

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان -

Université Aboubakr Belkaïd - Tlemcen -

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

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

En : Télécommunication

Spécialité : Système de Télécommunication

Par : ZAHZAH Imane

Sujet

Conception d'une antenne CLSA de la bande Ku- Vsat pour une application satellite

Soutenu publiquement, le 22/06/2020, devant le jury composé de

Mr IRID Mohammed Hadj
Mr KOURDI Zakarya
Mr BOUABDELLAH Reda
Mr KHAELLADI Mounir

Université de Tlemcen
Université de Tlemcen
Université de Tlemcen
Université de Tlemcen

Président
Encadreur
Co-encadreur
Examineur

Année universitaire 2019/2020

REMERCIEMENTS

***** REMERCIEMENTS *****

Le travail présenté dans ce rapport a été effectué à l'université Abou-Beker Belkaid - Tlemcen-

Avant tout, je remercie notre seigneur d'avoir donné à l'homme le pouvoir de raisonner et d'explorer les vérités de l'univers.

Que mes remerciements les plus sincères s'adressent à mon encadreur KOURDI Zakarya, maître de recherche au CDS, pour avoir accepté de superviser mon travail et pour m'avoir initié aux bases de télécommunication système.

Je remercie mon co-encadreur BOUABDELLAH Reda maître assistante A de l'université de Tlemcen, pour avoir accepté de superviser mon travail et pour m'avoir initié aux bases de télécommunication système.

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

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

DÉDICACES

***** DEDICACES *****

A ma mère

mes sœurs (AMEL et WASSILA)

A mes frères (NABIL et BILEL)

A toute ma famille et mes amis.

A tout la promotion Télécommunication 2018- 2020.

A toutes les mains qui m'ont été tendues

Acronyms

***** ACRONYMS *****

AUPC	Automatic Uplink Power Control
BUC	Bloc Up Converter
CLSA	Conical logarithm spiral antenna
DVB	Digital video Broadcasting
FAT	Final Acceptance Test
FDMA	Frequency Division Multiple Access
GIS	Geography Information System
HPW	
LNB	Low Noise Bloc
MMBS	Band Multimedia Broadcasting System
NMS	Network Management System
ODU	Out Door Unit
OSAT	On-Site Acceptance Test
RCST	Return Channel Satellite Terminal
RF	Radio Frequency
RMS	Remote Maintenance System
SAC	Satellite Access Center
SCC	satellite Control Center
SCPC	Single Channel Per Carrier
TDM	Time Division Multiplexing
TTC& M	Telemetry and Tele-command Control & Maintenance
IDU	In Door Unit
VSAT	Very Small Aperture Antenna
CST	Computer Simulation Technology, un logiciel de simulation électromagnétique
HPBW	Half power beam width
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio.
ROS	Rapport d'Ondes Stationnaires.
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power (puissance rayonnée isotropiquement équivalente).
GEO	Geostationary Orbit
GPS	Global Positioning System

***** SOMMAIRE *****

*** Remerciements ***	I
*** Dédicaces ***	II
*** Acronyms ***	III
*** Sommaire ***	IV
Liste des figures	VIII
Listes Du Tableau.....	X
Introduction Générale.....	1
Chapitre I : Généralité sur les antennes spatiales.....	3
I. Introduction.....	3
II. Environnement Spatial	4
II-1. Environnement radiatif	5
II.1.1 Ceintures des Particules pièges (Ceintures de Van Allen)	5
II.1.2 Rayons cosmiques	6
II.1.3 Environnement plasma	6
II.1.4 Environnement thermique	7
II.1.4.1 Visible.....	7
II.1.4.2 Ultraviolet.....	7
II.1.4.3 Rayonnement X ET Gamma.....	7
II.2 Oxygène atomique	7
II.3 Météorites et débris orbitaux	7
II.4 Environnement de lancement.....	8
II.5 Techniques de qualification	8
II.5.1 Revêtements thermiques.....	9
II.5.2 Pare-soleil	9
II.5.3 Radômes	9
III. Liaison satellitaire	9
III-1. Principaux paramètres d'une liaison satellitaire	9
III-2. Gain de l'antenne	10

Sommaire

III-3. EIRP	10
III-4. Perte dans l'espace libre	10
III-5. Perte par absorption atmosphérique	11
III-6. Température de bruit	11
IV. Caractéristique des antennes	12
IV-1. Rayonnement des antennes	12
IV-1-1. Rendement	12
IV-1-2. Directivité	12
IV-1-3. Gain	13
IV-1-4. Polarisation	14
IV-1-4-1. Polarisation linéaire	14
IV-1-4-2. Polarisation circulaire	14
IV-1-4-3. Polarisation elliptique	14
IV-1-5. Bande de fréquence (aspects réglementaires)	14
IV-2. Les caractéristiques électriques des antennes	15
IV-2-1. Coefficient de réflexion	15
IV-2-2. Rapport d'ondes stationnaires (ROS)	16
IV-2-4. L'impédance d'entrée	17
IV-2-5. L'impédance caractéristique	17
IV-2-6. La forme et les dimensions	18
IV-3. Classification des antennes selon leur diagramme de rayonnement	18
IV-3-1. Antennes omnidirectionnelles	18
IV-3-2. Antennes sectorielles	19
IV-3-3. Les antennes directionnelles	19
Type des antennes	20
V-1. Selon la directivité	20
V-1-1. Antennes directives	20
V-1-1-1. Antennes à ouverture rayonnante et système focalisant	20
V-1-1-2. Antennes réseau	21
V-1-2. Antennes omnidirectionnelles	22
V-1-3. Antennes hémisphériques	22
V-2. Selon l'orbite	23
V-3. Selon le gain	24

Sommaire

V-3-1. Antennes à gain faible $G \leq 6\text{dBi}$	24
V-3-2. Antennes à gain élevé $G \geq 6\text{dBi}$	24
V. Conclusion.....	25
Chapitre II : Caractéristique d'antenne CLSA	26
I. Introduction.....	26
II. Type des antennes à large bande	27
II-1. Antennes indépendantes de la fréquence	27
II-1-1. Antenne log-périodique	28
II-1-2. L'Antenne spirale.....	29
II-1-2-A. Spirale équiangulaire	32
II-1-2-B. Spirale d'Archimède.....	32
II-1-3. Réseau d'antennes à large bande	34
II-2. Conique Log Spiral Antenne	35
II-2-1. Description de CLSA.....	35
II-2-2. Équations régissant CLSA	36
III. Propriétés d'antenne à large bande	38
III.1 Diagramme de rayonnement.....	38
III.2 Largeur du faisceau	39
IV. Caractéristique d'antenne CLSA.....	40
IV-1. La région active.....	40
IV-2. Analyse des paramètres CLSA à l'intérieur de la région active	42
IV-3. Impédance d'entrée du CLSA	47
IV-4. Conception théorique préliminaire de CLSA.....	48
V. Conclusion.....	51
Chpitre III: Résultats et discussion.....	52
I. Introduction.....	52
II. Structure et modèle système	53
II -1. Model de l'antenne CLSA	53
II -1-1. Cartographie des équations CLSA dans CST Studio.....	53
II-1-2. Construction de bras en spirale et alimentation	56
II- 3. Mise à l'échelle de fréquence pour la construction d'antenne.....	58
II-4. Model de l'antenne CLSA proposé	59
III. Résultats et discussion.....	61

Sommaire

IV. Conclusion 66
 Conclusion générale 67
 Références 68

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Généralité sur les antennes spatiales

Figure (I.1) : Rôle d'une antenne

Figure (I.2) : Environnement spatiale en orbite

Figure (I.3.a) : Représentation schématique de la ceinture de Van Allen

Figure (I.3.b) : Concentrations d'électrons et de protons dans les ceintures

Figure (I.4) : Mouvement de base des particules piégées dans le champ magnétique de la Terre

Figure (I.5) : Risques des débris orbitaux

Figure (I.6) : Exemple des protections thermiques des antennes spatiales

(Satellite de télécommunication *Yah Sat1B*)

Figure (I.7) : Configuration d'un lien de communication par satellite

Figure (I.8) : Rayonnement d'une antenne microruban

Figure (I.9) : Types de polarisation

Figure (I.10) : Coefficient de réflexion d'une antenne et sa bande de fonctionnement

Figure (I.11) : Antennes omnidirectionnelles

Figure (I.12): Les coordonnées cartésiennes d'une antenne omnidirectionnelle vertical et horizontal

Figure (I.13) : Antennes sectorielles

Figure (I.14): Diagramme de rayonnement d'une antenne sectorielle

Figure (I.15) : Les antennes directionnelles

Figure (I.16): Différents exemples d'antennes à ouverture rayonnante (a) (b) et système focalisant (c) (d) (e)

Figure (I.17) : Antenne de télémétrie, poursuite et de commande (Courtesy of RUAG Aerospace Sweden)

Figure (I.18) : Différents exemples d'antennes réseau

Figure (I.19) : Antenne bande X par RUAG

Figure (I.20) : Antennes LEO : radar à aperture synthétique

Figure (I.21) : Antenne patch micro-ruban bande S pour microsatellite de Surrey SSTL

Figure (I.22) : Antenne à réflecteur (*AstroMesh*) d'*INMARSAT-4*

Figure (I.23) : Réseaux d'antennes de *SMOS SAT*

Chapitre II : CLSA

Figure (II.1) : Géométrie de l'antenne périodique log

Figure (II.2.a) : Squire Spiral

Figure (II.3.b) : Spirale étoilée

Figure (II.4.a) : Spirale d'Archimède

Figure (II.5 .b) : Spirale équiangulaire

Figure (II.6) : Géométrie de l'antenne spirale équiangulaire

Liste des figures

Figure (II.7.a) : Spirale d'Archimède à bras unique

Figure (II.8.b) : Spirale archimédienne à deux bras.

Figure (II.9) : Géométrie d'une spirale conique à deux bras (CLSA)

Figure (II.10.a) : Diagramme de CLSA gaucher

Figure (II.11.b) : Diagramme de CLSA pour droitiers

Figure (II.8): (a) Lobes de rayonnement de l'antenne

Figure (II.8): (b) Tracés linéaires du modèle de puissance

Figure (II.9): Diagramme bidimensionnel de rayonnement de champ et de puissance

Figure(II.10):Diagramme de rayonnement du champ électrique éloigné correspondant à une troncature aux points indiqués ($2\theta = 20^\circ$, $\alpha = 80^\circ$, $\delta = 90^\circ$)

Figure (II.11): Constantes de régions actives par rapport à la longueur d'onde du CLSA

Figure (II.12) : Diagramme de rayonnement de champ électrique typique pour deux polarisations orthogonales à $\delta = 90^\circ$

Figure (II.13) : Amplitude et phase relatives des champs magnétiques mesurées le long de la surface des antennes coniques et diagrammes de rayonnement éloignés correspondants

Figure (II.14) : Largeur de faisceau moyenne à mi-puissance et directivité approximative des antennes coniques log-spirales $\delta = 90^\circ$

Figure (II.15) : Rapport axial typique du CLSA

Figure (II.16) : Impédance caractéristique du CLSA en fonction de la largeur angulaire du bras

Chapitre III : CST

Figure III- 1: Coupe transversale de la structure de CLSA.

Figure III- 2: CLSA à deux bras construit en CST.

Figure III- 3: CLSA avec couche extensible et port discret.

Figure III- 4: Superposition des bras en spirale avec port discret personnalisé.

Figure III- 5: Vue de dessus de CLSA avec des lignes bifilaires.

.Figure III-6: Vue 3D pour antenne CLSA propose en protocole de recherche

Figure III- 6: Coefficients de réflexion de la simulation sur le port d'antenne et pour l'ensemble du système sur le guide d'onde du port d'entrée.

Liste des figures

Figure III- 7: VSWR simulé dans le studio CST.

Figure III- 8: Diagramme de rayonnement simulé de l'antenne CLSA à polarisation circulaire.

Figure III- 9: Gain de fréquence maximum pour l'antenne CLSA.

Figure III- 10: Efficacité totale de l'antenne CLSA alimentée par le bas.

LISTES DU TABLEAU

Tableau (I.1) : Bandes de fréquence allouée pour les applications spatiales

Tableau (II.1) : Valeurs de rayon supérieures en termes de longueur d'onde pour les angles en spirale et coniques selon l'expérience Dyson

Tableau (II.2) : Valeurs de rayon inférieures en termes de longueur d'onde pour les angles en spirale et coniques selon l'expérience Dyson

Tableau (II.3) : Paramètres de conception de CLSA

Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE

L'utilisation des satellites est omniprésente dans la société moderne. Inconsciemment, nous utilisons quotidiennement des informations venant de l'espace. Afin d'illustrer ce fait, nous pouvons citer des grandes familles d'applications de l'espace :

- Les missions de télécommunications : télédiffusion, télécommunication avec les mobiles, transmission multimédia haut débit, ...
 - Les missions de localisation/navigation : GPS, Galileo, Argos, ...
 - Les missions d'observation de la Terre : météorologie, étude des océans, étude de l'atmosphère, climatologie, ...
 - Les missions de défense : observation radar ou optique, écoute électromagnétique, ...
 - Les missions scientifiques: astronomie, sonde d'exploration interplanétaire, sonde de mesure in-situ, physique fondamentale, ...
- Quelque soient leur applications, tous les satellites utilisent des ondes électromagnétiques pour assurer la liaison avec la terre ou pour remplir leurs missions. Les antennes embarquées sont donc des composants vitaux de ce système. Etant le passage obligé des informations traitées par le satellite, elles sont soumises à des spécifications sévères et sont directement liés aux performances globales du satellite.

Quand on parle sur les satellites de télécommunications dans le passé et la future, aura rappelé que le premier satellite de télécommunication, Tel star 1, lancé en juillet 1962 a réalisé les premières transmissions de photos télévisées, d'appels téléphoniques et d'images de télécopie à travers un satellite non géostationnaire à orbite elliptique. Un an plus tard, en août 1963, Syncom 3 a rendu le rêve de Clarke [1] devenu le premier satellite qui a atteint l'orbite géostationnaire, fournissant avec succès une chaîne large bande pour la télévision et la possibilité de diffuser à tous les Américains les Jeux olympiques d'été de 1964 à Tokyo. Depuis, il a plu beaucoup apparu les nouvelles générations de satellites de communication ayant des capacités plus importantes et des caractéristiques et de performance améliorées ont été adoptés pour une utilisation télévisée, des applications militaires et des télécommunications.

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

Introduction general

Le deuxième chapitre on étudie, une antenne à spirale conique à deux bras (CLSA) qui a été établie par Dyson. Il a expérimenté ce type d'antennes et a développé des courbes de conception pour présenter les caractéristiques des antennes en termes de HPBW, de directivité et de rapport axial.

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

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

Chapitre I :
Généralité sur les
antennes spatiales

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES ANTENNES SPATIALES

I. Introduction

L'antenne est considérée comme un dispositif indispensable dans les systèmes de télécommunications mobiles. La conception de ce dispositif constitue donc un élément clé de la conception des systèmes intégrés mobiles et sans fil [1].

Les antennes sont des éléments réciproques qui rayonnent et reçoivent de la puissance radiofréquence ou la puissance micro-onde. De plus, les antennes peuvent servir à diriger le signal dans une direction requise.

Les antennes servent pour communiquer sur de grandes distances, car les communications sur petites distances sont moins coûteuses avec l'emploi de câbles ou de guides d'onde. [2]

En radioélectricité, une antenne est peut être définie comme un élément passif permettant le transfert de l'énergie électrique vers une énergie électromagnétique ou vice versa

- L'antenne d'émission : son rôle est de transformer la puissance électromagnétique guidée, issue d'un générateur en une puissance rayonnée. Dans ce sens c'est un transducteur.
- L'antenne de réception : de façon inverse, la puissance rayonnée peut être captée par une antenne de réception. Dans ce sens l'antenne apparait comme un capteur et un transformateur de puissance rayonnée en puissance électromagnétique guidée.

Les antennes présentent une propriété connue sous le nom de réciprocité c'est-à-dire qu'une antenne peut être utilisée en réception ou en émission avec les mêmes propriétés rayonnantes. On dit que son fonctionnement est réciproque. Du fait de la réciprocité des antennes, il ne sera pratiquement jamais fait de différence entre le rayonnement en émission ou en réception. Les qualités qui seront annoncées pour une antenne le seront pour les deux modes de fonctionnement. [3]

Le rôle d'une antenne est de convertir l'énergie électrique d'un signal en énergie électromagnétique transportée par une onde électromagnétique. « Figure I-1 ».

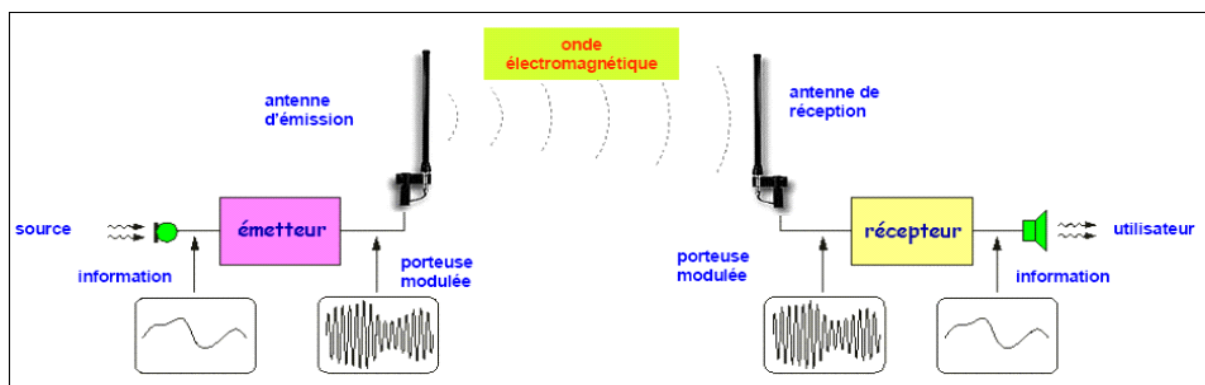


Figure I. 2 : Rôle d'une antenne [4].

CHAPITRE I : Généralité Sur Les Antennes Spatiales

L'antenne d'émission reçoit le signal électrique de l'émetteur et rayonne l'onde électromagnétique. Cette dernière se propage dans l'espace autour de l'antenne d'émission.

En fonction du type et de la forme de l'antenne utilisée certaines directions de propagation peuvent être privilégiées. La puissance produite par l'émetteur est appliquée sur l'antenne et se propage dans l'espace, puis l'antenne de réception capte une faible partie de cette puissance et la transforme en signal électrique. Qui sera appliqué par la suite à l'entrée du récepteur qui en extrait l'information transmise.

II. Environnement Spatial

Les antennes sont toujours installées à l'extérieur du satellite, pour cela elles sont fortement exposées aux contraintes de l'environnement spatial qui peuvent provoquer une dégradation des matériaux constitutifs (la structure et les revêtements thermiques).

Les contraintes sont représentées par le rayonnement des particules chargées (électrons et photons), l'effet de cycle thermique, l'influence du débris, la contamination et l'oxygène atomique (Figure I.2) [5].

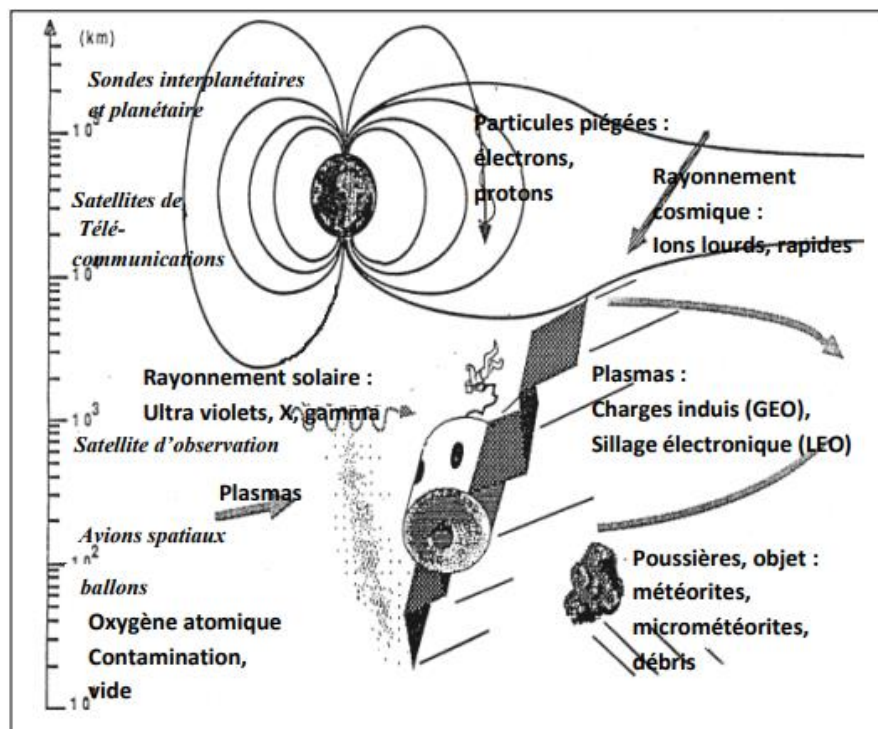


Figure I.2 : Environnement spatiale en orbite [28].

Il est à noter que chaque mission est caractérisée par plusieurs paramètres qui doivent être pris en considération dans la conception d'antennes et la sélection de leurs matériaux, à savoir la durée de mission, les paramètres orbitaux et l'angle de vue des antennes ainsi que les activités solaires.

CHAPITRE I : Généralité Sur Les Antennes Spatiales

II-1. Environnement radiatif

II.1.1 Ceintures des Particules piégées (Ceintures de Van Allen)

L'un des effets du champ magnétique terrestre le plus important à étudier concerne les ceintures de particules chargées, nommé ceintures de Van Allen. Il s'agit de deux zones toriques où la concentration d'électrons et de protons est très importante, ces derniers ont été piégés par le champ magnétique (Figure I.3.a).

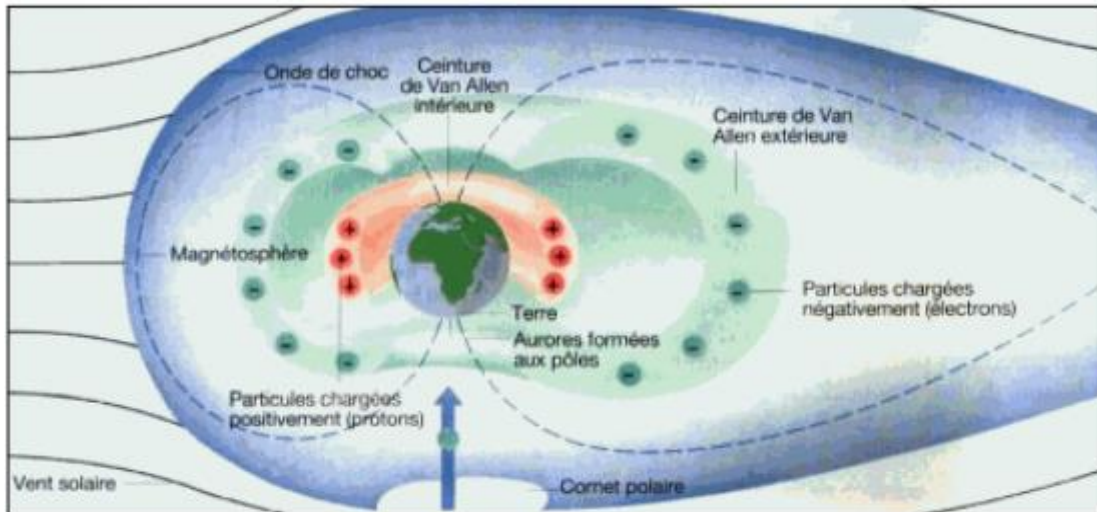


Figure I.3.a : Représentation schématique de la ceinture de Van Allen [6].

