

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. Mira de Béjaia
Faculté de Technologie
Département de Génie Électrique



Mémoire de Fin d'étude
En vue de l'obtention du diplôme de master académique
Option : Télécommunication

Thème

*L'effet des caractéristiques de l'antenne patch
sur sa directivité*

Présenté par :
M^{lle} ATTI Bakouche
M^{lle} MEKAOUCHE Magdoula

Devant le jury composé de :
Président : *M^r KHERDINE Abdelkrim*
Examineur : *M^r BERRAH Smail*

Encadré par :
M^r ROUHA Mustapha

Promotion 2013 – 2014

Remerciement

On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage et la volonté d'entamer et d'achever ce modeste travail .

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à : Mes professeurs pour leur disponibilité et le savoir qu'ils m'ont transmis pendant toutes ces années à l'université .

Mes professeurs Mr BERRAH Smail, Mr ROUHA Mustapha et Mr Khir-dinne A.Lakrim pour leur aide, leur patience et précieux conseils.

Mes compagnons de promotion qui ont fait preuve de générosité.

Mes remerciements s'adressent également à tous les membres de la faculté science et technologie en générale et à ceux du département génie électrique en particulier.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail et ma profonde

A ma chère maman pour l'éducation qu'elle m'a prodigué avec tous les moyens et au prix de toutes les sacrifices qu'elle a consenti à mon égard, pour le sens du devoir qu'elle m'a enseigné depuis mon enfance.

A mon cher père qui m'a fourni un soutien et une confiance sans faille et de ce fait, je ne saurais exprimer ma gratitude seulement par des mots, que dieu te protège et te garde pour nous.

A mon adorable petite sœur Milina

A mon cher frère Lamine

A ma chère Grand-mère Zahra

Tous mes ami(e)s qui n'ont cessé de m'encourager et me porter leur grand soutien : Massi, Salima, Amel, Ouaciba et Cilia et à toute ma famille.

Que toute personne m'ayant aidé de près ou de loin, trouve ici l'expression de ma reconnaissance.

Magdoula

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A cet homme exemplaire, celui qui était absent pendant les plus grandes étapes de ma vie mais pourtant présent dans le cœur et la mémoire

Mon père, si les années pouvaient être offertes je lui aurais offert des années de ma vie pour qu'il puisse simplement assister à ce jour Aujourd'hui j'espère qu'il est fier de moi là où il est.

A la source de mon ambition, le pilier de mon existence, celle qui a voulu voir en moi le fruit d'un long sacrifice, ma Maman

Mes chers frères : Mouloud, Hocine et Samou

Mes adorables sœurs : Mariam, chanel, Dihia et Tinhinane

Mes très chères grands-mères : Zahoua et Malika

Aucun hommage ne peut être à la hauteur de ce qu'ils ont fait pour moi, sans eux je ne serai jamais arrivé là, je ne vous remercierai jamais assez.

Tous mes ami(e)s qui n'ont cessé de m'encourager et me porter leur grand soutien : Zinedine , Souhila, Ouarda, Nassim, Youcef, Saliha, Cilia, Baya, Salim, Amiroche, Massi, Hassiba et Khaled, les cousins, voisins, tantes, oncles et ceux qui m'ont aidé de près et de loin .

Cette œuvre ne serait réalisée si ce n'est l'assistance, le soutien moral et financier des personnes qui me sont proches.

Bakouche

Table des figures

1.1	Différentes paramètres d'un diagramme de rayonnement	6
1.2	Polarisation du champ électromagnétique	8
1.3	Limite des 3 zones de rayonnement	9
1.4	Antenne dipolaire	10
1.5	Boucle magnétique	11
1.6	Antenne cornet	11
1.7	Réseau de fentes	12
1.8	Antenne à réflecteur parabolique	13
1.9	Antenne Imprimée	13
2.1	Structure d'une antenne patch rectangulaire	16
2.2	Différentes formes de l'antenne patch	17
2.3	Distribution de charge	17
2.4	Distribution de champ	17
2.5	Alimentation par une ligne micro ruban	18
2.6	Alimentation par sonde coaxial	19
2.7	Alimentation couplée par ouverture	19
2.8	Alimentation couplée par proximité	20
2.9	Réalisations de réseau à alimentation(a) linéaire en série, (b) linéaire en parallèle et (c) bidimensionnel en parallèle [16]	21
2.10	Alimentation parallèle de 2^3 éléments rayonnants par 3 étages de diviseurs de puissances.	22
2.11	Réseau bidimensionnel formé de réseaux linéaires à alimentation série et (b) réseau bidimensionnel formé de réseaux linéaires à alimentation parallèle-série.	22
2.12	(a) Réseau bidimensionnel à double alimentation parallèle et (b) grille dans le plan xOy , dont les nœuds représentent la position des éléments d'un réseau bidimensionnel rayonnant dans une direction $\Delta(\theta, \varphi)$	23
2.13	schéma équivalent de l'antenne patch rectangulaire	25
2.14	Modélisation de l'antenne patch rectangulaire par deux fentes couplées	25
2.15	Modélisation d'une fente excitée par un champ électrique à polarisation uniforme	26
2.16	Modèle équivalent utilisé pour calculer le rayonnement d'un élément rectangulaire, a. représentation dans l'espace, b. schéma dans le plan xOy	27
2.17	Modèle de cavité	28
2.18	Structure d'un réseau d'antenne linéaire	32

3.1	Influence de la constante diélectrique sur la directivité	36
3.2	Influence de l'épaisseur de substrat sur la directivité	37
3.3	Influence de l'épaisseur de substrat sur la bande passante	39
3.4	variation de la largeur du patch en fonction de la fréquence	40
3.5	variation de la longueur du patch en fonction de la fréquence	40
3.6	Diagramme de rayonnement de l'antenne patch	41
3.7	Le diagramme de rayonnement de l'antenne émettrice.	42
3.8	Le diagramme de rayonnement en coordonnées cartésiennes.	42

Liste des tableaux

2.1	Comparaison entre les différentes méthodes d'alimentation	20
3.1	Influence de la constante diélectrique sur la directivité ($h = 0.93cm$)	36
3.2	Influence de l'épaisseur h du substrat sur la directivité	37
3.3	Influence de l'épaisseur h de substrat sur la bande passante	38
3.4	Variation de la largeur et de la longueur du patch en fonction de la fréquence de résonance	39

Table des matières

Remerciement	i
Dédicace	ii
Dédicace	iii
Liste des figures	v
Liste des tableaux	vi
Table des matières	1
Introduction générale	2
1 Généralités sur les antennes	3
Introduction	4
1.1 Définition de l'antenne	4
1.2 Caractéristique des antennes	4
1.2.1 Diagramme de rayonnement	4
1.2.2 Gain	5
1.2.3 La directivité	6
1.2.4 Le rendement	7
1.2.5 l'impédance d'entrée	7
1.2.6 Adaptation d'une antenne	7
1.2.7 Bande passante	7
1.2.8 La polarisation	8
1.3 Les trois zone de rayonnement	8
1.3.1 Région réactive	8
1.3.2 Région du champ proche rayonné	9
1.3.3 Région de fraunhofer (zone du champ lointain)	9
1.4 Différente types d'antennes[8]	9
1.4.1 Antennes dipolaire	9
1.4.2 Antenne à boucle magnétique	10
1.4.3 Antenne cornet	10
1.4.4 Antenne à réseau de fentes	12
1.4.5 Antenne à réflecteur parabolique	12
1.4.6 Antenne Imprimée	13
Conclusion	13
2 Antenne patch	15
Introduction	16
2.1 Généralité sur les antennes patches	16

2.1.1	Définition d'une antenne patch	16
2.1.2	Mécanisme de rayonnement d'une antenne patch	17
2.1.3	Techniques d'alimentations	17
2.2	Technologie des antennes patches	21
2.2.1	Le matériau conducteur	21
2.2.2	Substrat	21
2.3	Types de réseaux d'antennes	21
2.3.1	Réseaux linéaires à alimentation parallèle	22
2.3.2	Réseaux bidimensionnelles	22
2.4	Calcul mathématique des caractéristiques de l'antenne patch rectangulaire	24
2.4.1	Modélisation de l'antenne patch rectangulaire par TLM	24
2.4.2	Modèle de Cavité	28
2.5	Modélisation du réseau linéaire d'antennes	31
2.6	Avantages et inconvénients des antennes patches	33
	Avantages	33
	Inconvénients	33
	Conclusion	33
3	Simulation	34
	Introduction	35
3.1	Calculs théorique des dimensions et caractéristiques de l'antenne	35
3.1.1	Calculs théorique des dimensions de l'antenne patch rectangulaire .	35
3.2	Influence des caractéristiques du substrat sur la directivité	35
3.2.1	Influence de la constante diélectrique sur la directivité	36
3.2.2	Influence de l'épaisseur h du substrat sur la directivité	37
3.2.3	Influence de l'épaisseur h de substrat sur la bande passante	38
3.3	Variation de la largeur et de la longueur du patch en fonction de la fréquence de résonance	39
3.4	Le diagramme de rayonnement de l'antenne patch	40
3.5	Partie expérimentale	41
	Conclusion	43
	Conclusion générale	44
	Bibliographie	45

Introduction générale

A l'évolution du domaine des télécommunications, les communications filaires sont améliorées par des réseaux sans fil, pour plus de mobilité et pour des applications à haut débit. En plus l'enjeu est devenu de proposer des structures d'antennes micro-ruban permettant de remplacer l'ancienne génération des antennes ayant des grandes dimensions par une nouvelle génération a taille assez minimale permettant de les embarquer dans des espaces plus restreintes, tout en conservant leurs caractéristiques électromagnétiques.

Les antennes micro-ruban et particulièrement les patches qui ont été inventés durant les années cinquante, présentent l'avantage d'être facilement intégrées dans les surfaces planes, en plus elles présentent une rigidité, faible cout de production et une bonne performance en termes de résonance, elles sont les plus utilisées puisqu'elles permettent de répondre à de nombreuses contraintes imposées par le système de transmission. Leurs dimensions favorisent leurs intégrations sur de nombreux mobiles.

Notre contribution s'échelonne sur trois chapitres :

Le premier chapitre comprend quelques généralités sur les antennes ; On commence par donner une définition d'une antenne ainsi qu'il met en valeur les caractéristiques d'antennes telles que ; le diagramme de rayonnement, gain et directivité, la polarisation et la bande passante, ont été introduites et discutées.

Le deuxième chapitre consacré à la description d'une antenne patch, autrement dit sa forme, ses caractéristiques principales et la comparaison de différentes techniques d'alimentation ,aux calculs mathématiques des paramètres caractéristiques de l'antenne patch rectangulaire et du réseau d'antennes à savoir le gain, la directivité, le rendement, ouvertures à -3dB.

Le troisième chapitre est le dernier, il va traiter l'influence des caractéristiques de l'antenne patch sur la directivité. Une étude sur le choix du substrat sera abordé et enfin différentes simulations seront faites et les résultats seront donnés et commentés. A partir de ces trois chapitres une conclusion générale sera tirée.

Chapitre 1

Généralités sur les antennes

Introduction

Ce chapitre a pour but la présentation des différents types d'antennes appliquées dans le domaine de la communication perso. Il met en valeur les caractéristiques générales de l'antenne comme le diagramme de rayonnement, l'angle de l'ouverture, directivité, gain et polarisation.

1.1 Définition de l'antenne

Une antenne d'émission est un élément conducteur qui transforme l'énergie électrique en énergie de rayonnement électromagnétique. Une antenne de réception convertit un rayonnement électromagnétique en courant électrique. La même antenne peut servir en émission qu'en réception : réciprocité des antennes.

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

- Ondes kilométriques (30 à 300kHz) (LF) et hectométriques (300 à 30000kHz) (MF) pour la radiodiffusion à modulation d'amplitude, les liaisons avec les sous-marins, navigation, radio de la garde côtière, etc.
 - Ondes décamétriques (3 à 30MHz) (HF) pour les liaisons intercontinentales ou maritimes, téléphone, télégraphe, station radioamateur, etc.
 - Ondes métriques (30 à 300MHz) (VHF) pour la radiodiffusion à modulation de fréquence, la télévision et les communications et radionavigation aéronautiques, etc.
 - Ondes décimétriques (300 à 3000MHz) (UHF) pour la télévision, le radar et les liaisons avec les mobiles.
 - Ondes centimétriques (3 à 30GHz) (SHF) pour les liaisons terrestres par faisceaux hertziens et les liaisons spatiales, radars d'avions embarqués militaires, liaisons micro ondes, téléphone mobile, etc.
 - Ondes millimétriques (30 à 300GHz) (EHF) pour les radars, l'expérimental, etc.
- [1]

1.2 Caractéristique des antennes

1.2.1 Diagramme de rayonnement

C'est la représentation graphique dans l'espace du rayonnement de l'antenne. En effet, une antenne réelle ne rayonne pas de façon omnidirectionnelle (isotrope). Son diagramme de rayonnement présente des directions privilégiées et des directions où le champ rayonné est nul.

