



Mémoire de Master

Filière Télécommunication

Spécialité Réseaux et Télécommunication

présenté par

Birane Abdelmalek

Si Saber Abderrahim

Antennes Fractales reconfigurables

Proposé par : Mr.Abed Ahcene

Année Universitaire 2019-2020

Remerciements

Au terme de cette étude, nous tenons à présenter nos sincères remerciements au bon dieu de nous avoir accordé la connaissance de la science et de nous avoir aidé à réaliser ce modeste travail.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon directeur de mémoire, Monsieur ABED.
.Je vous remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé , QU' allah protège votre famille

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions durant mes recherches.

Enfin, je remercie mes amis qui ont toujours été là pour moi. Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide.

À tous ces intervenants, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.

Monsieur, le Président et les membres du jury, nous sommes très sensibles à l'honneur que vous nous faites en acceptant de juger ce travail.

Dédicace

A mes très chers parents

A ceux que j'aime le plus au monde, A ceux qui m'ont tout donné sans compter. Vous avez été pour moi tout au long de mes études le plus grand symbole d'amour de dévouement qui n'a ni cessé ni diminué.

En ce jour, j'espère réaliser l'un de vos rêves, et j'espère ne jamais vous décevoir, ni trahir votre confiance.

Que dieu vous garde et procure santé, bonheur, et longue vie pour que vous demeuriez le flambeau illuminant le chemin de vos enfants maman.

Que le bon dieu accueille mon père dans son vaste paradis.

A mon chère frère Abdelhakim

Tu m'as toujours soutenu dans les moments difficiles. Vos affections n'ont d'égale que vos gentilleses.

Avec mon grand amour, je vous dédie ce travail en vous souhaitant beaucoup de bonheur et des avènements pleins de joie.

A toute ma famille

Je vous dédie ce travail en vous souhaitant tout le bonheur du monde.

Aux étudiants de ma promotion

Je vous dédie ce travail avec mes sentiments les plus sincères, en mémoire de tous les moments agréables vécus ensemble.

Abderrahim

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance, c'est tout simplement que :

Je dédie ce travail à **ma chère Mère** Fatima zohra

Tu représentes pour moi la source de tendresse et l'exemple de dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager. Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivant le bon chemin dans leur vie et leurs études.

A **mon cher Père** Mohamed

Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation le long de ces années.

A ma **chère soeur** Meriem et sa petite famille

A **mes frères** Sidahmed et Abderrahmen et sa petite famille

A tous ce qui m'a apporté une aide spécialement M.Boulila

A toute la famille, A tous les étudiant(e)s de ma promotion.

A tous mes enseignants depuis mes premières années d'études

A tous ceux qui me sens chers et que j'ai omis de citer.

Abdelmalek

Résumé :

L'évolution rapide de la télécommunication sans fils provoque une limitation de ressources fréquentielles et une réduction de débits et d'efficacité de transmission. Les antennes reconfigurables permettent de répondre à ces problèmes, elles offrent de multiples fonctions en changeant dynamiquement leurs propriétés telles que la fréquence, le diagramme de rayonnement, la polarisation ou la combinaison entre ces trois paramètres. Dans ce travail, nous avons étudié une antenne fractale (Triangle de Sierpensi) reconfigurable en fréquence .La reconfigurabilité est effectuée par l'ajout d'une diode PIN, tout en conservant le digramme de rayonnement et la polarisation. L'étude paramétrique de cette antenne était faite par l'utilisation du simulateur HFSS

Abstract :

The rapid evolution of wireless telecommunications causes a limitation of frequency resources and a reduction of data rates and transmission efficiency. Reconfigurable antennas can address these problems; they offer multiple functions by dynamically changing their properties such as frequency, radiation pattern, polarization or the combination of these three parameters. In this work, we have studied a frequency reconfigurable fractal antenna (Sierpensi Triangle). Reconfigurability is achieved by adding a PIN diode, while maintaining the radiation pattern and polarization. The parametric study of this antenna was done using the HFSS simulator

ملخص

يتسبب التطور السريع للاتصالات اللاسلكية في الحد من موارد التردد وتقليل معدلات البيانات وكفاءة الإرسال. يمكن للهوائيات القابلة لإعادة التشكيل معالجة هذه المشكلات ؛ أنها توفر وظائف متعددة عن طريق تغيير خصائصها ديناميكيًا مثل التردد أو نمط الإشعاع أو يتم تحقيق إعادة التكوين عن الاستقطاب أو الجمع بين هذه المعلمات الثلاثة. في هذا العمل ، درسنا هوائيًا فركتليًا قابلاً لإعادة التكوين ، مع الحفاظ على نمط الإشعاع والاستقطاب. تم إجراء الدراسة البارامترية لهذا الهوائي باستخدام PIN طريق إضافة الصمام الثنائي

hfss محاكي

Listes des acronymes et abréviations

GSM	Global System For Mobile
DCS	Digital Cellular System
PCS	Personal Communications Service
HFSS	High Frequency Structure Simulator
CST	Computer Simulation Technology
OEM	Onde Electromagnétique
TV	Télévision
Hz	Hertz
UV	Ultraviolet
IR	Infrarouge
EM	Electromagnétique
dBi	Décibels par rapport à l'antenne isotrope
dB	Décibels
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
PIN	Positive Intrinsic Negative diode
RF MEMS	Radio-frequency microelectromechanical system
Varicap	Variable Capacity
DTC	Digitally Tunable Capacitor
AC	Alternative Current
DC	Direct Current
FET	Field Effect Transisto
RF	Radio Frequence
3D	Trois dimensions

MEMS: Micro Electro Mechanical system

Varicap variable capacitor

ADS Advanced Design System

Liste des symboles

$\vec{\nabla}$	Opérateur Nabla
ρ	Densité Volumique De Charge
ε	Permittivité électrique
ε_0	Permittivité électrique dans le vide
ε_r	Permittivité relatif au milieu
μ_0	Perméabilité magnétique dans le vide
μ	Perméabilité magnétique
μ_r	Perméabilité magnétique dans le
σ	La conductivité électrique.
λ	La longueur d'onde
C	La célérité de la lumière
T	La Période
f	La Fréquence
P	La densité de puissance surfacique
Pr	Puissance Rayonnée
$D(\theta, \varphi)$	La directivité d'une antenne
$P(\theta, \varphi)$	L'intensité de rayonnement dans une direction
$P(\theta, \varphi)_{iso}$	L'intensité de puissance de source isotrope
I	Le Courant
V	La Tension
Z_e	Impédance d'entrée
B_p	Bande Passante
f_{min}	Fréquence Minimale
f_{max}	Fréquence Maximale
f_c	Fréquence de résonance
η	Le Rendement
R_r	Résistance de rayonnement
R_p	Résistance liée aux pertes
S_{11}	Coefficient de Reflexion
Z_r	Impédance Caractéristique

\vec{E}

Champ électrique

\vec{H}

Champs Magnétique

Liste des figures

Figure I-1 :l'onde electromagnétique.....	6
Figure I-2 : types de polarisations.....	8
Figure I-3: le spectre electromagnétique	9
Figure I-4 : structure d'un réseau antenne	11
Figure I-5:diagramme de rayonnement d'une antenne directive.....	12
Figure I-6:type de polarisations.....	14
Figure I-7 :réflecteur parabolique	18
Figure I-8:antenne cornet.....	18
Figure I-9 :aspect d'une antenne micro-ruban rectangulaire.....	19
Figure II-1:structure d'une antenne imprimé	23
Figure II-2 :différentes formes d'antennes patches :.....	24
Figure II-3 :alimentation par cable coaxiale :	25
Figure II-4 :alimentation par ligne micro-ruban :	26
Figure II-5 :alimentation couple par ouverture :	27
Figure II-6 :alimentation couplé par proximité :.....	28
Figure II-7 :diverses techniques pour concevoir des antennes reconfigurables.....	32
Figure II-8 : le circuit d'une diode équivalent dans les etats ON et OFF	33
Figure II-9 :le symbole et le circuit équivalent d'une diode varicap	34
Figure II-10:commutateur MEMS.....	35
Figure II-11: schéma des types d'antennes reconfigurables	36
Figure III-1:circuit équivalent simplifié pour une diode PIN.....	43
Figure III-2:schéma équivalent du commutateur.....	44
Figure III-3:structure de l'antennes fractale de sierpinski.....	45
Figure III-4:structure de l'antenne fractales d'ordre 0.....	46
Figure III-5:coefficient de réflexion S11 de l'antenne fractale d'ordre 0.....	46
Figure III-6:diagramme de rayonnement d'une antenne d'ordre 0.....	47
Figure III-7:structure de l'antennes fractales d'ordre 1.....	47
Figure III-8:coefficient de réflexion S1 de l'antenne fractale d'ordre 1.....	48
Figure III-9:diagramme de rayonnement d'une antenne d'ordre1.....	48
Figure III-10:diagramme de rayonnement d'une antenne d'ordre 1.....	49
Figure III - 11 : Coefficient de réflexion S11 de l'antenne fractale d'ordre2.....	49
Figure III - 12 : Diagramme de rayonnement d'une antenne d'ordre 2.....	52
Figure III - 13 : emplacement des diodes PIN sur l'antenne fractale.....	51

Figure III - 14 : coefficient de reflexion correspond à l'état 1.....	51
Figure III - 15 : diagramme de rayonnement correspond à l'état 1.....	52
Figure III - 16 : coefficient de reflexion correspond à l'état 2.....	53
Figure III - 17: diagramme de rayonnement correspond à l'état 2	53
Figure III - 18 : diagramme de rayonnement correspond à l'état 3.....	54
Figure III - 19: diagramme de rayonnement correspond à l'état 3.....	54
Figure III - 20: diagramme de rayonnement correspond à l'état 4.....	55
Figure III - 21: diagramme de rayonnement correspond à l'état 4.....	55
Figure III - 22: comparaison des 4 coefficients de réflexions.....	56
Figure III - 23: structure du deuxième antennes fractale.....	56
Figure III - 24:: diagramme de rayonnement orrespond à l'état 1.....	57
Figure III - 25: diagramme de rayonnement correspond à l'état 1.....	57
Figure III - 26: coefficient de reflexion correspond à l'état 2.....	58
Figure III - 27: diagramme de rayonnement correspond à l'état 2.....	58
Figure III - 28: coefficient de reflexion correspond à l'état 3.....	59
Figure III - 29: diagramme de rayonnement correspond à l'état 3.....	59
Figure III - 30: coefficient de reflexion correspond à l'état 4.....	60
Figure III - 31: diagramme de rayonnement correspond à l'état 4.....	60
Figure III - 32: coefficient de reflexion correspond à l'état 5.....	61
Figure III - 31: diagramme de rayonnement correspond à l'état 5.....	61
Figure III - 32: comparaison des 4 coefficients de réflexions.....	62

Liste des tableaux

Tableau III.1: Les dimensions de l'antenne fractale proposé.....	45
Tableau III.2 : différents états des diodes PIN.....	50

Liste des matières

Introduction Générale	1
Chapitre 01 :Principes fondamentales des antennes.....	3
I.1 Introduction	4
I.2 Historique	4
I.3 Ondes électromagnétique	5
I.3.1 Définition de l'OEM.....	5
I.3.2 les sources des OEM.....	7
I.3.3 Les paramètre d'OEM.....	8
I.3.4 Le spectre électromagnétique.....	9
I.4 Les Antennes	10
I.4.1 Définition.....	10
I.4.2 Structure d'un réseau d'antenne.....	10
I.4.3 Les caracteristiques des antennes	12
I.4.3.1 Caractéristiques de rayonnement.....	12
I.4.3.1.1 Diagramme de rayonnement	12

I.4.3.1.2				
Directivité.....				13
I.4.3.1.3	Le gain.....			13
I.4.3.1.4	La polarisation.....			14
I.4.3.1.5		Résistance		de
rayonnement.....				15
I.4.3.2			Caractéristiques	
électriques.....				15
I.4.3.2.1			Impédance	
d'entrée.....				15
I.4.3.2.2	La	bande	passante	
(BP).....				15
I.4.3.2.3	Le rendement			16
I.4.3.2.4	Le	coefficient	de	
réflexion.....				16
I.5	Types des antennes.....			17
I.5.1	Antennes élémentaires.....			17
I.5.2	Antennes en réseau.....			17
I.5.3	Antennes à réflecteurs.....			17
I.5.4	Antenne	pour	guide	
d'onde.....				18
I.5.5	Antennes	imprimées	(micro-	
ruban).....				18
I.6	Conclusion.....			19
Chapitre 2	:Antennes Patch et la reconfigurabilité			20
II.1	Introduction			21
II.2	: Historique			22
II.3	Les antennes imprimées.....			
...22				

II.3.1	Description	d'une	antenne	imprimée	ou	"patch"	22
II.3.2 :	Les	différentes	formes	d'une	antenne	patch	24
II.3.3: Techniques d'alimentations.....								24
A.	Alimentation		par			câble	coaxial.....	25
B.	Alimentation		par		ligne	micro-	ruban.....	25
C . Alimentation couplée par ouverture.....								26
D.	Alimentation		Couplée			Par	Proximité.....	27
II.4 Avantages et inconvénients des antennes imprimées.....								28
II.5 Applications.....								29
II.6. Antenne								
reconfigurable.....								30
II.6.1.								
Introduction.....								30
II.6.2	Définition		d'une			antenne	reconfigurable.....	31
II.6.3 Les techniques de reconfiguration.....								31
II.6.4 :	Classification		des			antennes	reconfigurables.....	36
II.6.5	Antennes		reconfigurables			en	fréquence.....	37
II.7.Conclusion.....								39
Chapitre 3 :Conception et simulation d'un antenne fractale reconfigurable.....								40
III.1 Introduction								41

III	.2	Choix	d'outil	de	
simulation.....					41
III	.3	Les	structures	rayonnantes	principales :
.....					41
III .3.1		Les antennes filaires :			41
III .3.2		Les antennes à fente :			42
III .3.3		Les antennes patch :			42
III .4		L'influence de la diode PIN sur la structure rayonnante d'une antenne.....			43
III.5		Conception d'une antenne fractale reconfigurable en fréquence.....			44
III.6		Résultats de simulations			46
III.6.1		Structure de l'antenne fractale Sierpinski d'ordre 0..			46
III.6.2		Structure de l'antenne fractale Sierpinski d'ordre 1.....			47
III .6.3		Structure de l'antenne fractale Sierpinski d'ordre 2.....			49
III .6.4		Modélisation de la diode PIN.....			50
		A. Sierpinski reconfiguration 1 :			51
		B. Sierpinski reconfiguration 2 :			58
III.7		Conclusion.....			64
Conclusion générale					65
Bibliographie					66

Introduction Générale :

Le domaine des télécommunications a connu un progrès technologique au cours des dernières années grâce à la forte demande de la population et de l'industrie. Parmi les préoccupations de ce domaine, on trouve les antennes. Ce sont des éléments indispensables pour assurer une opération d'émission ou de réception des ondes électromagnétiques dans l'atmosphère terrestre ou dans l'espace. Elles sont présentes dans tous les systèmes de communication sans fil.

Afin de répondre aux besoins actuels du domaine de télécommunication les concepteurs ont développé un point important : celui d'être connecté en permanence à un réseau mobile d'où l'apparition d'un nouveau réseau sans fils pour la communication à distance (le réseau de téléphonie mobile). Et cela en élaborant des dispositifs à base des antennes planaires (imprimées). Ces antennes présentent des caractéristiques très avantageuses en ce qui concerne le poids, le volume, le cout, la simplicité de fabrication et surtout la possibilité de les implanter sur tout type de dispositif électronique.

Cependant ce type d'antenne présente des limites notamment la bande passante étroite, le faible gain, et la possibilité de résonner à une seule fréquence.

Aujourd'hui les antennes planaires connaissent un grand intérêt chez les chercheurs à cause de leurs nombreuses applications. En effet, les domaines d'utilisation privilégiés des antennes microbande sont les communications en hautes fréquences tels que les communications spatiales, les systèmes militaires et commerciaux, la navigation aérienne ou terrestre, les réseaux informatiques sans fil et la téléphonie mobile.

Pour une antenne, de nombreuses bandes opérationnelles sont à couvrir suite à l'évolution des standards de communication. Elle est présente dans tous les systèmes de communication sans fil. Face à la croissance de divers standards tels que le GSM, DCS les nouvelles antennes doivent être capable de couvrir le maximum des bandes de fréquences correspondant à ces différents services en un minimum

d'encombrement.

L'objectif de ce mémoire est d'étudier et caractériser une antenne imprimée « patch ». La caractérisation de l'antenne se poursuit également par la détermination de ses paramètres hyperfréquences (fréquence de résonance, bande passante, diagramme de rayonnement et gain) à l'aide d'un logiciel de simulation électromagnétique CST. Pour atteindre cet objectif, le présent travail est scindé en trois chapitres.

Chapitre I : Une vue générale sur les antennes est donnée, ainsi qu'une présentation de leurs caractéristiques et rôle. par la suite, on présentera les antennes imprimées, qui correspond à notre étude

Chapitre II : Il sera consacré à la description générale des antennes patches et les antennes fractales, leurs propriétés et leurs caractéristiques,

Chapitre III : ce chapitre est consacré à la modélisation, conception d'une antenne patch multifréquences et sa simulations a l'utilisation du logiciel HFSS

Chapitre 01 :

Principes fondamentaux des antennes

I.1 Introduction :

Dans nos jours, les antennes jouent un rôle très important dans plusieurs applications, qui s'étendent différents domaines, elle est une partie indispensable de n'importe quel dispositif de communication sans fil. L'évolution actuels des communications impose des innovations importantes au niveau de la conception des systèmes et des antennes associées, dont les formes aujourd'hui très diverses varient beaucoup selon les utilisations : télécommunications mobiles, radars, satellites, etc. La simplicité des circuits et les exigences de moins de congestion et de faible volume, poids et coût sont toujours demandés. La miniaturisation est une façon de répondre à ces exigences [1]. Ce chapitre introductif sera consacré en premier lieu généralité sur les antennes, nous l'offrons brièvement leur définition et leurs caractéristiques. Par la suite, on présentera les antennes imprimées, qui correspond à notre étude. Il suffit de soumettre son historique dans quelque ligne et on précisera les antennes patchs, on donnera leur description et quelque différent forme

I.2 Historique : [2].