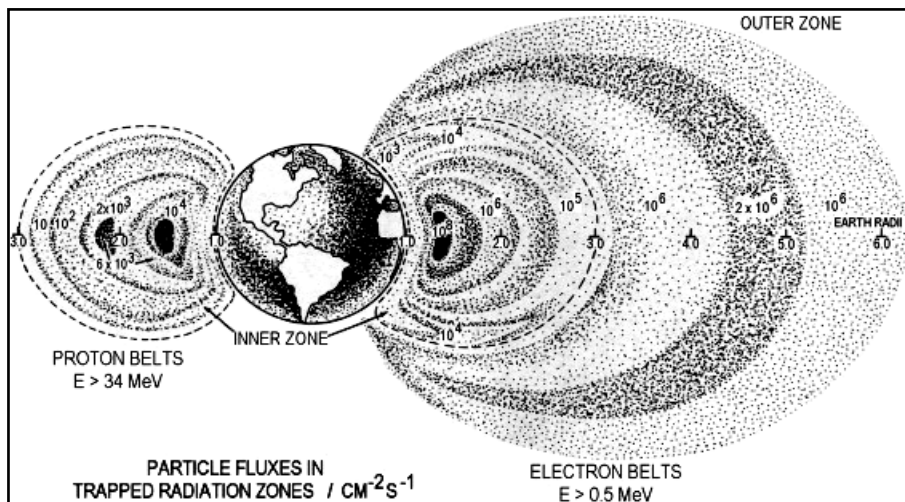


Figure I.3: b. Concentrations d'électrons et de protons dans les ceintures [6]

Les protons et les électrons présentent des centaines de MeV d'énergies (Figure I.3.b). Ainsi, les effets engendrés par ces particules vont jusqu'à provoquer la détérioration de composants électroniques, des cellules solaires et des matériaux structurels ; leurs mouvements dans le champ comprennent une giration sur les lignes du champ, un mouvement de rebondissement entre les miroirs magnétiques trouvés près des pôles et un flottement autour de la Terre (Figure I.4) [7].

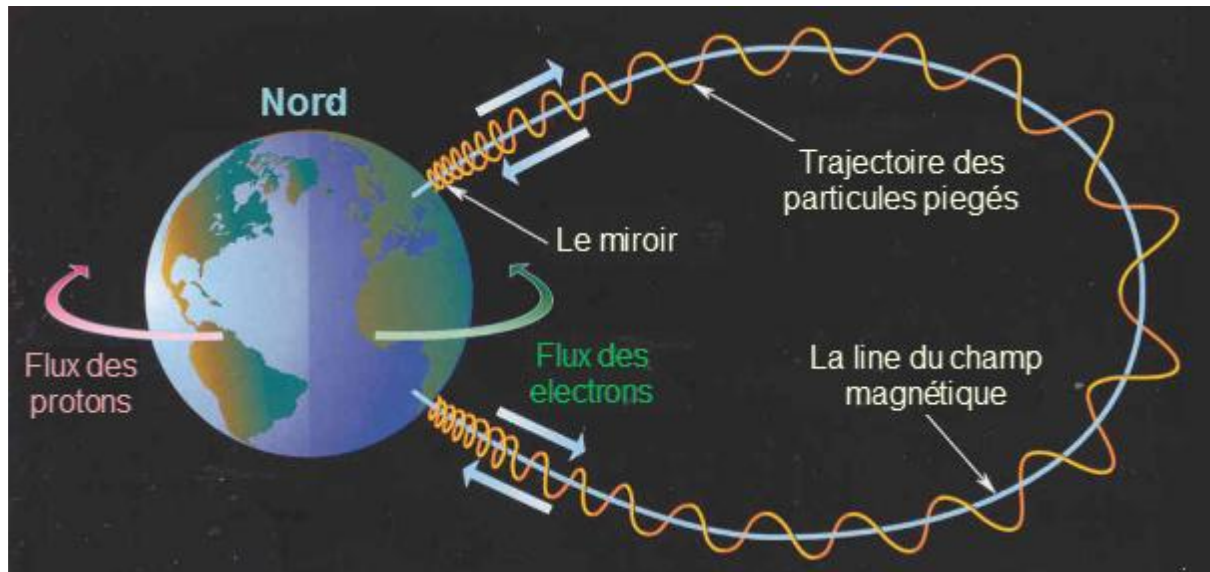


Figure I.4 : Mouvement de base des particules piégées dans le champ magnétique de la Terre [28].

Les matériaux d'antennes spatiales sont exposés à des doses très élevées parce que le plus d'énergie est absorbé de l'ordre des millimètres dans le matériau. Cela peut bientôt dégrader les matériaux de contrôle thermique et les radômes.

II.1.2 Rayons cosmiques

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

II.1.3 Environnement plasma

Le plasma est une phase de la matière qui se forme lorsqu'un gaz est suffisamment chauffé ou lorsqu'il est soumis à un rayonnement ionisant (un flux des électrons et des ions) [8]. Un plasma contient des densités égales des charges positives et négatives, les électrons sont beaucoup plus mobiles et le flux des électrons à une surface « non chargé » dépasse le flux des ions.

Par conséquent, l'environnement du plasma à haute altitude et aux orbites polaires provoque des charges électrostatiques surfaciques dans les engins spatiaux. (y compris les antennes).

Pour réduire la charge électrostatique du plasma à haute altitude, le choix des matériaux est basé sur les propriétés suivantes :

- L'épaisseur de diélectrique.

CHAPITRE I : Généralité Sur Les Antennes Spatiales

- Le constant diélectrique.
- La résistivité diélectrique (généralement pas une constante dans l'espace, mais dépendent de la luminosité, la température, le rayonnement et le champ).
- Résistivité de surface

II.1.4 Environnement thermique

II.1.4.1 Visible

Le rayonnement solaire se situe essentiellement dans le visible. Une partie du flux solaire, réfléchi par les nuages et le sol, est renvoyée vers l'espace (albédo). Son spectre est voisin de celui du soleil avec cependant quelques bandes d'absorption (H₂O, CO₂).

Le flux visible absorbé par les surfaces externes est le terme majeur du bilan thermique du satellite.

II.1.4.2 Ultraviolet

La majorité des flux ultraviolets sont d'origine solaire. Même si ces flux représentent une partie faible de l'énergie solaire, ils ont des effets néfastes. Les UV dégradent de façon sensible les surfaces des matériaux (particulièrement les polymères) par rupture des liaisons dans les grosses molécules. Les matériaux sont fragilisés et deviennent ainsi plus sensibles aux autres agents agressifs tels que l'oxygène atomique [8].

II.1.4.3 Rayonnement X ET Gamma

Ces rayonnements sont d'origine solaire (éruptions solaire) ou galactique. Ils peuvent introduire des défauts localisés et transitoires sur les composants électroniques. Des blindages métalliques légers suffisent à les protéger.

II.2 Oxygène atomique

Les atomes d'oxygène atomique, pratiquement immobiles, suivent la rotation de la terre et de son atmosphère. Ils heurtent donc la face avant du satellite avec une vitesse voisine de 26000 km/h. Cette énergie cinétique s'ajoute à la forte réactivité chimique des atomes d'oxygène et entraîne une réaction rapide avec les matériaux impactés. Il en résulte une fragilisation et une forte érosion des surfaces des matériaux organiques. L'épaisseur d'érosion dépend de la dose d'oxygène incident et de la nature du matériau.

II.3 Météorites et débris orbitaux

D'après des évaluations récentes comptabilisent ainsi environ 10000 objets d'une taille supérieure à 10 cm, 200000 objets entre 1 et 10 cm et 35000000 objets compris entre 0.1 et 1 cm. Les particules d'une taille inférieure à 0.1 cm sont, bien sûr, encore plus nombreuses.

CHAPITRE I : Généralité Sur Les Antennes Spatiales

Pour la plupart des tailles d'objets dans l'espace, la pollution créée par l'homme est maintenant devenue supérieure à l'environnement naturel dû aux météorites [10].

Comme le montre la Figure I.5, les débris représentent un risque de collision pour les satellites opérationnels parce que leur concentration est très élevée sur les orbites "utiles" où l'activité humaine est la plus importante : orbite géostationnaire sur laquelle se retrouvent la plupart des satellites de télécommunications, orbites basses entre 600 et 1500 km qui correspondent à beaucoup de missions d'observation de la Terre (*Alsat-1*, familles *Spot* et *Helios*, par exemple), orbites très basses qui sont utilisées pour les missions habitées : *Navette Américaine*, *Station Internationale*, etc.

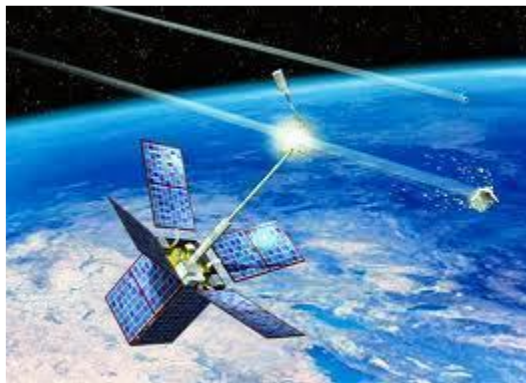


Figure I.5 : Risques des débris orbitaux [28].

II.4 Environnement de lancement

Pendant le décollage d'un lanceur, il y a production d'un bruit très intense susceptible de créer des contraintes mécaniques pouvant endommager les différents sous-systèmes du satellite. L'impact des jets des moteurs dans les carneaux puis sur la table lorsque le lanceur s'élève, crée un environnement acoustique large bande très sévère surtout le lanceur. Le flux acoustique est de très haute intensité, qui peut atteindre jusqu'à 140 dB (niveau de pression sonore de qualification) dans la gamme de fréquences couverte par les octaves de 31,5 à 2000 Hz. Par conséquent, les antennes et les panneaux solaires, à cause de leurs grands comportements, sont très influés par ce flux [5].

II.5 Techniques de qualification

Pour la prévention des problèmes liés à l'environnement thermique, l'antenne doit être protégée par un matériel thermique pour limiter la plage de gradients de la température et pour commander l'échange de chaleur avec la plate-forme ainsi que les distorsions thermo-élastiques. Des dispositifs passifs de contrôle thermique consistent revêtements, isolation multicouche MLI (multilayer insulation en Anglais), pare-soleil, etc.

CHAPITRE I : Généralité Sur Les Antennes Spatiales

II.5.1 Revêtements thermiques

Pour les revêtements thermiques, *Kapton* aluminées, *Kapton* noir, peinture blanche ou *Betacloth* sont employés [11].

II.5.2 Pare-soleil

Des antennes à réflecteur et des surfaces rayonnants de l'antenne réseau sont protégés par un pare-soleil (généralement une feuille de *Kapton* et *Germanium*). Le Pare-soleil est de feuilles fines RF transparent présentant une plus faible dégradation (pertes et dépolarisation), tout en fournissant des propriétés thermo-optiques nécessaires à la mise à la terre électrique.

Toutefois, ces matériaux sont très sensibles à l'humidité et doivent être manipulés avec un soin extrême.

II.5.3 Radômes

Les antennes hélices, en raison de leur géométrie tridimensionnelle, sont couvertes avec des radômes rigides, généralement en fibre de verre renforcé de polymères PTFE (polytetrafluoroethylene en anglais) teintés par une peinture blanche (Figure I.6).



Figure I.6 : Exemple des protections thermiques des antennes spatiales (Satellite de télécommunication *Yah Sat1B*) [28].

Pour des applications très spécifiques, telles que les antennes sur les lanceurs, le système thermique protège l'antenne contre les flux de chaleurs dues aux effets de chauffage aérodynamiques.

III. Liaison satellitaire

III-1. Principaux paramètres d'une liaison satellitaire

Une liaison de communication par satellite est illustrée par la Figure I.7. Les différents paramètres importants pour la conception d'une liaison sont définis ci-dessous.

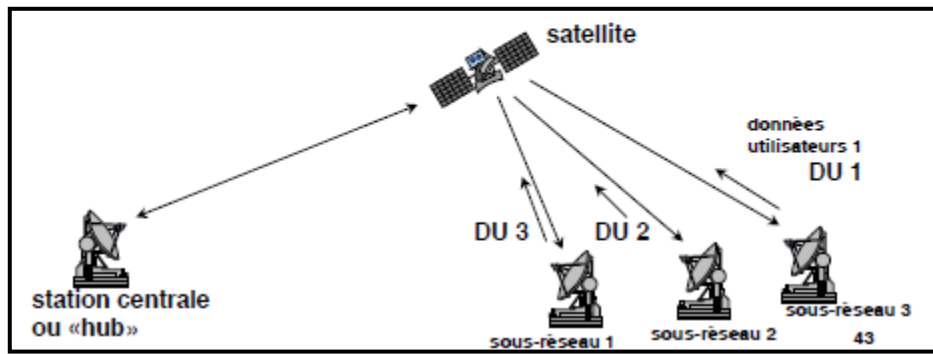


Figure I.7 : Configuration d'un lien de communication par satellite [12].

III-2. 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.

III-3. 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.

$$EIRP = P_t \cdot G_t \text{ [W]} \quad \dots (I. 1)$$

III-4. 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 Friis :

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

$$A_r = G_r \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad \dots (I. 3)$$

CHAPITRE I : Généralité Sur Les Antennes Spatiales

Ainsi, les pertes dans l'espace libre L_{fs} 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 :

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

III-5. Perte par absorption atmosphérique

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.

III-6. Température 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 :

$$[N_0]_{dB} = 10 \times \log(k) + 10 \times \log(T) = -228,6 + 10 \times \log(T)_{dB/Hz} \dots (I.5)$$

III-7. 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 [13].

$$SNR = \frac{P_R}{N} = \frac{EIRP \cdot G_R}{NL_{fs}} = \frac{EIRP \cdot G_R}{BN_0L_{fs}} \quad \dots (I.6)$$

$$N_0 = \frac{N}{B} \quad \dots (I.7)$$

$$\frac{P_R}{N_0} = \frac{EIRP \cdot \frac{G_r}{T}}{KL_{TOT}} \quad \dots (I.8)$$

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
- GR/T représente la figure de mérite.

IV. Caractéristique des antennes

IV-1. Rayonnement des antennes

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. Un grand nombre de caractéristiques permettent de grouper les antennes tels que le gain, le diagramme de rayonnement, la largeur de fonctionnement, la polarisation, etc. [14] :

IV-1-1. Rendement

Le rendement est le rapport entre l'énergie rayonnée par une antenne et celle qui lui fournit l'alimentation. Il est exprimé par [15] :

$$\eta = \frac{R_r}{(R_r + R_p)} \quad \dots (I.9)$$

Il est aussi exprimé par [16] :

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

IV-1-2. Directivité

On dit qu'une antenne est directive quand elle centralise l'énergie qu'elle rayonne dans une direction donné dans l'espace dans une ou deux directions (avec un ou deux lobes principaux). Elle sera plus directive que la largeur de bande de rayonnement sera étroite. Une antenne omnidirectionnelle rayonne de la même énergie dans toutes les directions du plan horizontal [17].

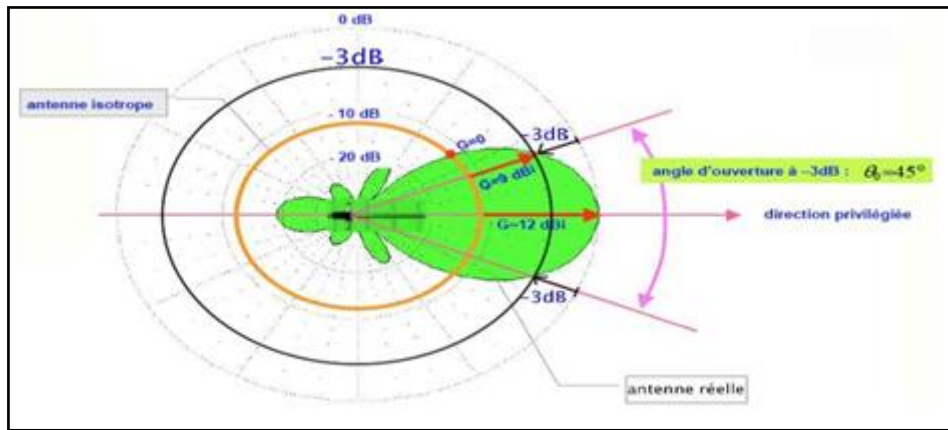


Figure I.8 : Rayonnement d'une antenne directive [4].

- 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.

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 :

$$D(\theta, \varphi) = \frac{P(\theta, \varphi)}{P_r/4\pi} \quad \dots (I.11)$$

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

$$D(\theta_0, \varphi_0) = 4\pi \frac{P_0(\theta_0, \varphi_0)}{P_r} \quad \dots (I.12)$$

IV-1-3. Gain

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 direction du lobe principal et la puissance qui serait émise par une antenne omnidirectionnelle, les deux antennes étant alimenté [17-18].

CHAPITRE I : Généralité Sur Les Antennes Spatiales

$$G(\theta, \varphi) = \frac{P(\theta, \varphi)}{P_r} = \frac{P(\theta, \varphi)}{P_t/4\pi R^2} = 4\pi R^2 \frac{P(\theta, \varphi)}{\iint P(\theta, \varphi)} \quad \dots (I.13)$$

P : est la densité de puissance moyenne rayonnée par l'antenne directive (W/m^2).

P_0 : est la densité de puissance moyenne rayonnée par l'antenne isotrope (W/m^2).

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

IV-1-4. Polarisation

La polarisation d'une antenne est déterminée par la trajectoire que décrit le champ électrique E de l'onde qu'elle émet ou reçoit de manière privilégiée. Le type de polarisation peut être linéaire, circulaire ou dans le cas général elliptique [17].

IV-1-4-1. Polarisation linéaire

On dit qu'il y a une polarisation linéaire si le champ E est perpendiculaire ou horizontal à la direction de propagation. L'angle que fait la direction du champ E avec la direction de propagation peut être 0° = polarisation Horizontale ou 90° = polarisation Verticale [17].

IV-1-4-2. Polarisation circulaire

Dans ce type polarisation le champ E décrit un cercle autour de la direction de propagation et qui peut être "droite" ou "gauche" dans le sens dextre ou ambidextre.

IV-1-4-3. Polarisation elliptique

Dans ce type polarisation le champ E change de direction en synchronisme avec la fréquence. Si le petit axe de l'ellipse est égal à zéro, nous avons une polarisation linéaire. Si les deux axes sont égaux, nous avons une polarisation circulaire [17]. Les trois types de polarisation sont récapitulés dans la figure (I.9).

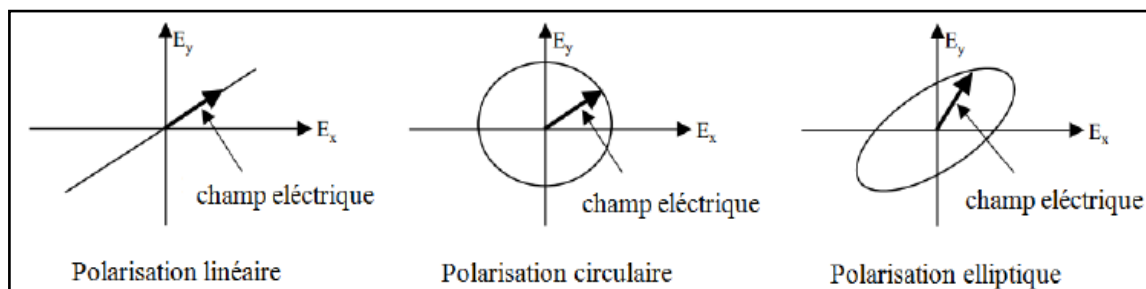


Figure I.9 : Types de polarisation [17].

IV-1-5. Bande de fréquence (aspects réglementaires)

L'utilisation du spectre des fréquences pour la transmission RF par tous les systèmes de télécommunications est fortement réglementé par l'Union internationale des télécommunications

CHAPITRE I : Généralité Sur Les Antennes Spatiales

(UIT) à Genève et fait l'objet d'un enregistrement officiel et a l'approbation par les autorités de l'UIT.

Tableau (I.1) : Bandes de fréquence allouée pour les applications spatiales [28].

La bande S :	2.025 – 2.110 GHz (liaison ascendante) 2.110 – 2.120 GHz (liaison ascendante d'espace lointain) 2.200 – 2.290 GHz (liaison descendante) 2.290 – 2.300 GHz (liaison descendante d'espace lointain)
La bande X :	7.145 – 7.190 GHz (liaison ascendante) 7.190 – 7.235 GHz (liaison ascendante d'espace lointain) 8.400 – 8.450 GHz (liaison descendante) 8.450 – 8.500 GHz (liaison descendante d'espace lointain)
La bande Ku:	14.400 – 14.470 GHz (liaison descendante) 16.600 – 17.100 GHz (liaison ascendante)
La bande Ka :	31.800 – 32.30 GHz (liaison descendante d'espace lointain) 34.200 – 34.700 GHz (liaison ascendante d'espace lointain) 37.000 – 38.000 GHz (liaison descendante) 40.000 – 40.500 GHz (liaison ascendante)

Les agences de télécommunication de 145 pays signataires se réunissent à intervalles réguliers pour discuter et décider de l'affectation du spectre des fréquences pour les différents organismes. D'après l'UIT, les missions spatiales sont distinctes à deux types: mission proche de terre dont les vaisseaux spatiaux ayant une attitude inférieure à 2 millions de kilomètres et mission de l'espace lointain à attitude supérieure à 2 millions de kilomètre. Les bandes de fréquences allouées pour les applications spatiales sont présentées dans le tableau (I.1) [13].

IV-2. Les caractéristiques électriques des antennes

IV-2-1. Coefficient de réflexion

Le coefficient de réflexion donne le transfert d'énergie par l'antenne (l'adaptation de l'antenne) qui est lié à l'impédance d'entrée par la relation suivant [19] :

$$S_{11} = \frac{Z_r - Z_c}{Z_r + Z_c} \quad \dots (I. 14)$$

Où : Z_c : est l'impédance de normalisation, en générale égale à 50Ω .

CHAPITRE I : Généralité Sur Les Antennes Spatiales

Le module du coefficient de réflexion est habituellement présenté en décibel (dB) et est noté $|S_{11}|$ et se définit comme suit :

$$S_{11dB} = 20 \log * S_{11} \quad \dots (I.15)$$

IV-2-2. Rapport d'ondes stationnaires (ROS)

Ce paramètre est un indicateur du bon fonctionnement du système d'alimentation d'une antenne, qui est évaluée par le rapport entre le maximum et le minimum de tension mesurés sur la ligne au niveau d'un ventre de tension [20].

$$ROS = \frac{U_{max}}{U_{min}} = \frac{I_{max}}{I_{min}} \quad \dots (I.16)$$

On peut aussi l'évaluer à partir du coefficient de réflexion :

$$ROS = \frac{1 + S_{11}}{1 - S_{11}} \quad \dots (I.17)$$

IV-2-3. La bande passante (BP)

Ce paramètre correspond à la gamme de fréquence où le transfert d'énergie vers l'antenne ou de l'antenne vers le récepteur est maximal (largeur de bande de fonctionnement) [17] :

$$|BP| = F_2 - F_1 \quad \dots (I.18)$$

Généralement, ce paramètre est évalué aussi en pourcentage du rapport de la bande passante relative par rapport à la fréquence centrale :

$$BP(\%) = \frac{|BP|}{F_0} \quad \dots (I.19)$$

La figure (I.10) présente la courbe coefficient de réflexion S_{11} d'une antenne en fonction de la fréquence et met en évidence la largeur de bande de fonctionnement (bande passante à -10 dB).

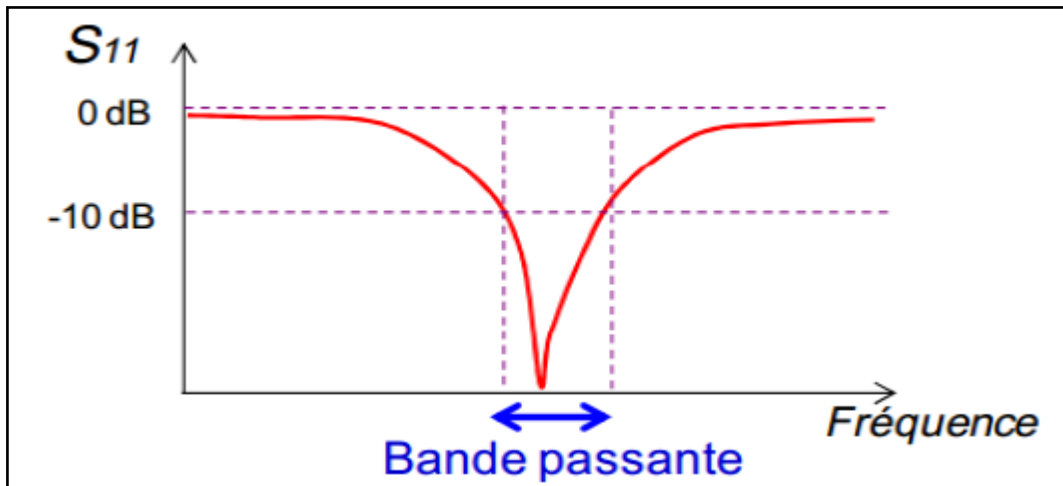


Figure (I .10) : Coefficient de réflexion d'une antenne et sa bande de fonctionnement [17].

