

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البلدية
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de Master

Filière Télécommunication
Spécialité Réseaux et Télécommunication

présenté par

BIRANE Abdelmalek

&

SI SABER Abderrahim

Etude et conception des antennes fractales reconfigurables

Proposé par :

M. ABED AHCÉNE

MCB

USD Blida 1

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.

Un grand merci à notre encadreur Dr. ABED Ahcène pour son soutien et sa disponibilité.

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.

Nous adressons nos sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé nos réflexions et ont accepté de nous rencontrer et de répondre à nos questions durant nos recherches.

Enfin, Nous remercions nos amis qui ont toujours été là pour nous. Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide. À tous ces intervenants, nous présentons nos remerciements, notre respect et notre gratitude.

Liste des acronymes et abréviations

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

Liste des symboles

$\vec{\nabla}$	L'opérateur Nabla
ρ	La densité volumique de charge
ϵ	La permittivité électrique
ϵ_0	La permittivité électrique dans le vide
ϵ_r	La permittivité relatif au milieu
μ_0	La perméabilité magnétique dans le vide
μ	La perméabilité magnétique
μ_r	La 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
P_r	La 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 électrique
V	La Tension électrique
Z_e	L'impédance d'entrée
B_p	La Bande Passante
f_{min}	La fréquence minimale
f_{max}	La fréquence maximale
f_c	La fréquence de résonance
η	Le rendement
R_r	La résistance de rayonnement
R_p	La résistance liée aux pertes
S_{11}	Le coefficient de réflexion
Z_r	L'impédance caractéristique
$\vec{E}$	Le champ électrique
$\vec{H}$	Le champs magnétique

Table des matières

Introduction Générale	1
1 Principes fondamental des antennes	3
1.1 Introduction	3
1.2 Historique	3
1.3 Onde électromagnétique	4
1.4 Les Antennes	7
1.4.1 Structure d'un réseau d'antenne	8
1.4.2 Caractéristiques des antennes	9
1.5 Types des antennes	13
1.5.1 Antennes élémentaires	13
1.5.2 Antennes en réseau	13
1.5.3 Antennes à réflecteurs	13
1.5.4 Antenne pour guide d'onde	14
1.5.5 Antennes imprimées (micro-ruban)	14
1.6 Conclusion	15
2 Antenne Patch et la reconfigurabilité	16
2.1 Introduction	16
2.2 Historique	17
2.3 Les antennes imprimée	17
2.3.1 Description d'une antenne imprimée ou "patch"	17
2.3.2 Les différentes formes d'une antenne patch	18
2.3.3 Techniques d'alimentations	19
2.4 Avantages et inconvénients des antennes imprimées	21
2.5 Applications	22
2.6 Antenne reconfigurable	22

2.6.1	Définition d'une antenne reconfigurable	23
2.6.2	techniques de reconfiguration	24
2.6.3	Classification des antennes reconfigurables	27
2.6.4	Antennes reconfigurables en fréquence	28
2.7	Conclusion	30
3	Evaluation expérimentale et résultats	31
3.1	Introduction	31
3.2	Choix d'outil de simulation	31
3.3	Les structures rayonnantes principales	31
3.3.1	Les antennes filaires	31
3.3.2	Les antennes à fente	32
3.3.3	Les antennes patch	32
3.4	Modélisation de la diode PIN	32
3.4.1	Modélisation de la diode PIN par un plot métallique	32
3.4.2	Modélisation par un circuit RLC équivalent	32
3.4.3	Modélisation via l'utilisation d'un commutateur commandé en tension	33
3.5	Antenne fractale reconfigurable en fréquence	33
3.5.1	Fractale de Sierpinski	34
3.5.2	Fractale de Sierpinski reconfigurable	39
3.6	Conclusion	51
	Conclusion Générale	52
	Bibliographie	53

Table des figures

1.1	Onde électromagnétique	5
1.2	le spectre électromagnétique	7
1.3	structure d'un réseau d'antenne	8
1.4	Diagramme de rayonnement d'une antenne directive	9
1.5	types de polarisations	11
1.6	reflécteur parabolique	14
1.7	antenne cornet	14
1.8	aspect d'une antenne micro-ruban rectangulaire	15
2.1	structure d'une antenne imprimée	18
2.2	Différentes formes d'antennes patch	18
2.3	Alimentation par câble coaxial	19
2.4	Alimentation par ligne Micro-ruban	20
2.5	Alimentation couplée par ouverture	21
2.6	Alimentation couplée par proximité	21
2.7	Diverses techniques pour concevoir des antennes reconfigurables [19] . . .	24
2.8	Circuit d'une diode équivalent dans les états ON et OFF [11]	25
2.9	Circuit équivalent d'une diode varicap [11]	26
2.10	Commutateur MEMS [12]	27
2.11	Schéma des types d'antennes reconfigurables [11]	28
3.1	Circuit équivalent simplifié pour une diode PIN a mode ON et b mode OFF .	33
3.2	Schéma équivalent du commutateur	33
3.3	Structure de l'antenne fractale : Tringle de Sierpinski (a) vue au-dessus (b) vue au-dessous	34
3.4	Structure de l'antenne fractale d'ordre 0	35
3.5	Coefficient de réflexion S11 de l'antenne fractale d'ordre 0	35
3.6	Diagramme de rayonnement d'une antenne d'ordre 0	36

3.7	Structure de l'antenne fractale d'ordre 1	36
3.8	Coefficient de réflexion S11 de l'antenne fractale d'ordre 1	37
3.9	Diagramme de rayonnement d'une antenne d'ordre 1	37
3.10	Structure de l'antenne fractale d'ordre 1	38
3.11	Coefficient de réflexion S11 de l'antenne fractale d'ordre 2	38
3.12	Diagramme de rayonnement d'une antenne d'ordre 2	39
3.13	emplacement des diodes PIN sur l'antenne fractale	39
3.14	Coefficient de réflexion de l'antenne S_1C_1	40
3.15	Diagramme de rayonnement de l'antenne S_1C_1	41
3.16	Coefficient de réflexion de l'antenne S_1C_2	41
3.17	Diagramme de rayonnement de l'antenne S_1C_2	42
3.18	Coefficient de réflexion de l'antenne S_1C_3	42
3.19	Diagramme de rayonnement de l'antenne S_1C_3	43
3.20	Coefficient de réflexion de l'antenne S_1C_4	43
3.21	Diagramme de rayonnement de l'antenne S_1C_4	44
3.22	Etude Comparative des quatre configurations de la 1 ^{re} structure	44
3.23	Structure du deuxième antenne fractale	45
3.24	Coefficient de réflexion de l'antenne S_2C_1	46
3.25	Diagramme de rayonnement de l'antenne S_2C_1	46
3.26	Coefficient de réflexion de l'antenne S_2C_2	47
3.27	Diagramme de rayonnement de l'antenne S_2C_2	47
3.28	Coefficient de réflexion de l'antenne S_2C_3	48
3.29	Diagramme de rayonnement de l'antenne S_2C_3	48
3.30	Coefficient de réflexion de l'antenne S_2C_4	49
3.31	Diagramme de rayonnement de l'antenne S_2C_4	49
3.32	Coefficient de réflexion de l'antenne S_2C_5	50
3.33	Diagramme de rayonnement de l'antenne S_2C_5	50
3.34	Etude Comparative des quatre configurations de la 2 ^{me} structure	51

Liste des tableaux

3.1	dimensions de l'antenne fractale proposée	34
3.2	Différents configurations de la 1 ^{ère} structure	40
3.3	Différents configurations de la 2 ^{ème} structure	45

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 coût, 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 1 Principes fondamental des antennes

1.1 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 patches, on donnera leur description et quelque différent forme.

La maitrise 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 spécifie. 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 imprimé qu'on détaillera dans le chapitre suivant.

1.2 Historique

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".

1.3 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.

a 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 $300\,000\text{ Km/s}$. Ce sont des vibrations définies par un mouvement ondulatoire sinusoïdal représentées dans la figure 1.1.

