

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



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

Réseaux d'antenne patch pour application spatial

Présenté Par :

- 1) Melle BENCHERIF Yasmina
- 2) Melle BOUGUENINA Fadhia

Devant le jury composé de :

Dr SLIMANE Zohra	MCA	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Présidente
Dr MOULESSEHOUL Wassila	MCB	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Examinatrice
Dr DEBBAL Mohammed	MCA	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant
Dr RABAH Mohammed Amin	MRA	CDS (Oran)	Co-Encadrant
Dr KOURDI Zakarya	MRA	CDS (Oran)	Invité

Année Universitaire 2020/2021

Remerciements

Tout d'abord nous tenons à remercier **Allah** le tout puissant qui nous données le courage , la volonté la force et la patience pour mener ce travail.

Nous tenons à remercier également notre Co-encadreur de recherche, Monsieur **Rabah Mohammed Amin** pour avoir co-dirigé ce travail, pour son soutien moral, pour sa patience, pour la qualité de son encadrement et ses remarques toujours pertinentes, qui nous ont permis de finaliser ce travail

*Nous tenons à remercier notre encadreur Monsieur **DEBBAL Mohammed** pour l'intérêt constant qu'elle a apporté à ce travail et pour ses contributions à l'amélioration de la qualité de ce rapport. Son encadrement et ses remarques toujours pertinentes, qui nous ont permis de finaliser ce travail.*

*Nous exprimons notre reconnaissance à Mme **SLIMANE Zohra**, pour bien vouloir accepter de présider le jury. Nous tenons à remercier également Mme **MOULESSEHOUL Wassila**, d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

Enfin, nous remercions toute personne ayant intervenu de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.

Nous remercie aussi tous les enseignants d'université d'Ain- Témouchent

Nous remercier tous les collègues de promo 2020/2021

Dédicace

Je dédie ce travail à :

*Mon père Omar qui toujours soutenus et qui ont fait tout possible
pour aider*

Ma mère Nacera Seghir source d'amour la vie.

Mon frère Amin, Fouad et Mohammed

Mes sœurs Hanane, Hayat, Asmaa

Mes nièces Radjaa, Shahinaze, Hadjar, Norhanna, Kawther.

Mon neveu Abdarhmane,

Mon marie Yassine Souidi et ton familles.

*Mes amies Kouther Yamani, Larabi Sarra, Halloz Sarra Hlabibi
Asma , Bouguenina Fadhia*

Etudiante : Bencherif Yasmina

Dédicace

Je dédie ce travail :

À Mes chers parents Ahmed et Fatna et Yakout pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, et leur prières tout au long de mes études.

À mes chers frères Abed almadjid et Mohamed pour leur appui.

À mes chères sœurs Rekia, Rahmouna, Bochra et Wiam pour leurs soutiens.

À celui que j'aime mon fiancé Cheikh merci pour votre soutien morale et votre encouragement tout la période de ce projet.

À ma deuxième famille Abd alloui.

À ma chérie Yasmina.

Étudiante : Bouguenina fadhia

Résumé

Résumé

L'objectif de ce travail consiste à étudier les antennes pour les applications spatiales. Nous avons mis en évidence l'avantage de l'utilisation pour le fonctionnement des antennes imprimées de bande Ku. La simulation obtenue à l'aide du logiciel CST MW, sont en très bonne concordance avec la théorie et les résultats des autres travaux publiés.

Mots clés : bande Ku, CST MW, Antenne.

Abstract

The objective of this work is to study the design of antennas for space applications. We have highlighted the advantage of using printed Ku-band antennas for operation. The simulation obtained using the CST MW software, are in very good agreement with the theory and results of other published work.

Keywords: ku-band, CST MWS, Antenne

Table des matières

Remerciements	i
Dédicace	ii
Dédicace	iii
Résumé	iv
Table des matières	v
Liste des figures	viii
Liste des tableaux	x
Liste d'abréviations	xi
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Généralité sur les antennes.....	2
1.1 Introduction :.....	2
I.2. Notion de base sur l'antenne.....	2
I.2.1 .définition d'une antenne :.....	2
I.2.2. Rôle des antennes	2
I.2.3. Caractéristique des antennes :	3
I.2.3.1. Représentation en quadripôles :.....	3
I.2.3.2. Coefficient de réflexion S_{11} :	4
I.2.3.3. Directivité :	4
I.2.3.4. Rendement de l'antenne :	4
I.2.3.5. Gain :.....	4
I.2.3.6. Ouverture :	5
I.2.3.7. Impédance d'entrée :	5
I.2.3.8. Taux d'ondes stationnaire SWR (standing wave ratio).....	5
I.2.3.9. Fréquence de résonance f_r :	5
I.2.3.10. Bande passante	5
I.2.3.11. Le facteur de qualité :	6
I.2.3.12.. Diagramme de rayonnement :.....	6
I.2.3.13. Polarisation.....	7
I.2.4. Différentes types d'antennes :	8
I.2.4.1. Antennes élémentaires :.....	9
I.2.4.2. Antenne YAGI :	9

I.2.4.3. Antennes en réseau :	10
I.2.4.4. Antennes à réflecteurs :	10
I.2.4.5. Antenne pour guide d'onde :	11
I.2.4.6. Antenne à réseau de fentes :	11
I.2.4.7. Antennes imprimées (micro-ruban) :	11
I.3. L'antenne imprimée :	12
I.3.1. Historique d'antenne imprimée	12
I.3.2. Structure d'une antenne imprimée	12
I.3.3. Mécanisme de rayonnement	14
I.3.4. Calcul mathématique des caractéristiques de l'antenne patch rectangulaire	15
I.3.5. Technique d'alimentation :	16
Alimentation par ligne micro-ruban :	17
Alimentation par sonde coaxiale	17
Alimentation par couplage par fente	18
Alimentation par couplage de proximité	18
I.3.6. Technique d'adaptation :	19
Adaptation par encoche :	19
Adaptation par ligne quart d'onde	20
I.3.7. L'alimentation d'un réseau d'antennes :	20
I.3.8. Les applications de l'antenne imprimée :	21
I.3.9. Avantages et inconvénients	21
Avantage :	21
Inconvénient	22
I.4. Conclusion	22
Chapitre II: Les satellites	23
II.1. Introduction :	23
II.2. Historique:	23
II.3 .Notion de base :	24
II. 3.1 .Définition satellites :	24
II.3.1.1. Les satellites passifs :	24
II. 3.1.2 Les satellites actifs :	24
II.3.2. Orbit :	24
II.3.2.1 Les Types d'Orbites :	25
a. Orbites hautes (HEO) :	25

b. Orbites géostationnaires (GEO) :	25
c. Orbites moyennes (MEO) :	25
d. Orbites basses (LEO) :	26
II. 4. Les étapes de mise un satellite dans son Orbites:	26
II.5. Liaison de satellitaires	26
II.5-1. Gain de l'antenne :	27
II.5.2. EIRP (Equivalent Isotropic ally Radiated Power):	27
II.5.3. Perte dans l'espace libre :	27
II.5.4. Perte par absorption atmosphérique :	28
II.5-6. Bilan de Liaison :	28
II.6. La structure d'un satellite	29
II.7. Les domaines d'applications des satellites	29
II.8. Architecture d'un système de communication par satellite	30
II. 9. Principe de transmission	31
II.10. Système de réception émission VSAT (verry Small aperture terminal)	32
II.11. Les applications VSAT	32
II.12. Les avantages et Les inconvénients de la technologie VSAT	33
Les avantages	33
Les inconvénients	33
II.13. Conclusion	34
Chapitre III : Résultats de la simulation	1
III.1 Introduction	35
III.2 Définition	35
III.3 Spécification technique	35
III.4 Résultats de simulations	36
III.4.1 Simulation d'un nouveau design d'antenne	38
III.4.1.1 Résultats de la simulation d'un nouveau design	39
III.4.2 Réseaux de 4 éléments	41
III.4.3 Réseau d'antenne de 8 éléments	44
III.5 Conclusion	48
Conclusion générale	49
Bibliographie	50

Liste des figures

Figure I. 1: rôle d'une antenne	2
Figure I.2 : Représentation en quadripôle	3
Figure I.3 : Bande passante	6
Figure I.4: diagramme de rayonnement d'une antenne directive.....	7
Figure I.5 Polarisation de l'onde électromagnétique.....	8
Figure I.6 .Antenne élémentaire.....	9
Figure I.7: Structure d'une antenne yagi	9
Figure I.8 : Réseaux d'antenne imprimée	10
Figure I. 9: réflecteur parabolique.....	10
Figure I.10: Antenne cornet	11
Figure I.11. Antenne à réseau de fenêtre.....	11
Figure I.12: Aspect d'une antenne micro-ruban rectangulaire.....	12
Figure I.13 : Structure d'une antenne imprimée	13
Figure I.14 : Différentes formes des éléments rayonnants.....	13
Figure I.15: Analogie optique du mécanisme de rayonnement.....	14
Figure I.16. Techniques d'alimentation. Par ligne micro-ruban	17
Figure I.17. Techniques d'alimentation, Par ligne coaxiale.....	17
Figure I.18. Techniques d'alimentation. Par couplage par fente.....	18
Figure I.19. Techniques d'alimentation. Par proximité.....	19
Figure I.20 : Coef réflexion à l'entrée d'antenne patch adaptée en fonction la fréquence	20
Figure I.21 : Adaptation par quart d'onde.....	20
Figure I.22 – Alimentation sériée d'un réseau d'antennes.....	20
Figure I.23– Alimentation parallèle d'un réseau d'antennes	21
Figure II.1 premier satellites spoutnik 1,2	23
Figure II.2 : Apogée, périégée et inclinaison	25
Figure II.3 les types des orbites	26
Figure II.4 : Configuration d'un lien de communication par satellite.....	27
Figure II.5 structure d'un satellite	29
Figure II.6. L'application des satellites	30
Figure II.7. architecture d'un système de communication par satellite.....	31

Figure II.8 : système de réception émission VSAT	32
Figure III.1 : Antenne simple	36
Figure III.2 : Coefficient de réflexion et La bande passante	36
Figure III.3 : Taux d'onde stationnaire (TOS).....	37
Figure III.4 : Le gain en fonction de fréquence.....	37
Figure III.5 : Diagramme de rayonnement 3D de l'antenne	38
Figure III.6 : Diagramme de rayonnement polaire en fonction de θ	38
Figure III.7 : Nouveau design d'antenne rectangulaire.....	39
Figure III.8: Coefficient de réflexion après simulation d'une nouvelle structure d'antenne ...	39
Figure III.9 : Taux d'onde stationnaire d'un nouveau design	39
Figure III.10 : le gain d'un nouvelle structure	40
Figure III.11 : Diagramme de rayonnement 3D de l'antenne nouveau design	40
Figure III.12 : Diagramme de rayonnement polaire en fonction θ d'un nouveau design. .	41
Figure III.13 : réseaux de 4 éléments	41
Figure III.14: réalisation de réseaux d'antenne de 4 éléments par 100Ω et 50Ω	42
Figure III.15: coefficients de réflexion d'un réseau d'antenne de 4 éléments	43
Figure III.16 : Représente le VSWR d'un réseau d'antenne de 4 éléments.....	43
Figure III.17 : Gain 4 éléments	43
Figure III.18: Diagramme de rayonnement 3D de l'antenne de 4 éléments	44
Figure III.19 : diagramme de rayonnement polaire d'un 4 élément.....	44
Figure III.20 : Réseaux d'antenne de 8 éléments	45
Figure III.21 : réseaux d'antenne de 8 éléments à 50Ω et 100Ω	45
Figure III.22: Coefficient de réflexion de réseau 8×1	46
Figure III.23 : Taux d'onde stationnaire de 8 éléments	47
Figure III.24: Gain d'un réseau d'antenne de 8 éléments	47
Figure III.25: Diagramme de rayonnement 3D d'un réseau l'antenne 8 éléments	47
Figure III.26 : Diagramme de rayonnement polaire en fonction de θ 8 éléments.....	48

Liste des tableaux

Tableau III.1 : cahier de charge.....	35
Tableau III.2 : Paramètres de l'antenne.....	35
Tableau III.3 : les paramètres des coefficients S_{11}	46
Tableau III.4 : taux d'onde stationnaire d'un 8 élément.....	46
Tableau III.5 : les résultats.....	48

Liste d'abréviations

2D : Deux Dimensions

3D : Trois Dimensions

CST : computer simulation technologie

dB : décibels

dBi : isotropie

f_r : fréquence de résonance

GEO: geostationary earth orbit

GRIT : représente la figure de mérite

HEO: highly elliptical orbit

ICO: intermediate circular orbit

LEO: low earth orbit

MMIC: micro wave monolithic integrated circuit

ROS : rapport d'ondes stationnaires

S₁₁ : coefficient de réflexion

SNR : le rapport signal sur bruit

TOS : Taux d'Onde Stationnaire

TT&C : équipement de pour suite de télémessure et de télécommande

VSAT: very small aperture terminal

VSWR : voltage standing wave ratio

Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE

Le Domaine des télécommunications connaît depuis plusieurs décennies une croissance sans précédent et des services de plus en plus variés (téléphonie mobile, services multimédia interactif, ...), se voient proposés par de nombreux systèmes (systèmes cellulaires, transfert de données sans fil, radiomessagerie, radiocommunication professionnelle, systèmes satellitaires), permettant ainsi au grand public d'accéder à ces nouvelles technologies.

Les antennes sont également très performantes en termes de résonance, d'impédance d'entrée et de diagramme de rayonnement. L'objectif de notre travail est la conception d'une antenne patch plus performante que les autres antennes pour les applications spatiales

Dans ce travail on à trois chapitres, d'abord le premier chapitre est une généralité sur les antennes. Nous présenterons la définition de l'antenne et leur caractéristique ainsi que les paramètres électrique des antennes patches .En effet nous avons aussi présente les différents types d'alimentation.

La deuxième chapitre comprend les satellites, On commence par définie un satellite et leur types ainsi que une définition sur les orbites et leur types.

En fin, La troisième chapitre représente les résultats de simulation d'une antenne présenté par logiciel CST Micro wave studio, nous aurons simulé une antenne simple et un réseau d'antennes de 4 éléments et 8 éléments.

Chapitre I :

Généralité sur les antennes

1.1 Introduction :

Les antennes sont des dispositifs permettant de rayonner (émettre) ou capter (recevoir) des ondes électromagnétique. L'ouverture de ce chapitre commencera par une introduction générale sur les antennes et nous y fournirons également une définition sur les antenne imprimée d' autre part en va citer les caractéristique des antennes imprimée et leur application et leur technique d'alimentation et d'adaptions .la fermeture de par des avantage ainsi des inconvénients.

1.2. Notion de base sur l'antenne

1.2.1 .définition d'une antenne :

Une antenne d'émission est un dispositif qui assure la transmission de l'énergie entre un émetteur et l'espace libre où cette énergie va se propager. Réciproquement, une antenne de réception est un dispositif qui assure la transmission de l'énergie d'une onde se propageant dans l'espace à un appareil récepteur. [1]

1.2.2. Rôle des antennes [2]

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 »

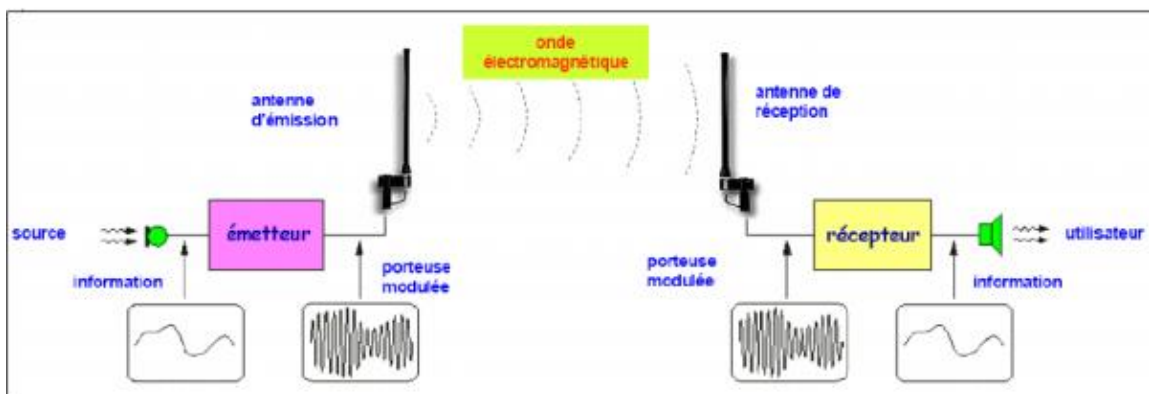


Figure I. 1: rôle d'une antenne[2]

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.

I.2.3. Caractéristique des antennes :

Les caractéristiques des antennes sont utiles pour le dimensionnement des systèmes d'émission réception. Ces derniers sont essentiellement liés à la forme du rayonnement dans l'espace. Le fonctionnement normal d'une antenne est d'émettre ou de recevoir le rayonnement à grande distance.

Un grand nombre de paramètres permettent de classifier les antennes tels que la directivité, le diagramme de rayonnement, la bande passante, la polarisation, etc. Alors la performance d'une antenne peut être évaluée à partir de ses paramètres qui sont présentées ci-dessous. [3]

I.2.3.1. Représentation en quadripôles :

Une antenne peut être représentée comme un quadripôle (Figure I.2), défini par les paramètres S

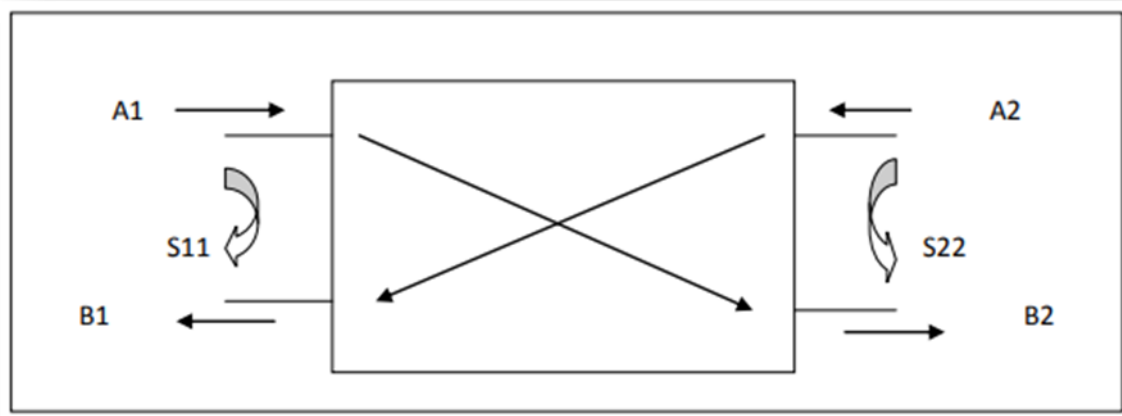


Figure I.2 : Représentation en quadripôle [3]

A_1 , A_2 , B_1 et B_2 sont des ondes de puissance.