IV-2-4. L'impédance d'entrée

Pour évaluer l'impédance d'une antenne, on considère une antenne à l'émission. L'antenne est équivalente à une charge à l'entrée de laquelle existent un courant I_{IN} et une tension V_{IN} [15]. Le rapport de ces deux quantités fournit l'impédance Z_{IN} .

$$Z_{IN} = V_{IN}/I_{IN} = R_{IN} + j X_{IN} \quad \dots (I.20)$$

Avec :

X_{IN} : La partie réactive (réactance) de l'antenne, elle représente la puissance stockée dans les régions proches du champ rayonné.

R_{IN} : La partie active est reliée aux champs (puissance) rayonnés et a puissance perdue par effet de joules. Elle est constituée de deux composantes, une résistance de rayonnement R_r et une résistance de perte R_p ($R_{in} = R_p + R_r$).

La puissance associée à la résistance R_r est la responsable de rayonnement de l'antenne, tandis que la puissance dissipée par la résistance R_p est perdue en chaleur dans l'antenne. [21][22]

IV-2-5. L'impédance caractéristique

Une bonne adaptation d'impédance entre la ligne et l'antenne garantit un transport maximal de puissance entre eux. Le coefficient de réflexion est évalué par le rapport entre le signal réfléchi en entrée de l'antenne et le signal incident. Il dépend de l'impédance d'entrée de l'antenne et de l'impédance caractéristique de la ligne.

Condition d'adaptation \longrightarrow $S_{11}=0$ \longleftrightarrow $Z_{IN}=Z_C$

CHAPITRE I : Généralité Sur Les Antennes Spatiales

IV-2-6. La forme et les dimensions

La forme et les dimensions de l'antenne varient selon le besoin celle d'un téléphone portable est parfois invisible elle se trouve à l'intérieur du boîtier, par contre l'antenne parabolique a des dimensions importantes, en générale les dimensions d'une antenne seront d'autant plus grandes que son gain sera élevé et son lobe principal plus étroit.

IV-3. Classification des antennes selon leur diagramme de rayonnement

Les mesures des diagrammes de rayonnement des antennes s'achèvent en espace libre ou en chambre anéchoïque. Suivant l'allure des diagrammes de rayonnement, on spécifie trois types d'antennes les plus connue [23] :

IV-3-1. Antennes omnidirectionnelles

Ce type d'antennes est l'un des types les plus usuels d'aptitude d'émission par une distribution égale de l'énergie en 360 degrés dans le plan horizontal. Dans le plan vertical, la puissance de ce type d'antenne peut être pareillement centralisée dans deux sens opposés lorsque la transmission [23].



Figure I.11 : Antennes omnidirectionnelles [23].

Le diagramme de rayonnement de ce type d'antenne est donné dans la figure (I.12).

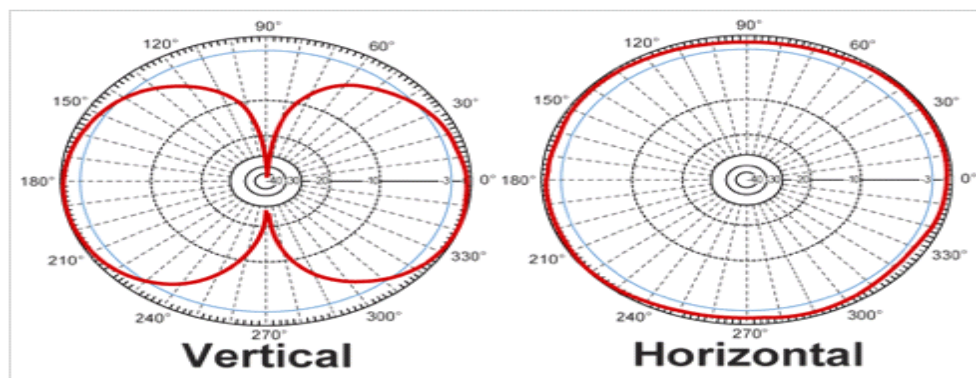


Figure I.12: Les coordonnées cartésiennes d'une antenne omnidirectionnelle vertical et horizontal

[23].

CHAPITRE I : Généralité Sur Les Antennes Spatiales

IV-3-2. Antennes sectorielles

Ce qui ne va pas avec ce type d'antenne, c'est que l'angle de transmission est étroit environs 120 degrés, donc pour couvrir un angle 360 degrés il faut au moins trois antennes. Ce type d'antenne donne une longue distance d'émission en fonction de l'angle de couverture. Si le signal est focalisé dans un angle de couverture faible la distance de transmission sera grande et la transmission de données sera rapide [23].



Figure I.13 : Antennes sectorielles [23].

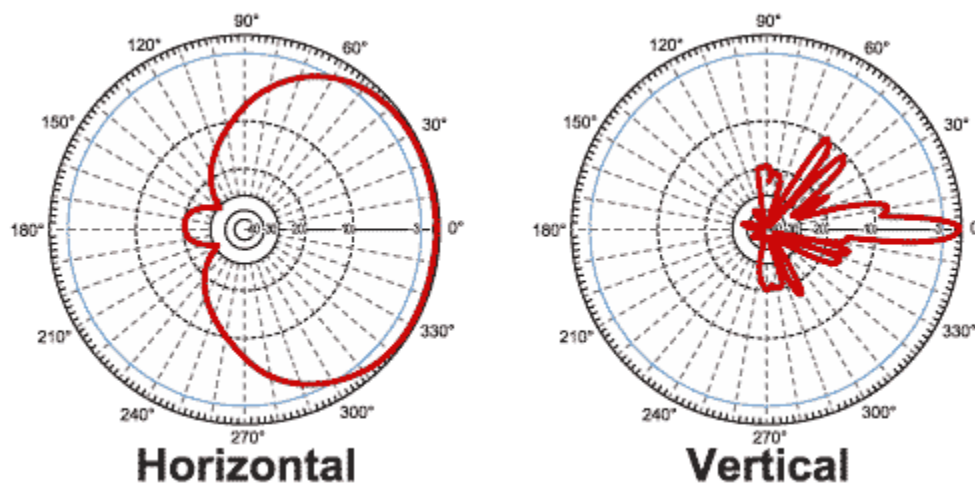


Figure (I.14) : Diagramme de rayonnement d'une antenne sectorielle [23].

IV-3-3. Les antennes directionnelles

Ces antennes sont employées pour la liaison directe - point à point. En raison de faible angle de transmission et que le signal de transmission est focalisé, ces antennes n'nécessitent un bon ajustement de la liaison afin d'avoir une longue distance de couverture (liaison d'au moins 27 km) et une vitesse de transmission élevée [23]. En dessous de ce type, plusieurs types sont illustrés ci-dessous :



Figure I.15 : Les antennes directionnelles [23].

Type des antennes

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

V-1. Selon la directivité

Trois types des antennes spatiales peuvent être distingués :

V-1-1. Antennes directives

Une antenne directive est donc une antenne qui rayonne dans une (ou plusieurs) directions privilégiées. Les antennes directives sont utilisées lorsque l'on veut couvrir une zone importante, par exemple pour la téléphonie mobile ou pour la radiodiffusion. Il existe plusieurs types d'antennes directives spatiales tels que :

V-1-1-1. Antennes à ouverture rayonnante et système focalisant

Les cornets font partie des antennes à ouverture rayonnante et les antennes à réflecteur ou à lentille sont des antennes à système focalisant.

CHAPITRE I : Généralité Sur Les Antennes Spatiales

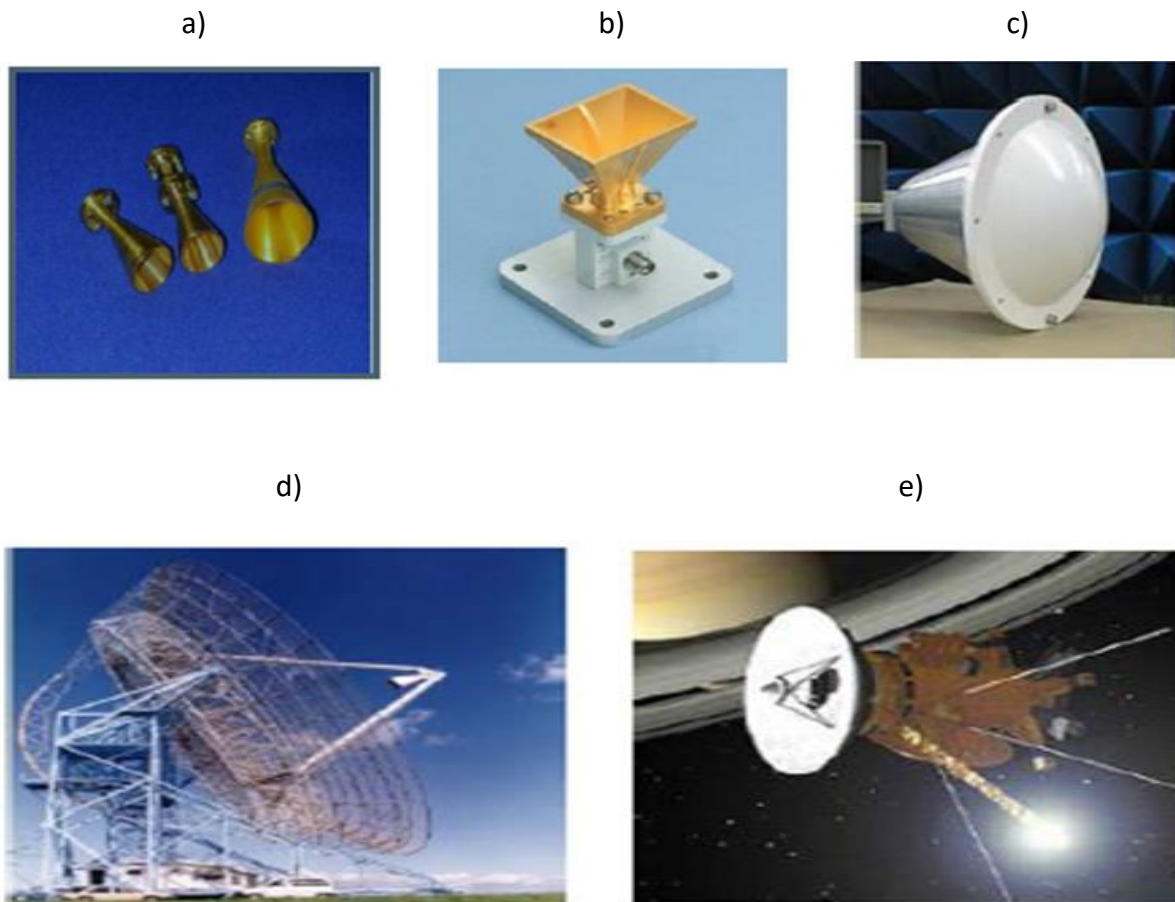


Figure I.16: Différents exemples d'antennes à ouverture rayonnante et système focalisant (a) Antennes cornets cylindriques (b) Antenne cornet rectangulaire (c) Antenne à réflecteur (d) Antenne lentille (e) Antenne à réflecteur au sol [24].

Le cornet (Figure I.16.a et Figure I.16.b) est une antenne qui sert de transition progressive entre un milieu guidé et l'espace libre. Il peut être de forme rectangulaire ou circulaire. Les pertes dans ce type d'antenne sont minimales.

Les antennes à réflecteur (Figures I.16.d et I.16.e) sont des systèmes focalisant en réflexion. Elles sont constituées d'une source qui illumine un réflecteur métallique.

V-1-1-2. Antennes réseau

Une antenne réseau est constituée d'un groupement de plusieurs antennes identiques. Ce groupement d'antennes peut être formé de patches, de fentes, ou même de cornets, Figure I.18.

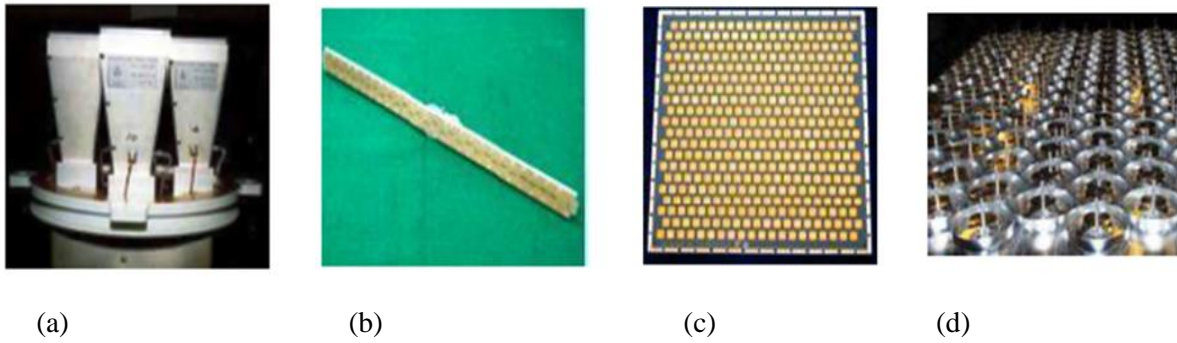


Figure I.18 : Différents exemples d'antennes réseau (a) Réseau de cornets, (b) Réseau de fentes, (c) Réseau de patchs et (d) Réseau de bande L pour les applications mobiles (courtesy of RUAG Aerospace Sweden) [28].

V-1-2. Antennes omnidirectionnelles

L'antenne omnidirectionnelle ou bien isotopique, est une antenne fictive qui rayonne la 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 (Telemetry, Tracking & Command)), parce que ce dernier doit être opérationnel pendant toutes les phases de la mission, même si le contrôle d'attitude est perdu. La Figure I.17 représente quelques exemples sur l'antenne omnidirectionnelle



Figure I.17 : Antenne de télémétrie, poursuite et de commande (Courtesy of RUAG Aerospace Sweden) [28]

V-1-3. Antennes hémisphériques

Pour répondre à la nécessité d'une fréquence unique à profil bas et de faible poids antennes hémisphériques ou quasi-hémisphérique, le travail à S, C, ou de la bande X, antennes patch-tassent excités ont été mis au point à RUAG Aerospace Suède Figure I.19. Ils sont constitués d'une coupelle cylindrique courte, avec une section transversale circulaire et un excitateur.

CHAPITRE I : Généralité Sur Les Antennes Spatiales

La coupe est excitée l'aide des deux éléments patchs 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



Figure I.19 : Antenne bande X par RUAG [25]

V-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 variant entre 600 et 1600 km, l'orbite géostationnaire, dite GEO (Geostationary Orbit) située à 36 000 km et les orbites moyennes, dites MEO (Middle Earth Orbit) 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.20 représente deux antennes radars à ouverture synthétique le premier est l'antenne *SMOS* de la bande X (figure I.20.a) et l'autre est l'antenne *SIR-C* de la bande C pour le satellite *Seasat* voir la Figure I.20.b.

a)



b)



Figure I.20 : Antennes LEO : radar à ouverture synthétique (a) Antenne *SMOS* de la bande X [28] et (b) Antenne *SIR-C* dans l'étage de Configuration de laboratoire [13].

V-3. Selon le gain

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

V-3-1. Antennes à 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.21. 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 [25].

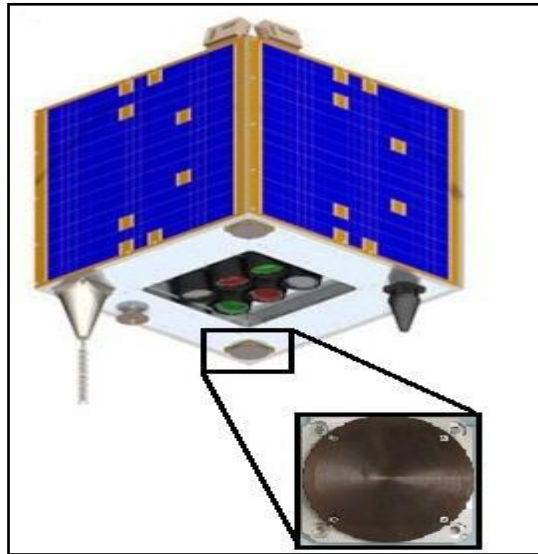


Figure I.21 : Antenne patch micro-ruban bande S pour microsatellite de *Surrey SSTL* [28]

V-3-2. Antennes à gain élevé $G \geq 6\text{dBi}$

Les antennes à réflecteur parabolique et les réseaux d'antennes patchs et les antennes destinés pour les applications de l'espace lointain par exemple les antennes *Cassini* sont des antennes à gain élevé (Figures I.22a et I.22b).

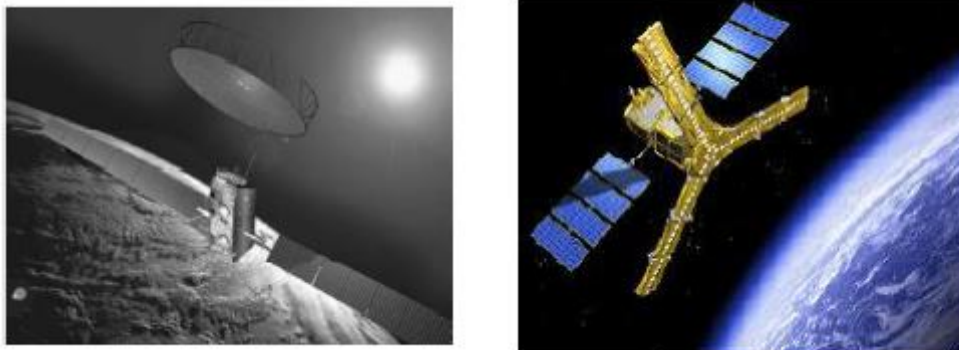


Figure I.22 : a) Antenne à réflecteur (*AstroMesh*) d'*INMARSAT-4*, b) Réseaux d'antennes de *SMOS SAT* [28].

CHAPITRE I : Généralité Sur Les Antennes Spatiales

V. Conclusion

Dans ce chapitre nous vous présentés une généralité sur les antennes spatiales, les principaux paramètres des antennes, permettant de distinguer entre les différents types et les caractéristiques antennes, ont été présentés que soient de rayonnement, etc.

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

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

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

Chapitre II :
Caractéristique
d'antenne CLSA

CHAPITRE II : CARACTERISTIQUE D'ANTENNE CLSA

I. Introduction

Dans cette étude, une antenne à spirale conique à deux bras (CLSA) est étudiée en fonction des exigences du projet CLSA. Initialement, diverses classes d'antennes à large bande sont étudiées et après l'analyse, le CLSA est conçu et examiné. Le CLSA conçu tombe sous des antennes indépendantes de la fréquence. On constate que ce type d'antenne indépendante de la fréquence convient le mieux au projet CLSA en raison de ses caractéristiques de performance uniformes, par exemple, l'impédance d'entrée, la largeur de faisceau, le gain et la polarisation circulaire sur une large gamme de fréquences. Au cours des années 1950, l'idée d'antenne spirale conique a d'abord été présentée par Rumsey [29,30] Deux ordonnances obligatoires ont été introduites pour les antennes pratiques indépendantes de la fréquence: le principe de l'angle et le principe de la troncature. Le principe de l'angle stipule que les performances de l'antenne sont complètement décrites par l'angle, et donc la géométrie de l'antenne sera infinie et l'antenne sera indépendante de la fréquence. Dans les principes de troncature, une région active d'une antenne de taille finie est considérée. La région active est définie comme la partie qui est responsable de la majeure partie du rayonnement dans une fréquence et elle se déplace sur l'antenne avec le changement de fréquence de sorte que la dimension de la région, qui est exprimée en termes de longueur d'onde, reste constante. Par conséquent,

L'antenne spirale équiangulaire est une classe d'antennes indépendantes de la fréquence qui est entièrement définie par les angles. Il a d'abord été établi par Dyson [31,33]. Il a expérimenté ce type d'antennes et a développé des courbes de conception pour présenter les caractéristiques des antennes en termes de HPBW, de directivité et de rapport axial. Son expérience implique la mesure de la distribution du courant sur les bras de CLSA. Il a constaté que le courant est minimum à l'extérieur d'une région à une fréquence particulière à laquelle la majeure partie du rayonnement s'accumule. En conséquence, la plupart des rayonnements dans cette fréquence particulière sont créés par cette région. Il a défini cette région comme région active.

Wills [34] a étudié une antenne spirale conique à deux bras à base de métal mince et de bras élargis pour les communications sous-marines. L'antenne spirale conique à bras en expansion a également été expérimentée par Ramsdale [35]. Il a introduit une technique pour améliorer les performances de l'antenne aux basses fréquences. Sa méthode implique une terminaison de la grande extrémité de la spirale par des résistances groupées pour l'adaptation d'impédance à des fréquences plus basses.

Chapitre II : Caractéristique d'antenne CLSA

Le but de l'adaptation est de réduire la réflexion à cette extrémité car une réflexion élevée est responsable de la dégradation des performances à des fréquences plus basses. Son expérience prouve qu'une amélioration remarquable de l'adaptation d'impédance aux basses fréquences peut être obtenue en utilisant cette technique. L'alimentation des antennes en spirale coniques est toujours difficile car elles sont des structures équilibrées en raison de leur symétrie. D'un autre côté, les câbles coaxiaux qui sont normalement utilisés pour l'alimentation sont déséquilibrés. Par conséquent, un transformateur d'impédance équilibré est nécessaire entre eux afin que l'impédance corresponde aux deux extrémités des ports d'alimentation. Ce transformateur d'impédance est généralement appelé symétriseur de type transformateur.

Dyson implémente le premier balun pour CLSA. C'est ce qu'on appelle un balun infini [32].

II. Type des antennes à large bande

Les antennes à large bande sont essentielles dans les communications sans fil. La demande des antennes à large bande augmente en raison de ses performances uniques qui peuvent répondre à toutes les exigences qui sont nécessaires aujourd'hui. Il est important de trouver des antennes à large bande appropriées qui conviennent à l'application prévue. Dans ce projet, différents types d'antennes à large bande sont examinés et l'antenne en spirale est choisie en raison de sa structure simple, de son faible profil, de sa large bande passante et de sa polarisation circulaire.

II-1. Antennes indépendantes de la fréquence

Les antennes indépendantes de la fréquence sont des antennes à large bande bien connues en raison de leurs caractéristiques de rayonnement constant, de leur impédance et de leur polarisation choisie sur une large bande passante [37-38].

Il existe différents types d'antennes indépendantes de la fréquence telles que sinusoïdales, équiangulaires et archimédiennes [39]. La conception et l'optimisation des antennes indépendantes de la fréquence sont simples car ces antennes peuvent être complètement définies par les angles. La représentation mathématique de la forme de l'antenne est donnée dans l'équation II-1, qui est tirée de la référence [29].

$$\mathbf{p} = e^{\alpha(\theta+\theta_0)} \mathbf{F}(\theta) \quad \dots \text{ (II.1)}$$

Où ρ , θ et ϕ sont les coordonnées sphériques, α et ϕ_0 sont les coordonnées sphériques et $F(\theta)$ est une fonction de θ .

Chapitre II : Caractéristique d'antenne CLSA

Les principaux avantages des antennes indépendantes de la fréquence sont leur comportement uniforme sur une large gamme de fréquences. De plus, la conception et l'optimisation de ce type d'antenne sont simples et faciles. Cependant, ce type d'antenne a une large largeur de faisceau et un faible gain qui ne convient pas à certaines applications. De nombreuses recherches ont été effectuées et des techniques ont été développées pour surmonter ce problème. Cela inclut la modification de l'antenne, ce qui rend le réseau d'antennes indépendantes de la fréquence et bien d'autres.

II-1-1. Antenne log-périodique

L'antenne périodique logarithmique est une classe d'antenne qui a des caractéristiques de fréquence à large bande et elle est présentée en référence [40]. La structure de l'antenne périodique logarithmique progresse logarithmiquement et donc les caractéristiques de l'antenne changent périodiquement avec le logarithme de la fréquence. La conception d'une antenne périodique logarithmique peut être classée selon trois concepts.

Le premier concept de conception est que la géométrie de l'antenne peut être définie en utilisant des angles plutôt que la longueur. Le deuxième principe est l'impédance d'entrée de l'antenne indépendante de la fréquence. Il s'agit donc également d'une antenne indépendante de la fréquence. Troisièmement, les propriétés électriques de l'antenne se répètent périodiquement avec le logarithme de la fréquence. Cette répétition périodique des propriétés électriques peut être obtenue à partir de la structure logarithmique de l'antenne.