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 :

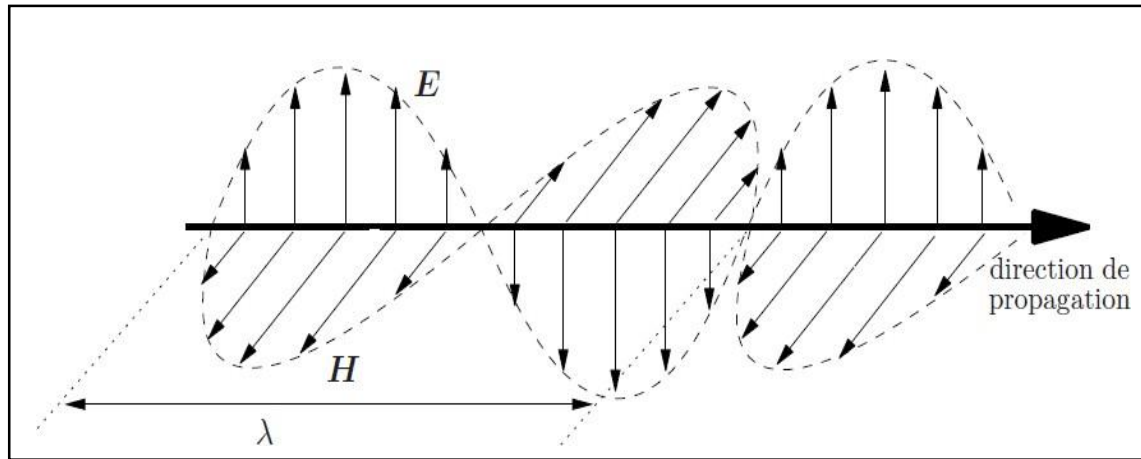


FIGURE 1.1 – Onde électromagnétique

Equation de Maxwell – Gauss :

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon} \quad (1.1)$$

Equation de Maxwell – Thompson :

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (1.2)$$

Equation de Maxwell – Faraday :

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = -\mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \quad (1.3)$$

Equation de Maxwell-Ampère :

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = -\sigma \vec{E} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (1.4)$$

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

$$\Delta \vec{E} - \mu\epsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0 \quad (1.5)$$

$$\Delta \vec{H} - \mu\epsilon \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} = 0 \quad (1.6)$$

A noter que :

ρ : densité volumique de charge

ϵ permittivité électrique,

$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} F/m$: permittivité électrique dans le vide

ϵ_r : permittivité relatif au milieu

μ : perméabilité magnétique

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} H/m$: perméabilité magnétique dans le vide

σ : conductivité électrique.

b 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).

c 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 :

$$\lambda = CT = \frac{C}{f} \quad (1.7)$$

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 $watt/m^2$ elle est donnée par la relation : $P = \frac{E^2}{377}$.

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.

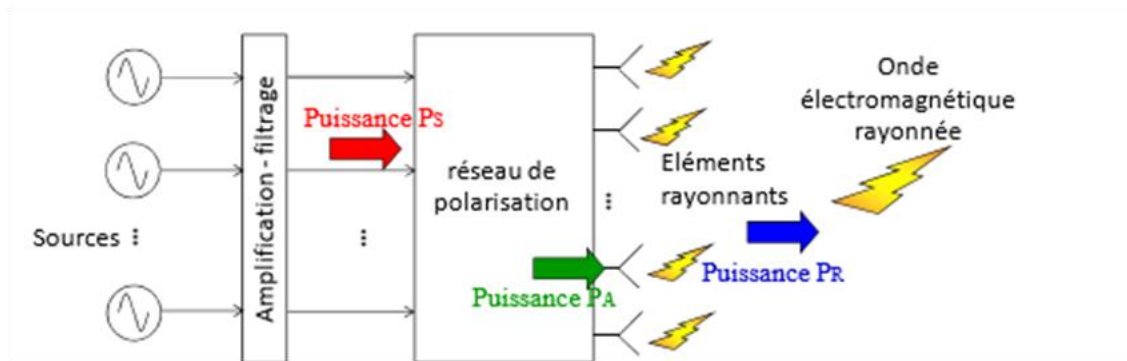


FIGURE 1.3 – structure d'un réseau d'antenne

1.4.1 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 1.3 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) [4] :

- 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

Il est important que l'installation de l'antenne et sa connexion à la source nécessite

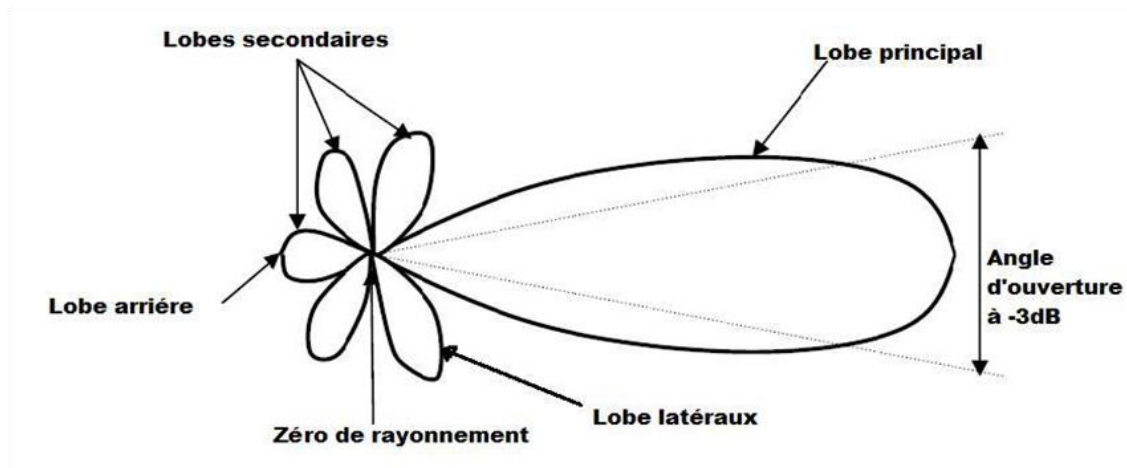


FIGURE 1.4 – Diagramme de rayonnement d’une antenne directive

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 [4].

1.4.2 Caractéristiques des antennes

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

a Caractéristiques de rayonnement

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 [4].

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 1.4 [3].

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.

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 [3] :

$$D(\theta, \varphi) = \frac{P(\theta, \varphi)}{P(\theta, \varphi)_{iso}} = \frac{P(\theta, \varphi)}{P_r/4\pi} \quad (1.8)$$

P_r : est la puissance totale rayonnée. Une antenne qui a un lobe principal étroit à une meilleure directivité, que celui qui a un lobe principal large, donc elle est plus directive.

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 [3] :

$$Gain = \frac{P(\theta, \varphi)}{P_a/4\pi} \quad (1.9)$$

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) [4] :

$$Gain = \eta D \quad (1.10)$$

Pour avoir un gain important, l'antenne doit avoir un diagramme de rayonnement directif et réciproquement

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) [4]

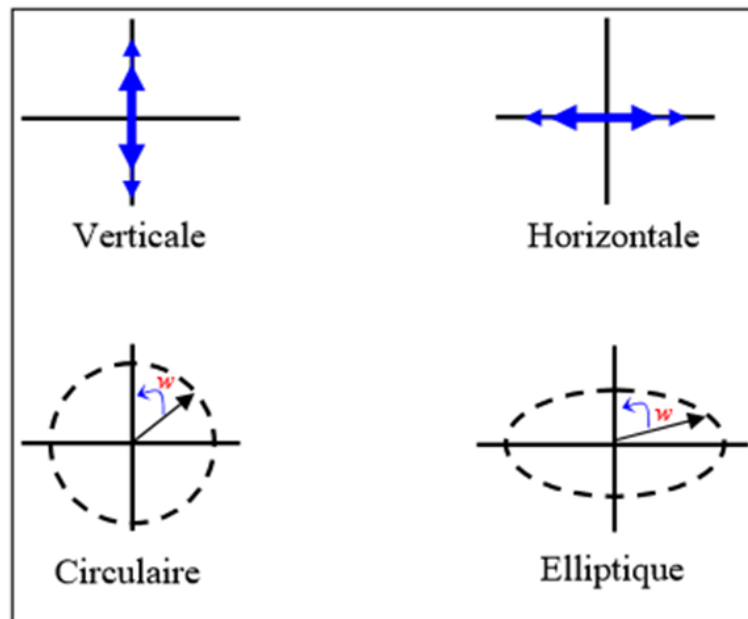


FIGURE 1.5 – types de polarisations

- Si E garde une direction constante dans le temps, on dit que l'on a une polarisation rectiligne (voir la Figure 1.6).
- 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 [3].

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 [5] :

(1.11)

b Caractéristiques électriques

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 [5] :

$$Z_e = \frac{V_e}{I_e} \quad (1.12)$$

La bande passante (BP) La bande passante d'une antenne peut être définie comme étant la gamme des fréquences utile, en laquelle l'antenne possède des capacités optimales pour émettre ou recevoir l'énergie électromagnétique correspondante dans l'espace environnement.

La valeur des limites sur les critères de fonctionnement de l'antenne définit un domaine de fréquences situées entre une valeur minimale et une valeur maximale.

La bande passante est donnée par [3] :

$$B_p = \left[\frac{f_{max} - f_{min}}{f_c} \right] \times 100 \quad (1.13)$$

Avec f_c est la fréquence centrale ou de résonance.

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 [5] :

$$\eta = \frac{R_r}{R_r + R_p} \quad (1.14)$$

- R_r : Résistance liée à son rayonnement.
- R_p : Résistance liée aux pertes de l'antenne.

Il est aussi exprimé par [3] :

$$\eta = \frac{P_r}{P_a} \quad (1.15)$$

Le coefficient de réflexion 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 [3] :

$$S_{11} = \frac{Z_{in}^-}{Z_{in} + Z_s} \quad (1.16)$$

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

$$|S_{11}|_{dB} = 20 \log |S_{11}| \quad (1.17)$$

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.

1.5 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 :

1.5.1 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.

1.5.2 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 cibles (constitué de plusieurs dipôles demi-onde alimenté de façon à rayonner en phase) et les antennes hybrides.

1.5.3 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.