Il serait inutile de chercher à attribuer l'invention de l'antenne à un savant en particulier, mais on doit savoir que l'antenne est le résultat de l'accumulation de plusieurs recherches, auxquelles les scientifiques de plusieurs pays ont participé. Au début les chercheurs se sont intéressés beaucoup aux phénomènes électriques et magnétiques :

« Ampère » a remarqué qu'un courant électrique qui circule dans un fil dévie l'aiguille d'une boussole située à proximité.

« Faraday » a pu découvrir qu'un courant électrique circule dans un fil métallique refermé en boucle quand un aimant est approché ou éloigné de cette boucle.

Et c'est au physicien « James maxwell » et théoricien fondateur de l'électromagnétisme, d'unifier les divers observations et relations entre le champ magnétique et électrique pour formuler dans les années 1860/1865 les célèbres équations connues aujourd'hui sous le nom « équations de maxwell » qui ont été publiées ensuite en 1873.

En 1888 le physicien allemand « Heinrich Rudolf Hertz » a démontré l'existence physique des ondes électromagnétiques en construisant un appareil produisant des ondes radio a une fréquence de 1GHz. En suite les expériences de « marconi » dans les années 1890 ont prouvées qu'il est possible d'établir une liaison entre deux points de la terre par propagation d'ondes radioélectriques en espace libre, « marconi » fut le premier à utiliser le terme* Antenne*.

I.3 Onde électromagnétique :

On commence par la définition d'une onde électromagnétique (OEM), les sources de ces ondes, le rayonnement de ces ondes et les paramètres qui les caractérisent.

I.3.1 Définition de l'OEM

L'onde électromagnétique est la résultante de deux champs : Le champ électrique E et le champ magnétique H . Ces deux champs dont les variations temporelles sont sinusoïdaux, se déplacent dans le vide à la vitesse de la lumière soit 300 000 Km/s. Ce sont des vibrations définies par un mouvement ondulatoire sinusoïdal représentées dans « la figure I-1 ».

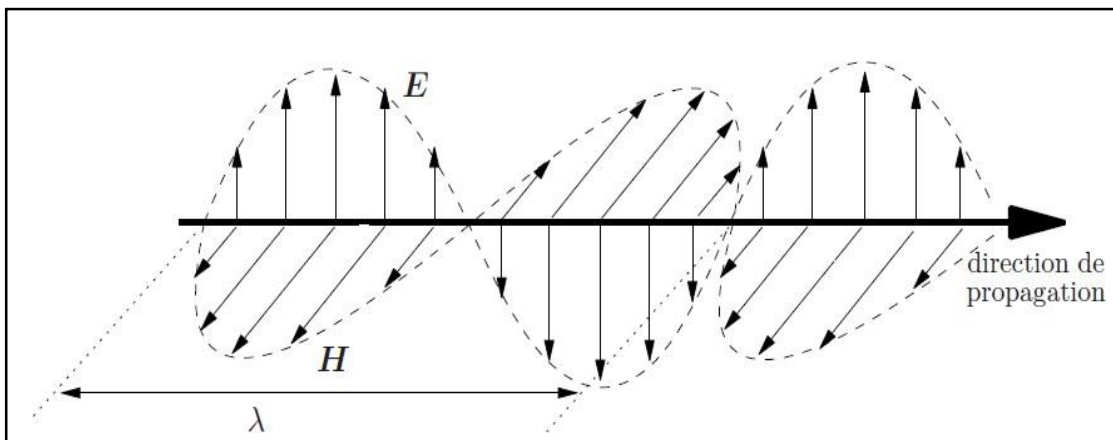


Figure I-1: l'onde électromagnétique.

Toute charge et toute circulation de charge sont capables de créer des champs électriques et magnétiques autour d'eux et produire ainsi un rayonnement électromagnétique (création d'une onde électromagnétique qui se propage librement dans l'espace) . Le physicien anglais « maxwell » a donné un cadre un peu plus mathématique à ses phénomènes en établissant ainsi les « équations de maxwell ».

Dans le cas général ces équations sont données par :

- Equation de Maxwell – Gauss : $\vec{\nabla} \times \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon}$ (1.1)

- Equation de Maxwell – Thompson : $\vec{\nabla} \times \vec{B} = 0$ (1.2)

- Equation de Maxwell – Faraday : $\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial B}{\partial t} = -\mu \frac{\partial H}{\partial t}$ (1.3)

- Equation de Maxwell-Ampère : $\vec{\nabla} \times \vec{H} = \sigma \cdot \vec{E} + \varepsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$ (1.4)

En combinant alors les équations (1.3) et (1.4) il est possible d'écrire deux équations différentiel dites équations de propagation dans le vide:

$$\vec{\nabla}^2 \cdot \vec{E} - \mu \varepsilon \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0 \quad (1.5)$$

$$\vec{\nabla}^2 \cdot \vec{\beta} - \mu \varepsilon \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0 \quad (1.6)$$

A noter que :

- ρ : densité volumique de charge
- ε : permittivité électrique, $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} F/m$: permittivité électrique dans le vide et ε_r permittivité relatif au milieu on a $\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r$
- μ : perméabilité magnétique, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} H/m$: perméabilité magnétique dans le

vide et μ_r perméabilité magnétique relatif et on a $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$

- σ : la conductivité électrique.

I.3.2 les sources des OEM:

Les ondes électromagnétiques sont émises par deux types de source à savoir : les sources naturelles et les sources artificielles.

- Les premières sont produites de façon naturelle dans l'environnement, par l'activité solaire (émission de la lumière) et atmosphérique (présence de charges électriques dans les nuages) et aussi les cellules vivantes (coeur et le cerveau).
- Les secondes sont produite par l'ensemble des appareils électriques qui génèrent des ondes électromagnétiques, (antenne de téléphone mobile, radio, émission TV, les appareils électroménagers et les dispositifs médicaux comme la radiologie).

• I.3.3 Les paramètre d'OEM :

Les OEM sont caractérisées par certains paramètres liées entres eux il s'agit :

- **La longueur d'onde λ** : c'est la distance parcourue par l'onde au cours d'une période mesurée en mètre (m) et si on appelle C la célérité de l'onde et T sa période on a :

$$\lambda = C \times T = \frac{c}{f}$$

- **La fréquence** : qui est le nombre de longueur d'onde compris dans une seconde, mesuré en hertz (Hz).
- **La densité de puissance surfacique** : qui est les flux énergétique reçu par unité

de surface s'exprime en watt /m² elle est donnée par la relation : $P= E^2/377$.

- **La polarisation de l'OEM** : c'est l'orientation du champ électrique E par rapport à l'horizontal, si E est parallèle à l'horizontale on dit que l'onde a une polarisation horizontale si le champ E est perpendiculaire alors la polarisation est verticale. Si la direction de E reste constante on dit que la polarisation est rectiligne (le cas le plus courant), si elle varie on aura deux mode circulaire ou elliptique.

« La figure I-2 » donne une représentation des différents types de polarisation.

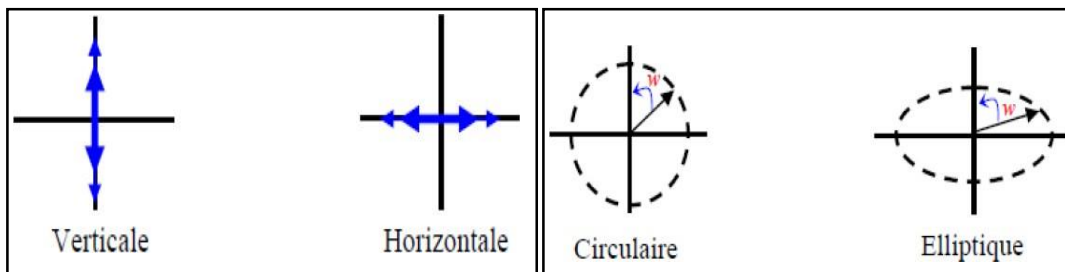


Figure I-2: types de polarisation.

I.3.4 Le spectre électromagnétique

Le spectre électromagnétique « figure I-3 » est la répartition des ondes électromagnétiques en fonction de leur longueur d'onde, de leur fréquence, ou bien de leur énergie.

Les ondes radioélectriques ou ondes hertziennes sont des ondes électromagnétiques qui se propagent de deux façons :

- Dans l'espace libre (propagation rayonnée, autour de la terre par exemple)
- Dans des lignes (propagation guidée, dans un câble coaxial ou un guide d'onde)

Et leur domaine des fréquences s'étend de 9 KHz à 300 GHz. Ces ondes sont

utilisées pour la transmission radio et télévision [14] et la propagation s'effectue de diverses manières :

- Par onde directe c'est-à-dire sans rencontré des obstacles naturelles (montagne, couches atmosphérique) ou artificielles (les immeubles).
- Par réflexion, lorsque l'onde rencontre un obstacle elle subira des réflexions c'est-à-dire elle est rayonnée dans une direction différente.

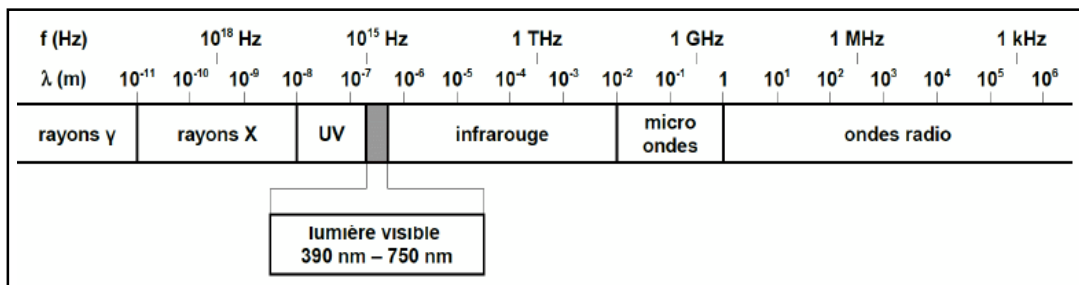


Figure I-3: le spectre électromagnétique.

I.4 Les Antennes :

I.4.1 Définition :

Une antenne est un dispositif qui permet de transformer l'énergie électrique en énergie électromagnétique en émission et vis vers sa en réception afin d'assurer la transmission de l'information. On peut les qualifier comme des adaptateurs d'impédances entre l'espace et l'émetteur ou le récepteur [3]

L'antenne d'émission son rôle est de transformer la puissance électromagnétique guidée, issue d'un générateur en une puissance rayonnée. Dans ce sens c'est un transducteur. L'antenne de réception de façon inverse, la puissance rayonnée peut être

captée par une antenne de réception. Dans ce sens l'antenne apparait comme un capteur et un transformateur de puissance rayonnée en puissance électromagnétique guidée.[4]

I.4.2 Structure d'un réseau d'antenne :

Toute structure qui reçoit une onde électromagnétique peut transmettre une onde électromagnétique. Une antenne passive peut réciproquement être utilisée en émission et en réception. Les propriétés de l'antenne resteront les mêmes qu'elle soit utilisée en émission ou en réception. La figure (I.4) présente la structure générale d'une antenne émettrice. (Une antenne réceptrice présente une structure similaire, l'alimentation est remplacée par un récepteur , le sens des flèches indiquant le transfert de puissance est inversé) [5] :

- Le signal à transmettre peut provenir d'une ou plusieurs sources (amplitude et phase des sources indépendantes). P_s correspond à la puissance électrique délivrée par la source.
- Des amplificateurs et des filtres peuvent être placés entre la source et l'antenne pour fournir une puissance électrique suffisante aux éléments rayonnants et assurer une émission (ou une réception) sur une bande étroite
- L'émetteur ou le récepteur sont reliés à l'antenne par une ligne qui sont en général des lignes coaxiales ou des guides d'ondes. Ils permettent de transporter une puissance électrique aux P_a éléments rayonnants. La puissance P_a est différente de la puissance en P_s raison des pertes liées aux différents éléments reliant la source aux éléments rayonnants.
- Le réseau de polarisation permet de connecter les signaux à transmettre aux éléments rayonnants, de les déphaser et/ou de les combiner entre eux.
- Les éléments rayonnants assurent la transmission de l'énergie fournie par l'émetteur à l'espace libre où l'onde va se propager. La puissance rayonnée par l'antenne est notée P_r . Réciproquement, elle assure la transmission de l'énergie d'une onde EM vers le récepteur

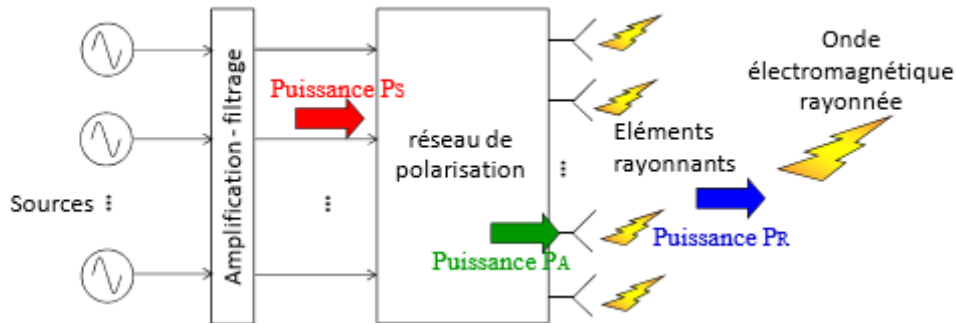


Figure I-4 :structure d'un réseau d'antenne

Il est important que l'installation de l'antenne et sa connexion à la source nécessite d'autres structures non présentées sur le schéma, mais qui vont avoir une influence non négligeable sur les performances de l'antenne. L'antenne est montée mécaniquement sur un dispositif (un mat pour une station de base, le châssis d'un téléphone) qui va contribuer à modifier le rayonnement de l'antenne. En outre, l'antenne peut être protégée de l'environnement extérieur par un radome, qui peut absorber une partie du rayonnement [5]

I.4.3 Les caractéristiques des antennes :

Une antenne est caractérisée par différents paramètres qu'on peut classer soit en caractéristiques électriques soit en caractéristiques de rayonnement.

I.4.3.1 Caractéristiques de rayonnement:

I.4.3.1.1 Diagramme de rayonnement :

Les antennes sont dans la plus part des cas omnidirectionnelles et émettent ou reçoivent dans des directions privilégiées. Le diagramme de rayonnement représente

les variations de la puissance rayonnée par l'antenne dans les différentes directions de l'espace. Il indique les directions de l'espace (θ_0, φ_0) dans lesquelles la puissance rayonnée est maximale. Il est important de noter que le diagramme de rayonnement n'a pas de sens que si l'onde est sphérique. [5]

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-5 ». [4]

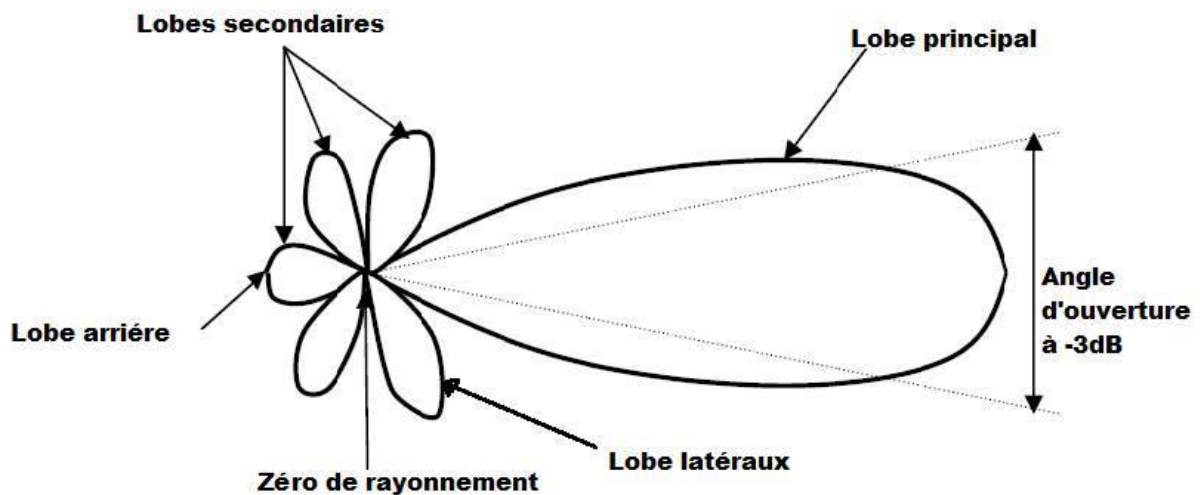


Figure I-5 : diagramme de rayonnement d'une antenne directive.

- **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.4.3.1.2 Directivité:

La directivité d'une antenne caractérise la manière dont cette antenne concentre son rayonnement dans certaines directions de l'espace. La directivité est définie comme : le rapport de l'intensité de rayonnement dans une direction de l'antenne par rapport à l'intensité de puissance que rayonnerait la source isotrope. Elle est donnée par la relation suivante [4] :

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

P_r : est la puissance totale rayonnée.

Une antenne qui a un lobe principal étroit a une meilleure directivité, que celui qui a un lobe principal large, donc elle est plus directive.