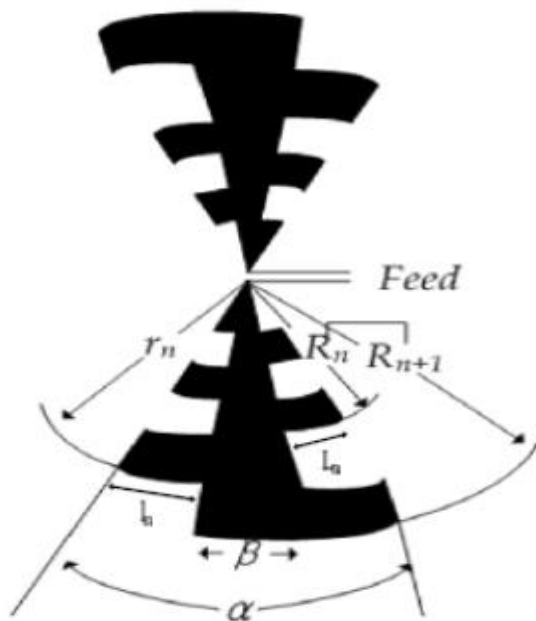


Figure II- 12 : Géométrie de l'antenne périodique log [40].

Chapitre II : Caractéristique d'antenne CLSA

La figure II-1 montre la structure d'une antenne périodique log où R_n est le rayon de l'antenne, r_n est des rayons de fente et β est l'angle sous-tendu. La définition mathématique de l'antenne est définie dans l'équation suivante II-2, où R_n , R_{n-1} et R_{n+1} former un terme de séquence géométrique.

$$\tau = \frac{R_n}{R_{n+1}} \quad \dots (II.2)$$

En utilisant R_n , R_{n-1} et R_{n+1} , il est possible de dériver le même rapport géométrique. Les fentes et distances successives sont dans un rapport commun, ce qui est indiqué par M.

$$M = \frac{r_n}{R_n} = \frac{l_n}{L_n} \quad \dots (II.3)$$

Une large étude sur ce type d'antennes est faite en référence [41] en fonction de α , β , τ et M. En général, ce type d'antenne a une structure plane et conique et une polarisation linéaire.

II-1-2. L'Antenne spirale

Cette antenne est une antenne à large bande bien connue et elle a été utilisée dans de nombreuses applications. C'est également une classe d'antenne indépendante de la fréquence. Il peut avoir une large gamme de fréquences. En outre, d'autres performances telles que l'impédance d'entrée et le diagramme de rayonnement de cette antenne sont constantes sur une large gamme de fréquences.

La conception de l'antenne spirale est très simple car ses performances peuvent être caractérisées à l'aide de ses angles. La fréquence inférieure et supérieure de l'antenne spirale est déterminée par la circonférence supérieure et inférieure de l'antenne. En général, l'antenne spirale est en fil constitué de métal mince. L'antenne spirale peut également être imprimée sur un sous-extrait. Selon l'application, l'antenne spirale est conçue de différentes manières.

a)

b)

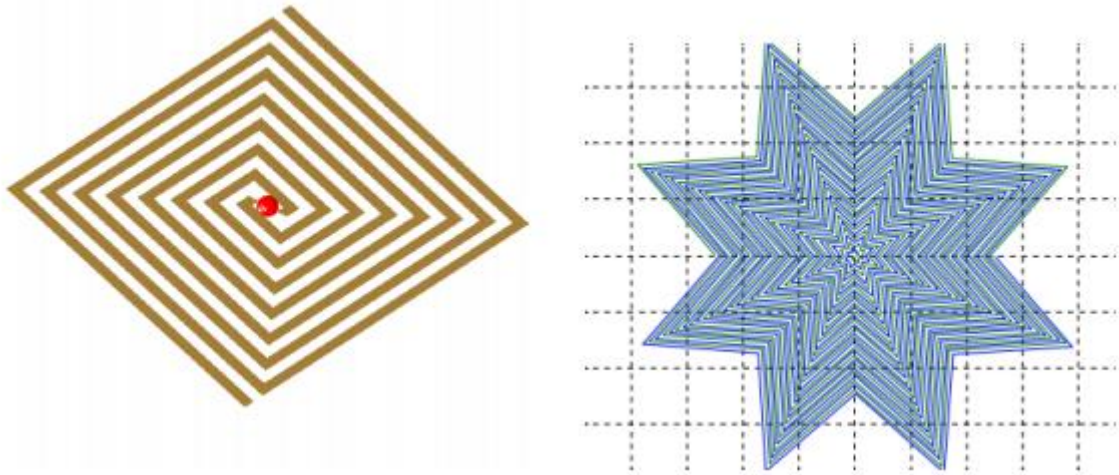


Figure II- 13 : (a) Squire Spiral; (b) Spirale étoilée [47].

L'antenne spirale est généralement bidirectionnelle, ce qui est un démerite dans de nombreux cas, car la plupart des applications nécessitent un diagramme de rayonnement directionnel. De nombreuses recherches et techniques ont été développées pour obtenir un diagramme de rayonnement directionnel à partir d'antenne en spirale. Parmi elles, une technique consiste à ajouter une cavité avec perte à l'antenne soutenue par un conducteur, ce qui améliore les performances de l'antenne à basses fréquences. Le conducteur arrière fonctionne comme un réflecteur et redirige le rayonnement, ce qui rend le diagramme de rayonnement unidirectionnel. La cavité avec perte améliore le comportement à basse fréquence et le rapport axial en réduisant le courant de chaque extrémité des bras en spirale. De plus, un matériau absorbant en forme d'anneau peut être appliqué à la cavité afin de réduire le courant de réflexion à chaque extrémité des bras de la spirale archimédienne [42].

Il fournit une large bande passante car il absorbe le rayonnement arrière de la spirale qui réduit la réflexion provenant du plan du sol qui provoque des motifs nuls [43]

Cependant, cette cavité avec pertes est responsable de la réduction de gain due à ses pertes. De plus, cela donne une profondeur et un poids supplémentaires à l'antenne. Sans le réflecteur arrière, l'antenne spirale est bidirectionnelle. Afin d'obtenir un diagramme de rayonnement directionnel, le réflecteur a été utilisé dans de nombreuses applications [44]. Une autre méthode pour améliorer les performances de l'antenne spirale consiste à ajouter un matériau absorbant. Dans une antenne spirale à matériau absorbant, l'onde réfléchi par la cavité sera atténuée, ce qui confère à l'antenne des caractéristiques à large bande. Cependant, l'utilisation du matériau absorbant n'est pas approuvée pour certaines applications en raison du gain réduit.

a)



b)



Figure II- 14 : (a) Spirale d'Archimède I; (b) Spirale équiangulaire [42]

La taille de l'antenne spirale est un autre problème important qui a été considéré pendant de nombreuses années. En général, la taille de ces antennes est grande par rapport aux autres. Il existe de nombreuses formules a été développé pour réduire la taille. L'une des façons de réduire la taille consiste à charger le matériau. Mais cela donne des pertes et du poids qui peuvent être un problème pour certaines applications. Pour éliminer ce problème, la taille peut être réduite en utilisant des techniques à ondes lentes. Cette onde lente est obtenue en modifiant la structure de l'antenne avec une forme en zigzag ou sinus qui augmente la circonférence de la spirale. Il existe de nombreuses autres techniques qui peuvent réduire la taille, comme le choix d'un petit angle de départ [45], et la mise en œuvre d'une bande interdite électromagnétique (EBG) [40].

L'antenne spirale a de nombreuses classifications et elles sont classées en fonction de leur forme et de leur structure. Certaines des antennes spirales sont la spirale carrée, la spirale étoile, la spirale archimédienne et la spirale équiangulaire. Les performances de la spirale carrée et étoile sont meilleures dans les basses fréquences mais la spirale carrée est moins indépendante de la fréquence dans les hautes fréquences [46]. La réduction de taille de la spirale étoile et écuyer est presque la même, mais le réseau d'étoiles permet un emballage plus serré, ce que le spiral écuyer ne permet pas [47]. Cependant, la spirale étoile et écuyer a un comportement dispersif qui est un grand inconvénient. La spirale d'Archimède est l'antenne spirale la plus utilisée en raison de sa large bande passante et d'un espacement de réseau plus étroit.

La réduction de taille de la spirale est également largement utilisée dans de nombreuses applications qui ont des caractéristiques similaires à l'antenne spirale archimédienne.

Chapitre II : Caractéristique d'antenne CLSA

II-1-2-A. Spirale équiangulaire

L'antenne spirale équiangulaire est l'une des versions modifiées de l'antenne spirale. Sa surface est décrite par des angles et ses performances sont indépendantes de la fréquence. Figure II-4 montre la géométrie de l'antenne spirale équiangulaire. La longueur totale de l'antenne peut être calculée en utilisant l'équation suivante:

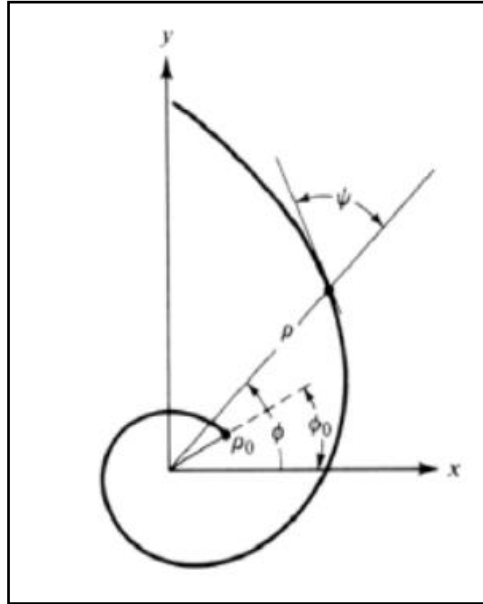


Figure II- 15 : Géométrie de l'antenne spirale équiangulaire [47].

$$L = \int_{p_0}^{p_1} \left[p^2 \left(\frac{d\phi}{dp} \right)^2 + 1 \right]^{\frac{1}{2}} dp = (p_1 - p_0) \sqrt{1 + \frac{1}{a^2}} \quad \dots (II.4)$$

Et

$$p = ke^{a\phi} \quad \dots (II.5)$$

Où ρ et ϕ sont des coordonnées polaires et a et k sont constants positifs. La spirale équiangulaire présente de nombreux avantages. En raison de sa structure progressive, il peut fournir des performances constantes sur une large gamme de fréquences [31]. Cependant, ce type d'antenne a une grande taille qui ne convient pas aux applications où une taille compacte est requise.

II-1-2-B. Spirale d'Archimède

Les antennes en spirale d'Archimédien est l'une des antennes populaires parmi les antennes en spirale et elle a été utilisée dans divers types d'applications telles que la

Chapitre II : Caractéristique d'antenne CLSA

communication par satellite, les communications UWB, la radionavigation et le radar [44]. Cette antenne a été développée par EM Turner [47].

Les avantages de cette antenne sont sa conception simple et sa fabrication aisée grâce à la technologie des circuits imprimés. Ce n'est pas vraiment une antenne indépendante de la fréquence car l'espacement entre les bras adjacents est spécifié par une constante et non par des angles. Par conséquent, il ne peut pas fournir une très large bande passante. Elle est aussi appelée antenne indépendante de quasi-fréquence [48].

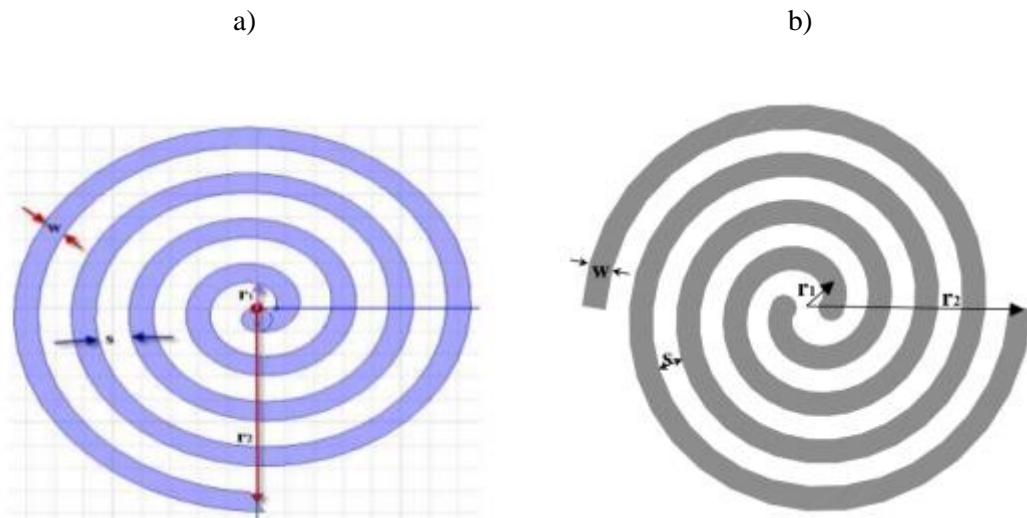


Figure II- 16 : (a) Spirale d'Archimède à bras unique; (b) Spirale archimédienne à deux bras. [47]

Cette antenne présente de nombreux avantages tels qu'un faible profil, un faible poids, une haute efficacité, une polarisation circulaire, des caractéristiques d'impédance stables et une large bande passante. En raison de ces avantages, il est largement utilisé dans de nombreuses applications. Le spiral archimédien est classifié par le nombre de bras. Il existe trois types de spirales archimédiennes. Ils sont à simple bras, à double bras et à quatre bras en spirale archimédienne. La procédure de conception du bras double est similaire à celle du bras simple. La seule différence est que le bras double est obtenu en plaçant un bras en double avec 180° rotation. Les bras de la spirale archimédienne sont linéairement proportionnels à l'angle d'enroulement φ et en utilisant cette équation gouvernante de la spirale archimédienne peut s'écrire:

$$r = r_0 * \varphi + r_1 \quad \dots (II.6)$$

Et :

$$r = r_0 * (\varphi - \pi) + r_1 \quad \dots (II.7)$$

Chapitre II : Caractéristique d'antenne CLSA

Où r_1 rayon intérieur et r_2 rayon extérieur. L'équation mathématique pour le calcul de la fréquence cut-lower inférieure qui dépend du rayon extérieur r_2 est la suivante [37]:

$$f_L = \frac{c_0}{2\pi r_2 \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad \dots (II. 8)$$

Le rayon intérieur de la spirale archimédienne détermine la fréquence de coupure la plus élevée, qui est la suivante :

$$f_H = \frac{c_0}{2\pi r_1 \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad \dots (II. 9)$$

II-1-3. Réseau d'antennes à large bande

Les antennes à large bande ont généralement un diagramme de rayonnement large et un faible gain, ce qui est un inconvénient majeur car certaines applications nécessitent un diagramme de rayonnement directionnel et un gain élevé. En outre, certaines applications telles que les services de communication, les systèmes de navigation et les systèmes de diffusion nécessitent plusieurs antennes. Ce problème peut être surmonté en formant un réseau d'antennes à large bande. Le réseau à large bande présente des avancées significatives par rapport à une seule antenne à large bande. Certains avantages sont un gain net, un faisceau directionnel et un meilleur contrôle du diagramme de rayonnement qui permet d'orienter le faisceau dans les directions souhaitées. Cependant, la formation d'un réseau peut détruire les performances de l'antenne si l'espacement entre deux antennes adjacentes n'est pas spécifié correctement.

Un plus grand espacement entre les éléments fournit moins d'effets de couplage mutuels mais donne moins d'espace pour emballer plus d'éléments. De plus, un grand espace inter-éléments forme des lobes de réseau ce qui n'est pas souhaitable. A haute fréquence de fonctionnement, l'espacement interéléments doit être augmenté afin d'éviter les effets de couplage mutuel qui permettent la formation de lobes de réseau. Formation des lobes de réseau responsables de la limitation de la bande passante du réseau et ce n'est pas souhaitable.

Les effets de différents espacements inégaux tels que l'espacement logarithmique et l'espacement non monotone sont étudiés dans la référence [49]. Il ressort de l'enquête que l'espacement inégal donne plus d'espace pour emballer plus d'éléments avec une bande passante préférée par rapport à l'espacement égal. Les modèles théoriques d'analyse de l'espacement inégal ou aléatoire sont développés par référence [50] et [51].

Chapitre II : Caractéristique d'antenne CLSA

II-2. Conique Log Spiral Antenne

Les procédures de conception théorique d'une antenne spirale à deux bras conique sont décrites de manière générale. Dans un premier temps, la géométrie et les expressions mathématiques de l'antenne spirale log conique sont présentées. Après cela, l'étude paramétrique du CLSA et son influence sur les caractéristiques du CLSA sont discutées. Enfin, sur la base de l'étude et de l'expérience paramétriques Dyson, le processus de sélection des paramètres CLSA en fonction des exigences du notre projet est présenté.

II-2-1. Description de CLSA

Les antennes indépendantes de la fréquence sont capables de conserver des performances constantes sur une large plage de fréquences de dix ans [52]. Les antennes spirales appartiennent à la classe des antennes indépendantes de la fréquence en raison de leur grande largeur de bande caractéristique. Il existe de nombreux types d'antennes spirales, telles que les hélices hélicoïdales, archimédiennes, pyramidales, semi-libres ou paraboliques. Leurs performances sont différentes les unes des autres en raison de leur forme différente. Ils peuvent être bénéfiques pour de nombreuses applications en fonction de leur forme et de leur taille [44]. CONICAL LOG SPIRAL ANTENNA est un type d'antenne spirale.

Il présente certaines caractéristiques utiles, telles qu'une largeur de bande massive, une polarisation circulaire et un diagramme de rayonnement directionnel. Ce type d'antenne spirale conique a été expérimenté par Dyson. Il a fait son expérience en plaçant une spirale logarithmique sur une structure conique pour réduire le rayonnement arrière associé à la spirale équiangulaires plane [54]. Son étude fournit des données expérimentales utiles qui rendent la conception d'une CONICAL LOG SPIRAL ANTENNA facile et pratique.

La géométrie de l'antenne spirale conique logarithmique est représentée sur la figure (II.6). L'antenne est formée en enroulant des bandes métalliques autour de la surface d'un cône tronqué. La géométrie du CLSA peut être définie sous trois angles. Ils sont demi-angle du cône θ_0 , l'angle d'enroulement α , et la largeur angulaire des bras δ .

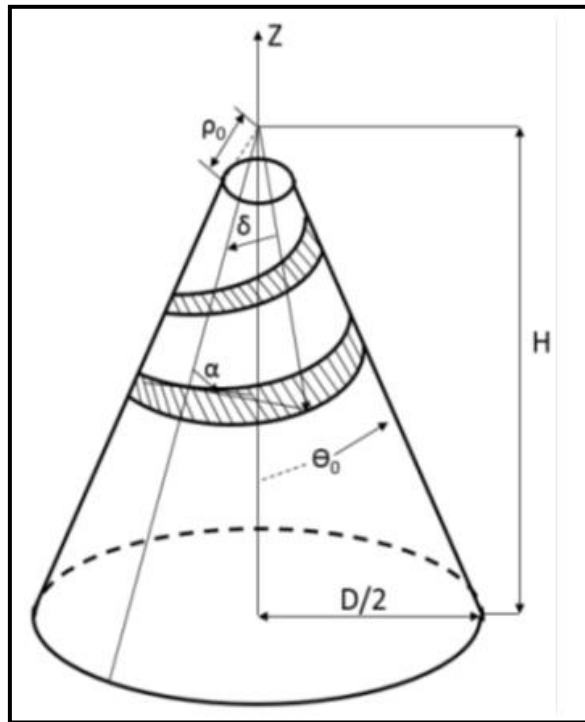


Figure II- 17 : Géométrie d'une spirale conique à deux bras (CLSA) [53].

Le CLSA devient une spirale plane quand un demi-angle $\theta = 90^\circ$ et son diagramme de rayonnement est bidirectionnel. L'angle α définit le taux de torsion des bras autour de la surface conique. C'est aussi l'angle entre le bras en spirale et la ligne radiale à partir du sommet du cône. L'angle δ définit la largeur angulaire constante des bras partout le long du cône. Dans cette étude, la procédure de conception conventionnelle est suivie. L'une des méthodes conventionnelles consiste à choisir $\delta = 90^\circ$ et c'est une configuration la plus courante.

Il est également connu sous le nom de conception auto-complémentaire et le diagramme de rayonnement généralement souhaité peut être obtenu en utilisant cette configuration. La spirale conique à deux bras est construite en plaçant les bras à 180° se forment les uns les autres. Dans ce cas, l'alimentation des bras est équilibrée ou en d'autres termes, les bras sont 180° déphasés les uns avec les autres.

II-2-2. Équations régissant CLSA

La spirale conique logarithmique est également connue sous le nom de modification de la spirale équiangulaire. Il peut être représenté mathématiquement et l'équation doit être projetée en trois dimensions. En utilisant l'équation équiangulaire, la spirale conique logarithmique peut être exprimée comme la distance radiale, qui est fonction de l'angle ϕ . Sur la base de cette relation, il peut s'écrire:

$$p(\phi) = p_0 e^{\beta\phi} \quad \dots (II.10)$$

Chapitre II : Caractéristique d'antenne CLSA

Où β est défini comme:

$$\beta = \frac{\sin(\theta_0)}{\tan(\alpha)} \quad \dots (II.11)$$

Dans l'équation ci-dessus, θ_0 et α sont respectivement coniques et d'angle d'enroulement. D'après l'équation dominante, on voit que la distance radiale augmente avec φ qui se trouve sur tous les points du bras en spirale et trace la spirale équiangulaire sur la face conique. Sur cette base, la distance radiale initiale du sommet du cône ρ_0 peut s'exprimer comme suit:

$$\rho_0 = \frac{r_u}{\sin(\theta_0)} \quad \dots (II.12)$$

La distance radiale ρ_0 est un paramètre important car il détermine le rayon supérieur r_u du CLSA et le diagramme de rayonnement est fortement influencé par le rayon supérieur. D'autre part, le rayon inférieur du CLSA peut être découvert par les bras en spirale à φ_{\max} angle et il n'affecte pas significativement le diagramme de rayonnement. Les fréquences inférieure et supérieure sont déterminées respectivement par les rayons inférieur et supérieur du CLSA. D'autres paramètres utiles de CLSA peuvent être trouvés en utilisant une géométrie simple qui est très pratique pour concevoir le CLSA. La hauteur du cône qui mesurait du sommet du cône à la grande extrémité peut s'écrire:

$$H = \frac{D}{2 \tan(\theta_0)} \quad \dots (II.13)$$

La hauteur du cône mesurée de la petite extrémité à la grande extrémité peut s'écrire:

$$H = \frac{D - d}{2 \tan(\theta_0)} \quad \dots (II.14)$$

Et la longueur totale des bras en spirale peut être exprimée comme suit:

$$L = \frac{D - d}{2 \cos(\alpha) \sin(\theta_0)} \quad \dots (II.15)$$

Si le CLSA est conçu correctement, la direction maximale du rayonnement ira vers l'axe z et dans cette direction le champ électrique est principalement polarisé circulaire.

Chapitre II : Caractéristique d'antenne CLSA

CLSA permet d'obtenir deux types de polarisation circulaire. Ils sont à polarisation circulaire gauche et droite. La polarisation circulaire de la main gauche et de la main droite peut être déterminée par la direction dans laquelle les bras sont enroulés autour du cône.

La figure II-7 (a) et la figure II-7 (b) montre la CLSA polarisée circulaire gauche et droite respectivement.

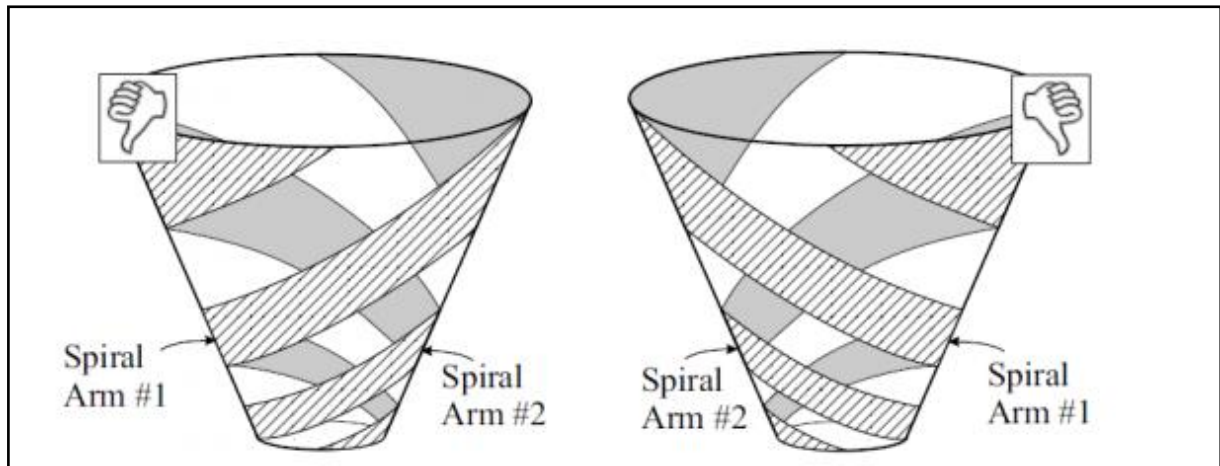


Figure II- 18 : Diagramme de: (a) CLSA gaucher; b) CLSA pour droitiers [55].