On a les relations suivantes :

$$B_1 = S_{11} \times A_1 + S_{12} \times A_2 \dots\dots\dots \text{Equation (1.1)}$$

$$B_2 = S_{21} \times A_1 + S_{22} \times A_2 \dots\dots\dots \text{Equation (1.1)}$$

Le coefficient S_{11} correspond à la réflexion en entrée des quadripôles lorsqu' $A_2 = 0$.

Chapitre I: Généralité sur les antennes

Le coefficient S_{12} représente la transmission de la puissance entrant en sortie vers l'entrée lorsque $A_1 = 0$.

Le coefficient S_{21} est le gain du quadripôle lorsque $A_2 = 0$.

Le coefficient S_{22} est la réflexion en sortie du quadripôle lorsque $A_1 = 0$.

I.2.3.2. Coefficient de réflexion S_{11} :

Le coefficient de réflexion S_{11} met en évidence l'absorption de l'énergie par l'antenne. C'est sur ce paramètre que l'on se base lors de l'optimisation.

I.2.3.3. Directivité :

La directivité $D(\theta, \varphi)$ d'une antenne dans une direction (θ, φ) est le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction donnée $P(\theta, \varphi)$ et la puissance que rayonnerait une antenne isotrope. [4]

$$D(\theta, \varphi) = \frac{p(\theta, \varphi)}{\frac{P_r}{4\pi}} = 4\pi \frac{p(\theta, \varphi)}{P_r} \dots \dots \dots \text{Equation (1.2)}$$

I.2.3.4. Rendement de l'antenne :

Le rendement de l'antenne est le rapport entre la puissance rayonnée et la puissance fournie à l'antenne, soit :

$$\eta = \frac{P_r}{P_f} \dots \dots \dots \text{Equation (1.3)}$$

Ce rapport caractérise la perte à l'intérieur de l'antenne

I.2.3.5. Gain :

Le gain est le résultat de deux effets : la directivité et la perte. Si G est le gain, alors :

$$G(\theta, \varphi) = \eta \times D(\theta, \varphi) \dots \dots \dots \text{Equation (1.4)}$$

I.2.3.6. Ouverture :

Si G_m est le gain maximal d'une antenne donnée dans un plan bien déterminé, alors son ouverture dans ce plan est l'angle qui se trouve entre deux directions de ce plan ayant la moitié du gain maximal (gain à -3 dB), soit $G_m/2$

I.2.3.7. Impédance d'entrée :

L'impédance d'entrée de l'antenne est l'impédance vue de la part de la ligne d'alimentation au niveau de l'antenne.

Cette impédance est donnée par la formule :

$$Z_{in} = Z_0 \frac{(1+s_{11})}{(1-s_{11})} \dots\dots\dots \text{Equation (1.5)}$$

Z_0 = impédance caractéristique de la ligne d'alimentation.

S_{11} est fonction de la fréquence, alors Z_{in} varie aussi avec la fréquence.

I.2.3.8. Taux d'ondes stationnaire SWR (standing wave ratio)

Le SWR est l'expression mathématique de la non-uniformité d'un champ électromagnétique dans une ligne de transmission. Le SWR est donc le ratio entre les champs électriques maximaux et minimaux dans une ligne de transmission. À partir du SWR, on peut définir le VSWR et ISWR qui font respectivement référence au voltage et au courant. Idéalement, on va rechercher un SWR de 1. Donc une autre manière de caractériser la quantité du signal qui est réfléchi aux bornes d'une composante micro-onde.[5]

I.2.3.9. Fréquence de résonance f_r :

Une antenne s'utilise en général avec des signaux autour d'une fréquence donnée pour laquelle l'antenne possède des capacités optimales pour émettre ou recevoir l'énergie électromagnétique correspondante dans l'espace environnant. La fréquence de résonance d'une antenne dépend d'abord de ses dimensions propres, mais aussi des éléments qui lui sont ajoutés.[6]

I.2.3.10. Bande passante

La bande passante d'une antenne correspond à la bande de fréquence où le transfert d'énergie de l'alimentation vers l'antenne (ou de l'antenne vers le récepteur) est maximal. La bande passante peut être définie en fonction du coefficient de réflexion, à condition que le diagramme de rayonnement ne change pas sur cette bande. Il n'y a pas des critères précis pour

la limite du coefficient de réflexion. Un critère typique d'avoir un coefficient de réflexion inférieure à -10 dB ou -15 dB sur la bande passante Figure (I.3)[7]

$$BP(\%) = \left[\frac{f_{min} - f_{max}}{f_c} \right] \cdot 100$$

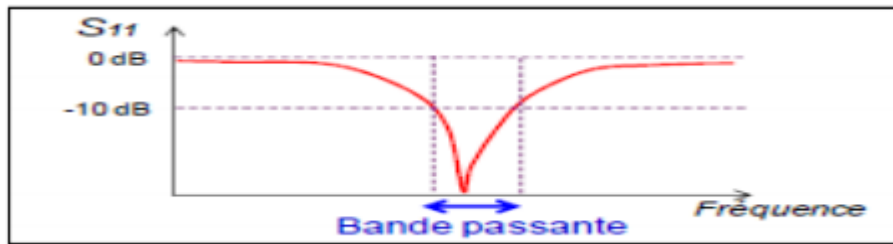


Figure I.3 : Bande passante.[7]

I.2.3.11. Le facteur de qualité :

Le facteur de qualité représente la quantité de résistance présente lors de la résonance (pour un circuit résonant série équation).

$$Q = \frac{f_{RES}}{BW} \dots\dots\dots (1 - 6)$$

$$\frac{1}{Q} = \frac{R_{ant}}{2\pi f_{RES} L_{ant}} \dots\dots\dots (1- 7)$$

R_{ant} =résistance d'antenne. Q =facteur de qualité du circuit RLC . BW =bande passante à 3 dB.
 f_{RES} =la fréquence de résonance. L_{ant} =longueur effective de l''antenne.[7]

I.2.3.12.. Diagramme de rayonnement :

La représentation graphique de la fonction caractéristique de l'antenne porte le nom de « diagramme de rayonnement ». C'est la représentation du rayonnement en 2D ou 3D de la puissance, du gain ou du champ électrique rayonné.

En général, le diagramme de rayonnement est relevé dans deux plans qui sont : le plan E (plan vertical) et le **plan H** (plan horizontal) ceux sont respectivement les plans pour lesquels les champs électriques et magnétiques atteignent leurs valeurs maximales.[8]C'est un diagramme qui représente les variations de la puissance que rayonne l'antenne par unité d'angle solide dans les différentes directions de l'espace. En réalité l'énergie rayonnée est répartie inégalement dans l'espace certaine directions sont privilégiées ce sont les lobes de rayonnement.

Un type plus pratique est l'antenne directionnelle qui rayonne plus de puissance dans certain directions et moins de puissance dans d'autres directions. Le diagramme de rayonnement de l'antenne directive est représenté dans la « Figure I.4 ».

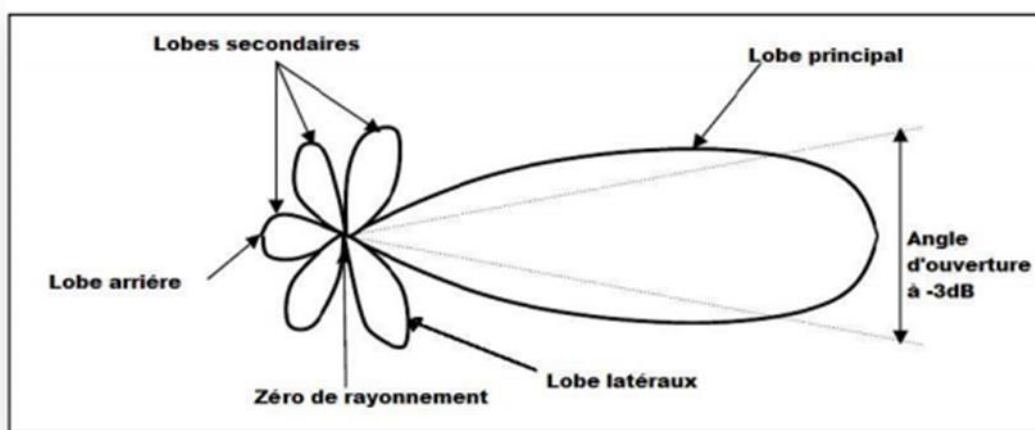


Figure I.4: diagramme de rayonnement d'une antenne directive[8]

- **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 opposé à 180° du lobe principal.

I.2.3.13. Polarisation

La polarisation d'une antenne est donnée par la direction du champ électrique \vec{E} . Si \vec{E} garde une direction constante dans le temps, on dit que l'on a une polarisation rectiligne. C'est le cas de la majorité des antennes à éléments rayonnants linéaires. Notamment les antennes à dipôles rayonnants et qui sont utilisées en ondes métriques et décimétriques. Il existe, cependant, des antennes qui rayonnent un champ électrique dont la direction varie avec le temps de telle sorte que si, en un point donné, on schématise les positions successives de E , l'extrémité du vecteur représentatif décrit un cercle ou une ellipse. On dit alors que le champ rayonné à polarisation

Chapitre I: Généralité sur les antennes

circulaire ou elliptique. C'est le cas notamment des antennes utilisées en radar et en télécommunications spatiales.[9]

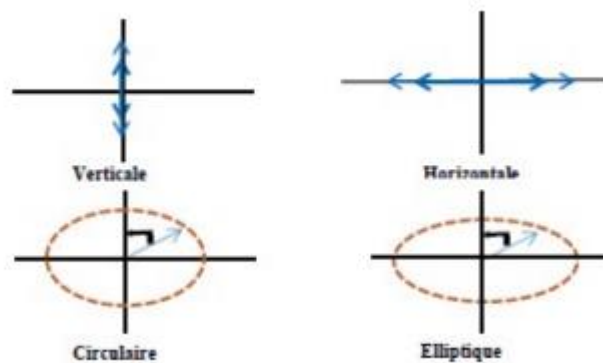


Figure I.5 Polarisation de l'onde électromagnétique.[9]

I.2.4. Différentes types d'antennes :

Les antennes sont réparties en plusieurs catégories selon la géométrie, le gain, la forme du faisceau, et la bande passante. Ainsi on peut les classer comme suit : [10]

- Selon la forme géométrique :
 - Antennes filaires : dipôle, boucle, spirale.
 - Antennes à ouvertures : cornet, fente, antenne à réflecteur.
 - Antennes imprimées : patch, dipôle imprimé, spirale.
- Selon le gain :
 - Gain élevé : cornet.
 - Gain moyen : planaire.
 - Gain bas : dipôle, fente, patch.
- Selon la forme du faisceau :
 - Omnidirectionnelle : dipôle.
 - Faisceau étroit : antenne réseau.
 - Faisceau large : planaire.
- Selon la largeur de bande :
 - Bande large : spirale.
 - Bande étroite : patch, fente.

I.2.4.1. Antennes élémentaires :

Plus simple et moins chère ce genre d'antenne ne permettent qu'une polarisation linéaire dans cette catégorie, on peut citer : antennes isotrope, antennes dipolaires ou doublet demi-onde qui est constitué d'un élément conducteur de longueur égale à la demi longueur d'onde, et antennes monopoles constitué d'un élément conducteur de longueur égale au quart de la longueur d'onde.[2]

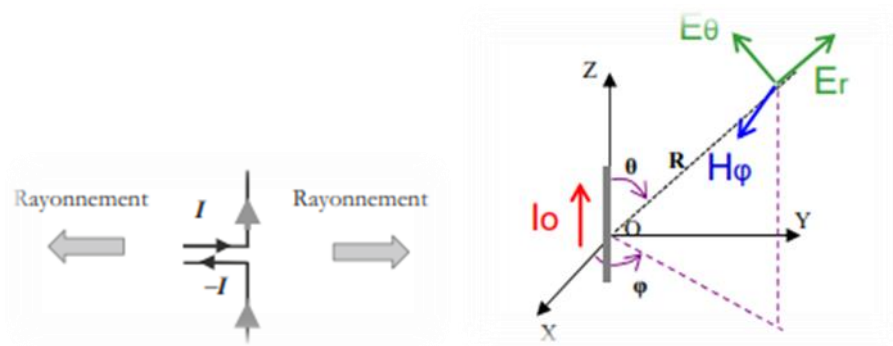


Figure I.6 .Antenne élémentaire[2]

I.2.4.2. Antenne YAGI :

L'antenne Yagi+ est une antenne directive dont le gain est supérieur à celui du dipôle dans la direction avant et inférieur dans la direction arrière. Elle se compose de :

- Un dipôle demi-onde, alimenté comme il se doit en son milieu, c'est l'élément radiateur (l'élément qui émet ou reçoit des radiations).
- Un (ou plusieurs) élément réflecteur (obligatoirement plus grands), non alimenté.
- Un (ou plusieurs) élément directeur, non alimenté

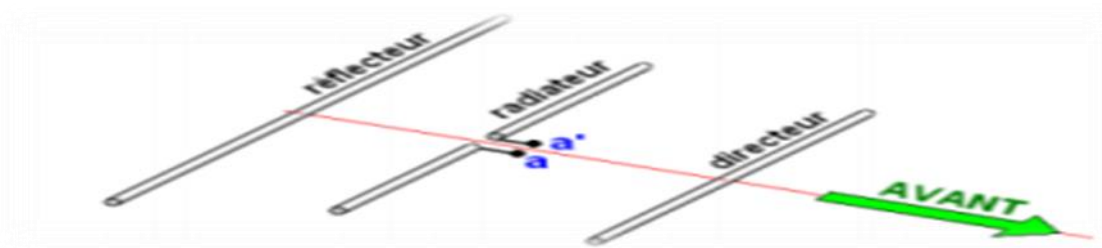


Figure I.7: Structure d'une antenne yagi[11]

Les éléments non alimentés sont qualifiés de "parasites". La configuration minimum pour une antenne yagi correspond à un dipôle accompagné d'un seul élément parasite, lequel peut être un réflecteur (le plus souvent) ou un directeur.[11]

I.2.4.3. Antennes en réseau :

C'est un ensemble d'antennes élémentaires à une ou deux dimensions, augmentant ainsi le gain et la directivité. Alimenté de façon synchrone (le déphasage du courant entre deux paires d'antenne est fixe) [11] . Dans cette famille nous énumérons : les antennes YAGI utilisées pour la réception de la télévision analogique ou numérique terrestre, les antennes rideau (collinaires), les antennes cierges (constitué de plusieurs dipôles demi-onde alimenté de façon à rayonner en phase) et les antennes hybrides.

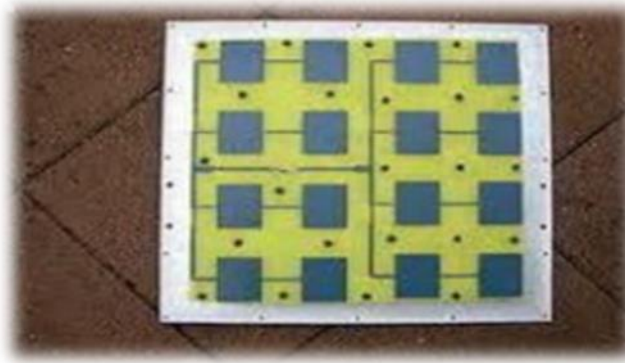


Figure I.8 : Réseaux d'antenne imprimée [11]

I.2.4.4. Antennes à réflecteurs :

En hyperfréquence, certaines antennes peuvent utiliser des montages similaires à l'optique avec des réflecteurs plans ou paraboliques. Il s'agit d'antennes à réflecteurs. On peut citer l'antenne parabolique qui est la plus connue pour son usage en télévision satellitaire, elle a un gain élevé lié au diamètre du réflecteur et elle est très directive.[2]

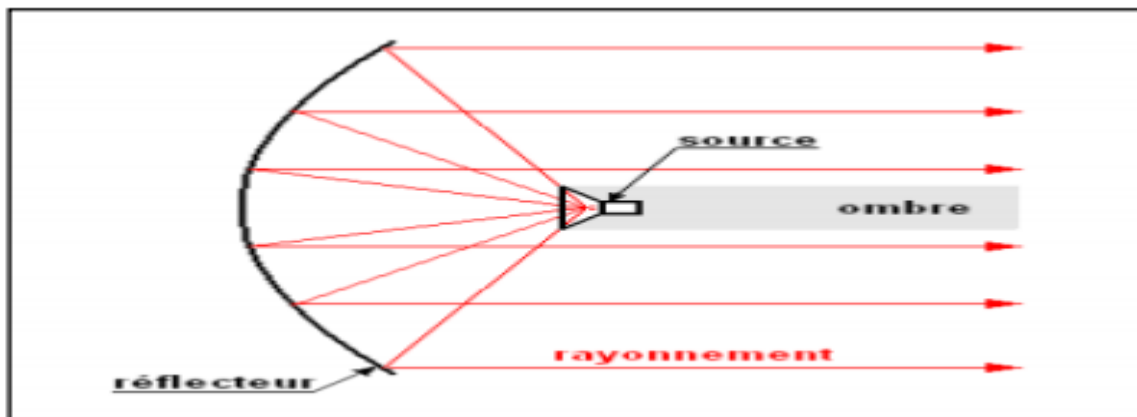


Figure I. 9: réflecteur parabolique[2]

I.2.4.5. Antenne pour guide d'onde :

L'antenne cornet utilisée en hyperfréquence est une ouverture rayonnante excitée par un guide ou un monopôle, elle est très directive et possède un gain élevé. On trouve aussi les antennes à fente constituées par les réseaux des fentes rayonnantes qui sont des réseaux de dipôles ouvert sur un guide elle est très facile à réaliser, elle devient de plus en plus utilisée surtout dans le domaine des radars utilisé pour la surveillance maritime.[2]

