de fentes, (c) réseau d'antennes actif, (d) réseau de dipôles, (e) réseau de cornets .	16
Figure I-12 : Antenne de télémétrie omnidirectionnel, poursuite et de commande (Courtesy of RUAG Aerospace Sweden) .	17
Figure I-13 : Antenne bande X par RUAG .	17
Figure I-14 : Antennes LEO : radar a aperture synthétique (a) Antenne SMOS de la bande X et (b) Antenne SIR-C dans l'étage de configuration de laboratoire .	18
Figure I-15 : Antenne patch micro-ruban bande S pour microsatellite de Surrey SSTL .	19
Figure I-16 : Antenne à réflecteur (AstroMesh) d'INMARSAT-4 .	19
Figure I-17 : Réseaux d'antennes de SMOS SAT .	20
Figure I-18 : Liaison station d'émission-Satellite-station de réception .	21
Figure I-19 : Configuration d'un lien de communication par satellite .	22

Figure I-20 : Antenne patch ovale à couplage d'ouverture fonctionnant en bande Ka, d'après : a) vue de dessus transparente , b) vue en coupe , c) S11 simulé en fonction de la fréquence	25
Figure I-21 : Antenne ACP fonctionnant en bande Ku avec 30% de bande passante fractionnaire autour de la fréquence centrale de 15 GHZ, a) vue de dessus superposée et transparente avec dimensions, b) prototype, c) simulé et S11 mesuré en fonction de la fréquence.....	26
Chapitre II : l'antenne patch large bande	
Figure II-22 :Structure d'antenne imprimée	29
Figure II-23 : Différentes formes d'élément rayonnant	29
Figure II-24 : Alimentation par ligne micro-ruban	31
Figure II-25 : Alimentation par ligne micro-ruban (a) axiale (b) décalée (c) axiale avec encoche	31
Figure II-26 : Alimentation coaxiale	32
Figure II-27 : Le circuit équivaut d'une antenne patch.	33
Figure II-28 : Alimentation couplée par proximité	34
Figure II-29 : Circuit équivalent d'un patch alimenté par proximité.	34
Figure II-30 : Alimentation couplée par ouverture	35
Figure II-31 : Circuit équivalent d'une antenne couplée par ouverture	35
Figure II-32 : Configuration d'une antenne patch à couplage par fente	37
Figure II-33 : Structures d'alimentation CPW	38
Figure II-34 : Principe de l'antenne à deux alimentations	38
Figure II-35 : Structures modifiées du monopole rectangulaire	39
Figure II-36 : Dispositions du patch circulaire pour la polarisation circulaire, a) : Patch carré alimenté aux côtés adjacents par diviseur de puissance, b) : patch carre alimente aux cotes adjacentes par un hybride et c) : Patch circulaire alimenté par câble	40
Figure II-37 : a) Antenne large bande à double polarisation , b) Antenne large bande à double polarisation pour les systèmes MIMO	41
Figure II-38 : Deux antennes Vivaldi perpendiculaires	42
Figure II-39 : a) Antenne bipolarisée à 4 ports , b) Fente circulaire bipolarisée à 4 ports	42
Figure II-40 : Techniques d'élargissement de la bande passante.....	43

Chapitre III: Résultat et interprétation de mécanisme de polarisation pour l'antenne patch

Figure III-41 : Exemple de logiciel de simulation.....	47
Figure III-42 :Création d'un nouveau projet.....	48
Figure III -43 : Choix du type et de la zone de simulation	48
Figure III-44 : Choix du type d'antenne	49
Figure III-45 : Choix de la technique de simulation.....	49
Figure III-46 :Choix des unités de différents paramètres	50
Figure III-47 :fin de la création de projet.....	50
Figure III-48 :Interface principal de logiciel CST.....	51
Figure III-49 :antenne patch rectangulaire simple, alimenté par la ligne micro ruban.....	53
Figure III-50 : antenne patch avec 2 lignes d'alimentation et un seul port.....	53
Figure III-51 : antenne avec deux lignes d'alimentation une ligne micro ruban l'autre avec la sonde coaxiale.	54
Figure III-52 :antenne patch rectangulaire simple, alimenté par la ligne micro ruban.....	54
Figure III-53 : Le coefficient de réflexion de l'antenne initiale.	55
Figure III-54 : Le VSWR en fonction de la fréquence.	55
Figure III-55 : la comparaison entre l'efficacité rayonnée et l'efficacité totale de l'antenne proposée.....	56
Figure III-56 : la puissance réelle en watt de l'antenne proposé.....	56
Figure III-57 : les différents diagrammes de rayonnement de l'antenne proposé.....	58
Figure III-58 : la distribution de courant sur la surface de l'antenne.	59
Figure III-59 : le Gain de fréquence maximum pour l'antenne proposé.	59
Figure III-60 : antenne patch avec 2 lignes d'alimentation et un seul port.....	60
Figure III-61 : Le coefficient de réflexion de l'antenne proposé.....	60
Figure III-62 : Le VSWR en fonction de la fréquence.	61
Figure III-63 : la comparaison entre l'efficacité rayonnée et l'efficacité totale de l'antenne proposée.....	61
Figure III-64 : la puissance réelle en watt de l'antenne proposé.....	62
Figure III-65 : la puissance réelle en watt de l'antenne proposé.....	62
Figure III-66 : les différents diagrammes de rayonnement de l'antenne proposé.....	63

Figure III-67 : le Gain de fréquence maximum pour l'antenne proposé.	64
Figure III-68 : antenne avec deux lignes d'alimentation une ligne micro ruban l'autre avec la sonde coaxiale.	64
Figure III-69: Le coefficient de réflexion du l'antenne proposé.	65
Figure III-70 : Le VSWR en fonction de la fréquence.	65
Figure III-71: la comparaison entre l'efficacité rayonnée et l'efficacité totale de l'antenne proposée.	66
Figure III-72: la puissance d'entée en watt de l'antenne proposé.	66
Figure III-73 : la puissance de sortie (rayonné) en watt de l'antenne proposé.	67
Figure III-74 : le Gain de fréquence maximum pour l'antenne proposé.	67
Figure III-75 : les différents Diagrammes de rayonnement de l'antenne proposé.	67

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I : Généralités sur les antennes

Tableau 1 :tables les bandes de fréquences ITU	04
Tableau 2 : les caractéristiques de chacun des types de polarisations	13

Chapitre II : l'antenne patch large bande

Tableau 3-II : Caractéristiques de différentes techniques d'alimentation	36
Tableau 4-II : Avantages et inconvénients de différentes techniques d'alimentation	37

Chapitre III: Résultat et interprétation de mécanisme de polarisation pour l'antenne patch

Tableau 1-III :Paramètres de l'antenne patch	52
Tableau 2-III :Dimensions de l'antenne initiale proposée.....	52
Tableau 3-III : La comparaison des différents résultats.	68

Introduction

générale

INTRODUCTION GENERALE

Le domaine de télécommunication est en perpétuelle évolution. On assiste aujourd'hui à un engouement sans précédent du grand public pour les applications de communication multimédia (données, voix, photos, vidéos) et la demande est de plus en plus forte pour un transfert à haut débit entre des équipements communicants mobiles et à encombrement réduit. Dans ce contexte, l'utilisation de signaux large bande pour transmettre l'information semble une alternative très prometteuse.

Les antennes sont utilisées dans des gammes de longueur d'onde très différentes pour un très grand nombre d'applications dont nous citons quelques exemples :

- Ondes kilométriques (30 à 300 kHz) et hectométriques (300 à 30000 kHz) pour la radiodiffusion à modulation d'amplitude, les signaux horaires et les liaisons avec les sous-marins.
- Ondes décamétriques (3 à 30MHz) pour les liaisons intercontinentales ou maritimes.
- Ondes métriques (30 à 300MHz) pour la radiodiffusion à modulation de fréquence, la télévision et les communications et radionavigation aéronautique.
- Ondes décimétriques (300 à 3000MHz) pour la télévision, le radar et les liaisons avec les mobiles.
- Ondes centimétriques (3 à 30GHZ) pour les liaisons terrestres par faisceaux hertziens et les liaisons spatiales .

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail, qui consiste à étudier et concevoir les antennes large bande à une et double alimentation et des polarisations qui diffèrent entre linéaire et circulaire qui répondent aux exigences

Nous proposons une nouvelle structure d'antenne patch opérant dans la bande 10 GHZ – 20 GHZ.

Ce travail se compose de trois chapitres : Le premier chapitre, est consacré à une description générale des antennes patch, leurs propriétés et leurs caractéristiques, un rappel théorique sur l'antenne patch. Dans le deuxième chapitre nous développons les différentes méthodes d'alimentation et les techniques de polarisation ainsi une présentation des méthodes d'analyse. Le troisième chapitre concerne l'aspect de la conception de trois antennes patch avec des différentes polarisations adapté par la méthode des fentes. Une fois la simulation est finie une comparaison des résultats de ces trois antennes sera faite afin de déterminer l'antenne la plus optimisé pour les applications satellitaire Toutes les simulations sont suivies par des discussions et des commentaires [1].

Chapitre I :

Généralité sur les antennes

I. INTRODUCTION

Les antennes sont des dispositifs utilisés pour rayonner le champ électromagnétique dans l'espace ou pour le capter. On peut les qualifier comme des adaptateurs d'impédance entre l'espace et l'émetteur ou le récepteur [1].

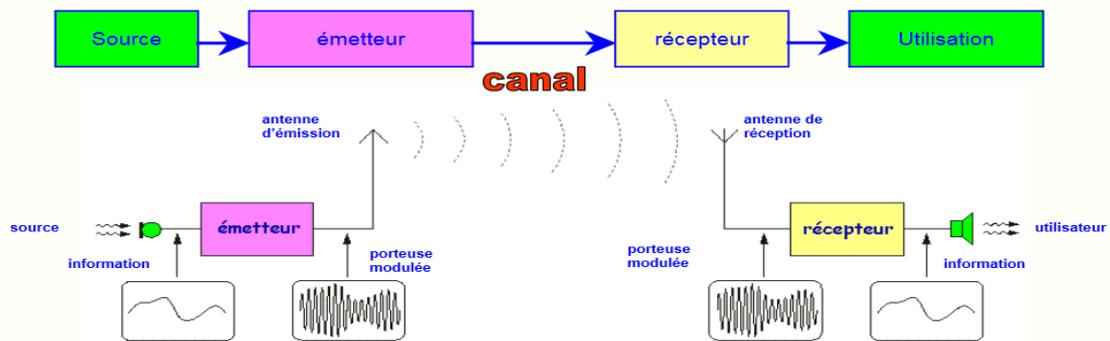


Figure I- 1 : Principe de transmission par onde électromagnétique [1].

I-1. LE ROLE D'UNE ANTENNE

En radioélectricité, une antenne est un dispositif permettant de rayonner (émetteur) ou de capter (récepteur) les ondes électromagnétiques.

L'antenne est un conducteur électrique plus ou moins complexe généralement placé dans un endroit dégagé.

Il existe des dizaines de types d'antennes, différents par leur fonctionnement, leur géométrie, leur technologie. Par conséquent, le domaine des fréquences qu'elles peuvent recevoir et émettre est lui aussi différent [1].

I-1-A. ANTENNE D'EMISSION

Afin d'assurer la propagation dans l'air, il est nécessaire qu'un dispositif génère une onde rayonnée. Le rôle de l'antenne d'émission est de transformer la puissance électromagnétique guidée. Issue d'un générateur en une puissance rayonnée.

I-1-B. ANTENNE DE RECEPTION

De façon inverse, la puissance rayonnée peut être captée par une antenne de réception. Dans ce sens, l'antenne apparaît comme un capteur et un transformateur de puissance rayonnée en puissance électromagnétique guidée. Elle joue le même rôle qu'un télescope qui capte la lumière issue des étoiles et la transforme.

II. CARACTERISTIQUES DES ANTENNES SPATIALES

Un grand nombre de paramètres permettent de classifier les antennes tels que la directivité, le diagramme de rayonnement, la bande passante, la polarisation, etc.

Les performances d'une antenne peuvent être évaluées à partir de ses paramètres qui sont présentées ci-dessous :

II-1. LES BANDES DE FREQUENCES

Par rapport à la fréquence de résonance centrale de l'antenne, on peut tolérer un certain affaiblissement (généralement 3 décibels) qui détermine la fréquence minimum et la fréquence maximum d'utilisation ; la différence entre ces deux fréquences est la bande passante. Il est fréquent qu'une antenne soit utilisée en réception largement en dehors de sa bande passante, Certaines antennes dites multi bandes peuvent fonctionner correctement sur des segments discontinus sans dispositif particulier. D'autres nécessitent l'emploi d'un circuit adaptateur d'impédance pour fonctionner correctement. Certaines antennes sont sensibles au champ magnétique de l'onde reçue, c'est le cas des antennes " cadre " accordées par un condensateur variable ou celles constituées d'un barreau de ferrite autour duquel est bobinée une self. Elles sont directives et leur utilisation nécessite de les orienter correctement (axe du bobinage parallèle au champ magnétique de l'onde électromagnétique). Les antennes sont considérées comme la partie fondamentale d'un système de communication sans fil. Une antenne est un appareil qui transforme le signal RF en une onde électromagnétique équivalente. Pour qu'il puisse être transmis dans l'espace libre. Comme nous savons que les antennes sont nécessaires au moment de l'émission et de la réception. Ainsi, la communication par ondes radio a besoin d'antennes d'émission et de réception.

Il est intéressant de noter que les performances finales sont améliorées dans la partie centrale de la bande Ku, tout en étant dégradées aux fréquences les plus hautes et les plus basses. Ce phénomène peut être expliqué en tenant compte du fait que l'adaptation soit des plots de connexion et de celle de la conception globale a été optimisée à l'aide de différentes lignes de transmission dimensionnées à la fréquence centrale de la bande passante opérationnelle [2].

Désignation	Bande de fréquence ITU
Bande L	De 1 à 2 GHZ
Bande S	De 2 à 4 GHZ
Bande C	De 4 à 8 GHZ
Bande X	De 8 à 12 GHZ
Bande Ku	De 12 à 18 GHZ
Bande K	De 18 à 26 GHZ
Bande ka	De 26 à 40 GHZ
Bande Q	De 30 à 50 GHZ
Bande U	De 40 à 60 GHZ
Bande V	De 46 à 56 GHZ
Bande W	De 56 à 100 GHZ

Tableau I-1 : tables les bandes de fréquences ITU [2].

III-2. LE MECANISME DE RAYONNEMENT

Les caractéristiques de rayonnement visées sont utiles pour le dimensionnement des systèmes antennaires. Le rôle d'une antenne dans un système de communication sans fils est d'émettre ou de recevoir le rayonnement à grande distance.

III-2-A. DIAGRAMME DE RAYONNEMENT DANS LE PLAN VERTICAL

Le diagramme de rayonnement vertical ci-dessous représente les deux lobes principaux de l'antenne dipôle demi-onde placée à une hauteur d'une demi-onde par rapport à un sol très bon conducteur. L'antenne est vue en bout, elle est au centre du demi-cercle. Les deux lobes sont identiques et symétriques par rapport au plan vertical dans lequel s'inscrit le dipôle, il n'y a théoriquement aucun autre lobe parasite.

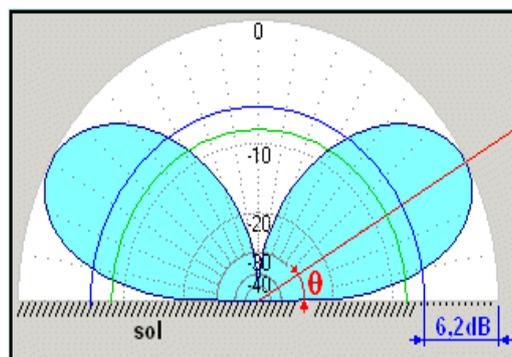


Figure I- 2 : Diagramme de rayonnement dans le plan vertical [3].

L'angle q est l'angle de départ (ici 30 degrés), plus il est bas sur l'horizon, meilleure sera l'antenne pour le trafic DX mais moins bonne pour le trafic à moyenne distance (500 à 1000km)

Le cercle bleu représente le rayonnement du même dipôle en espace libre pour un champ de même niveau que celui de l'extrémité des lobes du dipôle à proximité du sol. Le gain de 6,2 dB est obtenu grâce à l'effet de réflecteur du sol. Le cercle vert symbolise le rayonnement de l'antenne isotrope. On retrouve la différence de niveau de 2,15 dB avec l'antenne demi-onde en espace libre évoqué dans le gain des antennes [3].

II-2-B. DIAGRAMME DE RAYONNEMENT DANS LE PLAN HORIZONTAL

Même antenne. On remarque que le profil des lobes en vue de dessus ne diffère guère de celui en forme de tore de l'antenne dipôle demi-onde placée dans l'espace.

L'antenne est symbolisée par deux traits rouges au centre du cercle.

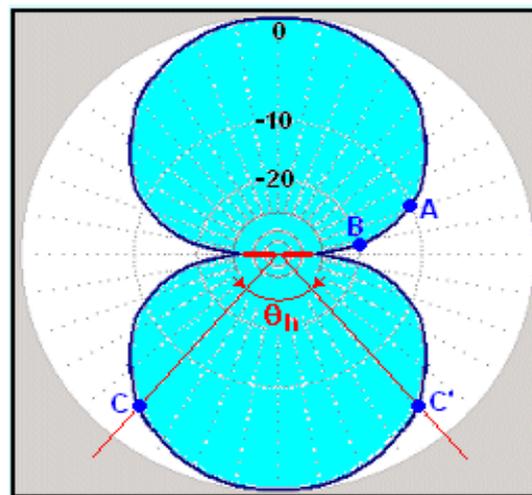


Figure I- 3 : Diagramme de rayonnement dans diagramme de rayonnement dans le plan horizontal [3].

Le rayonnement est théoriquement nul dans l'axe des brins. Le niveau 0 dB de référence est celui que l'on attribue à l'extrémité des lobes. Au point A le niveau est de -10 dB et il est de -20 dB au point B [3].

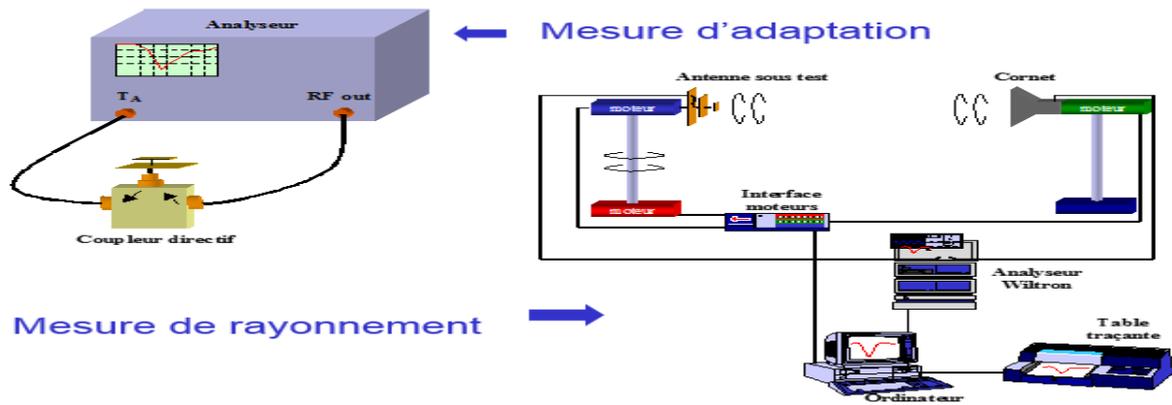


Figure I- 4 : Méthode de mesure (Mesure d'adaptation Mesure de rayonnement) [3].

III-3. DIRECTIVITE

La directivité de l'antenne dans le plan horizontal est une caractéristique importante dans le choix d'une antenne.

- Une antenne isotrope ou omnidirectionnelle rayonne de la même façon dans toutes les directions du plan horizontal.
- Une antenne directive possède un ou deux lobes nettement plus importants que les autres qu'on nomme lobes principaux. Elle comporte également des lobes secondaires qu'on tente de minimiser. Elle sera d'autant plus directive que le lobe le plus important sera étroit. Si la station radio captée ne se trouve pas toujours dans la même direction il peut être nécessaire d'orienter l'antenne en la faisant tourner avec un moteur.
- **Un lobe principal** : C'est le lobe de rayonnement contenant le maximum d'énergie et la direction du maximum de rayonnement.
- **Un angle d'ouverture** : C'est l'angle de direction pour lequel la puissance rayonnée est la moitié de la puissance rayonnée dans la direction la plus favorable. Plus cet angle est étroit plus l'antenne est directive.
- **Des lobes secondaires** : Ils représentent le rayonnement de l'antenne dans les directions indésirables.
- **Un lobe arrière** : C'est le lobe secondaire présent dans la direction opposée à 180° du lobe principal.

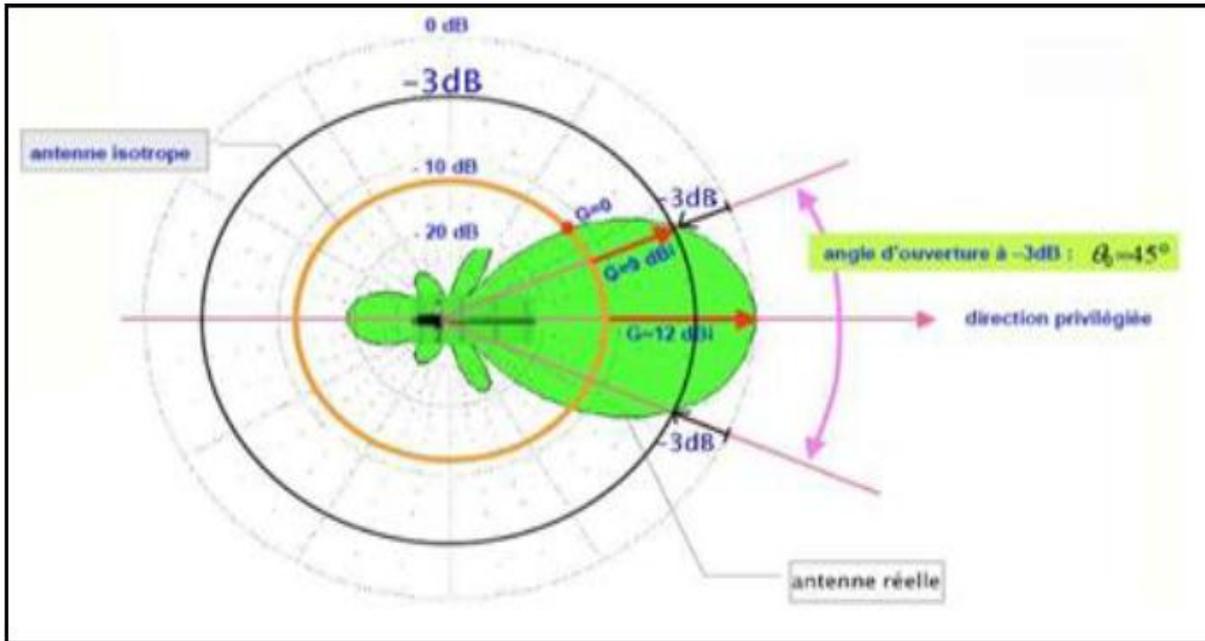


Figure I- 5 : Rayonnement d'une antenne directive [4].

La directivité d'une antenne $D(\theta, \varphi)$ est évaluée par le rapport entre la puissance rayonnée $P(\theta, \varphi)$ dans une direction donnée et la puissance émise par une antenne isotrope par unité d'angle solide, à condition que les puissances totales rayonnées soient les mêmes :

$$D(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{P_0(\theta_0, \varphi_0)}{P_r} \dots I - 1$$

Dans la direction de rayonnement maximale $P_0(\theta_0, \varphi_0)$ on note la directivité :

III-4. LE GAIN D'ANTENNE

Le gain est considéré comme un des principaux paramètres des antennes directives. Pour ces derniers, l'énergie est moins importante dans certaines directions et plus importante dans d'autres. Le gain d'une antenne est évalué par le rapport entre la puissance émise dans la [10-11].

$$G(\theta, \varphi) = \frac{P(\theta, \varphi)}{P_r} = \frac{P(\theta, \varphi)}{P_t / 4\pi R^2} = 4\pi R^2 \frac{P(\theta, \varphi)}{\iint P(\theta, \varphi)} \dots I - 2$$

P : est la densité de puissance moyenne rayonnée par l'antenne directive (W/m²).

P_0 : est la densité de puissance moyenne rayonnée par l'antenne isotrope (W/m²).

P_t : est la puissance totale rayonnée par les deux antennes (W).

D (θ, φ) la direction du lobe principal et la puissance qui serait émise par une antenne omnidirectionnelle, les deux antennes étant alimenté [4-5].

Le gain G (θ, φ) d'une antenne dans une direction (θ, φ) est le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction donnée P (θ, φ) sur la puissance que rayonnerait une antenne isotrope sans pertes. En général, le gain G correspond au gain dans la direction de rayonnement maximal (θ_0, φ_0). Cette propriété caractérise la capacité d'une antenne à focaliser la puissance rayonnée dans une direction.

$$G(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{P(\theta, \varphi)}{PA} \rightarrow G = 4\pi \frac{P(\theta_0, \varphi_0)}{PA} \dots I - 3$$

Prenons le cas du doublet demi-onde dans l'espace (Si l'on coupe le tore par un plan contenant son axe (et le dipôle par la même occasion) on obtient le diagramme ci-en dessous avec le profil du tore représenté en gris figure (I-5). En fond bleu est représenté le rayonnement de l'antenne isotrope dans l'espace avec la même puissance d'émission. Tout se passe comme si l'énergie que l'antenne isotrope rayonne suivant les directions proches de l'axe du tore était utilisée pour renforcer le rayonnement dans le plan perpendiculaire à son axe (flèches rouges). En fait le gain d'une antenne n'est qu'une autre façon de répartir le rayonnement en favorisant certaines directions au détriment des autres.

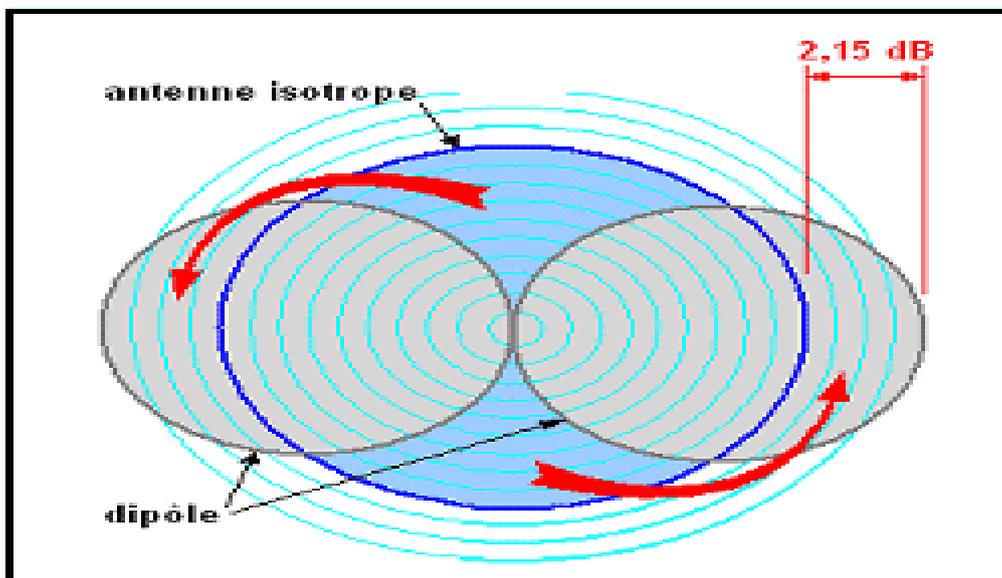


Figure I- 6 : Doublet demi onde dans l'espace d'une antenne isotrope montrant la relation entre le gain et le rayonnement [3].