III. Propriétés d'antenne à large bande

Certains paramètres d'antenne essentiels doivent être étudiés pour concevoir des antennes à large bande, par exemple, le diagramme de rayonnement, le gain, la directivité, l'adaptation d'impédance et l'efficacité de rayonnement. Il est nécessaire d'en avoir une valeur moins constante dans les antennes à large bande [56]. Mais ces paramètres peuvent varier dans différentes fréquences, ce qui rend difficile la conception d'une antenne à large bande. Certains paramètres d'antenne essentiels sont décrits ci-dessous.

III.1 Diagramme de rayonnement

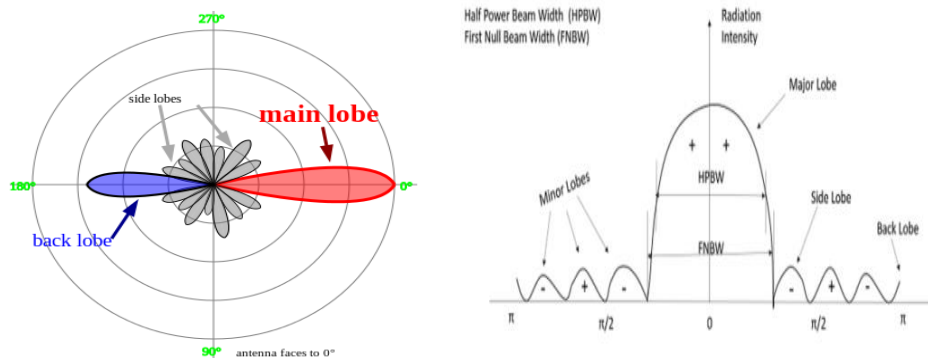
La représentation graphique ou une fonction mathématique des propriétés de rayonnement en fonction d'une coordonnée spatiale est définie par le diagramme de rayonnement. Les propriétés des diagrammes de rayonnement sont la densité de rayonnement, l'intensité du rayonnement, l'intensité du champ, la directivité et la polarisation. Le modèle de rayonnement comprend de nombreuses parties telles que le lobe principal, les lobes latéraux et les lobes arrière. Le lobe de rayonnement est une partie des régions d'un diagramme de rayonnement délimitées par une intensité de rayonnement relativement hebdomadaire.

Un diagramme polaire tridimensionnel avec nombre de lobes est montré dans la figure II.8 a).

Chapitre II : Caractéristique d'antenne CLSA

Le lobe qui contient le rayonnement maximum est appelé lobe principal. Tout lobe, sauf le lobe principal, est le lobe latéral et le lobe opposé au lobe principal est appelé lobe arrière. Dans d'autres mondes, le lobe arrière est pointé à 180° du lobe principal. Dans II.8 b) le lobe principal pointe vers $\theta = 0$.

Selon la direction du faisceau principal, le diagramme de rayonnement peut être classé en diagramme de rayonnement isotrope, directionnel et omnidirectionnel. Par rayonnement isotrope, on entend l'antenne ayant un rayonnement égal dans toutes les directions. L'antenne isotrope n'existe qu'en théorie. Lorsque le rayonnement de l'antenne pénètre plus efficacement dans une certaine direction est appelée son diagramme de rayonnement directionnel. Le rayonnement omnidirectionnel signifie que l'onde rayonnée est distribuée uniformément dans toutes les directions dans un même plan. Ce diagramme de rayonnement est souvent décrit comme "en forme de beignet". Le diagramme de rayonnement omnidirectionnel est différent du rayonnement isotrope qui émet une puissance égale dans toutes les directions et a un diagramme de rayonnement "sphérique".



(b)

Figure II.8: (a) Lobes de rayonnement de l'antenne; (b) Tracés linéaires du modèle de puissance [36].

III.2 Largeur du faisceau

La largeur du faisceau est l'un des paramètres cruciaux d'une antenne, spécialement lorsque celle-ci doit être conçue comme alimentation de réflecteur. La largeur du faisceau est classifiée généralement selon deux types. Il s'agit de la largeur du faisceau à mi-puissance (HPBW) et de la première largeur du faisceau nul (FNBW). IEEE définit le HPBW comme: "Dans un plan contenant la direction du maximum d'un faisceau, l'angle entre les deux directions dans lequel l'intensité du rayonnement est la moitié de la valeur du faisceau." Il est également connu sous le nom de largeur de faisceau à un niveau de -3 dB. FNBW est défini comme la

Chapitre II : Caractéristique d'antenne CLSA

séparation angulaire entre les nuls du faisceau principal. Figure II.9 montrant le champ bidimensionnel et le diagramme de rayonnement où HPBW et FNBW sont expliqués graphiquement.

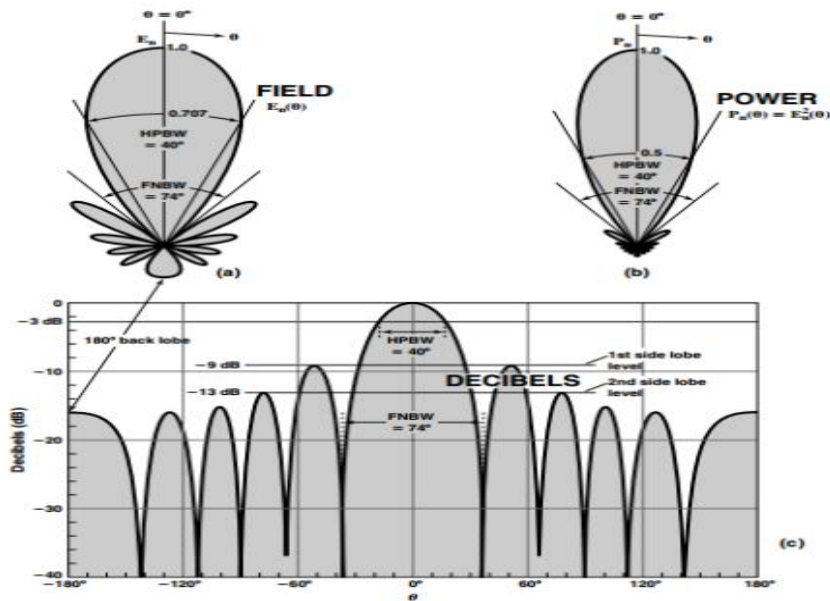


Figure II.9: Diagramme bidimensionnel de rayonnement de champ et de puissance [36]

En plus de HPBW et FNBW, l'antenne peut être conçue pour obtenir la largeur de faisceau souhaitée à différents niveaux tels que -6 dB, -9 dB, -10 dB, etc. Pour obtenir un faisceau net ou en d'autres termes un gain élevé, le niveau des lobes latéraux doit être faible. Il y a un échange entre le faisceau principal et les lobes latéraux. Lorsque le faisceau principal devient net, le niveau des lobes latéraux augmente. Ce phénomène est souvent observé à -3 dB et à -6 dB de largeur de faisceau de niveau. Mais on voit qu'à -10 dB ou -12 dB, on peut obtenir un faisceau plus large ainsi qu'un faible niveau de lobes latéraux. C'est pourquoi certaines applications exigent un faisceau large au niveau -10 dB ou -12

IV. Caractéristique d'antenne CLSA

IV-1. La région active

Il est important d'étudier le comportement et la propagation des vagues le long des bras en spirale pour comprendre la conception théorique du CLSA. Pour cela, nous devons connaître la définition de la région active de CLSA. L'une des manières intéressantes de CLSA est que, sont certaines parties de l'antenne, qui rayonne la plupart de l'énergie tandis que la contribution d'autres parties n'est pas significative. La région qui est responsable de la majeure partie du rayonnement est appelée région active.

Chapitre II : Caractéristique d'antenne CLSA

Les parties d'antenne qui sont en dehors de la région active sont dans une configuration à ondes lentes. Dans cette région, la direction de l'onde change vers le sommet du cône. Lorsque la fréquence augmente, la constante de propagation augmente également et, par conséquent, la configuration des ondes lentes se transforme en configuration des ondes rapides à l'intérieur de la région active. Les ondes étroitement liées qui sont responsables de la production d'ondes lentes ont un fort couplage avec l'onde se déplaçant dans l'espace vers le sommet du cône. En conséquence, la constante de propagation devient complexe [54]. Une réduction de la taille de l'antenne peut être obtenue en définissant la région active de l'antenne sur la largeur de bande de fréquence. Dyson illustre une courbe basée sur une mesure en champ proche pour indiquer la zone de la région active qui est montrée sur la figure II-10.

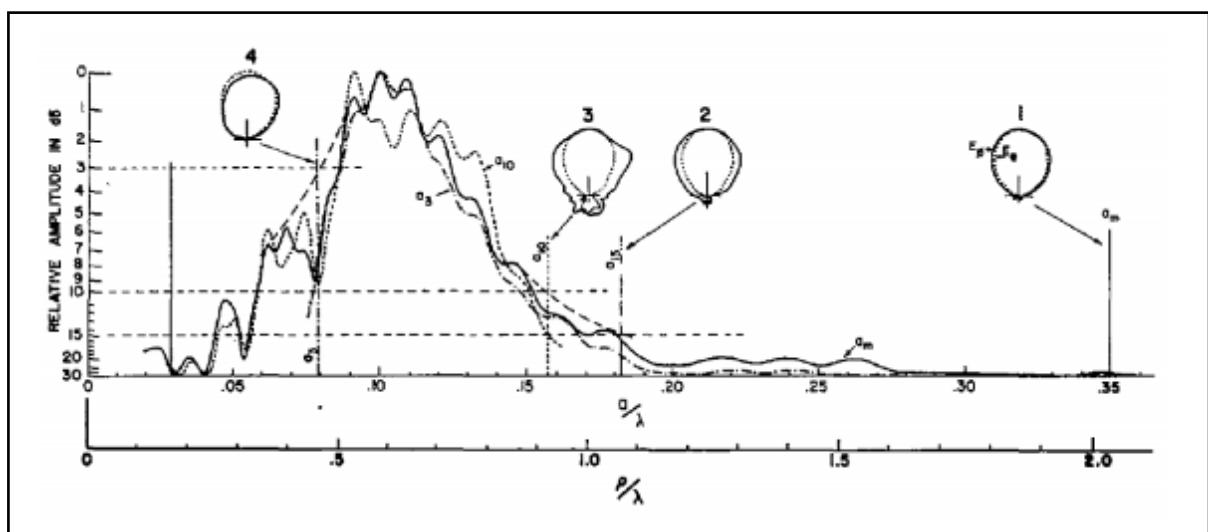


Figure II- 10 : Diagramme de rayonnement du champ électrique éloigné correspondant à une troncature aux points indiqués ($2\theta = 20^\circ$, $\alpha = 80^\circ$, $\delta = 90^\circ$) [54].

Dans cette figure, des courbes pleines indiquent l'amplitude du champ proche en dB et les nombres représentent le diagramme de rayonnement. Il ressort de l'étude de Dyson qu'il y a un changement imperceptible dans le diagramme de rayonnement avec suppression des spires de l'extrémité de base jusqu'à ce que l'amplitude du champ proche passe en dessous de 15 dB. En raison de cette conséquence, on peut dire que, il est possible de réduire l'extrémité inférieure de l'antenne avec le sacrifice d'un changement négligeable dans le diagramme de rayonnement. Ce point pourrait être identifié comme le bord inférieur de la région active qui est désigné par a_{15}^+ dans la figure II-8.

Mais le diagramme de rayonnement commence à changer de façon significative avec une nouvelle élimination des virages. Cette troncature supplémentaire dans la région active jusqu'à ce que l'amplitude du champ proche soit de 10 dB, ce qui est indiqué par a_{10}^+ .

Chapitre II : Caractéristique d'antenne CLSA

Il a un grand impact sur le diagramme de rayonnement en ce qui concerne (HPBW) et le rapport axial. Par conséquent, il est réalisable de généraliser la partie inférieure de la région active qui peut être représentée comme a_{15}^+ et a_{10}^+ pour la réduction sur le terrain de 15 dBi et 10 dBi respectivement. D'un autre côté, nous pouvons également représenter la région active supérieure de la même manière, qui a le plus d'influence sur le diagramme de rayonnement. Dans ce cas, la région est nivelée comme a_3^+ , qui est de 3 dBi en dessous du rayonnement maximum. La troncature de l'antenne en dessous de 3 dBi entraînera une dégradation importante du diagramme de rayonnement. Il est possible de trouver la fréquence inférieure et la fréquence supérieure de la bande passante conçue en utilisant respectivement le bord inférieur et le bord supérieur de la région active. Parce que la bande de fréquence inférieure dépend du rayon du cône inférieur et que la fréquence supérieure dépend du rayon du cône supérieur.

IV-2. Analyse des paramètres CLSA à l'intérieur de la région active

Il est clairement compris dans la section précédente que, la localisation de la région active est cruciale pour la conception de CLSA. Cette région active doit être réalisée pour les paramètres d'antenne, tels que l'angle de chaîne, l'angle conique et la largeur de bande de fonctionnement. De plus, il est également essentiel de trouver le rayon approprié du cône en termes de longueur d'onde. L'un des aspects clés de la conception de l'alimentation des réflecteurs est de guider la largeur du faisceau.

L'antenne qui va être utilisée comme alimentation de réflecteur doit être conçue de telle sorte que la largeur du faisceau puisse être générée en fonction des besoins. À cet égard, la région active joue un rôle majeur car elle est directement liée à la largeur du faisceau. Maintenant, la question est de savoir comment diriger le diagramme de rayonnement du champ lointain en manipulant le paramètre d'antenne en ce qui concerne l'angle de chaîne et l'angle conique.

A partir de l'expérience Dyson, nous pouvons trouver la relation entre l'angle conique et spirale concernant la largeur du faisceau. La meilleure façon de comprendre la largeur du faisceau est de la représenter en termes de HPBW.

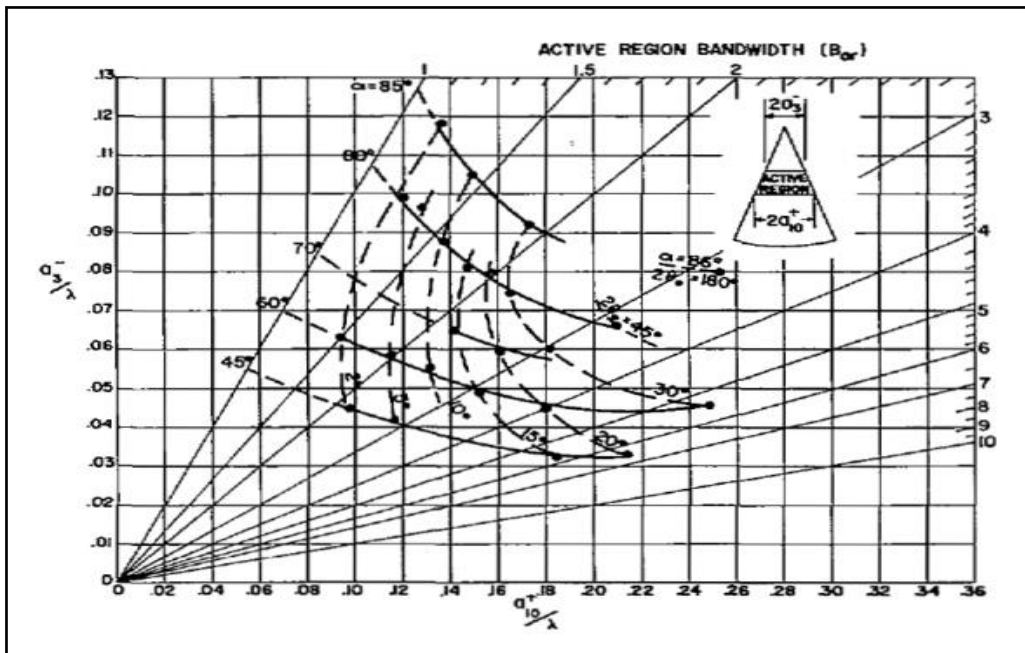


Figure II-11: Constantes de régions actives par rapport à la longueur d'onde du CLSA [54].

Dans la figure II-11, nous pouvons voir que, le rayon supérieur et inférieur qui est représenté en termes de longueur d'onde, dépend à la fois de l'angle conique et en spirale. On peut également remarquer que la directivité dépend de l'angle en spirale. Elle augmente avec l'augmentation de l'angle en spirale. En conséquence, le HPBW diminuera car la directivité est une fonction réciproque du HPBW. Le principe derrière ce phénomène est que, l'angle de spirale plus élevé signifie les plus grands tours et donc une grande région active. Cela conduit à un plus grand nombre d'éléments pouvant être phasés ensemble pour rayonner de l'énergie, ce qui peut être réalisé dans la figure II.12, où le diagramme de rayonnement de champ électrique typique est montré. À $\alpha = 80^\circ$ le faisceau généré est étroit car tous les tours de la région active sont phases ensemble.

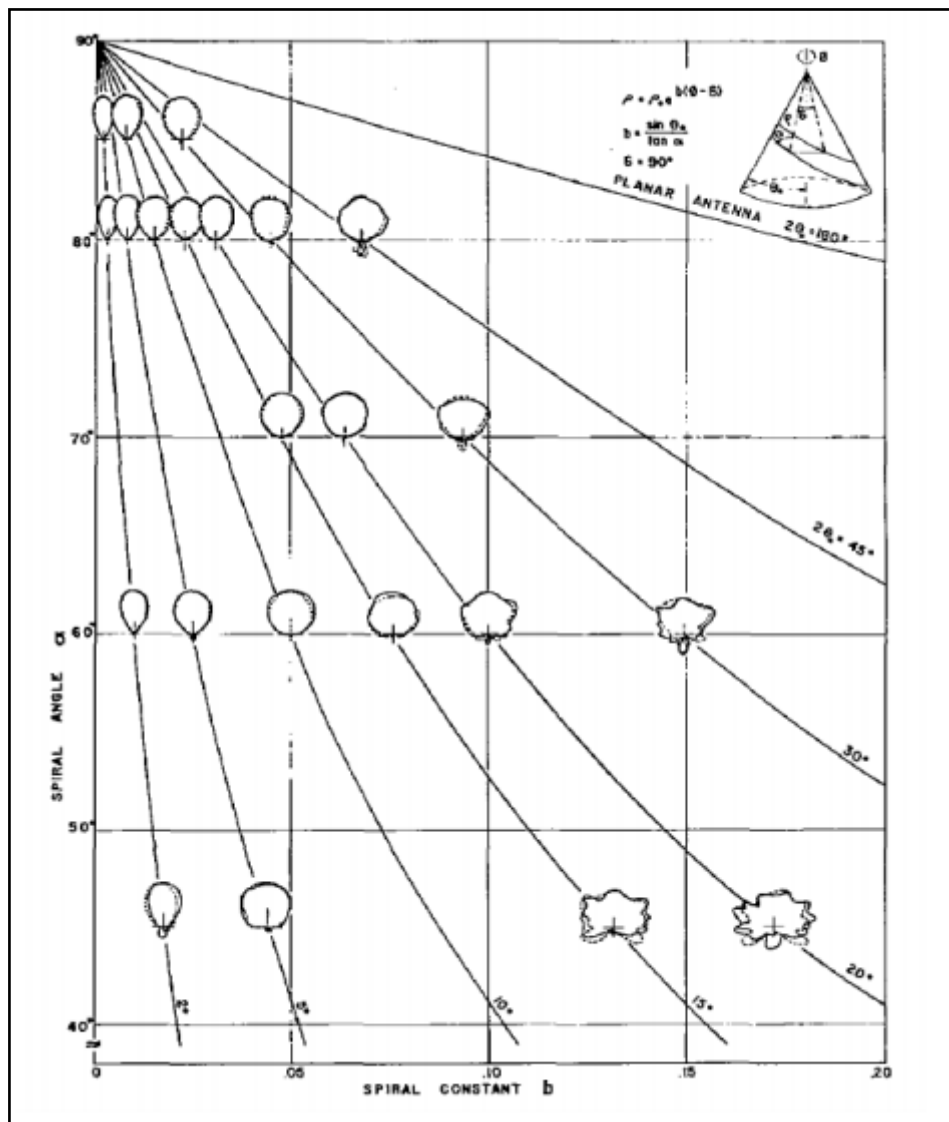


Figure II- 12 : Diagramme de rayonnement de champ électrique typique pour deux polarisations orthogonales à $\delta = 90^\circ$ [54]

Ce principe peut être compris à partir de la figure II-13, qui montre l'amplitude relative et la phase des champs magnétiques mesurés le long de la surface des antennes coniques et les diagrammes de rayonnement éloignés correspondants. On peut voir qu'à un angle en spirale élevé, ce qui signifie que les bras sont serrés, l'énergie rayonnée est plus directive.

D'un autre côté, un angle en spirale moins élevé produit un diagramme de rayonnement plus large. L'augmentation de l'angle en spirale a également pour conséquence une augmentation du rayon supérieur et une diminution du rayon inférieur en raison du décalage de la région active. Mais cette relation est valable au-dessus de l'angle de chaîne 70° . En dessous de cet angle, la relation est inversement. Ce qui signifie que le rayon du cône supérieur diminue et que le rayon du cône inférieur augmente.

Chapitre II : Caractéristique d'antenne CLSA

La structure de la spirale devient plane lorsque l'angle conique va vers 90° . L'angle conique a également une bonne influence sur HPBW car les grands angles fournissent une région active plus large qui donne un faisceau plus large.

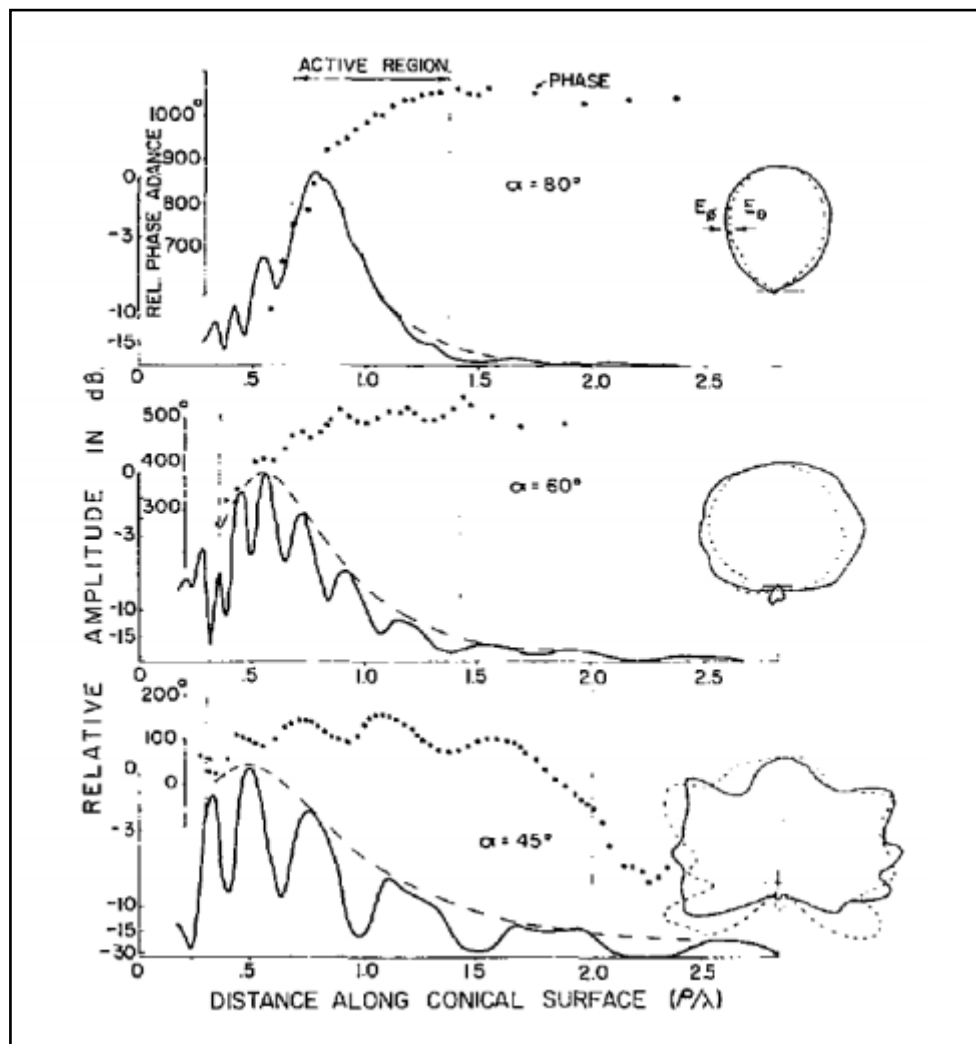


Figure II-13 : Amplitude et phase relatives des champs magnétiques mesurées le long de la surface des antennes coniques et diagrammes de rayonnement éloignés correspondants [54].