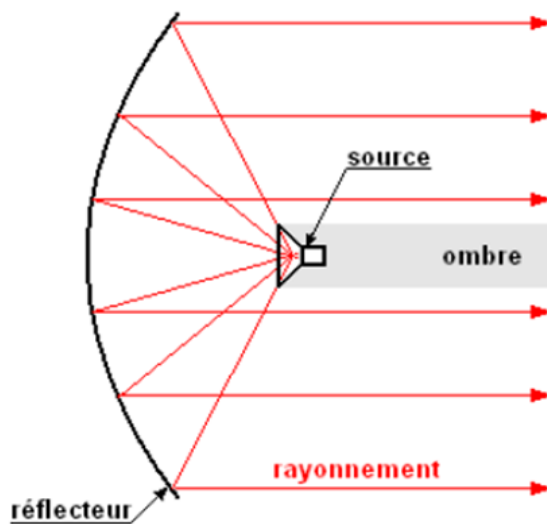


FIGURE 1.6 – réflecteur parabolique

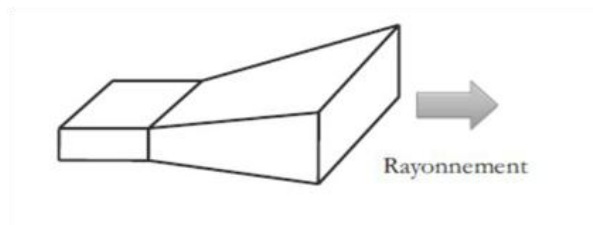


FIGURE 1.7 – antenne cornet

1.5.4 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 ouverts 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.

1.5.5 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 fréquents. 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 1.8). Les courants sont amenés de générateur à l'entrée par une ligne micro ruban.

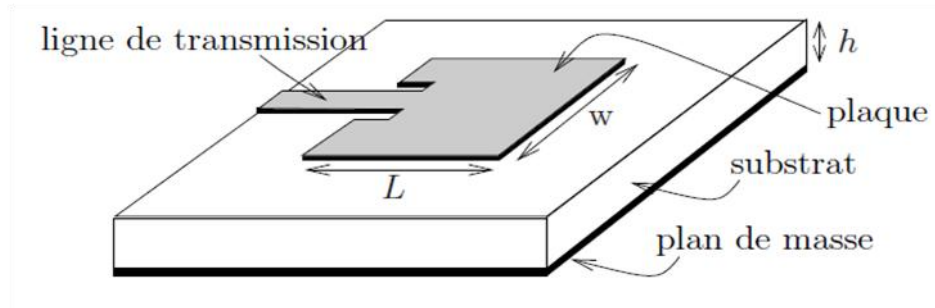


FIGURE 1.8 – aspect d’une antenne micro-ruban rectangulaire

1.6 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 2 Antenne Patch et la reconfigurabilité

2.1 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, DCS 1800, PCS 1900).

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 a fin 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.

2.2 Historique

L'idée d'un élément rayonnant à microruban 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 microrubans. 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 [3] [6]

2.3 Les antennes imprimée

2.3.1 Description d'une antenne imprimée ou "patch"

Une antenne à éléments rayonnants imprimés (Figure 2.1), 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 [4] :

- **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 [3].
- **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 augmenter la puissance rayonnée par l'antenne et réduire les pertes par effet de joule et améliorer 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 [3].
- **L'élément rayonnant (patch)** est une partie métallique de forme et de taille à dé-

finir 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 [3].

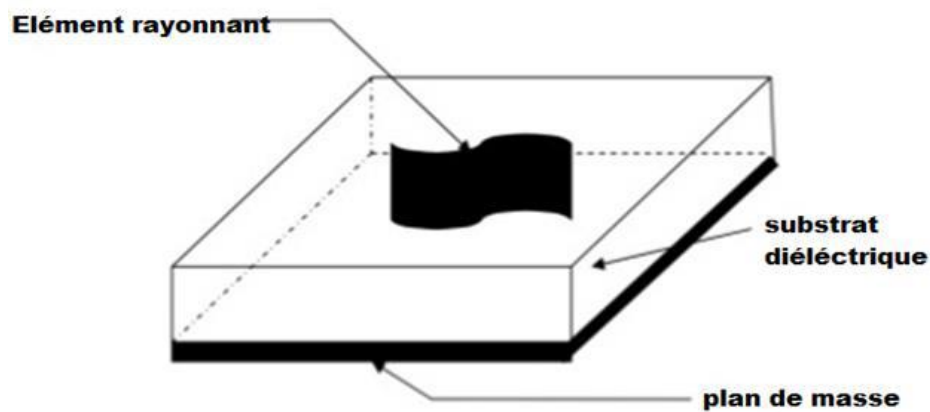


FIGURE 2.1 – structure d'une antenne imprimée

2.3.2 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 [8] :

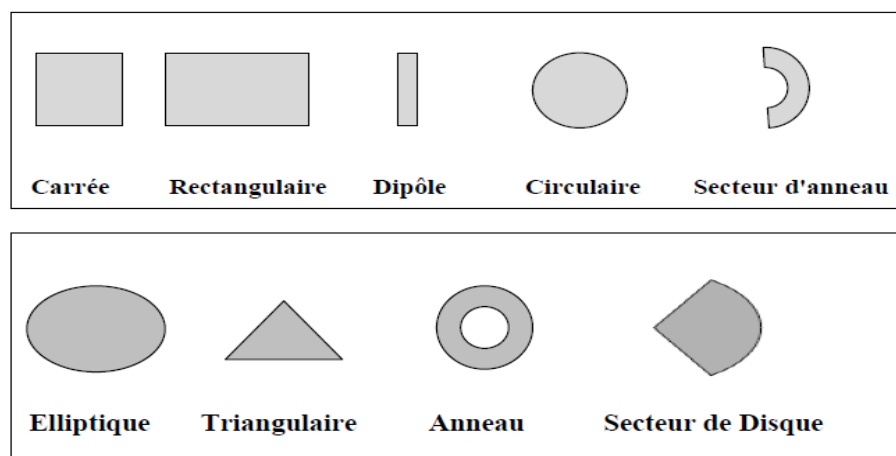


FIGURE 2.2 – Différentes formes d'antennes patch

2.3.3 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 [4].

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 interne 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 [7]

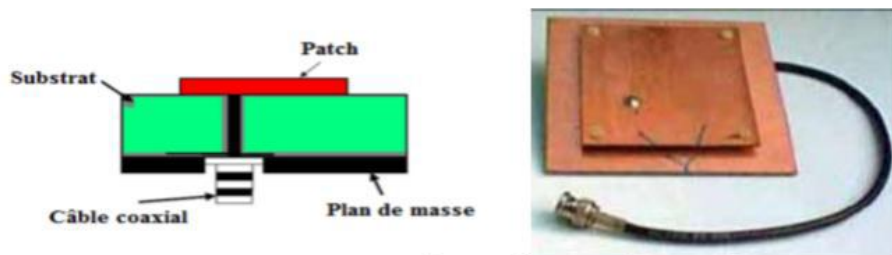


FIGURE 2.3 – Alimentation par câble coaxial

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 2.4), une bande de conduite est reliée directement au bord du patch de microruban. 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 façade 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 [6].

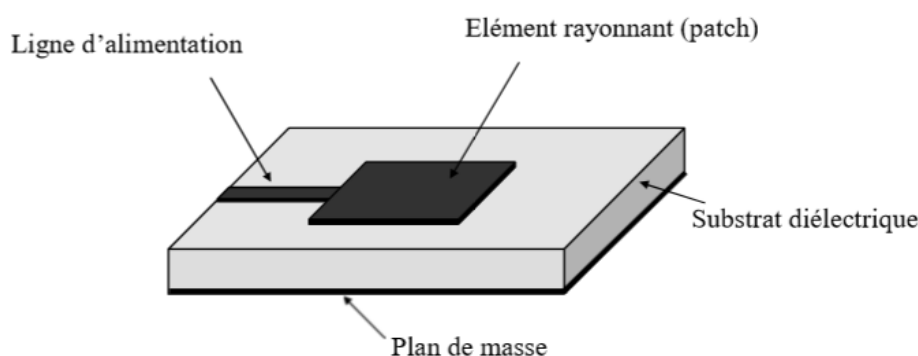


FIGURE 2.4 – Alimentation par ligne Micro-ruban

c Alimentation couplée par ouverture

Dans ce typ 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 2.5). La conjonction entre le patch et la ligne d'alimentation est faite par une ouverture ou une fente dans le plan de masse [19]. 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 [6][3].

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 [4].

d Alimentation Couplée Par Proximité

Ce type d'alimentation est représenté sur la figure 2.6, 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.