III-5. RENDEMENT

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

lié aux pertes dans le réseau de polarisation et dans les éléments rayonnants. En comparant les équations directivité et gain, on voit que le rendement relie le gain et la directivité. Le rendement est le rapport entre l'énergie rayonnée par une antenne et celle que lui fournit l'alimentation. Elle est exprimée par :

$$\eta = \frac{Rr}{Rr + RP} \dots I - 4$$

Rr : Résistance liée à son rayonnement.

Rp : Résistance liée aux pertes de l'antenne.

- *RADIATION Efficacité*

$$\eta_e = \frac{Pt}{Pin} = \frac{Rr}{Rr + RL} \dots I - 5$$

- *Efficacité correspondante*

$$\eta_e = \frac{Pin}{Ps} = 1 - |T| \dots \dots I - 6$$

- *Efficacité totale*

$$\eta_t = \frac{Pt}{Ps} = n_m n_e \dots \dots I - 7$$

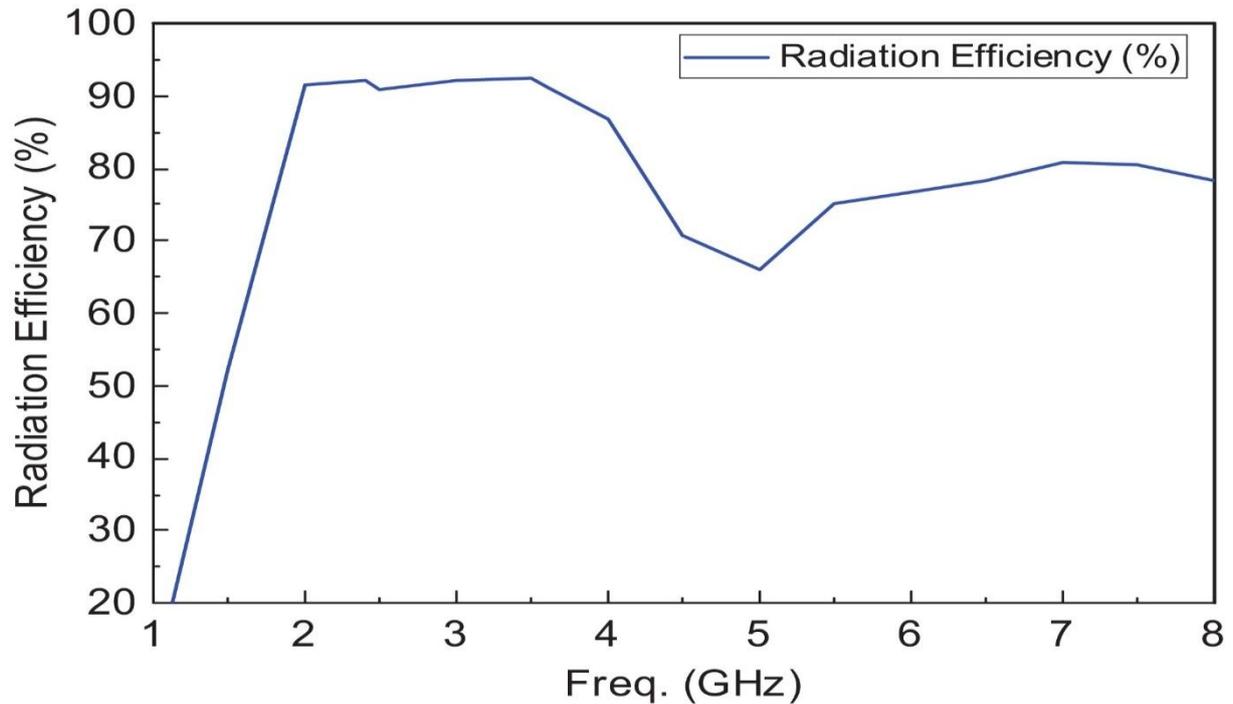


Figure I- 7 : L'efficacité de radiation en fonction de la fréquence dans une Antenne unipolaire imprimée tri band compacte pour les applications WLAN et WiMax [6].

III-6. POLARISATION

La polarisation d'une antenne dans une direction donnée est la polarisation de l'onde transmise (rayonné) par l'antenne. La polarisation d'une onde rayonnée est la figure tracée en fonction du temps par l'extrémité du vecteur à un endroit fixe dans l'espace, et le sens dans lequel elle est tracée, comme observé le long de la direction de propagation (figures I- 8).

La polarisation peut être classifiée en linéaire, circulaire, ou elliptique. Pour la polarisation linéaire, le vecteur qui décrit le champ électrique à un point dans l'espace en fonction du temps est toujours dirigé suivant une ligne. En général la figure tracée est une ellipse, et le champ serait polarisé elliptiquement.

Les polarisations linéaires et circulaires sont des cas particuliers de polarisation elliptique. Dans la pratique, les différentes parties du diagramme puissent avoir différentes polarisations.

$$\vec{E} = E_{\theta} \vec{U}_{\theta} + E_{\varphi} \vec{U}_{\varphi} \quad \dots I - 8$$

$$RA = \frac{\text{Longueur du grand axe}}{\text{Longueur de petit axe}} = \frac{OA}{OB} \quad \dots I - 9$$

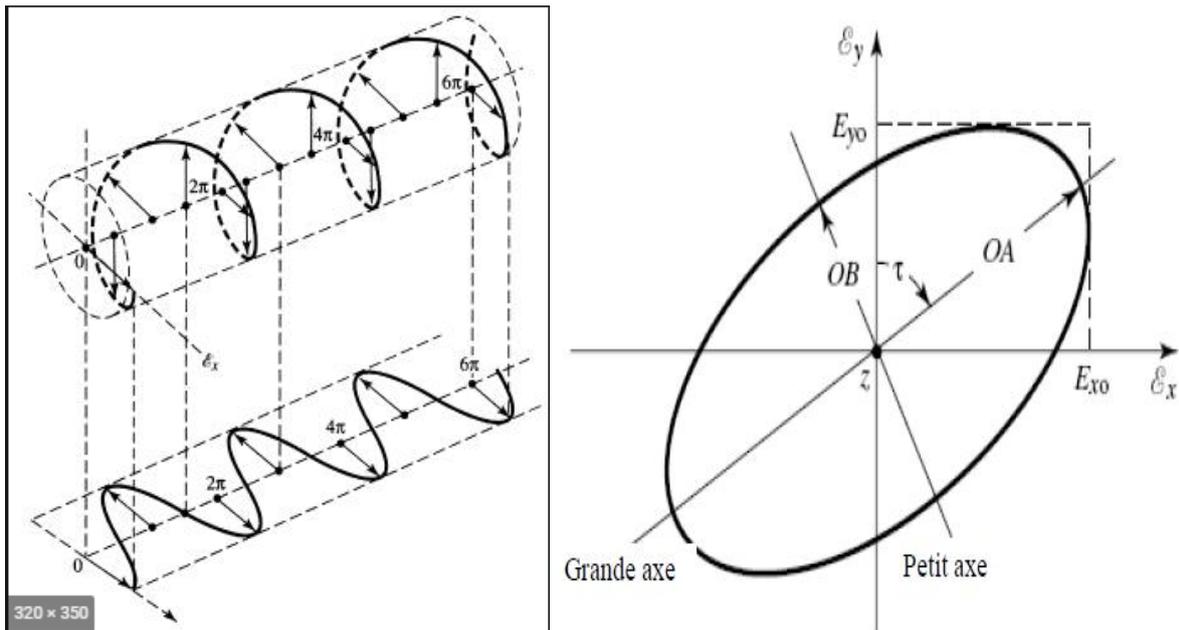


Figure I- 8 : Rotation d'une onde plane et son ellipse de polarisation en fonction du temps à 0Z(1) Rotation de l'onde et (2) ellipse de polarisation [1].

- **POLARISATION LINEAIRE**

La direction du vecteur champ électrique reste constant au cours du temps, sa trajectoire est donc un segment de droite. Un dipôle génère classiquement une "OEM" polarisée linéairement. Lorsque la polarisation de l'antenne est linéaire, le diagramme de rayonnement est celui d'un dipôle magnétique.

E_θ et E_ϕ sont en phase et $RA = \infty$

- **POLARISATION CIRCULAIRE**

La polarisation est dite circulaire lorsque le vecteur champ E décrit un cercle avec le temps. Ce champ E a deux composantes de même amplitude et déphasées de 90° .

E_θ et E_ϕ sont égaux en module et vibrent en quadrature et $RA = 1$.

- **POLARISATION ELLIPTIQUE**

La polarisation est dite elliptique lorsque le vecteur champ E décrit une ellipse dans le temps. Elle correspond au cas général d'un champ E comprenant deux composantes d'amplitudes différentes déphasées de $\pi/2$.

Certaines antennes ont une polarisation elliptique ou circulaire. Si la polarisation de l'antenne n'est pas adaptée à la polarisation de l'onde le signal subit un affaiblissement pouvant aller jusqu'à l'infini.

Les composantes E_θ et E_ϕ vibrent en quadrature mais leurs modules sont quelconques et le rapport axial RA entre : $\infty \geq RA \geq 1$ [7].

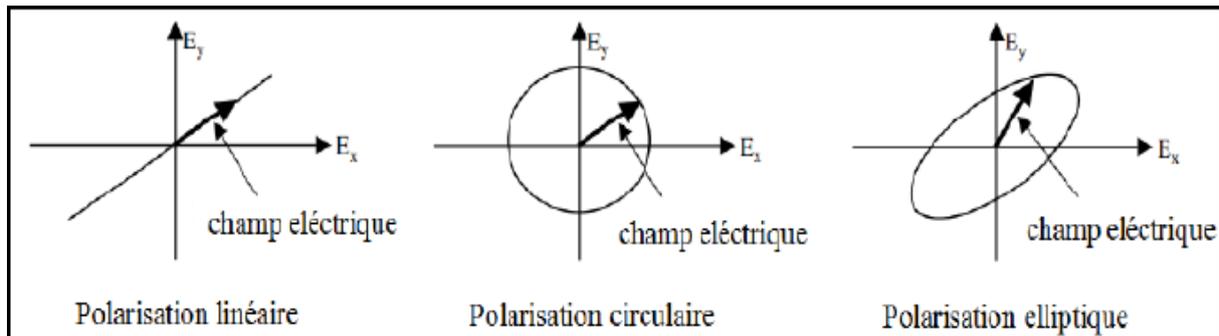


Figure I- 9 : Les différents types de polarisation [7].

Une atténuation typique de près de 40 dB est observée lorsque nous utilisons deux polarisations différentes dans les bandes micro-ondes. Ainsi, si une antenne transmet à la verticale et la seconde à l'horizontale, une différence de signal de 40Db peut être observée sur le signal reçu par rapport à celui transmis. Ceci pouvant transformer un bon signal en un signal non satisfaisant.

Ce phénomène est principalement observable dans les bandes UHF et surtout en micro-ondes (SHF). L'atténuation est plus faible dans les bandes VHF et HF puisque les longueurs d'ondes sont plus longues et les propagations sont moins affectées par les polarisations.

Ainsi, l'atténuation peut être de l'ordre de 20 dB pour les bandes basses. Étant donné l'effet de l'atmosphère sur les signaux, le fait d'utiliser des polarisations différentes en HF ne fera pas une grande différence puisque l'atmosphère affecte les signaux et que l'onde de retour est moins bien définie [8].

L'onde étant plus longue, l'effet d'atténuation est moins prononcé entre les polarisations. Dans le tableau I-2, nous présentons les caractéristiques de chacun des types de polarisations précitées :

Polarisation Verticale	Polarisation Verticale	Polarisation Circulaire
<ul style="list-style-type: none"> · Peu de bruit électrique · Meilleure sensibilité aux signaux faibles · Angle de rayonnement généralement plus élevé par rapport au sol favorisant ainsi de bons contacts locaux · Grands espaces requis pour le déploiement 	<ul style="list-style-type: none"> · Bruit électrique plus Présent dans les Bandes HF · Optimisation de L'espace occupé par L'antenne · Nécessite généralement un bon plan de terre (Ground, masse) · Plus, enclin à causer de l'interférence Dans les bandes HF · Angle de rayonnement plus Bas 	<ul style="list-style-type: none"> · Génère deux Polarisations en Phase pour éviter les pertes en traversant l'ionosphère et pour compenser la Rotation des satellites. · Rarement utilisée Pour des contacts au sol

Tableau I-2 : les caractéristiques de chacun des types de polarisations [8]

III-7. COEFFICIENT DE REFLEXION ET ROS

Le Rapport d'Onde Stationnaire (ROS) est une mesure de la désadaptation entre la ligne de transmission et la charge de l'antenne, plus le ROS est élevé, moins bonne est l'adaptation.

Le minimum du ROS correspond à une adaptation parfaite, il est alors égal à 1.

Le transfert de puissance maximale ne peut être atteint que si l'impédance de l'antenne est adaptée à celle du générateur.

$$ROS = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{1 + |S_{11}|}{1 - |S_{11}|} \quad I - 10$$

$$S_{11} = \Gamma = \frac{Z_{ant} - Z_c}{Z_{ant} + Z_c} \quad I - 11$$

S_{11} : le coefficient de réflexion.

Z_{ant} : l'impédance d'entrée de l'antenne.

Z_c : l'impédance caractéristique de la ligne d'alimentation.

Pour les applications spatiales la valeur maximale du ROS doit être inférieure à 2 en dB[8].

III. LES TYPES D'ANTENNES

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

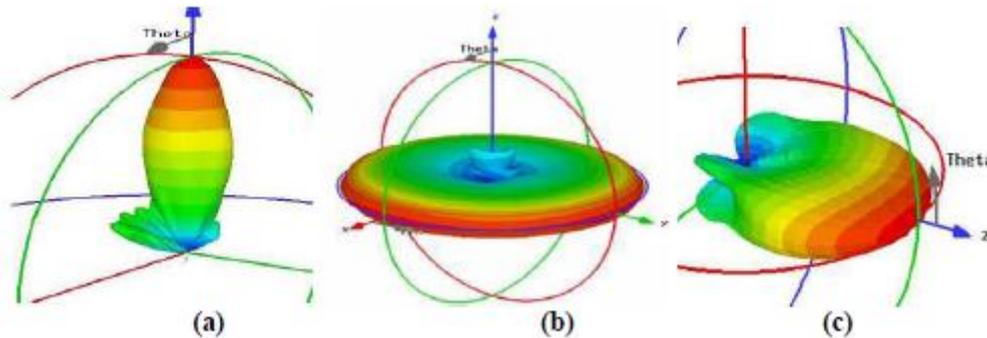


Figure I- 10 : Diagramme de rayonnement des différentes antennes existantes, (a) directive, (b) omnidirectionnelle, (c) sectorielle [8].

IV-1. SELON LA DIRECTIVITE

Il y a trois types des antennes spatiales peuvent être distingués.

IV-1-A. ANTENNES DIRECTIVES

Comme leur nom l'indique, les antennes directives concentrent l'énergie rayonnée dans des zones étroites ou écartées puisqu'elles offrent des gains importants. Habituellement,

La puissance rayonnée se repère condensée dans un ou plusieurs lobes. Ce type d'antenne est spécialement exploité pour des liaisons de type point à point (dans lesquelles les positions des antennes d'émission et de réception sont connues) qui requièrent, habituellement, un bon alignement. L'utilité de ces antennes est le renforcement de la portée des liaisons radio et l'agrandissement du débit des transmissions [17].

C'est pourquoi, lors de la conception, l'optimisation de ce type d'antenne repose sur deux paramètres importants : le gain et la bande passante. Pour rendre une antenne directive, le moyen le plus usuel consiste à mettre un réflecteur métallique derrière l'antenne, de telle sorte que le rayonnement ne s'effectue plus que dans un demi-espace, ce qui permet de doubler la puissance rayonnée dans l'axe de l'antenne [18].

IV-1-B. ANTENNES A OUVERTURE RAYONNANTE

Les antennes à ouverture rayonnante sont très utilisables pour les applications aéronautiques et spatiales, car elles peuvent être très bien encastrées sur l'armature d'un avion ou d'un dispositif spatial [19]. Parmi les antennes à ouvertures rayonnantes les plus connues, on peut citer : les cornets, les antennes à réflecteur parabolique et les antennes lentilles. Les

cornets sont des guides d'onde à section progressivement grandissante se terminant par une ouverture rayonnante de contour rectangulaire ou circulaire.

L'impédance à la frontière entre les deux milieux (le guide et l'air) causerait une réflexion d'une partie de l'onde. Pour cela, on utilise une section de guide d'onde en forme de cornet évasé à changement graduel.

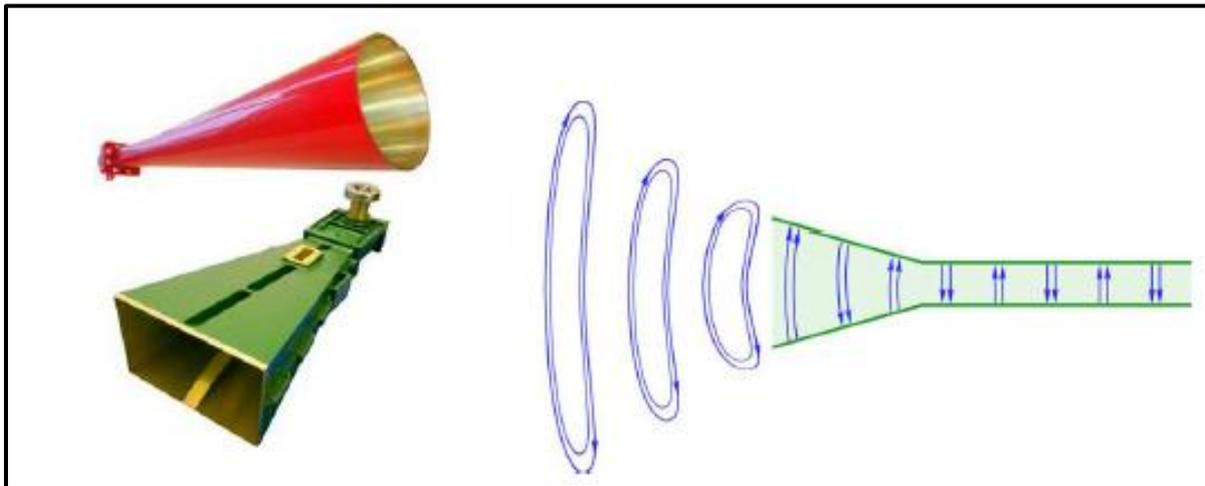


Figure I- 11 : (a) Photo de deux types d'antennes cornet, (b) évolution des lignes du champ électrique dans le guide et dans l'espace libre [16].

Plus l'ouverture du cornet est grande, plus le signal-radar sera focalisé dans la direction désirée. La figure (I-11) montre deux types d'antennes cornet (a) et l'évolution des lignes du champ électrique du guide jusqu'au l'espace libre (b).

IV-1-C. ANTENNES RESEAU

Les antennes réseaux sont ordinairement formées d'un groupement de rayonnants, en général identiques et travaillant dans la même bande de fréquences, pour former une ouverture rayonnante [20-21].

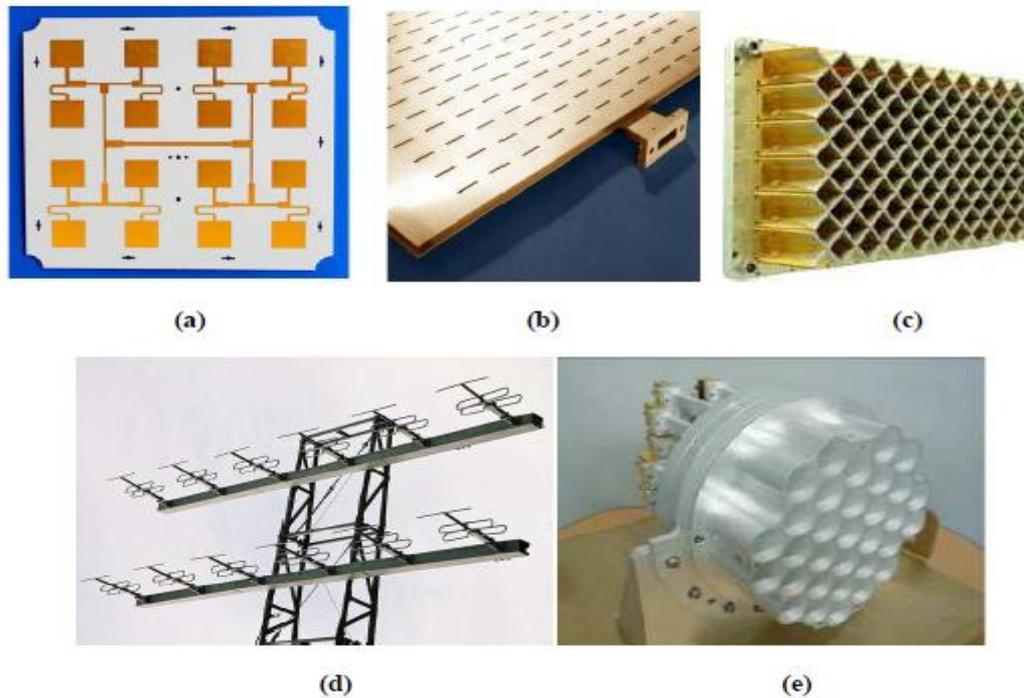


Figure I- 12 : Réseau d'antennes, (a) réseau de patch, (b) réseau de fentes, (c) réseau d'antennes actif, (d) réseau de dipôles, (e) réseau de cornets [16].

Le renforcement du nombre d'éléments rayonnants dans les réseaux d'antennes permet d'augmenter la directivité et le gain. Les éléments rayonnants peuvent être des patches imprimés, des fentes, des cornets ou des dipôles distribués dans l'espace [22]. La figure (I-12) représente quelques exemples d'antennes réseaux.

IV-1-D. ANTENNES OMNIDIRECTIONNELLES

L'antenne omnidirectionnelle ou bien isotopique, est une antenne fictive qui rayonnera même densité de puissance quelle que soit la direction de l'espace. Cette antenne est considérée comme étant une antenne à gain faible, les antennes filaires et hélices présentent ce type d'antenne. Dans le domaine spatial, ce type d'antenne a été généralement utilisée dans le sous-système télémétrie, poursuite et de commande TTC (Télémétrie, Tracking& Command)), parce que ce dernier doit être opérationnel pendant toutes les phases de la mission, même s'il le contrôle d'attitude est perdu. La Figure (I-13) représente quelques exemples sur l'antenne omnidirectionnelle.



Figure I- 13 : Antenne de télémétrie omnidirectionnel, poursuite et de commande (Courtesy of RUAG Aerospace Sweden) [15].

IV-1-E. ANTENNES HEMISPHERIQUES

Pour répondre à la nécessité d'une fréquence unique à profil bas et de faible poids antennes hémisphériques ou quasi-hémisphérique, le travail à de bandes S, C, ou de la bande X Antennes patch-tassent excités ont été mis au point à RUAG Aerospace dans la Figure (I-12). Ils sont constitués d'une coupelle cylindrique courte, avec une section transversale circulaire et un excitateur.



Figure I- 14 : Antenne bande X par RUAG [23].

La coupe est excitée l'aide des deux éléments patches circulaire, ou un seul patch. La partie inférieure patch ou le patch unique est alimenté à un moment donné et le patch à deux perturbations opposées pour générer la polarisation circulaire.

IV-2. SELON L'ORBITE

Les antennes peuvent être classées selon les types d'orbite : les orbites basses, dites LEO (Low Earth Orbit) d'une altitude variante entre 600 et 1600 km, l'orbite géostationnaire,

dite GEO (Geostationary Orbite) située à 36 000 km et les orbites moyennes, dites MEO (Middle Earth Orbite) pour toutes les altitudes intermédiaires. Les antennes LEO utilisent généralement les bandes L, S, C ou X, elles sont montées dans les satellites LEO par exemple les satellites d'observation de la terre, la Figure (I-13) représente deux antennes radars a aperture synthétique le premier est l'antenne *SMOS* de la bande X figure (I-13) et l'autre est l'antenne *SIR-C* de la bande C pour le satellite *Seasat* voir la Figure (I-13.b.)

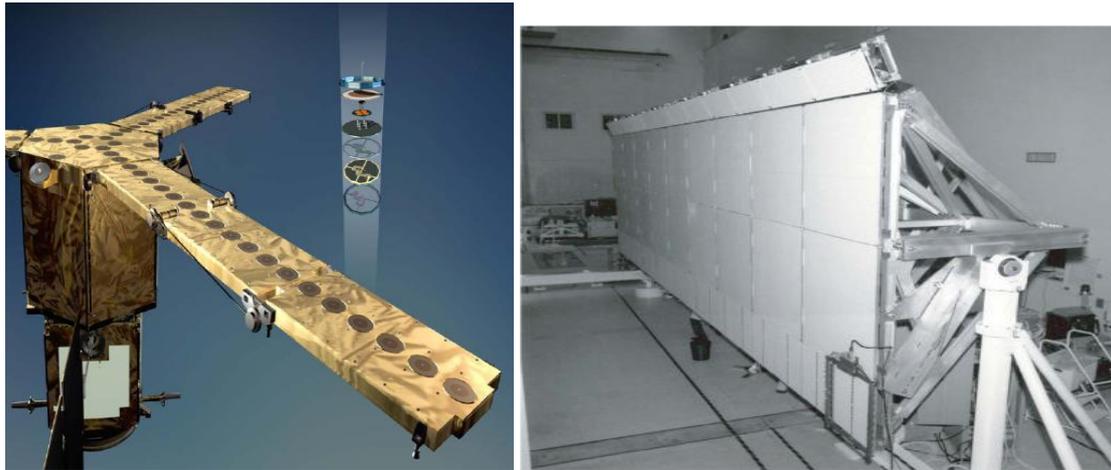


Figure I- 15 : Antennes LEO : radar a aperture synthétique (a) Antenne SMOS de la bande X et (b) Antenne SIR-C dans l'étage de configuration de laboratoire [15].

IV-3. SELON LE GAIN

Par la valeur du gain $G=6\text{dBi}$, les antennes spatiales ayant 4 catégories :

IV-3-A. ANTENNES A GAIN FAIBLE $G \leq 6\text{dBi}$

L'antenne patch est une pastille métallique à la surface d'un substrat diélectrique dont la face inférieure est métallisée, Figure (I-16) L'antenne patch est le meilleur choix dans les véhicules, les avions et les petits satellites. Ce type d'antenne est utilisé dans les navigateurs du satellite, récepteur GPS.

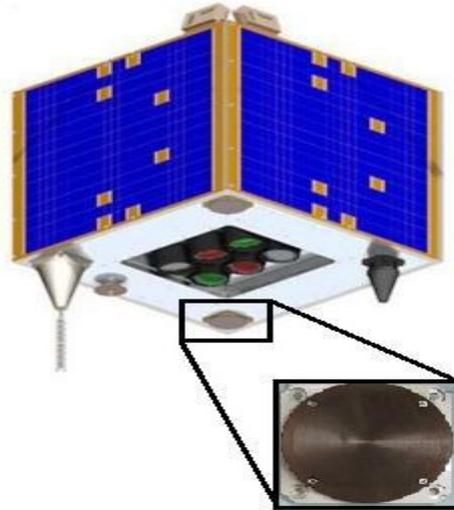


Figure I- 16 : Antenne patch micro-ruban bande S pour microsatellite de Surrey SSTL [15].

IV-3-B. ANTENNES A GAIN ELEVE $G \geq 6\text{DBI}$

Les antennes à réflecteur parabolique et les réseaux d'antennes patches et les antennes destinés pour les applications de l'espace lointain par exemple les antennes *Cassini* sont des antennes à gain élevé (Figures I-17 et I-18).