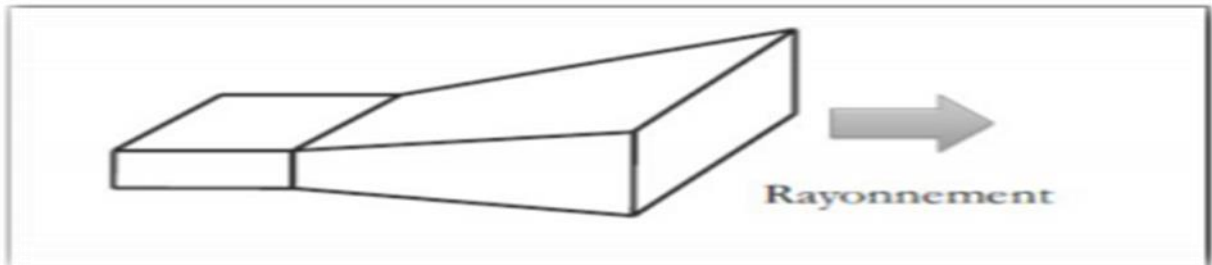


Figure I.10: Antenne cornet [2]

I.2.4.6. Antenne à réseau de fentes :

Toujours en utilisant le guide d'onde comme dispositif de transmission, il est possible d'envisager un rayonnement dans une direction différente de l'axe du guide, utilisant dans le corps du guide. Le rayonnement s'effectue alors perpendiculaire au plan troué du guide. Ce type d'antennes est utilisé, par exemple, dans des tunnels, où la transmission des ondes s'effectue mal, on peut placer un réseau de fentes rayonnantes. En général la ligne est en haut de tunnel avec émission vers le bas. [12]



Figure I.11. Antenne à réseau de fenètre[12]

I.2.4.7. Antennes imprimées (micro-ruban) :

L'antenne imprimé, appelée aussi antenne patch est un type récent d'antenne dont le développement et l'utilisation sont de plus en plus fréquent. Elle est constituée d'un diélectrique (substrat), possédant un plan de masse métallique sur une face. Sur l'autre face

une gravure métallique permet de supporter des courants de surface (plaque) qui créent le rayonnement électromagnétique « Figure I.12 ». Les courants sont amenés de générateur à l'entrée par une ligne micro ruban.[11]

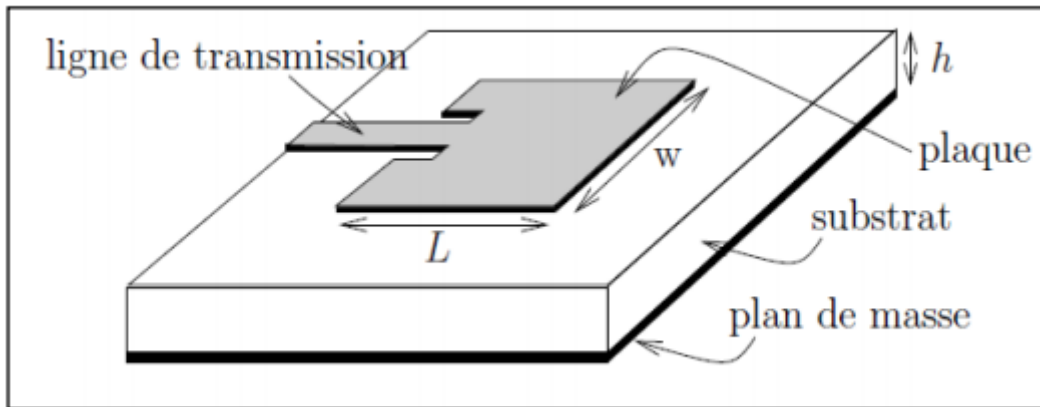


Figure I.12: Aspect d'une antenne micro-ruban rectangulaire.[11]

I.3. L'antenne imprimée :

I.3.1. Historique d'antenne imprimée

Le concept des antennes micro rubans fut initialement proposé en 1953 par Deschamps aux Etats Unis d'Amérique et en France par Guttan et Baissimot en 1955 [13]. Un peu plus tard le phénomène de rayonnement provenant des discontinuités dans les strip-lines fût observé et étudié par Lewin en 1960 [13].

Au début des années 70, Byron décrit une piste rayonnante conductrice gravée sur un substrat diélectrique ($\epsilon_r < 10$) et repose sur un plan de masse [14].

I.3.2. Structure d'une antenne imprimée

Une antenne imprimée ou patch est constituée généralement, d'un élément métallique rayonnant de forme quelconque situé sur la face supérieur d'un substrat diélectrique. La face inférieure de la lame diélectrique est métallisée et constitue le plan de masse. (Figure I.13).

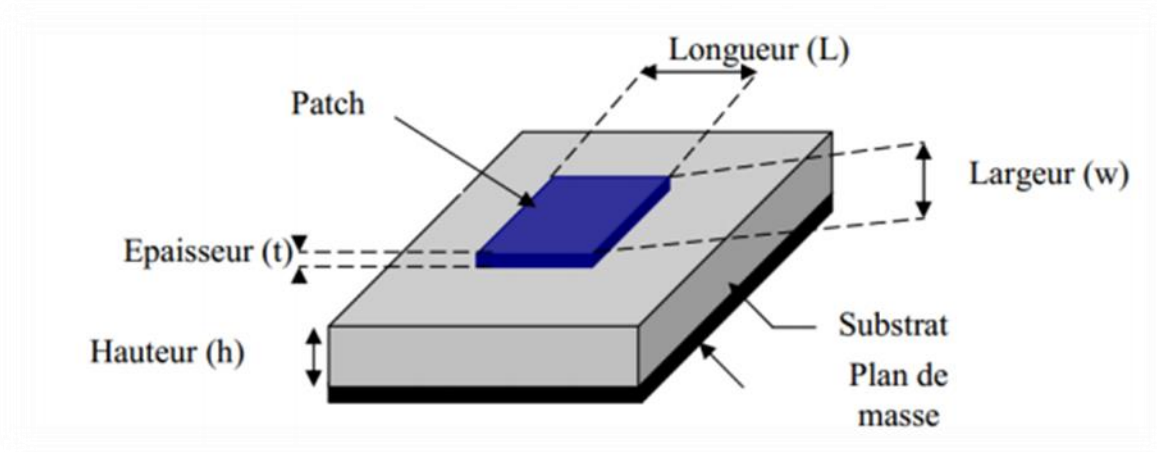


Figure I.13 : Structure d'une antenne imprimée [11]

Les paramètres physiques et géométriques liés à cette structure sont :

- ϵ_r La permittivité relative de diélectrique et sa constante de pertes $\tan \delta$.
- La hauteur du diélectrique h .
- Les dimensions de l'élément rayonnant (L , W).

a. L'élément rayonnant :

L'élément rayonnant est un conducteur comme le cuivre, l'argent ou l'or (de conductivités respectives $\sigma = 5.8 \cdot 10^7 - 6.2 \cdot 10^7$ et $4.1 \cdot 10^7 S \cdot m^{-1}$), mince ($t \ll \lambda$) [15] et généralement de formes quelconques, mais les plus utilisées en pratique sont montrés sur la figure I.14

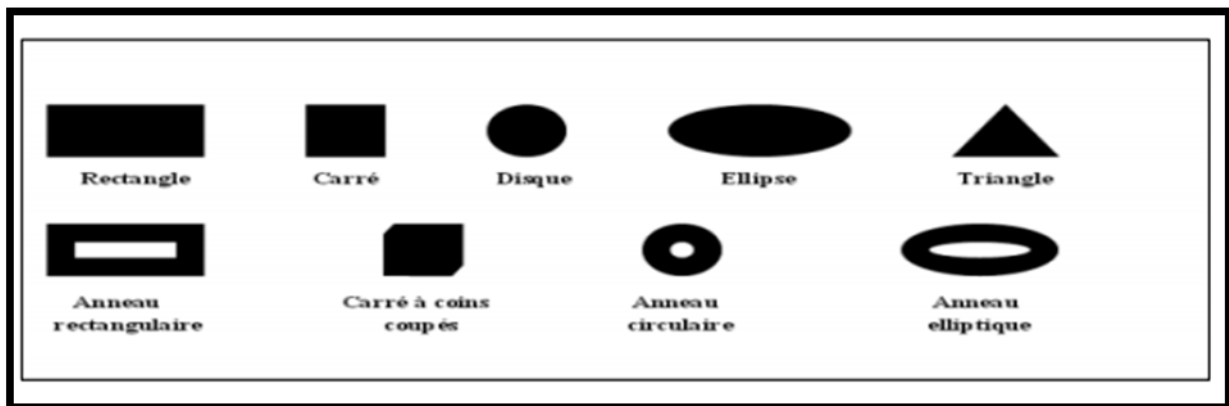


Figure I.14 : Différentes formes des éléments rayonnants[15]

Les dimensions du patch sont faibles, généralement de l'ordre de $\lambda/2$ à λ . [2]

b. Le substrat :

Le substrat est caractérisé par sa permittivité ϵ_r (généralement $1 \leq \epsilon_r \leq 12$), sa hauteur h par rapport au plan de masse ($h \ll \lambda$, $0.003\lambda \leq h \leq 0.05\lambda$) et sa tangente de pertes diélectrique $\tan \delta$ (de l'ordre de 10^{-3}). [15]

Pour la conception des antennes imprimées, on trouve par exemple : des composites à bases de fibres de verre téflon ($2 < \epsilon_r < 3$, $\tan \delta = 10^{-3}$), du polypropylène ($\epsilon_r = 2.2$, $\tan \delta = 3.10^{-4}$) mais également des mousses synthétiques ($\epsilon_r = 1.03$, $\tan \delta = 10^{-3}$). [16]

c. Le plan de masse :

Le plan de masse est un métal placé au-dessous du substrat, il est théoriquement de dimension infinie mais en pratique, il est de l'ordre de 3 à 4λ , ce qui perturbe les caractéristiques de l'antenne. [17]

I.3.3. Mécanisme de rayonnement

Pour mieux comprendre le mécanisme de rayonnement des antennes imprimées, la littérature scientifique s'appuie généralement sur la théorie de l'optique. Considérons la figure I.15 : [18]

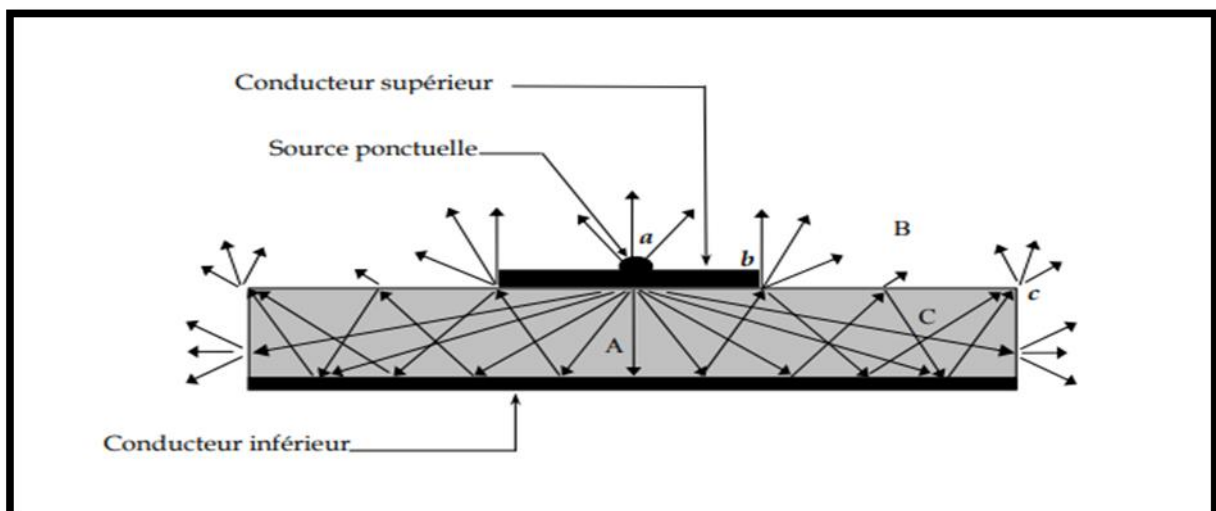


Figure I.15: Analogie optique du mécanisme de rayonnement [18]

La source ponctuelle placée en (a) émet un rayonnement uniforme dans toutes les directions. Une partie de ce dernier est réfléchi par le plan de masse, puis par le conducteur supérieur et ainsi de suite. Certains de ces rayons aboutissent sur l'arête du conducteur (b), qui les

Chapitre I: Généralité sur les antennes

diffraquent et par conséquent le champ se décompose en deux composantes normale et tangentielle par rapport au plan de masse.

On peut donc envisager trois régions :[19]

a. La région A :

Est la plus dense en rayons, le champ électromagnétique s'accumule plus fortement dans cette zone de l'espace. Cette propriété est d'ailleurs utilisée pour la propagation le long des lignes micro-rubans. En basse fréquence les champs restent concentrés dans cette zone, il y a donc propagation sans rayonnement.

b. La région B (espace libre) :

Occupant tout le demi-espace supérieur à l'antenne, représente une zone où le champ se disperse librement dans l'air et vient s'ajouter au rayonnement propre de la source. Si on augmente la fréquence, ce rayonnement électromagnétique, malgré un rendement restreint, devient significatif d'où un fonctionnement en antenne.

c. La région C :

Certains rayons atteignent les surfaces de séparation avec une incidence rasante, et restent piégés dans le diélectrique. Une onde de surface est alors guidée par le bord du diélectrique ne contribuant pas directement au rayonnement de l'antenne. Toutefois, quand cette onde atteint le bord du substrat (C), elle est diffractée et génère un rayonnement parasite

I.3.4. Calcul mathématique des caractéristiques de l'antenne patch rectangulaire : [20]

Cette partie consiste à déterminer les paramètres du patch, L'antenne possède les caractéristiques Suivantes : la longueur L, la largeur W et la hauteur du substrat h.

Plusieurs méthodes d'analyse ont été utilisées pour étudier les antennes patches, on trouve des méthodes numériques et aussi analytiques.

La longueur d'onde de travail se déduit alors simplement de la fréquence centrale par

$$\lambda = \frac{c}{f} \dots\dots\dots (1.7)$$

La largeur de patch

$$w = \frac{c}{2fr} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \dots\dots\dots(1.8)$$

La permittivité diélectrique effective :

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{w}\right)^{-\frac{1}{2}} \text{ Pour } \frac{h}{w} \geq 1 \dots\dots\dots(1.9)$$

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\left(\left(1 + 12 \frac{h}{w} \right)^{-\frac{1}{2}} + 0.04 \left(1 - \frac{w}{h} \right)^{-\frac{1}{2}} \right) \right] \text{ pour } \frac{h}{w} \leq 1$$

Calcul de l'extension de la longueur patch donnée par la relation

$$L = \frac{c}{2f\sqrt{\epsilon_e}} - 0.824h \left(\frac{(\epsilon_e + 0.3) + \left(\frac{w}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_e - 0.258) \left(\frac{w}{h} + 0.8\right)} \right) \dots \dots \dots (1.10)$$

Avec :

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \dots \dots \dots (1.11)$$

$$V = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r \epsilon_0 \mu_r \mu_0}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}} = c \quad (1.12)$$

Avec :

c : vitesse de la lumière (3.10^8)/s

f : Fréquence de résonance.

h : La hauteur du substrat diélectrique.

W : La largeur du substrat diélectrique

ϵ : permittivité électrique (F/m).

ϵ_0 : Permittivité diélectrique dans le vide (= $8.85e-12$)

ϵ_r : Permittivité électrique relative du substrat telle que $\epsilon = \epsilon_0 \times \epsilon_r$

μ : perméabilité magnétique (H/m)

μ_0 : Permittivité diélectrique dans le vide (= $4\pi.10^{-7}$)

μ_r : Permittivité magnétique relative telle que $\mu = \mu_0 \times \mu_r$

σ : Conductivité électrique du milieu (S/m)

P : densité volumique de charge

I.3.5. Technique d'alimentation :

Il existe plusieurs techniques pour l'alimentation des antennes micro-rubans, ces techniques peuvent être soit par contact direct soit par couplage, les plus communément utilisées sont l'alimentation par ligne micro-ruban, par sonde coaxiale, par couplage de proximité ou par ouverture.[21]

Alimentation par ligne micro-ruban :

Dans le premier cas, une ligne micro-ruban est directement connectée à l'élément rayonnant comme le montre la Figure I.16. Le point de jonction peut être sur l'axe de symétrie du patch ou complètement décalé pour permettre une meilleure adaptation d'impédance. Ce type d'alimentation est facile à mettre en œuvre et à modéliser, mais peut engendrer un rayonnement parasite qui peut devenir considérable et une bande passante typiquement entre 2 et 5% [22].

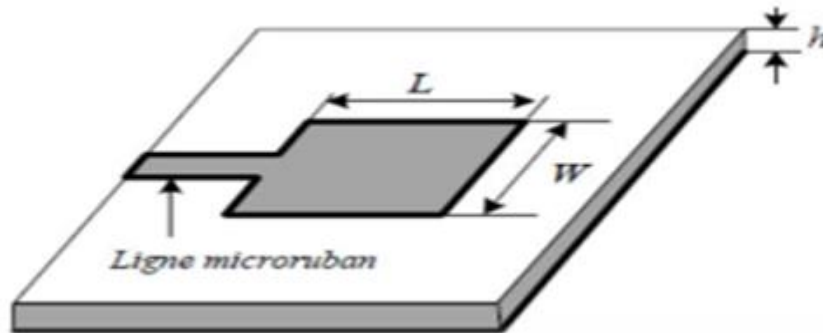


Figure I.16. Techniques d'alimentation. Par ligne micro-ruban [22]

Alimentation par sonde coaxiale

L'alimentation par sonde coaxiale est réalisée par un contact direct de l'élément rayonnant au conducteur central d'une ligne coaxiale, tandis que son conducteur externe est relié au plan de masse Figure I.17. L'adaptation d'impédance est réalisable en déplaçant le point d'alimentation sur le patch. L'inconvénient de ce type d'alimentation réside dans la bande passante étroite et la difficulté de modélisation surtout pour des substrats électriquement épais.