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.

Prenons le cas d'une antenne isotrope, c'est à dire rayonnant l'énergie électromagnétique de façon identique dans toutes les directions de l'espace, si P est la puissance totale émise par l'antenne, la densité surfacique de puissance S à une distance r de la source est donnée par :

$$S = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (1.1)$$

Alors l'intensité de rayonnement de l'antenne isotrope peut être écrite comme :

$$U_i = r^2, S = \frac{P}{4\pi} \quad (1.2)$$

Les différents lobes de diagramme

Un lobe principal : C'est le lobe de rayonnement contenant le maximum d'énergie et la direction de maximum de rayonnement.

Des lobes secondaires : Tous les autres lobes sont appelés lobes secondaires. Ils représentent le rayonnement de l'antenne dans les directions indésirables. Le niveau de lobe secondaire est en générale exprimé sous forme de rapport entre la densité de puissance dans le lobe en question et celle du lobe principal. Ce rapport est appelé le niveau des lobes secondaires et exprime en dB .

Un lobe arrière (rayonnement arrière) : C'est le lobe secondaire présent dans la direction opposée à 180° du lobe principal. Le rapport avant/arrière est le rapport en dB de la puissance rayonnée dans la direction du maximum de rayonnement par rapport à celle rayonnée dans la direction opposée. Dans la plupart des systèmes antennaires, les lobes secondaires sont indésirables. Une bonne conception d'antenne doit permettre de minimiser les lobes secondaires.

Angle d'ouverture : L'angle d'ouverture caractérise la largeur du lobe principal. Il s'agit de l'angle entre les deux directions autour du lobe principal où la puissance rayonnée est égale à la moitié de la puissance rayonnée dans la direction de rayonnement maximal.[3]

1.2.2 Gain

Le gain $G(\theta, \varphi)$ d'une antenne dans une direction (θ, φ) est le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction donnée $P(\theta, \varphi)$ sur la puissance que rayonnerait la source isotrope par unité d'angle solide.

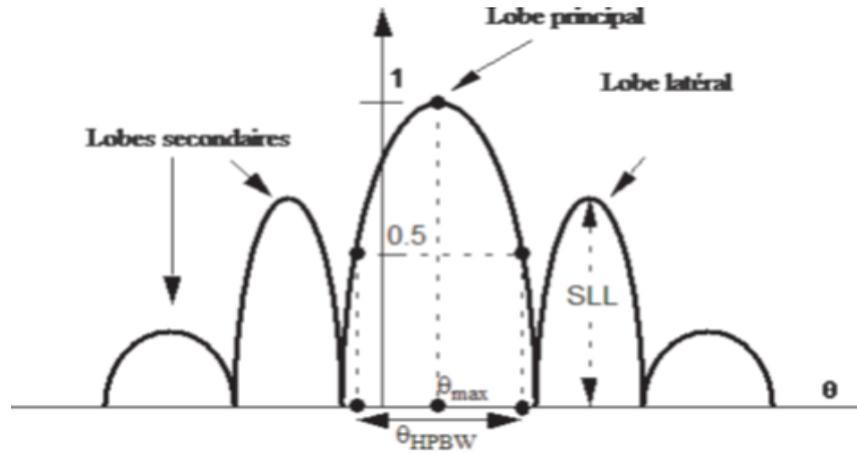


FIG. 1.1: Différents paramètres d'un diagramme de rayonnement

En général, le gain G correspond au gain dans la direction de rayonnement maximal (θ_0, φ_0) . [3]

$$G(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{P(\theta, \varphi)}{P_A} \quad (1.3)$$

$$G(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{P(\theta, \varphi)_0}{P_A} \quad (1.4)$$

Le gain d'une antenne s'exprime normalement en dBi , en prenant pour référence une antenne isotrope. Le gain de cette antenne est donc 1, soit 0 dBi (dBi pour décibel isotrope).

On trouve aussi parfois le gain exprimé en dBd , lorsqu'une antenne dipôle est utilisée comme référence. Dont le gain théorique est de 2,14 dB .

1.2.3 La directivité

La directivité d'une antenne caractérise la manière dont cette antenne concentre son rayonnement dans certaines directions de l'espace. La directivité d'une antenne dans une direction (θ, φ) est le rapport de la puissance $P(\theta, \varphi)$ à la puissance que rayonnerait la source isotrope par unité d'angle solide. [4]

$$D(\theta, \varphi) = \frac{P(\theta, \varphi)}{P_r/4\pi} \quad (1.5)$$

$$P_r = \iint_0^{4\pi} P(\theta, \varphi) d\Omega \quad (1.6)$$

$$d\Omega = \sin \theta d\theta d\varphi \quad (1.7)$$

Dans la direction de rayonnement maximal (θ_0, φ_0) la directivité est exprimée :

$$D(\theta_0, \varphi_0) = 4\pi \frac{P(\theta_0, \varphi_0)}{P_r} \quad (1.8)$$

1.2.4 Le rendement

Dans le cas de dégradation de puissance au niveau de l'antenne, soit du fait des pertes ou de mauvaise utilisation, on peut définir le rendement comme suit [4] :

$$\eta = \frac{P_r}{P_a} \quad (1.9)$$

Où P_r : La puissance totale qu'elle rayonne.

La relation qui liant le rendement avec le gain et la directivité est :

$$\eta = \frac{G(\theta, \varphi)}{D(\theta, \varphi)} \quad (1.10)$$

1.2.5 l'impédance d'entrée

L'impédance d'entrée est définie comme étant l'impédance présentée par une antenne à ses bornes ; elle est égale au rapport de la tension V_e sur le courant I_e . [5]

$$Z_e = \frac{V_e}{I_e} = R + jX \quad (1.11)$$

Où :

Z = impédance d'entrée aux bornes a et b .

R = résistance de l'antenne aux bornes a et b .

X = réactance de l'antenne aux bornes a et b .

1.2.6 Adaptation d'une antenne

Le coefficient de réflexion est donné par l'expression :

$$\Gamma = \frac{Z_{AB} - Z_C}{Z_{AB} + Z_C} \quad (1.12)$$

Où Z_C correspond à l'impédance caractéristique de la ligne, et Z_{AB} à l'impédance d'entrée de l'antenne. [4]

1.2.7 Bande passante

La bande passante d'une antenne est la bande de fréquence pour laquelle présente des caractéristiques particulières.

Elle dépend de l'impédance de rayonnement, de directivité, de la polarisation de l'onde et enfin des dimensions de l'antenne. [8]

1.2.8 La polarisation

La polarisation est définie comme étant l'orientation du champ électrique d'une onde électromagnétique, Si \vec{E} garde une direction constante dans le temps, on dit que l'on a une polarisation rectiligne.

Si la direction varie avec le temps de telle sorte que si en un point donné on schématisé les positions successives de \vec{E} , l'extrémité du vecteur représentatif décrivant un cercle ou une ellipse. On dit alors que le champ rayonné est à polarisation circulaire ou elliptique.

La polarisation en général décrite par une ellipse. La polarisation linéaire et la polarisation circulaire sont deux cas spéciaux de polarisation elliptique. La polarisation initiale d'une onde radio est déterminée par l'antenne.[6]

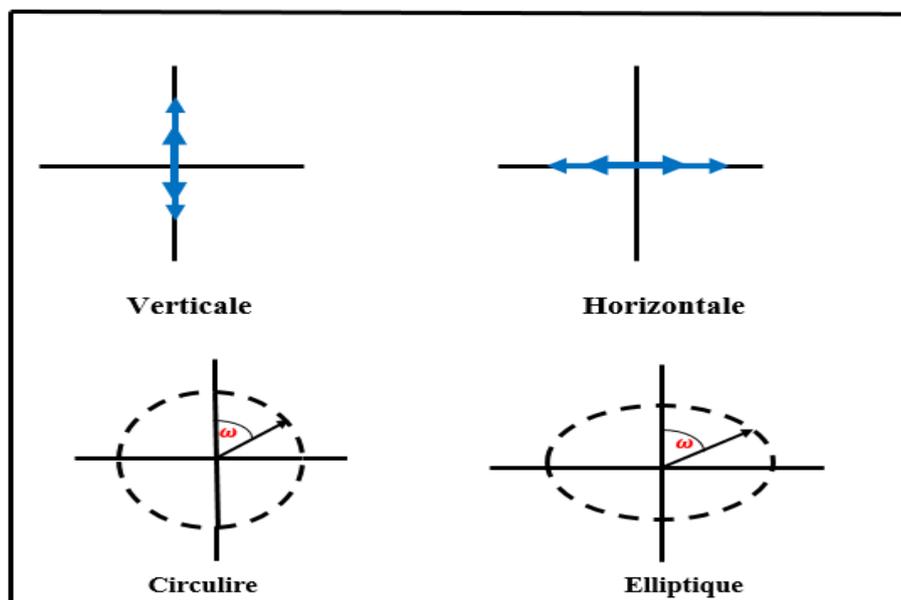


FIG. 1.2: Polarisation du champ électromagnétique

1.3 Les trois zone de rayonnement

L'espace entourant l'antenne est généralement subdivisé en trois région :[7]

1.3.1 Région réactive

Dénommée également zon de rayieigh, C'est la région entourant la source de rayonnement ou la puissance réactive (purement imaginaire) porédomine. L'énergie électromagnétique reste confinée à 90% à l'intérieur d'un faisceau tubulaire. Pour la plupart des antennes,cette région est délimitée par une sphère de rayon $R_1 = 0,62\sqrt{\frac{D^3}{\lambda}}$ où λ est la longueur d'onde et D la plus grande dimension de l'antenne.

1.3.2 Région du champ proche rayonné

C'est la région comprise entre la zone réactive et la zone du champ lointain et dans laquelle la divergence du faisceau devient appréciable. Cette région est également appelée zone de fresnel par analogie à la terminologie de l'optique géométrique. Elle est délimitée par une Distance R avec $R_1 \leq R \leq R_2$ avec ($R_2 = \frac{2D^2}{\lambda}$) et le champ rayonné dépend, en général, de la distance. De plus la composante radiale du champ est appréciable.

1.3.3 Région de fraunhofer (zone du champ lointain)

C'est la région, définie par une distance radial R telle que $R \geq R_2$, où l'énergie électromagnétique rayonnée dans toutes les directions de l'espace couvertes par le diagramme de rayonnement de l'antenne. La puissance rayonnée est une structure TEM par rapport à la direction Radiale réelle et elle est indépendante de cette dernière.

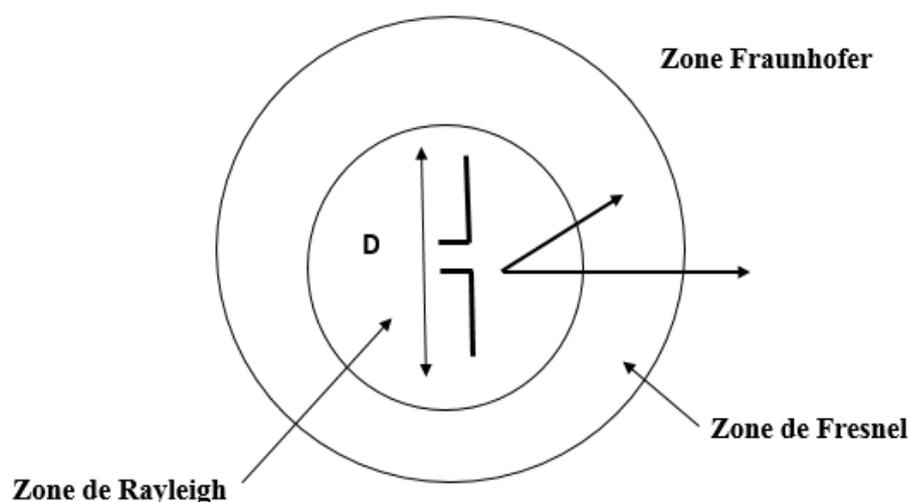


FIG. 1.3: Limite des 3 zones de rayonnement

1.4 Différents types d'antennes [8]

Généralement, il existe une grande variété de techniques pour la réalisation des antennes, chacune d'elles possède ses propres caractéristiques et sert à une application bien déterminée. Il existe plusieurs types d'antennes selon la géométrie, le gain, la forme du faisceau et la bande passante. On peut citer quelques-unes :

1.4.1 Antennes dipolaires

Une antenne dipolaire est constituée de deux fils alignés, très courts, chacun relié à deux fils parallèles et très proches constituant une ligne bifilaire.