Figure I- 17 : Antenne à réflecteur (AstroMesh) d'INMARSAT-4 [1].



Figure I- 18 : Réseaux d’antennes de SMOS SAT [1].

IV. GENERALITE AUX SYSTEMES DE TELECOMMUNICATIONS PAR SATELLITE

Les systèmes de télécommunications utilisent les satellites depuis longtemps pour les applications de services fixes et mobiles. On a assisté dans les années 2000 à l'apparition de nouveaux systèmes satellitaires pour des services de téléphonie mobile (Global star ...), et divers projets de services multimédia par satellites (SkyBridge, Teledesic,...) ont été proposés puis assez fréquemment ajournés. Le chapitre I de notre travail est destiné à présenter dans le cas général la description d’une antenne, ces caractéristiques, son principe de fonctionnement ainsi que les principaux types d’antennes employées pour les radiocommunications.

Un satellite de télécommunication peut être considéré comme une sorte de relais hertzien. En effet, il ne s’occupe pas de la compréhension des données : ce n’est qu’un simple miroir. Son rôle est de régénérer le signal qu’il a reçu et de le retransmettre amplifié en fréquence à la station réceptrice.

Le satellite offre également une capacité de diffusion, c’est-à-dire qu’il peut retransmettre les signaux captés depuis la terre vers plusieurs stations.

La démarche inverse peut également être effectuée ; il peut récolter des informations venant de plusieurs stations différentes et les retransmettre vers une station particulière. De plus, il est également possible d’établir des liaisons directes entre satellites [16].

V-1. Généralité sur liaison satellitaire

Une liaison satellite typique se compose d’une transmission d’un signal depuis une station terrienne vers un satellite (liaison montante). Le satellite reçoit et amplifie le signal et

le retransmet ensuite vers la Terre (liaison descendante), où il est reçu et amplifié à nouveau par les stations terriennes et les terminaux. Un système de communication par satellite est composé d'un ensemble de stations terrestres d'émission-réception qui communiquent avec un ou plusieurs satellites placés en rotation autour de la Terre, d'un dispositif de télémétrie et de recherche (Tracking) et d'un centre de gestion du réseau. Les stations terriennes sont reliées aux divers réseaux terrestres nationaux et internationaux qui leur sont les plus proches.

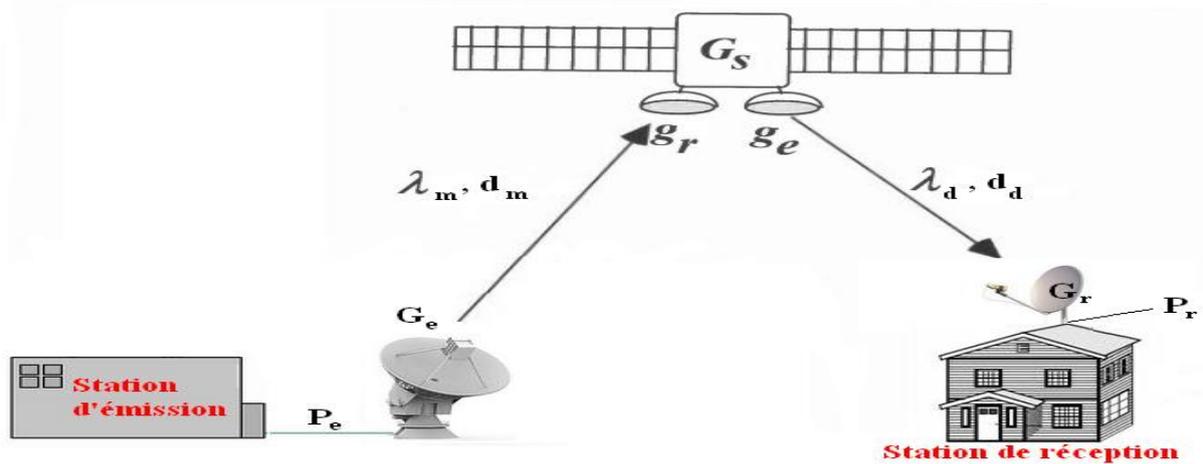


Figure I- 19 : Liaison station d'émission-Satellite-station de réception [1].

P_e : Puissance émise par l'émetteur
satellite

d_m : Distance entre l'émetteur et le

P_r : Puissance reçue par le récepteur
l'antenne émettrice

d_d : Distance entre le satellite et le récepteur
 G_e : Gain de l'antenne émettrice du satellite

G_r : Gain de l'antenne réceptrice
satellite

g_r : Gain de l'antenne réceptrice du

G_s : Gain du transpondeur du satellite
montant

λ_m : Longueur d'onde du faisceau

λ_d : Longueur d'onde du faisceau descendant

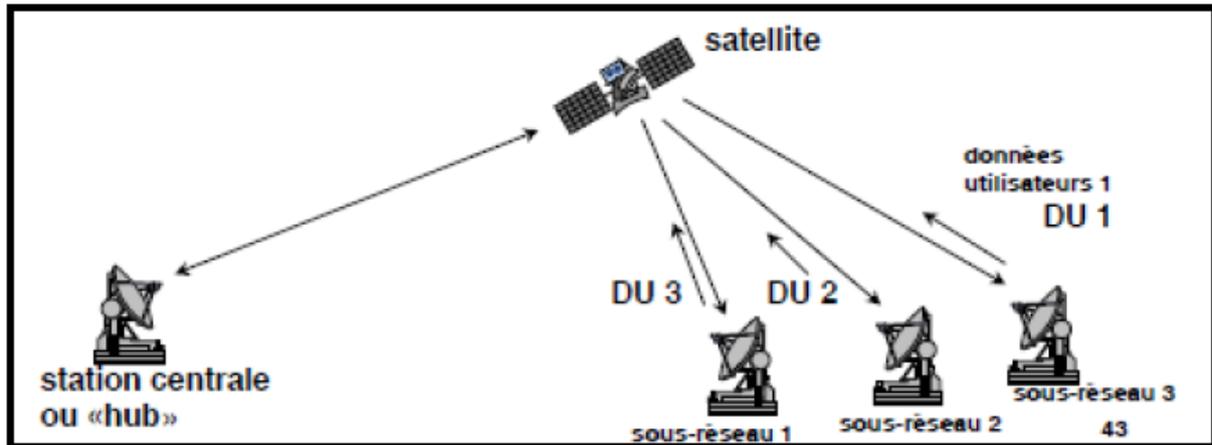


Figure I- 20 : Configuration d'un lien de communication par satellite [5-6].

V-1-A. GAIN DE L'ANTENNE

Dans le calcul d'une liaison, le gain est la caractéristique la plus importante d'une antenne. Il est défini comme étant le rapport de la puissance rayonnée par l'antenne, dans une direction, par unité d'angle solide, sur la puissance rayonnée par une antenne de référence par unité d'angle solide.

V-1-B. EIRP

Le produit $P_t \cdot G_t$ de la puissance transmise par le gain de l'antenne de transmission est appelé la puissance équivalente rayonnée isotropiquement et souvent notée EIRP (Equivalent Isotropically Radiated Power). Il est souvent utilisé comme indice de la capacité de transmission d'une station de base.

$$\text{EIRP} = P_t \cdot G_t [\text{W}] \quad \dots I - 12$$

V-1-C. PERTE DANS L'ESPACE LIBRE

Le calcul des pertes dans l'espace libre est une étape de base pour le calcul d'une liaison de communication par satellite. Dans ce type de systèmes de communication, on suppose que l'antenne de transmission et l'antenne de réception sont alignées face à face dans l'espace libre et sont séparées par une distance suffisamment élevée, d , exprimée en mètres. Soit G_t et G_r les gains respectifs des antennes de transmission et de réception, A_r la surface effective de l'antenne de réception, P_t la puissance transmise et λ la longueur d'onde. La puissance reçue P_r peut être exprimée selon l'équation de Fris :

$$P_r = P_t G_t \frac{A_r}{4\pi d^2} = P_t G_t G_r \frac{\lambda^2}{4\pi d^2} \quad \dots I - 13$$

$$A_r = G_r \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad \dots I - 14$$

Ainsi, les pertes dans l'espace libre Lfs peuvent être exprimées comme le rapport de la puissance reçue par la puissance transmise. Si en plus, nous ne supposons que les antennes de transmission et de réception sont isotropes nous pouvons exprimer les pertes de transmission comme suit :

$$L_{fs} = \frac{(4\pi d^2)}{\lambda^2} \quad \dots I - 15$$

V-1-D. PERTE PAR ABSORPTION ATMOSPHERIQUE

Les molécules gazeuses dans la troposphère telle que l'oxygène et la vapeur d'eau sont les principaux facteurs de l'atténuation des ondes radio sous forme d'absorption par résonance. L'atténuation peut être provoquée par les phénomènes d'absorption et de dispersion causés par les particules de glace ou les gouttelettes d'eau.

Les pertes de propagation (L_p) sur les ondes radio dues aux effets atmosphériques dépendamment de la fréquence.

V-1-E. TEMPERATURE DE BRUIT

Le niveau de bruit au niveau des récepteurs, dans un système de communication par satellite, doit être extrêmement faible puisque le signal désiré est souvent assez faible. Ce niveau du bruit peut être exprimé en termes de température absolue fictive.

Particulièrement, quand le bruit thermique, par unité de largeur de bande, d'un objet est équivalent au bruit thermique généré par une résistance de 50Ω à une température absolue T .

La puissance du bruit thermique par unité de largeur de bande, N_0 , peut être exprimée par kT avec k désigne la constante de Boltzmann ($k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$).

La température T qui correspond à ce bruit thermique est appelée température de bruit (noise temperature en anglais).

Il est souvent recommandé d'exprimer N_0 en décibel selon l'équation suivante :

$$[N_0]_{dB} = 10 \cdot (k) + 10 \cdot (T) = -228,6 + 10 \cdot (T) \text{ dB/Hz} \quad \dots I - 16$$

V-1-F. BILAN DE LIAISON

La grandeur intéressante pour l'évaluation de performances de la liaison est le rapport signal à bruit SNR. Pour la transmission numérique, la probabilité d'erreur sur les symboles binaires reçus doit être raisonnable, compte tenu de l'ensemble des dégradations.

L'évaluation du rapport SNR au récepteur se fait à l'aide du bilan de liaison qui recense l'ensemble des dégradations aux divers endroits de la liaison. [9]

$$SNR = \frac{P_R}{N} = \frac{EIRP \cdot G_R}{NL_{fs}} = \frac{EIRP \cdot G_R}{BN_0L_{fs}} \quad \dots I - 17$$

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

$$\frac{P_R}{N_0} = \frac{EIRP \cdot G_R / T}{KL_{TOT}} \quad \dots I - 19$$

Tel que :

- N : le bruit global du système.
- L_{TOT} : les pertes totales (perte de l'espace libre, pertes de propagation, perte de désadaptation, perte du guide d'onde d'alimentation (feeder),..., etc.)
- B : la bande passante de l'antenne.
- G_R / T représente le figure de mérite.

V-2. TAILLE DE LA PLAGES DE FREQUENCE

Le développement d'une antenne patch compacte à faible coût offrant une grande bande passante a double polarisation direct et circulaire opérationnel représenterait une innovation majeure.. Des antennes capables de couvrir des bandes passantes opérationnelles aussi larges ont déjà été rapportées dans la littérature à la fois dans les bandes Ku- et Ka c'est pour sa on a choisi de travaillé sur ces deux bandes passantes :

V-2-A. BANDE KA

Consistant en un patch ovale couplé à une ouverture avec un seul réseau d'alimentation en forme de L et une fente de couplage en forme de L comme nous pouvons le voir sur la figure I-21 a). Le stack-up peut être apprécié sur la figure I-21 b): seules 3 couches métalliques sont utilisées avec différents substrats diélectriques pour le micro ruban et le patch, obtenant une épaisseur finale d'empilage de 0,9 mm. Le coefficient de réflexion est inférieur à -19 dB sur une large gamme de fréquences de 27,5 à 30,5 GHz correspondant à 17% de largeur de bande fractionnaire autour de la fréquence centrale de 29 GHz, comme le montre la figure I-21 c). Le gain réalisé côté large simulé minimum est de 7 dB et l'antenne prend en charge une circulaire droite polarisation [3].

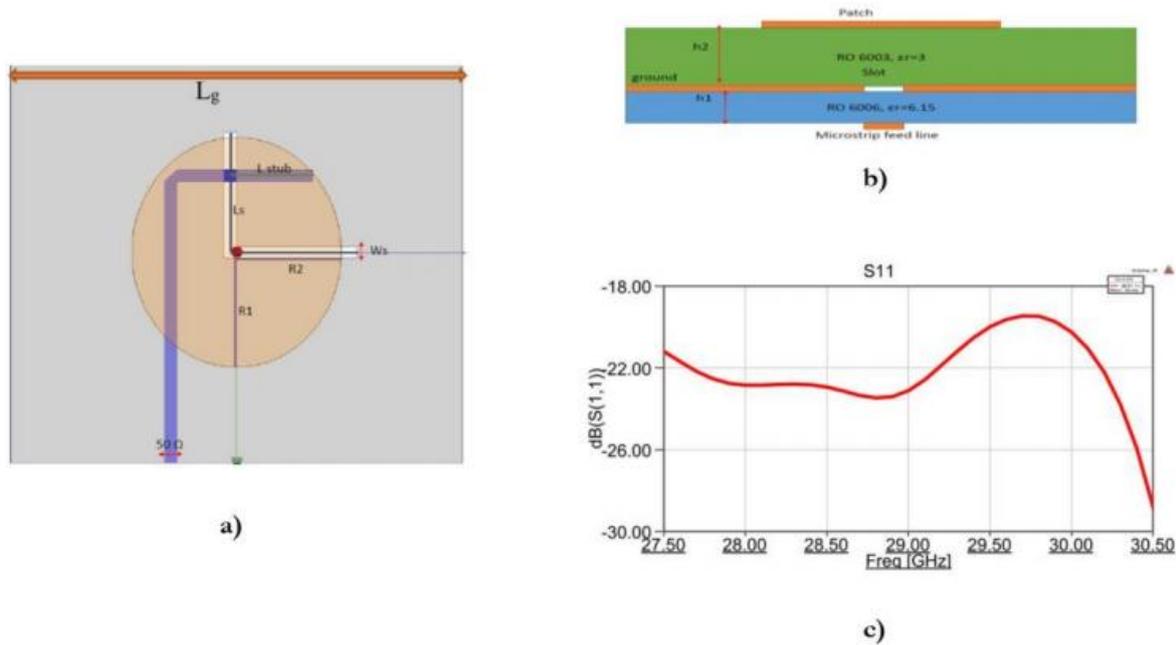


Figure I- 21 : Antenne patch ovale à couplage d'ouverture fonctionnant en bande Ka, d'après [3]: a) vue de dessus transparente [3], b) vue en coupe [3], c) S11 simulé en fonction de la fréquence [3]

➤ *Avantages de l'utilisation de la bande Ka*

Les antennes de bande Ka peuvent être plus petits que ceux de bande Ku à cause des fréquences de la bande Ka qui sont plus élevées et la haute puissance du satellite. Les antennes plus petites traduisent les coûts modiques du démarrage de l'équipement.

➤ *Les inconvénients de l'utilisation de la bande Ka*

Les plus hautes fréquences d'une bande Ka sont significativement plus vulnérables aux problèmes de qualité du signal causés par la pluie et en conséquence les VSAT en bande Ka sont habituellement inappropriés pour les systèmes critiques ou à haute disponibilité dans les régions tropicales ou subtropicales. Aussi, les systèmes de bandes Ka nécessiteront presque toujours des antennes de poursuite. La bande passante Ka est plus chère que la bande C ou Ku. La bande Ka est actuellement indisponible sur l'Afrique.

V-2-B. BANDE KU

Un exemple intéressant d'antenne planaire à large bande fonctionnant en bande Ku, couvrant ~ 30% de la bande passante fractionnaire autour du centre fréquence de 15 GHz. Le gain réalisé côté large minimum mesuré est égal à 3 dB, comme on peut le voir sur la figure I-20 d), avec un appariement oscillant autour de -10 dB aux fréquences d'intérêt, comme on peut le voir sur la figure I-20 c). Le prototype est imprimé par fabrication numérique directe (DDM), illustré à la figure I-22 b). L'empilement relatif est détaillé sur la figure I-22 a), comprenant trois couches de métal et trois couches d'un polymère plastique (acrylonitrile

butadiène styrène) de densités différentes, utilisé comme diélectrique. Les performances attrayantes de cette antenne sont contrebalancées par l'utilisation d'un procédé de fabrication qui peut limiter une éventuelle industrialisation de ce prototype à faible coût applications. La taille du dessin complet n'est pas disponible, mais la dimension du bord du patch est égale à un tiers de la longueur d'onde à la fréquence de fonctionnement la plus élevée. Cela suggère qu'un tableau avec un espacement d'au moins λ à la fréquence opérationnelle la plus élevée peut être créé, offrant un faisceau fixe fonctionnalités évitant les lobes grinçants [16].

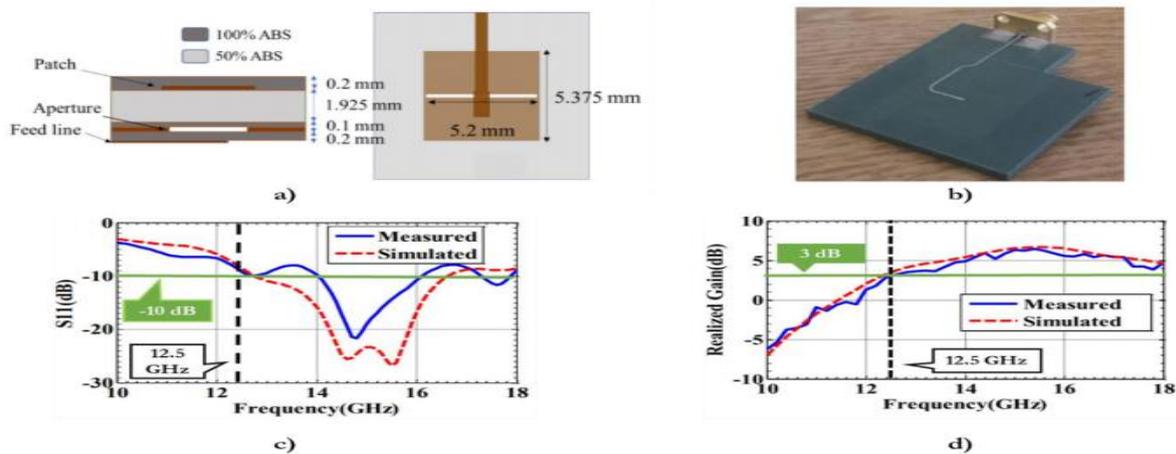


Figure I- 22 : Antenne ACP fonctionnant en bande Ku avec 30% de bande passante fractionnaire autour de la fréquence centrale de 15 GHz, a) vue de dessus superposée et transparente avec dimensions, b) prototype, c) simulé et S_{11} mesuré en fonction de la fréquence.

V-3. LES AVANTAGES A UTILISER UNE BANDE KU

Les systèmes de bandes Ku nécessitent de plus petites antennes à cause de la grande puissance du transpondeur de leurs satellites et de leur fréquence très élevées, qui se traduisent par de plus petites, antennes bon marché sur le sol entraînant des coûts de démarrage et de transport faibles. les plus petites antennes des bandes Ku peuvent être facilement installées presque sur n'importe quelle surface du sol, les toits ou boulonnés sur le côté du bâtiment. Cela est une considération importante pour les régions à espace limité.

V-4. LES INCONVENIENTS A UTILISER UNE BANDE KU

Les systèmes bandes Ku sont plus affectés par les chutes de pluie à cause de leur fréquence élevée de fonctionnement et de ce fait sont habituellement considérés inappropriés pour des applications critiques sous les tropiques. A moins que des mesures spécifiques soient prises pour réduire l'atténuation de surplus de pluie, par exemple en utilisant des antennes plus

larges. Cet inconvénient a aussi été légèrement compensé par les satellites de grande puissance fabriqués de nos jours. Comme mentionné plus haut, les systèmes bande Ku gagnent en popularité même sous les tropiques pour l'usage domestique où les usagers peuvent survivre à quelques heures de service intermittent pendant le mois.

V. CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons présenté, d'une manière générale, les antennes leur différents types, caractéristiques, ils ont été présentées soit par rapport à leur diagramme de rayonnement, directivité, etc.

Cette maîtrise nous a permis de comprendre leur comportement et leur adaptation au différent milieu dont elles sont implémentées sur des gammes de fréquences différentes. L'environnement spatial est un milieu riche de contraintes pour les engins spatiaux. Plus particulièrement sur certains composants tels que les antennes à cause de leurs comportements physiques importants.

La diversité des applications spatiales implique l'utilisation de large gamme des antennes. Afin de réduire le nombre total des antennes au bord du mini satellite, les techniques sont utilisées pour assurer à l'antenne de fonctionner dans plusieurs bandes. Pour cela, le deuxième chapitre sera consacré plus spécifiquement à des antennes en bande Ku.

Chapitre II :

l'antenne patch large bande

I. INTRODUCTION

De nos jours, l'industrie des télécommunications porte un grand intérêt à la miniaturisation des circuits et composants électroniques. En ce qui concerne les objets communicants cet effort se concentre notamment sur l'antenne qui est généralement l'un des éléments les plus encombrants du système. Les terminaux actuels doivent ainsi être capables de fonctionner dans les trois bandes traditionnelles utilisées en téléphonie mobile (GSM 900 ; DCS1800 ; PCS1900). Les systèmes micro-ondes à structure micro-ruban ont été à l'origine du développement des antennes imprimées qui sont les plus souvent utilisées en réseaux afin d'améliorer leurs performances et de permettre la réalisation des fonctions très particulières.

Le concept des antennes imprimées (antennes micro-ruban aussi connues sous l'appellation anglaise patch antenne) est apparu dans les années 1950. Le véritable développement ne s'est fait que dans les années 1970, en faisant apparaître les premières réalisations qui seront essentiellement réservées à des applications militaires [1].

La technologie actuelle qui vise de plus en plus la miniaturisation des composants a permis de mettre en évidence l'importance et l'utilité des antennes imprimées dans la radio de communication. Dans ce chapitre nous présentons en premier lieu la description de la structure simplifiée des antennes imprimées (antennes patch), leurs avantages et limitations, leurs caractéristiques, en suite on se penche sur les différents types d'alimentation et les méthodes d'analyse de ces antennes et on clôture le chapitre par bref aperçu de leurs domaines d'application [1].

I. Définition de la large bande :

Un réseau large bande est défini comme capable de transmettre des signaux à un débit élevé.

En opposition à un réseau bande de base qui utilise un seul canal de transmission, un réseau Large bande utilise plusieurs canaux de transmission.

Un canal de transmission étant égal à 64 Kbps, tout réseau transmettant à plus de 128 Kbps est un réseau large bande. C'est une définition retenue par l'UIT Certains pays ont retenu d'autres définitions, le FCC estime la large bande à partir de 200 Kbps.

En Suède par exemple, on parle de 2 Mbps. De fait, la définition de la large bande dépend des Ambitions des décideurs et des services fournis aux usagers.

En Afrique sub-saharienne, on pourra définir la large bande comme un réseau transmettant à Un débit de 256 Kbps [1].

II. DESCRIPTION D'UNE ANTENNE IMPRIMEE OU "PATCH"

Une antenne à éléments rayonnants imprimés « figure II-1 », communément appelée antenne patch est une ligne micro-ruban (micros trip) de forme particulière. Elle effectue ainsi deux fonctions fondamentales qui définissent le principe d'antenne de manière générale, il s'agit bien du rayonnement (émission) et de la réception d'une onde électromagnétique. Allée compose de :

- **Le plan de masse (grounds plane)** est une surface conductrice (cuivre) recouvrant la partie inférieure du substrat. Elle permet de faire rayonner la partie supérieure.
- **Un substrat diélectrique (diélectrique substrat)** composé d'un matériau isolant, d'épaisseur généralement faible devant la longueur d'onde et de permittivité relative ($2,2 < \epsilon_r < 12$). Il est utilisé pour augmenter la puissance rayonnée par l'antenne et réduire les pertes par effet de joule et amélioré la bande passante de l'antenne. Parfois, il est préférable d'utiliser des substrats diélectriques d'épaisseur importante et de faible permittivité pour avoir une grande efficacité et une large bande passante.
- **L'élément rayonnant (patch)** est une partie métallique de forme et de taille à définir selon l'application, à géométrie variable (circulaire, rectangulaire, triangulaire ... etc.). Il doit être relié au reste du circuit par une ligne de transmission (micro-ruban) qui doit être adaptée d'impédance à l'antenne et au reste du circuit afin d'éviter le phénomène de réflexion. Dans la pratique, le rectangle et le disque représentent les formes de l'élément rayonnant les plus utilisées. Il est constitué d'une partie conductrice qui va rayonner. La forme et les dimensions conditionnent la fréquence de fonctionnement de l'antenne [1].

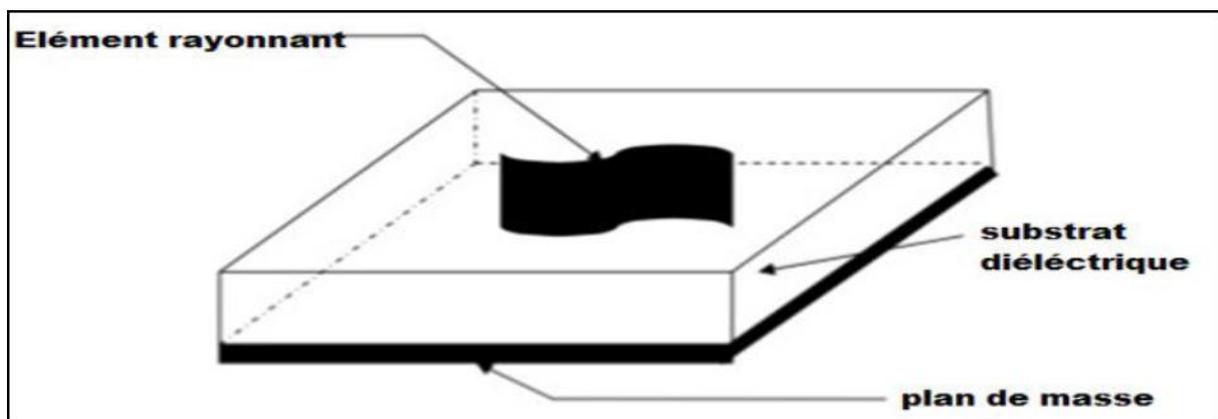


Figure II-23 : Structure d'antenne imprimée [1].

L'élément rayonnant de l'antenne patch peut prendre plusieurs formes qui peuvent être rectangulaire, carrée circulaire ou simplement un dipôle de dimension d'ordre de demi-

longueur d'onde ($\lambda/2$). Les formes suivantes « Figure II-2 » sont les plus courantes car elles présentent une grande facilité d'analyse et de fabrication, mais également un diagramme de rayonnement très intéressant [1].

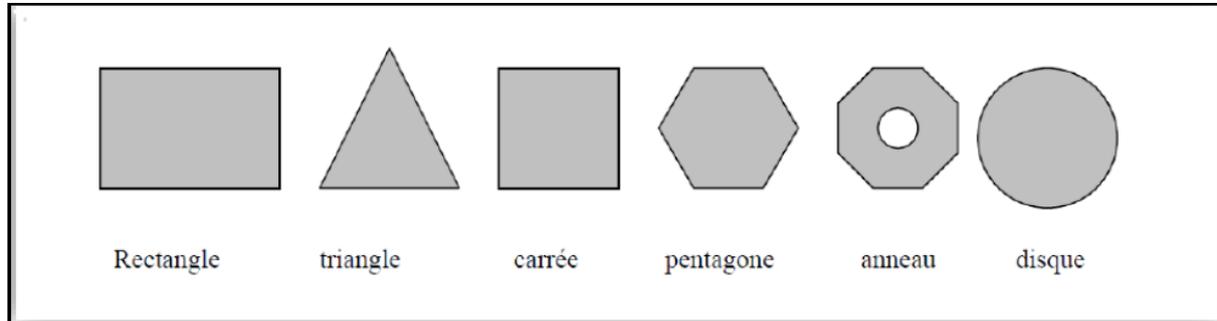


Figure II-24: Différentes formes d'élément rayonnant [1].