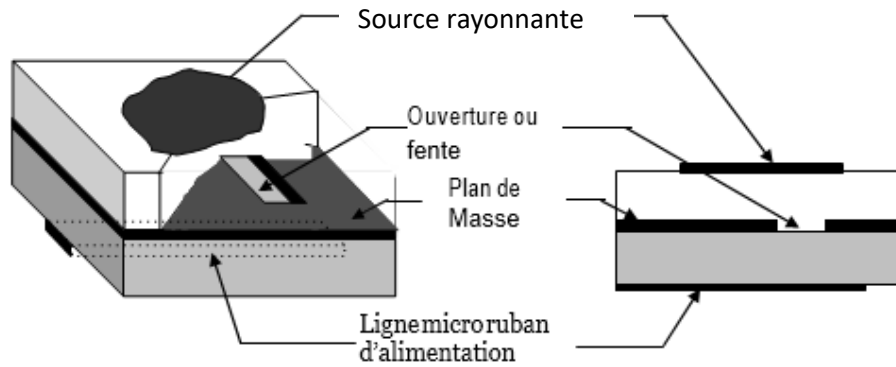


FIGURE 2.5 – Alimentation couplée par ouverture

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 [3].

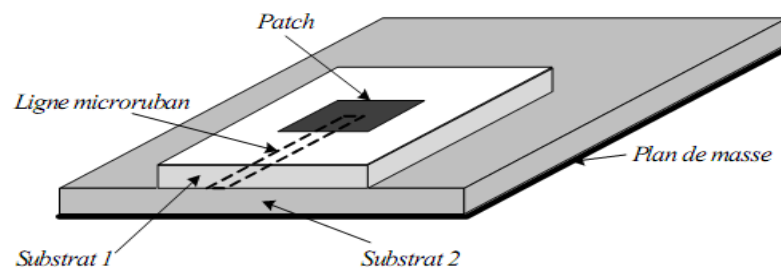


FIGURE 2.6 – Alimentation couplée par proximité

2.4 Avantages et inconvénients des antennes imprimées

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

Parmi les avantages de ces d'antennes, on peut citer [7] :

- 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

[3] :

- 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.

2.5 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 [3] :

- 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.

2.6 Antenne reconfigurable

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 [12].

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 [13]. Le terme antenne reconfigurable a été utilisé pour la première fois par Brown dans son article paru en 1998 [14]. 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 [13].

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 [15].

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...) [16].

2.6.1 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 [17]. 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 [9].

L'agilité des paramètres peut être envisagée par l'utilisation de composants discrets commutables ou accordables (diodes PIN, RF MEMS, diodes varicap, commutateurs photo conducteurs), l'intégration de matériaux commandables (ferrites, cristaux liquides) ou par une modification de la structure physique de l'antenne [18].

2.6.2 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-punctuelle 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 [9].

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 (méta-matériaux, ferromagnétique, cristaux liquide) [9].

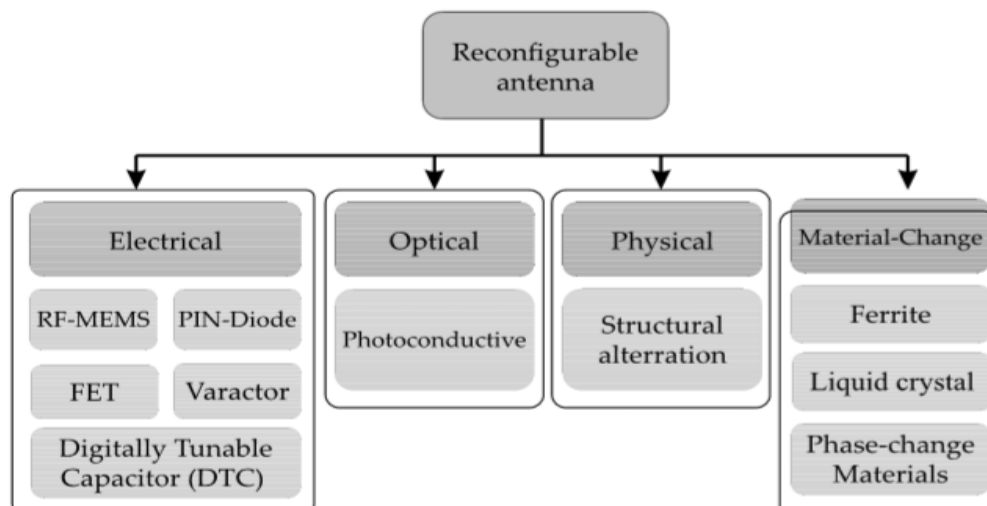


FIGURE 2.7 – Diverses techniques pour concevoir des antennes reconfigurables [19]

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 semi-conducteurs [11].

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 [11].

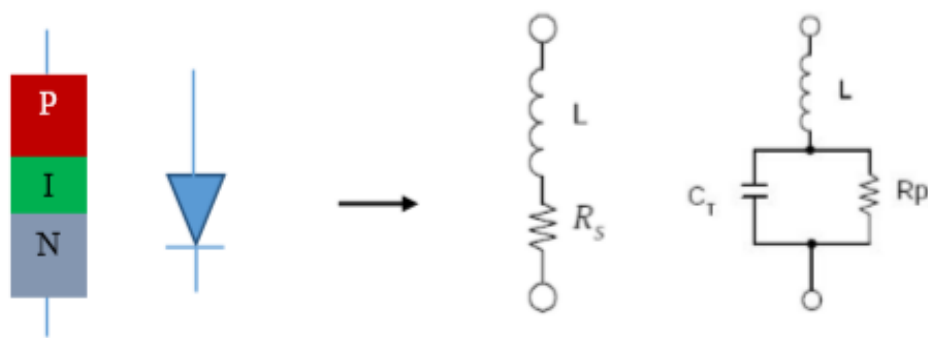


FIGURE 2.8 – Circuit d'une diode équivalent dans les états ON et OFF [11]

Avantages d'une diode PIN

- 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 ($0.001 - 0.1\mu\text{s}$);
- Possibilité d'avoir de faibles pertes;
- Faible coût.

Inconvénients d'une diode PIN

- Circuit de polarisation complexe;
- Pertes élevées ($1 - 5\Omega$).

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 2.9). 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 [11].

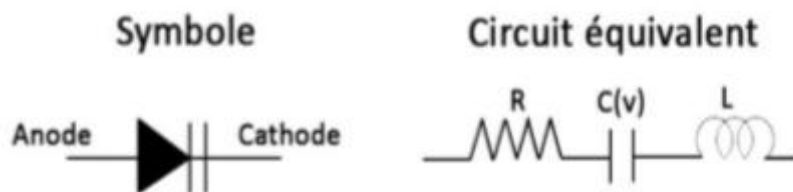


FIGURE 2.9 – Circuit équivalent d'une diode varicap [11]

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 [9]. Utilisant l'électricité comme source d'énergie [18]. Il est caractérisé par son coût 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 [9].

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 [12].

c 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

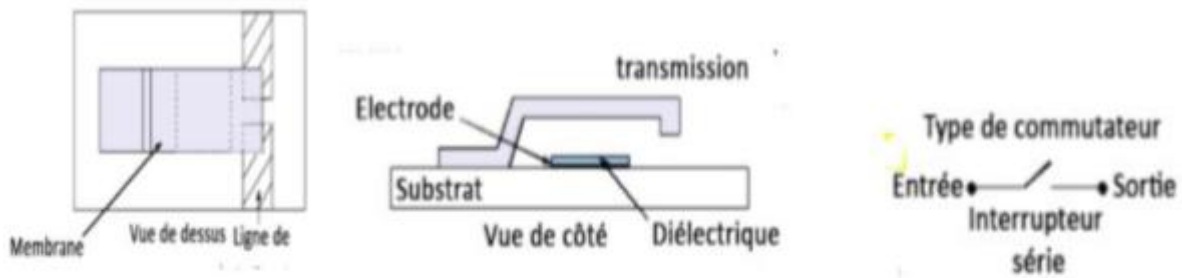


FIGURE 2.10 – Commutateur MEMS [12]

d'un champ électrique appliqué sur la grille. Les commutateurs FET présentent une faible tension de polarisation avec une consommation du courant quasiment nulle [9].

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 [9]. Utilisés par d'autres techniques qui peuvent ajouter de la complexité et perturber le rayonnement de l'antenne [11].

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 [9]. 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 [11].

2.6.3 Classification des antennes reconfigurables

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.

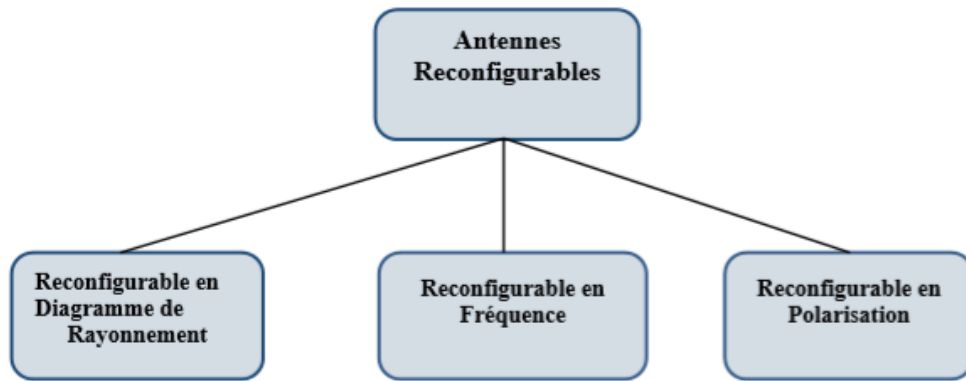


FIGURE 2.11 – Schéma des types d’antennes reconfigurables [11]

- 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 .