En émission, cette ligne est reliée à un générateur alternatif, caractérisé par sa fréquence et son impédance interne. À la réception, la ligne bifilaire est branchée sur le récepteur.

Dans la ligne bifilaire, les courants sont de sens contraire, alors que dans le dipôle les courants sont de même sens. L'influence de ces deux courants s'annule dans la ligne bifilaire. Ce sont les courants variables, de même sens, qui rayonnent et créent l'onde électromagnétique dans l'espace.

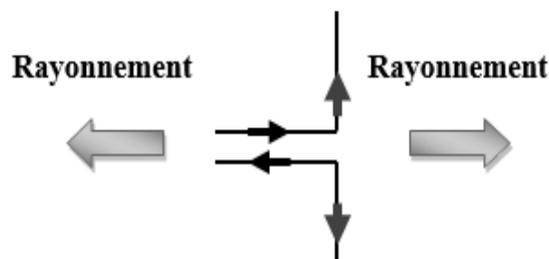


FIG. 1.4: Antenne dipolaire

Ces antennes de types filaires ont de nombreuses applications. Citons rapidement les antennes pour réception radio, les antennes de talkie-walkie, etc.

1.4.2 Antenne à boucle magnétique

La boucle magnétique est constituée d'un fil conducteur ayant une forme qui permet le retour du fil sur lui-même. La boucle est ainsi branchée sur une ligne bifilaire reliée au générateur.

Le rayonnement, à grande distance, est maximal dans le plan de la boucle et s'effectue de façon radiale. Le courant circulant dans le fil crée un champ magnétique qui se propage. Sa variation engendre le champ électrique associé, d'où le rayonnement électromagnétique associé.

En champ lointain, les boucles magnétiques ont été très utilisées pour les récepteurs de grandes ondes radio sous forme d'un cadre sur lequel étaient enroulées plusieurs spires de fils. En champ proche, on utilise dans de tous les dispositifs RFID (identification radio fréquence). Les cartes sans contact sont munies de ce type d'antenne, incorporée dans le support plastique. Les détecteurs d'objets métalliques, sont aussi des boucles magnétiques sensibles au champ magnétique.

1.4.3 Antenne cornet

Un dispositif très utilisé pour la propagation d'ondes guidées est le guide d'onde rectangulaire. Sa qualité de transmission est excellente, pour cette raison son utilisation est très répandue en hyperfréquences. Le transformateur de puissance électromagnétique guidée en puissance rayonnée est l'antenne cornet. Sa forme permet de passer graduellement

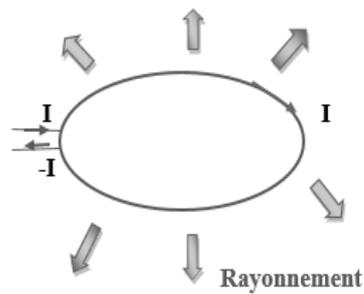


FIG. 1.5: Boucle magnétique

des dimensions du guide d'onde à l'espace libre. C'est le même principe que le cornet acoustique.

De façon très naturelle, le rayonnement a lieu dans l'axe du guide d'onde. Cette antenne est plus directive que l'antenne à boucle magnétique.

Les antennes cornet sont très utilisées comme moyen de transformation de l'onde guidée en onde rayonnée. On retrouve, dans toutes les bandes de fréquences, dans de nombreux systèmes tels que les radars, les antennes, satellites, etc...

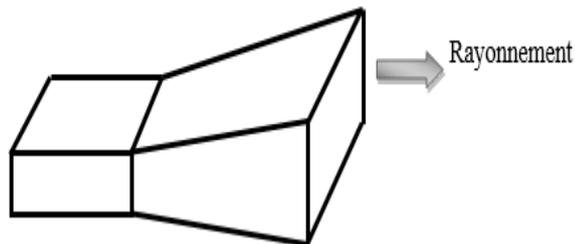


FIG. 1.6: Antenne cornet

1.4.4 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

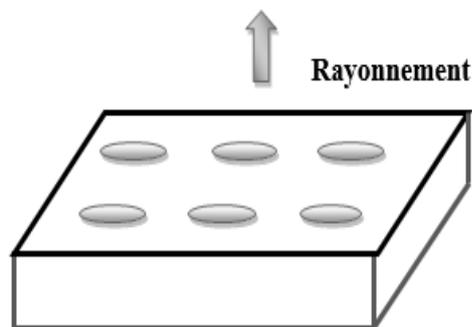


FIG. 1.7: Réseau de fentes

1.4.5 Antenne à réflecteur parabolique

L'antenne à réflecteur est constituée de la source d'émission à une partie métallique réfléchissante, souvent de forme parabolique.

La source, placée au foyer de la parabole envoie l'onde vers le réflecteur parabolique. Selon la propriété bien connue de la parabole, tous les rayons sont réfléchis parlement. Ces antennes permettent de recevoir un signal d'un satellite, placé à très grande distance. Les antennes de ce type très répandues pour la réception de la télévision, utilisées pour la transmission hertzienne. Elles sont reconnaissables par leur forme, parabolique à l'arrière et conique à l'avant du fait de la forme du radôme qui protège la source, placée au foyer.

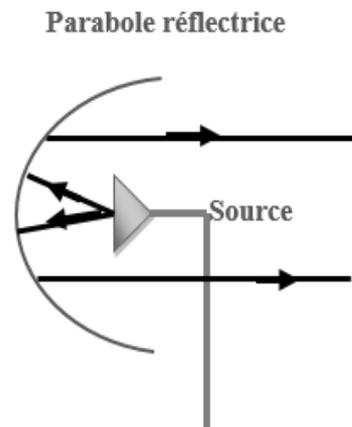


FIG. 1.8: Antenne à réflecteur parabolique

1.4.6 Antenne Imprimée

L'antenne imprimée, appelée aussi antenne patch est un type récent d'antenne dont le développement et l'utilisation sont de plus en plus fréquents. Elle est constituée d'un diélectrique, possédant un plan de masse métallique sur une face. Sur l'autre face, une gravure métallique permet de supporter des courants de surface qui créent le rayonnement électromagnétique. Les courants sont amenés du générateur à l'antenne par une ligne micro ruban.

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

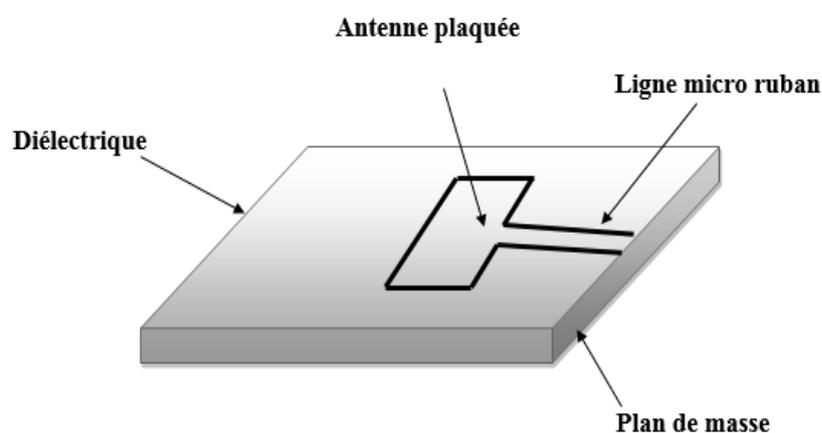


FIG. 1.9: Antenne Imprimée

Conclusion

La variété de type des antennes on la grande possibilité dans des nombreuses technologies. Ainsi que ses caractéristiques permis le bon choix de l'antenne étudié.

Après ce passage, on détaillera la présentation de l'antenne imprimé dans le chapitre suivant.

Chapitre 2

Antenne patch

Introduction

Le développement du domaine des télécommunications ont fait apparaitre la nécessité croissante de réaliser des dispositifs micro-ondes peu coûteux et peu encombrants faisant appel à une technologie simple à manipuler. Les systèmes micro-ondes à structure micro ruban ont été à l'origine de développement des antennes imprimés.

Les antennes imprimées sont les plus utilisées puisqu'elles permettent de répondre à de nombreuses contraintes imposées par le système de transmission .Leurs dimensions favorisent leurs intégrations sur de nombreux mobiles (téléphone portable, avion. . .).

Dans ce chapitre on trouve une présentation générale sur les antennes patches ainsi que leurs caractéristiques, les différentes méthodes d'alimentation et principe de fonctionnement en terminant par les avantages et limitations de ces dernières.

2.1 Généralité sur les antennes patches

2.1.1 Définition d'une antenne patch

Une antenne patch est une ligne microbande, se compose d'une pièce métallique rayonnante (matériaux conducteur, patch ou élément rayonnant) de forme arbitraire, déposée sur un substrat diélectrique. Un plan de masse couvre la surface inférieure du substrat (Fig 2.1)

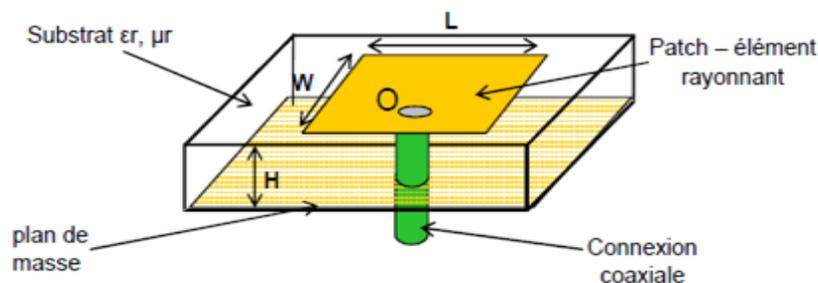


FIG. 2.1: Structure d'une antenne patch rectangulaire

Le patch est généralement fabriqué à base d'un matériau conducteur tel que le cuivre ou l'or, et il peut prendre n'importe quelle forme possible. L'élément rayonnant et les lignes d'alimentation sont photos gravées sur le substrat diélectrique.[9][10]

Les formes des éléments rayonnants sont montrés sur la (Fig 2.2), leurs dimensions sont généralement de l'ordre de $\lambda/2$ à λ .

Une antenne patch rectangulaire est l'antenne la plus courante, elle est facile à modéliser pour la compréhension des mécanismes de rayonnement des antennes micro bandes.

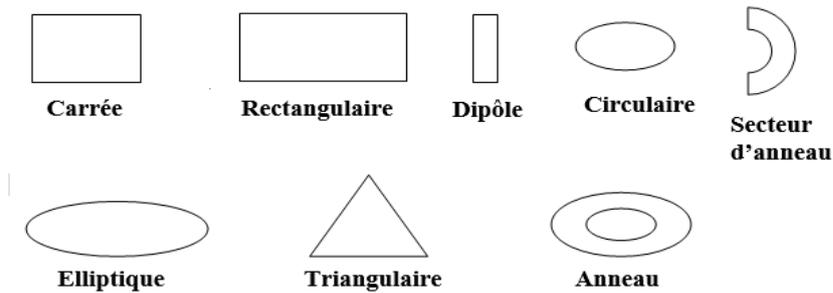


FIG. 2.2: Différentes formes de l'antenne patch

2.1.2 Mécanisme de rayonnement d'une antenne patch

La forme géométrique de l'antenne patch nous permet de mieux comprendre son mécanisme de rayonnement. Après l'excitation de la ligne d'alimentation, une onde électromagnétique va se propager sur cette dernière pour rencontrer l'élément rayonnant qui est généralement plus large que la ligne. Dans ce cas, on a une distribution de charge qui va s'établir sur et sous le composant rayonnant et entre le plan de masse et substrat. (Fig 2.3) illustre ce phénomène. Ces distributions avec l'association des densités de courants engendrent une distribution des champs électriques représentée à la (Fig 2.4). Sa répartition s'étend autour et dans la structure dépend essentiellement : de la largeur w des circuits de métallisation, des caractéristiques du substrat : à savoir sa constante diélectrique et son épaisseur h . [11][12]

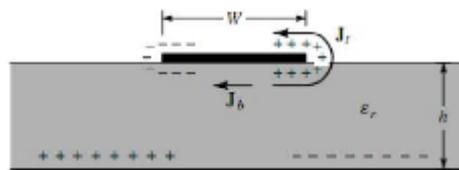


FIG. 2.3: Distribution de charge

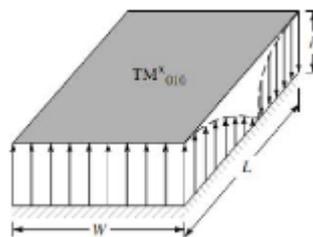


FIG. 2.4: Distribution de champ

2.1.3 Techniques d'alimentations

L'alimentation des antennes patches est l'une des parties les plus importantes dans le processus de la conception. Pour cela, plusieurs techniques ont été considérées dans ce

but. Elles peuvent être classées en deux grandes catégories :

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

Alimentation directe par une ligne micro ruban

Dans cette alimentation, une ligne micro ruban est connectée directement au bord du patch voir (Fig 2.5), Cette ligne est plus petite concernant la largeur par rapport au patch.[5]

C'est l'une des techniques utilisée dans les antennes imprimés, l'avantage qu'elle a , est qu'elle est facile à fabriquer, et simple à adapter à la résonance , elle a l'inconvénient d'engendrer un rayonnement parasite.[13]

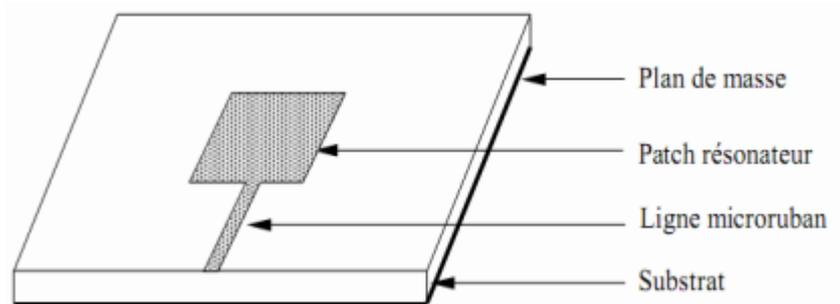


FIG. 2.5: Alimentation par une ligne micro ruban

Alimentation par sonde coaxial

L'alimentation coaxiale est une autre méthode pour alimenter les antennes micro rubans, sa structure est montrée sur la (Fig 2.6), Dans ce cas, le conducteur central (intérieur) est soudé directement à l'élément rayonnant (patch) après avoir traversé le diélectrique et le plan de masse, le conducteur extérieur est relié directement à ce dernier.