Parmi toutes les formes des éléments rayonnants, le rectangle est le plus facile à appréhender pour la compréhension des mécanismes de rayonnement des antennes patch. Les antennes imprimées possèdent comme on a déjà souligné une facilité d'intégration et elles sont largement utilisées, leurs applications couvrent un large domaine de fréquences (100 MHz à 100 GHz), elles ont beaucoup d'avantages parmi eux :

- ✓ Faible poids, masse, épaisseur, et volume.
- ✓ Possibilité d'être intégrées dans des appareils électroniques transportable.
- ✓ Faible cout et facilité de fabrication.
- ✓ Capables d'émettre à deux ou trois fréquences.
- ✓ Simples, robustes, et moins encombrantes et adaptables aux surfaces planes et non planes [1].

Néanmoins ces antennes présentent des limitations à savoir :

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

Donc la conception des antennes doit répondre à des compromis en termes de performance et de complexité de réalisation [1].

Les antennes patch ont un facteur de qualité (Q) très élevé. Q représente les pertes liées à l'antenne et un grand facteur de qualité mène à une largeur de bande étroite et un faible rendement. Le facteur de qualité peut être réduit en augmentant l'épaisseur du substrat diélectrique.

III. ALIMENTATION DES ANTENNES "PATCH"

Un problème récurrent dans la conception des antennes patch concerne le choix de la technique d'excitation. L'énergie est fournie à l'élément rayonnant de manière à influencer directement sur son rayonnement et modifier ces performances. L'alimentation de l'antenne dépend de la manière dont l'antenne est intégrée dans le dispositif.

Les techniques d'alimentation des antennes imprimées peuvent être classées en deux catégories :

- ✓ Alimentation par contact (par sonde ou ligne micro-ruban).
- ✓ Alimentation par proximité (couplage électromagnétique par ligne ou par fente).

III-1. ALIMENTATION PAR LIGNE MICRO-RUBAN

L'alimentation peut se faire par connexion directe avec une ligne micro-ruban « figure II-3 », (généralement de 50Ω) [1], c'est-à-dire en reliant cette ligne au patch rayonnant tel que la largeur de la ligne est petite par rapport à celle du patch rayonnant. Ce genre d'alimentation a l'avantage qu'elle peut être gravée sur le même substrat pour fournir une structure plane ; Il existe cependant un inconvénient dans ce type d'alimentation vu qu'elle génère un rayonnement parasite. Cette technique est facile à réaliser, simple à modéliser et facilite l'adaptation d'impédance.

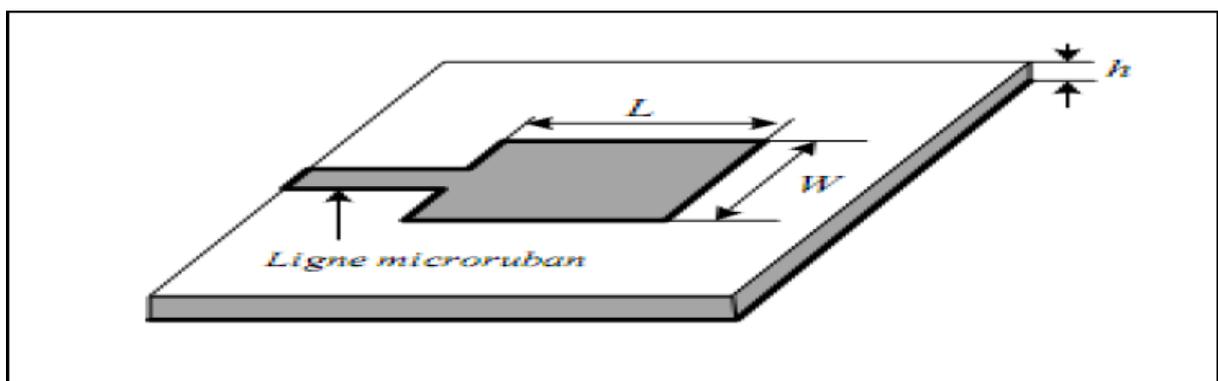


Figure II-25 : Alimentation par ligne micro-ruban [1].

On trouve trois cas illustrés sur la (figureII-4) :

- Le point de jonction est sur l'axe de symétrie de l'élément (a).
- Le point de jonction est décalé par rapport à cet axe et cela permet une meilleure adaptation d'impédance (b).
- Alimentation axiale avec une encoche (c).

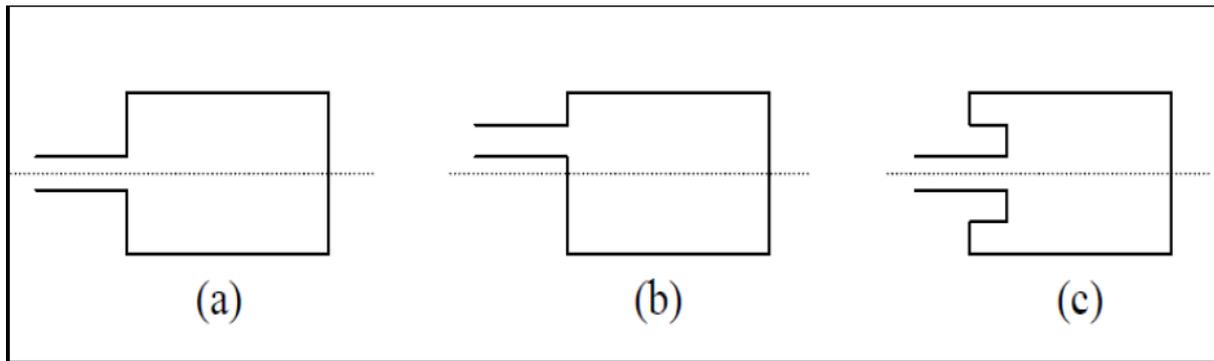


Figure II-26 : Alimentation par ligne micro-ruban (a) axiale (b) décalée (c) axiale avec encoche [1].

Dont le premier (a) et deuxième (b) cas permettent une meilleure adaptation d'impédance et l'alimentation axiale avec encoche donne de bons résultats concernant l'adaptation, elle est très utilisée dans les réseaux d'antennes imprimées.

III-2. ALIMENTATION COAXIALE

Dans ce cas l'élément rayonnant est connecté au conducteur intérieur du connecteur coaxial traversant le diélectrique, tandis que le conducteur externe est soudé directement au plan de masse « Figure II-5 ».

L'avantage principal de ce type d'alimentation est qu'elle peut être appliquée n'importe quel endroit désiré du patch afin d'assurer l'adaptation d'impédance, cependant cette méthode présente des inconvénients au niveau du diagramme du rayonnement. En effet, la connexion génère un pic de courant localisé au niveau de l'élément rayonnant qui peut induire une dissymétrie dans le diagramme du rayonnement, de plus des pertes apparaissent avec les perçages du plan de masse ainsi que de l'élément plaqué [1].

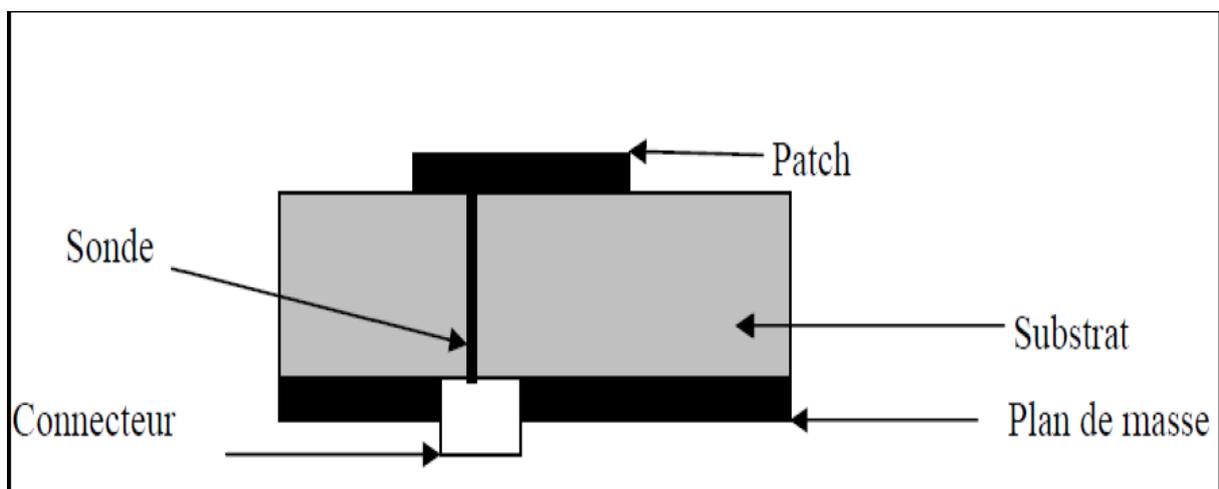


Figure II-27 : Alimentation coaxiale [1].

Le circuit équivalent, des deux types d'alimentation, est formé d'un réseau parallèleRLC qui représente la pièce métallique (patch) rayonnante résonnante et un inducteur série représentant l'inductance de la sonde coaxiale d'alimentation ou de la ligne d'alimentation micro-ruban « Figure II-6 ».

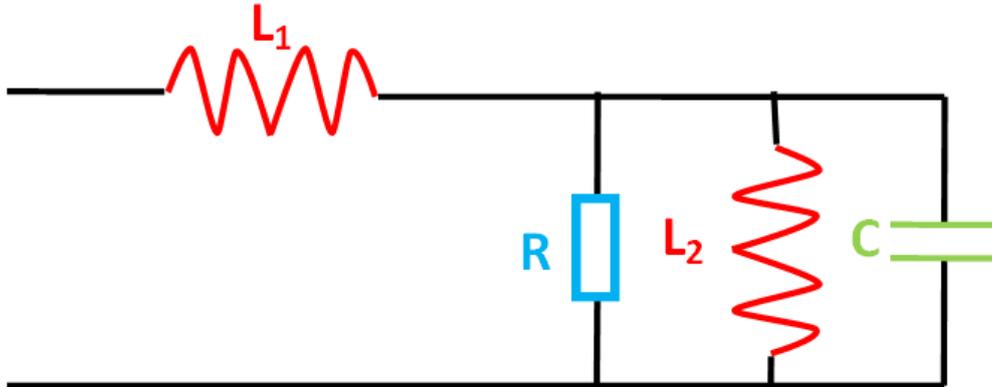


Figure II-28 : Le circuit équivalent d'une antenne patch [2].

De telles méthodes d'alimentation entrant en contact direct, ont l'avantage de la simplicité, mais elles ont également plusieurs inconvénients. L'augmentation, par exemple, de l'épaisseur du substrat dans le but d'augmenter la largeur de la bande passante, mène à une augmentation des faux rayonnements d'alimentation et une augmentation de la puissance d'onde surfacique [2]. Pour ces raisons et d'autres, de telles antennes sont ainsi limitées dans la largeur de bande. Ces deux méthodes d'alimentation offrent essentiellement un degré de liberté dans la conception par le choix de positionnement du point d'alimentation afin d'ajuster le niveau d'impédance d'entrée [2].

Ces dernières années, une variété d'alimentations sans contact direct ont été développées pour les antennes micro-rubans, d'où la nécessité de détailler deux de ces types :

III-3-A. ALIMENTATION COUPLEE PAR PROXIMITE

Ce type d'alimentation est représenté sur la « figure II-7 », deux substrats diélectriques sont employés tels que la ligne d'alimentation est entre les deux substrats et le patch de rayonnement est sur le substrat supérieur.

L'avantage principal de cette technique d'alimentation est l'élimination du rayonnement parasite et l'obtention d'une bande passante plus large et cela par l'augmentation globale de l'épaisseur de l'antenne, la distance entre la ligne d'alimentation et le patch peut être utilisé pour adapter l'impédance de l'antenne. Parmi les inconvénients de cette méthode d'alimentation nous citons la difficulté de fabrication à cause des deux couches diélectriques

nécessitant un alignement approprié, ainsi que la difficulté d'intégration de dispositifs actifs. L'adaptation est réalisée en contrôlant la longueur de la ligne d'alimentation.

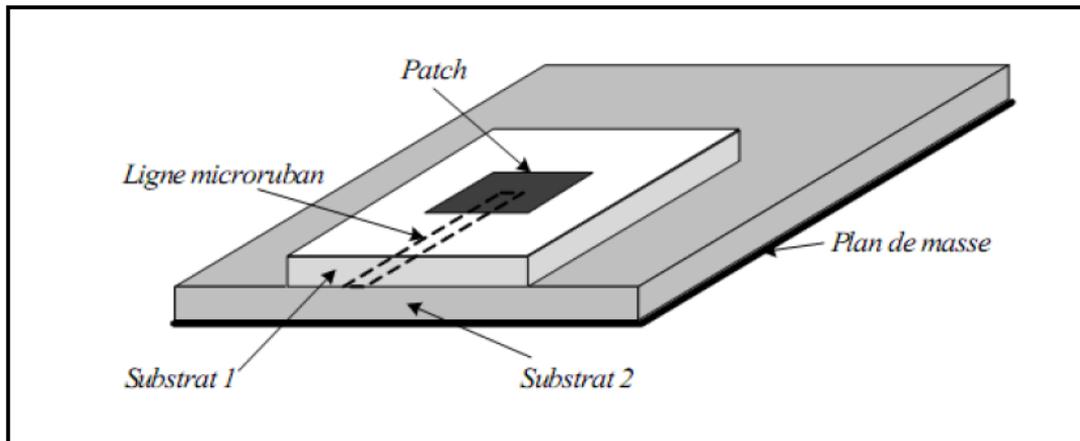


Figure II-29 : Alimentation couplée par proximité [1].

La nature capacitive de cette méthode d'accouplement est reflétée dans le fait que le circuit équivalent, montré dans « la figure II-8 » à un condensateur en série avec le résonateur parallèle RLC qui représente le patch [3, 4].

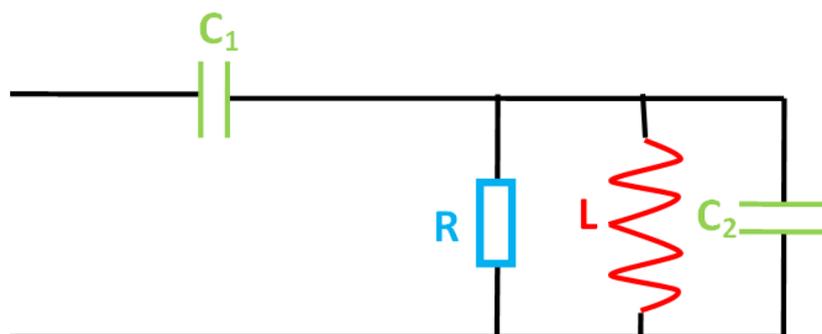


Figure II-30 : Circuit équivalent d'un patch alimenté par proximité[2].

III-3-B. ALIMENTATION COUPLEE PAR OUVERTURE

Dans ce type d'alimentation illustré dans la « figure II-9 » la pièce rayonnante et l'alignement d'alimentation sont séparées par le plan de masse, l'élément rayonnant est gravé sur le sommet du substrat d'antenne (substrat 1), et la ligne d'alimentation est gravée sur le fond(bas) du substrat d'alimentation (substrat 2). Le couplage entre le patch et la ligne d'alimentation est donc assuré par une fente (ouverture) dans le plan de masse, centrée sous le patch.

Généralement, un matériau ayant une constante diélectrique élevée est employé pour le substrat inférieur, alors qu'un matériau épais ayant une constante diélectrique faible est employé pour le substrat supérieur afin d'optimiser le rayonnement du patch [5]. L'avantage

principal de cette technique est la réduction des rayonnements indésirables qui est due à la séparation entre le patch et la ligne d'alimentation par le plané masse.

Cependant son l'inconvénient majeur est qu'elle présente des difficultés au niveau de la fabrication en raison des couches multiples et fournit aussi une largeur de bande étroite.

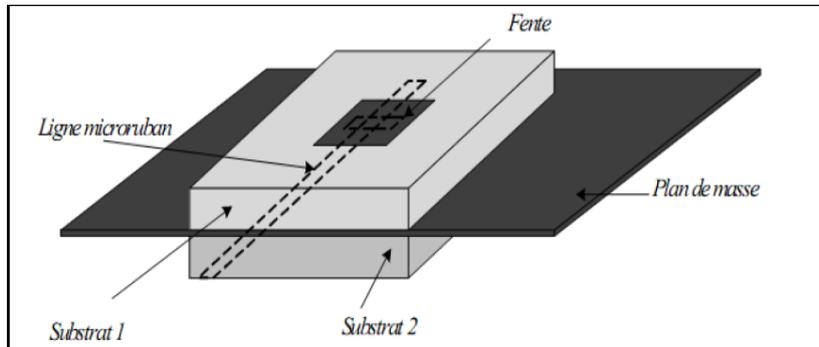


Figure II-31 : Alimentation couplée par ouverture [1].

Le circuit équivalent d'une antenne couplée par ouverture est représenté par la « figureII-10 » suivante [3]:

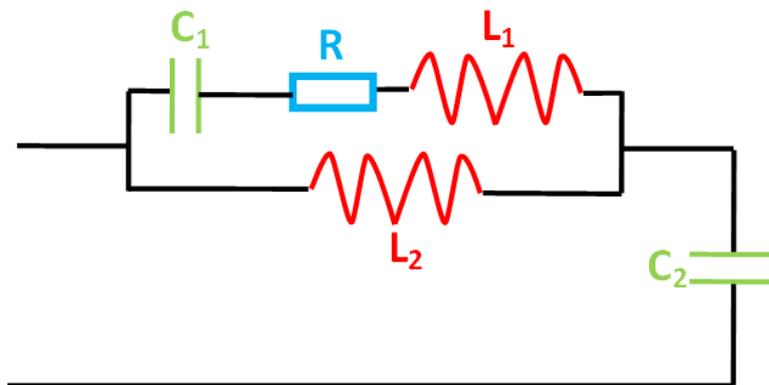


Figure II-32 : Circuit équivalent d'une antenne couplée par ouverture [3].

Le tableau (II-1) suivant récapitule les caractéristiques des différentes techniques d'alimentation :

Méthode	Alimentation par ligne micro-ruban	Alimentation par câble coaxial	Alimentation par couplage de proximité
Rayonnement parasite	Plus	Plus	Minimum

d'alimentation			
Fiabilité	Meilleure	Bonne	Fiable à cause de la soudure
Facilité de fabrication	Facile	Nécessite une soudure et un perçage	Nécessité d'alignement
Adaptation d'impédance	Facile	Facile	Facile
Bande passante	2-5 %	2-5 %	13%

Tableau II-3 : Caractéristiques de différentes techniques d'alimentation [1].

Une comparaison entre l'alimentation avec contact (ligne micro-ruban et câble coaxial) et l'alimentation sans contact (couplage par proximité ou par ouverture) se résume dans le tableau (II-2) suivant :

Méthode	Caractéristique	Avantages	Inconvénient
Alimentation avec contact	Câble coaxial	<ul style="list-style-type: none"> - Pas de pertes de rayonnement de ligne. - Sélection possible d'un mode privilégié. - obtention d'une impédance d'entrée adéquate par positionnement de la sonde. - Prédiction aisée de l'impédance d'entrée pour des substrats de faible hauteur. - Technique de perçage simple jusqu'à 10GHZ. 	<ul style="list-style-type: none"> - Dans le cas de substrat épais, la réactance inductive supplémentaire apportée par la sonde affecte de la bande passante. - Technique de perçage et de soudure plus délicate en millimétrique. - La difficulté d'excitations de chaque élément d'un réseau seul.
	Ligne micro-ruban	<ul style="list-style-type: none"> - Procédé technologique le plus simple par gravure sur la même face de l'antenne 	<ul style="list-style-type: none"> - Rayonnement parasite de la discontinuité ligne-aérienne. - Rayonnement parasite

		et du circuit d'alimentation. - Adaptation de l'aérien possible par contact pénétrant.	possible du circuit de distribution en millimétriques. - Structure figée après gravure.
Alimentation sans contact	Par couplage	- Dessin du circuit modifiable par aux aériens. - Bande passante plus large par augmentation de la hauteur.	- Deux couches du substrat requises. - Difficulté pour l'intégration des dispositifs actifs et pour la dissipation de chaleur.

Tableau II-4 : Avantages et inconvénients de différentes techniques d'alimentation [6].

III-3-B-1. Couplage par fente

Cette structure est constituée par deux substrats séparés par un plan de masse, le patch est imprimé sur le substrat supérieur et le ruban de l'alimentation est imprimé sur le substrat inférieur, avec une fente non résonnante fendue dans le plan de masse. L'adaptation de l'impédance est contrôlée par les paramètres de la fente, la position et la longueur du ruban et la constante diélectrique de deux substrats [7].

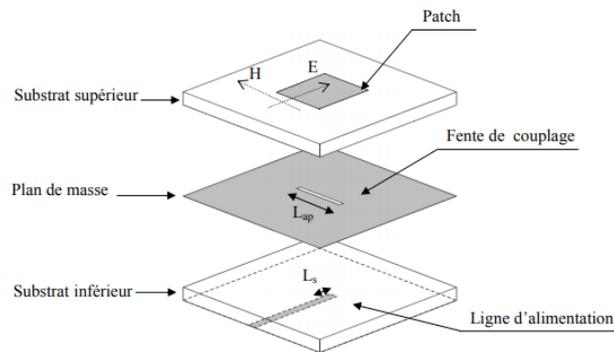


Figure II-33 : Configuration d'une antenne patch à couplage par fente [7].

Cette structure d'alimentation offre un large et une pureté de polarisation élevée, mais son coût de fabrication est très élevé.

III-3-B-2. Couplage par une ligne CPW

La figure suivante montre les différentes formes d'alimentation avec une ligne CPW :



Figure II-34 : Structures d'alimentation CPW [9].

- Le couplage entre le CPW et le patch est capacitif dans la Figure 12-(a) ;
- Le couplage entre CPW et le patch est inductif dans la Figure 12 (b) ;
- Les fentes dans le plan de masse produisent un rayonnement en arrière. Pour minimiser Ce rayonnement non désiré, une boucle de n'importe quelle forme doit être introduite Figure 12-(c) [8].

III-3-B-3. Alimentation doublée

Le principe de l'antenne à alimentation doublée sera utilisé afin d'obtenir la polarisation circulaire.

Le principe de l'antenne à deux alimentations (ou accès) réside dans l'excitation de deux modes orthogonaux déphasés de 90° . Le signe de cette phase relative indique notamment le sens de polarisation.

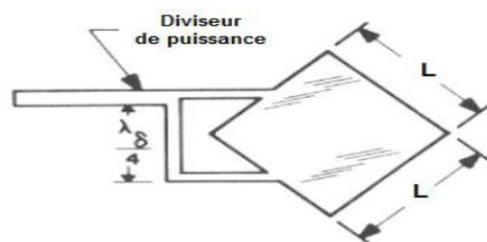


Figure II-35 : Principe de l'antenne à deux alimentations [9].

La qualité de la polarisation circulaire dépend de l'isolation entre les deux accès, ainsi que du contrôle des polarisations linéaires. Le déphasage de 90° est obtenu en utilisant un diviseur de puissance et une ligne un quart d'onde (voir la Figure II.13) [9].

IV. LA TECHNIQUE DE POLARISATION D'ANTENNE MICRO RUBAN

Les antennes micro ruban rectangulaires et circulaires sont les plus fréquemment utilisées à cause de leur simplicité ; ainsi elles peuvent être utilisées pour la plupart des applications car certaines caractéristiques telles que la double polarisation, la polarisation circulaire et la double bande peuvent être facilement obtenues avec ces formes de patches.

Elles sont considérées comme des références pour valider les nouvelles techniques analytiques ou numériques proposées [9].

IV-1. LES ANTENNES MONOPOLE A POLARISATION LINEAIRE

Les antennes monopoles constituent la plupart des antennes omnidirectionnelles, elles offrent une bonne performance, soit en termes de bande passante ou de rayonnement. Les monopoles sont des antennes de petites dimensions, ce qui facilite leur intégration aux systèmes de petites dimensions. La Figure II-14 présente certaines structures des antennes monopoles :

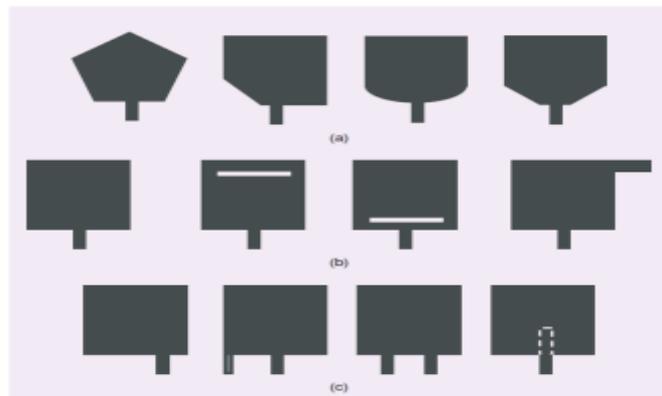


Figure II-36 : Structures modifiées du monopole rectangulaire [10].

IV-2. LES ANTENNES A POLARISATION CIRCULAIRE

Les antennes circulaires, rayonnent principalement des ondes polarisées linéairement si des alimentations conventionnelles sont utilisées sans aucune modification. Cependant, des polarisations circulaires et elliptiques peuvent être obtenues en utilisant diverses dispositions d'alimentation ou de légères modifications faites aux éléments.

La polarisation circulaire peut être obtenue si deux modes orthogonaux sont excités avec une différence de phase de 90° entre eux. Cela peut être fait en ajustant les dimensions physiques du patch et en utilisant un seul, ou plusieurs alimentations. Pour un patch carré, le moyen le plus simple d'exciter théoriquement une polarisation circulaire consiste à alimenter l'élément sur deux bords adjacents, comme le montrent la Figure II.15 (a, b).

Pour un patch circulaire, quelques modes de la polarisation circulaire sont obtenues en utilisant deux alimentations avec une séparation angulaire appropriée. Un exemple est illustré à la figure II-15-(c) en utilisant deux alimentations coaxiales séparées de qui génèrent des champs orthogonaux. Aussi avec cette disposition, chaque sonde est toujours positionnée à un point où le champ généré par l'autre sonde présente une valeur nulle ; il y a donc un faible

couplage mutuel entre les deux sondes. Pour obtenir une polarisation circulaire, il est aussi nécessaire que les deux alimentations créaient des champs avec différence de phase de 90° entre eux. Cela est possible grâce à l'utilisation d'un hybride [9].