I.4.3.1.3 Le gain:

Le gain d'une antenne dans une direction donnée est la quantité descriptive de la performance de l'antenne, c'est la quantité d'énergie rayonnée dans cette direction comparée à l'énergie qu'une antenne isotrope rayonnerait dans la même direction avec la même puissance d'entrée. Le rapport de gain est donné par [4] :

$$Gain = \frac{P(\theta, \varphi)}{(P_a/4\pi)}$$

Le gain est lié à la directivité, il définit l'augmentation de la puissance émise ou reçue dans le lobe principal, il est dû au fait que l'énergie est focalisée dans une seule direction, il est exprimé en dBi (décibels par rapport à l'antenne isotrope)[5] : $Gain = \eta D$
Pour avoir un gain important, l'antenne doit avoir un diagramme de rayonnement directif et réciproquement

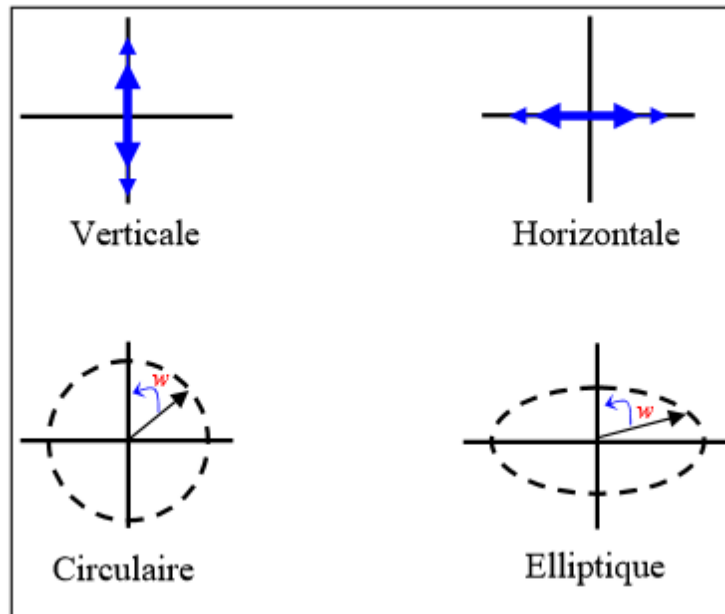
I.4.3.1.4 La polarisation:

La polarisation d'une antenne indique la direction de son champ électrique E (la direction de l'onde qu'elle rayonne ou qu'elle reçoit) [5]

- Si E garde une direction constante dans le temps, on dit que l'on a une

polarisation rectiligne (voir la Figure I. 4).

- Si la direction varie avec le temps de telle sorte que si, en un point donné, on schématise les positions successives de , l'extrémité du vecteur représentatif décrit un cercle ou une ellipse. On dit alors que le champ rayonné est à polarisation circulaire ou elliptique.[4]



Figurel-6 : types de polarisations

I.4.3.1.5 Résistance de rayonnement:

Soit P_r la puissance active rayonnée par une antenne. S'il est possible de connaître le courant I_Q en un point Q de cette antenne, nous définissons la résistance de rayonnement en ce point par le rapport [6]:

$$R_Q = \frac{2P_r}{I_Q^2}$$

I.4.3.2 Caractéristiques électriques:

I.4.3.2.1 Impédance d'entrée:

Considérons une antenne dont on peut définir les deux bornes d'entrée A et B. Soient V_e la tension entre les bornes A et B et I_e le courant d'alimentation de l'antenne.

L'impédance d'entrée de l'antenne est donnée par : [6]

$$Z_e = \frac{V_e}{I_e}$$

I.4.3.2.2 La bande passante (BP)

La bande passante d'une antenne peut être définie comme étant la gamme des fréquences utiles, en laquelle l'antenne possède des capacités optimales pour émettre ou recevoir l'énergie électromagnétique correspondante dans l'espace environnant. La valeur des limites sur les critères de fonctionnement de l'antenne définit un domaine de fréquences situées entre une valeur minimale f_{min} et une valeur maximale .

La bande passante est donnée par [4] :

$$B_p = \left[\frac{f_{min} - f_{max}}{f_c} \right] \times 100$$

Avec f_c est la fréquence centrale ou de résonance.

I.4.3.2.3 Le rendement

Le rendement est le rapport entre l'énergie rayonnée par une antenne et celle qui lui fournit l'alimentation. Il est exprimé par [6]:

$$\eta = \frac{R_r}{R_r + R_p}$$

R_r : Résistance liée à son rayonnement.

R_p : Résistance liée aux pertes de l'antenne.

Il est aussi exprimé par [4] :

$$\eta = \frac{P_r}{P_a}$$

I.4.3.2.4 Le coefficient de réflexion () (adaptation)

D'une manière générale, lorsqu'une onde incidente change de milieu de propagation ou rencontre une nouvelle interface, une partie de cette onde incidente est réfléchiée et l'autre partie est transmise dans le nouveau milieu. Le coefficient de réflexion d'une antenne se définit comme étant le rapport des amplitudes des ondes incidentes sur les ondes réfléchiées. Pour une antenne d'impédance Z , reliée à la source par une ligne d'impédance caractéristique Z_s (souvent égale à 50Ω), le coefficient de réflexion peut être défini comme suit [4] :

$$S_{11} = \frac{Z_{in}^-}{Z_{in} + Z_s}$$

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

$$|S_{11}|_{dB} = 20 \log |S_{11}|$$

Le coefficient de réflexion permet de connaître la qualité d'adaptation d'une antenne. En effet, plus son module tend vers l'infini, plus l'antenne est adaptée. Souvent, la fréquence de résonance d'une antenne est celle où le coefficient de réflexion est minimal.

I.5 Types des antennes:

Une antenne peut émettre dans toutes les directions (antenne omnidirectionnelle) ou dans une seule direction définie (antenne directionnelle), et dans ces deux catégories les types d'antenne sont multiples et diversifiées mais peuvent être regroupées en famille comme suite :

I.5.1 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.

I.5.2 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) [1]. 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 cierge (constitué de plusieurs dipôles demi-onde alimenté de façon à rayonner en phase) et les antennes hybrides.

I.5.3 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.

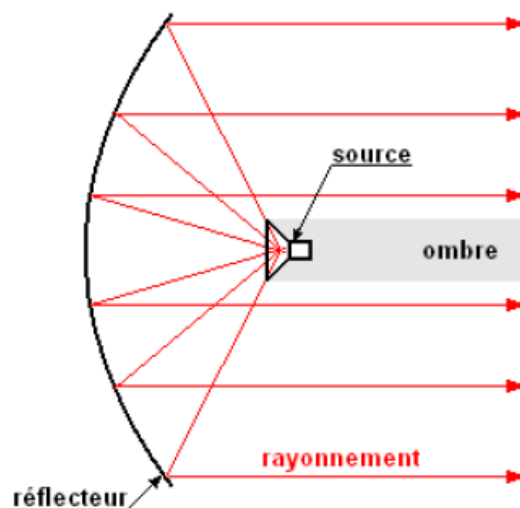


Figure I-7: réflecteur parabolique.

I.5.4 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.

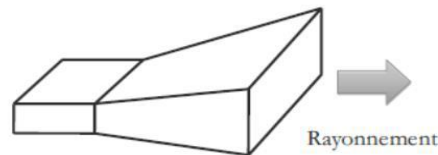


Figure I-8: antenne cornet.

I.5.5 Antennes imprimées (micro-ruban)

L'antenne imprimée, 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.9 ». Les courants sont amenés de générateur à l'entrée par une ligne micro ruban.

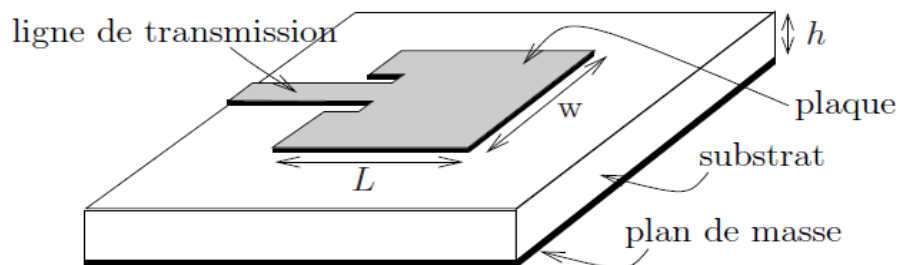


Figure I-9: aspect d'une antenne micro-ruban rectangulaire.

I.6 Conclusion

La maîtrise de la théorie des antennes est plus que nécessaire, elle nous permet de comprendre leur comportement à des différentes gammes de fréquences. Car pour toute application, il faut choisir des caractéristiques bien conforme au standard spécifique. Dans ce chapitre nous avons dressé un état de l'art sur les antennes : le rôle des antennes, le rayonnement des antennes. Puis on a présenté les différents paramètres des antennes en suite on a donné un bref aperçu sur quelques types d'antennes. Après ce passage, on présente l'antenne imprimée qu'on détaillera dans le chapitre suivant.

Chapitre 02 :

Antenne Patch et la reconfigurabilité

II.1 Introduction :

De nos jours, l'industrie des télécommunications porte un grand intérêt à la miniaturisation des circuits et composants électroniques. En ce qui concerne les objets communicants, cet effort se concentre notamment sur l'antenne qui est généralement l'un des éléments les plus encombrants du système. Les terminaux actuels doivent ainsi être capables de fonctionner dans les bandes traditionnelles utilisées en téléphonie mobile (GSM 850-900, DCS1800, PCS1900....)

Le développement des télécommunications spatiales, les contrôles et les commandes à distance, ont fait apparaître la nécessité croissante de réaliser des dispositifs micro-ondes peu coûteux et peu encombrants, faisant appel à une technologie simple et économique. Les systèmes micro-ondes à structure micro ruban ont été à l'origine du développement des **antennes imprimées** (antennes plaques ou antennes patch) qui sont le plus souvent utilisées en réseaux afin d'améliorer leurs performances et de permettre la réalisation de fonctions très particulières.

Le concept **d'antennes imprimées** est apparu dans les années 1950, mais il faudra attendre les années 1970 pour voir apparaître les premières réalisations qui seront essentiellement réservées à des applications militaires, et les années 1990 pour un véritable passage au stade industriel. Deux atouts majeurs vont entraîner un développement très important de ce type d'antenne : leur faible coût de réalisation, et leur capacité d'intégration. Elles sont aujourd'hui implantées dans de nombreux dispositifs électroniques et constituent le type d'antenne privilégié aux fréquences microondes dans les systèmes de communication intégrés modernes

II.2 : Historique :

L'idée d'un élément rayonnant à **micro ruban** date de 1950 et le concept a été proposé par **Deschamps** à l'USA. Quelques années plus tard **Gutton** et **Baissinot** ont breveté une antenne basée sur micro ruban. A cause du manque de bons substrats la recherche a stagné pour une période de 15 ans. Le besoin d'une antenne mince pour l'industrie militaire et spatiale a réanimé le développement des antennes imprimées au début des années 1970. La structure planaire qui est constituée d'une plaque conductrice gravée sur un substrat diélectrique qui repose sur un plan de masse a été décrite par **Byron**. Un peu plus tard **Munson** a réalisé la première antenne microbande. En 1979 un colloque sur les antennes tenu au Mexique lance un intérêt international pour les antennes micro rubans. Plusieurs articles ont été présentés dans cette réunion puis apparus dans une édition spéciale des transactions d'**IEEE** sur les antennes et la propagation. Un des premiers livres qui définit les caractéristiques des antennes microbandes, et qui est toujours une référence standard, a été écrit par **Bahl** et **Bhartia**. Depuis, plusieurs travaux sont apparus montrant la polyvalence en terme de géométries possibles ce qui les rend applicables dans différentes situations [4] [7]

II.3 Les antenes imprimée

II.3.1 Description d'une antenne imprimée ou "patch"

Une antenne à éléments rayonnants imprimés « figure I-1 », communément appelée antenne patch est une ligne micro-ruban (microstrip) de forme particulière. Elle effectue ainsi deux fonctions fondamentales qui définissent le principe d'antenne de manière générale, il s'agit bien du rayonnement (émission) et de la réception d'une onde électromagnétique. Elle se compose de [5] :

- **Le plan de masse (ground plane)** est une surface conductrice (cuivre) recouvrant la partie inférieure du substrat. Elle permet de faire rayonner la partie supérieure.[4]
- **Un substrat diélectrique (dielectric substrate)** composé d'un matériau isolant, d'épaisseur généralement faible devant la longueur d'onde et de permittivité relative ($2,2 < \epsilon_r < 12$). Il est utilisé pour augmenté la puissance rayonnée par l'antenne et réduire les pertes par effet de joule et amélioré la bande passante de l'antenne. Parfois, il est préférable d'utiliser des substrats diélectriques d'épaisseur importante et de faible permittivité pour avoir une grande efficacité et une large bande passante. [4]
- **L'élément rayonnant (patch)** est une partie métallique de forme et de taille à définir selon l'application, à géométrie variable (circulaire, rectangulaire, triangulaire ...etc.). Il doit être relié au reste du circuit par une ligne de transmission (micro-ruban) qui doit être adaptée d'impédance à l'antenne et au reste du circuit afin d'éviter le phénomène de réflexion. Dans la pratique, le rectangle et le disque représentent les formes de l'élément rayonnant les plus utilisées. Il est constitué d'une partie conductrice qui va rayonner. La forme et les dimensions conditionnent la fréquence de fonctionnement de l'antenne.[4]

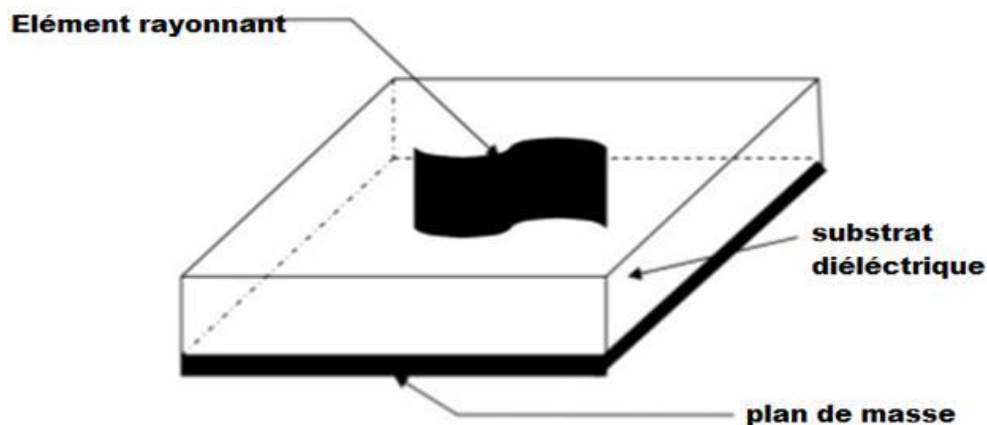


Figure II.1: structure d'une antenne imprimée.

II.3.2 : Les différentes formes d'une antenne patch :

L'antenne patch peut prendre plusieurs formes qui peuvent être rectangulaire, carré, circulaire ou simplement un dipôle. Ces formes sont les plus courantes car elles présentent une grande facilité d'analyse et de fabrication, mais également un diagramme de rayonnement très intéressant. La figure suivante montre ces différentes formes [10] :

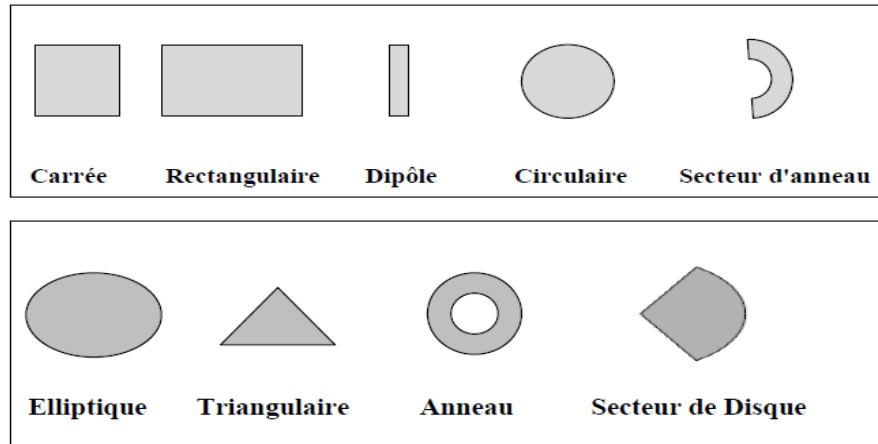


Figure II.2: Différentes formes d'antennes patch

II.3.3: Techniques d'alimentations :

L'alimentation est l'étape la plus importante et la plus délicate dans la fabrication d'une antenne imprimée. L'alimentation peut modifier les caractéristiques de rayonnement.

Elle pourra être soit centrée, soit arbitraire par rapport à la forme de l'élément [5]

Il existe une large variété de mécanismes d'alimentation permettant ainsi de fournir à l'antenne, l'énergie qui lui est nécessaire pour rayonner.

Les plus couramment utilisées sont :

- Alimentation par câble coaxial
- Alimentation par ligne micro-ruban
- Alimentation par couplage par proximité
- Alimentation par couplage de fente ou d'ouverture

A. Alimentation par câble coaxial :

L'alimentation par câble coaxial est très utilisée dans les antennes micro-ondes à cause de sa simplicité de mettre en oeuvre et sa facilité d'adaptation d'impédance. Le câble coaxial se compose de deux conducteurs (externe et interne). Le conducteur externe est relié au plan de masse tandis que le conducteur intérieur est relié au patch rayonnant. Mais ce type d'alimentation présente une bande passante étroite et une grande difficulté de le modéliser, surtout pour des substrats épais [9]

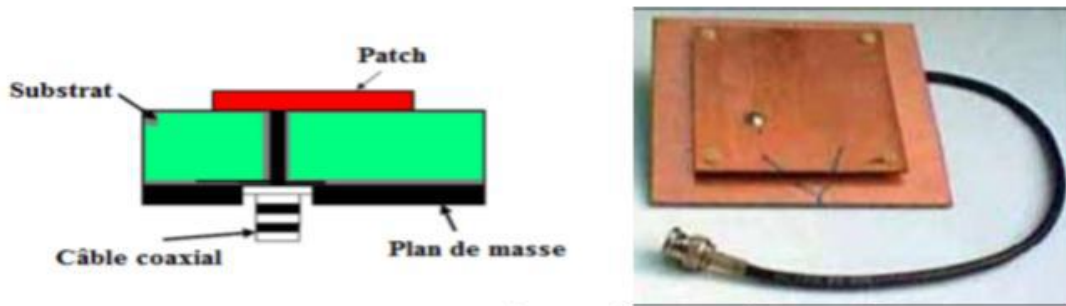


Figure II.3 Alimentation par câble coaxial.

Cependant, cette méthode présente des inconvénients au niveau du diagramme de rayonnement. En effet, la connexion génère un pic de courant localisé au niveau de l'élément rayonnant qui peut induire une dissymétrie dans le diagramme de rayonnement. De plus, des pertes apparaissent avec le perçage du plan de masse, du diélectrique ainsi que de l'élément plaqué

B. Alimentation par ligne micro-ruban :

Dans ce type d'alimentation (figure I.4), une bande de conduite est reliée directement au bord du patch de micro ruban. La bande de conduite est plus petite dans la largeur par rapport au patch.