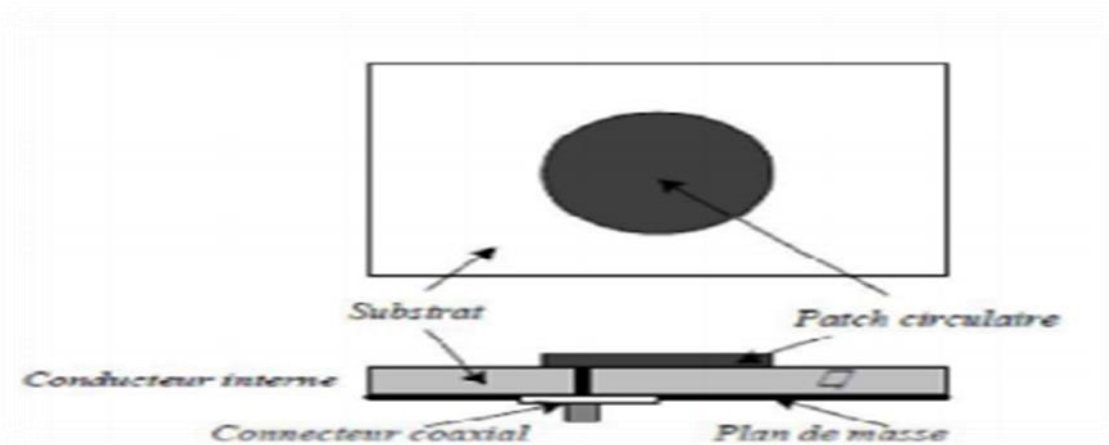


Figure I.17. Techniques d'alimentation, Par ligne coaxiale [22]

Alimentation par couplage par fente

L'alimentation par ligne micro-ruban ou par ligne coaxiale présentent une asymétrie qui génère des modes d'ordres supérieurs produisant un rayonnement de polarisation croisée, pour y remédier à cet état de fait l'alimentation par fente a été introduite. Un couplage électromagnétique est introduit à travers une petite fente réalisée dans le plan de masse qui sépare deux substrats l'un portant l'élément rayonnant et l'autre la ligne micro -ruban comme le montre la Figure I.18. Cette configuration permet une optimisation indépendante entre la ligne d'alimentation et le patch, facile à modéliser et présente un rayonnement parasite modéré. Cependant, elle est la plus difficile à mettre en œuvre et présente une bande passante étroite.[23]

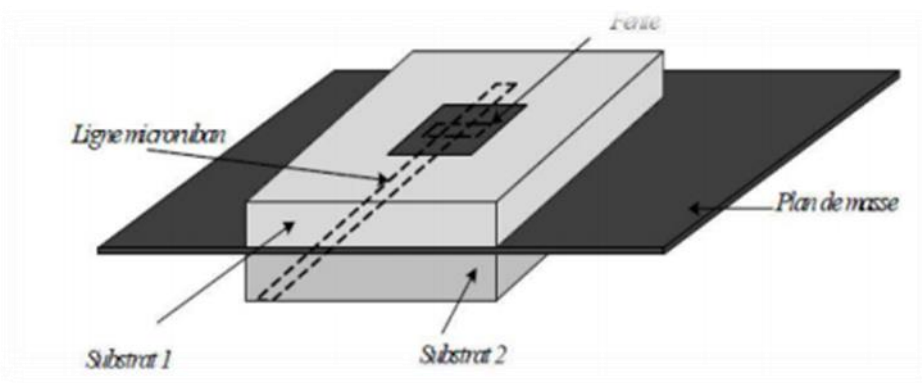


Figure I.18. Techniques d'alimentation. Par couplage par fente[22]

Alimentation par couplage de proximité

La meilleure bande passante pouvant atteindre 13% est réalisable en utilisant l'alimentation par couplage de proximité illustrée par la Figure I.19. L'avantage de cette technique d'alimentation réside dans l'affaiblissement du rayonnement parasite et la facilité du couplage, ce dernier peut être optimisé par l'ajustement des dimensions de la ligne. Cependant elle est très difficile à mettre en œuvre.

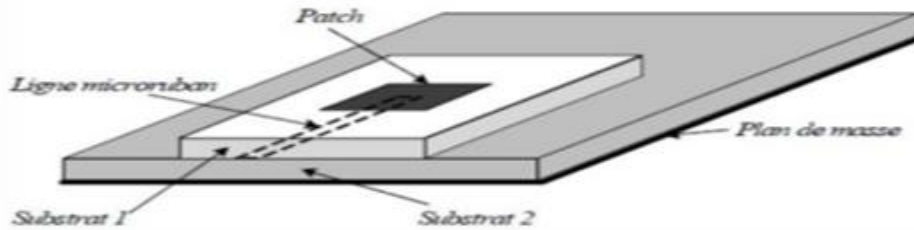


Figure I.19. Techniques d'alimentation. Par proximité[22]

I.3.6. Technique d'adaptation :

Adaptation par encoche :

L'adaptation par encoche consiste à réaliser une encoche dans le patch et insérer la ligne d'alimentation d'une impédance caractéristique de 50 Ohms à une profondeur où l'impédance de l'antenne est égale à 50 ohms. Les dimensions des encoches sont données par la relation :[24]

$$Y_0 = \frac{L}{\pi} \arccos \left(\frac{R_{\text{désiré}}}{R_{\text{in}}} \right)^{1/2} \dots\dots\dots(1.8)$$

Où:

$R_{\text{désiré}}$: Résistance d'entrée désirée (50 Ω dans notre cas).

R_{in} : Résistance d'entrée au bord du patch (), elle est donnée par :

$$R_{\text{in}} = \frac{1}{2G} \dots\dots\dots(1.9)$$

Où G représente la conductance d'une des fentes rayonnantes (en Siemens), elle s'écrit en fonction de nombre d'onde k, la largeur de patch W et l'épaisseur du substrat h comme suit :

$$G = \frac{w}{120\lambda_0} \left[1 - \frac{(kh)^2}{24} \right] \dots\dots\dots(1.10)$$

Dans notre exemple on a réalisé une antenne avec l'encoche et on a lancer la simulation du coefficient de réflexion représentée sur la figure 1.20

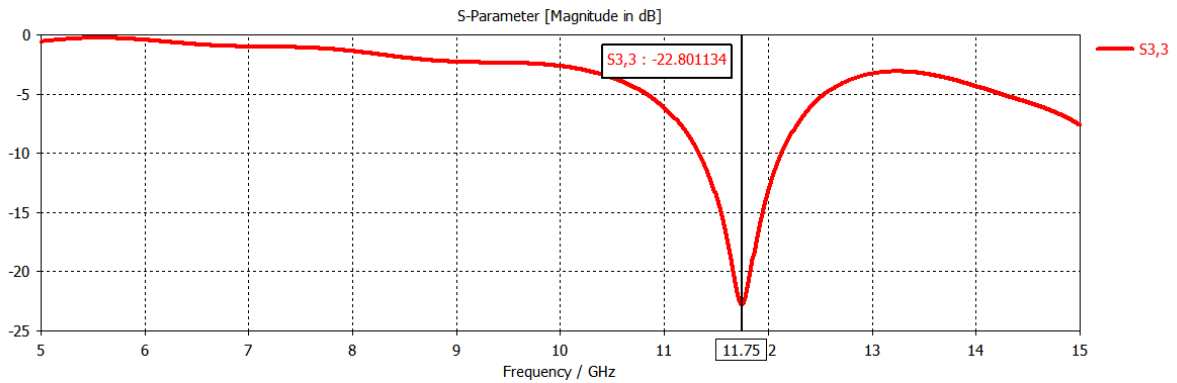


Figure I.20 : Coefficient de réflexion à l'entrée d'une antenne patch adaptée en fonction de la fréquence.

Adaptation par ligne quart d'onde

Dans la construction de circuits hyperfréquences, on recherche souvent l'adaptation, c'est à dire à se ramener à une impédance différente (qui est souvent l'impédance caractéristique) de celle obtenue en fin de circuit [25]

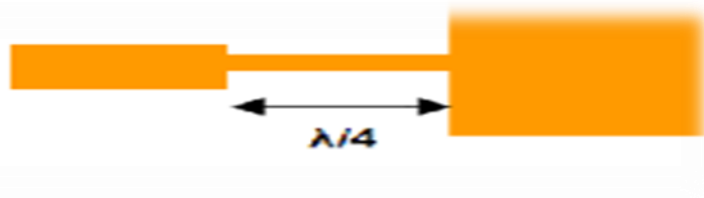


Figure I.21 : Adaptation par quart d'onde[25].

I.3.7. L'alimentation d'un réseau d'antennes :

Il existe deux façons d'alimenter un réseau, soit en série (Figure I.22), soit en parallèle (Figure I.23) . Pour une alimentation en série, les éléments rayonnants sont reliés en chaîne les uns aux autres par des tronçons de ligne microruban.[26]

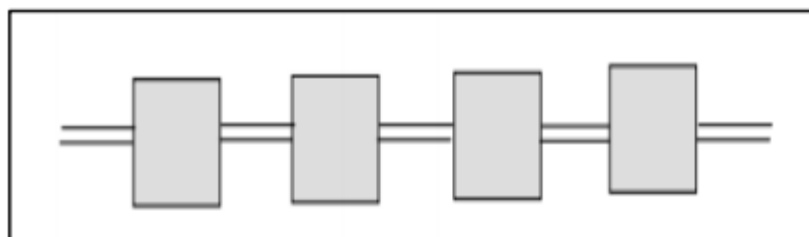


Figure I.22 – Alimentation sériée d'un réseau d'antennes[26]

Chapitre I: Généralité sur les antennes

Pour l'alimentation en parallèle, 2^n éléments rayonnants sont alimentés en parallèle par n étages de 2^{m-1} diviseurs de puissance à chaque étage m . Pour une adaptation correcte avec des pertes minimales, des diviseurs de type Wilkinson sont utilisés.

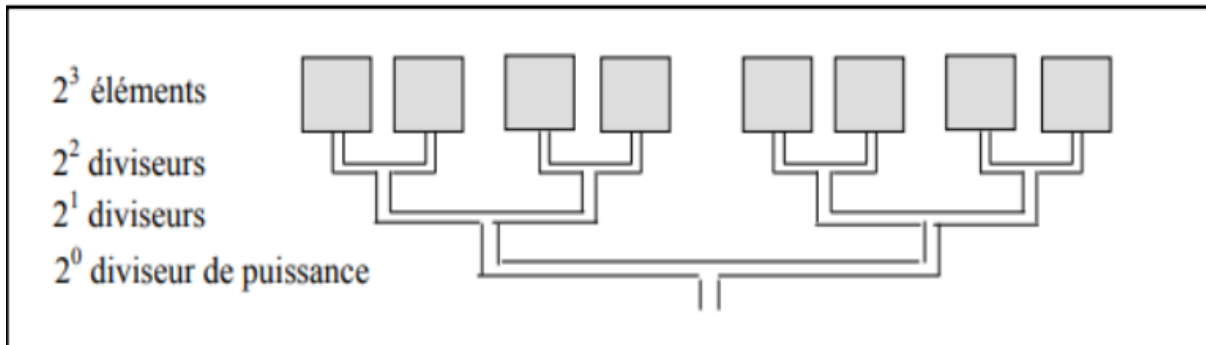


Figure I.23– Alimentation parallèle d'un réseau d'antennes [26]

I.3.8. Les applications de l'antenne imprimée :

Remplacer les antennes classiques par des antennes patches avec des performances équivalentes est le souci principal des concepteurs des systèmes de télécommunication, vu le besoin et les exigences du marché industriel. Il existe différentes applications réussies démontrant la possibilité de cette transition [27] :

- ❖ Télécommunication satellitaires.
- ❖ Commande et contrôle.
- ❖ Télémétrie (télémesure) par missile.
- ❖ Équipements portatifs.
- ❖ Éléments d'alimentation dans les antennes complexes.
- ❖ Antenne d'émission utilisée en médecine.

I.3.9. Avantages et inconvénients. [28]

Avantage :

- Faible poids, encombrement réduit, configurations conformes possibles.
- Faible coût de fabrication, production en masse possible.
- Polarisation linéaire et circulaire pour les télécommunications.
- Antennes multi bandes, multi polarisations possibles.
- Compatibilité avec les circuits hybrides et MMIC (Microwave monolithic integrated circuit).
- Réseaux d'alimentation et d'adaptation fabriqués simultanément avec l'antenne.

- Simplicité de leurs structures.
- Faible volume.
- Faible épaisseur.

Inconvénient

- Bande passante souvent étroite de l'ordre de 1 à 5% (pour les éléments résonants de géométrie simple) .
- Généralement faible gain.
- Facteur de qualité Q élevé, va d'environ 50 jusqu'à 75.
- Supportent uniquement des faibles puissances.
- Rendement limité de surface.
- Problèmes de tolérances de fabrication si les motifs imprimés sont petits.
- Risque de rayonnement parasite dû aux jonctions avec l'alimentation ou à la limitation du plan de masse.
- Difficulté d'élaborer des antennes à haute pureté de polarisation.

I.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons représenté le rôle et l'évolution technologique des patchs ainsi que les avantages et inconvénients des antennes imprimées. Nous avons montré l'influence de quelques paramètres, les méthodes d'alimentation sur les caractéristiques de ces antennes. Nous avons également présentées les différents domaines d'application.

Chapitre II:

Les satellites

Chapitre II: Les satellites

II.1. Introduction :

La technologie satellitaires est un élément spatial qui pour rôle de produire ou relayer des données vers différents récepteur terrestres.

dans ce chapitre on vas commencer par une petite histoire d'un satellite , définition d'un satellite ainsi le principe et domaine d'application après sa en termine par la technologie

II.2. Historique:

La conquête de l'espace est une passion qui a depuis longtemps fasciné l'esprit des savants. Par contre l'idée de placer un objet en orbite autour de la terre a commencé à germer seulement au début de ce siècle. Il a fallu attendre 1945 pour que le concept de satellite voie le jour. C'est le britannique Arthur C. Clarke qui introduit le premier, le concept de communication par satellite.

Le 4 octobre 1957, l'Union Soviétique lance le premier satellite artificiel : Spoutnik 1,2 (figure II-1). Ce satellite était une simple sphère métallique d'un diamètre de 58 cm équipée d'un simple émetteur radio [29].

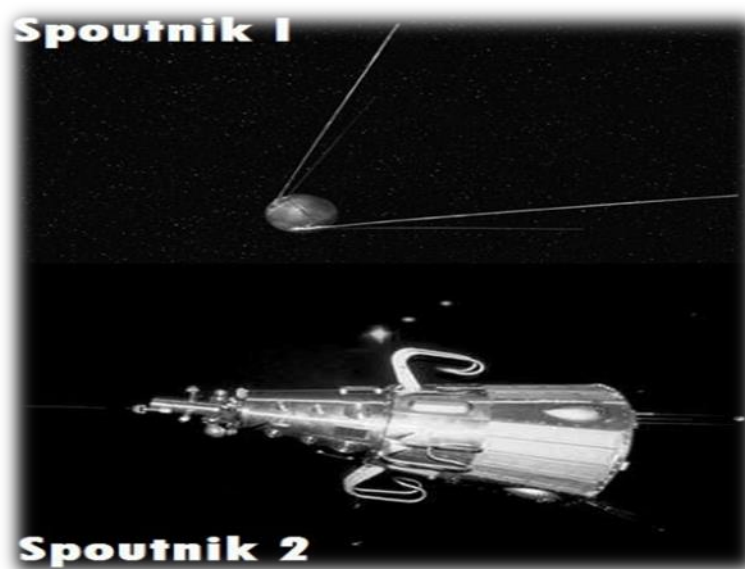


Figure II.1 premier satellites spoutnik 1,2 [29]

II.3 .Notion de base :

II. 3.1 .Définition satellites :

Le satellite est naturellement la partie centrale du réseau utilisant des éléments actifs. C'est un émetteur/récepteur sans fil (Wireless) qui peut être utilisé pour plusieurs services de communications et qui est lancé par un moteur spécial pour le mettre en orbite autour de la terre. Il est constitué d'une charge utile et d'une plate forme. La charge utile comporte les antennes de réception et d'émission, et l'ensemble des équipements électroniques assurant la transmission des signaux. Il dispose aussi d'équipements assurant les fonctions suivantes:

- Alimentation en énergie
- Commande d'orientation
- Maintien sur orbite
- Régulation thermique des équipements [30]

On distingue deux sortes de satellites, les satellites actifs et les satellites passifs.

II.3.1.1. Les satellites passifs :

Ils servent de réflecteur, ils n'agissent pas sur le signal à transmettre. Le signal est reflété par le satellite dans toutes les directions et peut donc être reçu n'importe où dans le monde. La capacité de ces satellites est très restreinte car ils nécessitent des émetteurs puissants et de grandes antennes au sol. Les premiers satellites de communication étaient des satellites passifs.[31]

II. 3.1.2 Les satellites actifs :

Ce sont les satellites les plus utilisés aujourd'hui. Tout d'abord ils reçoivent le signal émis par l'antenne. Ensuite ils amplifient, filtrent, changent de fréquence (pour éviter les interférences) du signal pour le retransmettre dans une zone précise du globe. [31]

II.3.2. Orbit :

Trajectoire courbe d'un corps céleste naturel ou artificiel ayant pour foyer un autre corps céleste.

- Apogée : le point le plus haut du satellite auquel sa vitesse est la plus lente.
- Périgée : Le point le plus bas du satellite auquel sa vitesse est la plus rapide.
- L'inclinaison : c'est l'angle formé entre le plan orbital et le plan équatorial. Plus l'angle est important, plus la surface couverte par le satellite est grande [32].

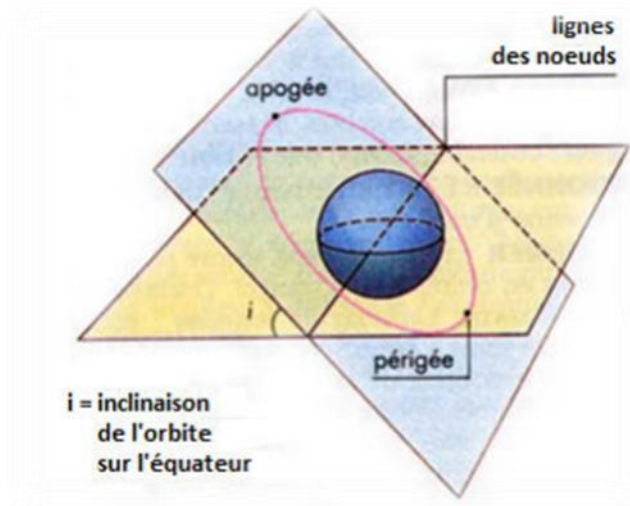


Figure II.2 : Apogée, périhélie et inclinaison.[32]

Les orbites des satellites sont planes et situées dans un plan passant par le centre de la Terre qui peut être le plan équatorial de la Terre, un plan perpendiculaire au plan équatorial (orbite polaire) ou un plan ayant une inclinaison quelconque par rapport au plan équatorial, les orbites elles-mêmes peuvent être dans le plan considéré, circulaires ou elliptiques et à des altitudes (ou des apogées) très différentes. Il faut cependant noter que les orbites elliptiques utilisées autrefois par l'URSS et le Canada ne sont plus considérées aujourd'hui [33].