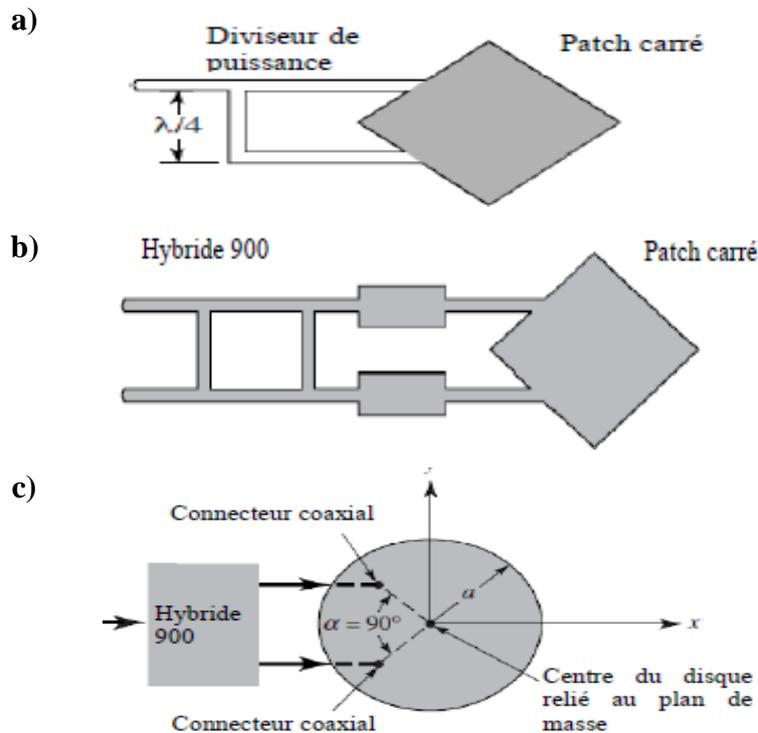


Figure II-37 : Dispositions du patch circulaire pour la polarisation circulaire, a) : Patch carré alimenté aux côtés adjacents par diviseur de puissance, b) : patch carré alimenté aux cotes adjacentes par un hybride et c) : Patch circulaire alimenté par câble [10].

IV-3. LES ANTENNES A DOUBLE POLARISATION

Afin de maximiser la capacité des systèmes de communication, les antennes à double polarisation sont utilisées pour éviter l'interférence causée par la propagation multivoie de signaux [12-13].

La réalisation d'une antenne à double polarisation nécessite l'utilisation de deux structures d'alimentation perpendiculaires pour exciter deux modes orthogonaux.

Cependant, les mécanismes de l'alimentation peuvent être différents. Ces dernières années, une variété des antennes large bande à double polarisation a été proposée, certaines d'entre elles montrent une bonne performance, mais exigent des structures d'alimentation multicouche,

ce qui rend la conception plus complexe et demande une grande précision dans la fabrication [14-15].

Pour les antennes large bande à double polarisation, il y a trois techniques principales qui servent à les concevoir :

IV-3-A. LA PREMIERE TECHNIQUE

Combine deux antennes différentes. Une antenne à fente elliptique imprimée et un monopole planaire sont combinés en un seul substrat pour former une antenne à double polarisation. La structure est constituée par une antenne à fente rectangulaire micro-ruban et une antenne à fente conique [17].

Ces deux structures couvrent toute la bande avec une bonne isolation.

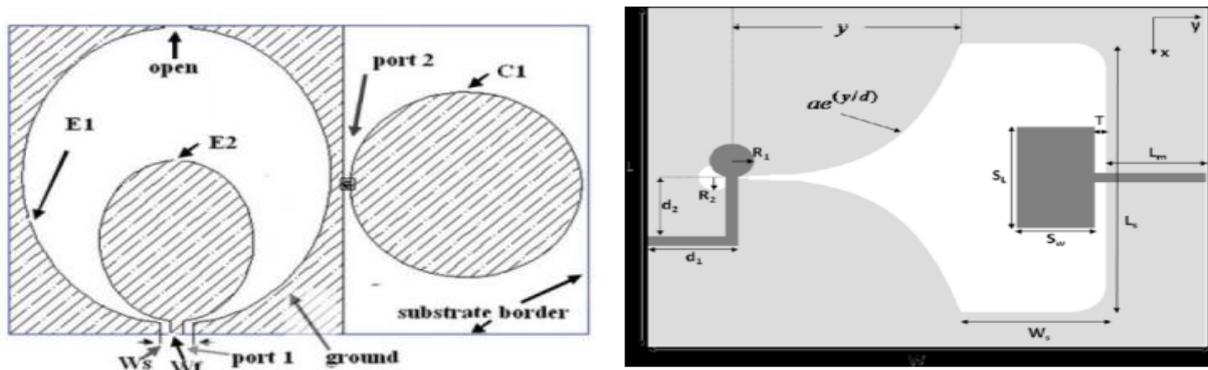


Figure II-38 : a) Antenne large bande à double polarisation [16], b) Antenne large bande à double polarisation pour les systèmes MIMO [17].

IV-3-B. LA DEUXIEME TECHNIQUE

Met deux antennes similaires en parallèle, utilise deux antennes Vivaldi orthogonales, mais l'antenne résultante n'est pas compacte [18].

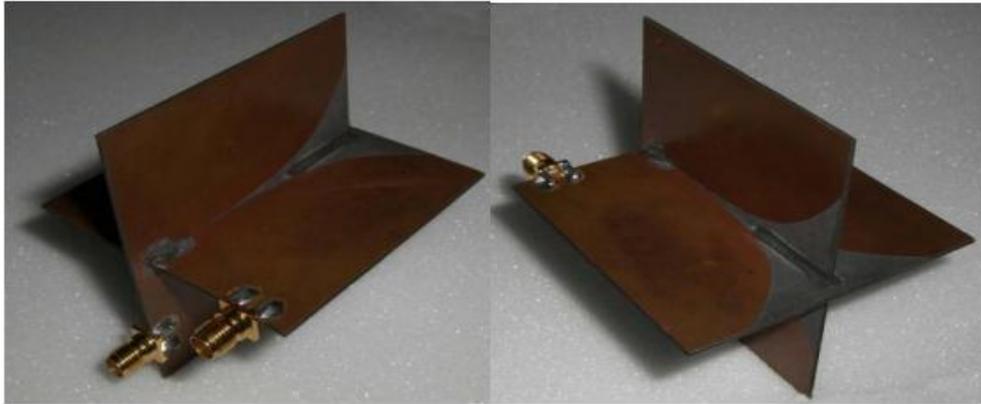


Figure II-39 : Deux antennes Vivaldi perpendiculaires [18].

IV-3-C. LA TROISIEME TECHNIQUE

Utilise quatre ports pour développer des antennes à double polarisation avec une pureté de polarisation élevée [19-20]. Les figures suivantes montrent les structures proposées par ces articles

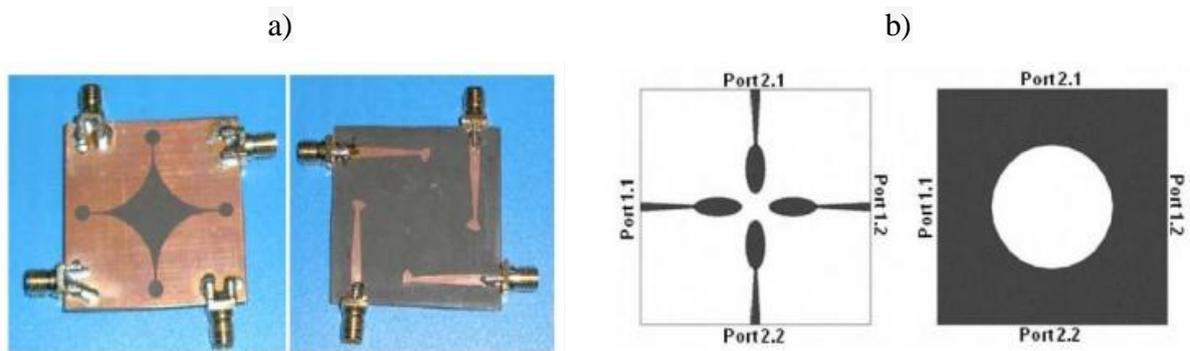


Figure II-40 : a) Antenne bipolarisée à 4 ports [19], b) Fente circulaire bipolarisée à 4 ports [20].

IV-4. PROBLEMATIQUE AU NIVEAU DE LA BANDE PASSANTE D'UNE ANTENNE PATCH

Probablement, la plus importante limitation d'une antenne patch à double polarisation et de large bande passante liée à son caractère résonant [21, 22]. De nombreuses contributions portent sur la définition de techniques permettant l'optimisation de cette bande passante. Nous allons donner, dans ce qui suit, un aperçu sur les performances et les coûts des techniques pratiques les plus utilisées. Les facteurs s'affectant la bande passante d'une antenne patch sont essentiellement : la géométrie du résonateur, le choix d'alimentation, les caractéristiques du substrat ainsi que l'arrangement de l'élément rayonnant et ces éléments parasites.

En effet, l'élargissement de La bande passante d'un patch peut être attribué à la diminution du facteur de qualité simultanément avec une excitation de multiples résonances [23]. Les méthodes les plus couramment utilisées sont mentionnées Figure II-19 :

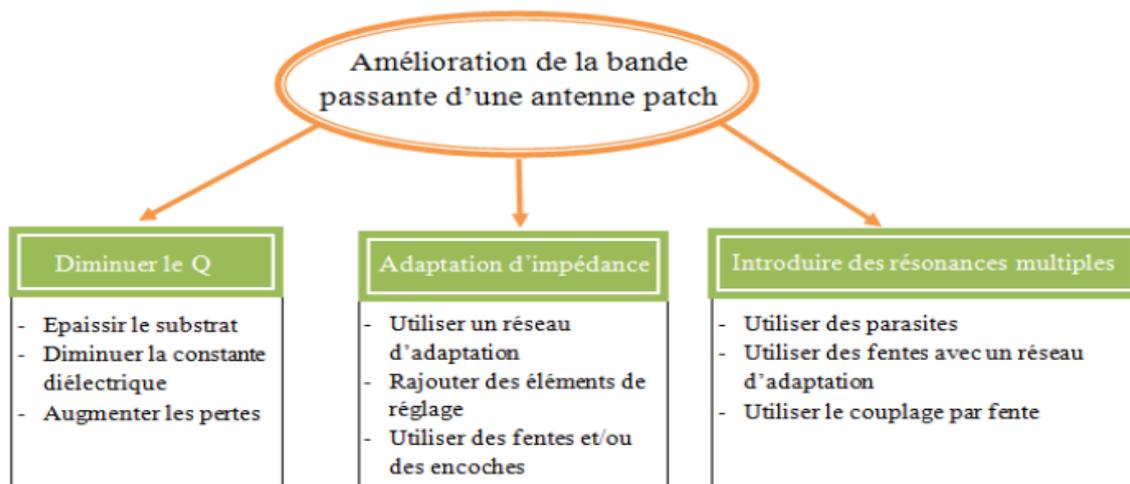


Figure II-41 : Techniques d'élargissement de la bande passante [20].

V. METHODES D'ANALYSE

Les antennes imprimées, habituellement constituées d'un élément rayonnant imprimé sur un substrat de faible permittivité, sont spécialement analysées par les méthodes dédiées aux circuits planaires. Ces méthodes peuvent être classées en deux grandes catégories : les méthodes analytiques simples, telles que le modèle de la ligne de transmission et le modèle de la cavité et les méthodes numériques rigoureuses, telles que la méthode des moments, la méthode des éléments finis et la méthode des différences finies [23].

V-1. METHODES ANALYTIQUES

Ces méthodes, dont les plus employées sont le modèle de la ligne de transmission et le modèle de la cavité, sont fondées sur la distribution du courant magnétique autour du patch.

V-1-A. MODELE DE LA LIGNE DE TRANSMISSION

Le modèle de la ligne de transmissions (MLT) est le plus employé pour l'analyse et la conception des antennes micro ruban. Initialement, dans sa forme originale, la méthode MLT ne s'appliquait que pour les antennes micro ruban rectangulaires planaires. Elle a ensuite été développée et allongée à d'autres structures. Le patch rectangulaire est considéré comme deux fentes rayonnantes parallèles, espacées par une distance égale à la longueur du patch et perpendiculaires au parcours dominant du courant sur le patch. 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.

V-1-B. MODELE DE LA CAVITE

Bien qu'il soit simple à employer, le modèle de la ligne de transmission présente certains inconvénients. En effet, il ne s'applique qu'à des patches rectangulaires et il néglige les variations de champ le long des bords de rayonnement. Ces inconvénients peuvent être remédiés en employant le modèle de la cavité proposé par Lo et al. Ce modèle permet la simplicité et la visibilité physique dans l'analyse des antennes micro ruban. Une antenne imprimée peut être comparée à une cavité clôturée par deux murs électriques (le plan de masses et l'élément rayonnant) et quatre murs magnétiques verticaux. Une longueur et une largeur effective sont introduites pour prendre en compte les excès des lignes des champs sur les bords de l'élément rayonnant. Les champs à l'intérieur de la cavité peuvent être formulés en fonction des modes discrets satisfaisant individuellement des conditions aux limites adéquates. Une fois ces champs connus, le champ rayonné, la puissance totale et l'impédance d'entrée peuvent être déduits. Ce modèle n'est approuvable que pour des substrats électriquement fins et modélise difficilement le couplage. Les fréquences de résonance de l'antenne sont résolues par les fréquences de résonance de la cavité.

V-2. METHODES NUMERIQUES

Les techniques numériques sont basées sur la détermination de la distribution du courant sur la surface de l'élément conducteur et le plan de masse, dans le domaine fréquentiel ou temporel. Elles peuvent étudier les structures les plus arbitraires et les multicouches.

Toutefois, elles requièrent un temps de calcul et un espace mémoire importants et ne permettent que très peu d'explications physiques.

V-2-A. METHODE DES ELEMENTS FINIS

La méthode des éléments finis, très utilisée dans le domaine fréquentiel, consiste à discrétiser les équations de Maxwell en amont, au niveau de la formulation aux dérivées partielles des équations de propagation. La première étape consiste à discrétiser le domaine de calcul grâce à des motifs géométriques adaptés, les triangles pour les problèmes à deux dimensions et les tétraèdres dans les cas tridimensionnels. A chacun de ces motifs géométriques, on réunit un certain nombre de nœuds, auxquels on donne des fonctions de base linéairement indépendantes, les unes des autres, et composant une estimation continue de la solution du problème.

La deuxième étape consiste à choisir une allocation de fonctions de test, respectant les conditions de dérivabilité et de continuité au bord du domaine de calcul. Cela permet alors de reformuler l'équation d'onde et d'exclure les dérivées d'ordre un, pour achever à une formulation variationnelle. L'intérêt d'une telle formulation réside dans le fait qu'elle assemble, en une seule formule, l'équation d'onde et les conditions aux limites tout en ne faisant intervenir que des dérivées d'ordre un. Le cas spécifique où les fonctions de test et d'essai sont semblables est appelé procédure de Galerkin. L'avantage de cette méthode réside dans la simplicité de traitement des structures les plus compliquées et des matériaux inhomogènes tout en tenant compte des dispersions. Cependant, en comparaison à la méthode des moments, elle reste inefficace pour le traitement des conducteurs rayonnants.

V-2-B. METHODE DES DIFFERENCES FINIES

La méthode des différences finies, dans le domaine temporel F.D.T.D (Finité Différence Time Domain), est une technique numérique permettant la résolution des équations différentielles dans le domaine temporel dans une structure uniformément discrétisée. La méthode consiste à approximer les dérivées ponctuelles spatiales et temporelles, qu'apparaissent dans les équations de Maxwell, par des différences finies centrées. Les composantes des champs électrique et magnétique sont déplacées d'une demi-cellule spatiale et calculées d'une façon alternative et itérative, à des multiples pairs et impairs du demi-temporel. La méthode FDTD est employée avec réussite dans la conception des simples antennes micro ruban jusqu'aux réseaux d'antennes composés en phase. Les primordiaux avantages de cette méthode sont :

- Ses expressions sont relativement simples.
 - Elle permet la caractérisation de la structure en une seule simulation et dans une large bande de fréquence. Les paramètres de propagation et l'impédance caractéristique peuvent être résolus en utilisant la transformée de Fourier.
 - Elle permet la modélisation des sources d'excitation, la simulation de l'espace libre, l'étude des problèmes géométriques liés aux structures (interface, fil mince...) et l'utilisation de divers types de matériaux (dispersifs, anisotropes...). Elle offre donc une simulation rigoureuse de l'antenne et de son environnement proche.
 - Elle ne demande pas la résolution de systèmes linéaires (inversion de matrice).
 - Elle peut prédire la réponse transitoire d'un système électromagnétique.
- Le perfectionnement des performances des calculateurs a rendu possible le traitement numérique des problèmes à l'aide de cette méthode. La robustesse de la méthode a été démontrée par Taflov en 1975 [24].

V-2-C. METHODE DES MOMENTS

La méthode des moments (MoM), est une approche numérique qui transforme une fonctionnelle (équation différentielle, intégrale ou intégré différentielle) en un système d'équations linéaires. Cette méthode globale peut admettre à d'autres approches numériques, telles que la méthode des éléments finis et la méthode des différences finies, d'être expliquées en termes de procédures MoM. Elle a été utilisée par la première fois en 1967 par Harrington [23], pour la résolution des problèmes liés aux antennes.

En électromagnétisme, la méthode des moments, employée particulièrement dans le domaine fréquentiel, consiste à résoudre les expressions intégrales des équations de Maxwell.

Elle est basée sur le principe d'équivalence surfacique ou volumique entre la réponse de la structure et une distribution de courant similaire à la surface ou dans le volume d'une hétérogénéité. Elle conduit alors aux expressions intégrales des équations du champ électromagnétique déporté par un conducteur parfait. Cette technique offre un traitement avantageux des surfaces conductrices et la plupart des grandeurs d'une antenne peuvent être directement retenus de la densité de courant.

VI. CONCLUSION

Au cours de ce chapitre, nous avons commencés par une description sur l'antenne patch leur structure et une présentation des éléments qui entre dans leur composition.

Les méthodes d'alimentations des antennes patch ont été brièvement présentées avec une description de leurs avantages et inconvénients. Quelques types d'antenne ont été citée brièvement notamment les antennes monopôle et les micro-ruban sa cause de leur simplicité, leur grande performance et compatibilité avec les éléments qu'on a vu dans ce chapitre.

Dans notre étude, nous avons choisis, parmi les différentes polarisations basées sur cette étude en considération les paramètres matériels et structure des antennes patch qu'on a présenté.

Dans ce chapitre, on a choisi notamment quelques méthodes numériques et analytique De ce chapitre, nous avons également constaté que les antennes large bande sont un bon choix pour concevoir les techniques récentes pour les applications satellitaire, à cause de leurs caractéristiques attractives, et leur variation d'implémentation.

Chapitre III :

**Résultat et interprétation de
mécanisme de polarisation
pour l'antenne patch**

I. INTRODUCTION

La simulation est une étape indispensable, elle permet d'approximer les résultats, choisissez les bons et les meilleurs paramètres avant la mise en œuvre. Alors pour réaliser Un objet (antenne imprimée, circuit, composant, carte imprimée ...), il faut bien sûr passer par des procédures ou des formules et utilisez un logiciel approprié pour la simulation.

Le but de ce chapitre est d'utiliser le logiciel CST pour concevoir trois différents antennes imprimée avec deux différents type de polarisation adaptées par la technique des fentes pour les applications par satellite en bande Ku. Nous présenterons d'abord le logiciel CST Microwave Studio, puis décrivons les différents modules qui seront produits, puis définirons le cahier des charges pour formaliser la recherche.

Ensuite, nous introduisons en détail la méthode de détermination des paramètres géométriques des motifs imprimés conçu. Enfin, nous avons présenté les résultats de la simulation et nous avons fait une comparaison pour évaluer les performances des trois types d'antennes proposées en termes de coefficient de réflexion, de rapport d'onde stationnaire (VSWR), de diagramme de rayonnement, bande passante et de gain. Enfin, nous terminera par une conclusion.

II. LOGICIELS UTILISE

II-1. LOGICIEL CST MICRO WAVE STUDIO (MWS)

Le logiciel CST (Computer Simulation Technology) Micro wave Studio est un outil spécialisé pour la simulation et la conception électromagnétique des composantes hautes fréquences. Il est fondé sur la technique des intégrations finies (FIT). Cette méthode numérique permet un arrangement spatial de discrétisation applicable à divers problèmes électromagnétiques et fournit une discrétisation de l'espace identique à celle de la méthode.

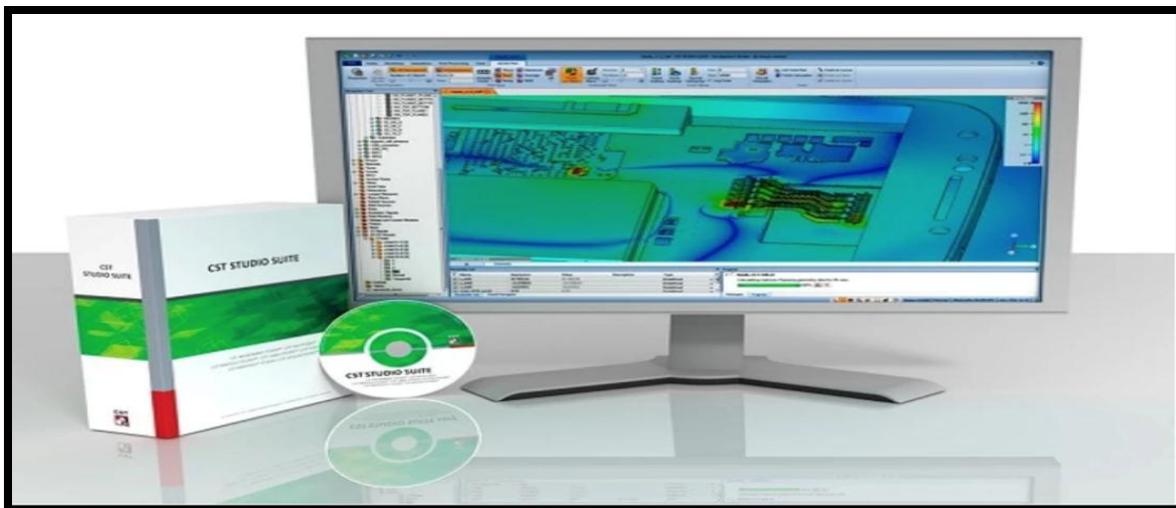


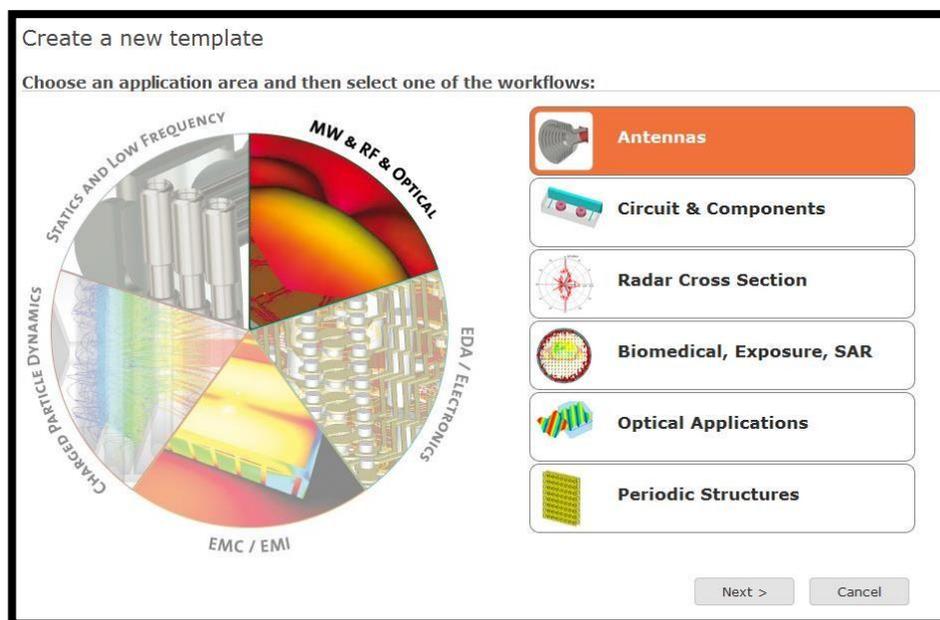
Figure III- 42 : Exemple de logiciel de simulation.

FDTD (Finite Difference Time Domain). Ce logiciel utilise un maillage parallélépipédique où l'espace est divisé en cellules élémentaires. La discrétisation générée est volumique et chaque cellule élémentaire est cubique. Un processus de maillage peut être appliqué avant que la simulation de la structure ne soit lancée. Permettant directement une description en 3-D de tous les éléments de la structure. Ceci le rend applicable à de nombreux problèmes électromagnétiques (statique, hyperfréquences en temporel et fréquentiel). Comme tous les simulateurs électromagnétiques 3D, l'avantage de cet outil est sa potentialité de simuler toutes sortes de structures homogènes et inhomogènes, quelle que soit la technologie utilisée. Cet outil facilite le dessin de la structure avec les dimensions requises en offrant une interface de modélisation puissante et solide.

II.1. Description générale du logiciel

- **Création d'un projet**

Tout d'abord, on lance le logiciel de simulation, une interface est apparue pour créer un nouveau projet Figure (III-1).



Puis on clique sur 'Créate Project' et on choisit le type et la zone de simulation qu'on va réaliser (FigureIII-2).

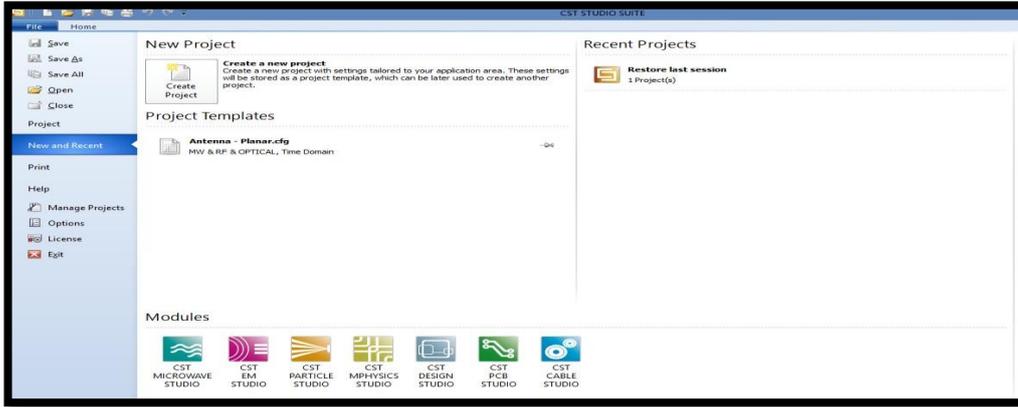


Figure III -43 : Création d'un nouveau projet.

Figure III -43 : Choix du type et de la zone dissimulation

Après avoir cliqué sur 'NEXT', on passera au choix de type d'antenne qu'on val réalisée.

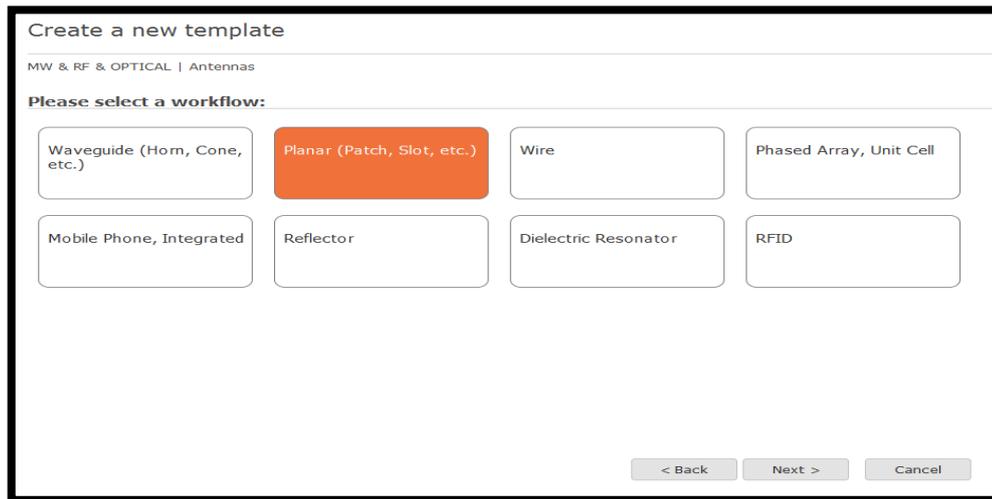


Figure III -44 : Choix du type d'antenne

Au contraire des autres logiciels de simulation électromagnétique, le CST dispose différent est techniques de simulation dont le but qu'il soit utilisé dans plusieurs domaines de recherche. Parmi ceux proposés par le CST, on s'intéresse au «**Time Domain**».