L'avantage de ce type d'alimentation est qu'elle peut être gravée sur la même face de l'antenne, elle est facile à fabriquer, et simple à adapter à la résonance. C'est l'une des techniques les plus utilisées dans les antennes imprimées, elle a l'inconvénient de générer un rayonnement parasite. [7]

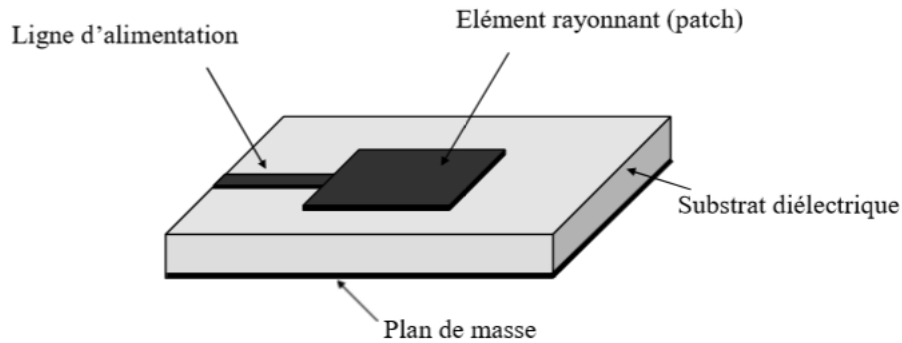


Figure II.4 Alimentation par ligne Micro-ruban.

C . Alimentation couplée par ouverture :

Dans ce type d'alimentation, le patch de rayonnement et la ligne d'alimentation du micro ruban sont séparés en plan de masse comme indique sur la (figure I.5). La jonction entre le patch et la ligne d'alimentation est faite par une ouverture ou une fente dans le plan de masse [31]. Généralement, les matériaux à permittivité élevée sont employés pour le substrat inférieur par contre les matériaux à faible constante diélectrique sont utilisés pour le substrat supérieur dans le but d'optimiser le rayonnement du patch.[7][4]

Ce type d'alimentation est difficile à concevoir à cause des couches multiples, qui augmentent l'épaisseur d'antenne. Cependant elle offre l'élargissement de bande passante.[5]

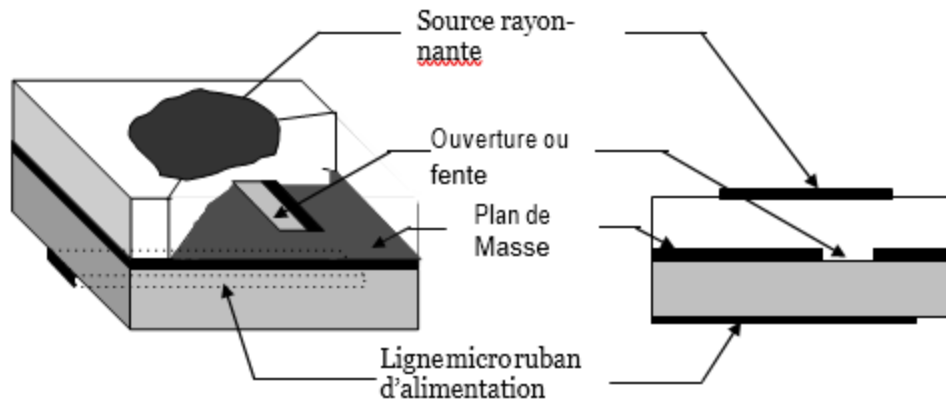


Figure II.5 Alimentation couplée par ouverture.

D. Alimentation Couplée Par Proximité :

Ce type d'alimentation est représenté sur la « figure I-6 », deux substrats diélectriques sont employés tels que la ligne d'alimentation est entre les deux substrats et le patch de rayonnement est sur le substrat supérieur.

L'avantage principal de cette technique d'alimentation est l'élimination du rayonnement parasite et l'obtention d'une bande passante plus large et cela par l'augmentation globale de l'épaisseur de l'antenne, la distance entre la ligne d'alimentation et le patch peut être utilisé pour adapter l'impédance de l'antenne.

Parmi les inconvénients de cette méthode d'alimentation nous citons la difficulté de fabrication à cause des deux couches diélectriques nécessitant un alignement approprié, ainsi que la difficulté d'intégration de dispositifs actifs. L'adaptation est réalisée en contrôlant la longueur de la ligne

d'alimentation . [4]

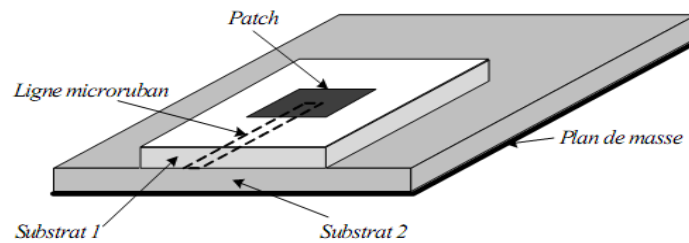


Figure II.6: alimentation couplée par proximité.

II.4 Avantages et inconvénients des antennes imprimées:

Actuellement, les antennes micro rubans sont largement utilisées, leurs applications couvrent un large domaine de fréquence 100 MHz à 100 GHz, leur configuration et dimensions favorisent leurs intégrations sur de nombreux mobiles (avion, voiture, missile,).

Parmi les avantages de ces d'antennes, on peut citer [9]:

- Profil plat
- Faible poids.
- Volume réduit.
- La conformabilité et la possibilité d'intégrer les circuits micro-ondes au niveau des antennes.
- Simplicité de leurs structures.
- Faible coût de fabrication donc la production en grandes quantités devient facile.
- Plusieurs éléments radiants peuvent être placés sur la même plaque avec le réseau d'alimentation ou avec d'autres circuits imprimés (déphaseurs, commutateurs, etc.).

Toutefois, comme rien n'est jamais parfait, nous pouvons citer quelques inconvénients [4] :

- Bande passante très étroite,

- Faible gain dû aux pertes et faible rendement dû à la concentration des champs sur les parois métalliques,
- Effet de couplage parasite entre les éléments (excitation d'ondes de surface guidées),
- Rayonnement parasite de l'alimentation,
- Puissance supportable plus faible vis à vis aux antennes classiques,
- Pureté de polarisation difficile à obtenir.

II.5 Applications :

Vu l'explosion technologique dans la télécommunication et les recherches scientifiques continues concernant les antennes imprimés, et vu les exigences multiples dans le domaine de communication l'utilisation des antennes micro-ondes classiques devient incapable de répondre à ces exigences. Pour cette raison les antennes imprimées remplacent les antennes classiques dans la plupart des applications parmi ces applications on cite [4] :

- La commande et contrôle.
- La télémétrie par missile.
- Les équipements portatifs.
- Les éléments d'alimentation dans les antennes complexes.
- Les antennes d'émission utilisées en médecine
- Les récepteurs satellite de navigation.

L'antenne patch est de plus en plus utilisée en télécommunication, tout particulièrement dans le secteur de la téléphonie mobile.

II.6. Antenne reconfigurable

II.6.1. Introduction :

De nos jours, les antennes sont amenées à équiper des objets usuels de toutes sortes. La diversité des applications s'étend des télécommunications (cellulaire, connectivité) aux moyens de transport en passant par la médecine (implants). L'intégration des antennes dans les systèmes consiste à disposer des aériens sur/dans des dispositifs dont les dimensions peuvent être variables [24].

La multiplication future des systèmes sans fil exigera des antennes plus de fonctionnalités que ne le permettent des conceptions classiques. Les objets communicants du futur devront être capables de se reconfigurer en fonction de leur environnement et de leur contexte d'utilisation afin d'optimiser leurs performances. Ainsi, une approche pour relever ce défi est de développer des antennes reconfigurables [25]. Le terme antenne reconfigurable a été utilisé pour la première fois par Brown dans son article paru en 1998 [26]. Il s'agit alors de réaliser une antenne capable de s'adapter à des conditions changeantes en ajustant sa fréquence de fonctionnement, sa polarisation ou son diagramme de rayonnement [25].

Les antennes reconfigurables (en fréquence, en polarisation et en diagramme de rayonnement) ont reçu beaucoup d'attention ces dernières décennies en particulier dans le domaine des télécommunications multistandards grâce à leur flexibilité [27].

Il existe en fait de nombreuses manières de classifier les antennes reconfigurables ; ce peut être fait, par exemple, en fonction de la propriété physique qui les rend reconfigurables (modification des lignes de courants, modification de propriétés diélectriques/diamagnétiques d'éléments de l'antenne, déformation géométrique) du type de composants reconfigurables employés (diodes, transistors, MEMS...) ou de leur structure géométrique (type de structure reconfigurable, géométrie a priori de l'antenne...) [28].

II.6.2 Définition d'une antenne reconfigurable :

Les antennes reconfigurables sont des antennes passives auxquelles sont ajoutées des composants actifs qui permettent de modifier les propriétés de ces dernières, dans le domaine fréquentiel ou spatial. Ainsi, de telles antennes peuvent changer leur comportement en temps réel [29].

Une antenne est dite reconfigurable (ou agile) si elle est capable de modifier dynamiquement sa fonctionnalité après sa fabrication, c'est-à-dire de modifier une ou plusieurs de ses caractéristiques de fonctionnement (en terme de fréquence, de polarisation ou de diagramme de rayonnement) et cela en fonction des besoins dictés par l'environnement de l'antenne et les besoins de l'application [11].

L'agilité des paramètres peut être envisagée par l'utilisation de composants discrets commutables ou accordables (diodes PIN, RF MEMS, diodes varicap, commutateurs photoconducteurs...), l'intégration de matériaux commandables (ferrites, cristaux liquides) ou par une modification de la structure physique de l'antenne [30].

II.6.3 Les techniques de reconfiguration

La reconfiguration de l'antenne peut être obtenue par diverses approches. Certaines techniques ont recours à des composants localisés actifs qui permettent de modifier de façon quasi-ponctuelle les lignes de courant ou l'impédance, d'autres s'appuient sur une altération mécanique de la structure constituant l'antenne, tandis que d'autres utilisent des substrats à caractéristiques accordables. D'autres approches s'appuient sur la reconfiguration des réseaux d'alimentation, ou encore excitent de façon appropriée les réseaux d'antennes [11].

Il existe plusieurs techniques pour la reconfiguration des antennes. Parmi ces techniques les plus utilisés sont les composants actifs (les diodes PIN, les diodes varicap, les commutateurs MEMS et les commutateurs optiques ou l'utilisation des matériaux particulière (métamatériaux, ferromagnétique, cristaux liquide) [11].

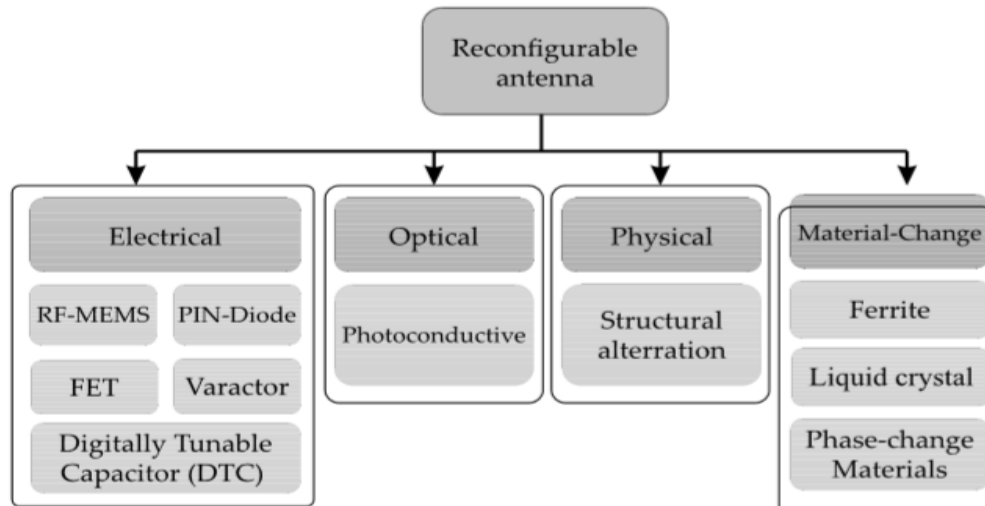


Figure II.7: Diverses techniques pour concevoir des antennes reconfigurables [31].

A. Les diodes :

Les diodes sont des dipôles de base de l'électronique de puissance classique. Il existe de nombreux types de diodes dont le principe de fonctionnement diffère légèrement. Diodes PIN, Varactor, Schottky, Zener..., toutes se basent sur l'utilisation des propriétés des semiconducteurs [23].

- **Diode PIN**

La diode PIN (Positive Intrinsic Negative diode en anglais) est un composant à semi-conducteur utilisée comme un interrupteur rapide pour les signaux de hautes fréquences. Lorsqu'elle est polarisée en direct, la diode présente une impédance relativement faible, et par conséquent, elle se comporte comme un circuit fermé (l'état ON). Mais une polarisation dans le sens inverse elle offre une très grande impédance en parallèle avec une très faible conductance, elle se comporte donc comme un circuit ouvert (l'état OFF).

Pour un circuit planaire, en plaçant la diode sur le chemin de propagation de l'onde hyperfréquence, il est possible de laisser passer ce signal (polarisation directe) ou de le réfléchir (polarisation inverse) ; on réalise de cette manière un interrupteur. Cette technique est largement utilisée pour réaliser des antennes reconfigurables, que ce soit

pour la reconfiguration en fréquence, pour la reconfiguration de la polarisation, ou de la phase des ondes électromagnétiques [23].

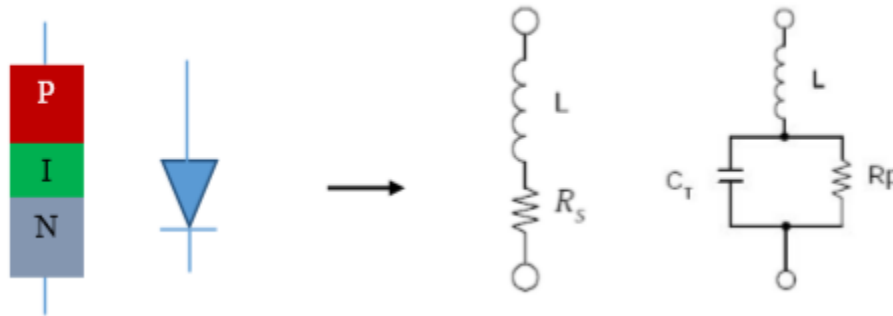


Figure II.8: Le circuit d'une diode équivalent dans les états ON et OFF [23].

Avantages et inconvénients d'une diode PIN

➤ Les avantages

- Facilité d'intégration dans les structures antennaires.
- Bonne tenue en puissance ($>10\text{dBm}$).
- Tension de polarisation basse pour les diodes PIN ($<10\text{V}$).
- Temps de commutation rapide ($0.001\text{-}0.1\mu\text{s}$).
- Possibilité d'avoir de faibles pertes.
- Coût bas.

➤ Les inconvénients

- Circuit de polarisation complexe.
- Pertes élevées ($1\text{-}5\Omega$).

- **Diode varicap**

La diode varicap, est une diode qui se comporte comme un condensateur dont nous pouvons contrôler sa capacité en appliquant une tension inverse à ses bornes (Figure 2.13). Contrairement aux diodes PIN qui offrent une variation discrète des caractéristiques de l'antenne, la diode varicap offre une variation continue en fonction de la tension de polarisation.

Les diodes varicap présentent plusieurs avantages, nous pouvons citer par exemple la grande agilité continue, la facilité d'intégration, et une faible consommation de puissance DC. Cependant, les pertes d'insertion sont parfois importantes et la complexité du réseau de polarisation augmente avec le nombre des diodes varicap utilisées. Il est à noter que ces diodes sont souvent utilisées pour obtenir la reconfigurabilité de fréquence. Dans la littérature, la combinaison de diodes PIN et varactor est souvent utilisée pour obtenir un recouvrement fréquentiel important [23].

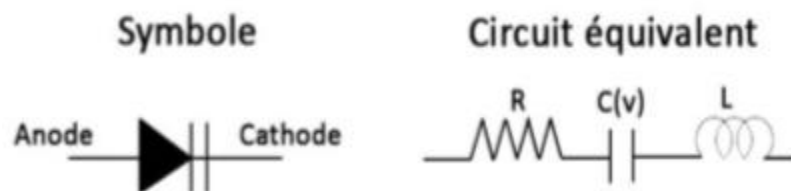


Figure II.9 : Le symbole et le circuit équivalent d'une diode varicap [23].

B. MEMS

Le MEMS (Système Micro Electromécanique) est un commutateur utilisé dans la reconfiguration des antennes, c'est un composant microsysteme qui permet par une déformation mécanique de microstructures, d'obtenir un court-circuit ou un circuit ouvert [11]. Utilisant l'électricité comme source d'énergie [30]. Il est caractérisé par son cout élevé, la fiabilité n'est pas garantie, et une tension importante pour son activation, cependant, Ce type de commutateur se distingue par une faible perte d'insertion et un temps de réponse extrêmement rapide [11].

Leurs inconvénients restent en premier lieu la tension élevée qu'ils nécessitent (parfois jusqu'à 60V) et en second lieu, le coût relativement élevé de leur fabrication [24].

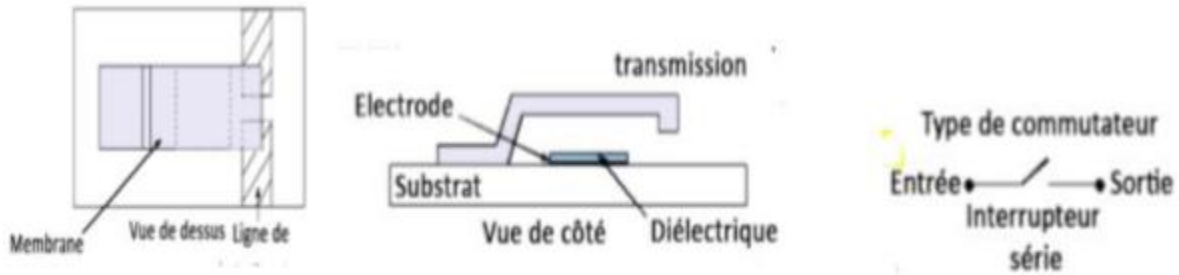


Figure II.10: Commutateur MEMS [24].