II.3.2.1 Les Types d'Orbites :

a. Orbites hautes (HEO) :

Ce sont des orbites elliptiques d'altitude d'environ 500 Km et d'une apogée à une altitude d'environ 50000 Km ces orbites ont une inclinaison de 63° afin de pouvoir communiquer avec des zones de l'hémisphère nord [33].

b. Orbites géostationnaires (GEO) :

Les orbites géostationnaires ont une orbite circulaire de 42164 Km de rayon dans un plan voisin de l'équateur et leur vitesse angulaire est égale à celle de la rotation de la Terre.

c. Orbites moyennes (MEO) :

Les orbites moyennes ont une altitude environ 10000 Km et une inclinaison d'environ de 50° , la période de révolution de ces satellites est de 6H, et avec une constellation de 10 à 15 satellites pour assurer une couverture globale de la Terre.

Chapitre II: Les satellites

d. Orbites basses (LEO) :

Ce sont des orbites qui se situent a une altitude comprise entre quelques centaines de kilomètres et 2000 Km de la surface de la terre avec un délai de propagation du signal est de l'ordre des 10 à 20ms.

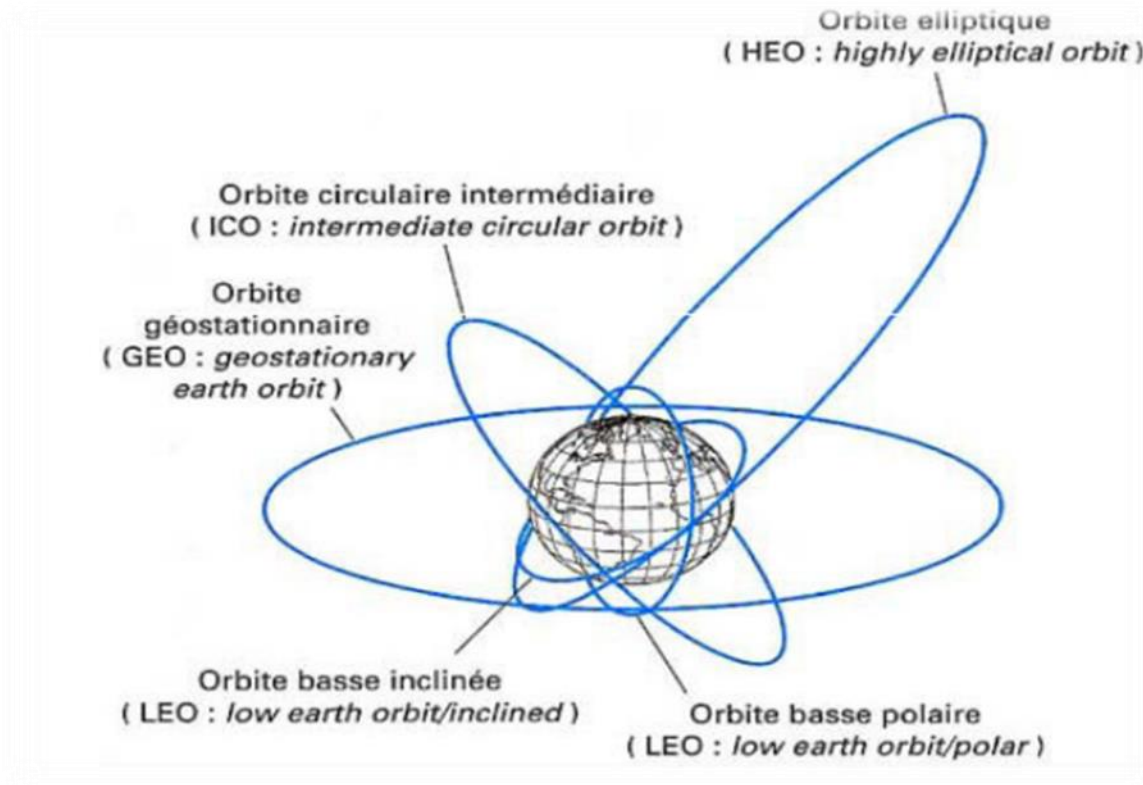


Figure II.3 les types des orbites [33]

II. 4. Les étapes de mise un satellite dans son Orbites:

• il faut procéder en quatre étapes [34] :

1. allumage du moteur à l'instant où le satellite est à l'emplacement désiré pour le périégée de l'orbite de transfert.
2. parcours inertiel sur l'orbite
3. réallumage du moteur à l'apogée de l'orbite pour circulariser celle-ci.
- 4 Le positionnement relatif des satellites sur l'orbite finale peut se faire par des choix différents du moment d'allumage du moteur selon le satellite concerné.

II.5. Liaison de satellitaires : [35]

Une liaison de communication par satellite est illustrée par la Figure II.4. Les différents paramètres importants pour la conception d'une liaison sont définis ci-dessous.

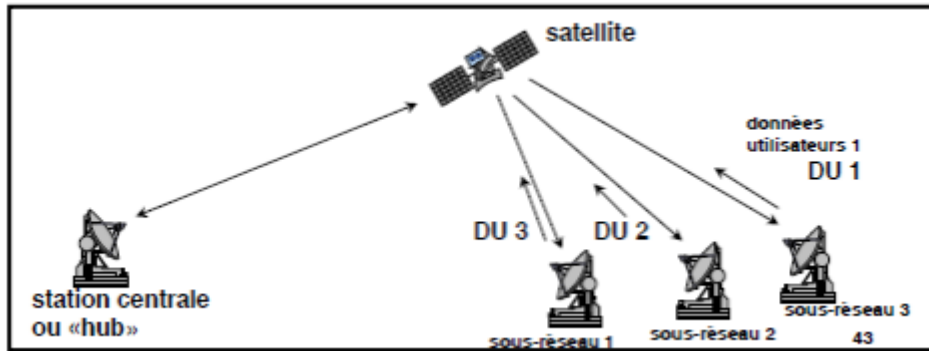


Figure II.4 : Configuration d'un lien de communication par satellite.[35]

II.5-1. 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.

II.5.2. EIRP (Equivalent Isotropic ally Radiated Power):

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. Il est souvent utilisé comme indice de la capacité de transmission d'une station de base.

$$EIRP = P_t \cdot G_t \text{ [W]} \dots (2. 1)$$

II.5.3. 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 :

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

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

Chapitre II: Les satellites

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

II.5.4. 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.

II.5.5. 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 ($k = 1.38 \times 10^{-23}$ j/ K). La température T qui correspond à ce bruit thermique est appelée température de bruit.

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

$$[N_0]dB = 10 \times \log(k) + 10 \times \log(T) = -228,6 + 10 \times \log(T)dB/HZ \dots \dots \dots (2. 5)$$

II.5-6. Bilan de Liaison :

La grandeur intéressante pour l'évaluation de performances de la liaison est le rapport signal sur bruit SNR. Pour la transmission numérique, la probabilité d'erreur sur les symboles binaires reçus doit être raisonnable, compte tenu de 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 [36].

$$SNR = \frac{P_r}{N} = \frac{EIRP.GR}{NL} = \frac{EIRP.GR}{BNL} \dots \dots \dots (2. 6)$$

Chapitre II: Les satellites

$$N_0 = \frac{N}{B} \dots \dots \dots (2. 7)$$

$$\frac{PR}{N_0} = \frac{EIRP \cdot \frac{G_r}{T}}{K L_{tot}} \dots \dots \dots (2. 8)$$

- 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
- G_r / T représente la figure de mérite.

II.6. La structure d'un satellite :[34]

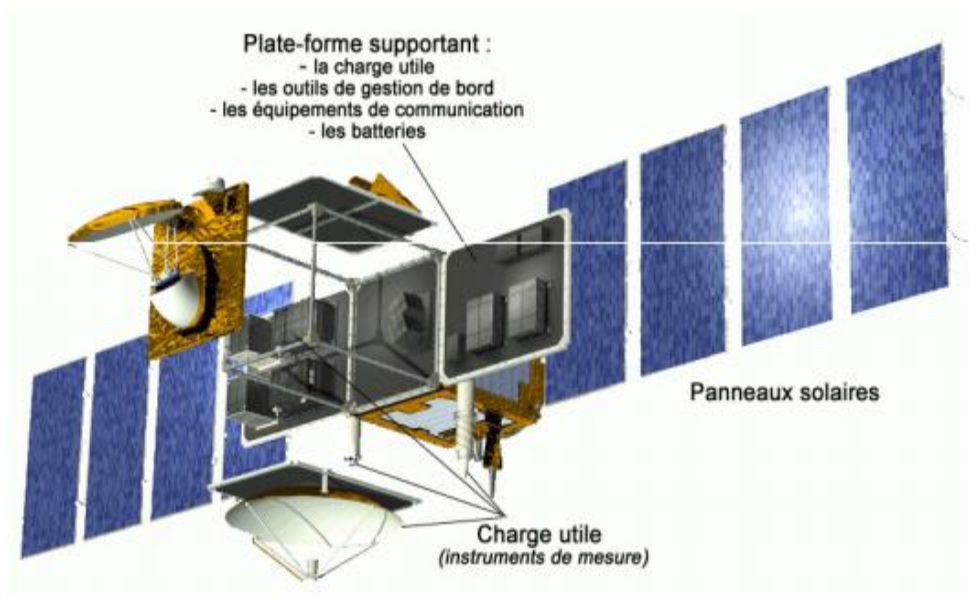


Figure II.5 structure d'un satellite [34]

II.7. Les domaines d'applications des satellites

Les domaines d'application sont très variées Les plus importants d'entre eux sont :

- Météorologie
- Télécommunications
- Navigation maritime et aérienne

Chapitre II: Les satellites

- Télédétection des Ressources terrestres
- Océanographie
- Géodésie

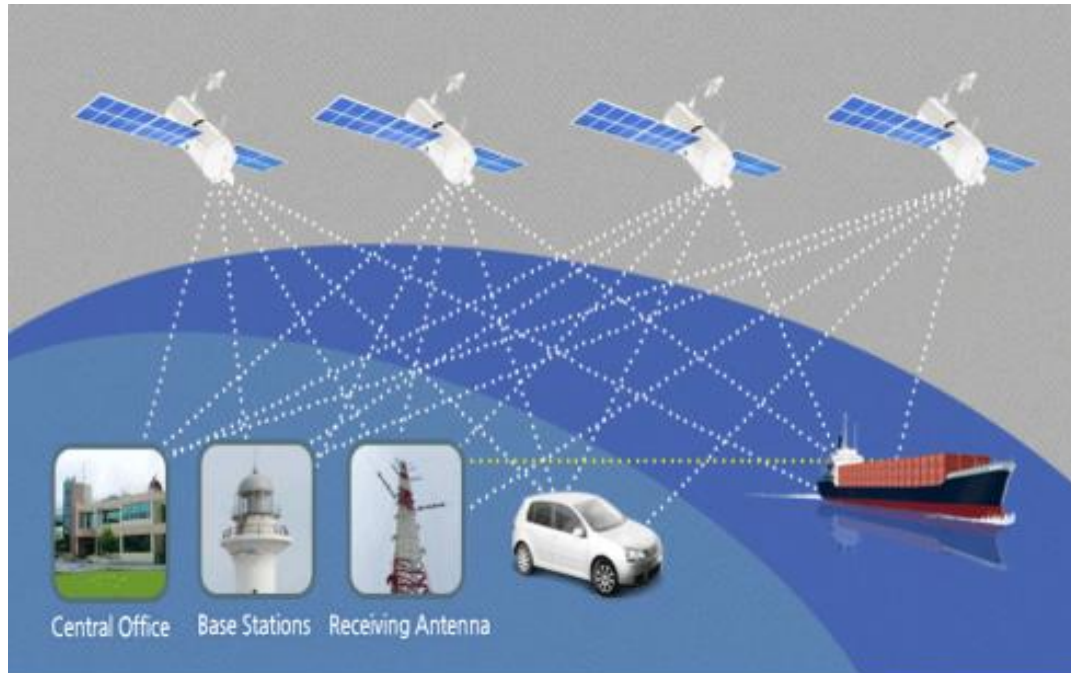


Figure II.6. L'application des satellites[34]

II.8. Architecture d'un système de communication par satellite [37]

Un système de télécommunication par satellite est décomposé en deux principaux secteurs :

- Le secteur spatial
- Le secteur terrien.

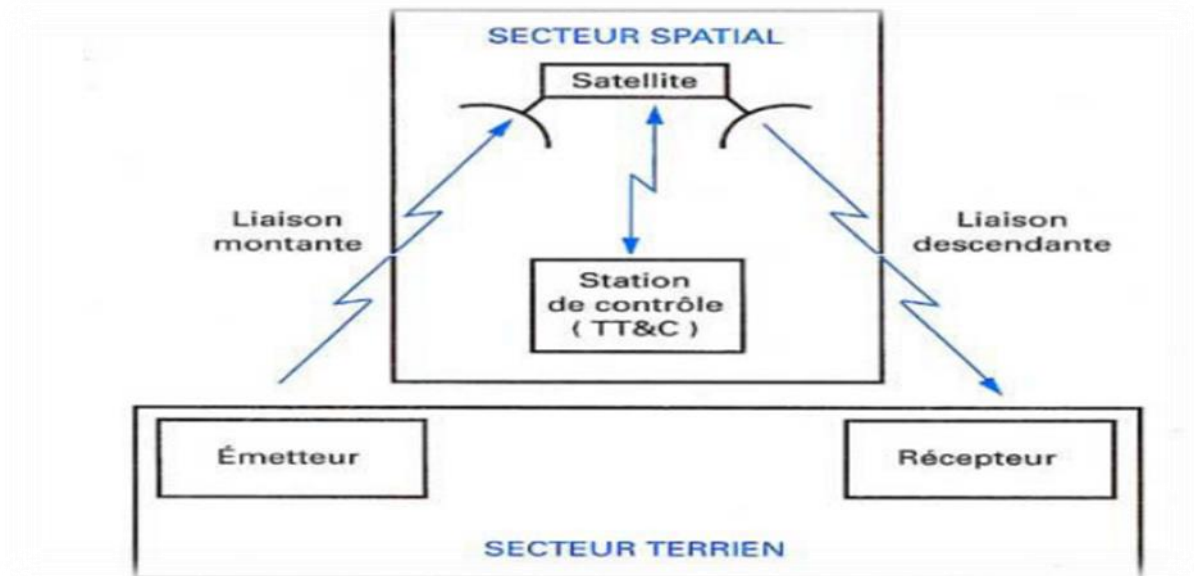


Figure II.7.architecture d'un système de communication par satellite[37]

➤ **Le secteur spatial** : est constitué de:

- Satellite,
- Centre de contrôle du satellite, où sont décidées toutes les opérations liées au maintien opérationnel, et où sont vérifiées les fonctions vitales du satellite.

➤ **Le secteur terrien** : L'ensemble des stations terriennes:

- Se distinguent par leur taille, qui varie selon le volume de trafic à acheminer sur la liaison spatiale,
- Et selon le type de trafic (téléphone, télévision, données, etc.).

Les plus grands sont équipés d'antenne de 30 mètres de diamètre, et les plus petites antennes ont un diamètre de 0.6 mètre (cas de la réception TV).

- Certaines stations sont en même temps émettrices et réceptrices.

II. 9. Principe de transmission [37]

❖ Les ondes radioélectriques porteuses émises par les stations terriennes sont reçues par le satellite et réparties dans les différents canaux selon leur fréquence grâce aux filtres d'entrée de canal.

Le canal d'un satellite a un taux reçu pour les retransmettre sur la liaison descendante.

– Changer la fréquence de l'onde porteuse.

II.10. Système de réception émission VSAT (very Small aperture terminal)[38]

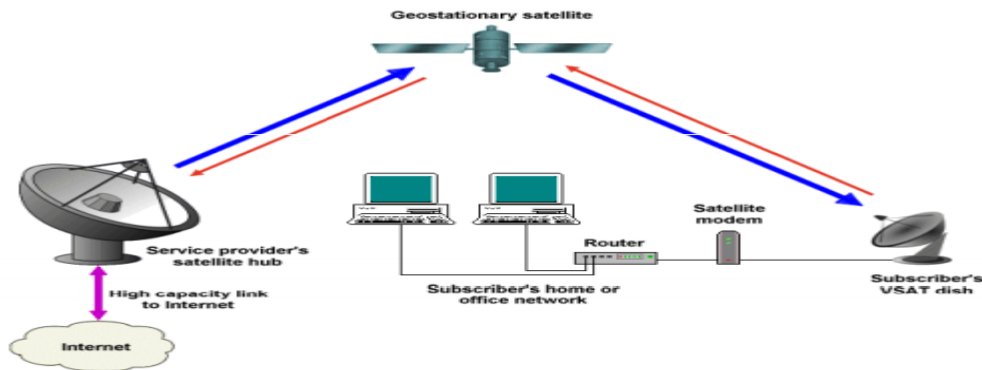


Figure II.8 : système de réception émission VSAT [38]

- terminal à très petite ouverture
- désigne une technique de communication bidirectionnelle par satellite
- utilise au sol des antennes paraboliques directives dont le diamètre est inférieur à 3 mètres (0.75m et 1.2 m) et visent un satellite géostationnaire.

Le VSAT est constitué de trois parties principales, à savoir :

- le hub : il s'agit du cœur du réseau. Le hub, installé au sol, dispose d'une antenne ayant un diamètre compris entre 7 m et 9 m ayant le même principe de fonctionnement qu'une station terrestre.
- le satellite : c'est un relais hertzien.

II.11. Les applications VSAT :

Est un système qui est prévu pour mettre en place des réseaux de données. Mais depuis son apparition dans les années 80, des améliorations ont été apportées au système et les constructeurs ont réussi à augmenter considérablement le nombre d'applications possible avec un réseau de ce type.

Les terminaux VSAT possède des Slots permettant d'accueillir des cartes de différentes natures:

- Cartes réseaux : X25, FR, ATM, Ethernet, ...
- Cartes multimédia: Visioconférence, Streaming vidéo
- Cartes de communication: lignes analogiques, lignes numériques, ports séries

Chapitre II: Les satellites

II.12. Les avantages et Les inconvénients de la technologie VSAT [29]

Les avantages

Le VSAT est un système qui permet de connectés 10 000 points simultanément au réseau. Cette technologie permet aux grands groupes de mettre en place un global intranet sur plusieurs continents totalement privé sans avoir à traiter avec les opérateurs de chacun des pays dans lequel le groupe est implanté.

L'évolutivité est aussi un des gros avantages de ce système. En effet, connecter un nouveau point, ne demande pas de gros moyens techniques et financiers.