2.6.4 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 [16]].

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 [14].

a 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 [14].

b 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 [14].

c Avantages d'une antenne reconfigurable

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 [9].

d Inconvénients d'une antenne reconfigurable

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 en continu)
- 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 [9].

2.7 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 Evaluation expérimentale et résultats

3.1 Introduction

L'utilisation des logiciels adapté telle que le HFSS, CST, ADS. est une étape principale pour la conception des antennes qui nous aides d'étudier des structures complexes en trois dimensions aux paramètres désirés et on prendre 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 électromagnétiques.

3.2 Choix d'outil de simulation

Il existe plusieurs simulateurs électromagnétiques consacrés pour la conception des composants micro-ondes tel que les antennes imprimés, 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 travaille on va basé sur le HFSS (High Frequency Structure Simulator)

3.3 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 filaire (le dipôle, monopole, Yagi), les antennes à fente et les antennes patches (antenne à structure planaire).

3.3.1 Les antennes filaires

L'antenne dipôle est une antenne composée de deux brins conducteurs métallique 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.

3.3.2 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.

3.3.3 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.

3.4 Modélisation de la diode PIN

3.4.1 Modélisation de la diode PIN 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.

3.4.2 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 3.1. Il se compose d'une inductance parasite (L) en série avec une capacité

intrinsèque (C) et une résistance intrinsèque (R), qu'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".

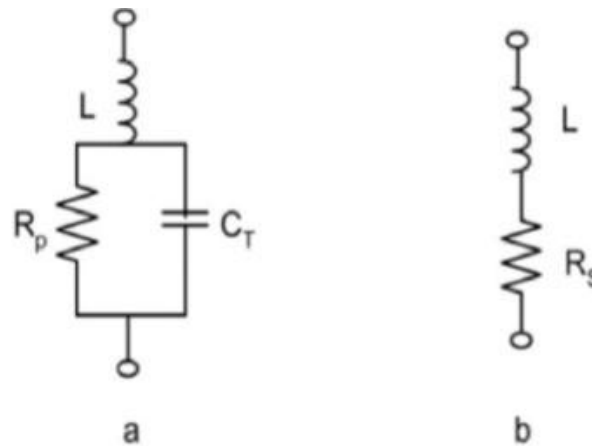


FIGURE 3.1 – Circuit équivalent simplifié pour une diode PIN a mode ON et b mode OFF

3.4.3 Modélisation via l'utilisation d'un commutateur commandé en tension

Le schéma équivalent du commutateur est illustré par la Figure 3.2. Lorsque la tension V_c est inférieure à $5V$ ($V_c = 0V; 2,5V$) l'état de la diode est passant; et dans le cas inverse, V_c supérieure à $5V$ ($V_c = 7,5V; 10V$) l'état de la diode est bloqué.

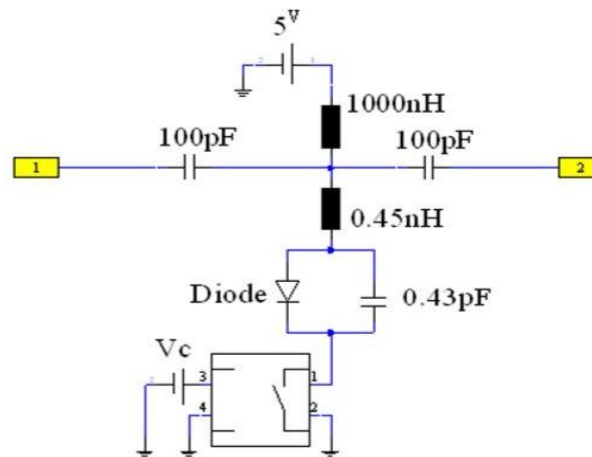


FIGURE 3.2 – Schéma équivalent du commutateur

3.5 Antenne fractale reconfigurable en fréquence

Avant de concevoir des antennes fractales reconfigurable en fréquence, nous étudions les caractéristiques d'une fractale de sierpinski.

3.5.1 Fractale de Sierpinski

L'antenne proposée pour l'étude et la réalisation a la forme d'une antenne fractale appelée triangle de Sierpinski (1er itération). Cette forme de fractal a été introduite par Benoît Mandelbrot au cours des années 70. Le triangle de Sierpinski, aussi appelé par Mandelbrot le joint de culasse de Sierpinski, est une fractale, du nom de Waław-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".

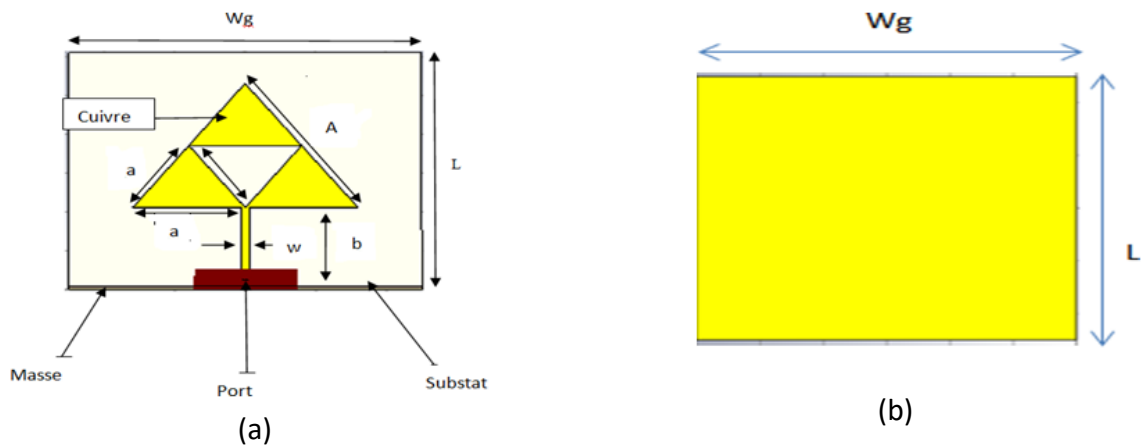


FIGURE 3.3 – Structure de l'antenne fractale : Tringle de Sierpinski (a) vue au-dessus (b) vue au-dessous

Les dimensions adoptées lors de cette étude sont montrés dans le Tableau 3.1

Paramètre	Valeur [mm]	Paramètre	Valeur [mm]
W_g	0	a	0
A	0	b	0
L	0	W	0

TABLE 3.1 – dimensions de l'antenne fractale proposée

a Fractale de Sierpinski d'ordre 0

La figure 3.4 montre la structure d'une antenne de sierpinski d'ordre 0.

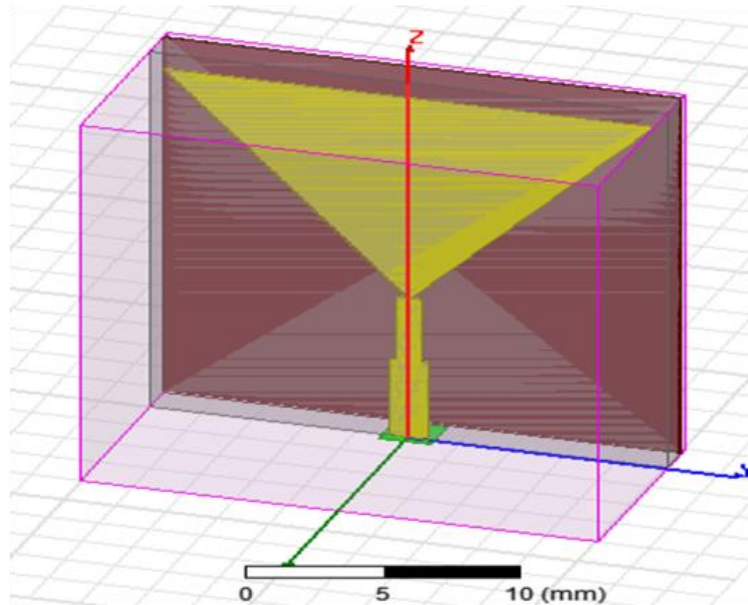


FIGURE 3.4 – Structure de l'antenne fractale d'ordre 0

La figure 3.5 montre le coefficient de réflexion s_{11} pour la fractal de sierpinski d'ordre 0. D'après ce résultat obtenu on peut dire que cette structure est bien adaptée à la fréquence de $7.8199GHz$.