C. Utilisation des transistors FET :

Le transistor à effet de champ ou Field Effect Transistor (FET) est un commutateur commandé et utilisé pour des applications hyperfréquences. Ce transistor est constitué d'un canal (entre la source et le drain) dans lequel va circuler un courant contrôlé par le biais d'un champ électrique appliqué sur la grille. Les commutateurs FET présentent une faible tension de polarisation avec une consommation du courant quasiment nulle [11].

D. Commutateur optique :

L'utilisation des commutateurs optiques est la meilleure technique que les autres mais son coût est très élevé. Elle est utilisée pour éviter le recours aux circuits de polarisation. [11] Utilisés par d'autres techniques qui peuvent ajouter de la complexité et perturber le rayonnement de l'antenne [23].

E. Matériaux agiles :

Cette technique consiste à utiliser des matériaux agiles (commandable) tel que les métamatériaux, les cristaux liquides, les ferromagnétiques et les ferroélectriques caractérisés par des propriétés diélectriques ou magnétiques modifiables selon l'application d'un champ électrique ou magnétique externe et on peut les utiliser comme

un substrat de l'élément rayonnant réalisé [11]. Les avantages de ces matériaux restent le faible encombrement et la faible consommation d'énergie nécessaire à la commande. Cependant, les inconvénients de cette technique sont nombreux, nous pouvons citer la complexité de fabrication, les réseaux d'alimentation sont complexes, et le temps de réponse est élevé [23].

II.6.4 : Classification des antennes reconfigurables

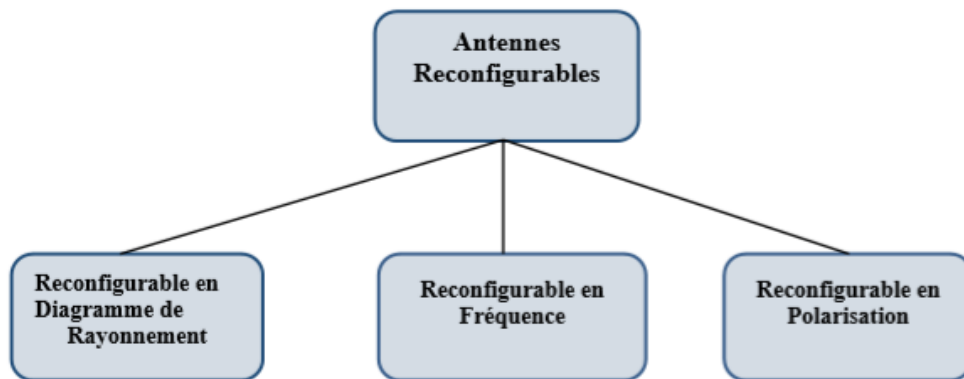


Figure II.11: Schéma des types d'antennes reconfigurables [23].

Il existe plusieurs critères pour classer les antennes reconfigurables, selon la fonctionnalité nous distinguons trois grandes familles :

- **Antennes agiles en fréquence** : qui consiste de modifier la fréquence de résonance afin de couvrir une bande de fréquence déterminée sans aucun changement dans la structure physique d'antenne.
- **Antennes agiles en diagramme de rayonnement** : qui sont capables de modifier la forme et la direction des diagrammes de rayonnement sans aucun changement de fréquence de fonctionnement.
- **Antennes agiles en polarisation** : qui consiste à modifier uniquement l'orientation vectorielle du champ électrique E.

II.6.5 Antennes reconfigurables en fréquence

Le développement de la téléphonie mobile a permis l'émergence de nouvelles méthodes permettant de réaliser des antennes reconfigurables en fréquence. En effet, leur intégration assure une augmentation de la fonctionnalité des dispositifs ainsi qu'une diminution significative du nombre global de fonctions RF utilisées, ce qui rend le système plus efficace et moins coûteux. Afin de rendre une antenne miniature agile en fréquence, il est nécessaire d'intégrer des éléments actifs accordables qui permettent de modifier la longueur électrique effective de l'antenne [28].

Dans cette section, trois techniques utilisées pour obtenir une reconfiguration en fréquence sont présentées à savoir : la modification géométrique de l'antenne, l'utilisation de court circuits commutables et l'insertion de fentes ou de lignes commutables. Ces techniques permettent à l'antenne de fonctionner dans plusieurs bandes de fréquences [26].

- **Court-circuit commutable**

Une deuxième technique dans le domaine des antennes reconfigurables consiste en l'utilisation de court-circuits commutables. En effet, l'activation d'un court-circuit commutable permet de modifier la circulation des courants sur l'antenne et en conséquence sa fréquence de fonctionnement [26].

- **Fente ou ligne commutables**

Les fentes et les lignes commutables sont également très utilisées pour rendre une antenne reconfigurable en fréquence. En effet l'ajout de fentes ou des lignes chargées par des composantes (Diode PIN, Varactors ...etc) entraîne la perturbation de courant sur l'élément rayonnant permettant ainsi d'accorder l'antenne à différentes fréquences de fonctionnement [26].

Avantages et inconvénients d'une antenne reconfigurable :

➤ Avantages

Parmi ces avantages, on peut citer

- La réallocation et la gestion dynamique du spectre
- Offre la flexibilité et répond aux exigences de plate-forme radio sans fil (des services multiples dans un seul appareil).
- Réduction du nombre d'antennes dans le système ce qui réduit la taille et le coût de l'appareil.
- Une bonne isolation entre les différentes normes sans fil et les bandes.
- La reconfiguration de rayonnement permet d'avoir une diversité spatiale.
- Reconfiguration fréquence est utile à l'appui de nombreuses applications sans fil.
- Reconfigurabilité en polarisation permet de réduire divers problèmes tels que l'affaiblissement du signal dû à la propagation par trajets multiples, la sensibilité de l'émetteur-récepteur de signaux à l'orientation de l'antenne et la sécurité [11].

➤ Inconvénients

Bien que les antennes reconfigurables aient beaucoup d'avantages, elles ont aussi des méfaits. Parmi ces méfaits, on peut citer

- Plus chers que les antennes classiques (introduire des composants actifs)
- Consommation énergétique élevée (composants actifs à polariser econtinu)
- Difficultés de conception et de simulation à cause de l'intégration des composants actifs dans l'antenne(le besoin d'utiliser des packages, circuit de polarisation) et Une efficacité réduite [11].

II.7 Conclusion

Les antennes ont des propriétés et des caractéristiques selon lesquelles elles sont valorisées. Plusieurs techniques existent pour les réaliser. Alors, pour assurer un bon fonctionnement il faut choisir celle la plus adaptée à l'application envisagée. On a abordé dans ce chapitre des initiations de base sur les antennes imprimées, Nous avons présenté également quelques techniques d'alimentation, leurs avantages et leurs inconvénients. Et nous avons cité quelques domaines d'applications. Ensuite nous avons expliqué brièvement le principe des antennes agiles, en citant leurs avantages ainsi que leurs inconvénients, et les différents types et classes d'antennes reconfigurables (en fréquence, en diagramme de rayonnement, en polarisation). Les différentes techniques utilisées dans la littérature pour apporter la reconfiguration à une antenne ont été mentionnées telles que l'utilisation de diode PIN, de varicap, de MEMS et aussi de matériaux à propriétés spécifiques. Les avantages et les inconvénients de ces différentes technologies ont été mentionnés

Chapitre 3 :

ETUDE ET CONCEPTION D'UNE ANTENNE FRACTALE RECONFIGURABLE EN FREQUENCE

III.1 Introduction :

L'utilisation des logiciels adaptés telle que le HFSS, CST, ADS... est une étape principale pour la conception des antennes qui nous aide à étudier des structures complexes en trois dimensions aux paramètres désirés et on prend en compte leurs paramètres électriques et diélectriques et en plus elle permet de rapprocher des futures antennes réalisées. C'est pour ça on utilise le CST et HFSS pour la simulation et le calcul des paramètres S_{ij} , les fréquences de résonance, le diagramme de rayonnement, le champ électromagnétique....

III .2 Choix d'outil de simulation:

Il existe plusieurs simulateurs électromagnétiques consacrés pour la conception des composants micro-ondes tel que les antennes imprimées, les antennes filaires.... A titre d'exemple, on peut citer le **CST** (Computer Simulation Technology), **HFSS** (High Frequency Structure Simulator), le **ADS** (Advanced Design System). Dans notre travail on va baser sur le HFSS (High Frequency Structure Simulator)

III .3 Les structures rayonnantes principales :

Il existe plusieurs types d'antennes qui diffèrent par leur fonctionnement, leur géométrie, et leur technologie. Parmi ces types nous citons les trois grandes familles suivantes: Les antennes filaires (le dipôle, monopole, Yagi...), les antennes à fente et les antennes patches (antenne à structure planaire)...

III .3.1 Les antennes filaires :

L'antenne dipôle est une antenne composée de deux brins conducteurs métalliques en forme de fil ou de tige. Ces deux brins conducteurs peuvent être en ligne, parallèles (partiellement). L'alimentation est le plus souvent présentée au centre de la structure ce qui donne un système symétrique.

L'antenne monopole est constituée d'un brin conducteur en forme de fil ou de tige, souvent placé au-dessus et perpendiculairement d'une surface conductrice, constituant le plan de masse. Il est possible de varier, de modifier la longueur électrique et la fréquence de fonctionnement par l'emplacement d'une capacité variable par exemple.

III .3.2 Les antennes à fente :

Une antenne à fente est composée d'une surface métallique, généralement une plaque plane, avec un trou ou une fente . L'antenne à fente a le même comportement que le dipôle mais en inversant les champs électrique et magnétique. Cette antenne se caractérise par son développement vertical ou horizontal en forme de cornière, ou de guide d'ondes, avec des fentes de dimensions et d'emplacements particuliers qui sont en fonctions de la fréquence. Elle est utilisée notamment pour le Wi-Fi, pour des radars micro-onde de surveillance maritime et aéroportuaire.

III .3.3 Les antennes patch :

L'antenne planaire ou patch en anglais, est une antenne plane dont l'élément rayonnant est une surface conductrice généralement carrée, séparée d'un plan réflecteur conducteur par une lame diélectrique. Sa réalisation ressemble à un circuit imprimé double face, substrat. Le concept d'antenne patch est apparu dans les années 1950, mais le véritable développement ne s'est fait que dans les années 1970.Elle est utilisée pour les émetteurs-récepteurs portables de radiocommunications, sur les récepteurs GPS....etc .

III .4 L'influence de la diode PIN sur la structure rayonnante d'une antenne :

- **Modélisation de la diode PIN :**

- ❖ Modélisation par un plot métallique:

le mode passant ou bloqué de la diode PIN (connexion ou déconnexion) est simulé par la présence ou l'absence d'un plot métallique généralement de dimension $0,3 \times 0,9 \text{ mm}^2$. Plusieurs travaux basés sur des diodes PIN, comme la diode 4005HPND, ont démontré la validité de cette modélisation très simple afin de simuler correctement les performances de l'antenne.

- ❖ **Modélisation par un circuit RLC équivalent :**

Il s'agit d'un circuit équivalent RLC simplifié de la diode PIN. Ce modèle simplifié est illustré par la Figure III.1. Il se compose d'une inductance parasite (L) en série avec une capacité intrinsèque (C) et une résistance intrinsèque (R), qui elles sont montées en parallèle à l'état OFF d'une part et d'une autre part la capacité n'intervient plus, quand la diode PIN est à l'état «ON».

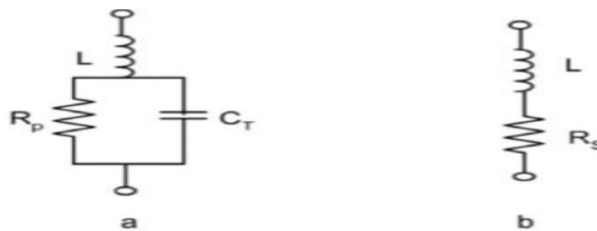


Figure III.1 **Circuit équivalent simplifié pour une diode PIN**

a mode ON et b mode OFF

- ❖ Modélisation via l'utilisation d'un commutateur commandé en tension :

Le schéma équivalent du commutateur est illustré par la Figure III.2. Lorsque la tension V_c est inférieure à 5 V ($V_c = 0$ V ; 2,5 V) l'état de la diode est passant ; et dans le cas inverse, V_c supérieure à 5 V ($V_c = 7,5$ V ; 10 V) l'état de la diode est bloqué

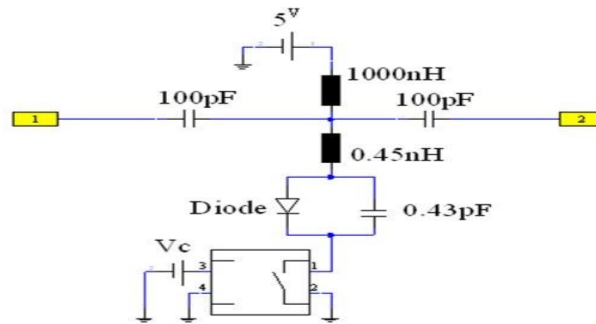


Figure III.2 **Schéma équivalent du commutateur**

III.5 Conception d'une antenne fractale reconfigurable en fréquence :

- **La géométrie de l'antenne proposée**

L'antenne proposée pour l'étude et la réalisation a la forme d'une antenne fractale appelée **triangle de Sierpiński (1^{er} itération)**. Cette forme de fractal a été introduite par **Benoît Mandelbrot** au cours des années 70 . Le **triangle de Sierpiński**, aussi appelé par Mandelbrot le **joint de culasse de Sierpiński**, est une fractale, du nom de Wacław Sierpiński. Il peut s'obtenir à partir d'un triangle « plein », par une infinité de répétitions consistant à diviser par deux la taille du triangle puis à les accoler en trois exemplaires par leurs sommets pour former un nouveau triangle. À chaque répétition le triangle est donc de même taille, mais « de moins en moins plein ».

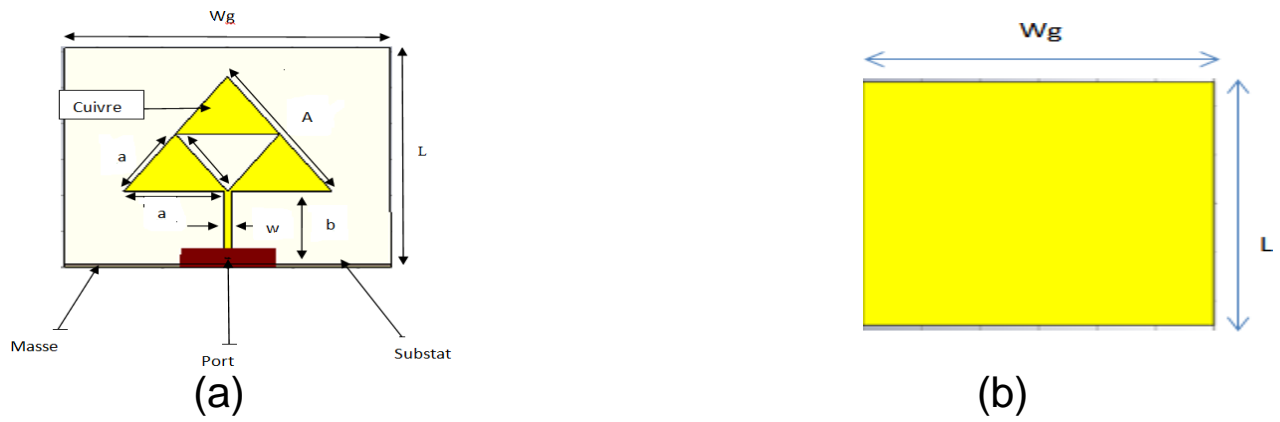


Figure III.3 Structure de l'antenne fractale : Tringle de Sierpiński

(a) vue au-dessus (b) vue au-dessous

Les dimensions adoptées lors de cette étude sont montrés dans le Tableau

Paramètre	Valeur [mm]	Paramètre	Valeur [mm]
W_g		A	
L		B	
A		W	

Tableau III.1 Les dimensions de l'antenne fractale proposée

III .6 Résultats de simulations :

III .6.1 Structure de l'antenne fractale Sierpinski d'ordre 0 :

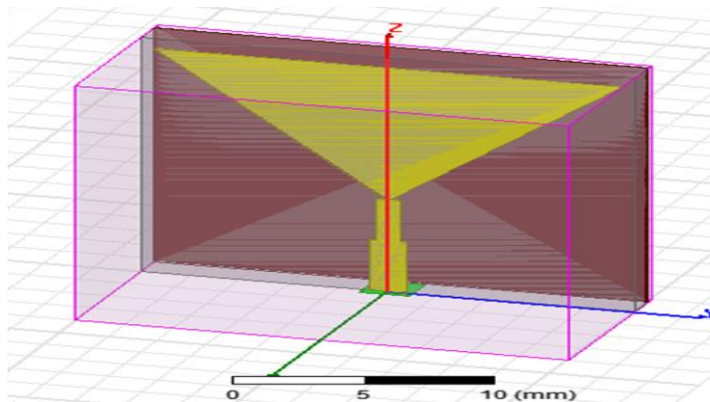


Figure III.4 Structure de l'antenne fractale d'ordre 0

- Coefficient de réflexion s11 de l'ordre 0

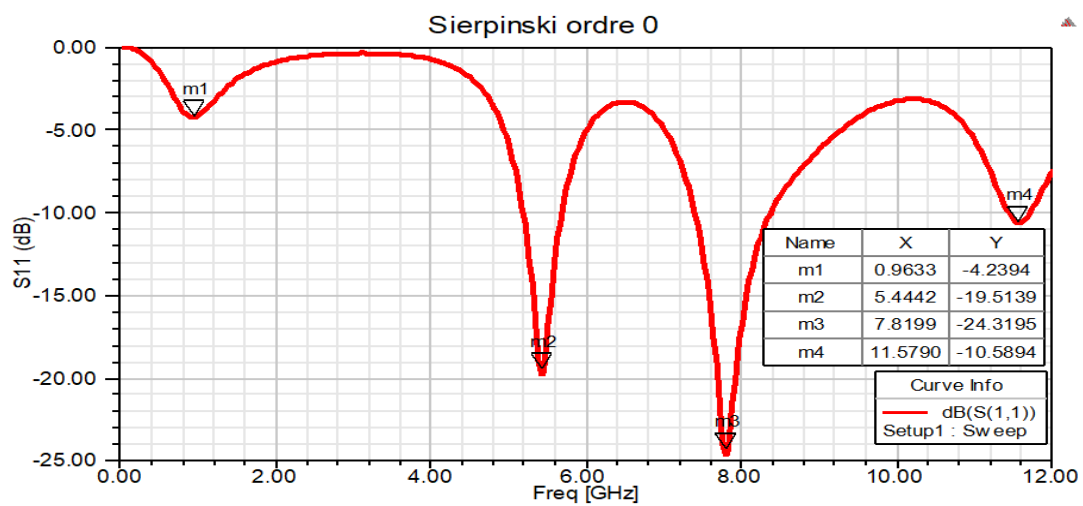


Figure III.5 Coefficient de réflexion S11 de l'antenne fractale d'ordre 0

D'après le résultat obtenu on peut dire que la structure proposée est bien adaptée à la fréquence de 7.8199 GHz (m3) .