En moyenne, une station VSAT coûte dans les 4 000 € et il ne faut pas plus de quelques heures à un technicien pour mettre en place la connexion. Ce système permet également d'installer une station sur une unité mobile; une fois que le modem VSAT est configuré, il faut juste pointer l'antenne dans la bonne direction. Comme il déjà été dit, le hub est le point central de tout le réseau, et en assure la gestion complète. Ceci permet donc de gérer et superviser l'ensemble du réseau d'un seul et même point. Dans la mesure où toutes les connexions sont du même type, on se retrouve avec un réseau homogène. Ceci permet d'utiliser toujours le même type de matériel et ainsi de n'avoir que peu de pièces de rechange et d'être sûr d'avoir les bonnes pièces ce qui n'est généralement pas le cas avec les réseaux filaires. Le fait d'utiliser un satellite géostationnaire pour la couverture permet d'avoir une large couverture (en moyenne presque un hémisphère). Ceci rend possible la création rend réseaux global intranet à une échelle intercontinentale très rapidement.

Les inconvénients :

Le principal inconvénient du VSAT est son prix. En effet, le hub qui est l'élément central du réseau impose un investissement de base important: environ 1 M€. Cette barrière financière relativement importante limite l'accès à la technologie. En effet, actuellement seul de gros groupes peuvent investir de telles sommes en un seul coup. La couverture d'un satellite géostationnaire à quelques exceptions près est fixe. Ceci veut dire que lorsqu'on a choisi un satellite, si une zone où un point doit être connecté prochainement n'est pas couverte, elle ne le sera jamais avec ce satellite. Alors que les réseaux filaires évoluent régulièrement ce qui laisse possible l'expansion d'un réseau dans des zones qui actuellement ne sont pas desservies. Le fait que toutes les communications passent par le hub veut dire que si le hub tombe en panne tout le réseau est paralysé et plus une communication ne peut se faire. Pour palier à cet

Chapitre II: Les satellites

inconvenient, le hub a été conçu avec des matériels de séparé pour le système continue à fonctionner même si un équipement tombe en panne.

II.13. Conclusion :

Dans ce chapitre, on a vu que Les satellites ont joué un rôle important dans les réseaux de communication, Les réseaux satellitaires sont ainsi capables de prendre en charge un grand nombre d'applications, ayant des avantages comme la diffusion naturelle et la facilité de déploiement.

Chapitre III :
Résultats de la simulation

Chapitre III: Résultats de la simulation

III.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous avons conçu une antenne patch simple rectangulaire avec encoche à substrat FR-4 (lossy) alimentée par une ligne micro ruban. Ensuite un nouveau design après un réseau d'antenne de quatre éléments et huit éléments reliés en parallèle on va utiliser l'outil de simulation électromagnétique dans le domaine CST MICROWAVE STUDIO .

III.2 Définition :

CST MICROWAVE STUDIO est un outil spécialisé pour la simulation et la conception électromagnétique à trois dimensions (3D) des composants hautes fréquences.[39]

III.3 Spécification technique :

La fréquence de résonance	11.75Ghz
Substrat	FR-4
Permittivité	4.3
La hauteur	1.6 mm
Tangente de perte	0.025

Tableau III. 1 : cahier de charge

Simulation d'une antenne simple :

Paramètre	L PATCH	WPATCH	LSUB	WSUB	L LIGNE	Wligne
Valeur	5.5	7.8	21.78	17.4	6.68	3.04
(mm)						

Tableau III.2-Paramètres de l'antenne

La méthode de calcul est la page 15 .

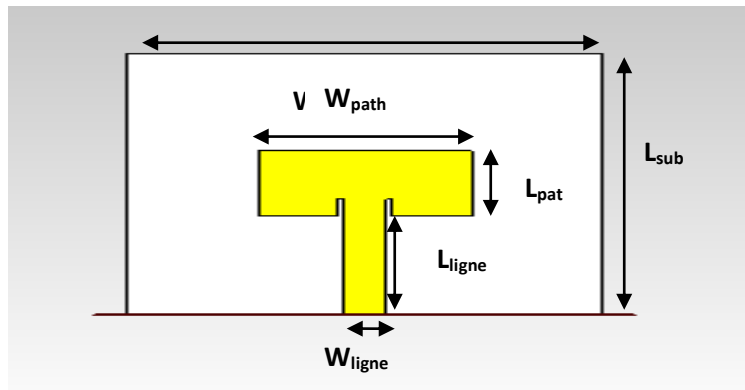


Figure III.1 : Antenne simple

III.4 Résultats de simulations :

Nous allons représenter le coefficient de réflexion $S_{1,1}$ sur la Figure III-2 qui va nous permettre de visualiser le niveau d'adaptation de l'antenne dans la bande passante sur la fréquence de résonance 11.75 GHz désirée pour cette antenne avec une ligne micro ruban simple.

Coefficient de réflexion et La bande passante après simulation l'antenne :

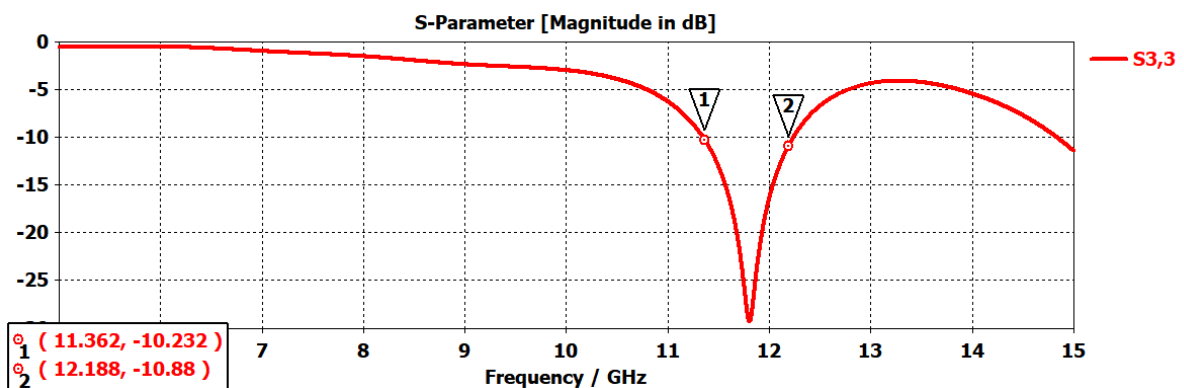


Figure III.2 : Coefficient de réflexion et La bande passante

Chapitre III: Résultats de la simulation

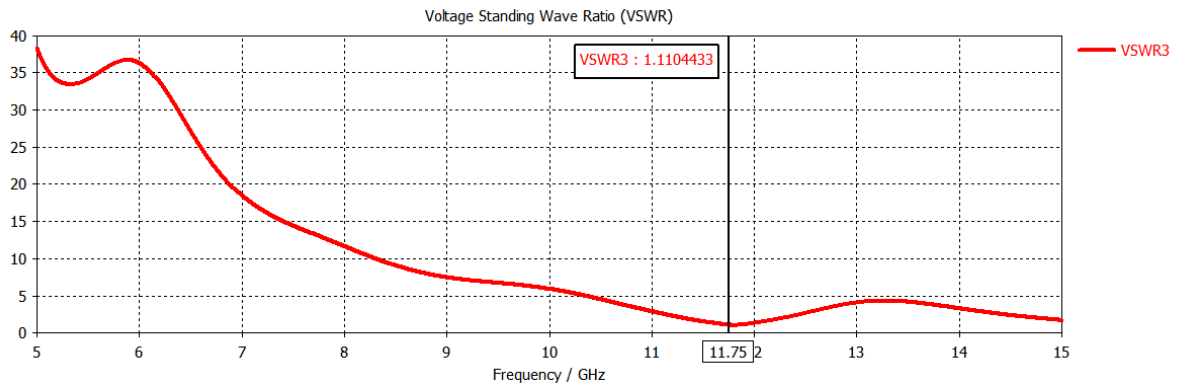


Figure III.3 : Taux d'onde stationnaire (TOS)

La courbe VSWR simulée de l'antenne patch conçue est représentée sur la Figure III.3. Le VSWR d'antenne simple égale 1.11 à fréquence 11.75 GHz, ce qui montre une bonne adaptation d'impédance entre l'antenne et la ligne de transmission.

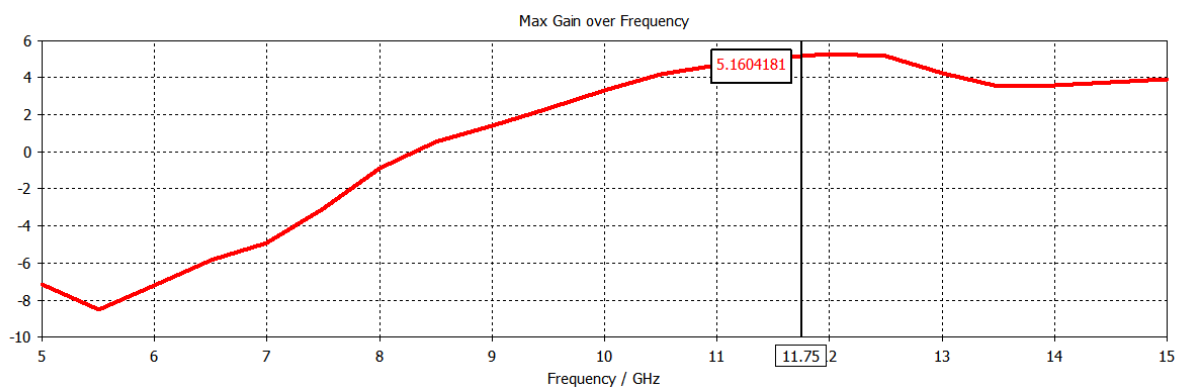
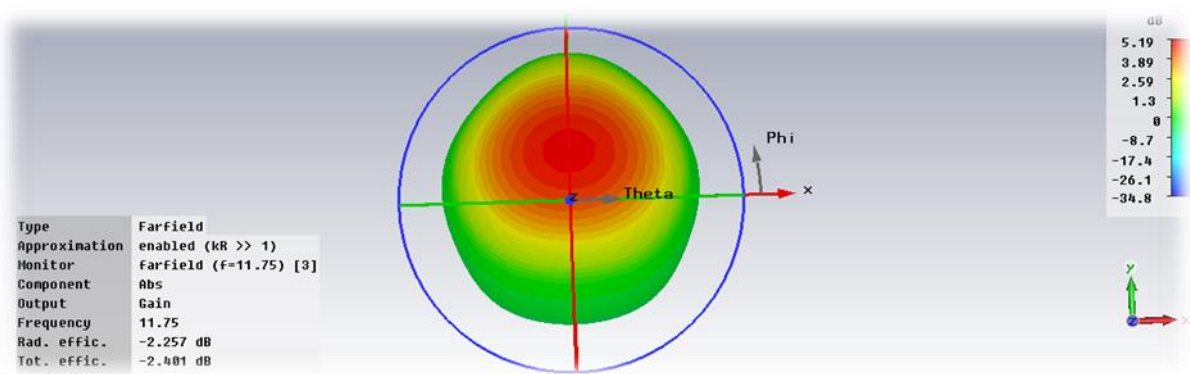


Figure III.4 : Le gain en fonction de fréquence

On remarque que le gain varie par rapport à la fréquence et à 11.75GHz atteint le maximum 5.16dBi.



Chapitre III: Résultats de la simulation

Figure III.5 : Diagramme de rayonnement 3D de l'antenne

Ce lobe de rayonnement contenant le maximum d'énergie et de direction maximal de rayonnement la directivité égale à 5.19, dont la fréquence de résonance est égale à 11.75GHz.

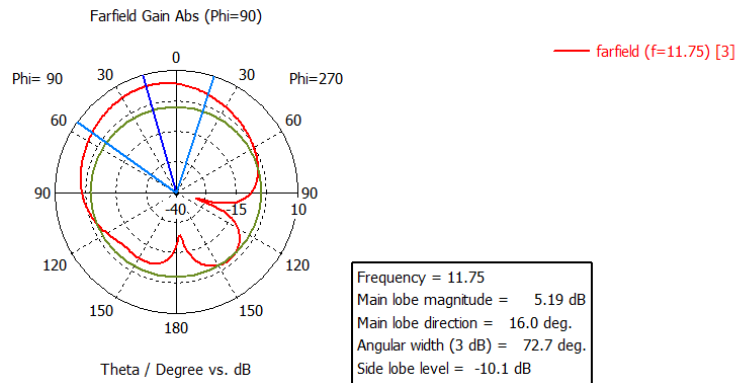
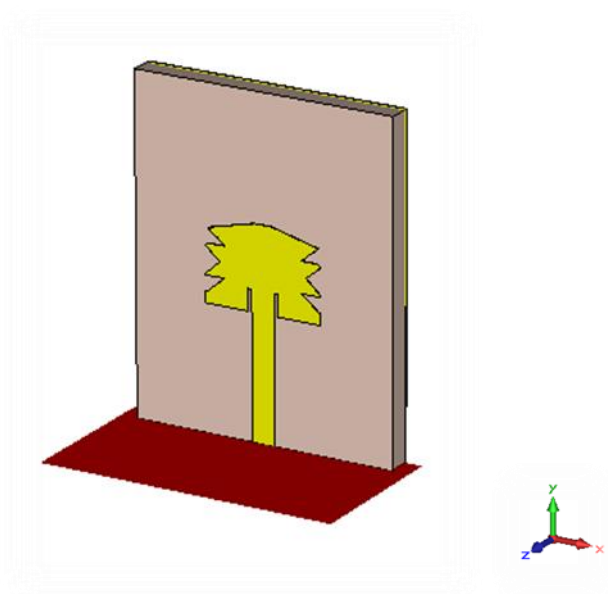


Figure III.6 : Diagramme de rayonnement polaire en fonction de θ

On voit que la direction sur la Figure III.6 est en 16.0deg donc l'antenne n'est pas directive et on constate que le lobe secondaire devient important -10.1dB. (Sectorielle)

III.4.1 Simulation d'un nouveau design d'antenne



Chapitre III: Résultats de la simulation

Figure III.7 : Nouveau design d'antenne rectangulaire

III.4.1.1 Résultats de la simulation d'un nouveau design :

La nouvelle structure d'antenne patch est composée d'un patch et un substrat de type FR-4 (lossy), de permittivité relative de 4.3 d'épaisseur de 1.6mm, une ligne microruban ayant un port d'alimentation de 50 Ohm.

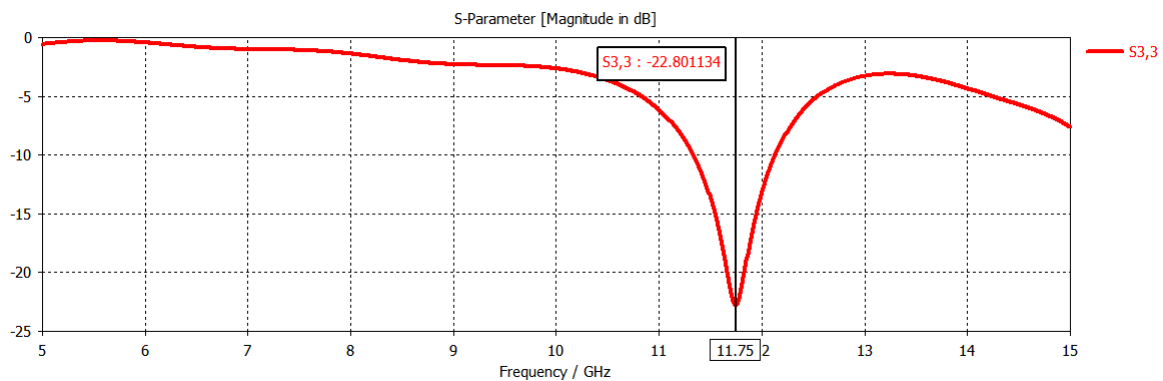


Figure III.8: Coefficient de réflexion après simulation d'une nouvelle structure d'antenne

la Figure III.8 exprime le coefficient de réflexion $S_{1,1} = -22.8$ dB, qui va nous permettre de visualiser le niveau d'adaptation d'une nouvelle structure d'antenne sur la fréquence de résonance désirée 11.75 GHz pour cette antenne avec une ligne micro ruban simple.

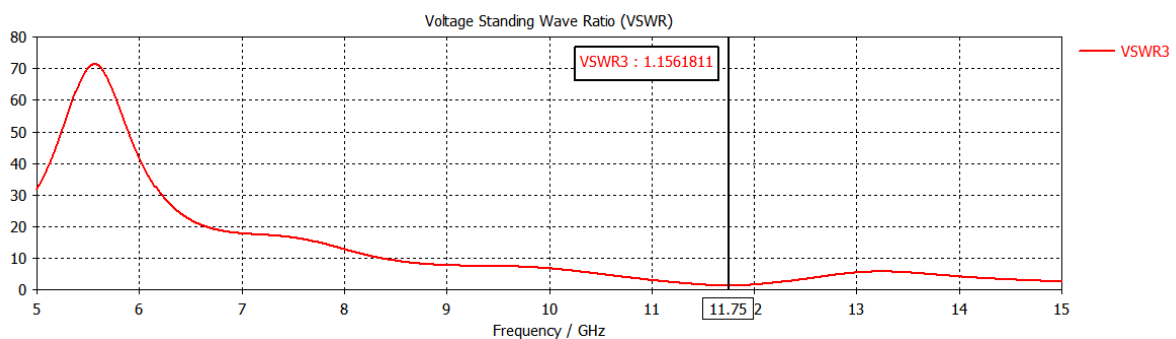


Figure III.9 : Taux d'onde stationnaire d'un nouveau design

On remarque sur la figure III.9 que VSWR est inférieur à 2. Ce qui montre une bonne adaptation à fréquence 11.75 GHz

Chapitre III: Résultats de la simulation

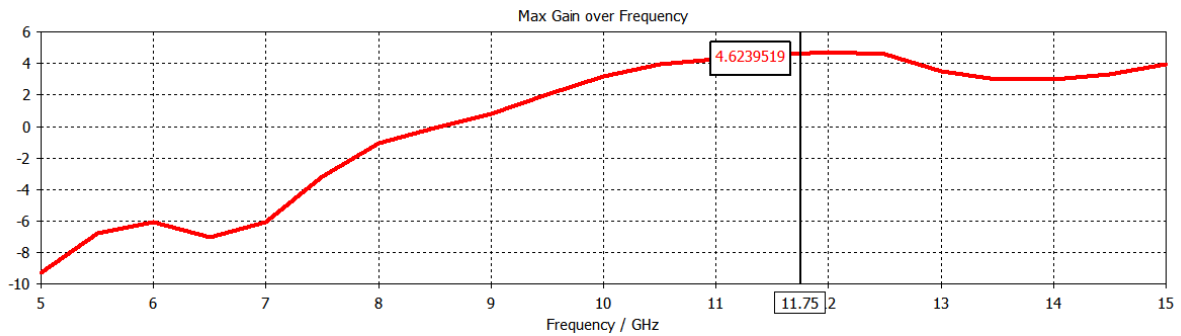


Figure III.10 : le gain d'une nouvelle structure

La figure III.10 représente le gain à fréquence de résonance 11.75 GHz d'une nouvelle structure d'antenne. Le gain est égal à 4.62 dBi et est supérieur à celui d'une antenne simple.