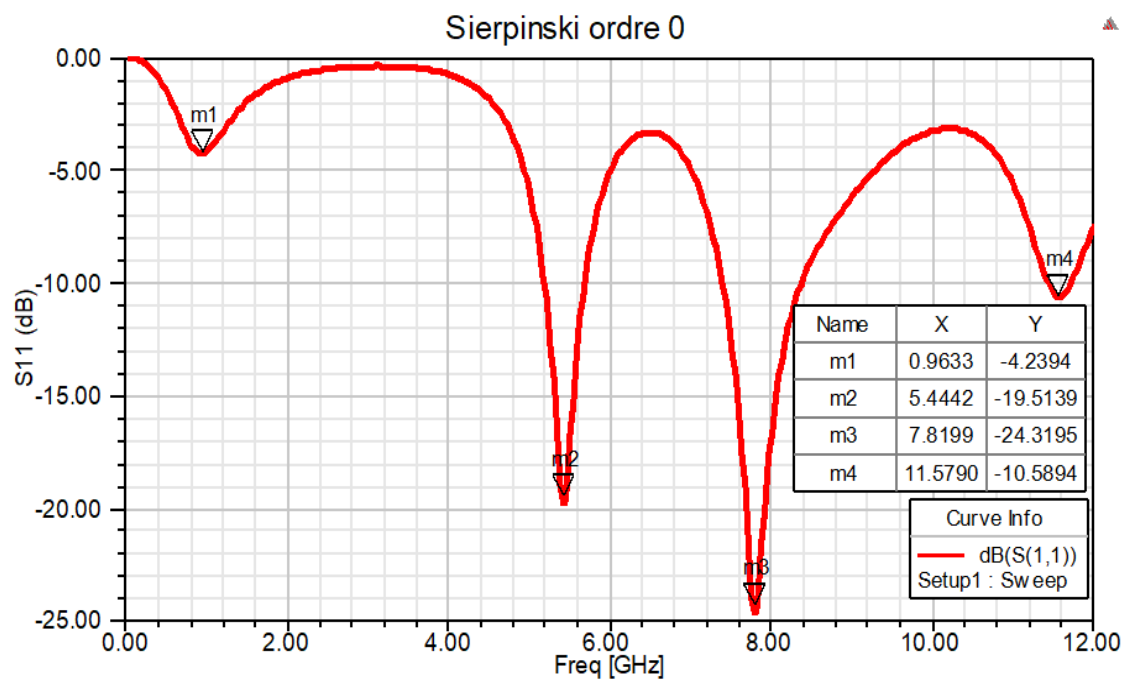


FIGURE 3.5 – Coefficient de réflexion S_{11} de l'antenne fractale d'ordre 0

Le diagramme de rayonnement d'une cette antenne, (fractale de sierpinski d'ordre 0), est illustré dans la figure 3.6.

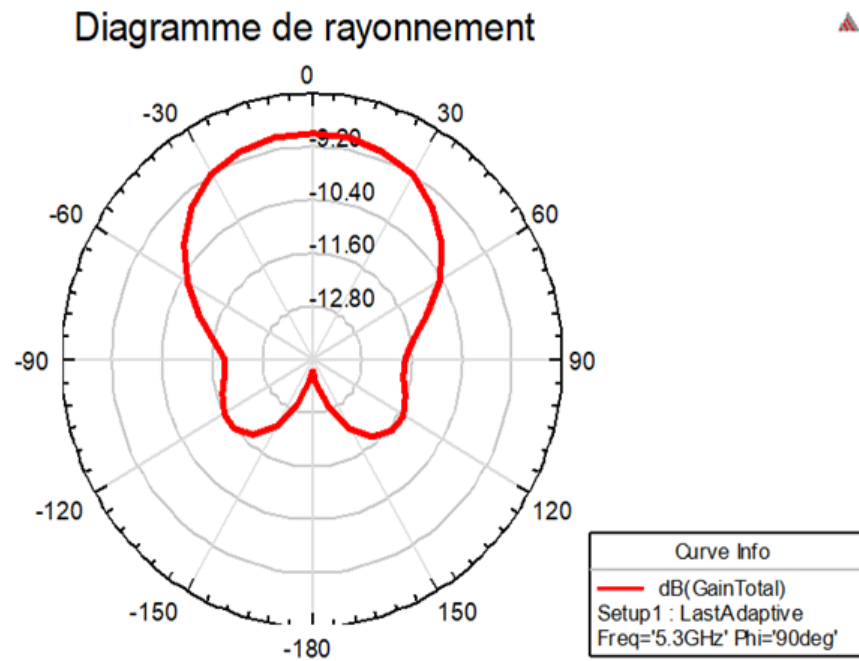


FIGURE 3.6 – Diagramme de rayonnement d'une antenne d'ordre 0

b Fractale de Sierpinski d'ordre 1

Dans cette partie nous allons étudier les caractéristiques d'une antenne de sierpinski d'ordre 1. La structure de cette antenne est donnée dans la figure 3.7.

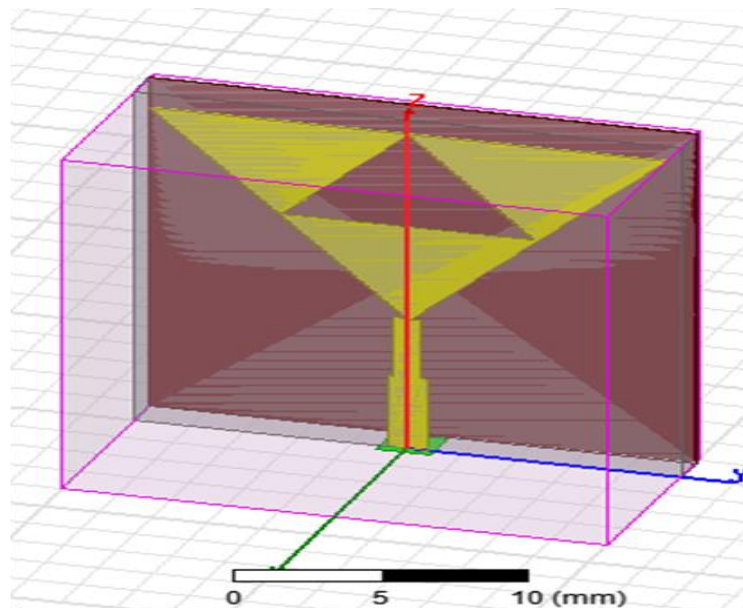


FIGURE 3.7 – Structure de l'antenne fractale d'ordre 1

La figure 3.8 illustre le coefficient de réflexion s_{11} pour cette antenne. Ce coefficient montre que la structure proposée est bien adaptée à la fréquence de $4.7279GHz$ et on remarque que les fréquences ont changés par rapport à l'antenne fractale d'ordre 0.

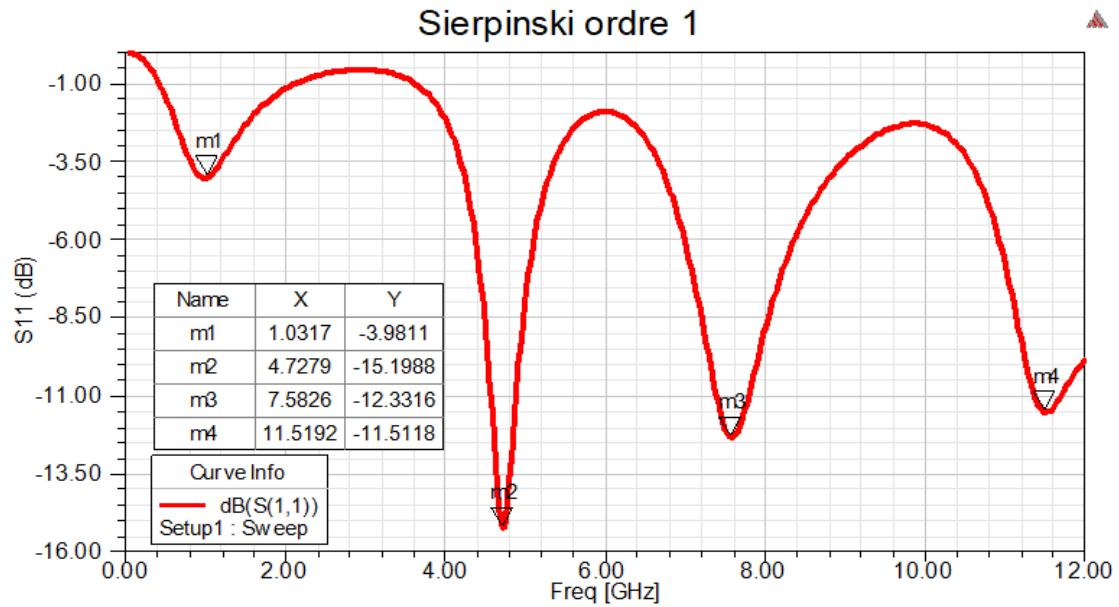


FIGURE 3.8 – Coefficient de réflexion S11 de l'antenne fractale d'ordre 1

La figure 3.9 montre le diagramme de rayonnement d'une antenne fractale de sierpinski d'ordre 1.