- **Diagramme de rayonnement d'une antenne fractale d'ordre 0 :**

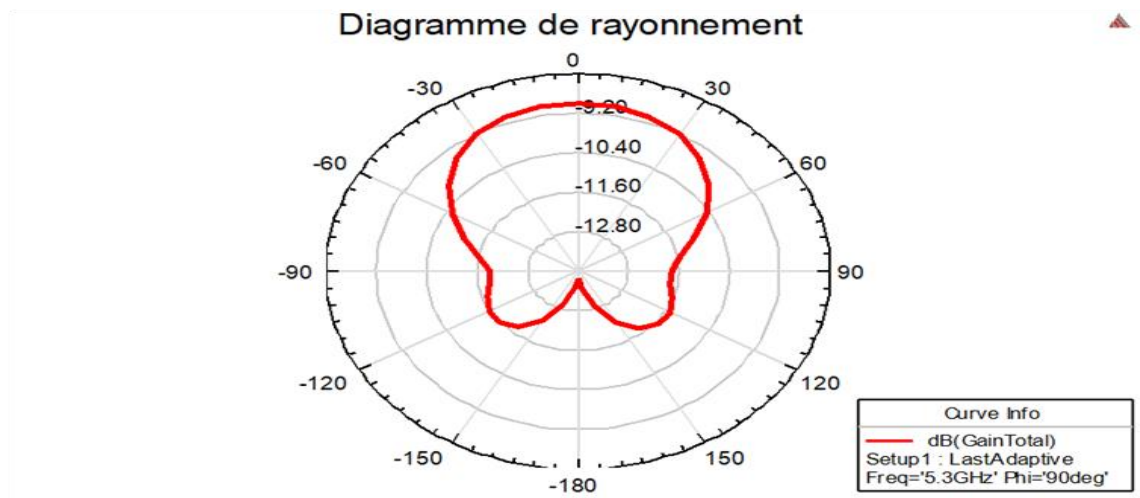


Figure III.6 Diagramme de rayonnement d'une antenne d'ordre 0

III .6.2 Structure de l'antenne fractale Sierpinski d'ordre 1 :

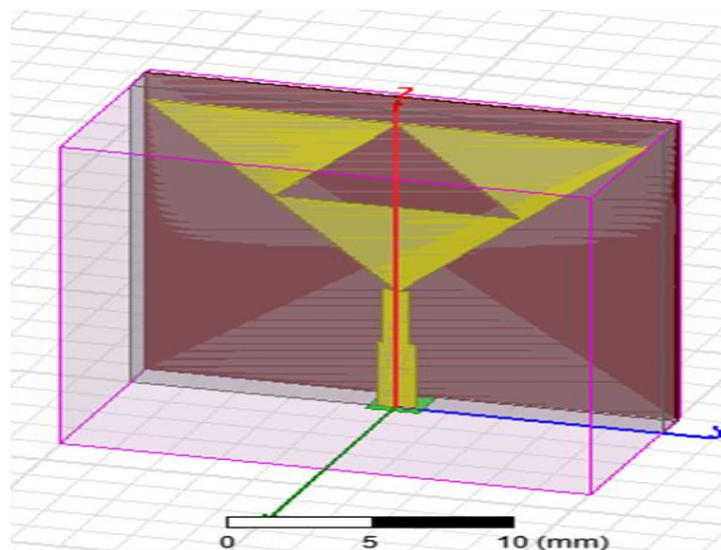


Figure III.7 Structure de l'antenne fractale d'ordre 1

- **Coefficient de réflexion s11 de l'ordre 1 :**

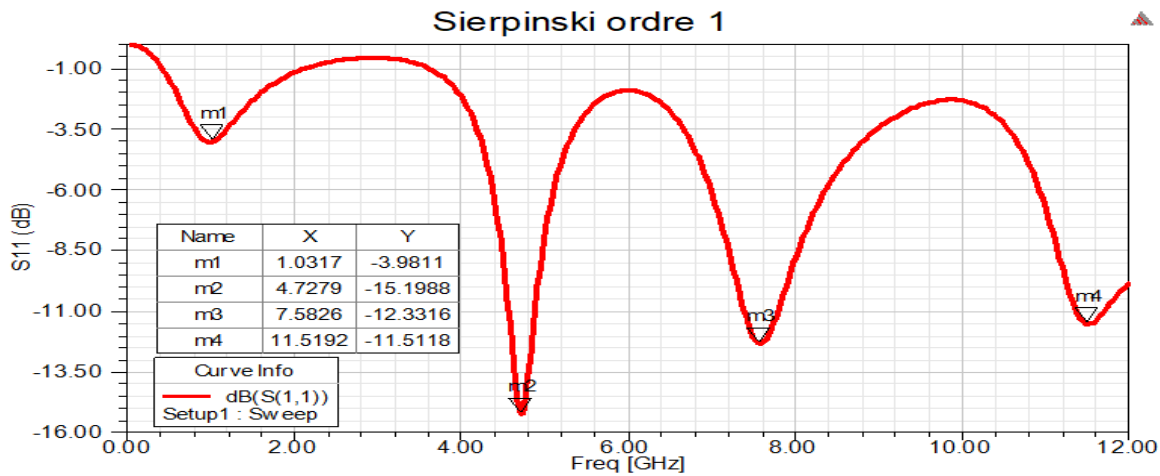


Figure III.8 Coefficient de réflexion S11 de l’antenne fractale d’ordre 1

D’après le résultat obtenu on peut dire que la structure proposée est bien adaptée à la fréquence de 4.7279 GHz et on remarque que les fréquences ont changé par rapport à l’antenne fractale d’ordre 0.

- **Diagramme de rayonnement d’une antenne fractale d’ordre 1 :**

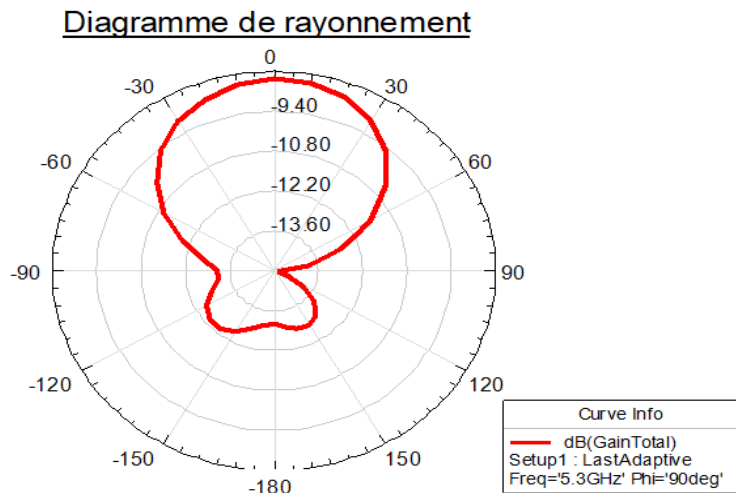


Figure III.9 Diagramme de rayonnement d’une antenne d’ordre 1

III .6.3 Structure de l’antenne fractale Sierpinski d’ordre 2 :

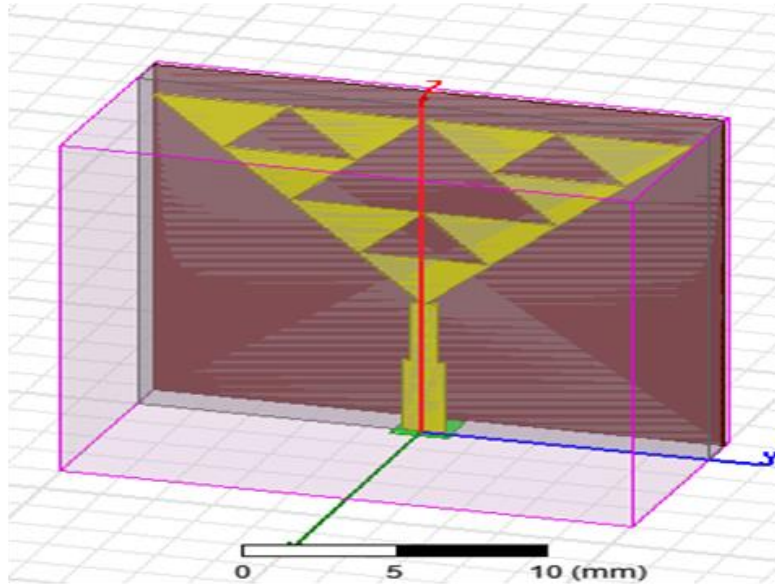


Figure III.10 Structure de l'antenne fractale d'ordre 1

- **Coefficient de réflexion s11 de l'ordre 2 :**

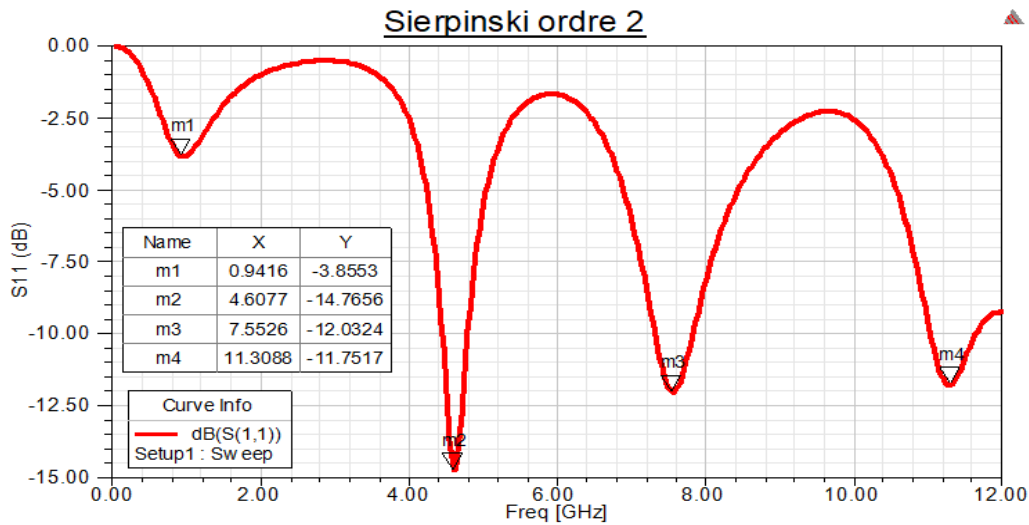


Figure III.11 Coefficient de réflexion S11 de l'antenne fractale d'ordre 2

D'après le résultat obtenu on peut dire que la structure proposée est bien adaptée à la fréquence de 4.7279 GHz et on remarque que les fréquences ont changés par rapport à l'antenne fractale d'ordre 0.

- Diagramme de rayonnement d'une antenne fractale d'ordre 2 :

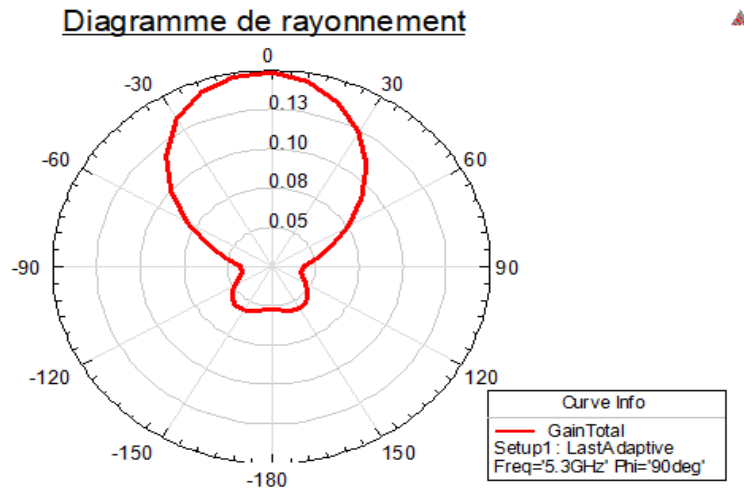


Figure III.12 Diagramme de rayonnement d'une antenne d'ordre 2

III .6.4 Modélisation de la diode PIN :

La diode PIN a deux états ON et OFF . Donc la simulation va prendre les différentes combinaisons possibles selon le tableau suivant :

Diode	Etat1	Etat2	Etat3	Etat4
Diode1	ON	ON	ON	OFF
Diode2	ON	ON	OFF	OFF
Diode3	ON	OFF	OFF	OFF

Tableau III.2 : différents états des diodes PIN

On a appliqué les différents états des diodes PIN sur deux reconfigurations différentes

A. Sierpinski reconfiguration 1 :

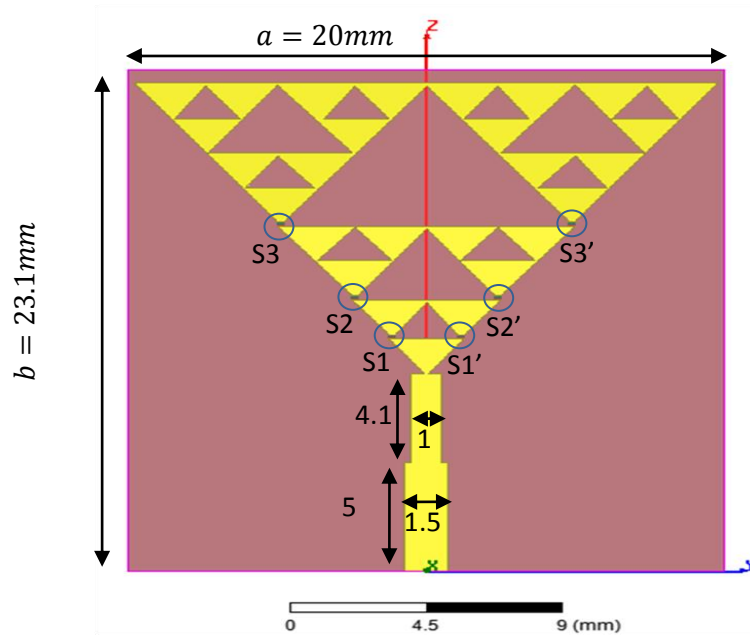


Figure III.13 emplacement des diodes PIN sur l'antenne fractale

- **Etat 1** ($S1=ON, S2=ON, S3=ON$) :

La Figure III.14 montre le coefficient de réflexion de l'antenne correspondant à l'état 1, avec la diode 1 en état ON et la diode 2 en état ON, et la diode 3 en état ON.

- **Coefficient de réflexion S11 :**

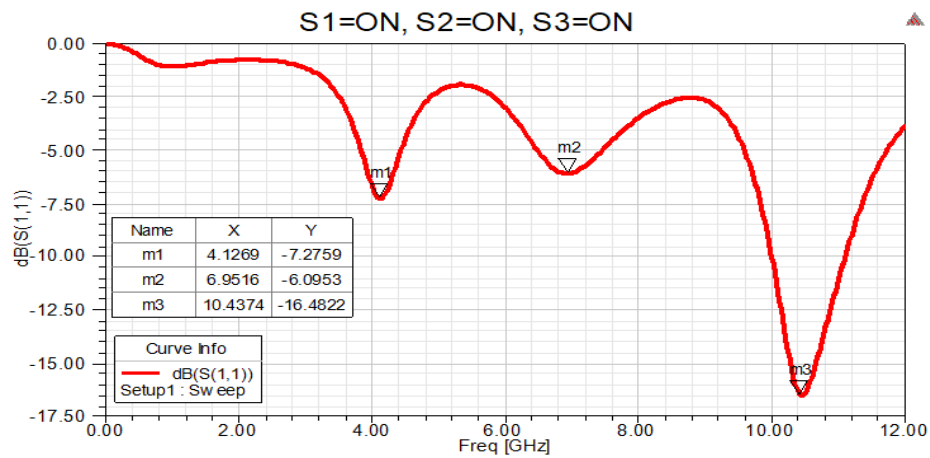


Figure III.14 coefficient de reflexion correspond à l'état 1

D'après la simulation on voit que le coefficient de réflexion change par rapport à l'état principal :

(m1) => le coefficient de réflexion = -7.2759dB à une fréq de 4.1269GHZ

(m2) => le coefficient de réflexion = -6.0916dB à une fréq de 6.9516GHZ

(m3) => le coefficient de réflexion = -16.4822dB à une fréq de 10.4374GHZ

Alors on constate que la meilleure adaptation de l'antenne est dans la fréquence m3

- **Diagramme de rayonnement :**

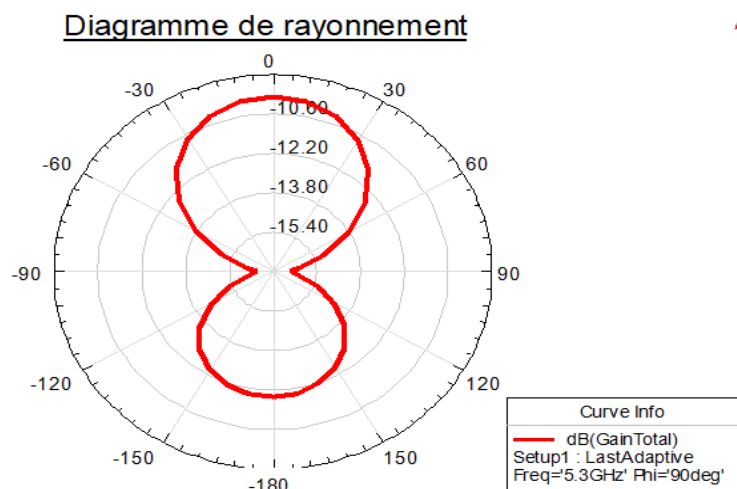


Figure III.15 diagramme de rayonnement correspond à l'état 1

On remarque que l'antenne se rayonne dans deux directions dans deux sens différents et que les lobes principale et latéral sont presque identiques dans la fréquence = 5.3GHZ

- **Etat 2** : (S1=ON, S2=ON, S3=OFF)

La Figure III.16 montre le coefficient de réflexion de l'antenne correspondant à l'état 2, avec la diode 1 en état ON et la diode 2 en état ON, et la diode 3 en état OFF.