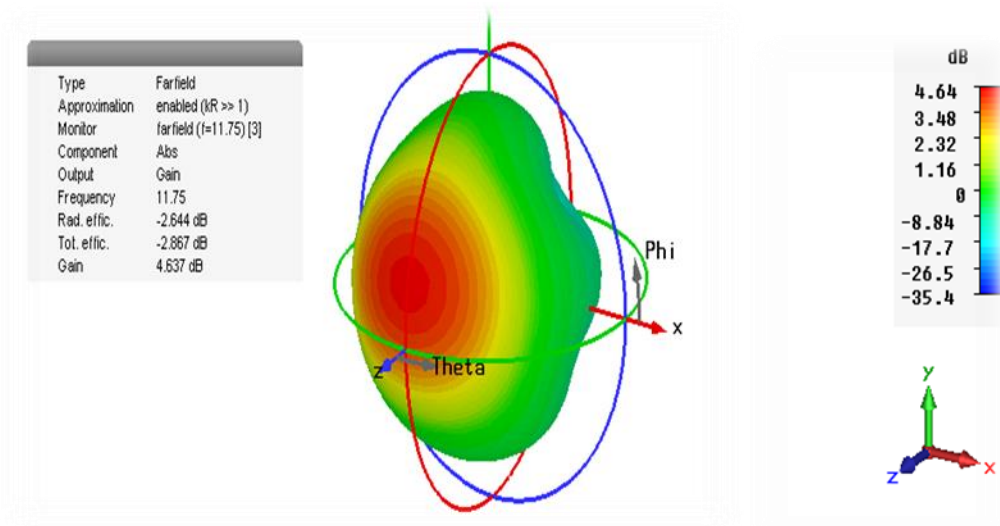


Figure III.11 : Diagramme de rayonnement 3D de l'antenne nouveau design

Ce lobe de rayonnement contenant le maximum d'énergie et de direction maximale de rayonnement a une directivité égale à 4.64, dont la fréquence de résonance est égale à 11.75 GHz. Le rayonnement est directionnel dans le plan (x, y, z).

Chapitre III: Résultats de la simulation

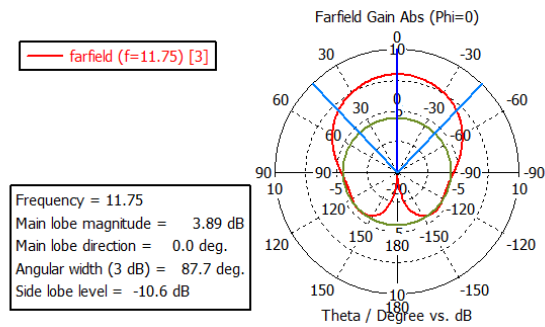


Figure III.12 : Diagramme de rayonnement polaire en fonction de θ d'un nouveau design.

Le diagramme de rayonnement de l'antenne tracé pour les différents plans à la fréquence 11.75 GHz est représenté par la figure III.12 on remarque à -3dB angle de ouverture et 87.7 deg et lobe secondaire -10.6dB.

III.4.2 Réseaux de 4 éléments

Pour obtenir un bon résultat au domaine satellitaire on a simulé un réseau d'antenne de (4×1) éléments avec un espacement de $Z=13.66\text{mm}$. $0.4 \lambda < z < 0.9 \lambda$

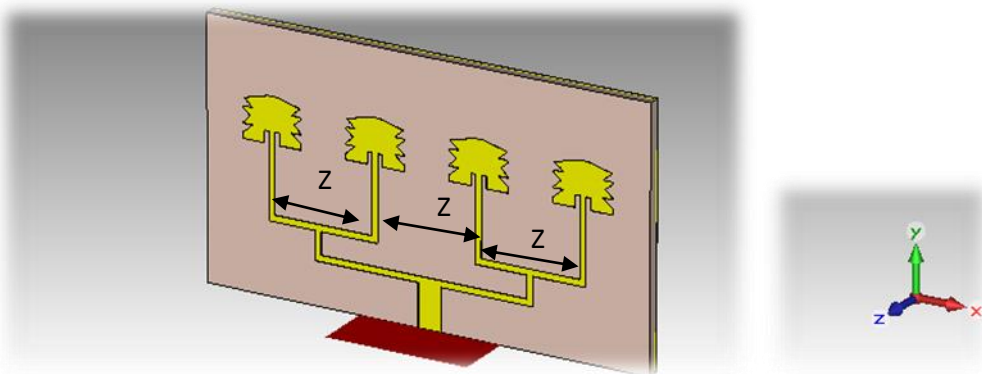


Figure III.13 : réseaux de 4 éléments

La largeur de ligne microruban de 50 (W_0) et la largeur de 100 Ω

la largeur de ligne microruban (W_1) est déterminée en utilisant.[40]

Chapitre III: Résultats de la simulation

$$A=50 \frac{\sqrt{2(\epsilon r+1)}}{120} + \frac{1}{2} \left(\frac{\epsilon r-1}{\epsilon r+1} \right) * \ln \frac{\pi}{2} + \frac{1}{\epsilon r} \ln \frac{4}{\pi}$$

$$A=1.52$$

$$W0 = \frac{8 + \epsilon^A}{\epsilon^{2A} - 2} * h$$

$$W0=3.04\text{mm}$$

$$A=100 \frac{\sqrt{2(\epsilon r+1)}}{120} + \frac{1}{2} \left(\frac{\epsilon r-1}{\epsilon r+1} \right) * \ln \frac{\pi}{2} + \frac{1}{\epsilon r} \ln \frac{4}{\pi}$$

$$A=2.79$$

$$W1 = \frac{8 + \epsilon^A}{\epsilon^{2A} - 2} * h$$

$$W1=0.78\text{mm}$$

Le résultat des calculs de conception et des spécifications pour différentes dimensions de patch, plan de masse et alimentation parallèle de réseau 4x1 pour alimenter la ligne les résultats sur la figure III.14.

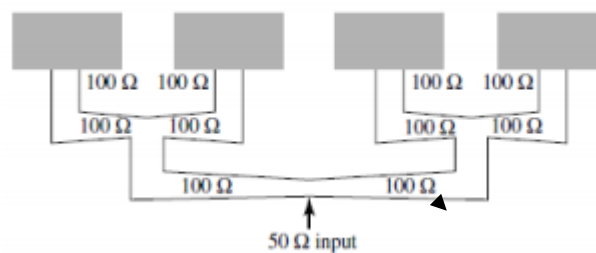


Figure III.14: réalisation de réseaux d'antenne de 4 éléments par 100 Ω et 50Ω[41].

Chapitre III: Résultats de la simulation

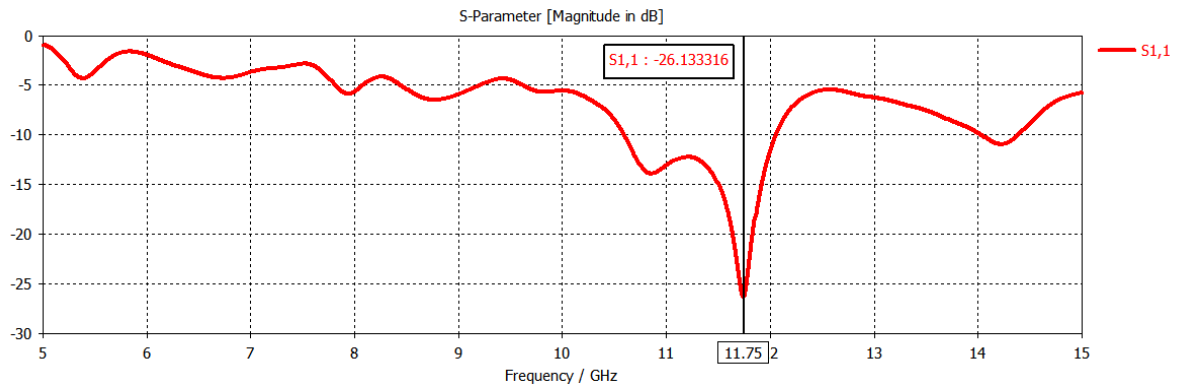


Figure III.15: coefficients de réflexion d'un réseau d'antenne de 4 éléments

Ces résultats montrent que ce réseaux d'antenne représente une bonne adaptation dans la gamme de fréquence [5, 15] GHz, elle est parfaitement adaptée à la fréquence de résonance 11.75 GHz avec un coefficient de réflexion de -26.133 dB.

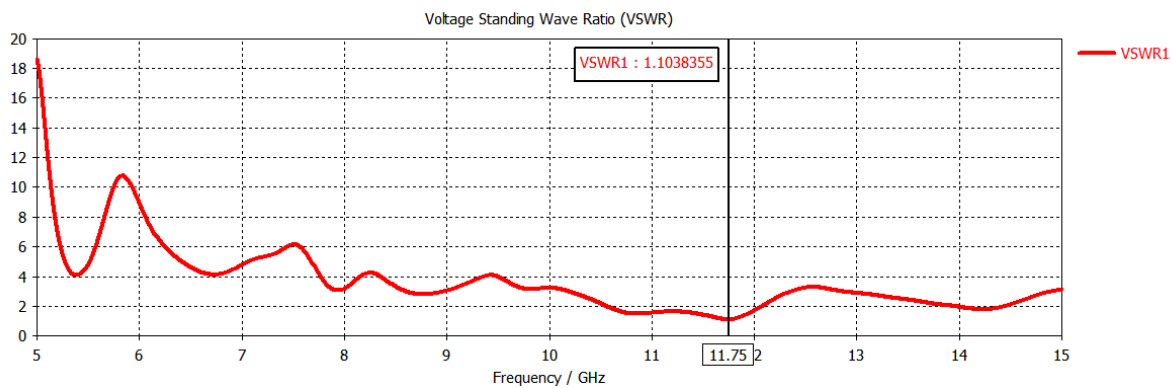


Figure III.16 : Représente le VSWR d'un réseau d'antenne de 4 éléments

La figure III.16 représente le VSWR de réseaux d'antenne (4X1) D'après la figure, on constate que le taux d'ondes stationnaires est inférieur à 2 dans la fréquence de réseau antenne étudiée ce qui indique une bonne adaptation d'impédance entre le réseau et la ligne d'alimentation, $VSWR=1.10$

- **Gain :**

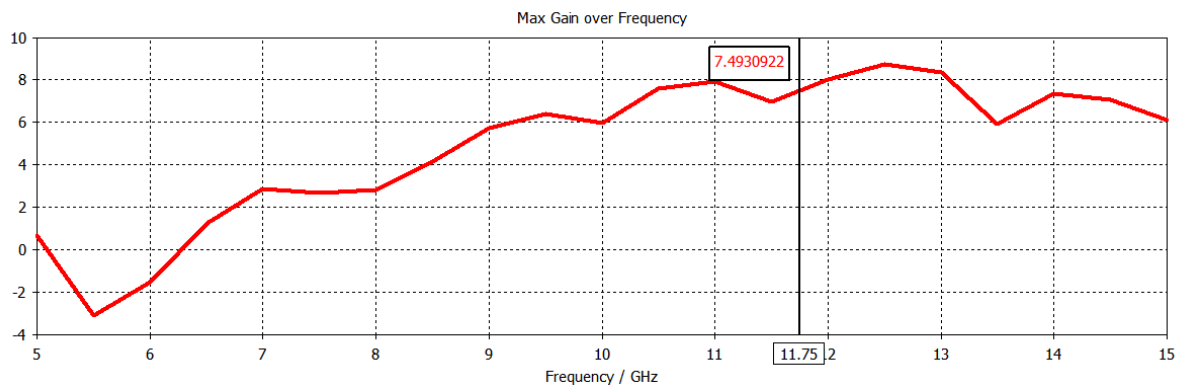


Figure III.17 : Gain 4 éléments

Chapitre III: Résultats de la simulation

Généralement le gain G correspondant au gain dans la direction du rayonnement maximal. Il mesure la performance d'une antenne, à ce réseau (4x1), le gain (7.49dBi) à fréquence 11.75GHz .

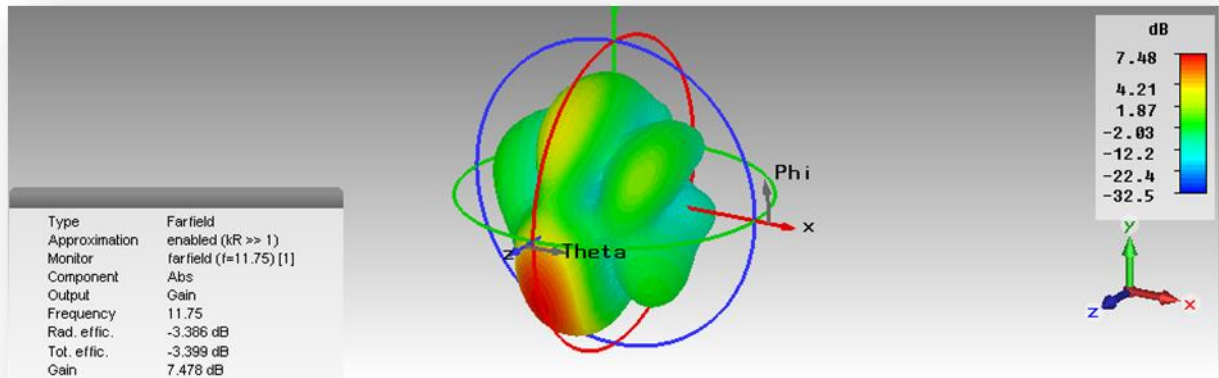


Figure III.18: Diagramme de rayonnement 3D de l'antenne de 4 éléments

Les figures III.18 : montre les diagrammes de rayonnement d'un réseau d'antenne à la fréquences 11.75 GHz. Ils sont présentes le gain et la directivité en 3D

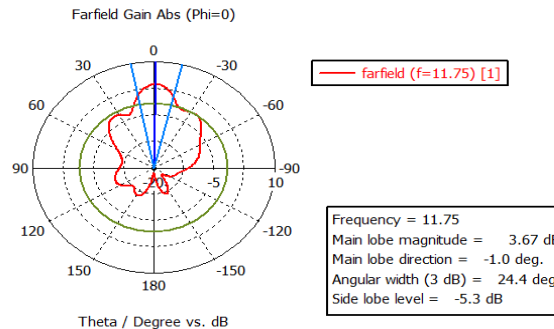


Figure III .19 : diagramme de rayonnement polaire d'un 4 élément

Le diagramme de rayonnement polaire d'un réseau d'antenne 4x1 à la fréquence de résonance de 11.75 GHz . Ils sont présentes les coordonnées permettent de bien visualiser l'évolution du rayonnement.

III.4.3 Réseau d'antenne de 8 éléments :

Pour le réseau d'antenne de 8 éléments, on calcule les lignes d'alimentation du diviseur au même principe que de réseaux de 4 éléments.

Chapitre III: Résultats de la simulation

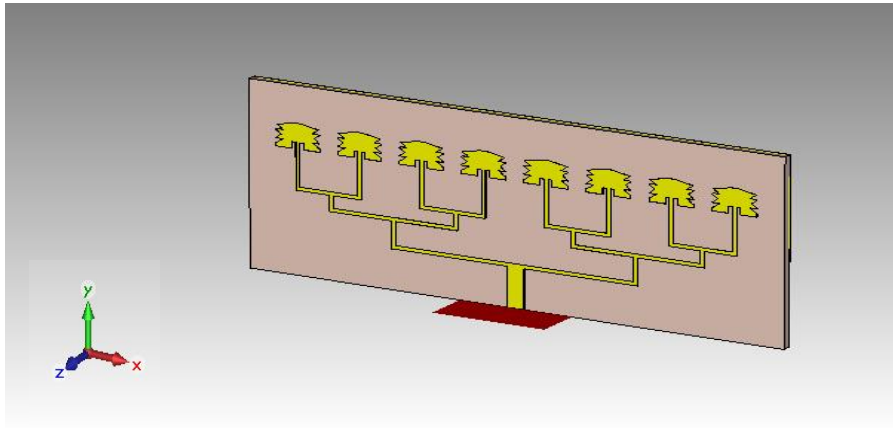


Figure III.20 : Réseaux d'antenne de 8 éléments

. La figure III.21 : présenté les points de $50\ \Omega$ et $100\ \Omega$.

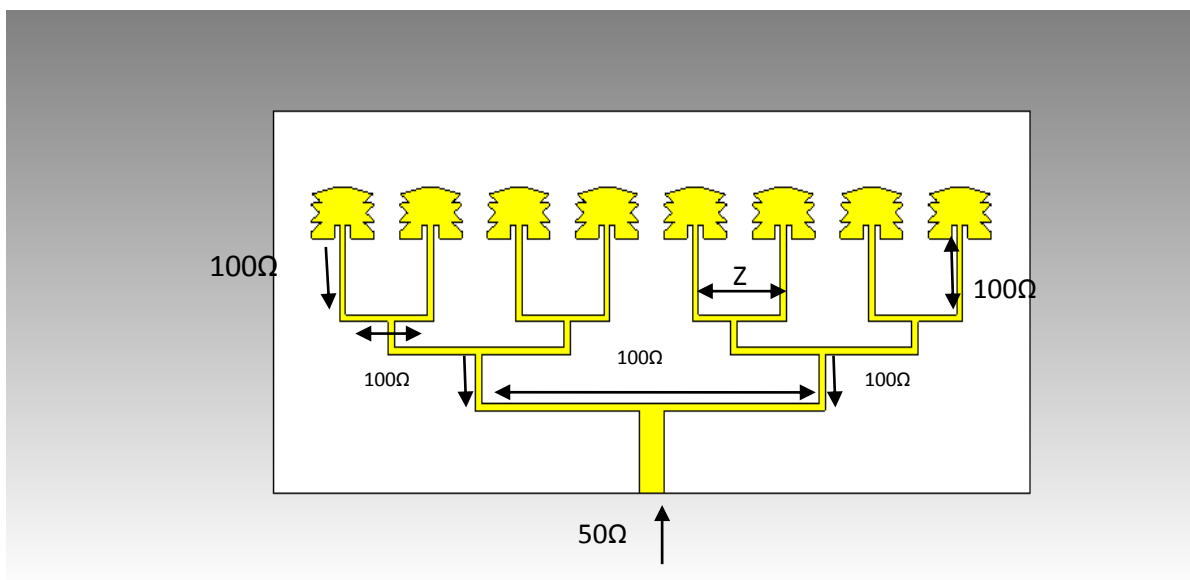


Figure III.21 : réseaux d'antenne de 8 éléments à $50\ \Omega$ et $100\ \Omega$.