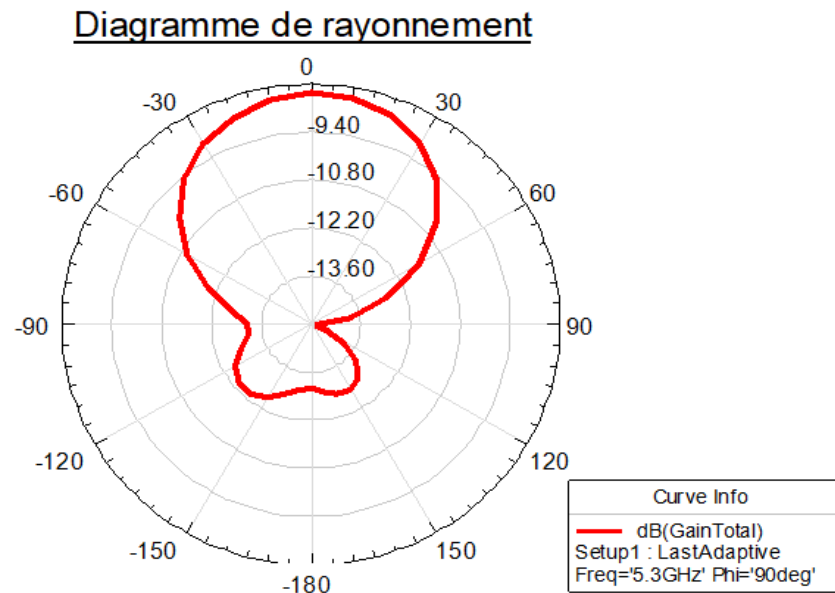


FIGURE 3.9 – Diagramme de rayonnement d'une antenne d'ordre 1

c Fractale de Sierpinski d'ordre 2

Nous avons aussi, simulé une fractale de sierpinski d'ordre 2 pour étudier ses caractéristiques principales à savoir : le coefficient de reflexion et le diagramme de rayonnement. La structure de cette antenne est donnée dans la figure 3.10.

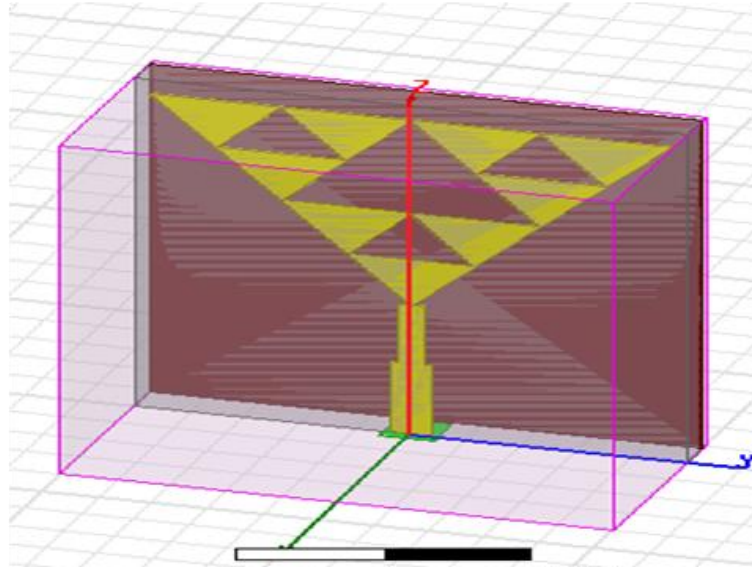


FIGURE 3.10 – Structure de l'antenne fractale d'ordre 1

Le coefficient de réflexion s_{11} de la fractale de sierpinski d'ordre 2 est illustré dans la figure 3.11. D'après le résultat obtenu on peut dire que cette antenne est bien adaptée à la fréquence de $4.7279GHz$ et on remarque que les fréquences ont changés par rapport à l'antenne fractale d'ordre 1 et d'ordre 0.

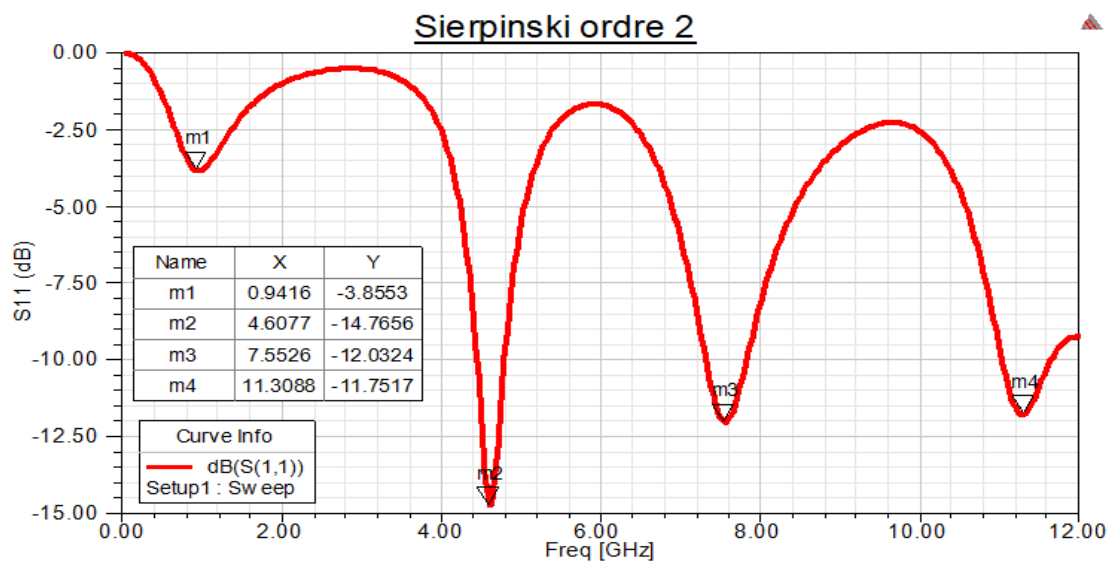


FIGURE 3.11 – Coefficient de réflexion S11 de l'antenne fractale d'ordre 2

Le diagramme de rayonnement de cette antenne est donné par la figure 3.12.

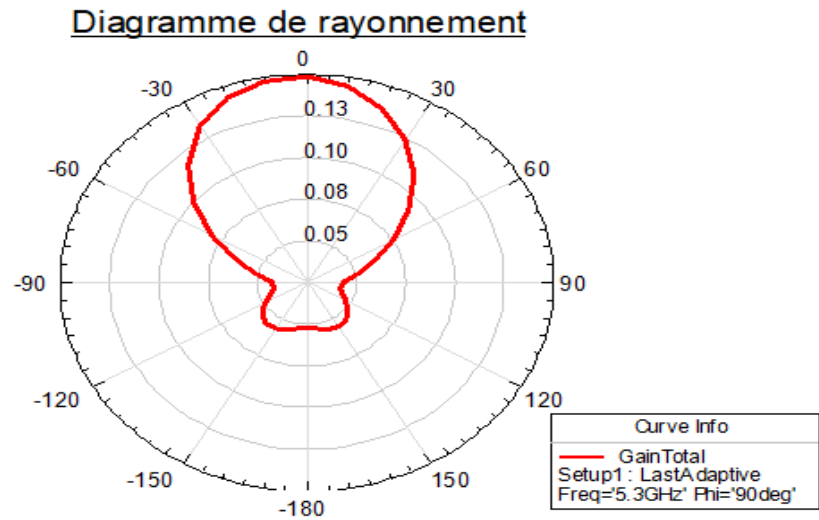


FIGURE 3.12 – Diagramme de rayonnement d’une antenne d’ordre 2

3.5.2 Fractale de Sierpinski reconfigurable

Pour la conception d’une antenne fractale reconfigurable, nous avons modifié la fractale de sierpinski en ajoutant des diodes PIN à l’intérieur de la structure. Deux structures ont été proposées et testées.

a Fractale de Sierpinski 1^{re} structure

La figure 3.13 montre la première structure de l’antenne de sierpinski reconfigurable.

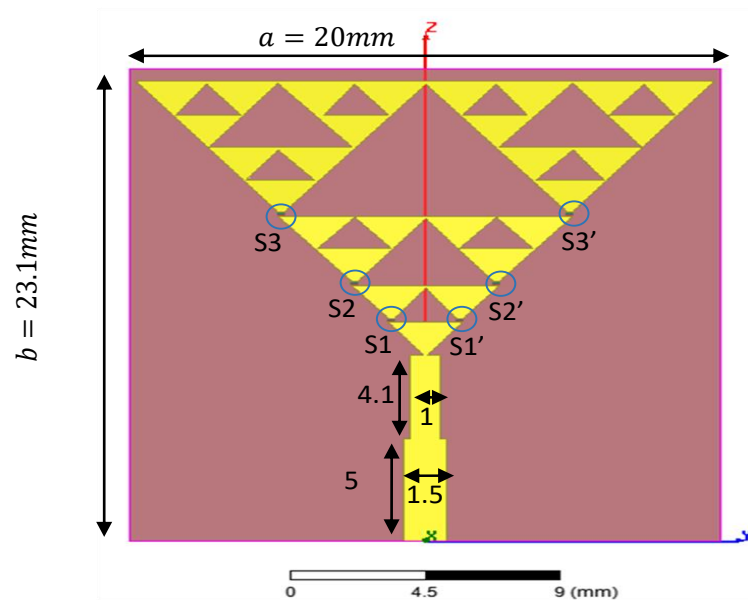


FIGURE 3.13 – emplacement des diodes PIN sur l’antenne fractale

La diode PIN a deux états **ON** et **OFF** . Donc la simulation va prendre les différentes combinaisons possibles selon le tableau 3.2 suivant :

Configurations	États des diodes		
	S_1	S_2	S_3
S_1C_1	ON	ON	ON
S_1C_2	ON	ON	OFF
S_1C_3	ON	OFF	OFF
S_1C_4	OFF	OFF	OFF

TABLE 3.2 – Différents configurations de la 1^{ère} structure

L'abréviation S_1C_1 signifie que l'antenne est de la 1^{ère} et la 1^{ère} Configuration. Ces différentes configurations sont analysées à l'aide du logiciel HFSS. Nous présentons ici les différents résultats obtenus.