L'avantage de cette méthode est qu'elle peut appliquer à n'importe quel endroit du patch avec une facilité de fabrication et moins de rayonnement parasite.[14]

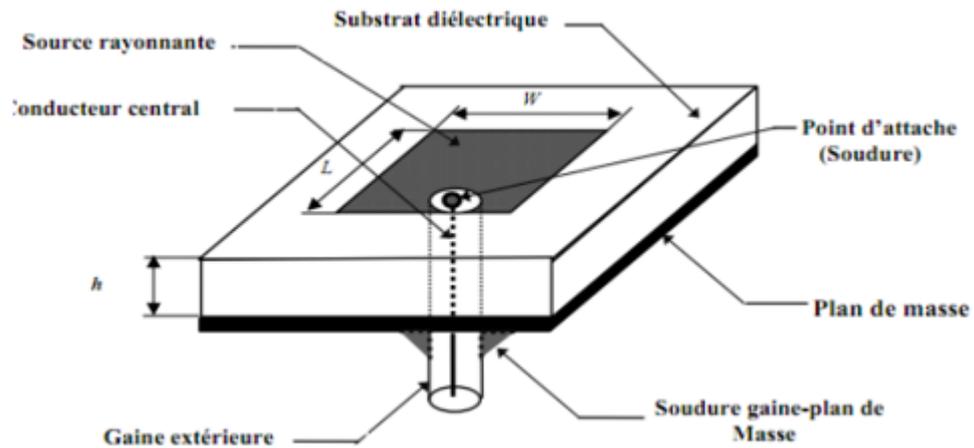


FIG. 2.6: Alimentation par sonde coaxial

Alimentation couplée par ouverture

Dans ce type d'alimentation, le patch de rayonnement et la ligne d'alimentation sont séparés en plan de masse comme indique sur la Figure (Fig 2.7). La conjonction entre le patch et la ligne d'alimentation est faite par une ouverture ou une fente dans le plan de masse [15].

Pour optimiser mieux le rayonnement du patch, on opte pour l'utilisation des matériaux à permittivité élevée pour le substrat inférieur, et des matériaux à faible constante pour le substrat supérieure. L'avantage de cette alimentation est l'élargissement de la bande passante.

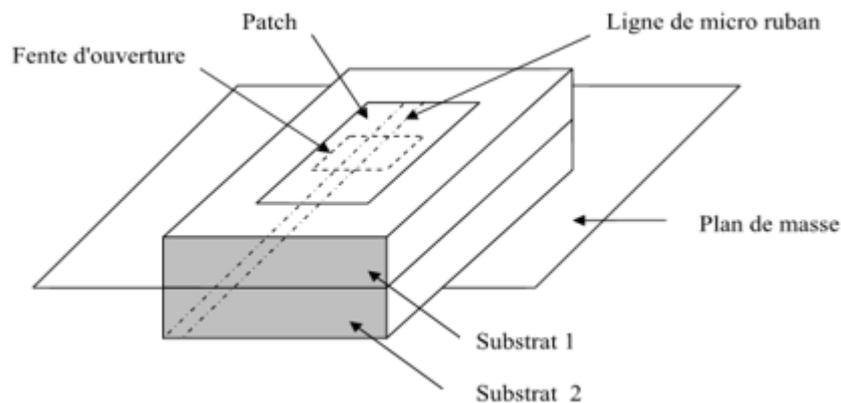


FIG. 2.7: Alimentation couplée par ouverture

Alimentation couplée par proximité

Ce type d'alimentation est montré sur la figure (2. 8). Deux substrats diélectriques sont employés de façon que la ligne d'alimentation soit insérée entre eux et le patch soit sur le substrat supérieur.

L'avantage principal de cette technique d'alimentation est l'élimination du faux rayonnement d'alimentation et l'obtention d'une bande passante plus large et ce par l'augmentation globale de l'épaisseur de l'antenne.

Parmi les inconvénients de cette méthode d'alimentation, c'est la complexité de fabrication [15][16].

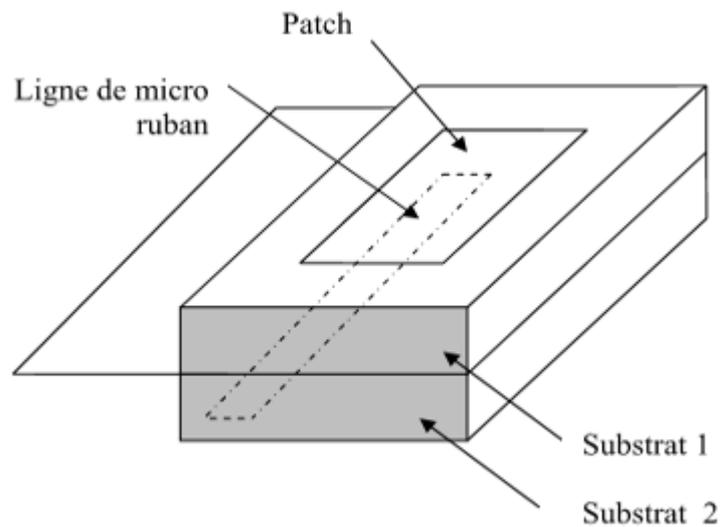


FIG. 2.8: Alimentation couplée par proximité

Caractéristiques	Alimentation par micro ruban	Alimentation coaxial	Alimentation par ouverture	Alimentation par proximité
Rayonnement parasite	Plus	Plus	Moins	Minimum
Fiabilité	Meilleur	Pauvre	Bon	Bon
Facilité de fabrication	Facile	Soudure et forage requis	Alignement requis	Alignement requis
Bande passante	2 à 5 %	2 à 5 %	2 à 5 %	15 %

TAB. 2.1: Comparaison entre les différentes méthodes d'alimentation

2.2 Technologie des antennes patches

2.2.1 Le matériau conducteur

Physiquement le patch est un conducteur mince (son épaisseur est de l'ordre de quelques microns). Les matériaux les plus utilisés pour le réaliser sont généralement le cuivre, l'argent et l'or, mais d'autres matériaux polymères conducteurs sont jusqu'à présent en étude. Les supraconducteurs ont prouvés une grande performance [17]. H.Rmili [18] a prouvé aussi la faisabilité de réaliser une antenne imprimée avec un patch en polyaniline.

2.2.2 Substrat

La couche intermédiaire est le substrat diélectrique, son importance réside dans son influence directe sur la fréquence de résonance, la bande passante, et le rayonnement de l'antenne.

Les substrats exploités dans la conception des antennes patches sont nombreux, Ils doivent être de permittivité relative faible ($\epsilon_r \leq 3$) de façon à permettre le rayonnement, et éviter le confinement des champs, la constante diélectrique du substrat s'étale de 2.2 à 12, et les matériaux les plus couramment utilisés sont des composites à base de téflon ($2 \leq \epsilon_r \leq 3$, et, $\tan \delta \approx 10^{-3}$), du polypropylène ($\epsilon_r = 2.18$, et, $\tan \delta = 3.10^{-4}$), ainsi que mousses synthétiques contenant beaucoup de minuscules poches d'air ($\epsilon_r = 1.03$, et, $\tan \delta \approx 10^{-3}$).[16][19]

2.3 Types de réseaux d'antennes

Un réseau d'antennes est une association des différents éléments rayonnants. Le but du réseau d'antennes est d'atteindre des caractéristiques spécifiques, un gain élevé et/ou un lobe principal conformé.

Il y a deux types de réseau, linéaires et bidimensionnels à alimentation en série ou en parallèle ou la combinaison série parallèle comme le montre les figure (Fig 2.9) [16].



FIG. 2.9: Réalisations de réseau à alimentation (a) linéaire en série, (b) linéaire en parallèle et (c) bidimensionnel en parallèle [16]

2.3.1 Réseaux linéaires à alimentation parallèle

2^n Éléments rayonnants peuvent être alimentés en parallèle par des lignes micro rubans 1 (Fig 2.10) formant n étages de 2 diviseurs de puissance à chaque étage m . Cette alimentation présente des avantages car elle est large bande puisque, les distances parcourues jusqu'à chacun des éléments rayonnants sont les mêmes et il est possible de disposer, sur les voies d'accès à ces éléments, des déphaseurs et des atténuateurs (ou des amplificateurs) afin de faire varier la phase et l'amplitude de l'onde pour conformer localement ou globalement le diagramme de rayonnement [16].

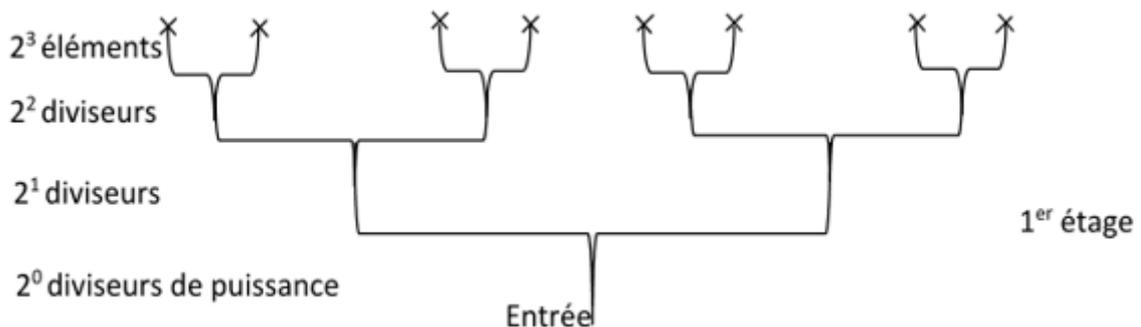


FIG. 2.10: Alimentation parallèle de 2^3 éléments rayonnants par 3 étages de diviseurs de puissances.

2.3.2 Réseaux bidimensionnelles

Afin d'obtenir un effet de réseau pouvant conformer le diagramme de rayonnement dans la direction souhaitée, dans les plans E et H , il est nécessaire d'avoir recours à des réseaux bidimensionnels et qui ont pour but d'augmenter le gain [16].

Ces réseaux augmentent le gain et l'alimentation peut être une combinaison série - série, série - parallèle ou parallèle - parallèle selon les figure (Fig 2.11) (Fig. 2.12).

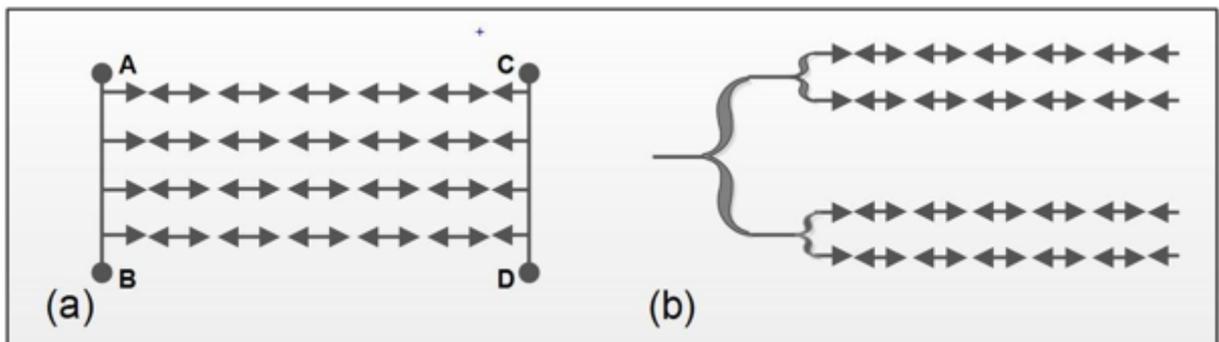


FIG. 2.11: Réseau bidimensionnel formé de réseaux linéaires à alimentation série et (b) réseau bidimensionnel formé de réseaux linéaires à alimentation parallèle-série.