Lorsque nous parlons de HPBW, nous devons alors discuter de la directivité. Dans le chapitre 1, nous avons appris que la directivité est une fonction de HPBW. Il définit la concentration et la direction de l'énergie rayonnée dans le respect de l'antenne. La relation entre la directivité et les paramètres d'antenne concernant les angles conique et en spirale sont décrits dans la figure II-14. Ce qui indique que la directivité devient élevée lorsque l'angle en spirale augmente.

En revanche, la diminution de l'angle conique donne une faible directivité.

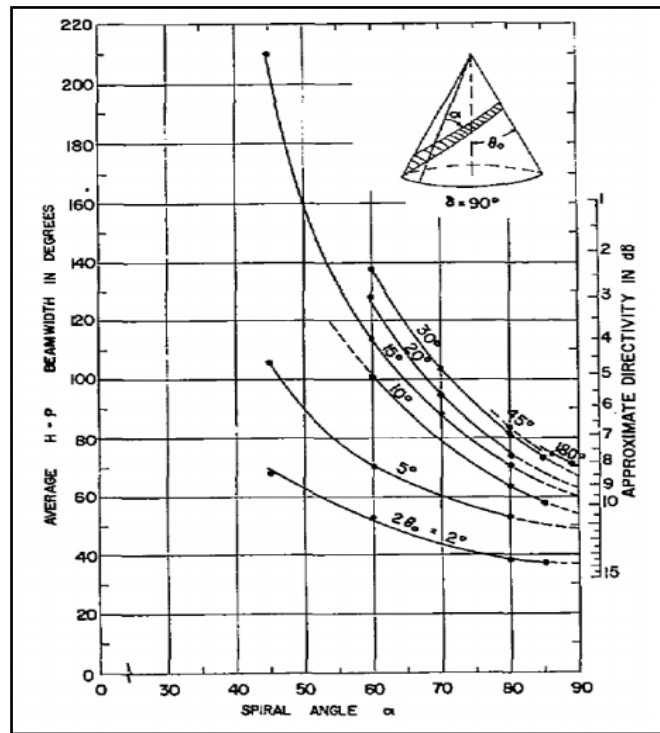


Figure II- 14 : Largeur de faisceau moyenne à mi-puissance et directivité approximative des antennes coniques log-spirales $\delta = 90^\circ$ [54].

La figure II-14 est une courbe importante pour la conception de CLSA car nous pouvons sélectionner notre HPBW et notre directivité souhaitées en choisissant la valeur correspondante des angles coniques et en spirale et en les utilisant, d'autres paramètres de CLSA peuvent être trouvés.

En effet, pour concevoir le CLSA, la valeur appropriée de l'angle en spirale et conique doit être choisie en fonction des exigences de l'application. Pour le projet CLSA, le HPBW requis est compris entre 80° et 100° et la valeur de directivité est <7 dBi. Compte tenu des exigences ci-dessus, l'angle en spirale et conique sélectionné comme $\alpha=80^\circ$ et $\theta_0=10^\circ$ respectivement de la figure II-14. Sur la base de ces valeurs, le haut et le rayon inférieur peut être trouvé à partir de la figure II-12. Une autre caractéristique importante de l'antenne spirale est le rapport axial. Il définit l'état de polarisation des ondes qui rayonnent de l'antenne. Le rapport axial est également directement pertinent pour la région active. L'objectif est d'obtenir un rapport axial minimal au point où le rayonnement maximal se produit. Il est possible d'obtenir un rapport axial plus petit au rayonnement maximum en augmentant l'angle en spirale, car l'incrément de l'angle en spirale fournit moins de HPBW et une directivité élevée.

La figure II-15 montre la corrélation entre le rapport axial et l'angle en spirale en termes de directivité. On peut voir que $\alpha = 80^\circ$ donne un rapport axial plus petit que $\alpha= 70^\circ$. C'est parce

Chapitre II : Caractéristique d'antenne CLSA

qu'au $\alpha = 80^\circ$ la largeur du faisceau à mi-puissance diminue, ce qui donne une directivité plus élevée et un rapport axial plus petit.

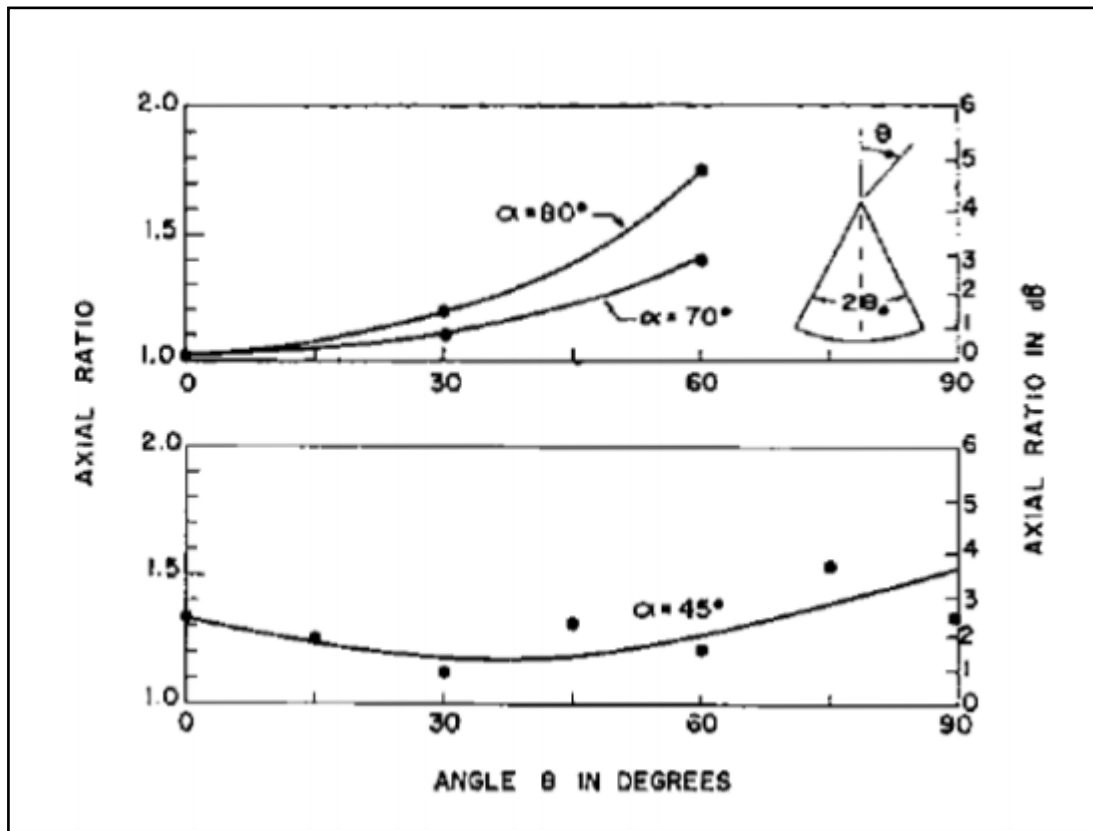


Figure II- 15: Rapport axial typique du CLSA [54].

IV-3. Impédance d'entrée du CLSA

L'impédance d'entrée des antennes indépendantes de la fréquence est un problème critique. En raison des caractéristiques de large bande de l'antenne, il est nécessaire d'obtenir une bonne adaptation d'impédance sur une large bande passante. Il ressort de l'étude Dyson que la largeur de bras du CLSA détermine l'impédance d'entrée. La figure II-16 montre la variation de l'impédance par rapport aux bras. D'après l'expérience de Dyson, une très petite et grande largeur des bras a une impédance de 320π et 80π respectivement [54]. L'impédance CLSA est également influencée par l'angle conique. L'augmentation de l'angle conique entraîne l'augmentation de l'impédance. À l'angle conique le plus élevé ce qui signifie que les bras sont dans un seul plan, l'impédance théorique de l'antenne est d'environ 60π ou 180π .

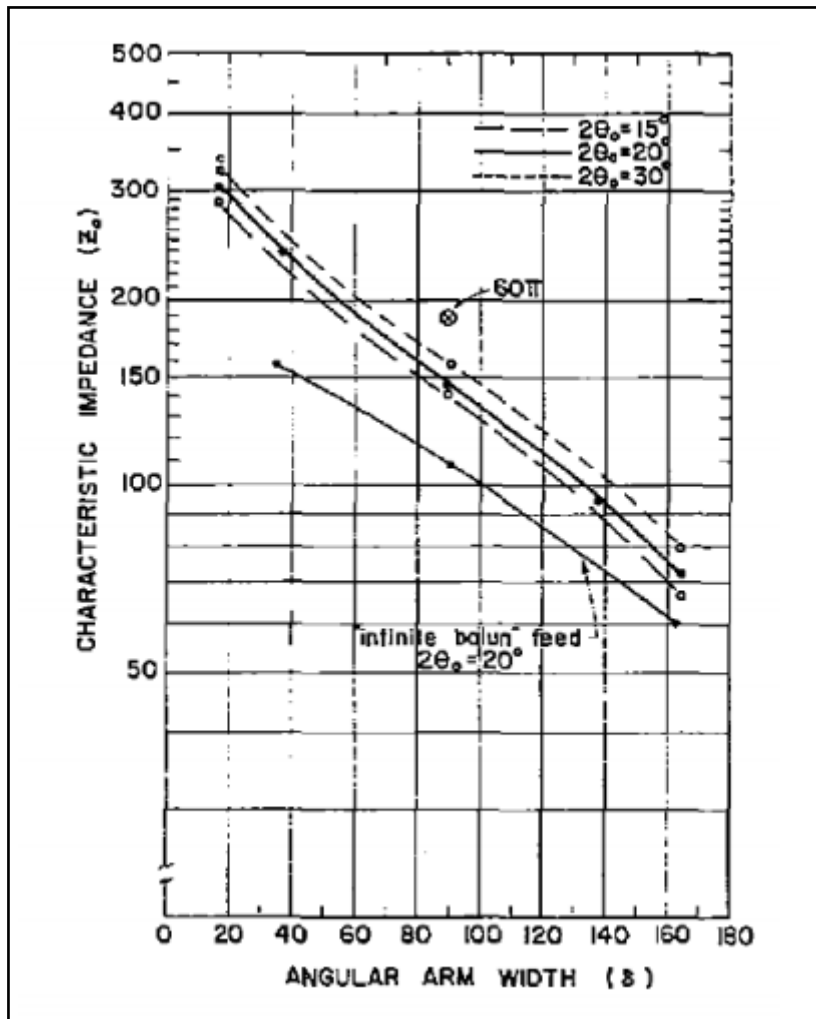


Figure II- 16: Impédance caractéristique du CLSA en fonction de la largeur angulaire du bras [54].

IV-4. Conception théorique préliminaire de CLSA

Dans la section précédente de ce chapitre, les paramètres de CLSA sont étudiés selon l'expérience Dyson. Sur la base de cette étude, le tableau II- 1 et tableau II- 2 sont construits à partir de la figure II- 11, qui montre les valeurs de rayon supérieur et inférieur en termes de longueur d'onde correspondant à l'angle conique et en spirale. Ces valeurs sont utiles pour déterminer la taille de l'antenne en termes de rayon, hauteur et angle. Il existe deux solutions pour identifier la bande de fréquences inférieure. Elles sont a_{10}^+ et a_{15}^+ rayons qui indiquent la partie rayons qui indiquent la partie inférieure de la région active, comme indiqué dans la section IV-1. Dans ce cas, la portion identifiée par a_{10}^+ est choisi parmi la figure II- 11 pour trouver le rayon de bord inférieur de CLSA afin d'obtenir une taille compacte de l'antenne. De même, le rayon supérieur de l'antenne peut être déterminé par a_3^+ rayons qui indiquent la région active

Chapitre II : Caractéristique d'antenne CLSA

supérieure et donc en utilisant cette valeur, nous pouvons calculer le rayon du cône supérieur de l'antenne.

Tableau II- 1 représente les valeurs du rayon supérieur en longueur d'onde pour différentes valeurs de l'angle en spirale et conique et du tableau II- 2 représente une valeur inférieure de rayon en longueur d'onde.

Afin d'atteindre les performances requises par antenne pour le projet CLSA, les valeurs de l'angle en spirale et conique ont choisi comme $\theta = 10^\circ$ et $\alpha = 80^\circ$ respectivement. Avec ces valeurs d'angle, le HPBW devrait être de 75° avec directivité < 7 dBi. Maintenant, en utilisant ces valeurs, le rayon supérieur peut être calculé en multipliant la bande de fréquence supérieure par la valeur du rayon supérieur, qui est tirée du tableau II- 2 et il peut être écrit comme :

$$r_u = .08\lambda_u = \frac{.08 * c}{f_u} = 1.6 \text{ mm} \quad \dots (II.16)$$

De même, un rayon inférieur peut être calculé en multipliant la bande de fréquence inférieure par une valeur de rayon inférieure, qui est tirée du tableau II- 1 et il peut être écrit comme

$$r_L = 0.157\lambda_L = \frac{.157 * c}{f_L} = 3.6 \text{ mm} \quad \dots (II.17)$$

Tableau II- 4 : Valeurs de rayon supérieures en termes de longueur d'onde pour les angles en spirale et coniques selon l'expérience Dyson [54].

Enveloppe en spirale, α	Angle conique total, $2\theta_0$			
	10°	15°	20°	30°
60°	0.054	0.051	0.043	0.055
70°	0.069	0.065	0.060	0.056
80°	0.089	0.083	0.079	0.070

Tableau II- 5 : Valeurs de rayon inférieures en termes de longueur d'onde pour les angles en spirale et coniques selon l'expérience Dyson [54].

Chapitre II : Caractéristique d'antenne CLSA

Enveloppe en spirale, α	Angle conique total, $2 \theta_0$			
	10°	15°	20°	30°
60°	0,133	0,146	0,157	0,243
70°	0,130	0,144	0,160	0,183
80°	0,132	0,151	0,157	0,163

On voit de l'équation II- 17, que le rayon supérieur est de 1,66 mm, ce qui est trop petit. Les inconvénients d'avoir un petit rayon sont que, il est difficile de connecter les lignes d'alimentation à travers lesquelles l'antenne est excitée. De plus, il sera difficile à fabriquer avec un très petit rayon car il est nécessaire d'utiliser une technologie avancée qui exige un coût élevé. Afin d'éviter ce problème, le rayon supérieur est sélectionné à 13,25 GHz au lieu de 14,75 GHz, ce qui entraîne $r_u = 1,8$ mm. Cependant, cela a provoqué une dégradation des performances au-dessus de 12 GHz en termes de HPBW et de rapport axial, ce qui est observé dans les résultats de simulation. Cette dégradation des performances n'est pas significative par rapport aux exigences du projet CLSA. C'est donc acceptable.

Par contre le rayon inférieur est choisi 11,25 GHz au lieu de 12,75 GHz, ce qui résulte $r_L = 24,1$ mm. Il ressort des résultats de la simulation que cette valeur donne de meilleurs résultats par rapport au rayon à 12,75 GHz.

Les détails des paramètres de conception théoriques sont présentés dans le tableau II- 3. En utilisant les valeurs ci-dessus, puis analysé les résultats, qui sont présentés dans le chapitre suivant.

Chapitre II : Caractéristique d'antenne CLSA

Tableau II- 6 : Paramètres de conception de CLSA

Les paramètres de conception	Valeur
Angle en spirale (θ_0)	10°
Angle conique (θ_0)	80°
Largeur de bras (δ)	90°
Rayon supérieur du cône (r_u)	1,8mm
Rayon inférieur du cône (r_L)	24,1 mm
Distance radiale initiale (ρ_0)	10,3 mm
Hauteur (H)	123 mm

V. Conclusion

L'étude présentée dans ce chapitre porte sur les caractéristiques générales de l'antenne omnidirectionnelle et a introduit types d'antenne CLSA intensive dans satellite application, en fonction des besoins de notre travail.

Nous avons essayé de résumer les avantages et les inconvénients de ce type d'antenne afin de choisir l'optimum et d'étudier l'étendue de son efficacité et de sa compatibilité avec nos besoins. La simulation de la structure et de la forme de l'antenne seront effectués dans le chapitre suivant.

Chapitre III :
Résultats et
discussion

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

I. Introduction

La conception d'une petite antenne satellite commence par les exigences de la mission et le budget de la liaison. Au cours des premières phases, la quantité de données produite est établie et les besoins en liaisons de télémétrie, suivi, télémétrie, commande et charge utile séparées sont examinés. En effet, les opérations plus avancées peuvent séparer les fonctionnalités de télémétrie, de suivi et de commande à vitesse relativement faible des liaisons de données à grande vitesse.

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

Pour les antennes CLSA, les exigences principales sont une couverture et une résistance aux omnidirectionnelle associée à un faible gain, une robustesse mécanique, des effets environnementaux tels que rayons ultraviolets, rayonnements, charges profondes et charges de surface différentielles.

Pour obtenir une couverture quasi omnidirectionnelle, plusieurs antennes sont souvent nécessaires. En inspectant simplement le diagramme de faisceau d'une seule antenne, on peut être induit en erreur en pensant que plusieurs antennes produiront un diagramme de rayonnement également lisse parce que cela n'est pas nécessaire [57]. Mais ces dernières étaient exploitées dans des directions opposées et séparées les unes des autres par dix longueurs d'onde.

Il a été démontré que pour concevoir une configuration d'antenne adaptée à un petit satellite, il faut tenir compte de l'ensemble des objectifs du protocole de recherche. Les majeures parties des données utiles requises et le débit de transmission, ainsi que la puissance satellitaire disponible, permettent de définir le gain requis pour l'antenne. Les antennes à gain élevé déduisent la nécessité d'un mécanisme de direction d'antenne. Les configurations réussies doivent être incluses dans la simulation pendant la phase de conception et doivent prendre en compte les effets des plans de masse limités, des structures adjacentes et des systèmes d'antennes co-implantées.

Le but de ce chapitre est de mettre en œuvre le modèle théorique de notre antenne par CST : Microwave studio. Un processus de simulation étape par étape de l'antenne est présenté en

Chapitre III : Résultats et discussion

détail. De plus, l'optimisation proposée par rapport à l'antenne discone est également décrite. Enfin, les résultats de la simulation en termes de perte de retour, de largeur de faisceau, d'impédance d'entrée et de rapport axial sont affichés et validés avec les valeurs théoriques et les autres travaux d'expérimentation si cela est possible.

II. Structure et modèle système

II -1. Model de l'antenne CLSA

II -1-1. Cartographie des équations CLSA dans CST Studio

Il est mentionné dans le chapitre précédent que CLSA est une modification de la spirale équiangulaire sous forme planaire et qu'elle doit être projetée en trois dimensions. Mais le domaine de simulation CST n'a pas de système pour les coordonnées sphériques. En raison de cette restriction, les équations doivent être reformulées au chapitre II pour une mise en œuvre pratique dans CST. Le nouveau formulaire de représentation de l'équation régissant CLSA est le suivant :

$$X(u, v); Y(u, v); Z(u, v) \quad \dots III - 1$$

Où u et v sont des variables paramétriques utilisées pour suivre la fonction. Dans l'équation III-2, φ est responsable du suivi de la fonction. Comme il n'y aura pas de φ dans l'équation reformulée, u et v agira comme la variable pour les traces de la spirale équiangulaire sur la face conique.

La figure III-1 montre la section transversale de la première structure de CLSA, et grâce à cela, il est possible de trouver le point de départ des coordonnées X , Y et Z . Le point de départ des coordonnées X et Y est lié au rayon supérieur du cône qui peut être défini en termes de distance radiale initiale ρ_0 et s'exprime comme suit :

$$\tau_u = \rho_0 \sin(\theta_0) \quad III - 2$$

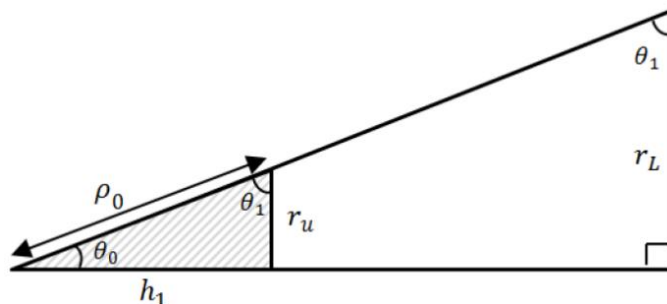


Figure III- 11: Coupe transversale de la structure de CLSA.

Chapitre III : Résultats et discussion

Le mode de transformation de l'équation équiangulaire en équation paramétrique en CST consiste à multiplier les termes cosinus et sinus par les coordonnées X et Y, ce qui est montré dans les équations III-3.

$$\begin{aligned} X(u, v) &= \rho_0 \sin(\theta_0) e^{\beta u} e^{\beta v} \cos(u) = \tau_u e^{\beta u} e^{\beta v} \cos(u) \\ Y(u, v) &= \rho_0 \sin(\theta_0) e^{\beta u} e^{\beta v} \sin(u) = \tau_u e^{\beta u} e^{\beta v} \sin(u) \end{aligned} \quad \dots III - 3$$

Au-dessus des équations, nous connaissons le paramètre β et ρ_0 du chapitre II. On dit précédemment que les variables u et v agissent comme un élément traçant de la fonction, où u détermine la croissance en spirale le long du cône et v est responsable de la variation en largeur de fil par rapport à la croissance en spirale. Pour trouver le point de départ de la coordonnée z , on peut à nouveau prendre l'aide de la figure III-1 et en utilisant la géométrie on peut écrire:

$$h_1 = \rho_0 \sin(\theta_1) \quad \dots III - 4$$

Lorsque θ_1 est responsable du point de départ de la coordonnée Z et utilise une géométrie simple, il peut être écrit comme:

$$\theta_1 = (90^\circ - \theta_0) \quad \dots III - 5$$

Par conséquent, $Z(u, v)$ peut aussi être exprimé de la façon dont $X(u, v)$ et $Y(u, v)$ sont exprimés. La seule différence est qu'il n'y aura pas de termes sinus ou cosinus, car la fonction trigonométrique n'est requise que par les coordonnées X et Y . Donc $Z(u, v)$ peut être écrit comme :

$$Z(u, v) = \rho_0 \sin(\theta_0) e^{\beta u} e^{\beta v} = h_1 e^{\beta u} e^{\beta v} \quad \dots III - 6$$

Après reformulation, la tâche suivante est de définir la plage de u et v . Le v détermine la largeur du fil. Il devrait être choisi de telle sorte qu'il n'y ait pas d'interférence entre deux virages voisins. De plus, comme l'impédance d'entrée est grandement influencée par la largeur des bras, nous devrions également considérer ce problème en choisissant la gamme de v . D'autre part, la plage de u dépend des angles et du rayon du cône.

Il peut être identifié par le plus petit point qui est le point de départ et le point maximum, où le rayon du cône est r_L . Donc, il peut être représenté comme :

$$X(u_{Max}, v) = \tau_L = \rho_0 \sin(\theta_0) e^{\beta u_{Max}} \quad \dots III - 7$$

Chapitre III : Résultats et discussion

Où u_{max} peut être exprimé en réarrangeant les équations III-2 et III-7 comme suit:

$$u_{Max} = \ln\left(\frac{\tau_L}{\sin(\theta_0)}\right) (\beta^{-1}) \quad \dots III - 8$$

Ainsi, l'échelle de u et v peut être identifiée comme :

$$u: [0, u_{Max}]; v: [-Width, 0]$$

Pour créer modèle de structure dans CST en doit aller à « MODELING » puis « ANALYTICAL FACE » and charge les données de structure.

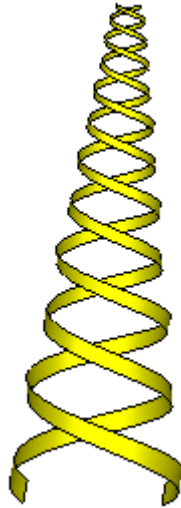


Figure III- 12: CLSA à deux bras construit en CST.

Afin de créer une structure d'antenne en CST, les paramètres requis doivent être choisis. Dans le chapitre précédent, des valeurs appropriées d'angles sont identifiées à partir de l'étude de Dyson. Sur la base de ces valeurs, le rayon et la plage de u et v sont calculés théoriquement en utilisant les équations dérivées dans ce chapitre. L'étape suivante consiste à implémenter ces équations en branchant les valeurs calculées dans CST. Cela permettra de construire une structure CLSA avec des dimensions correctes, ce qui fournira le résultat souhaité.