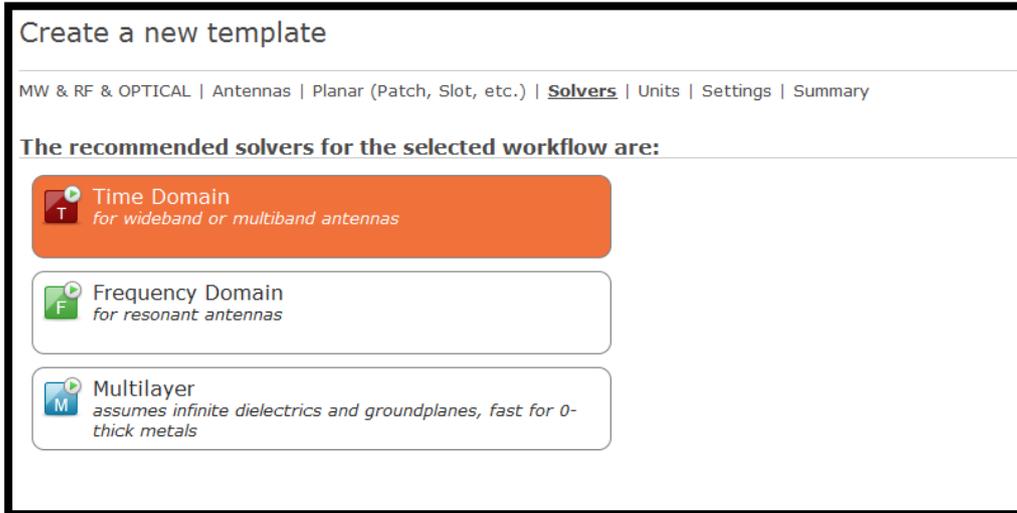


Figure III-45: Choix de la technique de simulation

Puis, on effectue les unités de différents paramètres utilisés pour la conception de l'antenne proposée.

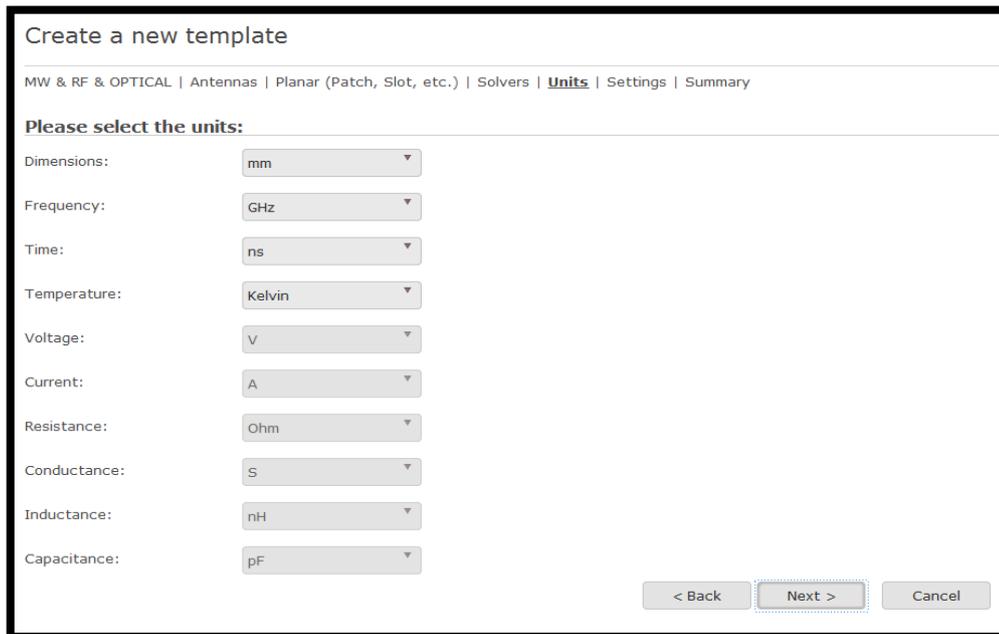


Figure III-46 : Choix des unités de différents paramètres

Enfin, on clique sur 'Finish' dans la fenêtre ci-dessous pour terminer la création du projet.

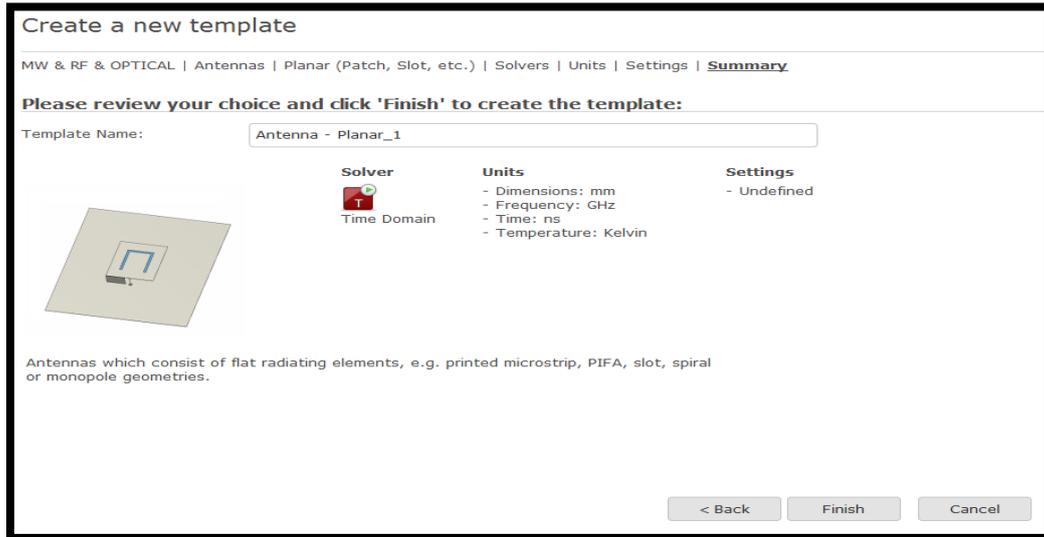


Figure III -47 : Fin de la création de projet

- **L'Interface de CST**

L'interface utilisateur est commune à tous les modules, assurant un environnement cohérent, qui accélère la prise en main lors de la diversification des simulations. Les outils principaux sont accessibles sur le ruban.

L'interface contient les fonctionnalités permettant la modélisation, la gestion de la simulation et le post-traitement.

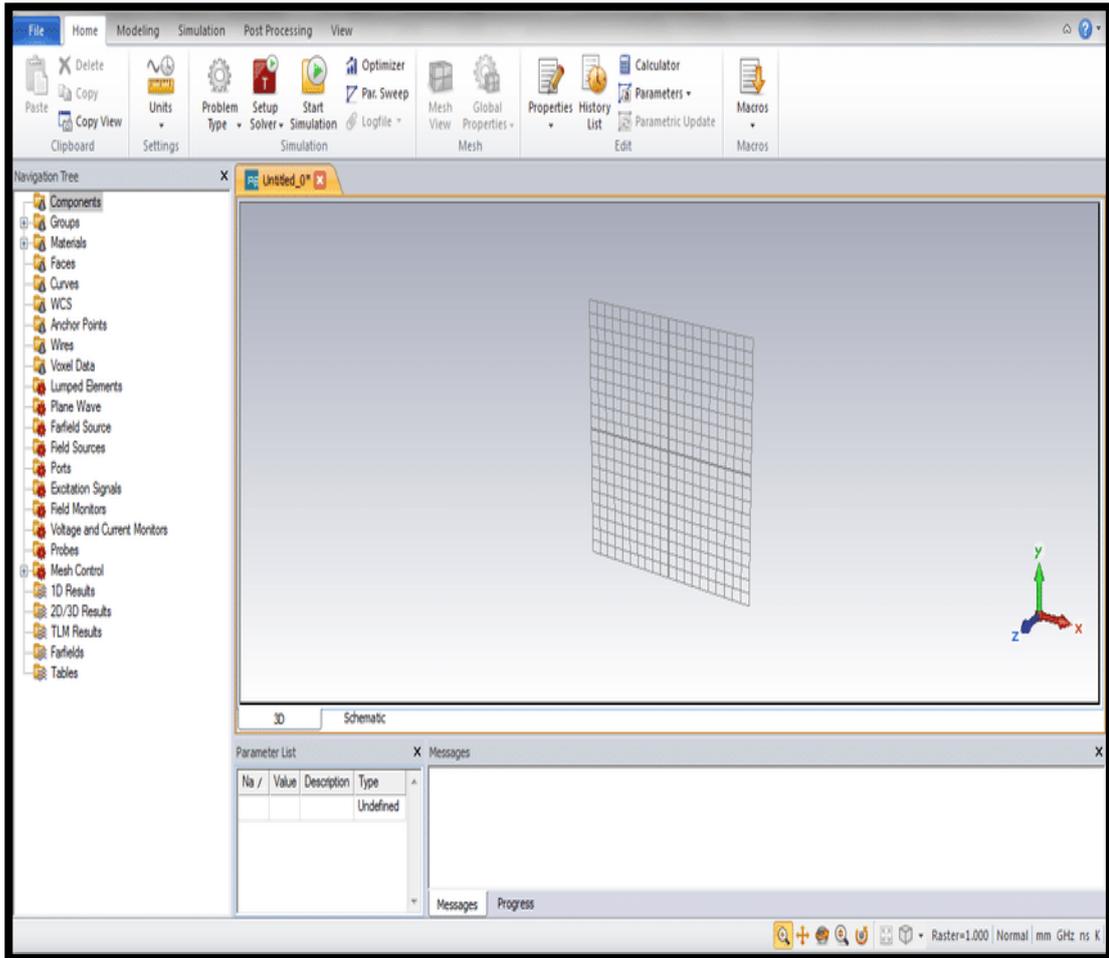


Figure III -48:Interface principal de logiciel CST

II-2. PARAMETRE GEOMETRIQUE DE L'ANTENNE

Les paramètres de calculs de cette antenne sont donnés sur le **tableau III.1 [1]**:

Paramètre d'antenne	Equation	Légende
Largeur efficace de l'antenne(W)	$W = \frac{1}{2fr\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{cr+1}}$	Fr : fréquence de résonance εr : permittivité du substrat h : l'épaisseur du substrat
Constante diélectrique (ε _{eff})	$\epsilon_{eff} = \frac{cr+1}{2} \frac{cr-1}{2} \left[1 + 12 \frac{n}{w} \right]^{-\frac{1}{2}}$	
L'extension de la longueur (ΔL)	$\frac{\Delta L}{n} = 0.412 \frac{(creff + 0.3) \left(\frac{w}{h} + 0.264\right)}{(creff - 0.258) \left(\frac{w}{h} + 0.8\right)}$	
Longueur réelle (L)	$L = \frac{1}{2fr\sqrt{creff} \sqrt{\mu_0\epsilon_0}} - 2\Delta L$	
Longueur effective (L _{eff})	$L_{eff} = L + 2\Delta L$	

Tableau III.1: Paramètres de l'antenne patch [1]

Tel que:

ε_{ef}: Permittivité effective du

Substrat: l'épaisseur substrat

Fr: fréquence de résonance.

Le tableau III.2 montre les valeurs des paramètres d'antenne initiale proposée calculés à partir des équations du tableau III.1 :

Paramètres	Dimensions(mm)
L	8.17
Lg	24.56
W	7.84
Wg	17.44
L1	6.79
W1	1.40

Tableau III.2: Dimensions de l'antenne initiale proposée.

III. CONCEPTION ET RESULTAT

Pour cette partie en sera consacré sur la simulation d'antenne patch ; nous allons réaliser trois conceptions d'antenne avec deux types de polarisation linière et circulaire. Dans cette simulation on va faire une comparaison sur des conceptions d'antennes "patch" alimentées par fentes simulation avec une polarisation linaire et deux autres circulaires. Trois conceptions ont été testées (Figure III.8) (Figure III.9). (FigureIII.10).

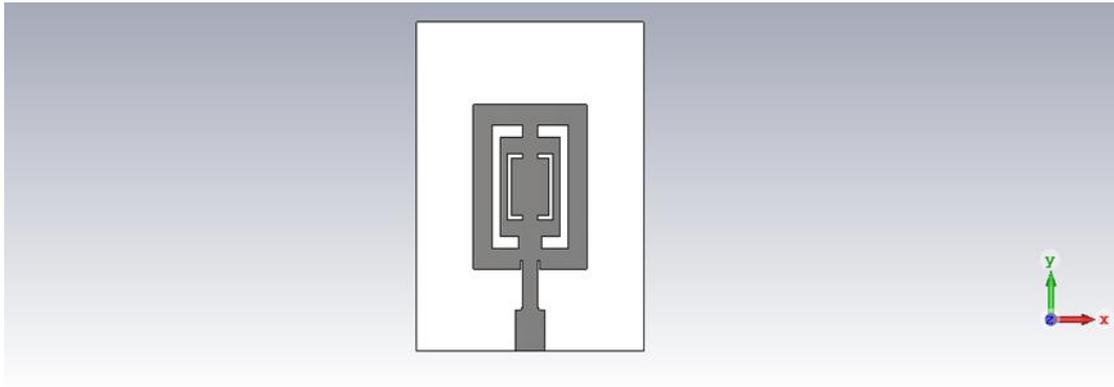
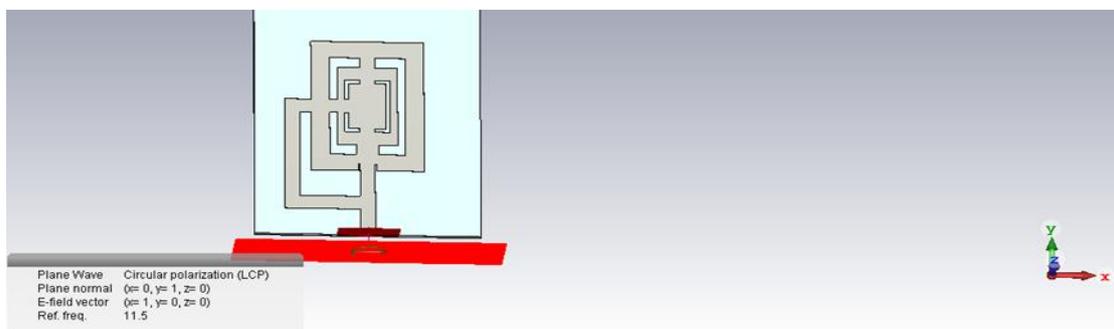


Figure III.49 : antenne patch rectangulaire simple, alimenté par la ligne micro ruban.

Un patch avec une polarisation linaire alimenté par une ligne micro ruban et un seul port. Une deuxième avec une polarisation circulaire, deux lignes d'alimentation et un seul port, et en dernier un patch similaire au deuxième mais cette fois avec deux ports. 4 fentes rectangulaires parallèles dont deux avec une plus grosse surface sont contourné vers les côtés place en dessus du bord du patch.



Figures III.50: antenne patch avec 2 lignes d'alimentation et un seul port.

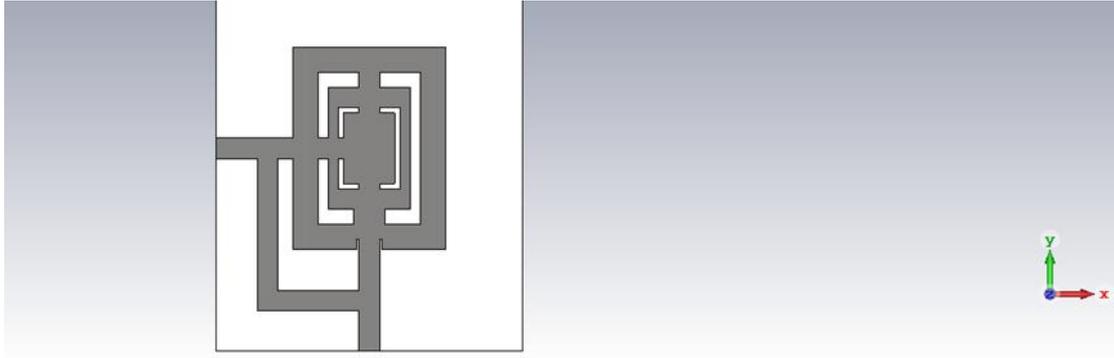


Figure III.51 : antenne avec deux lignes d'alimentation une ligne micro ruban.

III-1. ANTENNE A POLARISATION LINEAIRE

Dans notre mémoire nous allons choisir l'antenne patch rectangulaire simple, alimenté par la ligne micro ruban adapté par la technique de fente sur ce patch à polarisation linière comme montre la figure III-1et III-2.

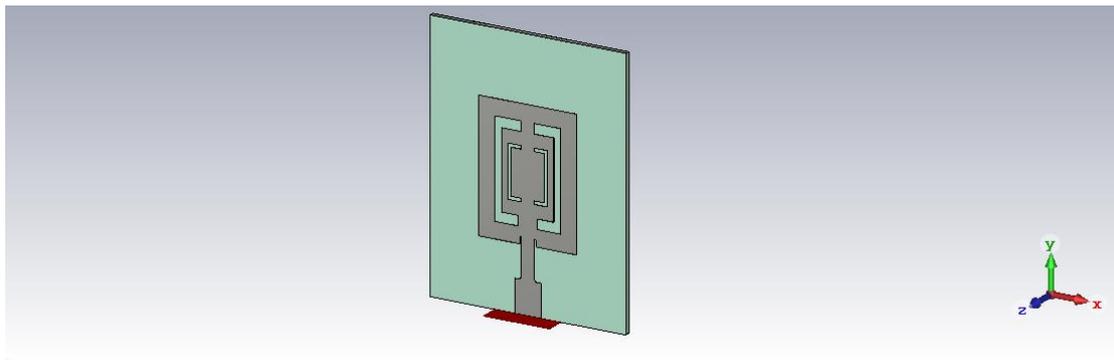


Figure III.52 : antenne patch rectangulaire simple, alimenté par la ligne micro ruban.

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

Le résultat de simulation de coefficient de réflexion S_{11} de cette antenne et représenté sur la figure III-3.

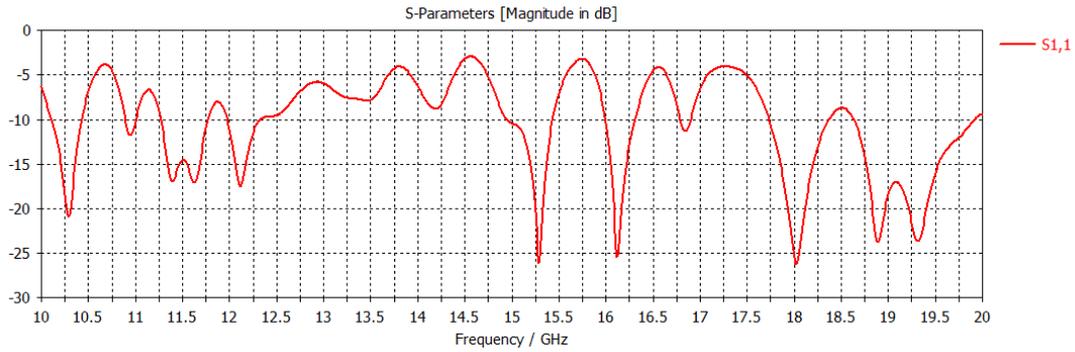


Figure III.53 : Le coefficient de réflexion de l'antenne initiale.

On observe à partir du résultat simulé, que cette antenne fonctionne sur certaines fréquences de la plage utilisée de 10 GHz à 20 GHz. Les bandes passantes et les fréquences de résonances de cette antenne proposée peuvent être résumées comme suit :

La 1-ère bande passante est de 10 GHz à 10.5 GHz et la résonance est à 10.25 GHz

La 2-ème bande passante est de 11.25 GHz à 11.75 GHz et la résonance est à 11.30 GHz et 11.60 GHz.

La 3-ème bande passante est de 12.3 GHz à 15.48 GHz, et la résonance est à 15.25 GHz

La 4-ème bande passante est de 16 GHz à 16.75 GHz, et la résonance est à 16.11 GHz

La 5-ème bande passante est de 17.75 GHz à 18.25 GHz, et la résonance est à 18 GHz.

On constate que cette antenne n'est pas adaptée pour les applications satellitaires.

III-1-2. Le rapport d'ondes stationnaires (VSWR)

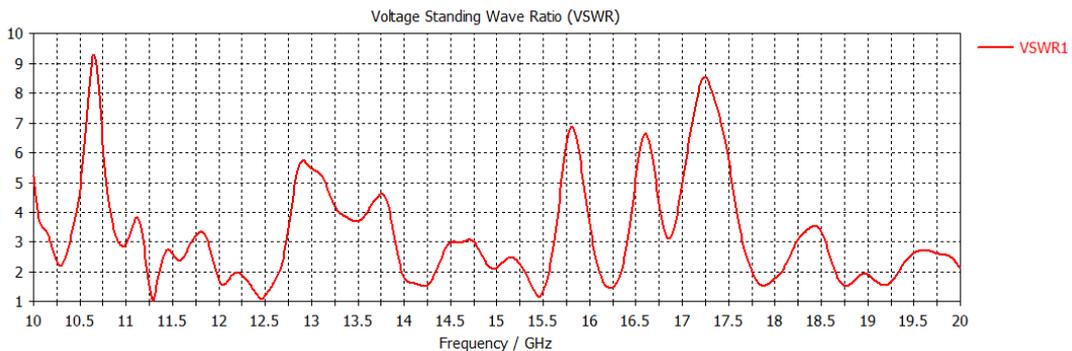


Figure III.54 : Le VSWR en fonction de la fréquence.

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

On remarque que le VSWR a une valeur comprise entre 1 et 8.5, une valeur maximale de VSWR <9 dans une plage de fréquences comprise entre 10 et 20 GHz, aucune puissance réfléchie ne serait réfléchie, de 10 GHz jusqu' 15 GHz en vois que la tension aurait une amplitude instable mais à partir de 15.5 GHz sa commence à devenir stable ce qui signifie que l'antenne commence à s'adapter sur la deuxième partie de la plage (15.5 à 20) GHz.

Cependant, puisque l'effet de couplage mutuel est négligé, le réseau de fentes basé sur ces analyses aura un VSWR plus élevé et l'éclairage d'ouverture peut ne pas être la distribution souhaitée.

III-1-3. L'efficacité de rayonnement

L'efficacité de rayonnement est le rapport de la puissance rayonnée à la puissance acceptée ou puissance d'entrée d'une antenne.

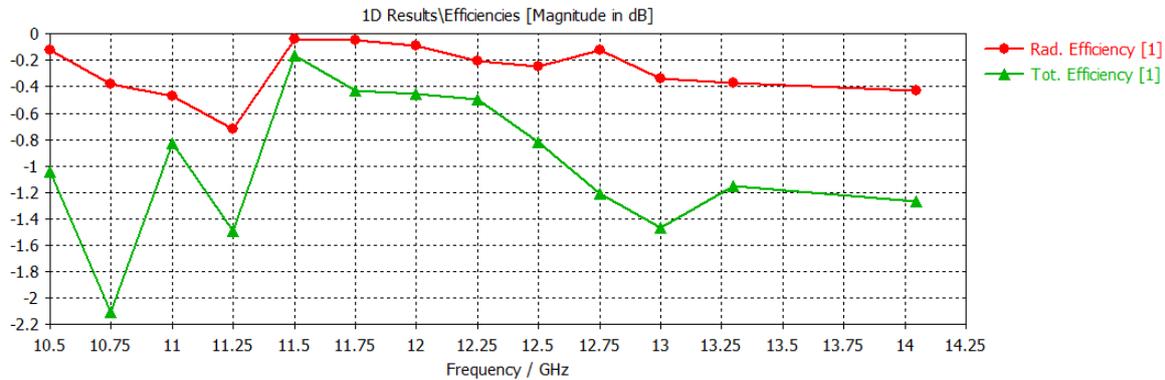


Figure III.55 : la comparaison entre l'efficacité rayonnée et l'efficacité totale de l'antenne proposée.

On remarque qu'à 10.75 GHz, l'efficacité rayonnée est de -0.4 et l'efficacité totale est de -2.2 et la différence est d'environ 1,8 à 11.5 GHz, le rendement rayonné est de 0 et l'efficacité totale est de -0.2 et la différence est d'environ 0,2 et l'efficacité de l'antenne est 99,8% à 13 GHz, le rendement rayonné est de -0,33 et le total l'efficacité est de -1.5 et la différence est d'environ 1,17.

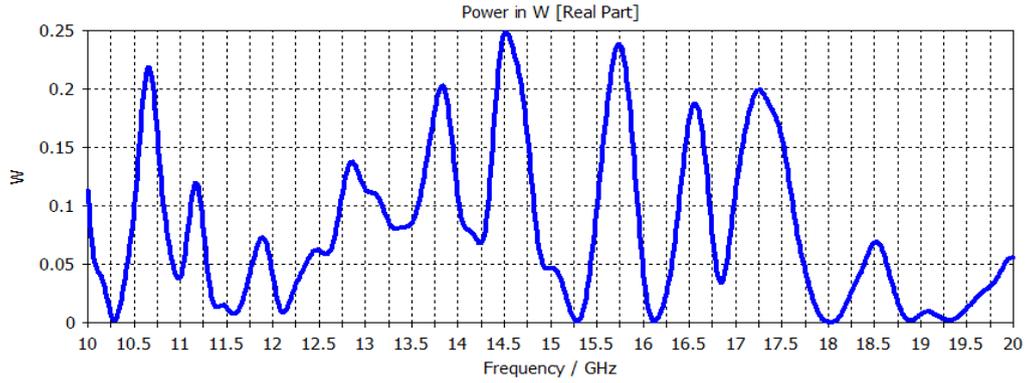
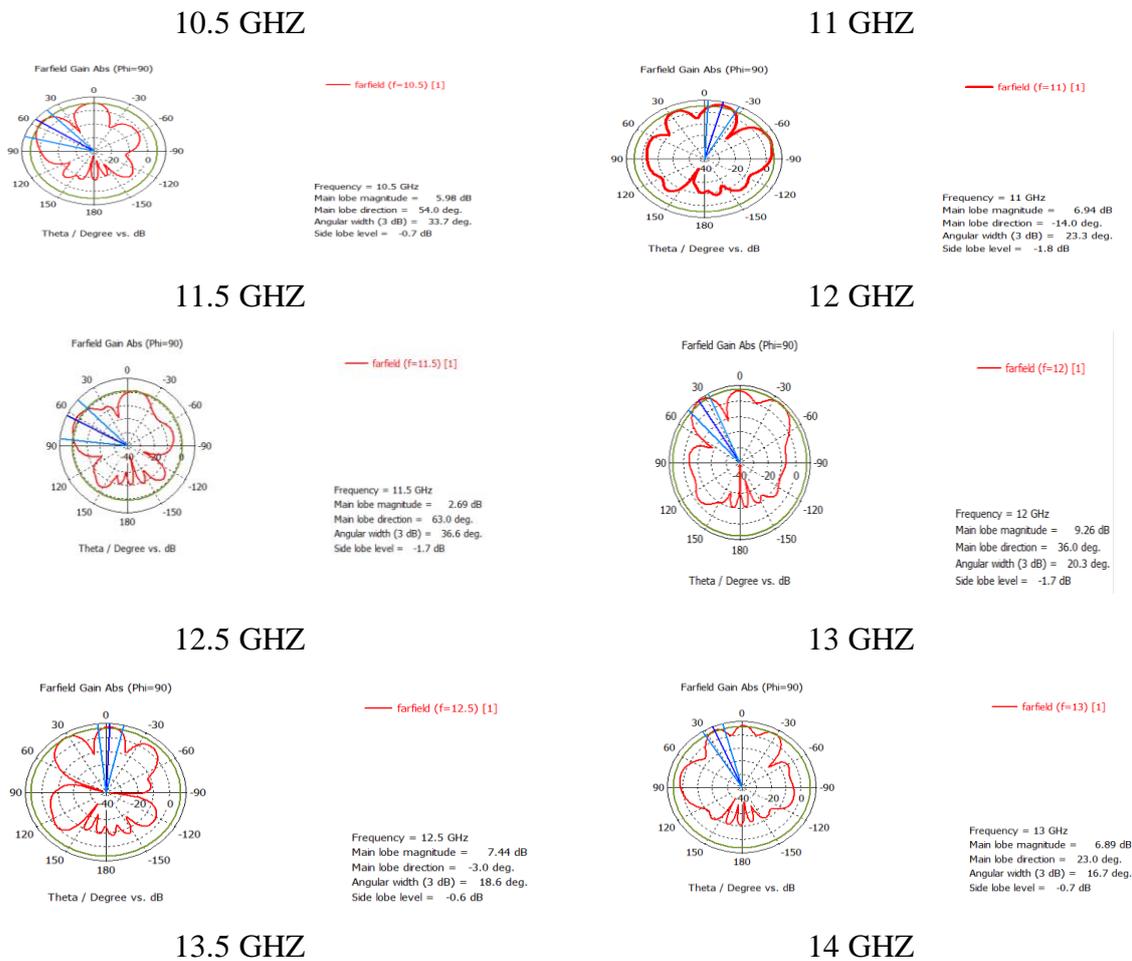


Figure III.56 : la puissance réelle en watt de l'antenne proposé.