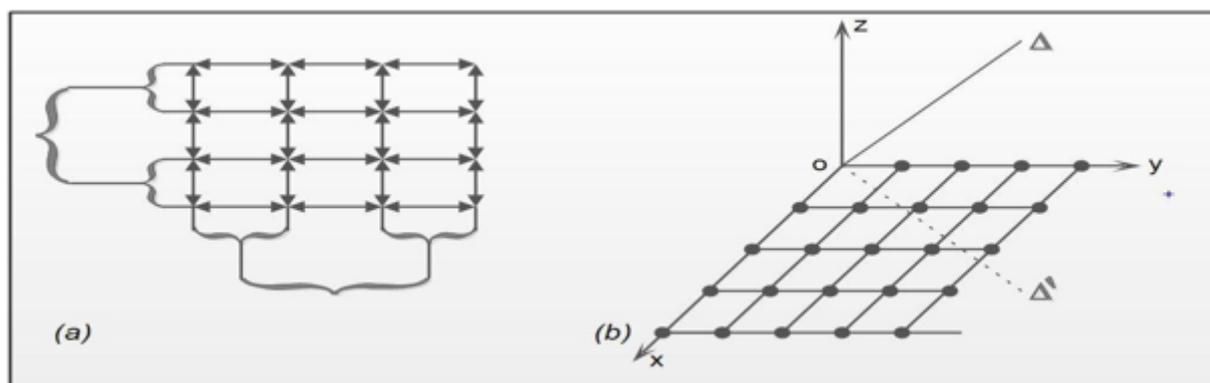


FIG. 2.12: (a) Réseau bidimensionnel à double alimentation parallèle et (b) grille dans le plan xOy , dont les nœuds représentent la position des éléments d'un réseau bidimensionnel rayonnant dans une direction $\Delta(\theta, \varphi)$

2.4 Calcul mathématique des caractéristiques de l'antenne patch rectangulaire

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.

Les méthodes numériques (méthodes des moments, méthodes des différences finies, méthode de Domaine de Temps de Différence Finie (FDTD); Méthode Spectrale) sont basées sur la connaissance des champs électromagnétiques sur toutes les régions de la surface étudiée, elles permettent d'étudier des antennes de formes très variées, mais font appel à des formulations plus complexes et des temps de calcul plus important.

Les méthodes analytiques c'est les méthodes les plus fréquemment utilisées pour analyser les antennes patches. On distingue [20] .

- Le modèle de la ligne de transmission (TLM).
- Le modèle de cavité.

La méthode de modélisation de la ligne de transmission TLM est la méthode qui convient mieux pour les structures des patches rectangulaires.

2.4.1 Modélisation de l'antenne patch rectangulaire par TLM

L'antenne est considérée comme une ligne de transmission dont les deux extrémités sont des ouvertures (fentes) rayonnantes (Fig 3.1). Ce modèle est complété en tenant compte des pertes dans le diélectrique, dans les conducteurs et du couplage entre les deux

ouvertures. Pour arriver au modèle final, il faut tenir compte de certains phénomènes [21][22][23] tels que :

- Le rayonnement ;
- La permittivité effective du substrat ;
- Les dimensions effectives de l'élément ;
- L'alimentation ;

Modèle et caractéristiques

Dans une première étape, l'élément rayonnant est modélisé par une ligne de transmission de longueur L chargée à ses deux extrémités par une admittance qui caractérise les discontinuités à ses bords (Fig. 3.1.a).

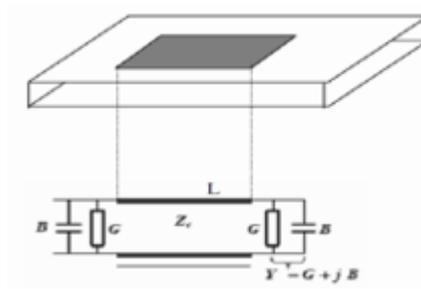


FIG. 2.13: schéma équivalent de l'antenne patch rectangulaire

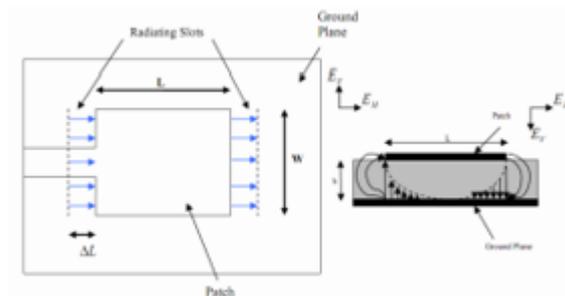


FIG. 2.14: Modélisation de l'antenne patch rectangulaire par deux fentes couplées

1. Calcul du champ rayonné par une fente

La fente, excitée par un champ électrique à polarisation uniforme selon Ox , peut être modélisée par un courant surfacique de type magnétique \vec{I}_S^m dirigé selon Oz (Fig 2.15).

Nous pouvons assimiler le rayonnement de la fente à celui d'un courant magnétique linéique dont l'intensité est : $\vec{I}^m (V) = \vec{I}_S^m h = Eh \vec{z} = \frac{V_0}{R} \vec{z}$.
 V_0 : la tension entre les deux côtés de la fente.

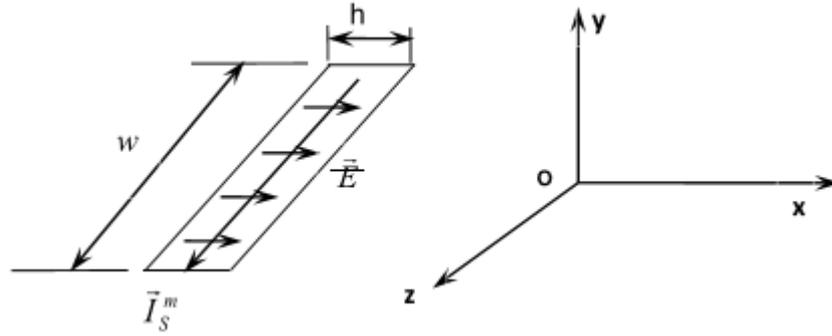


FIG. 2.15: Modélisation d'une fente excitée par un champ électrique à polarisation uniforme

Nous connaissons le champ rayonné par un doublet électrique de longueur dz et nous pouvons en déduire par le principe de dualité, le champ rayonné par un doublet électrique magnétique de longueur dz . A partir de là, nous saurons calculer le champ rayonné par le courant magnétique $\vec{I}^m = \frac{V_0}{R} \vec{z}$ qui modélise la fente dans le système de coordonnées $(\vec{\theta}, \vec{\varphi})$ pour les champs \vec{E}_θ et \vec{H}_φ rayonnés par un doublet électrique.

Le champ électromagnétique rayonné, en zone lointaine, par un doublet électrique, de hauteur dz , parcourue par un courant constant $I_0(A)$ a deux composantes (Fig 3.3) [24][25].

$$E_\theta = j \frac{120\pi}{2} \frac{1}{\lambda_0 R} V_0 dz \sin \theta e^{-jk_0 R}, (k = \frac{2\pi}{\lambda_0}) \quad (2.1)$$

$$H_\varphi = \frac{E_\theta}{120\pi} \quad \text{ou} \quad 120\pi = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} \quad (2.2)$$

Le champ électromagnétique rayonné par un doublet magnétique parcouru par un courant constant I_0 a deux composantes qui sont déduites de (Equation 2.1) et (Equation 2.2) par le principe de dualité :

$$H_\theta = j \frac{1}{2} \frac{1}{120\pi} \frac{1}{\lambda_0 R} V_0 dz \sin \theta e^{-jk_0 R} \quad (2.3)$$

$$E_\varphi = H_\theta \cdot 120\pi = j \frac{1}{2\lambda_0 R} V_0 dz \sin \theta e^{-jk_0 R} \quad (2.4)$$

Calculons maintenant le champ électrique rayonné par le courant magnétique $\vec{I}^m = \frac{V_0}{R} \vec{z}$ de longueur w . Prenons un point variable tel que $\varrho P = r$:

$$E_\varphi = j \frac{1}{2\lambda_0} V_0 \int_{-w/2}^{w/2} \sin \theta_e \frac{e^{-jk_0 r}}{r} dz \quad (2.5)$$

Lorsque le point P est en zone lointaine de l'élément rayonnant, on peut considérer que $\varrho P // OP$ et faire les approximations suivantes : dans le terme de phase : $r = R - z \cos \theta$; et dans le terme d'amplitude : $r = R$.

Dans ces conditions :

$$E_\varphi = j \frac{1}{2\lambda R} V_0 \sin \theta e^{-jk_0 r} \int_{-w/2}^{w/2} e^{jk_0 z \cos \theta} dz \quad (2.6)$$

Le calcul de l'intégral est classique :

$$z = 2 \frac{\sin(\frac{k_0 w}{2} \cos \theta)}{k_0 \cos \theta}$$

$$E_\varphi = j \frac{1}{2\pi R} V_0 \sin \theta \frac{\sin(\frac{\pi \omega}{\lambda_0} \cos \theta)}{\cos \theta} e^{-jk_0 R} \quad (2.7)$$

En réalité, compte tenu de la présence du plan de masse, le champ rayonné doit être multiplié par deux, conformément au principe des images. Nous avons donc, en module :

$$E_\varphi = \frac{V_0}{\pi R} \sin \theta \frac{\sin(\frac{\pi \omega}{\lambda_0} \cos \theta)}{\cos \theta} \quad (2.8)$$

2. Champ rayonné par l'élément rectangulaire

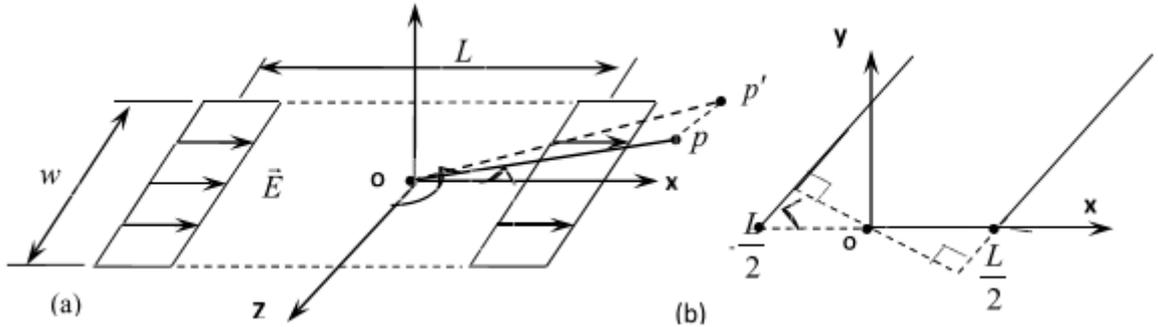


FIG. 2.16: Modèle équivalent utilisé pour calculer le rayonnement d'un élément rectangulaire, *a.* représentation dans l'espace, *b.* schéma dans le plan xOy

Le rayonnement de cet élément est équivalent à celui des deux fentes représentées sur la figure (Fig 2.16). Pour l'étudier, l'origine des axes est prise dans la position symétrique par rapport aux deux fentes.