- **Coefficient de réflexion S11 de l'état2 :**

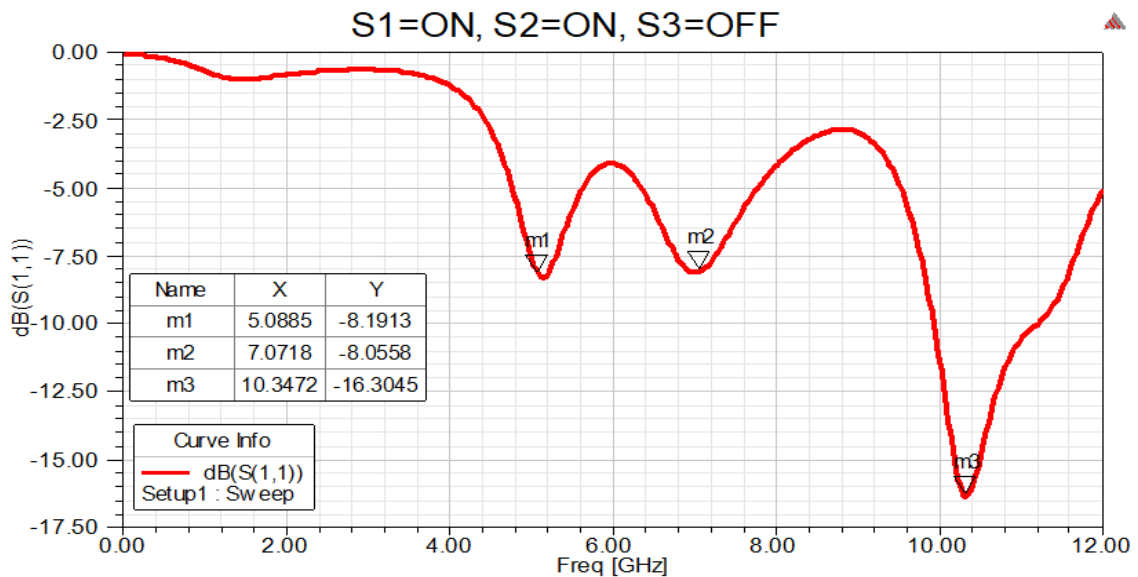


Figure III.16 coefficient de reflexion correspond à l'état 2

D'après la simulation on voit que le coefficient de réflexion change par rapport à l'état principal :

(m1) => le coefficient de réflexion = -8.1913dB à une fréq de 5.0885GHZ

(m2) => le coefficient de réflexion = -8.0558dB à une fréq de 7.0718GHZ

(m3) => le coefficient de réflexion = -16.3045dB à une fréq de 10.3472GHZ
 Alors on constate que la meilleure adaptation de l'antenne est dans la fréquence m3

- **Diagramme de rayonnement :**

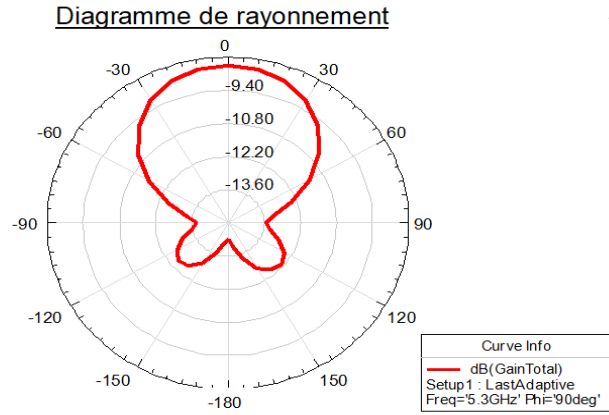


Figure III.17 diagramme de rayonnement correspond à l'état 2

- **Etat 3 : (S1=ON, S2=OFF, S3=OFF)**

La Figure III.18 montre le coefficient de réflexion de l'antenne correspondant à l'état 3, avec la diode 1 en état ON et la diode 2 en état OFF, et la diode 3 en état OFF.

- **Coefficient de réflexion S11 de l'état 3 :**

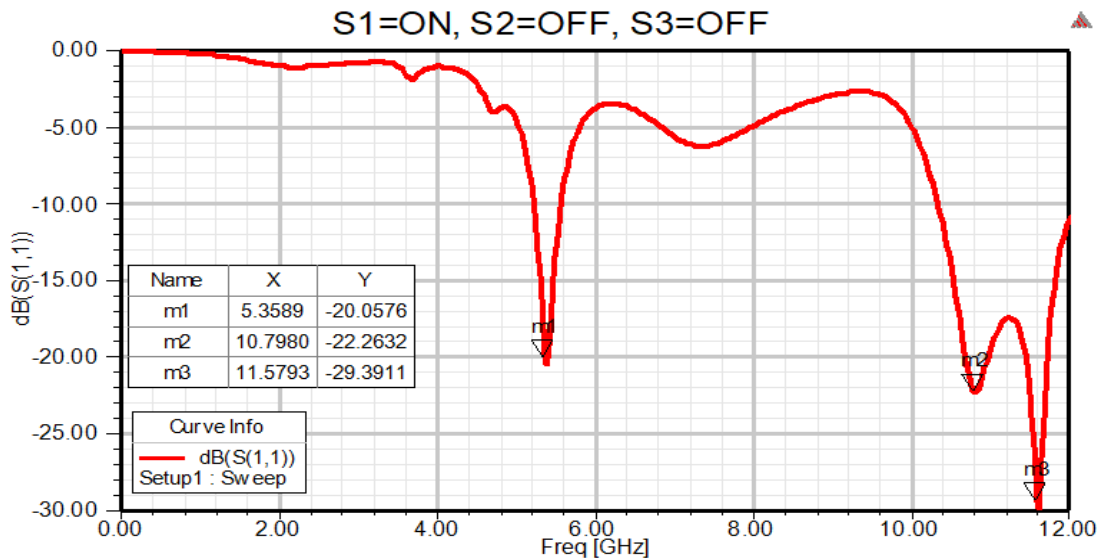


Figure III.18 coefficient de reflexion correspond à l'état 3

D'après la simulation on voit que le coefficient de réflexion change par rapport à l'état principal :

(m1) => le coefficient de réflexion = -20.0576dB à une fréq de 5.3589GHZ

(m2) => le coefficient de réflexion = -22.2632dB à une fréq de 10.7980GHZ

(m3) => le coefficient de réflexion = -29.3911dB à une fréq de 11.5793GHZ

Alors on constate que la meilleure adaptation de l'antenne est dans la fréquence m3

- **Diagramme de rayonnement d'état 3 :**

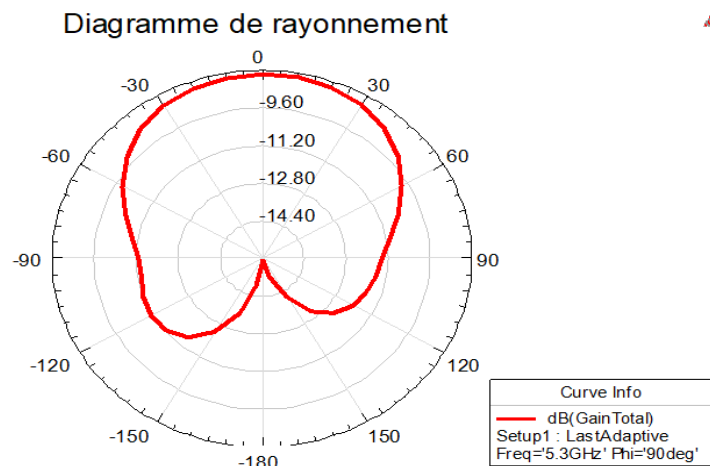


Figure III.19 diagramme de rayonnement correspond à l'état 3

- **Etat 4 :** (S1=OFF, S2=OFF, S3=OFF)

La Figure III.18 montre le coefficient de réflexion de l'antenne correspondant à l'état 4, avec la diode 1 en état OFF et la diode 2 en état OFF, et la diode 3 en état OFF.

- **Coefficient de réflexion S11 de l'état 4 :**

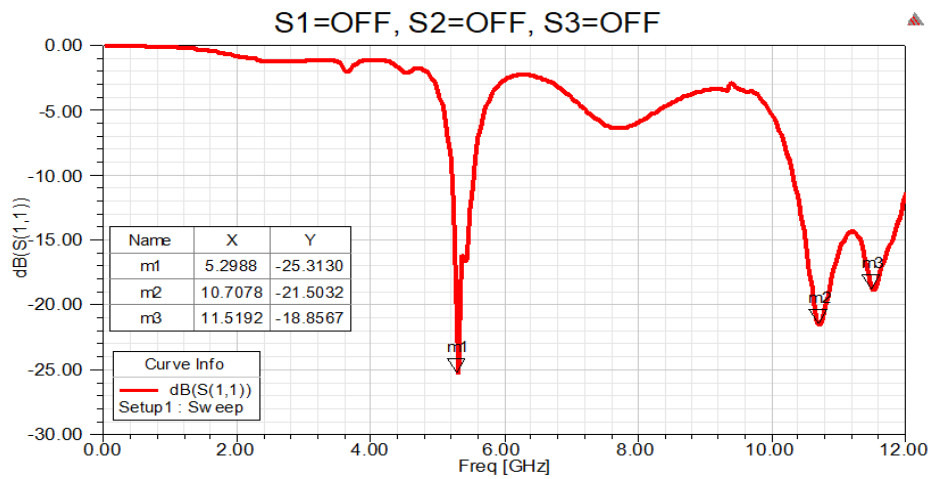


Figure III.20 coefficient de reflexion correspond à l'état 4

D'après la simulation on voit que le coefficient de réflexion change par rapport à l'état principal :

(m1) => le coefficient de réflexion = -25.3130dB à une fréq de 5.2988GHZ

(m2) => le coefficient de réflexion = -21.5032dB à une fréq de 10.7078GHZ

(m3) => le coefficient de réflexion = -18.8567dB à une fréq de 11.5192GHZ

Alors on constate que la meilleure adaptation de l'antenne est dans la fréquence m1

- **Diagramme de rayonnement d'état 4 :**

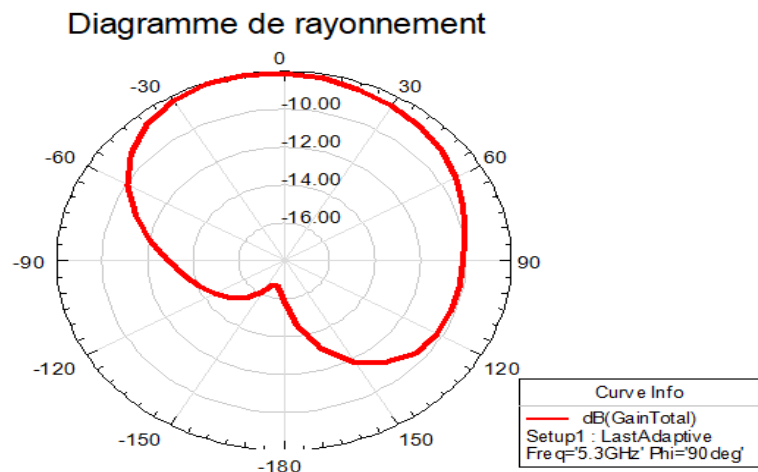


Figure III.21 diagramme de rayonnement correspond à l'état 4

- **Comparaison de coefficient de réflexion de quatre états :**

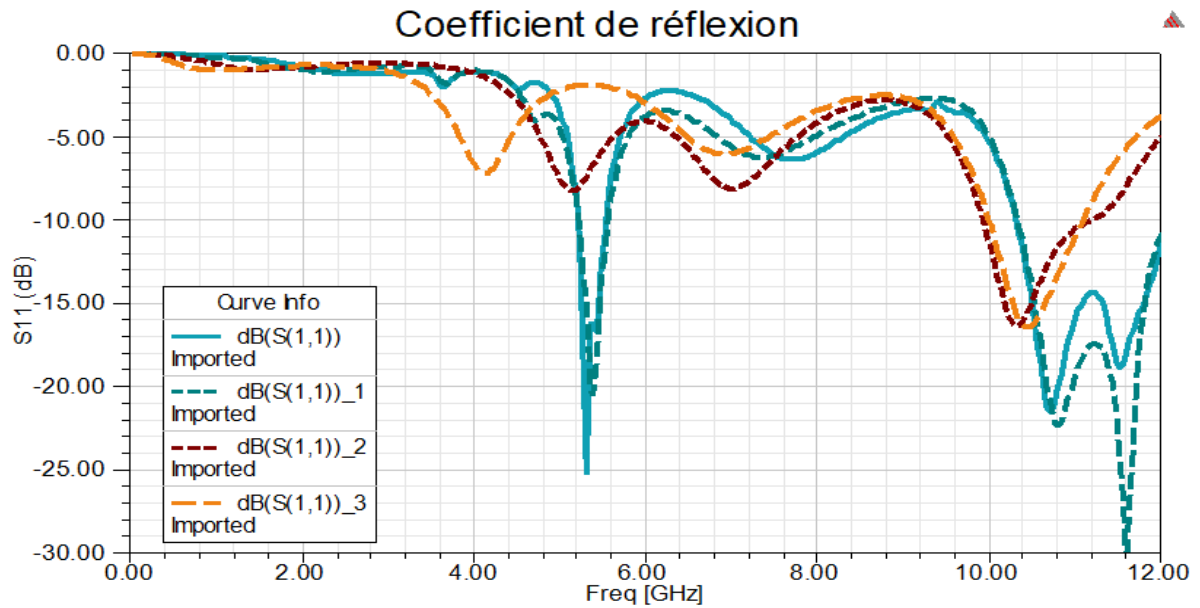


Figure III.22 comparaison des 4 coefficients de réflexions

D'après la comparaison des coefficients on remarque que la meilleure adaptation des quattres états est de la troisième état (S1=ON, S2=OFF, S3=OFF) de fréquence = 11.5793GHZ

B. Sierpinski reconfiguration 2 :

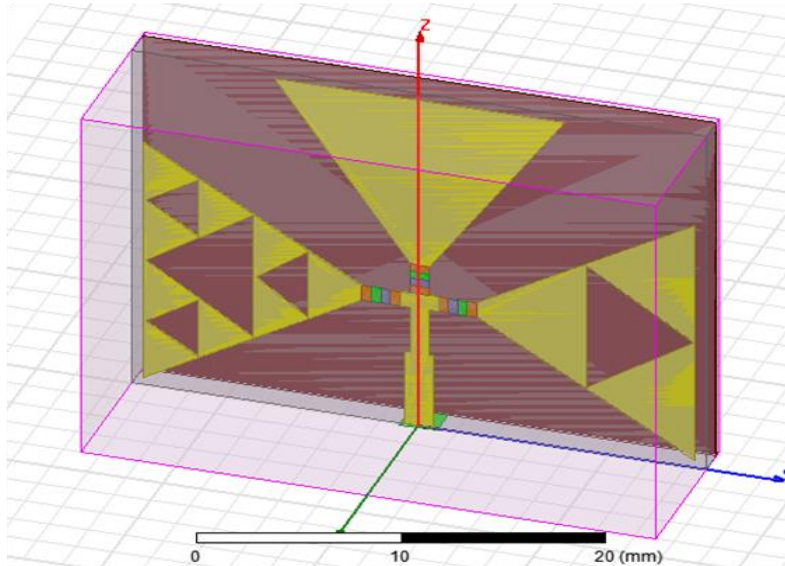


Figure III.23 structure du deuxième antenne fractale

- **Etat 1** (S1=ON, S2=ON, S3=ON) :

La Figure III.22 montre le coefficient de réflexion de l'antenne correspondant à l'état 1, avec la diode 1 en état ON et la diode 2 en état ON, et la diode 3 en état ON.