A partir de la figure on remarque que de 10.2 GHZ à 11.5 GHZ, la puissance acceptée est moyennement élevée. Mais à partir de 13.5 GHZ à 18 GHZ elle commence a prendre des valeurs élevées Pour cette raison, l'efficacité du rayonnement est également élevée sur cette gamme de fréquences.

III-1-4. Diagramme de rayonnement



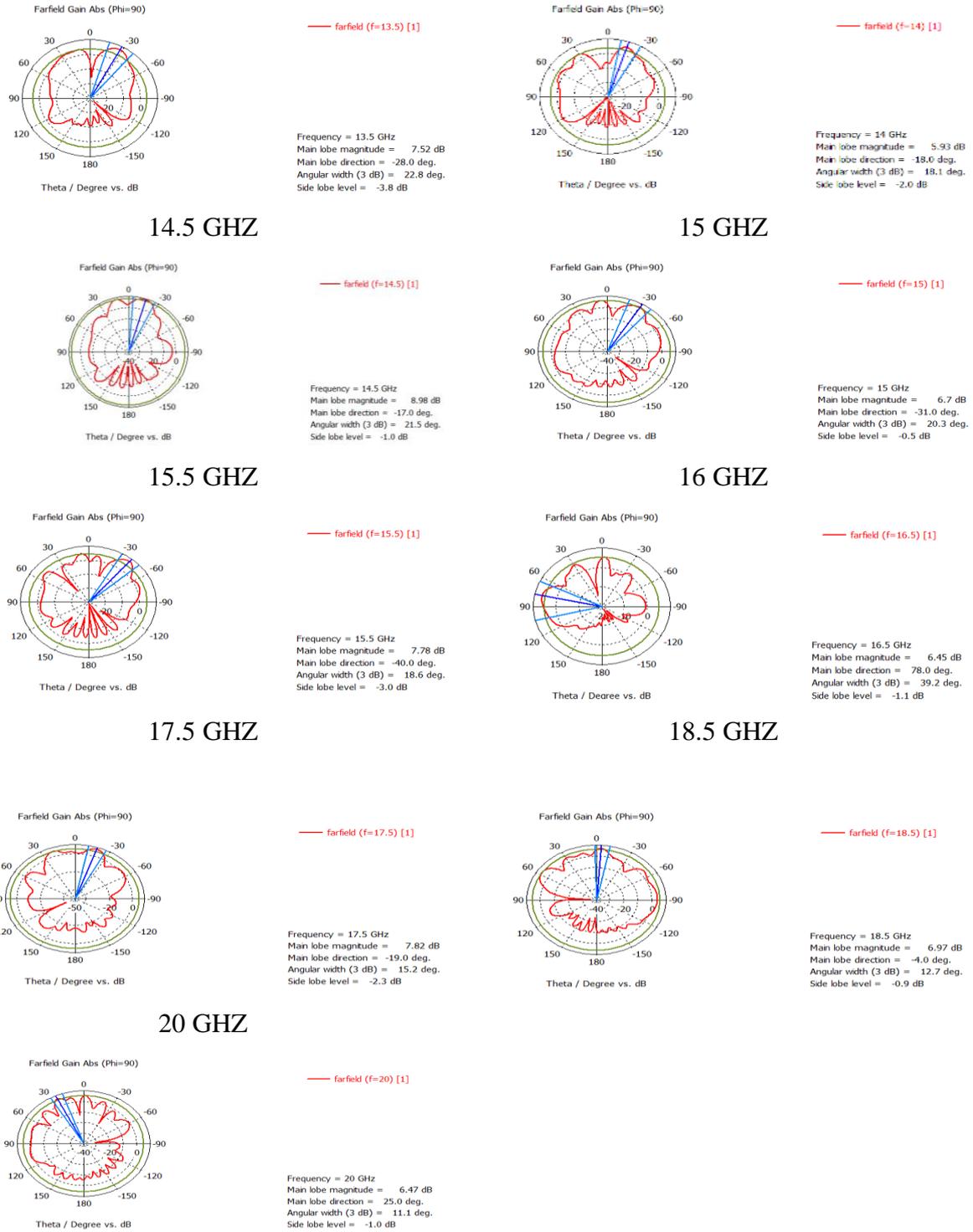


Figure III.57 : Les différents diagrammes de rayonnement de l'antenne proposé.

L'antenne réalisé a un gain presque omni directionnel, rayonne dans toute la direction pour les fréquences choisi 10.5 GHZ, 11,11.5, 12, 12.5, 13,13.5, 14, 14.5, 15 ,16 ,16.5, 17,17.5,

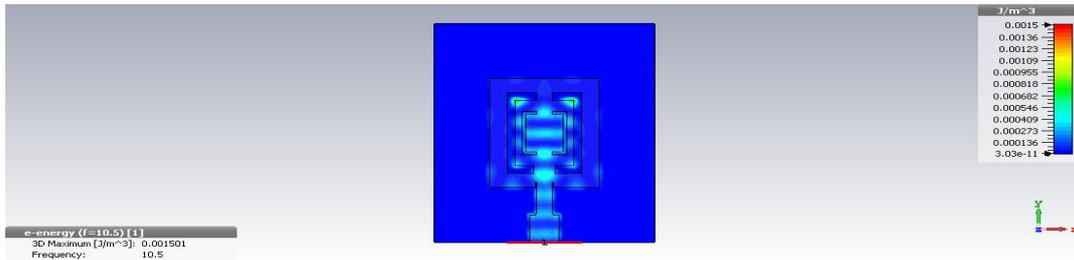
18,18.5, 19,19.5,20 GHZ, ce que signifie que l'antenne proposée fonctionne correctement dans chacune des bandes souhaitées.

Enrichi cette partie.

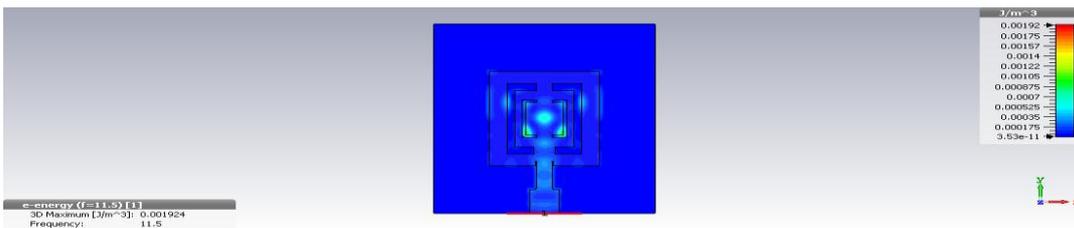
III-1-5. Carte 2D de l'énergie d'antenne

Les figures suivantes représentent la distribution de courante de cette antenne, la partie verte représente le maximum d'énergie.

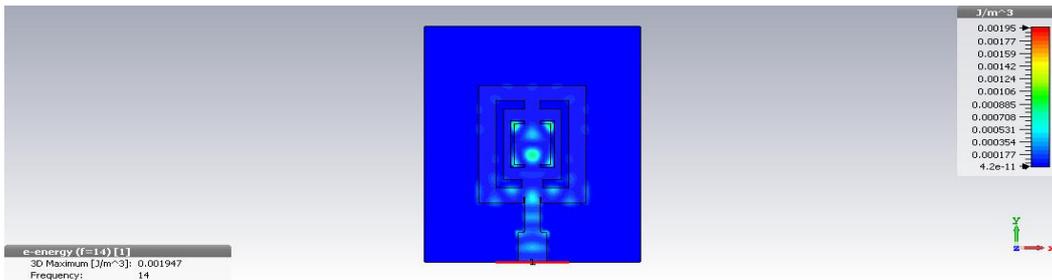
f=10.5 GHZ



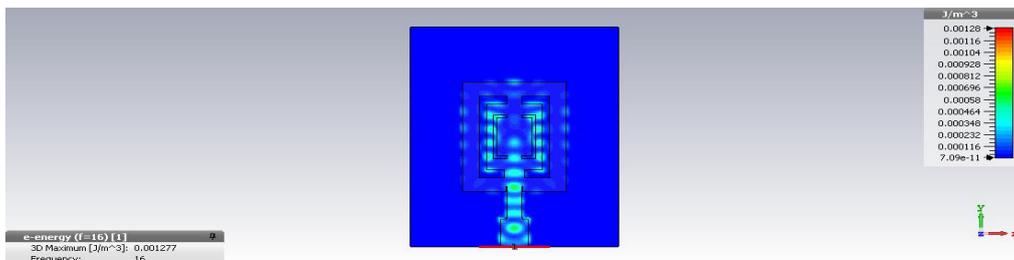
f=11.5 GHZ



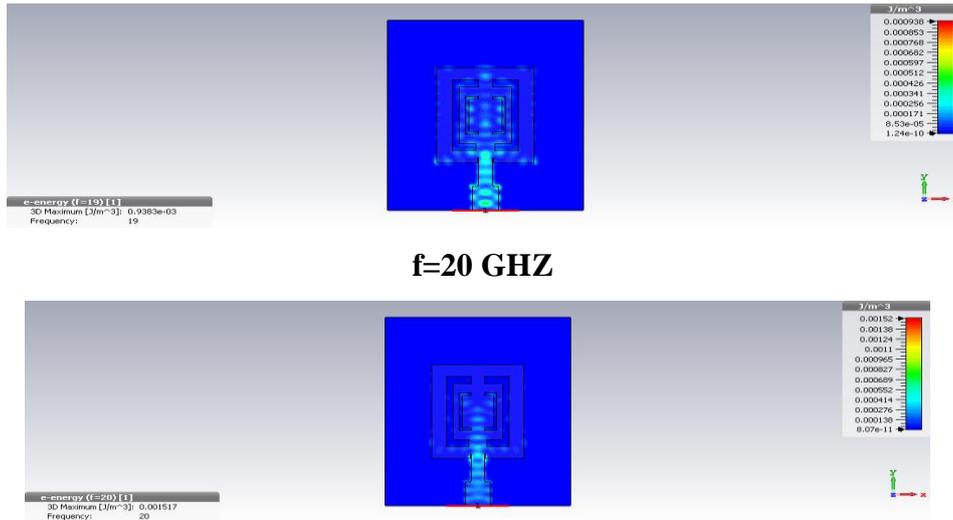
f=14 GHZ



f=16 GHZ



f=19 GHZ



Figures III.58 : la distribution de courant sur la surface de l'antenne.

III-1-6. Le gain d'antenne

Le gain de l'antenne est simulé au-dessus de 10 GHZ à 20 GHZ gamme représentés sur la figure III.8.

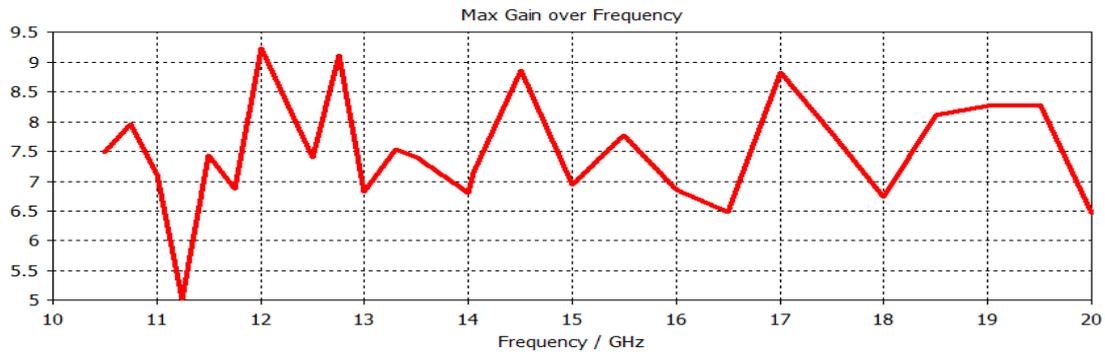


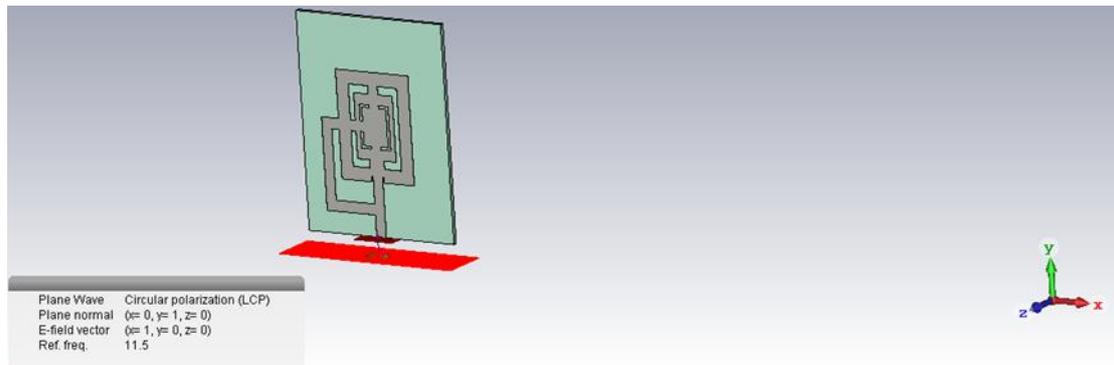
Figure III.59 : le Gain de fréquence maximum pour l'antenne proposé.

La figure III.8 montre le gain maximal de l'antenne sur toutes les fréquences. Il est à noter que le gain est plus élevé sur la fréquence souhaitée que sur les autres fréquences.

On peut remarquer que le gain prend une chute de 8 à 5 dB sur la bande de fréquence 10.7 GHZ à 11.3 GHZ. Et à partir de 11, 5 GHZ, le gain de l'antenne commence à ce stabilisé de façon monotone de 6.5 à 9, il est acceptable que le gain du réflecteur parabolique devienne constant avec l'augmentation de la fréquence.

III-2. ANTENNE DOUBLE A POLARISATION CIRCULAIRE

Dans cette partie nous allons faire une étude d'une antenne patch avec 2 lignes d'alimentation et une polarisation circulaire comme montre la figure III.10.



Figures III.60 : antenne patch avec 2 lignes d'alimentation et un seul port.

III-2-1. Coefficient de réflexion S11

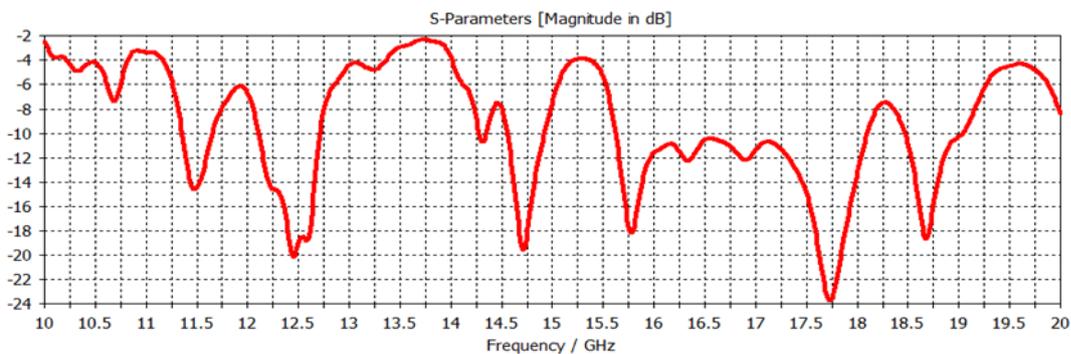


Figure III.61 : Le coefficient de réflexion de l'antenne proposée.

On remarque que cette antenne peut être utilisée pour l'application satellitaire mais elle n'est pas optimale vu que la bande passante est limitée et n'est pas totale sur toute la bande de fréquences. Cette antenne est située dans le domaine de bande Ku et avec des performances décentes.

Les bandes passantes et les fréquences de résonances de cette antenne proposée peut ce résumé comme suit :

La 1 -ère bande passante est de 11.25 GHZ à 11.75 GHZ et la résonance est à 11.47GHZ

La 2 -ère bande passante est de 12.15 GHZ à 12.75 GHZ et la résonance est à 12.47GHZ

La 3 -ère bande passante est de 14. 5 GHZ à 14. 85 GHZ, et la résonance est à 14.70 GHZ

La 4 -ère e bande passante est de 15.68 GHZ à 18.18 GHZ, et la résonance est à 17.76 GHZ

La 5 -ère bande passante est de 18.5 GHZ à 19.15 GHZ, et la résonance est à 18.67 GHZ

Cette antenne est située dans le domaine de bande Ku et avec des performances acceptables.

III-2-2. Le rapport d'ondes stationnaires (VSWR)

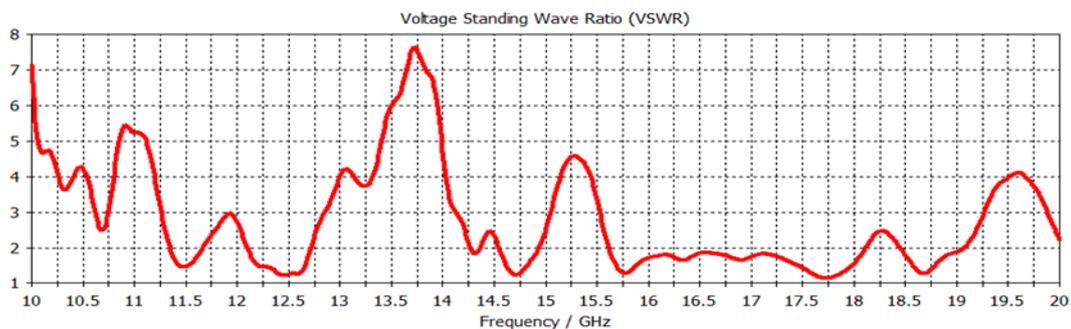


Figure III.62 : Le VSWR en fonction de la fréquence.

VSWR a une valeur comprise entre 1 et 7, une valeur maximale de VSWR <7.8 dans une plage de fréquences comprise entre 10 et 20 GHZ, aucune puissance réfléchie ne serait réfléchie, de 10 GHZ jusqu' 15 GHZ en vois que la tension aurait une amplitude qui commence à être stable ce qui signifie que l'antenne commence à s'adapter sur manipulation.

III-2-3. L'efficacité de rayonnement

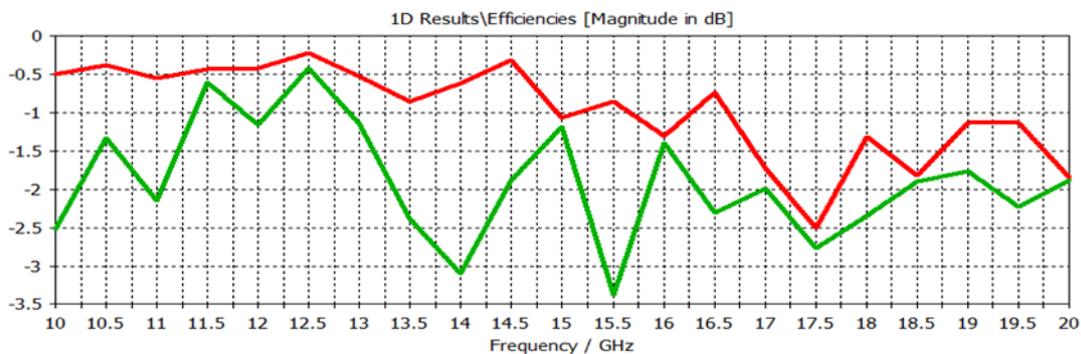
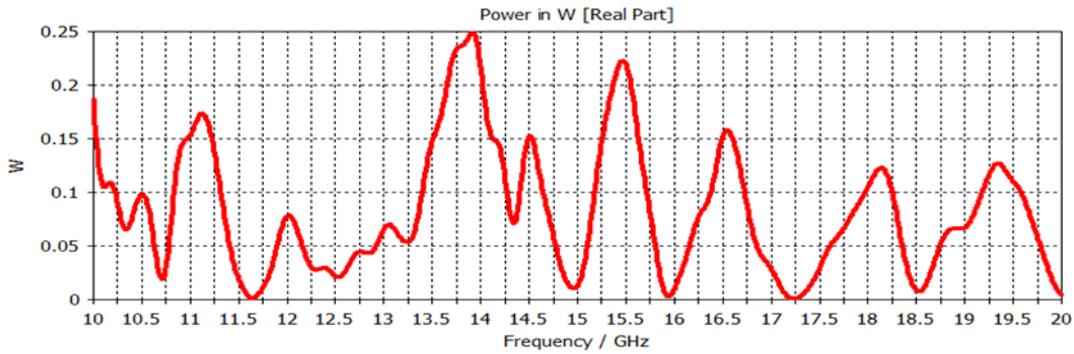


Figure III.63 : la comparaison entre l'efficacité rayonnée et l'efficacité totale de l'antenne proposée.

On remarque que dans cette figure que les deux efficacités se correspondent dans plus de point que la première manipulation, à 11.5 GHZ, 15 GHZ ,16 GHZ 17.5 GHZ 18.5 GHZ ce qui signifie une bonne efficacité de l'antenne sur ces bandes de fréquences. Toutes les valeurs d'efficacité rayonnée et totale sont mesurées en dB.



Figures III.64 : la puissance réelle en watt de l'antenne proposé.

A partir de la figure on remarque qu'au long de la bande de fréquence qui est de 10 GHz à 20 GHz, la puissance acceptée est élevée. Pour cette raison, l'efficacité du rayonnement est également élevée sur cette gamme de fréquences.

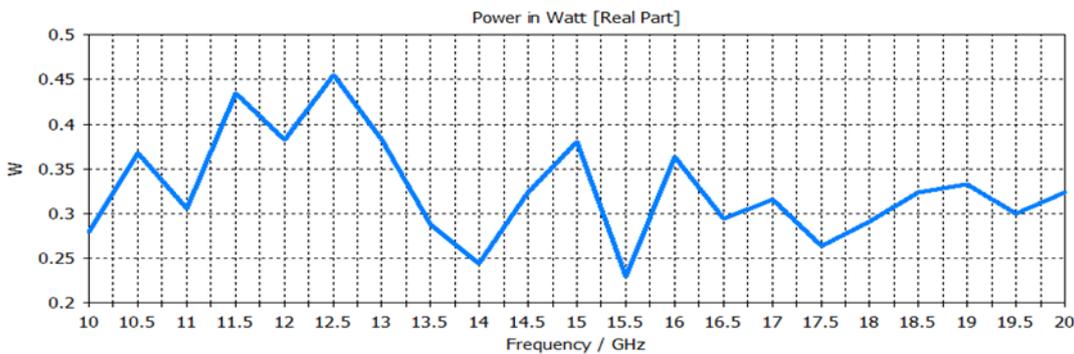


Figure III.65 : la puissance réelle en watt de l'antenne proposé.

Dans cette figure on remarque que dans toute la bande de fréquence qui est de 10 GHz à 20 GHz, la puissance rayonnée est élevée de manière constante.

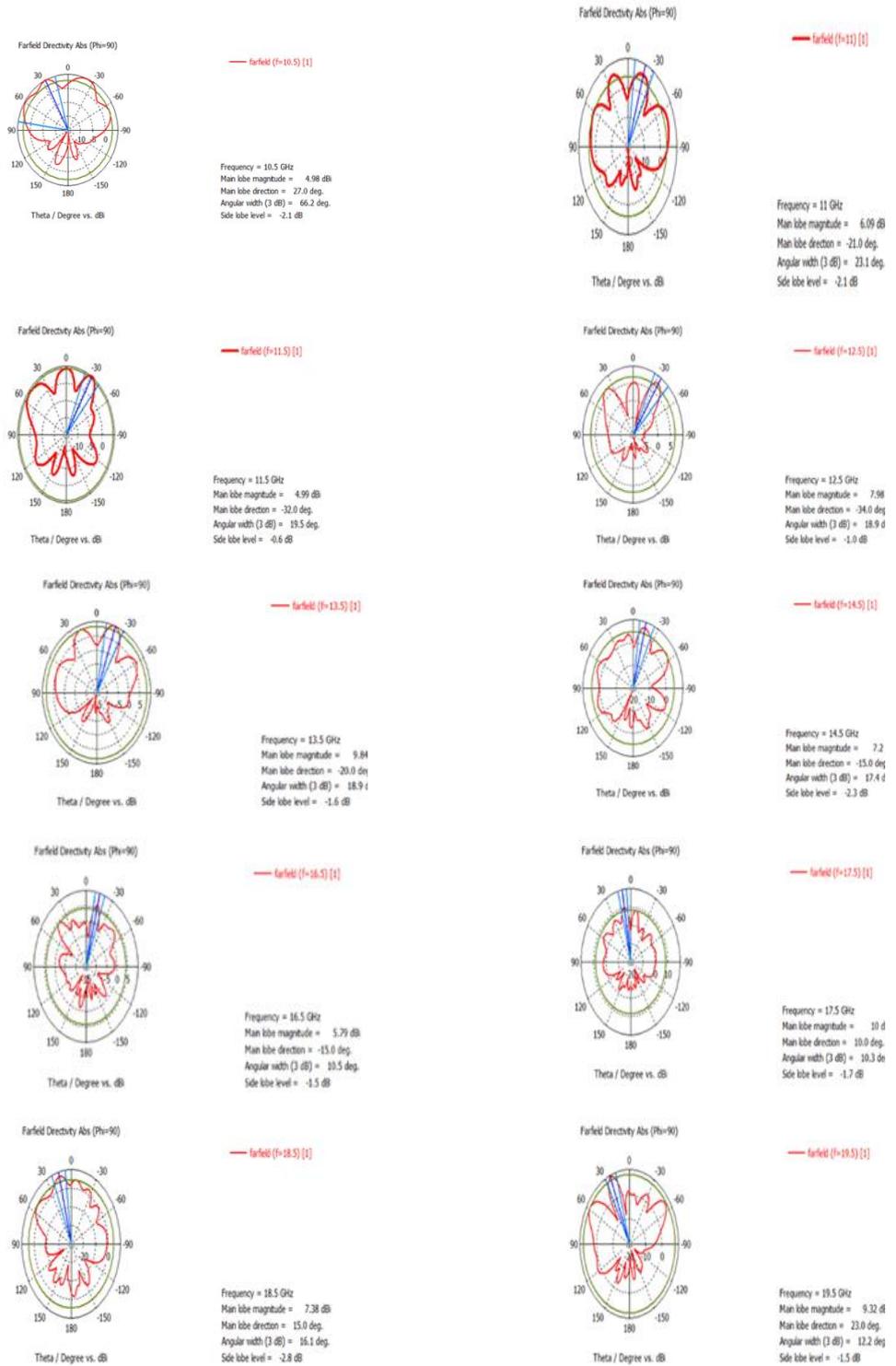


Figure III.66 : les différents diagrammes de rayonnement de l'antenne proposé.