Dans le plan H (plan yOz correspondant à $\varphi = \pi/2$), les champs rayonnés par les deux fentes s'additionnent en phase et le diagramme de rayonnement est le même que celui d'une seule fente. Le champ rayonné est donc :

$$\vec{E} = 2 \frac{V_0}{\pi R} \sin \theta \frac{\sin(\frac{\pi \omega}{\lambda_0} \cos \theta)}{\cos \theta} \vec{x} \quad (2.9)$$

Dans le plan E (plan xOy correspondant à $\theta = \pi/2$), le champ rayonné par chacune des fentes doit être calculé d'après la relation (Equation 2.8) pour $\theta = \pi/2$. Pour faire ce calcul, il faut mettre le dernier facteur sous la forme $\frac{\sin X}{X}$ avec $X = \frac{\pi\omega}{\lambda_0} \cos \theta$ afin de pouvoir utiliser la propriété $\frac{\sin X}{X} \rightarrow 1$ quand $X \rightarrow 0$

$$E_\varphi(\theta = \frac{\pi}{2}) = \frac{V_0 \omega}{R \lambda_0} \quad (2.10)$$

Pour calculer le champ rayonné par les deux fentes (Fig 2.14), nous devons tenir compte que la fente située à l'abscisse $x = -L/2$ rayonne avec retard de phase $\frac{-2\pi}{\lambda_0} \frac{L}{2} \cos \varphi$ tandis que celle qui est située à l'abscisse $x = L/2$ rayonne avec une avance de phase $\frac{-2\pi}{\lambda_0} \frac{L}{2} \cos \varphi$. Le champ total rayonné est donc :

$$\vec{E}_\varphi = 2 \frac{V_0 \omega}{\lambda_0 R} \cos\left(\frac{\pi L}{\lambda_0} \cos \varphi\right) \vec{\varphi} \quad (2.11)$$

Dans le plan $\varphi = cte$ passant par l'axe Oz , le champ rayonné dans une direction $\Delta(\theta, \varphi)$ est donné par :

$$\vec{E}_\varphi = 2 \frac{V_0}{\pi R} \sin \theta \frac{\sin\left(\frac{\pi\omega}{\lambda_0} \cos \theta\right)}{\cos \theta} 2 \frac{V_0 \omega}{\lambda_0 R} \cos\left(\frac{\pi L}{\lambda_0} \cos \varphi\right) \vec{\varphi} \quad (2.12)$$

2.4.2 Modèle de Cavité

Dans ce cas, l'élément rayonnant est considéré comme une cavité résonnante limitée par des murs magnétiques sur les bords de l'élément et des murs électriques au-dessus de l'élément et en-dessous du plan de masse, l'antenne est représentée sur la figure (Fig 2.17).

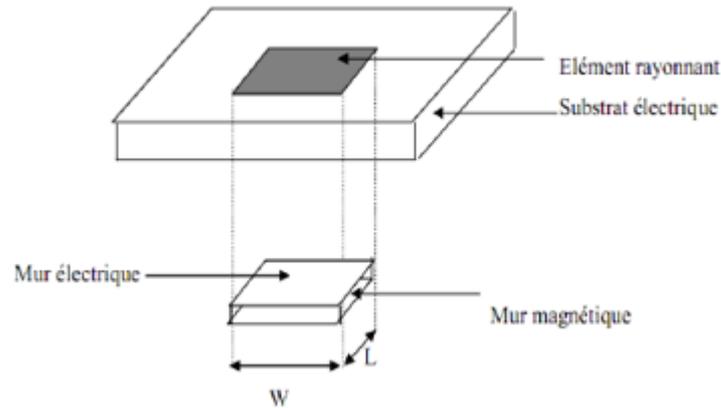


FIG. 2.17: Modèle de cavité

Cette méthode permet de déterminer de façon approchée la fréquence de résonance $F_{(m,n)}$ et la permittivité effective dans le cas d'un élément rayonnant rectangulaire de dimension (L, w) .

La fréquence de résonance

$$F_{(m,n)} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}} \sqrt{\left(\frac{m}{\pi\omega_e}\right)^2 + \left(\frac{n}{\pi L_e}\right)^2} \quad m, n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (2.13)$$

Avec m, n le nombre de mode.
 ε_r Permittivité relative.
 $C = (3.10^8)m/s$. [26]

Calcul de l'impédance d'entrée

L'impédance d'entrée de l'antenne est donnée par : [27]

$$Z_{in} = 90 \frac{\varepsilon_r^2}{\varepsilon_{r-1}} \left(\frac{L}{\omega}\right)^2 \quad (2.14)$$

La bande passante de l'antenne patch s'écrit :

$$B_p = 3.11 \frac{\varepsilon_{r-1}}{\varepsilon_r^2} \left(\frac{h}{L}\right) \quad (2.15)$$

Calcul de permittivité effective de l'élément rayonnant

D'après les formules d'AMMERSTAD, la permittivité effective est [28]

$$\varepsilon_e = \frac{\varepsilon_{r+1}}{2} + \frac{\varepsilon_{r-1}}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{w}\right)^{-1/2} \quad \text{pour } \frac{h}{w} \geq 1 \quad (2.16)$$

$$\varepsilon_e = \frac{\varepsilon_{r+1}}{2} + \frac{\varepsilon_{r-1}}{2} \left[\left(1 + 12 \frac{h}{w}\right)^{-1/2} + 0.04 \left(1 - \frac{w}{h}\right)^2 \right] \quad \text{pour } \frac{h}{w} < 1 \quad (2.17)$$

- Calcul de l'extension de longueur de patch

L'extension de la longueur du patch donnée par la relation (2.18).

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\varepsilon_e + 0.3)\left(\frac{w}{h} + 0.264\right)}{(\varepsilon_e - 0.258)\left(\frac{w}{h} + 0.8\right)} \quad (2.18)$$

- Calcul de la largeur du patch w

La largeur du patch est donnée par la relation (2.19.)

$$w = \frac{C}{2F} \sqrt{\frac{2}{\varepsilon_r + 1}} \quad (2.19)$$

Calcul de rendement

L'équation de conservation de la puissance s'écrit :

$$P_i = P_r + P_c + P_d \quad (2.20)$$

Où

- P_i : Puissance transmise.
- P_r : Puissance reçue.
- P_c : Perte métalliques
- P_d : Pertes diélectriques.

Ces différentes puissances sont données par les formules suivantes :

- Les pertes dans les parois conductrices sont données par

$$P_c = 2 \frac{1}{2} \int R_s I_s^2 dS \quad (2.21)$$

S , représente la surface d'élément métallique et R_s est la résistance des parois de conductivité

$$\sigma_1 \cdot R_s = \sqrt{\left(\frac{\pi \mu_0 f}{\sigma_1} \right)} \quad (2.22)$$

I_s est le courant produit dans les parois :

$$\underline{\vec{I}}_s = \underline{\vec{n}} \wedge \underline{\vec{H}} \quad (2.23)$$

Donc :

$$P_c = \sqrt{\left(\frac{\pi \mu_0 f}{\sigma_1} \right)} \int_S H^2 dS \quad (2.24)$$

- Les pertes dans le diélectrique sont données par la relation (2.25) :

$$P_d = \frac{1}{2} \int_v \sigma_d E^2 dV \quad (2.25)$$

σ_d est la conductivité du diélectrique qui est proportionnelle aux pertes $\tan \delta$

$$\sigma_d = \omega \varepsilon_0 \varepsilon_r \tan \delta \quad (2.26)$$

Comme par définition le rendement est :

$$\eta = \frac{P_r}{P_i} = \frac{P_r}{P_r + P_c + P_d} = \frac{P_r}{1 + \frac{P_c}{P_r} + \frac{P_d}{P_r}} \quad (2.27)$$

$$\eta = \frac{1}{1 + Q_r \frac{\delta_s}{h} + Q_r \tan \delta} = \frac{Q_r^{-1}}{Q_r^{-1} + \frac{\delta_s}{h} + \tan \delta} \quad (2.28)$$

Avec $\sigma_s = (\pi\mu_0\sigma_1 f)^{-1/2}$ est profondeur de pénétration dans les parois conductrices.

Calcul de la directivité et du gain

La directivité maximale est le produit par 4π du rapport puissance P_M rayonné par unité d'angle solide dans la direction de rayonnement maximale, à la puissance totale rayonnée P_r :

$$D(\theta, \phi) = 4\pi \frac{P(\theta, \phi)}{\eta P_a} \quad (2.29)$$

La direction de rayonnement maximale est lorsque $\theta = \pi/2, \varphi = \pi/2$, la puissance P_M est donné par la relation :

$$P_M = \frac{1}{60\pi} V_0^2 \left(\frac{\omega}{\lambda_0} \right)^2 \quad (2.30)$$

La puissance totale rayonnée par une fente étant de $\frac{1}{2}V_0^2G$, la puissance rayonné par l'élément imprimé vaut V_0^2G où G la conductance d'une fente.

La directivité de l'élément rectangulaire est :

$$D = 4\pi \frac{P_M}{P_r} = \frac{1}{15G} \left(\frac{\omega}{\lambda_0} \right)^2 \quad (2.31)$$

Avec G la conductance de l'élément rayonnant qui est égale à $G = \frac{W}{120\lambda_0} \left[1 - \frac{1}{24}(k_0 h)^2 \right]$

λ_0 Longueur d'onde dans le vide, $k_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0}$ le nombre d'onde.

W largeur de l'élément rayonnant.

- Si $\frac{W}{\lambda_0} \ll 1, G = \frac{W}{120\lambda_0}, D = \frac{1}{15} \frac{W}{120\lambda_0} \left(\frac{W}{\lambda_0} \right)^2 = 8 \left(\frac{W}{\lambda_0} \right)$
- Si $\frac{W}{\lambda_0} \gg 1, G = \frac{W^2}{90\lambda_0^2}, D = \frac{1}{15} 90 \left(\frac{\lambda_0}{W} \right)^2 \left(\frac{W}{\lambda_0} \right)^2 = 6$

Le gain est déduit de la directivité connaissant le rendement de l'antenne η de l'antenne $G_0 = \eta D$.

Angle d'ouverture a - 3 dB

Les angles d'ouverture à $-3dB$, notés $2\theta_3$ [11] :

$$(2\theta_3)_H = 2 \cos^{-1} \left(2 \left(1 + \frac{\pi\omega}{\lambda_0} \right) \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (2.32)$$

$$(2\theta_3)_E = 2 \cos^{-1} \left(\frac{1}{7} (3k_0^2 L^2 + k_0^2 h^2) \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (2.33)$$

2.5 Modélisation du réseau linéaire d'antennes

Considérons un réseau linéaire de N sources rayonnantes, identiques. Chaque antenne ayant une fonction caractéristique $F(\theta, \varphi)$, située à la position Y_i , et alimentée par une excitation complexe $A_i e^{j\psi_i}$. Le champ du groupement sera les champs résultants des interférences des champs de l'ensemble des antennes.[15]

Le champ au point M s'écrit : $M_T = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_N$.

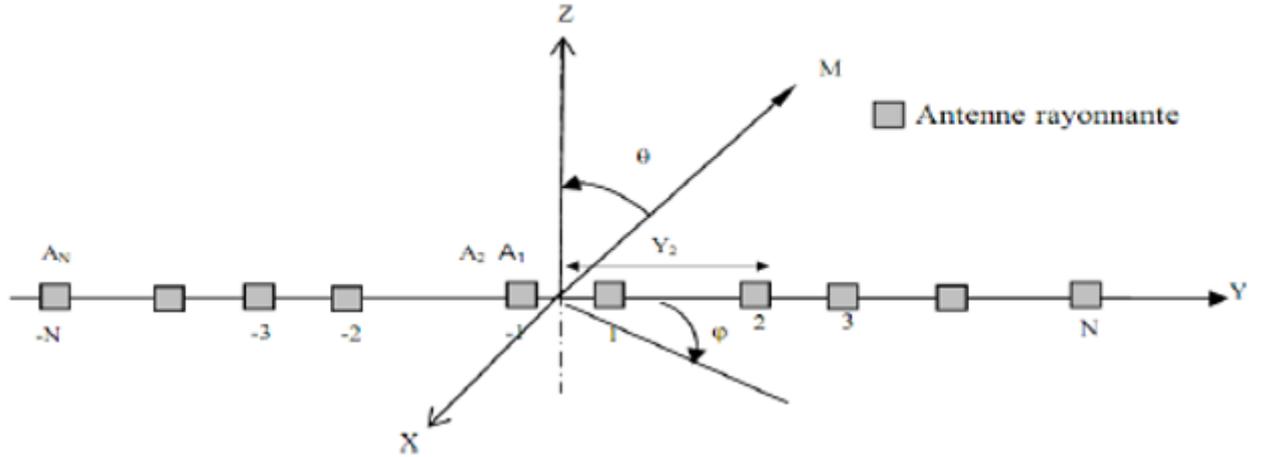


FIG. 2.18: Structure d'un réseau d'antenne linéaire

Le diagramme de rayonnement $F_S(\theta, \varphi)$, est une fonction des deux angles de direction θ et φ que nous pouvons écrire :

- Si le nombre d'antennes est pair ($2N$) :

$$F_S(\theta, \varphi) = \frac{F(\theta, \varphi)}{F_{max}} \sum_{i=0}^{2N} A_i \exp[j(K_0 Y_i \sin \theta \cos \varphi + \psi_i)] \quad (2.34)$$

- Si le nombre d'antennes est impair ($2N + 1$)

$$F_S(\theta, \varphi) = \frac{F(\theta, \varphi)}{F_{max}} \left(1 + \sum_{i=0}^{2N} A_i \exp[j(K_0 Y_i \sin \theta \cos \varphi + \psi_i)] \right) \quad (2.35)$$

Les caractéristiques de rayonnement du système dépendent à la fois du diagramme de rayonnement élémentaire, des coefficients d'excitation en amplitude et en phase sur chaque source et de la distance entre éléments.