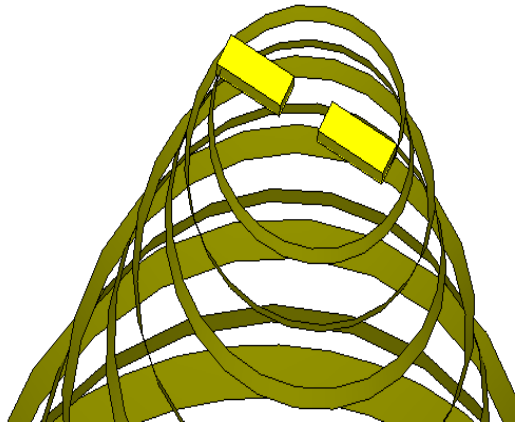


Figure III- 13: CLSA avec couche extensible et port discret.

II-1-2. Construction de bras en spirale et alimentation

Les amrs en spirale de CLSA sont créés à l'aide d'un outil de surface analytique dans CST. Toutes les équations requises avec les valeurs appropriées sont correctement placées dans l'outil. Cela va créer un bras simple CLSA. Pour obtenir le double bras, la copie du même bras est introduite avec 180 rotation. La Figure III-4 montre un CLSA à deux bras construit en CST. Une fois CLSA construit, d'autres fonctionnalités telles que la plage de fréquence, le brassage des cellules, la précision de la simulation, le port d'excitation et d'autres fonctions nécessaires doivent être configurées pour exécuter la simulation.

En utilisant les équations paramétriques définies dans la section précédente, les bras spiraux sont créés à l'aide de l'éditeur d'équation de face analytique. Puisque l'ensemble unique d'équations ne représente qu'un bras de l'antenne, le deuxième bras est créé en utilisant la formule exacte avec une rotation de 180 introduits dans le cosinus et le terme sinus de $X(u, v)$ et $Y(u, v)$, respectivement.

La figure III-4 est la spirale logarithmique à deux bras sur le cône définie par les rayons supérieur et inférieur des régions actives.

Dans le simulateur de domaine temporel, les bras spiraux doivent être résolus dans le maillage de la cellule et doivent donc avoir une épaisseur. L'épaisseur est un problème de maillage et les aspects de cette facette seront discutés après la construction complète et le paramétrage de l'antenne.

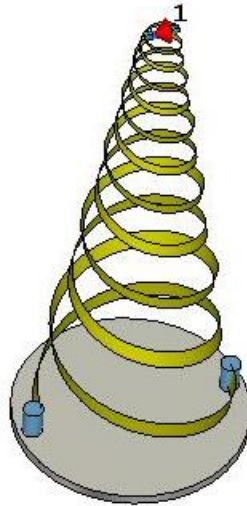


Figure III- 14: Superposition des bras en spirale avec port discret personnalisé.

Il y a deux méthodes pour alimenter CLSA, soit l'alimentation du haut et du bas. Dans ce cas, l'alimentation par le haut est appropriée car nous voulons la direction du rayonnement vers le sommet du cône. Il est également possible de nourrir CLSA au fond. Dans ce cas, le rayonnement ira vers l'arrière à partir du sommet du cône et, par conséquent, d'autres techniques telles que le retrait du réflecteur pour rediriger le rayonnement seraient nécessaires, ce qui peut compliquer l'ensemble du système d'antennes.

Pour alimenter l'antenne à partir du haut, un port discret à travers le sommet du cône à chaque bras est placé. Si l'écart entre deux points de connexion des ports est important, il existe une possibilité d'échec de la définition du port. Pour surmonter cela, l'écart est réduit en prolongeant une couche depuis le haut des bras vers l'intérieur des deux côtés, ce qui est illustré à la figure III-5.

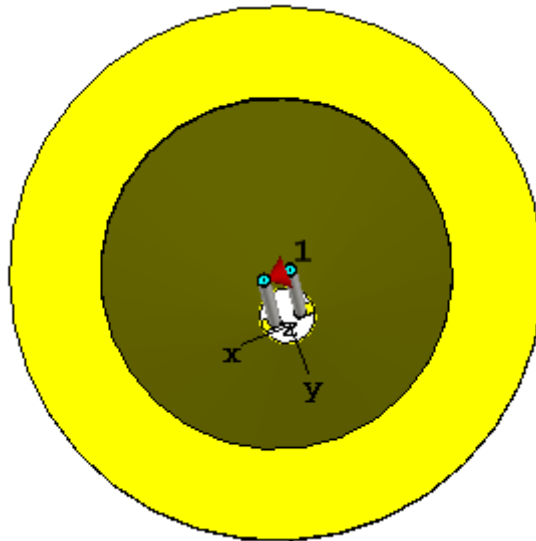


Figure III- 15: Vue de dessus de CLSA avec des lignes bifilaires.

II- 3. Mise à l'échelle de fréquence pour la construction d'antenne

Pour simplifier la construction d'une antenne avec la conception Ku bande plus haute fréquence. La mise à l'échelle à une fréquence plus élevée rendra l'antenne plus petite et donc moins de matières premières seront nécessaires et les champs lointains peuvent être testés dans un espace plus petit. Cela permet également de tester la robustesse de la conception sur différentes bandes de fréquence dans le domaine de la simulation. Les paramètres qui doivent être modifiés sont les fréquences supérieure et inférieure. Cela peut facilement être changé dans la "liste de paramètres" créée dans le CST. Plus sur les modifications CST sont discutés plus loin dans ce chapitre.

Avant de changer la fréquence, il faut noter qu'une seule fréquence peut être mise à l'échelle directement. Cependant, une bande de fréquences ne sera pas mise à l'échelle par une multiplication à une fréquence arbitraire. Le processus approprié consiste à utiliser le pourcentage de bande passante avec les bords de bande choisis.

Comme précédemment, la forme de bande passante du pourcentage de bande passante est définie comme suit:

$$FBW = 2 * \frac{f_2 - f_1}{f_2 + f_1} \quad \dots III - 9$$

Puisque le FBW est connu et f_1 est choisi, peut être déterminé comme:

$$f_2 = f_1 \frac{(FBW + 2)}{(2 - FBW)} \quad \dots III - 10$$

Chapitre III : Résultats et discussion

L'équation donne maintenant le pourcentage de bande passante en tant que constante et le bord de bande supérieure et le bord de bande inférieure en fonction les uns des autres. Par conséquent, un FBW de 53%.

D'autres facteurs nécessiteront un léger ajustement et ceux-ci comprennent l'épaisseur et la largeur du fil planaire, puisque la taille relative est beaucoup plus grande dans la largeur de bande de fréquence plus élevée.

La détermination d'un bord de bande inférieure arbitraire a été effectuée en calculant les dimensions de l'antenne résultante. L'objectif principal était de donner une conception qui soit facile à fabriquer et qui respecte les tolérances de taille.

Les tolérances données sont basées sur la hauteur de l'antenne et la plus petite largeur du bras en spirale logarithmique.

Théoriquement, l'indépendance de fréquence de l'antenne en spirale logarithmique peut rendre le fil une largeur petite et ingérable pour la construction manuelle de l'antenne. Les tolérances indiquées sont une largeur de fil de 0,0254 cm (10 mil). Notez que les largeurs du fil supérieur en spirale sont des estimations avec des dimensions proportionnelles aux dimensions de l'orifice. Cela garantit que l'antenne est correctement mise à l'échelle et reproduira des résultats similaires à ceux de son homologue.

Les modifications dans CST sont facilement réalisées en raison du fait que l'antenne a été créée avec une liste de paramètres qui sont associés à la fréquence supérieure et inférieure.

Les paramètres associés comprennent la recherche des valeurs a_{10}^+ et a_3^- basées sur les régions actives de la fréquence supérieure et inférieure, respectivement, pour la largeur de faisceau choisie. La largeur du faisceau est également liée à l'angle conique et au taux d'enroulement en spirale. Ces valeurs ont déjà été déterminées au chapitre II.

II-4. Model de l'antenne CLSA proposé

Pour s'assurer que l'antenne fonctionne de manière similaire à la conception Ku bande, l'alimentation par le haut est mise en œuvre de la même manière que précédemment. L'alimentation est un port discret à travers les deux bras de la spirale logarithmique avec une impédance arbitraire de 50Ω . À partir de Dyson, cette impédance est un choix typique pour un certain nombre d'antennes et sera optimisée une fois que la réponse correcte sera observée et que les erreurs dans la simulation seront soigneusement prises en compte.

L'antenne est mise à l'échelle dans CST en changeant la fréquence supérieure et inférieure, ce qui résulte dans le côté gauche de la figure III-5. Les rayons supérieur et inférieur sont calculés à 0,58 cm et 2,57 cm, respectivement. Comme l'épaisseur du fil n'était pas

Chapitre III : Résultats et discussion

considérée comme une composante dépendant de la fréquence, elle n'a pas changé par rapport aux nouvelles arêtes de la bande supérieure et inférieure.

Par conséquent, une nouvelle valeur de l'épaisseur doit être considérée pour imiter les résultats.

Le satellite dépend du moment où il est lancé à la fin de sa vie utile du système de télémétrie, de suivi et de commandement (TT & C), ils sont particulièrement importants lors des manœuvres de montée en orbite. De même que la fondation qui assure une communication continue avec la station terrestre. Ce qui contribue à sécuriser la mission du vaisseau spatial et à atteindre l'objectif souhaité.

En conséquence, dans le système TTC, nous avons besoin d'une couverture Omni par antenne à polarisation circulaire, ce qui confère à cette propriété toutes ses caractéristiques qui considéré comme l'épine dorsale de ce système [58].

De nombreux travaux dans ce domaine ont été basés sur le fait que l'antenne discone est une antenne omnidirectionnelle à polarisation verticale avec une bande passante à octaves multiples. [59] [60] [61] [62].

Lorsque la fréquence atteint des limites plus élevées, par exemple en bande Ku, le diagramme de rayonnement de l'antenne est déformé et se propage. Ceci est un inconvénient dans la plupart des systèmes multibandes d'antennes, qui dépend principalement de moyens et de méthodes plus complexes pour parvenir à leur mise en œuvre, car nous consommons plus d'énergie.

Les antennes présentées constituent une nouvelle approche des avantages des combinés entre la conception simultanée des deux antennes. Le premier, doté d'une antenne d'étranglement circulaire en bande Ku, repose sur une analyse théorique avancée des modes de rayonnement de l'antenne biconique classique [63]. Il offre une meilleure couverture avec une bonne polarisation croisée [64]. Ses dimensions mécaniques sont ayant une meilleure tolérance en Ku-band, ce qui rend ce design attrayant. La conception de l'antenne a été réalisée à l'aide d'un logiciel de studio CST-micro-ondes basé sur la simulation.

Une antenne compacte omnidirectionnelle à polarisation circulaire combinant des antennes en spirale à disque coniques discone et CLSA modifiées pour ce travail est présentée sur la figure III-6.

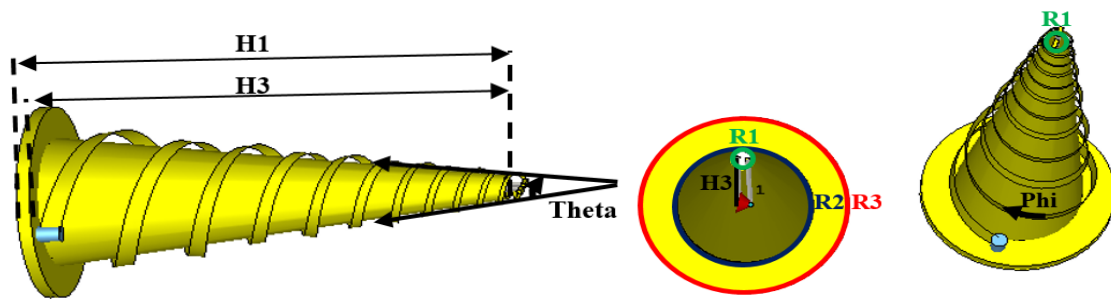


Figure III- 6: Vue 3D pour antenne CLSA propose en protocole de recherche.

Les bras en spirale de CLSA sont créés à l'aide de l'outil de traitement analytique du visage dans CST. Toutes les équations requises avec les valeurs appropriées sont correctement placées dans l'outil. Cela créera un bras unique CLSA. Pour obtenir un double bras, une copie d'un même bras est introduite avec une rotation de 180° .

Une fois que CLSA est construit, d'autres fonctionnalités telles que la plage de fréquences, le brassage de cellules, la précision de la simulation, le port d'excitation et d'autres fonctions nécessaires doivent être configurées pour exécuter la simulation.

III. Résultats et discussion

Le logiciel CST (Computer Simulation Technology) des outils Microwave Studio dotés de la base de la technique d'intégration finie (FIT) a été utilisé pour ce travail. Le domaine temporel a sélectionné pour la simulation et l'analyse la conception de cette antenne.

Etant donné que ce travail nécessite que le rayonnement se trouve au sommet du cône, cette condition est proportionnelle à l'alimentation de l'embout supérieur. Pour que le rayonnement soit bien dirigé, vous aurez besoin de techniques telles que la position de l'inverseur afin d'empêcher la réflexion derrière le sommet du cône, ce qui rend souvent le système d'antenne très complexe.

Dans la plupart des cas, lorsque l'antenne est surchargée par le haut et que nous pouvons surmonter l'écart entre les deux points de connexion dans les grands ports, nous nous connectons en plaçant un port séparé dans la partie supérieure du cône de chaque bras. Élimination de tout échec potentiel dans la définition du port en réduisant l'écart en étendant une couche de bras à l'intérieur des deux côtés.

Dans cette section, les résultats de la simulation avec optimisation sont présentés. Tous les résultats sont analysés en fonction de l'impédance d'entrée, de la perte de retour, du gain et du rapport axial.

Afin de maximiser et d'éliminer les opérations marginales et de repositionner correctement l'antenne avec précision, tous les transferts sont conçus correctement.

Nous montrons à la figure III-7 des coefficients de réflexion pour différentes impulsions d'entrée de 50 à la bande de fréquences de 10 GHz à 16 GHz.

Chapitre III : Résultats et discussion

Au cours des simulations, il a été noté que la modification de la hauteur de l'antenne par rapport au plan de sol avait des effets importants sur les paramètres d'entrée. L'impédance d'entrée n'est pas connue pour la configuration d'alimentation par le fond et aurait pu être modifiée par rapport à la valeur optimisée. En balayant l'impédance du port, les paramètres d'entrée résultants sont illustrés à la figure III-7. Avec la convergence des paramètres S observés, la précision du modèle est vérifiée et les autres caractéristiques de l'antenne devraient rester stables.

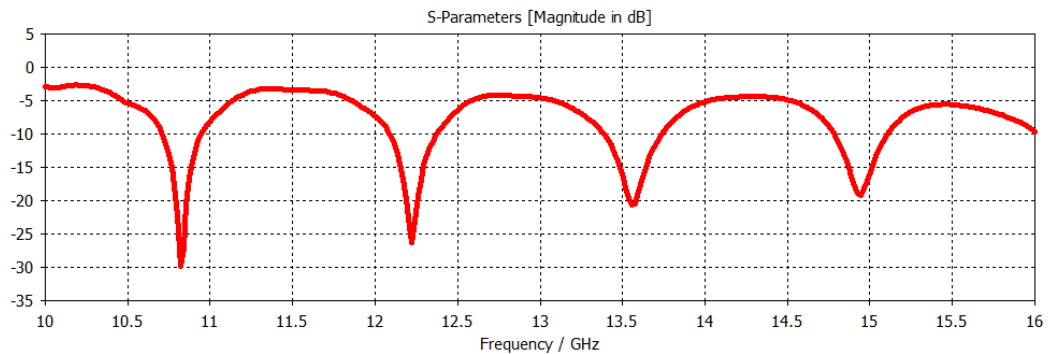


Figure III- 16: Coefficients de réflexion de la simulation sur le port d'antenne et pour l'ensemble du système sur le guide d'onde du port d'entrée.

La plage d'impédance de port qui donne le RL requis de -5 dB est comprise pour 50Ω . Cependant, la RL pour 50Ω est proche de la barre des -20 dB autour de 13,75 GHz, ce qui ne laisse pas beaucoup de place à l'erreur.

La figure III-8 montre une polarisation circulaire simulée du VSWR (rapport d'ondes stationnaires de tension).

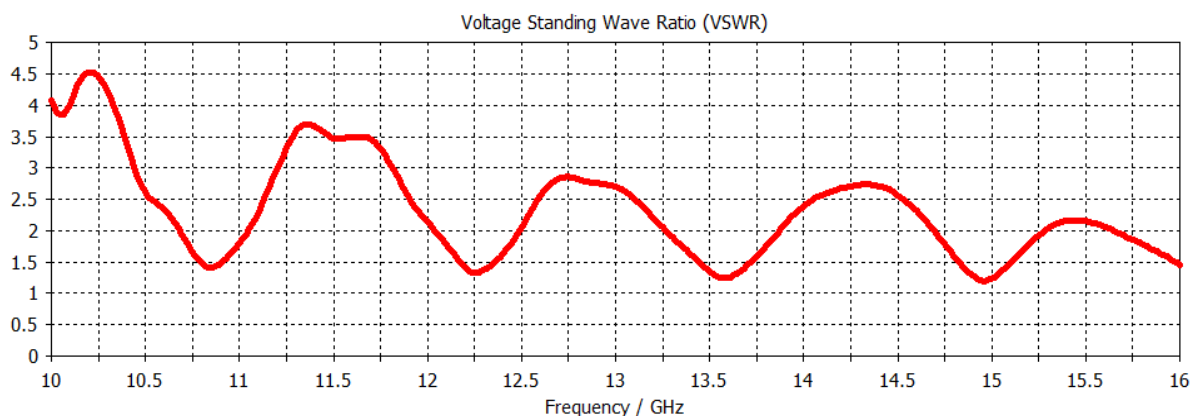


Figure III- 17: VSWR simulé dans le studio CST.

Chapitre III : Résultats et discussion

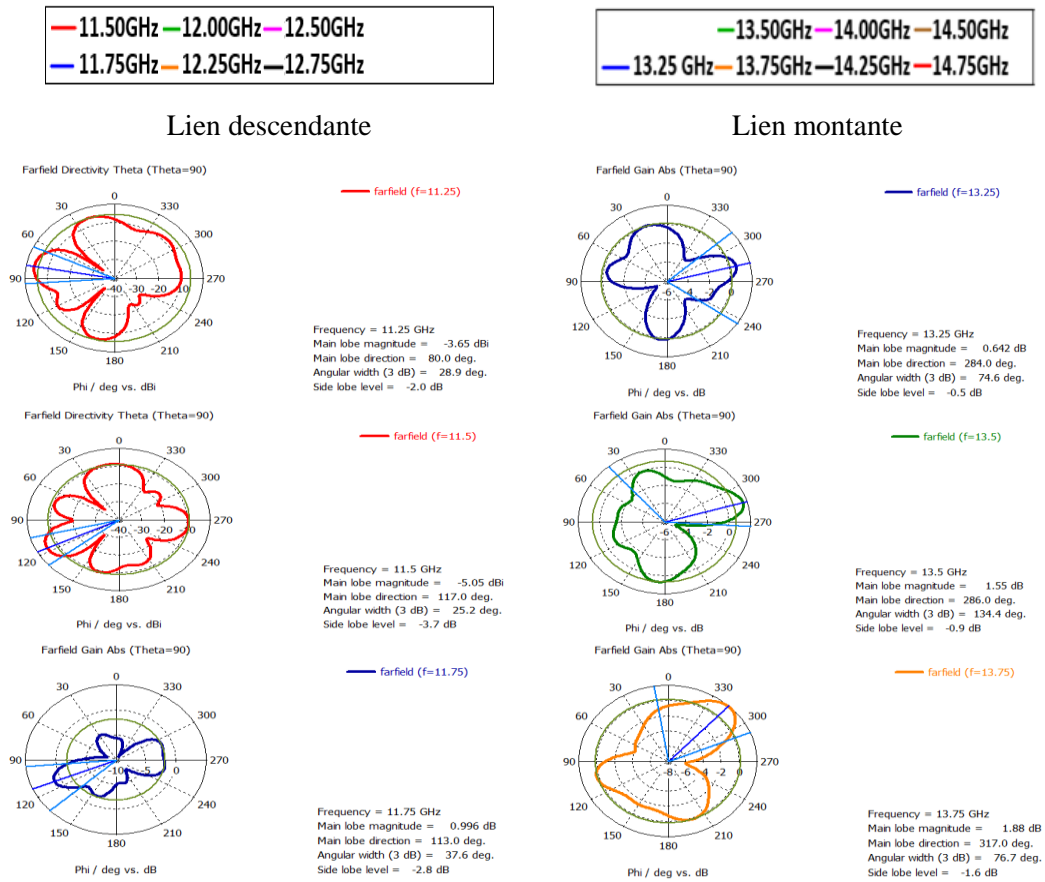
Le résultat est les pics et les vallées comme on le voit. VSWR (rapport de tension des ondes stationnaires), c'est une quantité d'efficacité avec laquelle une puissance radiofréquence est transmise d'une source d'alimentation, via une ligne de transmission, à une charge.

VSWR a une valeur comprise entre 1,2 et 3,5, une valeur maximale de VSWR <4,5 dans une plage de fréquences comprise entre 10 et 15 GHz, aucune puissance réfléchie ne serait réfléchie et la tension aurait une amplitude constante le long de la ligne de transmission, ce qui signifie que l'antenne est bien adaptée.

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. Plusieurs techniques ont été proposées pour surmonter cette difficulté [65]. Notez que cette spirale n'a qu'un seul tour. Avec plus de tours, la fréquence de fonctionnement la plus basse de l'antenne peut être diminuée. Théoriquement, la fréquence effective de la spirale ne devrait pas avoir de limite supérieure.

L'élargissement de la largeur de bande de l'antenne proposée découle donc de l'optimisation de la structure.

La directivité des diagrammes de rayonnement avec θ et ϕ à 90° des antennes simulées avec la liaison descendante et la liaison montante sont représentées à la figure III-9 à différentes fréquences pour donner une idée de leur dépendance en fréquence.



Chapitre III : Résultats et discussion

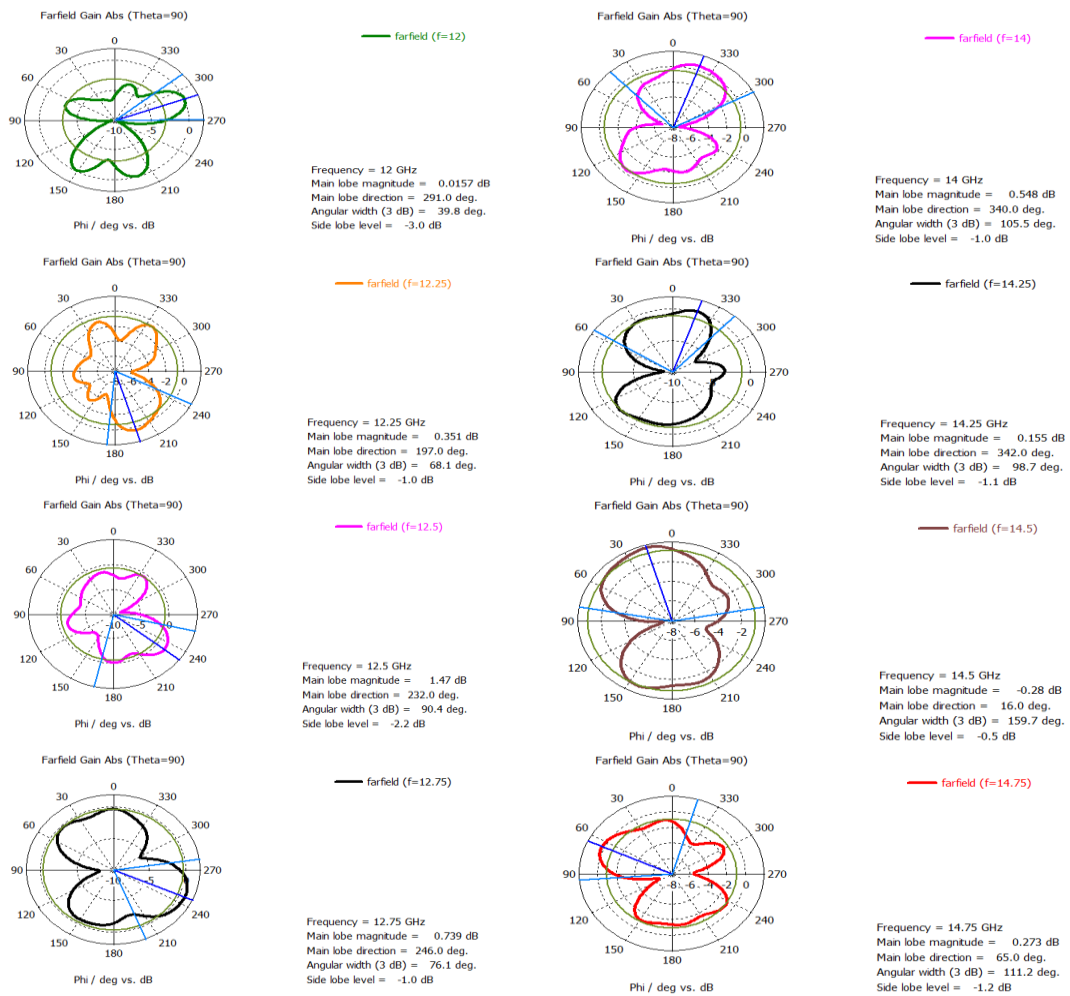


Figure III- 18: Diagramme de rayonnement simulé de l’antenne CLSA à polarisation circulaire.