Cette antenne rayonne dans presque toute la direction pour les fréquences choisies 10 GHz à 20 GHz avec pas de 0.5 GHz comme montre les figures en dessus, L'antenne proposée à une

bonne efficacité globale et elle se caractérise par un gain de puissance élevé que nous pouvons observer dans les bandes de fréquences de résonance, ce qui confirme que l'antenne proposée fonctionne correctement dans chacune des bandes souhaitées.

III-2-4. Le gain d'antenne

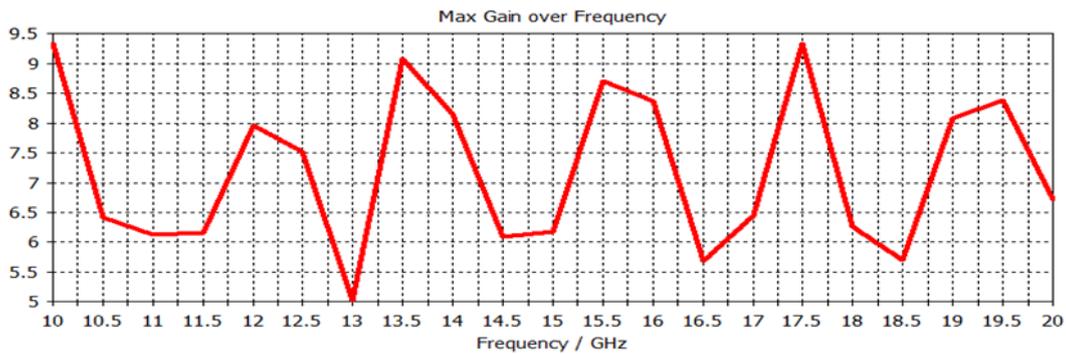


Figure III.67 : le Gain de fréquence maximum pour l'antenne proposé.

Le gain de l'antenne simulé au-dessus et constant de 10 GHZ à 20 GHZgamme représentés sur la figure. On peut remarquer que le gain de l'antenne est stable avec des valeurs maximales.

III-3. ANTENNE A DOUBLE PORT A POLARISATION CIRCULAIRE

Dans cette partie nous allons tester l'antenne avec 2 lignes d'alimentation une ligne micro ruban l'autre avec la sonde coaxiale avec une polarisation circulaire comme montre la figure.

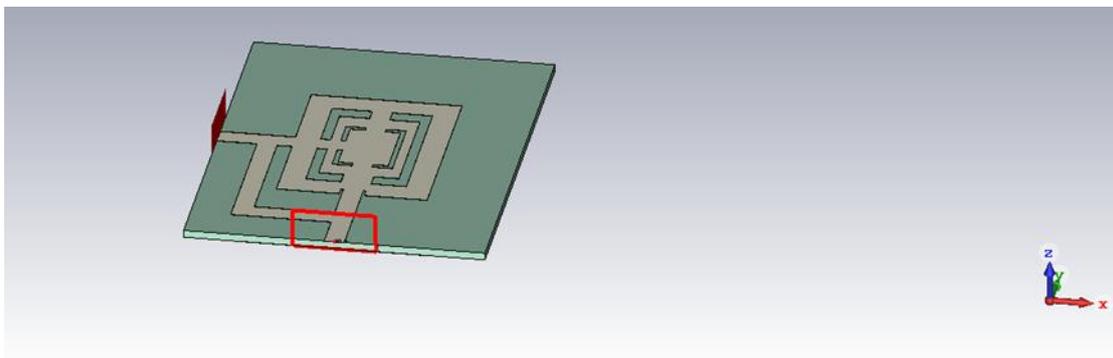


Figure III.68 : antenne avec deux lignes d'alimentation une ligne micro ruban l'autre avec la sonde coaxiale.

III-3-1. Coefficient de réflexion S11

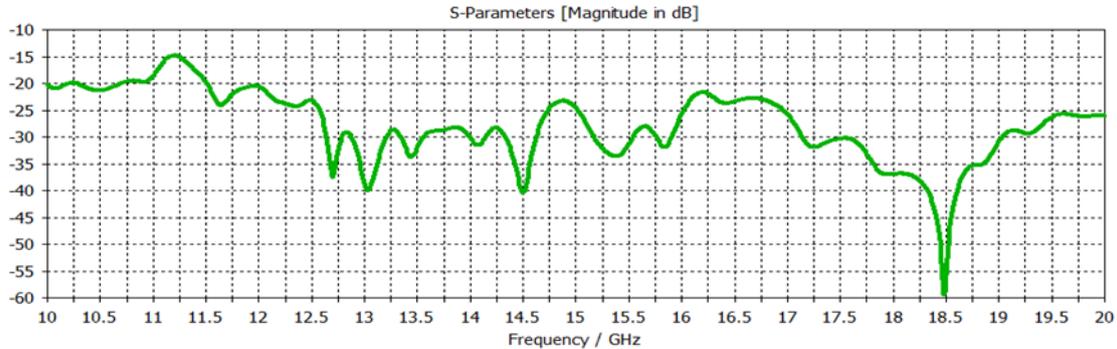


Figure III.69 : Le coefficient de réflexion de l'antenne proposé.

On observe à partir du résultat simulé, que cette antenne est une antenne à une très large bande passante et fonctionne au long de la plage de fréquence utilisée de 10 GHz à 20 GHz.

On remarque que cette antenne peut être optimale pour l'application satellitaire grâce à son S11 parfaitement adapté et ces fréquences de résonances tolérées pour ce domaine.

Cette antenne est située dans le domaine de bande Ku et avec des performances meilleures.

III-3-2. Le rapport d'ondes stationnaires (VSWR)

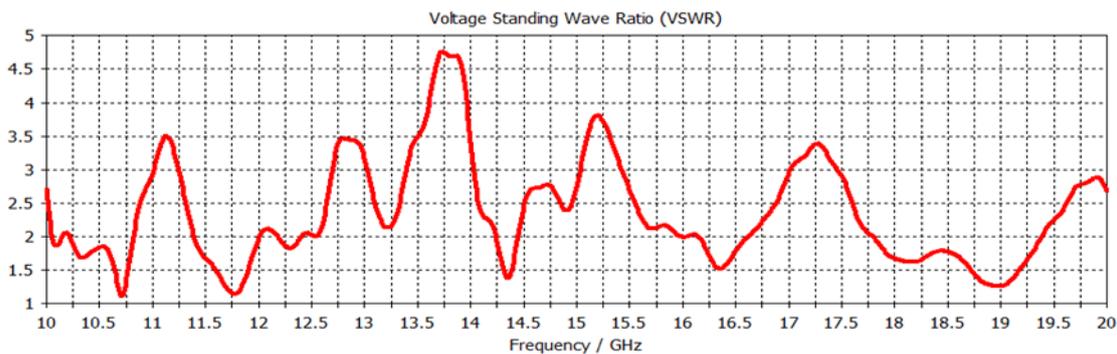


Figure III.70 : Le VSWR en fonction de la fréquence.

On remarque que le VSWR a une valeur comprise entre 1 et 4.5, une valeur maximale de VSWR < 4.75 dans une plage de fréquences comprise entre 10 et 20 GHz, au long de cette bande de fréquence en voit que la tension aurait une amplitude stable ce qui signifie que l'antenne est bien adaptée sur cette manipulation.

III-3-3. L'efficacité de rayonnement

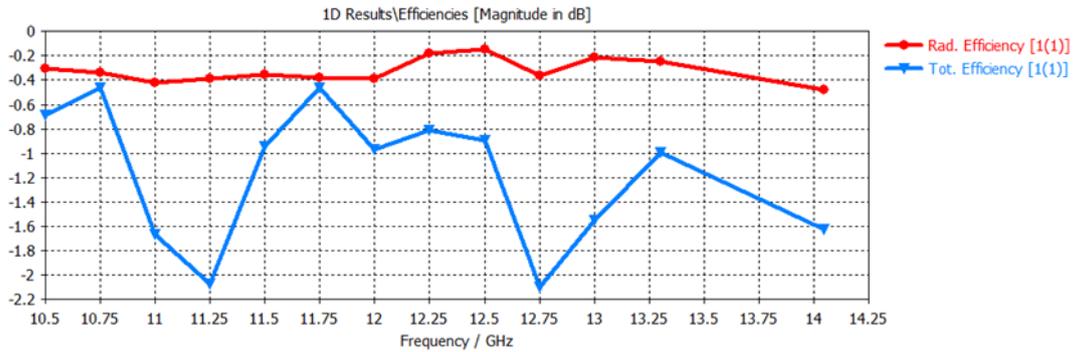


Figure III.71: la comparaison entre l'efficacité rayonnée et l'efficacité totale de l'antenne proposée.

On remarque que dans cette figure que les deux efficacités se correspondent dans deux point le premier est à 10.75 GHZ, le deuxième et à 11.75 GHZ de même valeur -0.4 puis on voit que l'efficacité totale s'éloigne à 11.25 GHZ et 12.75 GHZ d'une valeur de -2.2.

Toutes les valeurs d'efficacité rayonnée et totale sont mesurées en dB

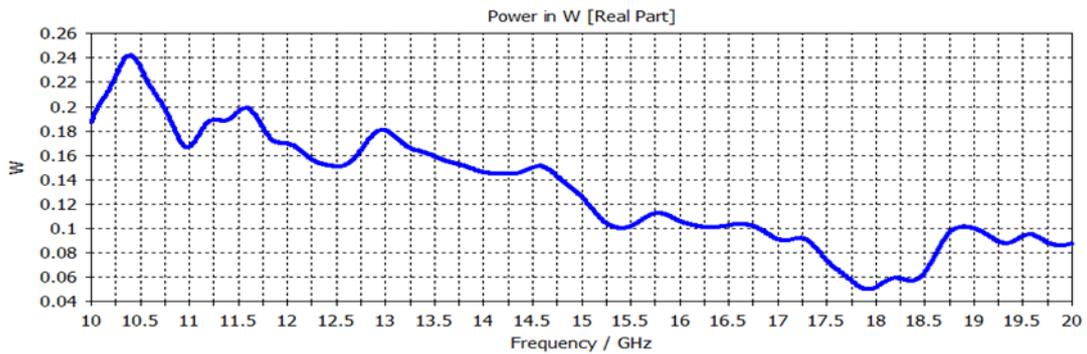


Figure III.72 : la puissance d'entrée en watt de l'antenne proposée.

A partir de la figure on remarque qu'au long de la bande de fréquence qui est de 10 GHZ 20 GHZ, la puissance d'entrée. Diminue de façon monotone.

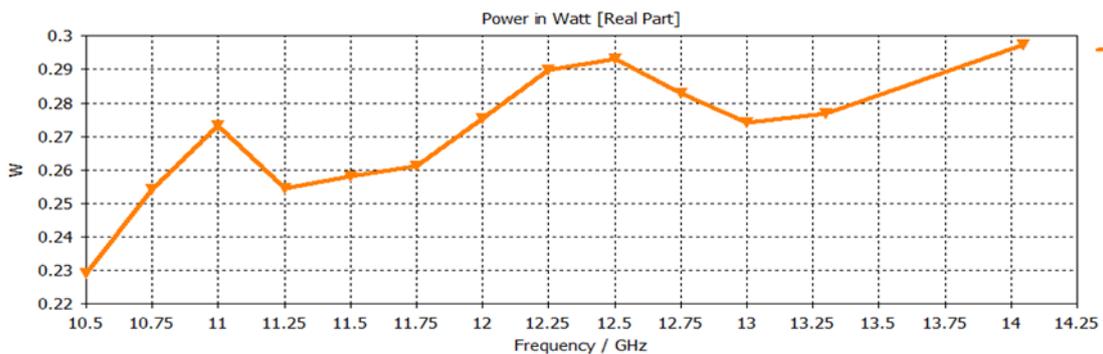


Figure III.73 : La puissance de sortie (rayonné) en watt de l'antenne proposée.

Dans cette figure on remarque que dans toute la bande de fréquence qui est de 10 GHZ à 20 GHZ, la puissance rayonnée augmente de manière monotone. Pour conclure cette antenne a un domaine de puissance adapté à notre étude.

III-3-4. Le gain d'antenne

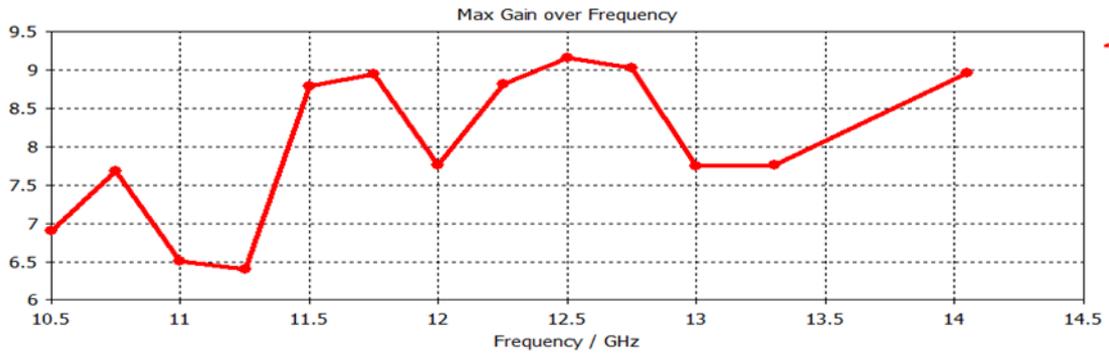


Figure III.74 : le Gain de fréquence maximum pour l'antenne proposé.

Le gain de l'antenne simulé au-dessus voit une augmentation routinière sur 10 GHZ à 20 GHZ gamme représentés sur la figure. Sa signifie que c un bon gain.

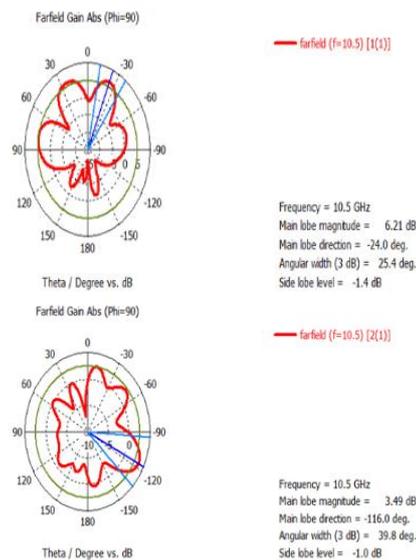


Figure III.75 : les différents Diagrammes de rayonnement de l'antenne proposé.

On remarque que cette antenne rayonne parfaitement dans cette fréquence qui est 10.5 GHZ même avec le changement de la valeur en dB du lob.

Les principales différences sont la directivité légèrement plus grande sur la liaison descendante.

L'une des raisons de ce léger changement aux fréquences les plus élevées est la nature du guide d'ondes de l'antenne circulaire.

V. Comparaison des résultats

Paramètres	Antenne 1	Antenne 2	Antenne 3
Coefficient de réflexion S11 [dB]	-26	-24	-60
Fréquence de résonance [GHZ]	11.25	17.75	10.75
Gain [dB]	9.25	9.4	9.2
VSWR	<9	<7.8	<4.75
Bande passante [GHZ]	[12.3-18.25]	[11.25-19.15]	[10-20]

Tableau III- 1 : La comparaison des différents résultats.

De ce qu'on a vu et d'après les paramètres de comparaison de ce tableau on constate que l'antenne qui a donné les meilleurs résultats de simulation et la mieux adapté pour les applications satellitaires c'est le troisième, l'antenne patch circulaire avec les 2 lignes d'alimentation et les 2 ports.

III. CONCLUSION

Dans ce travail, 3 différentes structures d'un patch large bande miniaturisé, ayant donné les trois des différents résultats, ils ont été proposés pour des applications satellitaires dans la bande Ku. Ça peut également être effectué dans un réseau d'antennes pour augmenter le gain et la directivité, L'étude comparative de ces 3 patch dont un est simulé par une polarisation linière et les 2 autre avec une polarisation circulaire de 1 et 2 ports et que la dernière manipulations a montré une meilleure performance obtenue en particulier au niveau du paramètre S11 et de la bande passante.... Cette antenne peut donc être une très bonne candidate pour des applications de télécommunication satellitaires en bande Ku ou autre applications cognitives.

Conclusion

Générale

Cette mémoire porte sur les antennes à large bande pour divers systèmes de communication satellitaires. Les antennes développées sont conçues et analysées en tenant compte des considérations de domaine temporel (TD) et de domaine de puissance (PD) à l'aide de simulations par logiciels de CST studio software.

Ces modèles sont utilisés pour faciliter la compréhension physique, analyser l'impédance des antennes et concevoir des dérivées offrant de meilleures performances. Ensuite, dans une suite logique, on a rajouté un autre degré de liberté qui était la polarisation circulaire qui était plus favorable que la polarisation linéaire notamment pour des sujets mobiles et outrepasser le phénomène de dépolarisation. Notre étude traite les larges bandes avec une comparaison de deux types de polarisation : linéaire et circulaire pour les sous-systèmes récepteurs sera intégrée en bande Ku.

Actuellement, la bande C est une bande de fréquences bien connue pour les services de télévision et de communication mais elle est maintenant très encombrée, c'est pour cette raison dans les pays avancés, les services en bande C sont progressivement remplacés par la bande Ku.

Références

REFERENCES

Chapitre I

- [1] :Mémoire Présenté par : Brahimi Ali En vue de l'obtention du diplôme de Magister Faculté de Génie Électrique Département d'Électronique Ecole Doctorale des Technologies et Applications Spatiales.
- [2] :Mémoire Présenté par :ABID Abdeljalil KOUADRI Mohamed Amine Antenne patch en Ku-Vsat band pour réception diffusion des chaines du satellite.
- [3] :AzzazRahmaniSalima « Analyse et conception des antennes imprimées multibandes en anneaux concentriques pour les réseaux de télécommunications » Thèse de doctorat présenté à l'Université de Abou BakrBelkaid–Tlemcen, 2013.
- [4] :département génie électrique Guillaume Villemaud cours master.
- [5] :MelihSouhila, Fengal Tine-hinane « Antenne de téléphonie mobile, caractérisation et optimisation » Mémoire de Master présenté à l'Université Abderrahmane Mira-Bejaia, 2016.
- [6] : <https://f5zv.pagesperso-orange.fr/RADIO/RM/RM08/RM08a/RM08a07.html>
- [7] :AnnaNiang « Antennes miniatures et structures électromagnétiques avec circuits non-Foster » Thèse[de doctorat présenté à l'Université de Paris-Saclay, 2017.
- [8] :Guennach Mohamed « Conception d'une antenne "PIFA" multi-bandes pour applications sans fil » Mémoire d'Ingénieur présenté à l'Université Sidi Mohamed Ben Abella, 2016.
- [9] « Cours TS-4600 équipements spatiaux micro-ondes II "Éléments de base des Communications par satellite"» 2010.
- [10] :A. S. Hussam, F. Mohmmad, W. M. Abdel-Wahab, G. Rafi, and S. Safavi-Naeini, "A 4×4 circularly polarized aperture coupled antenna array for Ka-band satellite communication," in Proceedings of 2015 Antenna and Propagation International Symposium, Vancouver, Canada, 2015, pp. 1896–1897.
- [11] :<https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/technologies-de-l-information-th9/techniques-et-systemes-de-transmission-en-reseaux-et-telecoms-42293210/systemes-de-communications-par-satellite-e7560/architecture-des-systemes-de-communication-par-satellite-e7560v2niv10001.html>
- [12] :Guennach Mohamed « Conception d'une antenne "PIFA" multi-bandes pour applications sans fil » Mémoire d'Ingénieur présenté à l'Université Sidi Mohamed Ben Abella, 2016.
- [15] : H. Chreim, "Etude d'antennes BIE multifaisceaux agiles. Amélioration de la couverture omnidirectionnelle en azimut", Thèse de doctorat présentée à l'université de Limoges, France, 2009.
- [16] :ZAHZAH Imane Diplôme de Master Système de Télécommunication 2019/2020.
- [17] :M. CHAABANE Abdelhalim doctorat en science électronique 2017.
- [18] : E. Pointereau, "Etude d'antennes à bande interdite électromagnétique Omnidirectionnelles en azimut", Thèse de doctorat présentée à l'université de Limoges, France, 2007.
- [19] :M. Hajj, "Conception, réalisation et caractérisation de nouveaux types d'antennes Sectorielles à base de matériaux BIE métalliques pour télécommunications terrestres", Thèse de doctorat présentée à l'université de Limoges, France, 2009.
- [20]:C. A. Balanis, "Antenna theory: analysis and design", 3rd edition, John Wiley & Sons,

- INC, ISBN: 0-471-66782-X, 2005.
- [21]: E-H. Kenane, F. Djahli, A. Bartil, "Synthesis of cosecant linear antenna array pattern using a novel modified invasive Weeds optimization", *Elektronika i Elektrotehnika*, vol. 21, no. 5, 86–89, 2015.
- [22]: E-H. Kenane, F. Djahli, "Optimum design of non-uniform symmetrical linear antenna arrays using a novel modified invasive weeds optimization", *Archives of Electrical Engineering*, vol. 65, no. 1, 5–18, 2016.
- [23] A.E. Ahmad, "Conception d'antennes réseaux aux performances optimisées par la prise en compte des couplages inter éléments. Application à la formation de faisceau
- [24] S.Gao, K. Clark, M. Unwin, J. Zackrisson, W. Shiroma, J. Akagi et K. Maynard, «Antennas for modern small satellites», *Antennas and Propagation Magazine, IEEE*, vol. 51, n° 14, pp. 40--56, 2009.
- [25] https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/v/R-REC-V.431-8-201508-I !
- [26] : HELIER, M. : *Techniques micro-ondes, Structures de guidage, dispositifs passifs tubes micro-ondes. Ellipses, Collection Technosup -Les cours de l'Ecole Supérieure d'Electricité*, ISBN 2-7298-0497. April, 2001.
- [27] : hafdeh ben Ibrahim Gaha docteur de l'institut national polytechnique de Toulouse (France) .
- [28]: H. Ahmad, W. Zaman S. Bashir M. Rahman, "Compact triband slotted printed monopole antenna for WLAN and WiMAX applications", *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, Vol. 30, N°1, 2020.

Chapitre II

- [1] : Mell .Melih Souhila Mr. S. BERRAH Mell .Fengal Tine-hinane, "Antenne de Téléphonie mobile, caractérisation et optimisation", *Mémoire de master*, 2016.
- [2] D. H. Schaubert, D. M. Pozar and A. Adran, "Effect of microstrip antenna substrate thickness and Permittivity: comparison of theories and experiment" *IEEE Trans. Antennas propagation*, Vol.37, pp.677-682, June 1989.
- [3] D.M. Pozar and B. Kaufman, "Increasing the Baud with of a microstrip antenna by proximity coupling", *Electron, Lett*, Vol.23, PP.368-369, 1987.
- [4] D. B. Ahcene, «Contribution à l'étude et à la modélisation des antennes,» 2012.
- [5] Constantine A. Balanis "Antenna theory: Analysis and design" third edition, John Wiley & Sons, NY,
- [6] M. Diblng "Développement du concept de l'antenne à résonateur bie pour la génération de la polarisation circulaire", *Université de Limoges, thèse de Doctorat*, 20 mars 2006.
- [7] James O. McSpadden, Lu Fan, and Kai Chang, "Design and Experiments of a High Conversion-Efficiency 5.8-GHZ Rectenna", *IEEE Transactions On Microwave Theory And Techniques*, Vol. 46, No. 12, December 1998.
- [8] ZhiNing Chen., Ammann, M.J., Xianming Qing., XuanHuiWu., See, T.S.P., Cat, A. 2006. «Planar antennas». *IEEE Microwave Magazine*, vol.7, num. 6, p.63-73.
- [9] Brahimi , Ali Ecole Doctorale des Technologies et Applications Spatiales diplôme de Magister

Option : Instrumentation Spatiale.

- [10] ZHI Ning Chen et Michael Y. W. Chia. 2006. Broadband planar antenna, Design
- [11] Université Hassiba Benbou laid CHLEF Faculté de Technologie, ZitouniAhmed.Étude et conception d'antennes ULB standards et à bandes rejetées.
- [12]] R. G. Vaughan, J. B. Andersen. 1987. «Antenna diversity in mobile communications». IEEE Trans. on Vehicular Technology, vol. VT-36, num. 4, p. 149-172.
- [13] S. K. Padhi., N. C. Karmakar. Sr., C. L. Law et S. Aditya, Sr. 2003. «A Dual Polarized Aperture Coupled Circular Patch Antenna Using a C-Shaped Coupling Slot». IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 51, num. 12, p. 3295-3298
- [14] M. BARBA. 2008. «A high-Isolation, Wideband and Dual-Linear Polarization Patch Antenna». IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 56, num. 5, p. 1472-1476.
- [15] C. H. LEE., S. Y. Chen et P. Hsu. 2009.«Isosceles Triangular Slot Antenna for Broadband
- [16] Yu-Chun et Yi-Cheng Lin. 2010.«A compact dual-polarized UWB antenna with high portisolation». IEEE Antennas and propagation Society International Symposium (APSURSI)2010.
- [17] ADAMIUK, G., T. Zwick et W. Wiesbeck. 2008. «Dual-orthogonal polarized Vivaldi Antenna for Ultra Wideband». 17th International conference on Microwaves, Radar and wireless Communications. MIKON 2008.
- [18] ADAMIUK, G., Timmermann, J., Wiesbeck, W., Zwick, T. 2009. «A novel concept of dual-orthogonal polarized ultra wideband antenna for medical applications». 3rd European conference on Antennas and propagation EuCAP 2009, p. 1860-1863.
- [19] ADAMIUK, G., Wiesbeck, W., Zwick, T. 2009. «Differential feeding as a concept for therealization of broadband dual-polarized antennas with very high polarization purity». IEEE Antennas and propagation Society International Symposium 2009.
- [20] FENG Zhou.,ZupingQian., Tingting Liu., Jiwei Han., Chan Peng. 2010. «Design of diversity Antenna for ultra wideband applications». IEEE International Conference on Ultra-wideband, vol. 1, p. 1-4.
- [21] d. M.PozarandH.H.S.(Ed.). MicrostripAntennas:AnalysisandDesign. Wiley,1995. 56, 57
- [22] LeeK.F.,LukK.M.,TongK.F.,ShumS.M.,HuynhT.,andLeeR.Q.Experimentalandsimulationstudiesofthecoaxial lyfedu-slotrectangular patch antenna .Microwaves ,Antennas and Propagation, IEE Proceedings, 144(5) :354–358,Oct1997. 56
- [23] Amal Harrabi, "Conception et réalisation d'une antenne plate pour la réception satellite", Thèse de doctorat, Université de Nantes, 2015.
- [24] A.Taflove, et M. E. Brodwin, "Numerical solution of steady-state electromagnetic scattering problems using the time-dependent Maxwell's equations", IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, vol. 23, pp. 623-630, 1975.
- *

Chapitre III

[1] :(2020) cst-studio-suite. [Online].<https://www.dps-fr.com/cst-studio-suite>

[2] :register.gotowebinar.com.[Online].<https://register.gotowebinar.com/recording/97003717190374659>