2.6 Avantages et inconvénients des antennes patches

Avantages

- Faible poids, et encombrement minimal.
- Faible coût de production, et possibilité de production en masse.
- Polarisation linéaire et circulaire.
- Multi-polarisation possible.
- Réseau d'alimentation et d'adaptation fabriqués simultanément avec l'antenne.

Inconvénients

- Bande étroite à cause des limitations physiques et géométriques et un faible gain arrivant jusqu'à 5 à 6 dB au maximum.
- Rayonnement dans le demi-plan.
- Pertes de radiation impliquées par les ondes de surface.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté la description et le mécanisme de fonctionnement, les avantages, les inconvénients des antennes patches, ainsi que les différents types d'alimentation. En effet, nous avons effectué le calcul mathématique de l'antenne patch rectangulaire en utilisant des méthodes analytiques qui emploient des suppositions simplifiées, mais ils offrent généralement des solutions simples.

Chapitre 3

Simulation

Introduction

Dans ce chapitre nous allons traiter l'influence des paramètres internes et externes (la fréquence de résonance, la constante diélectrique) sur les caractéristiques d'une antenne patch et traiter quelques procédures pour la conception de cette dernière.

3.1 Calculs théorique des dimensions et caractéristiques de l'antenne

3.1.1 Calculs théorique des dimensions de l'antenne patch rectangulaire

Dans les calculs qui suivent nous allons utiliser la permittivité du substrat égale 2.17 et d'épaisseur $h = 1.6mm$. Le choix de ces valeurs sera justifié dans la sous-section traitant de l'influence des caractéristiques du substrat sur les performances de l'antenne.

Calcul de la largeur w du patch : La formule suivante permet de calculer une largeur d'un patch travaillant à la fréquence de résonance égale $8.5GHz$. Cette formule permet d'optimiser le rayonnement et de limiter les modes d'ordres supérieurs :

$$w = \frac{c}{2F_0} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}}$$

Calcul de la longueur L du patch : La longueur L du patch a été calculée en utilisant la formule (2.17) (2.18), et nous avons trouvé $L = 10.938mm$. Pour un substrat de constante diélectrique de 2.17 et d'épaisseur $h = 1.6mm$, une directivité de $7.03dB$ a été trouvée. Cette valeur dépend étroitement des caractéristiques du substrat utilisé. Dans la section suivante, nous allons analyser l'influence des caractéristiques du substrat sur la directivité

3.2 Influence des caractéristiques du substrat sur la directivité

Les critères diélectriques constituent la première interrogation concernant le choix du substrat. Afin de mieux choisir le substrat ; plusieurs substrats ont été utilisés pour illustrer ce phénomène et les tableaux suivants permettent de faire une comparaison.

3.2.1 Influence de la constante diélectrique sur la directivité

Substrats $h = 9.3(mm)$	Constante diélectrique relative	Largeur W (mm)du patch	Longueur $L(mm)$ du patch	Directivité dB
Téflon	2.17	14.017	5.186	7.0350
RT Duroid 5880	2.2	13.951	5.149	7.0052
Arlon Diclat	2.50	13.340	4.798	6.7369
Quartz	3.78	11.415	3.653	5.9926
FR4	4.30	10.841	3.305	5.7988
Alumine	9.80	7.594	1.337	4.9229
Silicium	11.90	6.949	0.951	4.7892

TAB. 3.1: Influence de la constante diélectrique sur la directivité ($h = 0.93cm$)

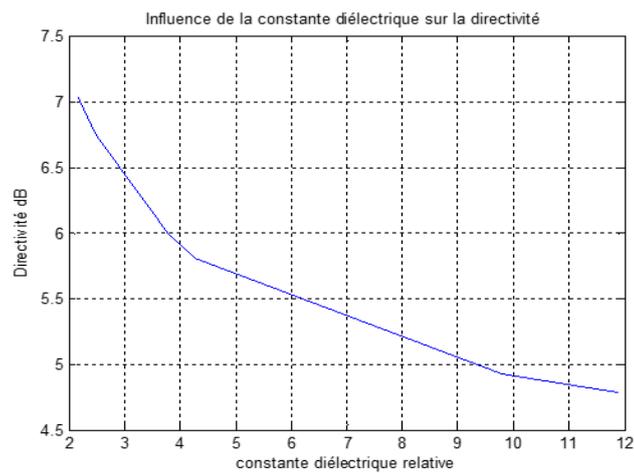


FIG. 3.1: Influence de la constante diélectrique sur la directivité

Commentaire

La figure (Fig 3.1) représente les variations de la directivité en fonction de la constante diélectrique relative, on remarque qu'avec la même épaisseur $h = 0.93$ cm de substrat, l'augmentation de la directivité est inversement proportionnelle à la valeur de constante diélectrique du substrat et on y voit bien que la fonction est une exponentiel négative. Le substrat Téflon qui a une constante diélectrique la plus faible donne une meilleure directivité ($7.03dB$) à la fréquence de $8.5GHz$.

3.2.2 Influence de l'épaisseur h du substrat sur la directivité

Influence de l'épaisseur du substrat Téflon sur la directivité

Epaisseur h (mm)	Larguer w(mm)du patch	Longueur L(mm) du patch	Directivité dB
0.9	14.017	11.458	7.2505
1.6	14.017	10.938	7.3004
4.3	14.017	8.806	7.3319
5.0	14.017	8.267	7.3144
6.2	14.017	7.367	7.2652
7	14.017	6.785	7.2199
7.5	14.017	6.428	7.1866
9.3	14.017	5.186	7.0350

TAB. 3.2: Influence de l'épaisseur h du substrat sur la directivité

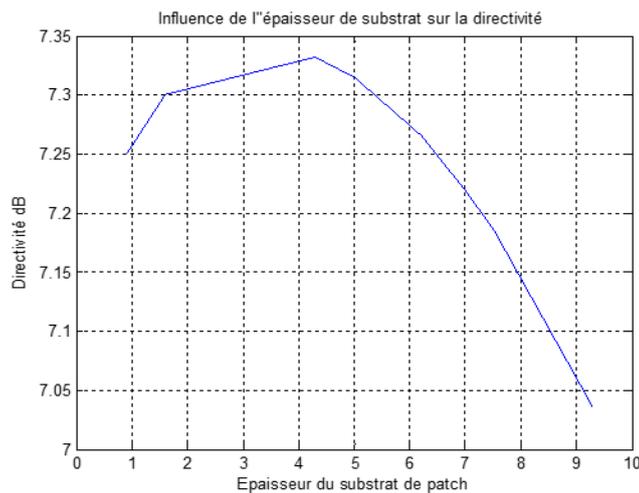


FIG. 3.2: Influence de l'épaisseur de substrat sur la directivité

Commentaire

La figure (Fig 3.2) représente les variations de la directivité en fonction de l'épaisseur de substrat h , on remarque que la progression de la directivité en fonction de l'épaisseur n'est pas linéaire, elle croit. Au-delà d'une certaine valeur de l'épaisseur, elle commence à décroître. En pratique, l'épaisseur du substrat est $h \leq 0.07 \times \lambda_0$ soit $h \leq 2.4mm$ dans notre cas.

Remarque

Afin d'avoir une bonne directivité, nous devons utiliser le substrat Téflon avec l'épaisseur normalisée la plus petite soit $1.6mm$.

3.2.3 Influence de l'épaisseur h de substrat sur la bande passante

Epaisseur h du substrat (mm)	Larguer w (mm)du patch	Longueur L (mm) du patch	Bande passante BP
0.9	14.017	11.458	0.0607
1.6	14.017	10.938	0.1130
4.3	14.017	8.806	0.3773
5.0	14.017	8.267	0.4674
6.2	14.017	7.367	0.6503
7	14.017	6.785	0.7973
7.5	14.017	6.428	0.9016
9.3	14.017	5.186	1.3856

TAB. 3.3: Influence de l'épaisseur h de substrat sur la bande passante

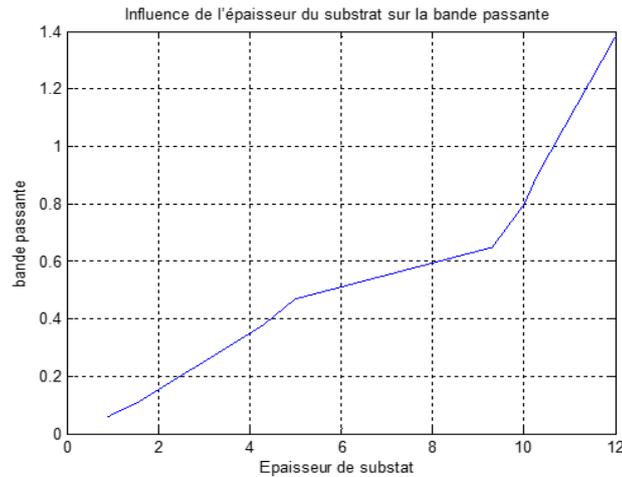


FIG. 3.3: Influence de l'épaisseur de substrat sur la bande passante

Commentaire

On remarque que la bande passante de l'antenne patch de forme rectangulaire s'améliore linéairement avec l'augmentation de l'épaisseur du substrat comme l'indique la figure (Fig 3.3) à une fréquence de travail de 8.5GHz .

3.3 Variation de la largeur et de la longueur du patch en fonction de la fréquence de résonance

Variation de dimensions de patch pour une épaisseur $h = 1.6\text{mm}$ et une permittivité de $\epsilon_r = 2.17$

Fréquence de résonance	Larguer w (mm) du patch	Longueur L (mm) du patch	Directivité dB
2.45	48.631	40.756	7.2011
4.2	28.368	23.343	7.2398
5	23.829	19.430	7.2543
8.5	14.017	10.938	7.3004
9.3	12.811	9.890	7.3079
12	9.929	7.381	7.3267

TAB. 3.4: Variation de la largeur et de la longueur du patch en fonction de la fréquence de résonance

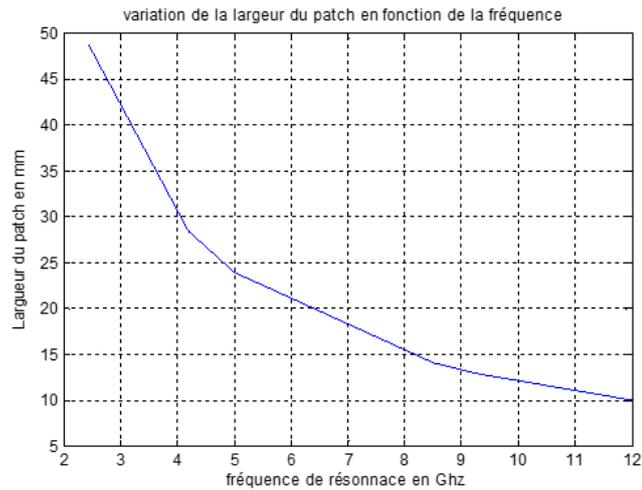


FIG. 3.4: variation de la largeur du patch en fonction de la fréquence

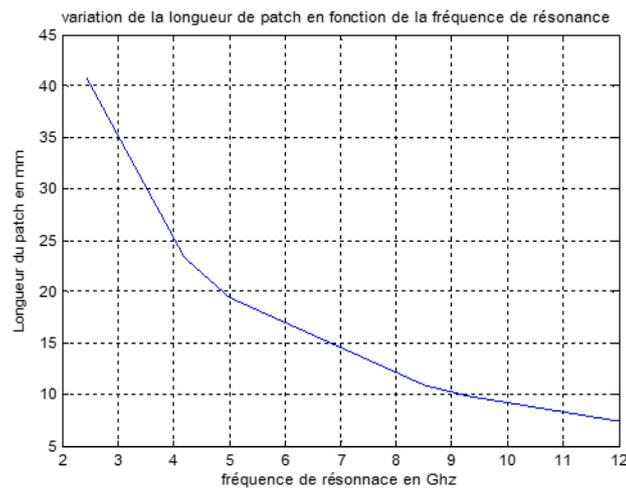


FIG. 3.5: variation de la longueur du patch en fonction de la fréquence

Commentaire

Les deux figures représentent la variation de dimensions du patch en fonction de la fréquence de résonance, on remarque que la fréquence de résonance est inversement proportionnellement à la longueur et largeur du patch. Ce qu'on peut déduire que les antennes patchs miniatures utilisent des larges bandes de fréquences.

3.4 Le diagramme de rayonnement de l'antenne patch

Le diagramme de rayonnement de l'antenne patch qui a une largeur de $w = 1.4017cm$ et longueur de $L = 1.0938cm$, pour le substrat Téflon qui a une constante diélectrique de

2.17 et l'épaisseur de $h = 1.6mm$ travaillant à la fréquence de $8.5GHz$.