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. Les principales différences sont la directivité légèrement plus grande sur la liaison descendante et l’augmentation du lobe arrière de -3.7 dB à 0,5 dB.

L'une des raisons de ce léger changement aux fréquences les plus élevées est la nature du guide d'ondes de l'antenne CLSA à circulaire, où le facteur de caractéristique du champ a été déterminant pour la formation des résultats.

Chapitre III : Résultats et discussion

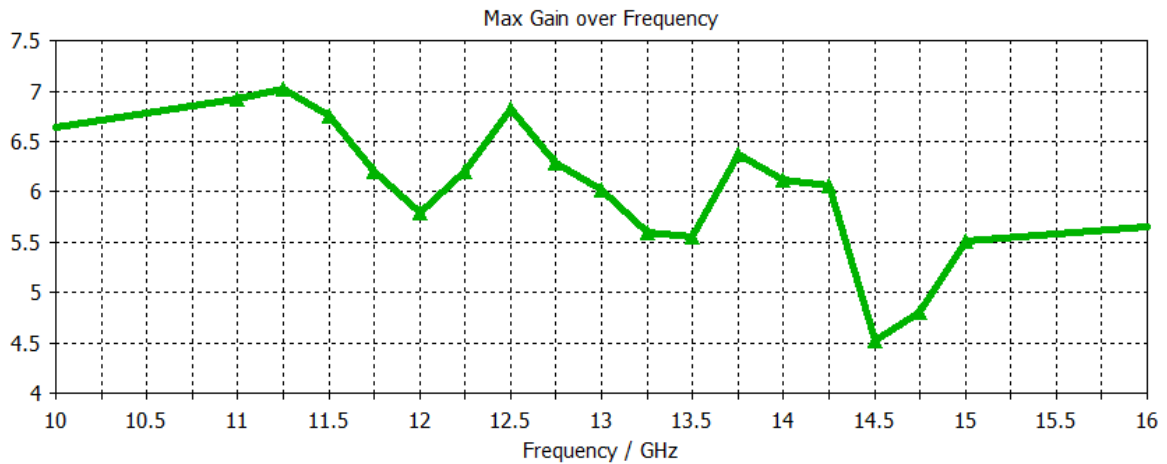


Figure III- 19: Gain de fréquence maximum pour l'antenne CLSA.

Le gain de l'antenne est simulé au-dessus de 10 GHz à 16 GHz gamme représentés sur la figure III-10. On peut remarquer que le gain est supérieur à 4 entre 0,5 à 7 dB sur toute la bande de fréquence. Avant de 12,5 GHz, le gain de l'antenne diminue de façon monotone de 6 à 4 0,5 dB, puis augmente de 6 dB que la fréquence augmente en outre, il est acceptable que le gain du réflecteur parabolique augmente avec l'augmentation de la fréquence [66]. Par conséquent, les performances sont dégradées après la fréquence de 14,75 GHz.

Le rendement total de l'antenne CLSA alimentée par le bas est proche de 0 dB, avec une légère détérioration après la bande de 13,5 GHz, comme le montre la Figure III-11.

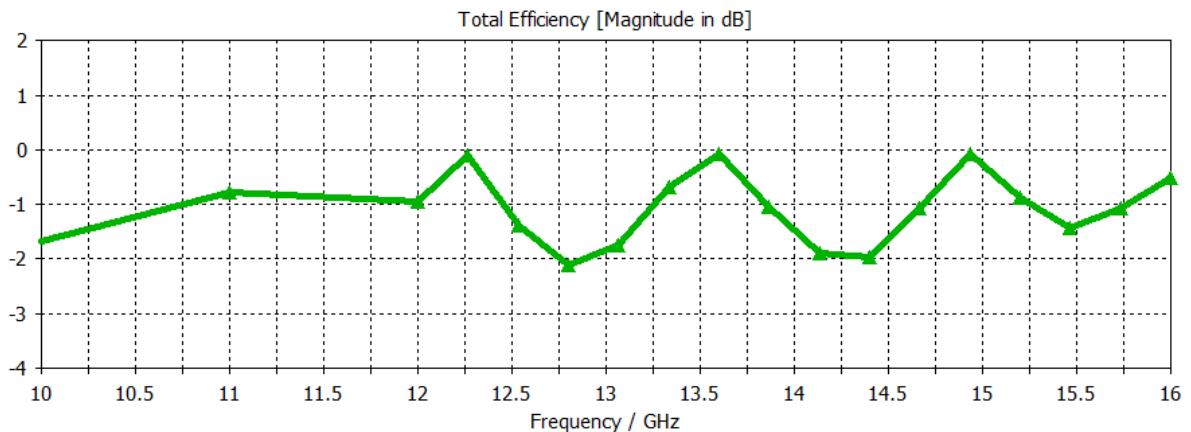


Figure III- 20: Efficacité totale de l'antenne CLSA alimentée par le bas.

Cette antenne présente une forme omnidirectionnelle compacte tout en conservant une efficacité de rayonnement élevée. Plus précisément, la structure d'une antenne CLSA stante surmodifiée pour optimiser son efficacité de rayonnement avec une dimension globale comparable à l'impédance optimale présente la même efficacité de rayonnement tout en ayant des dimensions plus faibles (par rapport à la longueur d'onde de fonctionnement en espace libre).

Chapitre III : Résultats et discussion

IV. Conclusion

Une vue d'ensemble des techniques d'antenne CLSA et direct polarisée compacts pour des applications dans de mini satellites modernes a été présenté, ensuite expliquées les résultats et discutés. Son impédance correspond bien à celle de la ligne coaxiale à de 50 ohms.

Les antennes de la conception proposée présentent un diagramme de rayonnement presque constant sur toute la largeur de bande donnée. Les modifications apportées à la conception de l'antenne ont réduit la taille de l'antenne à des limites optimales. Les dimensions du prototype optimisé conviennent à notre application en bande Ku.

Le résultat de simulation montre qu'il est possible d'obtenir une couverture hémisphérique avec une seule antenne. Ainsi, avec deux antennes de ce type, on pourrait obtenir une couverture presque sphérique.

Les avantages de l'antenne présentés sont une large bande passante qui réduit toute influence sur l'orbite GEO. En conséquence, toutes ses propriétés rendent l'antenne idéale pour les systèmes de communication par satellite.

Conclusion

Générale

CONCLUSION GENERALE

Ce mémoire porte sur CLSA antennes à large bande haute puissance à couverture omnidirectionnelle pour divers systèmes de communication. 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. Notre antenne CLSA omnidirectionnelle large bande avec des motifs uniformes est proposée pour les sous-systèmes récepteurs sera intégrés en bande Ku.

En raison du faible diamètre et de la constance des motifs du chargeur circulaire, un réflecteur de l'antenne est conçu, une impédance stable et de bonnes performances en champ éloigné sont démontrées de réaliser.

Par rapport à une antenne CLSA standard, l'antenne présentée dans cet article présente une très faible dépendance angulaire de la réponse impulsionnelle dans le domaine temporel. La conception principale incorpore une analyse en mode sphérique afin de minimiser la variation du diagramme de rayonnement sur la fréquence.

De plus, l'alimentation de l'antenne a été optimisée pour inclure antenne CLSA, ce qui réduit toute influence sur le motif et la correspondance.

REFERENCES

- [1] M. Matin, "Ultra wideband communications: novel trends—antennas and propagation", InTech, C C BY-NC-SA 3.0 License, ISBN 978-953-307-452-8, 396 pages, 2011.
- [2] Dominique Garnier, "Antenne et propagation radio" (GEL 202/ GEL7019), hiver 2016.
- [3] Odile Picon et Coll, "antennes théorie conception et application ", Dunod, paris 2009. ISBN978-210054245-1.
- [4] Melihi Souhila, Fengal Tine-hinane « Antenne de téléphonie mobile, caractérisation et optimisation » Mémoire de Master présenté à l'Université Abderrahmane Mira-Bejaia, 2016.
- [5] W. A. Imbriale, S. Gao et L. Boccia, Space antenna handbook, Wiley Online Library, 2012.
- [6] G. Reitz, «Characteristic of the radiation field in low earth orbit and in deep space» *Zeitschrift für Medizinische Physik*, vol. 18, n° 14, pp. 233--243, 2008.
- [7] D. M. Fleetwood, P. S. Winokur et P. E. Dodd, «An overview of radiation effects on electronics in the space telecommunications environment, »*Microelectronics Reliability*, vol. 40, n° 11, pp. 17--26, 2000.
- [8] O. Ahmed, Electromagnétisme 2 Régimes dépendants du temps, CPU, 2010.
- [9] S. Okil, « Analyse des vibration et essais structuraux des satellite d'observation de la Terre,» Mémoire de magister, USTO, 2010.
- [10] W. J. Larson et J. R. Wertz, Space mission analysis and design, Torrance, CA (United States); Microcosm, Inc., 1992.
- [11] E. Amyotte et L. Martins Camelo, «Antennas for Satellite Communications,» *Space Antenna Handbook*, pp. 466--510, 2012.
- [12] « Cours TS-4600 équipements spatiaux micro-ondes II "Éléments de base des Communications par satellite"» 2010.
- [13] W. A. Imbriale, Spaceborne antennas for planetary exploration, California, USA: Wiley Online Library, 2006.
- [14] Azzaz Rahmani Salima « Analyse et conception des antennes imprimées multibandes en anneaux concentriques pour les réseaux de télécommunications » Thèse de doctorat présenté à l'Université de Abou Bakr Belkaid–Tlemcen, 2013.
- [15] Stalling, D, Zockler, M; Hege, H-C: "Fast display of illuminated field lines "Visualization and computer Graphics ", IEEE transaction on .Vol.3, Issue2, pp.118-128, June 1997.
- [16] Djamel. Bennjima et Tarek. Rahmani "Etude, conception et réalisation d'un réseau d'antennes patches", Institut supérieur des études technologique en communication de Tunis, 2002.

Références

- [17] 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.
- [18] Anna Niang « Antennes miniatures et structures électromagnétiques avec circuits non-Foster » Thèse de doctorat présenté à l'Université de Paris-Saclay, 2017.
- [19] Nigarura Dieudonné «Etude et Conception d'un réseau d'antennes imprimées log - périodique multicouches » Mémoire de Master présenté à l'Université de Abou BekrBelkaid de Tlemcen juillet 2012,
- [20] Boussaha Somia « Contribution à l'étude et à la modélisation des antennes Imprimées rectangulaires Applications aux systèmes de communication » Mémoire de Magister présenté à l'Université 8 Mai 1945 Guelma, 2012
- [21] Airza Karemipour "Contribution à l'étude du couplage entre antennes, application à la compatibilité électromagnétique et à la conception d'antenne et de réseaux d'antennes", thèse de doctorat de l'école nationale supérieure des télécommunications, spécialité communication et électronique, juin 2002.
- [22] Yu-Ming Lee shuming T. Wang, Hsien-chiao Teng and Shen Cherng "A functional Microstrop circuits module for annular slot antenna" progress in electromagnetic reaserch, Vol.136, pp. 225-207, 2013.
- [23] Site web https://test234321.blogspot.com/2016/04/blog-post_71.html, consulté le 29 Juin 2019.
- [24] D. Agnès, «Nouveau concept d'antenne B.I.E. agile développée pour une Application spatiale de « TéléMesure Image» (T.M.I.),» Thèse de doctorat, Université de Limoges, 2009.
- [25] 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.
- [26] A. Boudjemai, «cours de gestion du projet spatial,» 2010
- [27] A. CNES, Secteur terrien, Systèmes de Télécommunications par Satellite, Masson, 1983 .La Bibliothèque de la faculté Génie Electrique, la côte : GE 28-07-07, USTO.
- [28] Brahimi Ali, Etude de la Technologie des Antennes Multi-bandes pour les Applications Spatiales, Université Oran, 2009
- [29] V. Rumsey, "Frequency independent antennas," in IRE International Convention Record, vol. 5, March 1957, pp. 114–118.
- [30] V.Rumsey, Frequency independent antennas. NY, USA: Academic Press, 1966.
- [31] J. Dyson, "The equiangular spiral antenna," IRE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 7, no. 2, pp. 181–187, April 1959.

Références

- [32] J. Dyson, "The unidirectional equiangular spiral antenna," *IRE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 7, no. 4, pp. 329–334, October 1959.
- [33] E. C. Jordan, G. A. Deschamps, J. D. Dyson, and P. E. Mayes, "Developments in Broadband antennas," *IEEE Spectrum*, vol. 1, no. 4, pp. 58–71, April 1964.
- [34] R. Wills, "A submarine multifunction antenna," *Communication Broadcasting*, vol. 9, no. 3, p. 39–45, 1985.
- [35] P. A. Ramsdale and P. W. Crampton, "Properties of 2-arm conical equiangular spiral antenna over extended bandwidth," *Microwaves, Optics and Antennas, IEEE Proceedings H*, vol. 128, no. 6, pp. 311–316, December 1981.
- [36] C. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, 3rd ed. NY, USA: John Wiley and Sons, 2005.
- [37] K. Louertani, N. Ribiere-Tharaud, R. Guinvarc'h, and M. Helier, "Coplanar feeding solution for spiral antenna," in *2009 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, June 2009, pp. 1–4.
- [38] D. King, R. Packard, and R. Thomas, "Unequally-spaced, broad-band antenna arrays," *IRE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 8, no. 4, pp. 380–384, July 1960.
- [39] Y. Lo, "A mathematical theory of antenna arrays with randomly spaced elements," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 12, no. 3, pp. 257–268, May 1964.
- [40] R. DuHamel and D. Isbell, "Broadband logarithmically periodic antenna structures," in *1958 IRE International Convention Record*, vol. 5, March 1957, pp. 119–128.
- [41] R. DuHamel and F. Ore, "Logarithmically periodic antenna designs," in *1958 IRE International Convention Record*, vol. 6, March 1958, pp. 139–151.
- [42] D. G. Shively and W. L. Stutzman, "Wideband arrays with variable element sizes," *IEEE Proceedings H - Microwaves, Antennas and Propagation*, vol. 137, no. 4, pp. 238–240, Aug 1990.
- [43] J. Thaysen, K. B. Jakobsen, and H. R. Lenler-Eriksen, "Wideband cavity backed spiral antenna for stepped frequency ground penetrating radar," in *2005 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, vol. 1B, 2005, pp. 418–421 vol. 1B.
- [44] J. Volakis, *Antenna Engineering Handbook 4th Ed.* NY, USA: McGraw-Hill, 2007.
- [45] H. Nakano, T. Igarashi, H. Oyanagi, Y. Iitsuka, and J. Yamauchi, "Unbalanced mode spiral antenna backed by an extremely shallow cavity," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 57, no. 6, pp. 1625–1633, June 2009.
- [46] S. Hong, J. Lee, and J. Choi, "Design of a novel modified spiral antenna for uwb application," in *2008 Asia-Pacific Microwave Conference*, Dec 2008, pp. 1–4.

Références

- [47] J. P. P. WEEM, “Soiral slot antenna,” Doctoral thesis, Wright air développement centre, Dyton, june, 1995.
- [48] L. Schreider, X. Begaud, M. Soiron, and B. Perpere, “Archimedean microstrip spiral antenna loaded by chip resistors inside substrate,” in IEEE Antennas and Propagation Society Symposium, 2004, vol. 1, June 2004, pp. 1066–1069 Vol.1.
- [49] P. C. Werntz and W. L. Stutzman, “Design, analysis and construction of an archimedean spiral antenna and feed structure,” in Southeastcon '89. Proceedings. Energy and Information Technologies in the Southeast, IEEE, Apr 1989, pp. 308–313 vol.1.
- [50] M. N. M. Tan, S. K. A. Rahim, M. T. Ali, and T. A. Rahman, “Smart antenna: weight calculation and side-lobe reduction by unequal spacing technique,” in 2008 IEEE International RF and Microwave Conference, Dec 2008, pp. 441–445.
- [51] W.-Z. Wu, T.-H. Chang, and J.-F. Kiang, “Broadband slot spiral antenna with external feed and microstrip-to-slot line transition,” in IEEE Antennas and Propagation Society Symposium, 2004., vol. 1, June 2004, pp. 767–770 Vol.1.
- [52] M. W. N. Dejan S. Filipovic¹, Thomas P. Cencich², Frequency independent antennas. Wiley Online Library, 2005.
- [53] A. J. Ernest, Y. Tawk, J. Costantine, and C. G. Christodoulou, “A bottom fed deployable conical log spiral antenna design for cubesat,” IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 63, no. 1, pp. 41–47, Jan 2015.
- [54] J. Dyson, “The characteristics and design of the conical log-spiral antenna”, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 13, no. 4, pp. 488–499, Jul 1965.
- [55] T. W. Hertel and G. S. Smith, “The conical spiral antenna over the ground”, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 50, no. 12, pp. 1668–1675, Dec 2002.
- [56] H. J. A. Giselle M. Galvan-Tejada, Marco Antonio Peyrot-Solis, Ultra Wideband Antennas: Design, Methodologies, and Performance. NY, USA: CRC Press, 2015
- [57]= A. T. Narek Rostomyan, “A Compact Balanced Symmetric Discone Antenna with Optimized Ultrawideband Omnidirectional Impulse Radiation Behavior,” *IEEE The 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2014)*, pp. 83-86, 2014.
- [58] A. S. U. P. V. S. V. L. Sivareddy .D, «Ku-Band Omni Antenna System for Satellite TTC,» *IEEE Applied Electromagnetics Conference (AEMC)*, 2011.
- [59] B. JR, «On the design of broadband omnidirectional compact antennas,» *Microw Opt Technol Lett*, vol. 39, n° %15, p. 418–422, 2003.
- [60] H. K. X. X. Chen X, «Novel planar slot array antenna with omnidirectional pattern,» *IEEE Trans Antennas Propag*, vol. 59, n° %112, p. 4853–4857, 2011.
- [61] K. J. P. S. Kim. KH, «An ultrawide-band double discone antenna with the tapered cylindrical wires,» *IEEE Trans Antennas Propag* , vol. 53, n° %110, p. 3403–3406, 2005.

Références

- [62] C. Z. C. M. Qing X, «UWB characteristic of disc cone antenna,» *IEEE Int Work Antenna Technol*, pp. 97-100, 2005.
- [63] A. T. Narek Rostomyan, «A Compact Balanced Symmetric Discone Antenna with Optimized Ultrawideband Omnidirectional Impulse Radiation Behavior», *IEEE The 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2014)*, pp. 83-86, 2014.
- [64] A. M. K. Chakravarty, «Depolarization of Ku-band satellite signal in relation to rain attenuation for the tropical region,» *Conference: Conference: XXIX General Assembly of the International Union of Radio Science (Union Radio Scientifics International-URSI)*, 2008
- [65] Volakis, J. L. (2007). *Antenna Engineering Handbook*. 4th ed., McGraw-Hill, ISBN: 0-07-147574-5, New York.
- [66] C. Kumar, B. Sandhya Reddy, B. Pavan Kumar, V. Senthil Kumar, V. V. Srinivasan, "Novel High Gain Dual Band Single Aperture Array with Large Cross-Polarized Isolation at Ku-Band for the TT&C System of a Geostationary Satellite", *IEEE International Conference on Antenna Innovations & Modern Technologies for Ground, Aircraft and Satellite Applications (iAIM) - Bangalore, India, 2017*.

Abstract

The requirements for deployable antenna systems on micro-satellites, specifically on the ku band are ever changing, with the major focus on the conical log-spiral antenna (CLSA) due to its frequency independent characteristics.

The design of CLSA antenna system of the satellite application is a critical issue because of the demand of wide bandwidth, high gain, directional beam, and circular polarization.

In this master manuscript work, a wide band feed for the reflector antenna of the proposed satellite for Ku band is analyzed and designed. Initially several solutions are studied and analyzed. Based on these studies, a two arm conical log spiral antenna (CLSA) is designed and constructed in CST. At first, a theoretical model of CLSA is developed. Further, the design equations are reformulated to simulate the model in CST.

CLSA shows poor performance due to the significant radiation coming out from the bifilar lines which is overlapping with the antenna radiation.

To avoid this radiation, a hollow metal is introduced which covers the bifilar lines to block the radiation coming out from the bifilar lines. The antenna performance with bifilar lines satisfies most of the requirements that has set up for this work. Besides, a mechanical construction of the antenna is presented to protect the antenna from the space outside environment.

A scaled prototype of the bottom fed CLSA is investigated and optimized.

Résumé

Les exigences relatives aux systèmes d'antennes déployables sur les microsattellites, en particulier sur la bande ku, sont en constante évolution, l'accent étant mis principalement sur l'antenne spirale conique (CLSA) en raison de ses caractéristiques indépendantes de la fréquence.

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

Dans ce travail de manuscrit principal, une alimentation à large bande pour l'antenne à réflecteur du satellite proposé pour la bande Ku est analysée et conçue. Dans un premier temps, plusieurs solutions sont étudiées et analysées. Sur la base de ces études, une antenne spirale à deux bras coniques (CLSA) est conçue et construite en CST. Dans un premier temps, un modèle théorique de CLSA est développé. De plus, les équations de conception sont reformulées pour simuler le modèle en CST.

Le CLSA montre de mauvaises performances en raison du rayonnement important provenant des lignes bifilaires qui chevauchent le rayonnement de l'antenne.

Pour éviter ce rayonnement, un métal creux est introduit qui recouvre les lignes bifilaires pour bloquer le rayonnement sortant des lignes bifilaires. Les performances de l'antenne avec les lignes bifilaires répondent à la plupart des exigences mises en place pour ce travail. En outre, une construction mécanique de l'antenne est présentée pour protéger l'antenne de l'environnement extérieur de l'espace.

Un prototype à l'échelle du CLSA alimenté par le bas est étudié et optimisé.

تلخيص

تتغير متطلبات أنظمة الهوائيات القابلة للنشر على الأقمار الصناعية الصغيرة، وتحديدًا على النطاق التردد ku، مع التركيز الرئيسي على الهوائي اللولبي المخروطي (CLSA) بسبب خصائصه المستقلة للتردد. يمثل تصميم نظام هوائي CLSA للتطبيقات الأقمار الصناعية مشكلة حرجة بسبب طلب عرض النطاق الاستعمال، والكسب العالي، والحزمة الاتجاهية، والاستقطاب الدائري.

في عمل المخطوطة الرئيسي هذا، تم تحليل وتصميم تغذية واسعة النطاق لهوائي العاكس المقترح لنطاق Ku، في البداية يتم دراسة وتقديم العديد من الحلول. بناءً على هذه الدراسات، يتم تصميم وبناء هوائي لولبي مخروطي الشكل ذو ذراعين (CLSA) في CST، تم تطوير نموذج نظري لـ CLSA علاوة على ذلك، تتم إعادة صياغة معادلات التصميم لمحاكاة النموذج في CST.

يظهر CLSA أداءً ضعيفًا بسبب الإشعاع الكبير الذي يخرج من الخطوط الثنائية التي تتداخل مع إشعاع الهوائي. ولتجنب هذا الإشعاع، يتم إدخال معدن مجوف يغطي الخطوط المزدوجة لمنع الإشعاع الصادر من الخطوط الثنائية. يلبي أداء الهوائي مع الخطوط المزدوجة ومعظم المتطلبات التي تم إعدادها لهذا العمل. إلى جانب ذلك، يتم تقديم بناء ميكانيكي للهوائي لحماية الهوائي من الفضاء الخارجي.

تم التحقق في نموذج أولي مقلص من CLSA ذات التغذية السفلية وتحسينه.