- **Coefficient de réflexion S11 :**

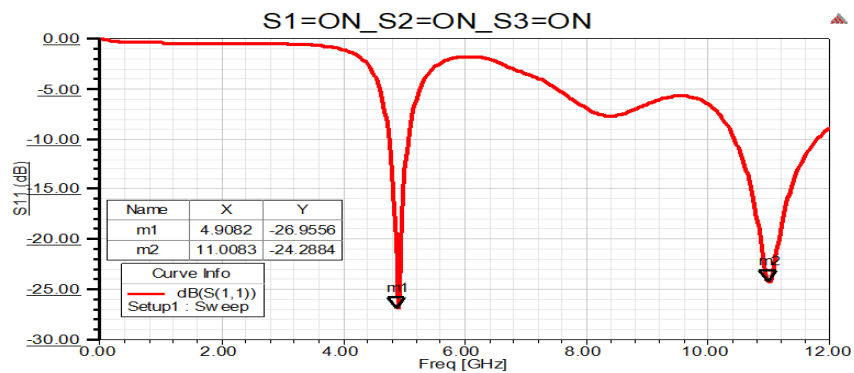


Figure III.24 coefficient de reflexion correspond à l'état 1

D'après la simulation on voit que le coefficient de réflexion change par rapport à l'état principal :

(m1) => le coefficient de réflexion = -26.9656dB à une fréq de 4.9082GHZ

(m2) => le coefficient de réflexion = -24.2884dB à une fréq de 11.0083GHZ

Alors on constate que la meilleure adaptation de l'antenne est dans la fréquence m1

- **Diagramme de rayonnement :**

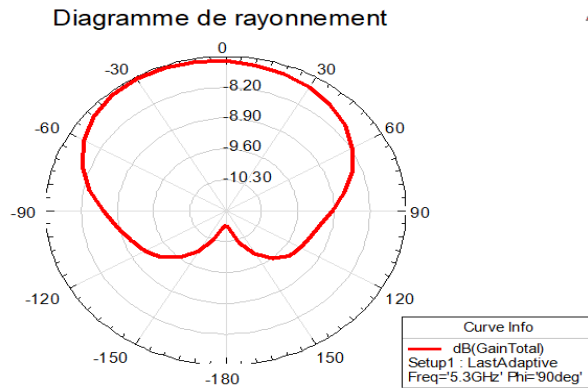


Figure III.25 diagramme de rayonnement correspond à l'état 1

- **Etat 2 : (S1=ON, S2=OFF, S3=OFF)**

La Figure III.14 montre le coefficient de réflexion de l'antenne correspondant à l'état 2, avec la diode 1 en état ON et la diode 2 en état OFF, et la diode 3 en état OFF

- **Coefficient de réflexion S11 de l'état2 :**

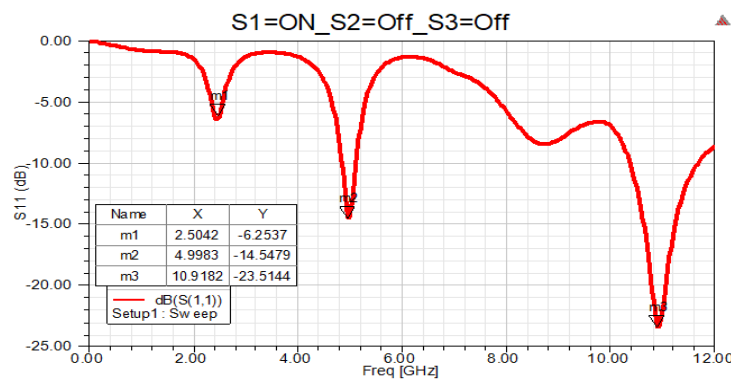


Figure III.26 coefficient de reflexion correspond à l'état 2

D'après la simulation on voit que le coefficient de réflexion change par rapport à l'état principal :

(m1) => le coefficient de réflexion = -6.2537dB à une fréq de 2.5042GHZ

(m2) => le coefficient de réflexion = -14.5479dB à une fréq de 4.9983GHZ

(m3) => le coefficient de réflexion = -23.5144dB à une fréq de 10.9182GHZ

Alors on constate que la meilleure adaptation de l'antenne est dans la fréquence m3

- **Diagramme de rayonnement d'état 2 :**

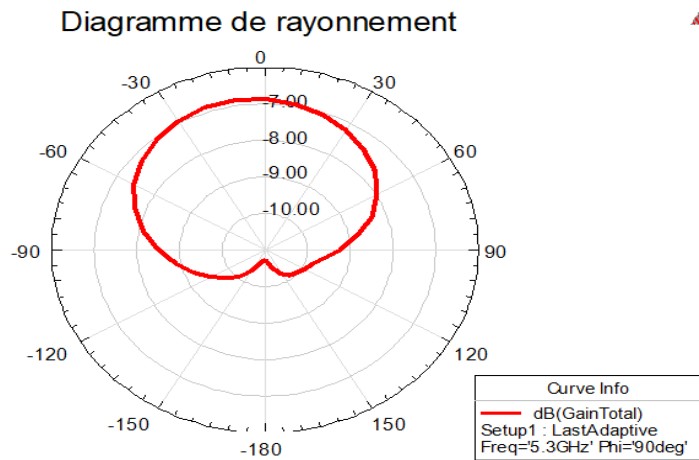


Figure III.27 diagramme de rayonnement correspond à l'état 2

- **Etat 3 : (S1=OFF, S2=ON, S3=OFF)**

La Figure III.24 montre le coefficient de réflexion de l'antenne correspondant à l'état 3, avec la diode 1 en état OFF et la diode 2 en état ON, et la diode 3 en état OFF.

- **Coefficient de réflexion S11 de l'état 3 :**

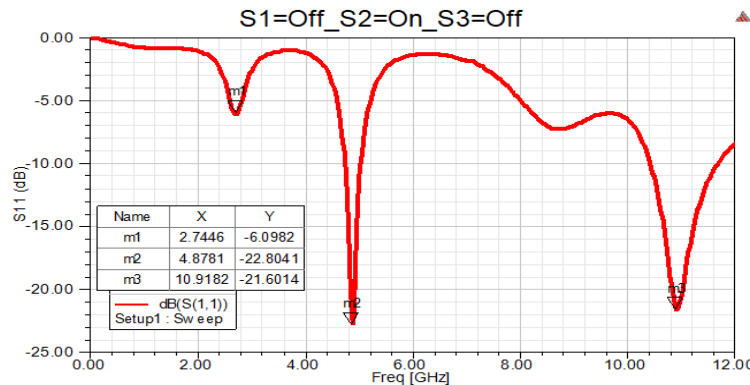


Figure III.28 coefficient de reflexion correspond à l'état 3

D'après la simulation on voit que le coefficient de réflexion change par rapport à l'état principal :

(m1) => le coefficient de réflexion = -6.0982dB à une fréq de 2.7446GHZ

(m2) => le coefficient de réflexion = -22.8041dB à une fréq de 4.8781GHZ

(m3) => le coefficient de réflexion = -21.6014dB à une fréq de 10.9182GHZ

Alors on constate que la meilleure adaptation de l'antenne est dans la fréquence m3

- **Diagramme de rayonnement d'état 3:**

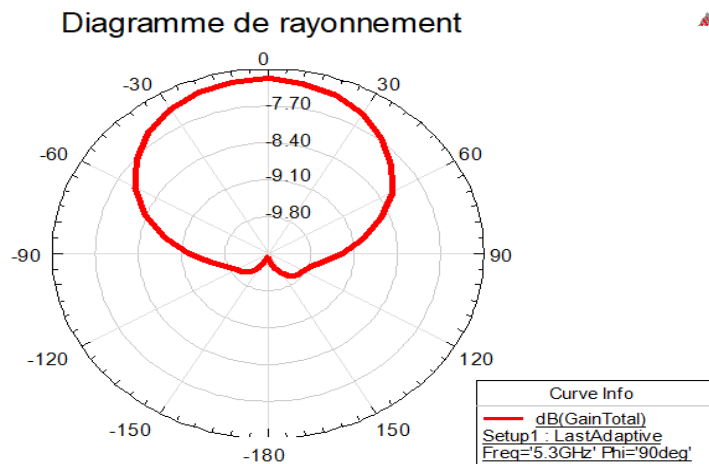


Figure III.29 diagramme de rayonnement correspond à l'état 3

- **Etat 4 : (S1=OFF, S2=OFF, S3=ON)**

La Figure III.28 montre le coefficient de réflexion de l'antenne correspondant à l'état 4, avec la diode 1 en état OFF et la diode 2 en état OFF, et la diode 3 en état OFF.

- **Coefficient de réflexion S11 de l'état 4 :**

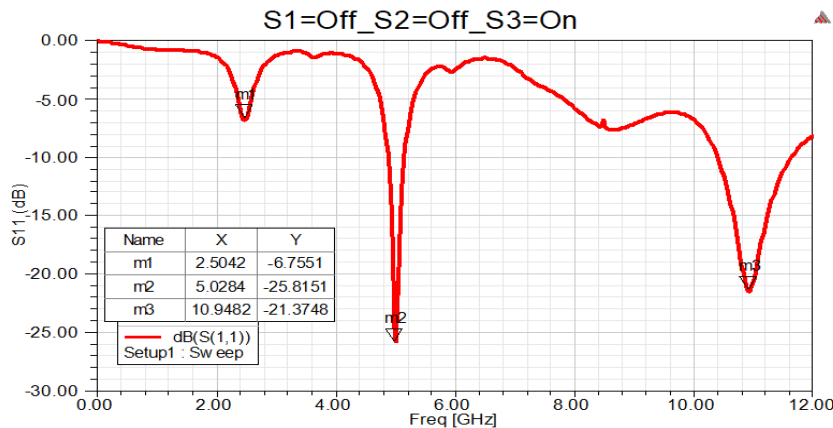


Figure III.30 coefficient de reflexion correspond à l'état 4

D'après la simulation on voit que le coefficient de réflexion change par rapport à l'état principal :

(m1) => le coefficient de réflexion = -6.7551dB à une fréq de 2.5042GHZ

(m2) => le coefficient de réflexion = -25.8164dB à une fréq de 5.0264GHZ

(m3) => le coefficient de réflexion = -21.3748dB à une fréq de 10.9482GHZ

Alors on constate que la meilleure adaptation de l'antenne est dans la fréquence m2

- **Diagramme de rayonnement d'état 4 :**

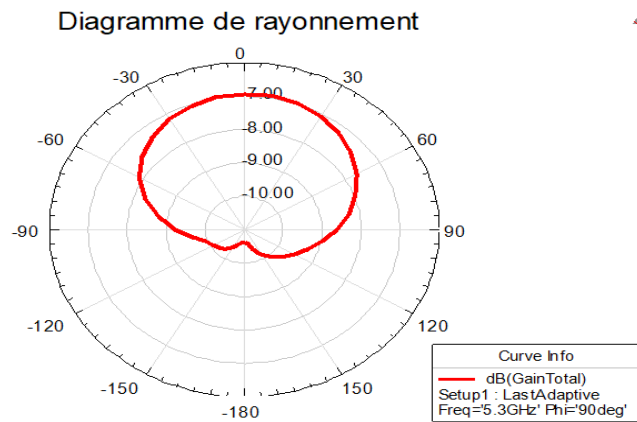


Figure III.31 diagramme de rayonnement correspond à l'état 4

- **Etat 5 : (S1=ON, S2=OFF, S3=ON)**

La Figure III.30 montre le coefficient de réflexion de l'antenne correspondant à l'état 5, avec la diode 1 en état ON et la diode 2 en état OFF, et la diode 3 en état ON.

- **Coefficient de réflexion S11 de l'état 5 :**

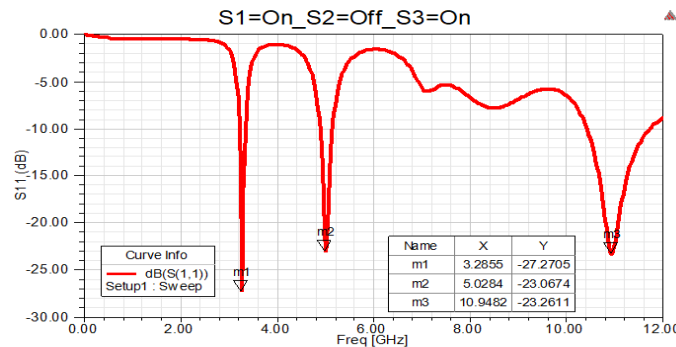


Figure III.32 coefficient de reflexion correspond à l'état 5

- Diagramme de rayonnement d'état 5 :

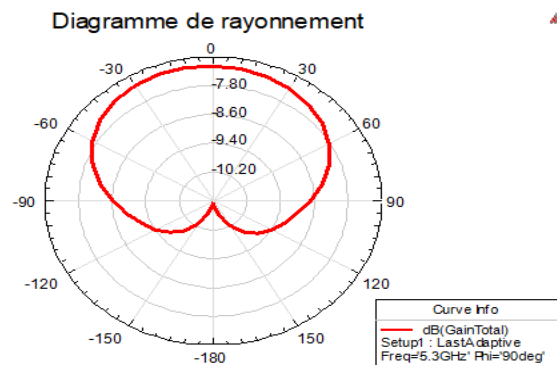


Figure III.33 diagramme de rayonnement correspond à l'état 5

- Comparaison de coefficient de réflexion de quatre états :

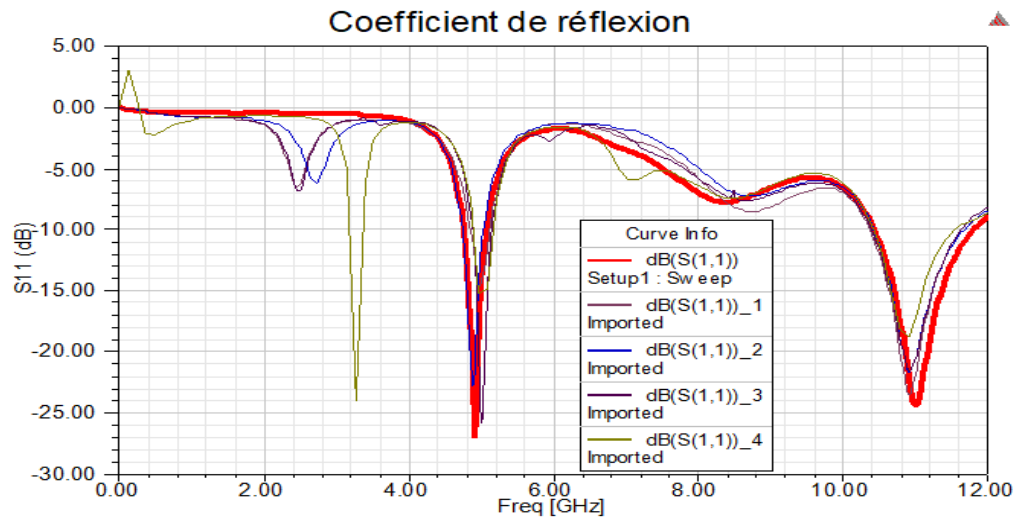


Figure III.34 comparaison des 4 coefficients de réflexions

D'après la comparaison des coefficients on remarque que la meilleure adaptation des quattres états est du 1ère état (S1=ON, S2=ON, S3=ON) de fréquence = 4.9082 GHZ

III .7 Conclusion:

Au cours de ce chapitre nous avons commencé par un acquis des informations sur un nouveau logiciel de simulation qu'il s'agit du HFSS. Nous avons ainsi présenté une phase de conception d'une antenne patch rectangulaire. et puisque l'antenne doit répondre à plusieurs standards à la fois, il était judicieux de penser à des antennes multifréquences. Et dans ce sens nous avons présenté une méthode qui permet d'obtenir une antenne multibande (fractales reconfigurables) répondant aux besoins.

Nous avons également présenté les résultats des simulations de ces antennes obtenus par HFSS, qu'il s'agit des différents paramètres des antennes notamment le paramètre S11,et le diagramme de rayonnement . Enfin on a conclu les meilleures reconfigurations

Conclusion générale :

L'organisation de notre travail nous a permis de bien assimiler l'ensemble des connaissances collectées dans le domaine des antennes. Nous avons dans un premier temps présenté l'essentiel de la théorie des antennes, en étudiant quelques éléments fondamentaux caractérisant l'antenne en générale. Ainsi que la technologie des antennes imprimées (patch) et leur caractéristique particulières par rapport aux autres antennes.

L'essentiel du travail que nous avons entrepris sur les généralités des antennes imprimées porte sur la description de ces antennes, les différentes techniques d'alimentation et aussi sur les méthodes d'analyse

L'objectif principal de ce travail était la conception d'une antenne fractales multifréquences à l'aide du logiciel de simulation hyperfréquence HFSS. Qui est un outil performant à onde électromagnétique qui fait la simulation du champ d'un model arbitraire en 3D. Il intègre la simulation, visualisation, modélisation des objets, et l'automatisation dans un environnement facile à utiliser où les solutions des problèmes ondes électromagnétiques sont obtenues rapidement et avec précision.

Bibliographie :

- [1] W GUENNAD «Etude et conception d'antennes originales fractales a base des métat matériaux» , Master,Telemcen,2016
- [2] Wikipédia
- [3] H. CHORFI , «Conception d'un nouveau système d'antennes réseau conforme en onde millimétrique» , Thèse, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue
- [4] S. Melihi «Antenne de Téléphonie mobile, caractérisation et optimisation», Master, Université ABDERRAHMANE MIRA-Bejaia ,master 2016
- [5] S.Fersiti et F. Mahiedine Antennes,«Antennes à Plan de Masse Partielle de type Hilbert pour un fonctionnement Ultra Large Bande» ,Master, Université de Telemcen, 2017
- [6] : H. Ben IBRAHIM GAHA, « Analyse et Conception des Antennes Fractales Applications aux Télécommunications Large Bande» , These, INPT-ENSEEIH de Toulouse & UTM-ENI de Tunis ,juillet 2007
- [7] S. BENABDI «conception et modélisation d'une antenne microruban compacte pour une utilisation dans les terminaux mobile», Master ,université Telemcen 2011
- [8] : A. SOUIKEUR «Contribution à la modélisation des antennes multifonction à métamatériaux,thèse»,Magister, Université Ziane Achour de Djelfa 2014
- [9] : F. ADJILA. et N. MELATI , «Etude et conception d'une antenne fractales reconfigurables en fréquence » ,Master , Université de Guelma,2019
- [10] : N.BERROUA,et A. GHERIS «Etude paramétrique et simulation de l'antenne patch sous CST», Master, Université de MOULOUD MAAMERI tizi ouezou 2017

[11] : S. El Kadri « Contribution à l'étude d'antennes miniatures reconfigurables en fréquence par association d'éléments actifs », Thèse, l'École Doctorale EEATS, 2012.

[12] : Laurent Petit « Antennes reconfigurables à base de mems RF », thèse, Université Joseph Fourier, 2007.

[13] : S. Dakhli « Augmentation de la performance des antennes miniatures inspirées par métamatériaux: conception d'antennes », 2015.

[14] : I. ROUISS Imen, BEN TRAD, Jean-Marie FLOC'H, Hatem RMILI, H. TRABELS, « Etude et conception d'une Antenne Patch Carré Reconfigurable en fréquence pour les systèmes de télécommunications multistandards », 2015.

[15] : S. Loizeau, « Conception et Optimisation d'antennes reconfigurables multifonctionnelles et ultra large bande », thèse , Université de Rennes 1,2009.

[16] : M.NOUIRI et Z.TERKI « Conception d'une Antenne Microruban Reconfigurable à base de Diode PIN et des Structures EBG », université Mohamed Boudiaf m'sila, 2018 /2019.

[17] : F.ADJILA & N.MELATI «Etude et conception d'une antenne fractale reconfigurable en fréquence », master, Université 8 Mai 1945 Guelma, 2019.

[18] : Viet Hung Nguyen « Antennes miniatures et reconfigurables utilisant des matériaux diélectriques et ferroélectriques oxydes et oxynitrures en couches minces », thèse, Université de Rennes 1, 2014.

[19] : Anil Pandey , « Practical Microstrip and Printed Antenna Design », livre, 2019.