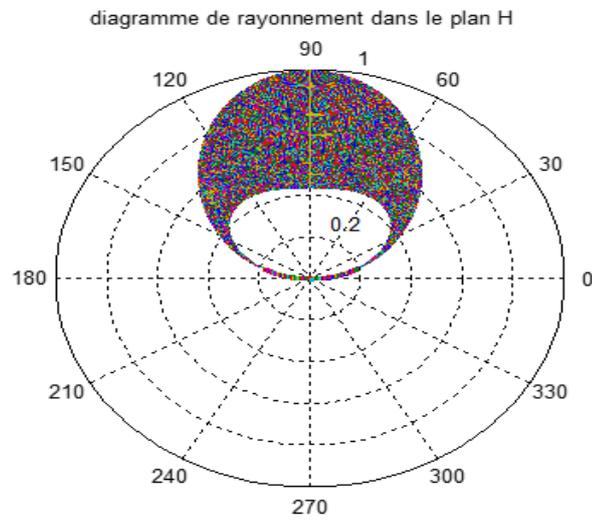


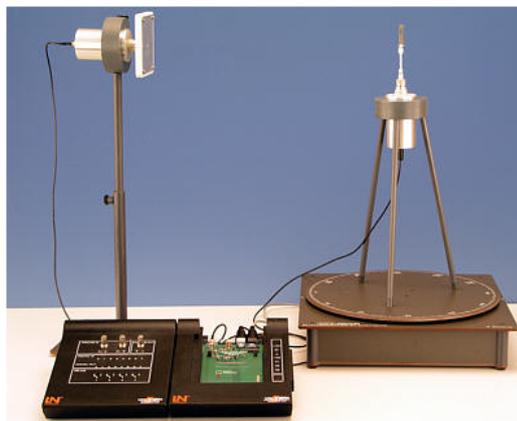
FIG. 3.6: Diagramme de rayonnement de l'antenne patch

Commentaire

on voit que la direction privilégiée est en 90 donc l'antenne est directive et on constate que les lobes secondaires deviennent moins importante à des basses fréquences.

3.5 Partie expérimentale

Pour tracer le diagramme de rayonnement d'une antenne patch, on a réalisé une structure expérimentale comme la montre l'image ci-dessous



Pour cela, On a pris deux antennes, une antenne patch émettrice qui a les dimensions de $w = 1.5cm$ et $L = 1cm$ pour un substrat d'aluminium qui a une constante diélectrique de 9.8 et une épaisseur de $h = 0.2$ et travaille à la fréquence de $8.5GHz$ et une antenne réceptrice (réseau d'antenne), on a travaillé dans un milieu non isolant (dans un laboratoire) de diagramme de rayonnement de cette antenne.

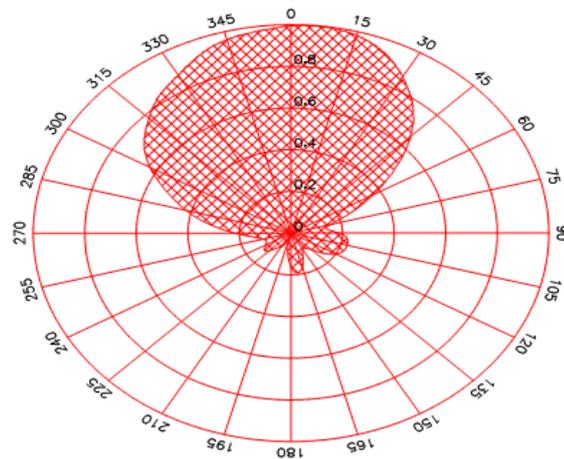


FIG. 3.7: Le diagramme de rayonnement de l'antenne émettrice.

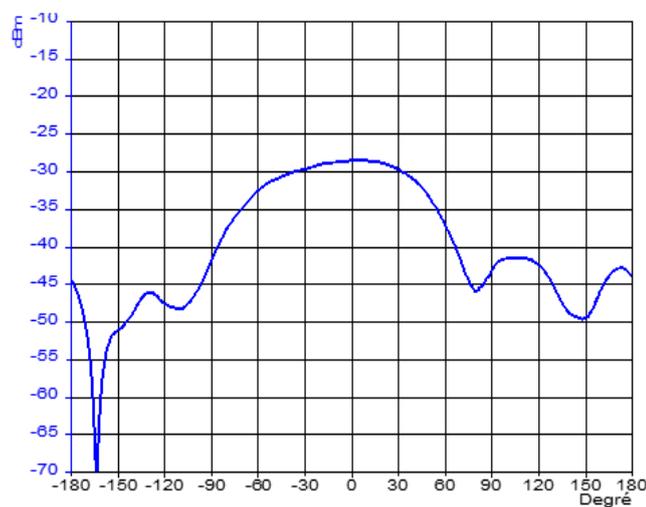


FIG. 3.8: Le diagramme de rayonnement en coordonnées cartésiennes.

Remarque

Pour une notation finale concernant particulièrement une antenne patch on remarque bien que le diagramme de rayonnement tend à avoir une forme circulaire dans le plan horizontal. Nous constatons sur le diagramme de rayonnement ci-dessus qu'il y a des

lobes secondaires pour une ouverture d'environ 60. Le milieu ne nous permet pas de les distinguer parfaitement car c'est un milieu non isolant (la présence des réflexions).

Conclusion

On peut conclure

- Le substrat qui a une constante diélectrique la plus faible donne une meilleure directivité.
- L'épaisseur de substrat de l'antenne patch n'influe pas sur la directivité.
- La bande passante est proportionnelle à l'épaisseur de substrat.
- la fréquence de résonance est inversement proportionnellement à la longueur et largeur du patch.

Conclusion générale

L'organisation de notre travail nous a permis de bien assimiler l'ensemble des connaissances collectées dans le domaine des antennes.

Le premier chapitre qui porté des généralités sur les antennes nous a aidé à comprendre quelques éléments fondamentaux caractérisant l'antenne; En ayant ces connaissances de base, l'étude des antennes patch nous est moins compliquée.

L'essentiel du travail que nous avons entrepris sur les généralités des antennes patch porte sur les différentes techniques d'alimentation et aussi sur les méthodes d'analyse. Cela nous a aidé à bien recenser les avantages et les inconvénients de chaque technique d'alimentation, est sans doute, le souci de réalisation et d'adaptation tout en gardant les caractéristiques physiques et électriques meilleurs que possible. la technique d'alimentation par contact présente l'avantage d'être facile à réaliser et donne une meilleure adaptation. cependant, elle diminue la bande passante de l'antenne. la techniques d'alimentation sans contact quant à elle, permet une largeur de bande très élevée et minimise les rayonnements parasites. Néanmoins, elle est difficile à réaliser. Nous avons utilisé deux méthodes pour modéliser l'antenne de patch : le premier utilise modélisation par ligne microstrip, elle est simple à formuler, mais elle est limitée à des antennes de forme rectangulaire. De plus, elle ne tient pas compte de tous les paramètres constituant le patch donc moins précise. La deuxième qui la cavité est généralisée sur toutes les formes de patch. Elle est précise du fait qu'elle tient compte de tous les paramètres de patch, mais elle est très complexe.

Une étude est faite sur l'influence des caractéristiques de l'antenne patch sur la directivité et sur la bande passante, plusieurs conclusions sont tirées à savoir :

- Le substrat qui a une constante diélectrique la plus faible donne une meilleure directivité.
- L'épaisseur de substrat de l'antenne patch n'influe pas sur la directivité.
- La bande passante est proportionnelle à l'épaisseur de substrat.
- la fréquence de résonance est inversement proportionnellement à la longueur et largeur du patch.

Bibliographie

- [1] KHELLADI Abdellatif « Contribution à l'étude des caractéristiques de rayonnement et performance d'antennes diélectriques micro ruban à ondes de fuite non uniforme » Mémoire de Magister, Université Abou Belkaid de Tlemcen, 2009.
- [2] Juan R.Mosig « Rayonnement et antennes » Électriciens, SEL-EPFL, 3e année Bachelor, Institut national des sciences à Toulouse, 2007/2008.
- [3] BOYER Alexandre « Antennes » Support de cours de 5^e année réseau et Télécom, octobre 2011
- [4] BELARBI Alex « Examen probatoire en électronique », Conservatoire National des arts et Métiers - Centre régional de Marseille, septembre 2003.
- [5] AMEZIANE Djamel « Etude et optimisation d'antennes fractales plaquées », Magister télécom, 20 mai 2009.
- [6] GAHA Hafedh Ben Ibrahim « Analyse et conception des antennes Fractales application aux télécommunications Large Bande », Thèse de Doctorat ,Institut national polytechnique de Toulouse , 2007.
- [7] CONIL Emmanuelle « Propagation électromagnétique en milieu complexe du champ proche au champ lointain » , Thèse de doctorat, INPG, 10 Novembre 2005.
- [8] BENABADJI Selma & LALLAM Chafika « Conception et modélisation d'une antenne micro ruban compacte pour l'utilisation dans les terminaux mobiles », mémoire de fin d'études pour l'obtention de Master en télécommunication , Université de Tlemcen ,2012
- [9] G. Kumar and K. P. Ray, "Broadband microstrip antennas," Artech House Boston. London 2003
- [10] V. Planisamy and R. Garg, "Analysis of arbitrarily shaped microstrip patch antennas using segmentation technique and cavity model," IEEE Transactions on Antennas and Propagations, Vol. AP-34, N^o. 10, Octobre 1986.

- [11] CHORFI Hamid « Conception d'un nouveau système d'antenne réseau conforme aux ondes millimétrique » mémoire pour l'obtention Université de Quebec ,Mai 2012.
- [12] Vaudon Patrick, 'Les antennes cornets' mémoire de maitrise en Télécommunication. IRCOM-Université de Limoges.
- [13] A. K. Bhattacharryya , "Long rectangular patch antenna with a single feed ," IEEE Transactions on Antennas and Propagations, Vol. 38 , N^o. 7, pp. 987-993, July 1990.
- [14] C. A. Balanis, "Antenna theory analysis and design," 2 edition John Wiley and Sons, 1997.
- [15] Choutti Leila ‘‘ Contribution à l'étude d'antennes imprimées rectangulaires double bande et multi bandes tenant compte de l'effet de couplage ‘‘mémoire pour l'obtention de grade Magister, université de Constantine, 2009
- [16] Mr IRANKUNDA Germain Mr UFITEYEZU Emmanuel ‘‘ Etude et Conception d'une antenne patch Rectangulaire pour les Réseaux Personnels Sans fils _WPAN à 60 GHz ‘‘ USTHB
- [17] Z. cai and J.Bonnemann, "Generalysed spectral-domain analysis for multilayered complex media and high Tc superconductor application", ", IEEE, Trans on microwave theory and techniques, Vol 40, Dec 1992.
- [18] H.Rmili, "Etude, réalisation et caractérisation d'une antenne plaque en polyaniline fonctionnant à 10GHz", thèse de doctorat, université de Bordeaux I, France, Nov2004.
- [19] Linda Djouablia ‘‘ Contribution à l'étude des structures microbandes rayonnantes par la méthode des moments application à la forme triangulaire‘‘, Thèse de doctorat, université de Constantine, 2012.
- [20] Fouad Benamrane 'Conception d'une antenne patch Microstrip ‘‘Master, université Sidi Muhamed Ben Abdellah, Maroc, 2011.
- [21] Gwénaél Poitou « Contribution au développement d'un isolateur coplanaire à résonance par la méthode des Différences Finies dans le Domaine Temporel », Thèse de Doctorat ,2002 .
- [22] E.H.Newman, et P.Thlyathan « Analysis of Microstrip Antennas Using Moment Méthods » IEEE Trans. Antenna Propagation, Vol.AP-29, No .1, Janvier 1981 ;
- [23] M.KAHAL Kamel et M.HAICHANE « Modélisation des antennes PATCH » mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en télécommunication, Juin 2006 ;

- [24] C.A Balanis « Antenna theory, analysis and design, » John Wiley et Sons, Inc 1997 ;
- [25] B.Nacera « Les antennes planaires pour les communications UWB » mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en télécommunication, Oran 2009 ;
- [26] R.GARG, S.A.LONG. "Resonant frequency of electrically thick rectangular microstrip antenna. Electronics letters", 1987, vol.23, n°21.
- [27] Rabih SLIM & Khalil HAYDAR« Conception d'une Antenne Patch ou Réseau d'antennes A gain fort et haute Directivité pour Applications WiFi 2.45 GHZ » , Université Antonine .
- [28] E. O. Hammerstard, Proceedings of the 5th European Microwave Conference, Humberg, Septembre 1975.