Nous allons varier la distance de séparation entre les antennes ($0.4\lambda < Z < 0.9\lambda$) pour trouver un meilleur gain. Par la suite nous utiliserons la distance optimale pour dessiner un réseau linéaire avec un nombre d'éléments plus grand pour une bonne adaptation :

Chapitre III: Résultats de la simulation

$S_{11}(z=10.5\text{mm})$	-9.27dB
$S_{11}(z=10\text{mm})$	-23.62dB
$S_{11}(z=10.25\text{mm})$	-14.20dB
$S_{11}(z=10.75\text{mm})$	-6.94dB
$S_{11}(z=11\text{mm})$	-5.72dB

Tableau III.3 : les paramètres des coefficients S_{11} d'un 8 éléments

La fréquence de résonance 11.75GHz est adaptée pour $z=10\text{mm}$

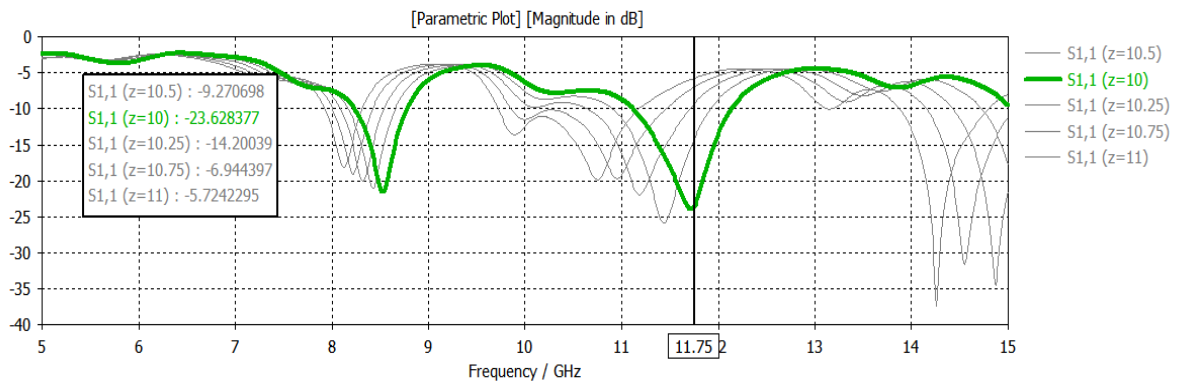


Figure III.22: Coefficient de réflexion de réseau 8x1

$V_{\text{swr}1}(z=10.5\text{mm})$	2.04
$V_{\text{swr}1}(z=10\text{mm})$	1.14
$V_{\text{swr}1}(z=10.25\text{mm})$	1.48
$V_{\text{swr}1}(z=10.75\text{mm})$	2.63
$V_{\text{swr}1}(z=11\text{mm})$	3.14

Tableau III.4 : taux d'onde stationnaire d'un 8 élément

Chapitre III: Résultats de la simulation

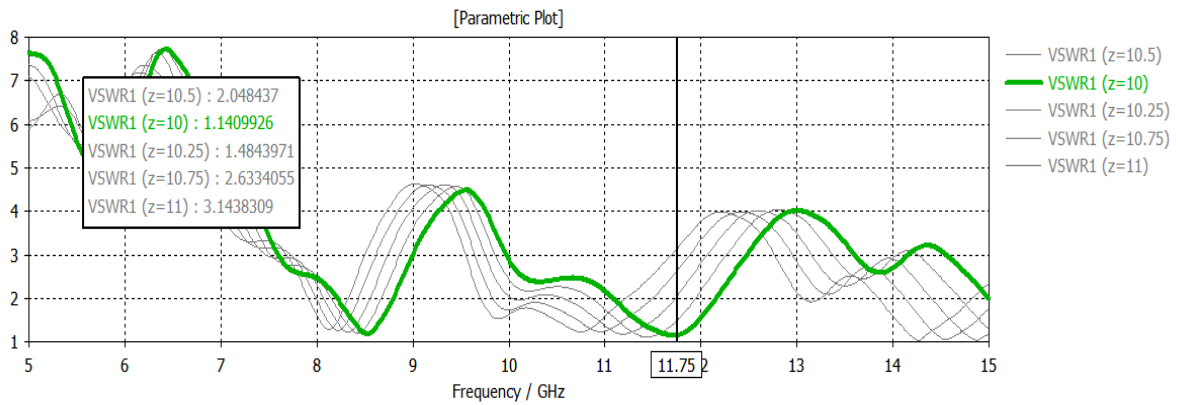


Figure III.23 : Taux d'onde stationnaire de 8 éléments

TOS = 1.14 d'un réseau d'antenne est diminuée par apport antenne simple (TOS=1.15)

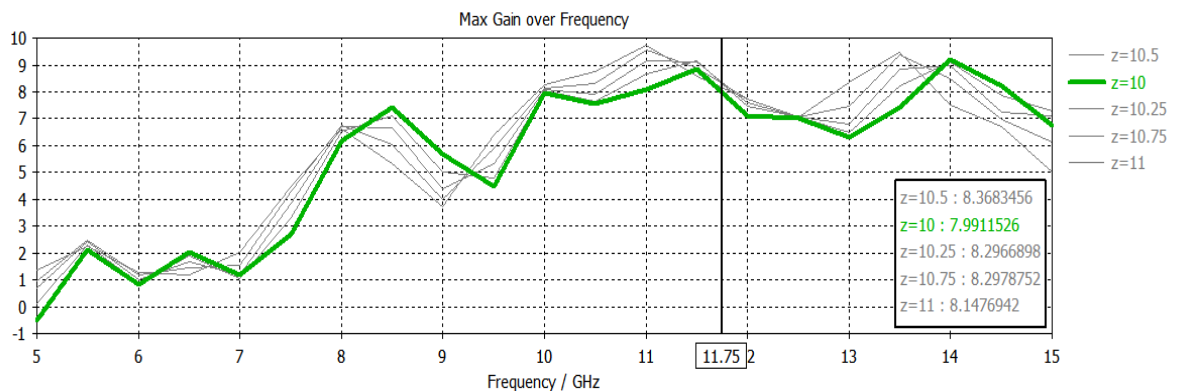


Figure III.24: Gain d'un réseau d'antenne de 8 éléments

Le gain prend une valeur acceptable à fréquence de résonance 11.75GHz puisque le but de réseaux c'est de augmenter le gain.

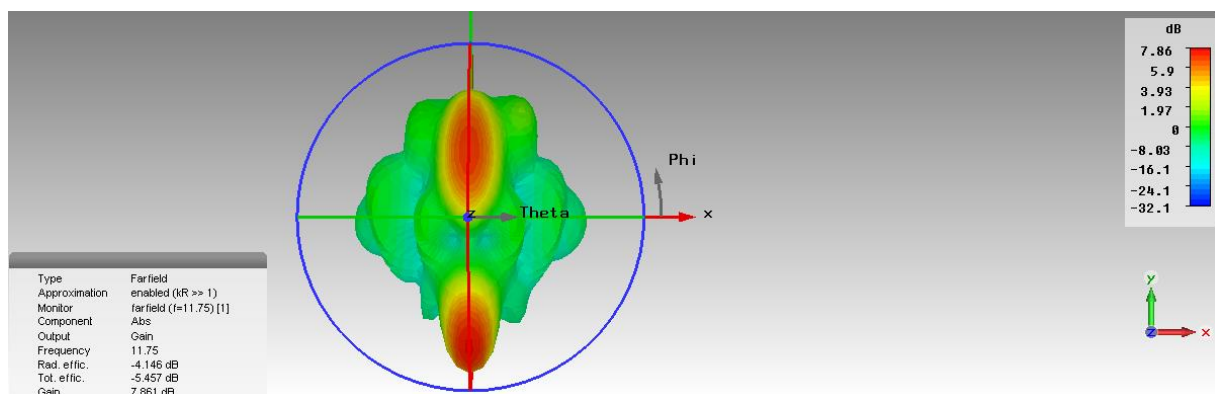


Figure III.25: Diagramme de rayonnement 3D d'un réseau l'antenne 8 éléments

Chapitre III: Résultats de la simulation

Ce lobe de rayonnement contenant le maximum d'énergie -3 dB et de direction maximal de rayonnement la directivité égale à 7.86, dont la fréquence de résonance est égale à 11.75GHz. Le rayonnement est directionnel dans le plan (x, y).

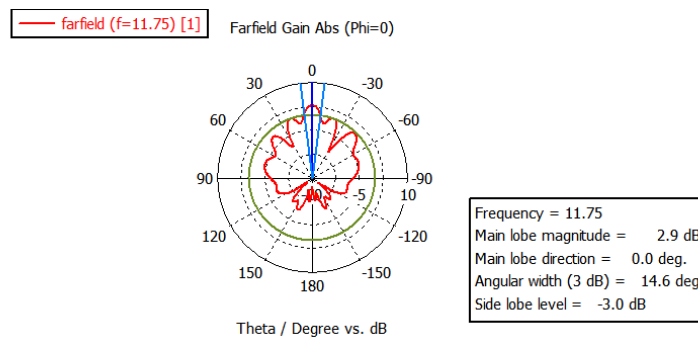


Figure III.26 : Diagramme de rayonnement polaire en fonction de theta 8 éléments

Diagramme de rayonnement polaire en fonction de theta pour la fréquence 11.75GHz l'amplitude de l'angle (-3dB)=14.6deg, ce paramètre présente un bon résultat.

• **Comparaison de résultats :**

	Gain (dBi)	S11 (dB)	VSWR
Antenne simple	5.16	-25.62	1.11
Nouveaux design	4.62	-22.80	1.15
Réseaux de 4 éléments	7.49	-26.13	1.10
Réseaux de 8 éléments	7.99	-23.62	1.14

Tableau III.5 :Comparaison des résultats

III.5 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons passé par des étapes, on fait la conception d'une antenne patch simple après une nouvelle structure d'antenne, puis réseau d'antenne de 4 éléments et de 8 éléments autour de la fréquence 11.75GHz pour les applications spatiale.

Les performances de l'antenne sont étudiées en fonction des paramètres géométriques. On a recherché la longueur et la largeur optimales du patch permettant un pic d'adaptation à la fréquence de travail, les résultats obtenus par simulation sous CST peuvent être observés dans les figures présentées précédemment

Conclusion Générale

Conclusion générale

La conception d'une antenne pour les applications spatiales est une procédure complexe. En premier lieu, l'antenne doit être qualifiée pour son utilisation dans le domaine spatial. En second lieu, l'antenne doit satisfaire les exigences de fonctionnement de l'antenne selon la mission désirée.

En effet, nous avons exposé, dans une première étape des généralités sur les antennes.

Ensuite nous avons consacré un deuxième chapitre pour parler sur les satellites

Enfin le troisième chapitre constitue le cœur du travail simulation

Il est consacré à la présentation des résultats de simulation en utilisant le logiciel commercial CST MICROWAVE STUDIO qui porte sur la conception des antennes.

Nous avons étudié plusieurs structures théoriquement et vérifiées selon divers changements des paramètres géométriques avec des études paramétriques et d'optimisations pour atteindre des meilleures performances, et d'après les résultats que nous avons obtenus, nous pouvons conclure que cette conception est conçue avec succès

Bibliographie

Bibliographie

- [1] SARA MANSAR .MADIHA ALAOUI.TAHAR EL BAHRI. Rapport antennes patch. École national de science appliquée de kharoubg. Université el Hasan Aoul. 2^{eme} année cycle ingénieur 2014.
- [2] MELHI SOUHILA, FENGAL TINE-HINANE. « Antenne de téléphone mobile caractérisation et optimisations » mémoire de fin d'étude. Université ABDERRAHMANE MIRA 2016 Bejaia.
- [3] ANTENNE –cours université préparé par DR YUCEF DAHER université libanaise – faculté de génie branche 1 .2009
- [4] RABIH ASLIM « conception antenne wifi micro-ruban HFSS. Méthodologie – université antonine faculté des ingénieurs en télécommunications informatique. 2010
- [5] DICK Anderson lee smith .j gruszynski .test & measurement application note 95-1 S-PARAMETER TECHNIQUE 1997; Hewlett Packard company.
- [6] A. Kamil, "Conception d'une antenne patch ultra-large bande (3.1 Ghz-10.6 Ghz)", thèse grade du Maître ès sciences (M. SC), Institut National de la recherche scientifique, Université du Québec, 2011.
- [7]. A Boyer, "Antennes support de cours énoncé de travaux dirigés", Institut Informatique et Réseau, Université Toulouse, Octobre 2011.
- [8] Ulaby, F.T, "Fundamentals of Applied Electromagnetic" Prentice Hall, 1999
- [9] P. F. Combes, «Circuits Passifs, Propagation, Antennes," Micro-ondes Tome 2, Dunod, 1997
- [10] Ahmed Benomar. Etude des Antennes à Résonateurs Diélectriques. : Application aux Réseaux de Télécommunications. Electronique. Université de Limoges, 2015. Français. ffNNT : 2015LIMO0025ff. fftel-01172513f
- [11] P. F. Combes, « Micro-ondes Dunod, 1997
- [12] MICRO-ONDES Daniel COURIVAUD – SIGTEL - Groupe ESIEE – 2002.
- [13] I. J. Bahl and P. E. Bhartia, "Microstrip antenna". Dedham, MA : Artech House, 1980.
- [14]. Karl J. Bois et al, “Dielectric Plug-loaded Two-Port Transmission Line Measurement Technique for Dielectric Property Characterization of Granular and Liquid Materials,” IEEE Trans. On Instrumentation & Measurement, vol. 48, n°. 6, pp. 1141-1148, December 1999.

Bibliographie

- [15] A. Balanis « Antenna theory: Analysis and Design », Constantine third edition, 2005.
- [16] : Odile Picon et coll. « Les antennes : théorie, conception et applications », Dunod, Paris, 2009.
- [17] : Boussaha Somia « Contribution à l'étude et à la modélisation des antennes imprimées rectangulaires : Application aux systèmes de communication », mémoire de fin d'étude Université 8 Mai 1945, 2012.
- [18] Raghvendra Kumar Chaudhary, Gautam Kumar Singh, Kumar Vaibhav Srivastava, Animesh Biswas, "Four Element Multilayer Cylindrical Dielectric Resonator Antenna Excited by a Coaxial Probe for Wideband Applications", Communications (NCC), IEEE, 2011
- [19] D. BIDOUE "Contribution à l'étude d'Antennes Forte Gain. Applications dans le Domaine Millimétrique" Thèse de Doctorat – n° 14-2003 - U.E.R des sciences - Université de LIMOGES
- [20] Ignacio Herrera Costas. "Estudio y diseño de antenas para un sistema de apuntamiento en banda WLAN (6 GHz) (Study and design of antennas for pointing system in the WLAN band)", Thèse de doctorat, Cantabrie. 2010, pp. 60.
- [21] T. Yamin Tigil doctorat en sciences - Identification des antennes multicouches par la méthode spectrale et les réseaux de neurones - doctorat en sciences université Ferhat Abbas - Sétif (ALGERIE). 2009
- [22] Abba. B. "Contribution à l'étude des antennes microstrip supraconducteur de forme triangulaire", Mémoire de Magistère en Micro-ondes. Université Mentouri. Constantine 2010.
- [23] A. Djamel, "Etude et Optimisation d'Antennes Fractales Plaquées," Mémoire Magister, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, Alger., 2009
- [24] T.A. Milligan Modern Antenna Design, second edition John Wiley & Sons, Inc, 2005
- [25] G. Kossivas, A. Papiernik, R. Staraj, C. Luxey Antennes imprimées - Bases et principes Dossier E 3310, Antenne, Techniques de l'Ingénieur, 2012.
- [26] H. J. Visser, "Array and phased array antenna basics " John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England 2005..
- [27] .R. James and P. S. Hall, "Broadband microstrip antennas," IEE Electromagnetic 2001
- [28]. ABDELLAOUI WAHIBA . CHERGUI FARIDA. Étude de l'antenne patch rectangulaire par le modèle de la cavité mémoire de fin d'étude. Université Mouloud Mammeri de Tizi ouzou. 2012

Bibliographie

- [29] FLEURY SEBASTIEN .GIRD Jean-Marc. Rapport suite à l'expose fait en cours de nouvelle technologie .les satellites. Université de marne la vallée.2011
- [30] DJIDEL SAAD. « gestion de la mobilité radio dans une constellation des satellite a base orbite (LEO) » .PFE JUIN 2012 M' sila.
- [31] H.HEDJAZI. « Optimisation du problème du orbites basses. » mémoires de magister en électronique université de Batna 2009
- [32] B. ALLOUCHE, S.CHABAL. « la communication de données par satellites laboratoire d'informatique et de robotique et de microélectronique de Montpellier . » article .LIRMM, France 2005
- [33] A. FODIL .A REMITA. « Commande agile d'attitude d'un microsatellite par les actionneurs gyroscopique. Mémoire d'ingénieur d'état en automatique. École national. Polytechnique.Algerie ,2006.
- [34] DR SADOUNI SALAHEDDINE .COURS CAPTEURS ET SATELLITES.2009
- [35] ZAHZAH IMANE. Conception d'une antenne CLASA la bande Ku -vsat une application satellites. Mémoire de fin d'étude Système de télécommunication Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen 2020.
- [36] W. A. Imbriale, Spaceborne antennas for planetary exploration, California, USA: Wiley Online Library, 2006.£
- [37] cours master 1 réseaux et télécommunication. Télécommunication spatial université d'Ain temouchent 2019.
- [38] E. Amyotte et L. Martins Camelo, «Antennas for Satellite Communications,» Space Antenna Handbook, pp. 466--510, 2012.
- [39] http://www.cst.com/contentproducts/MWS_over_view.aspx
- [40]. Chon, N. L. (2010). Photonic Antenna for Wireless Local Area Network backhaul Application, Unpublished Masters Thesis, Universiti Teknologi,. Malaysia, Malaysia
- [41] Pozar, D. M. Microwave Engineering. 4th ed. John wiley and Sons. . (2012).