Simulation de l'antenne S_1C_1

La Figure 3.14 montre le coefficient de réflexion de l'antenne S_1C_1 . D'après la simulation on voit que le coefficient de réflexion change par rapport à l'état principal :

(m1) => $S_{11} = -7.2759dB$ à une fréquence de $4.1269GHz$

(m2) => $S_{11} = -6.0916dB$ à une fréquence de $6.9516GHz$

(m3) => $S_{11} = -16.4822dB$ à une fréquence de $10.4374GHz$

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

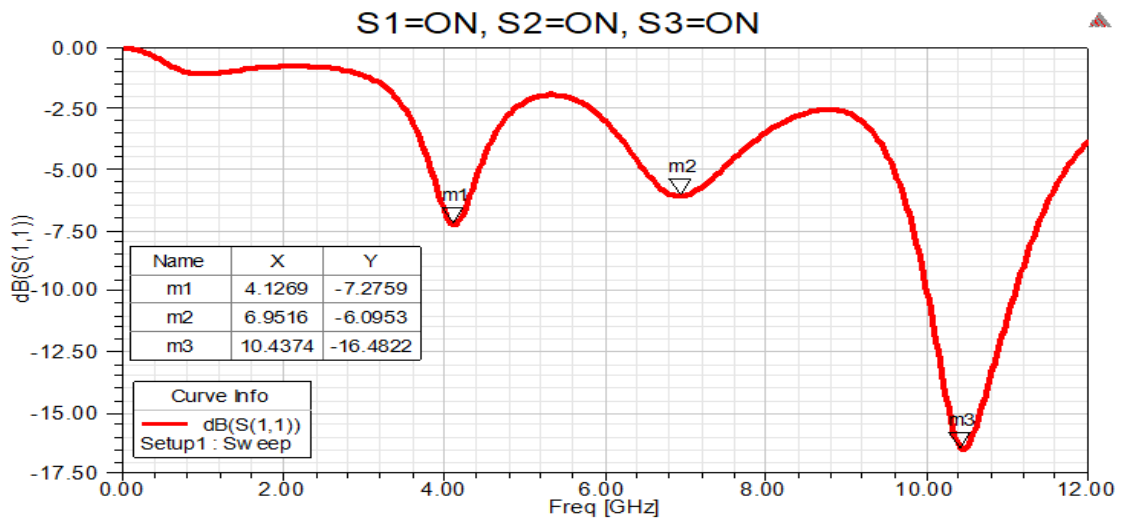


FIGURE 3.14 – Coefficient de réflexion de l'antenne S_1C_1

Diagramme de rayonnement de l'antenne S_1C_1 est donné dans la figure 3.15. 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 $f = 5.3GHz$

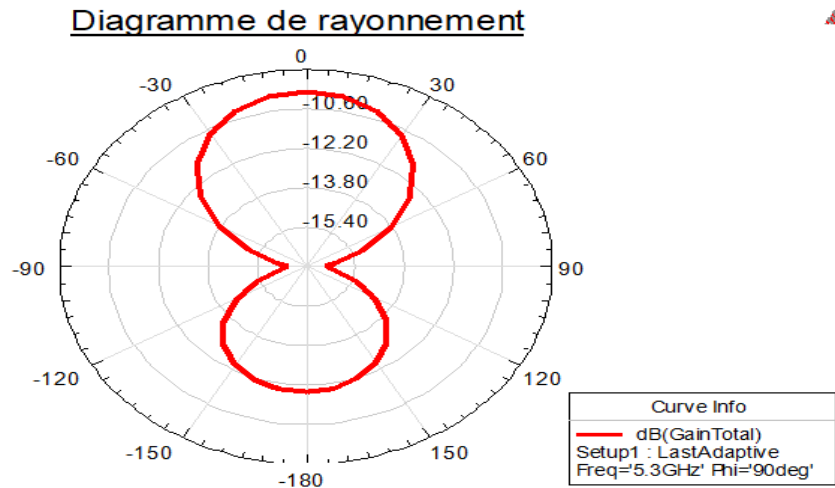


FIGURE 3.15 – Diagramme de rayonnement de l'antenne S_1C_1

Simulation de l'antenne S_1C_2

La Figure 3.16 montre le coefficient de réflexion de l'antenne S_1C_2 . D'après la simulation on voit que le coefficient de réflexion change par rapport à l'état principal :

(m1) $\Rightarrow S_{11} = -8.1913dB$ à une fréquence de $5.0885GHz$

(m2) $\Rightarrow S_{11} = -8.0558dB$ à une fréquence de $7.0718GHz$

(m3) $\Rightarrow S_{11} = -16.3045dB$ à une fréquence de $10.3472GHz$

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

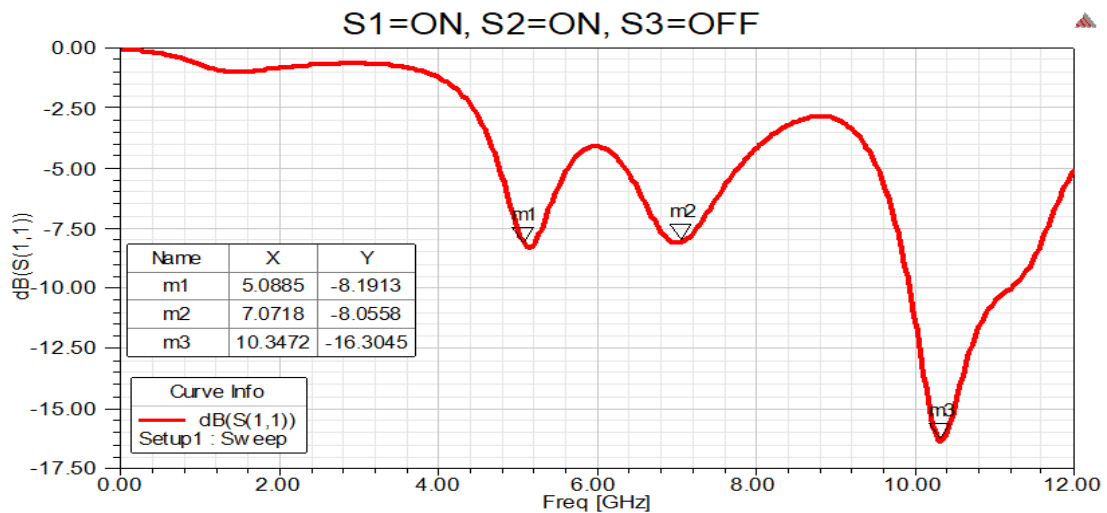


FIGURE 3.16 – Coefficient de réflexion de l'antenne S_1C_2

Le diagramme de rayonnement de l'antenne S_1C_2 est donné dans la figure 3.17.

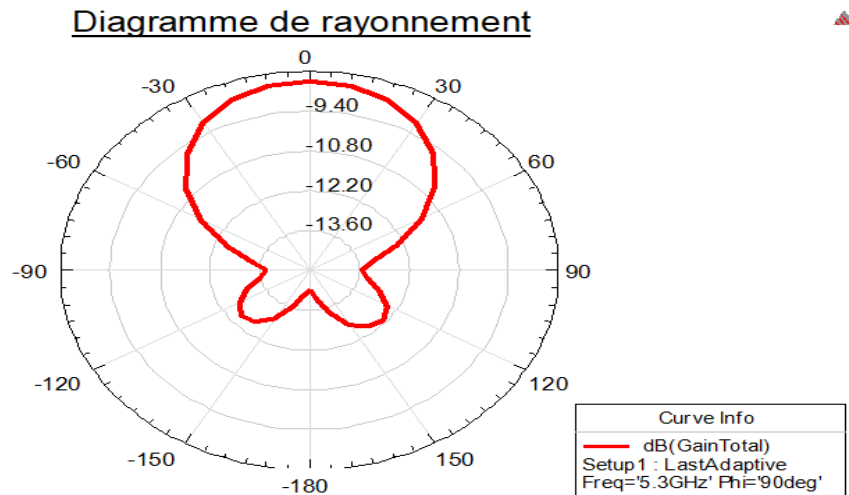


FIGURE 3.17 – Diagramme de rayonnement de l'antenne S_1C_2

Simulation de l'antenne S_1C_3

La figure 3.18 montre le coefficient de réflexion de l'antenne S_1C_3 . D'après la simulation on voit que le coefficient de réflexion change par rapport à l'état principal :

(m1) => $S_{11} = -20.0576dB$ à une fréquence de $5.3589GHz$

(m2) => $S_{11} = -22.2632dB$ à une fréquence de $10.7980GHz$

(m3) => $S_{11} = -29.3911dB$ à une fréquence de $11.5793GHz$

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

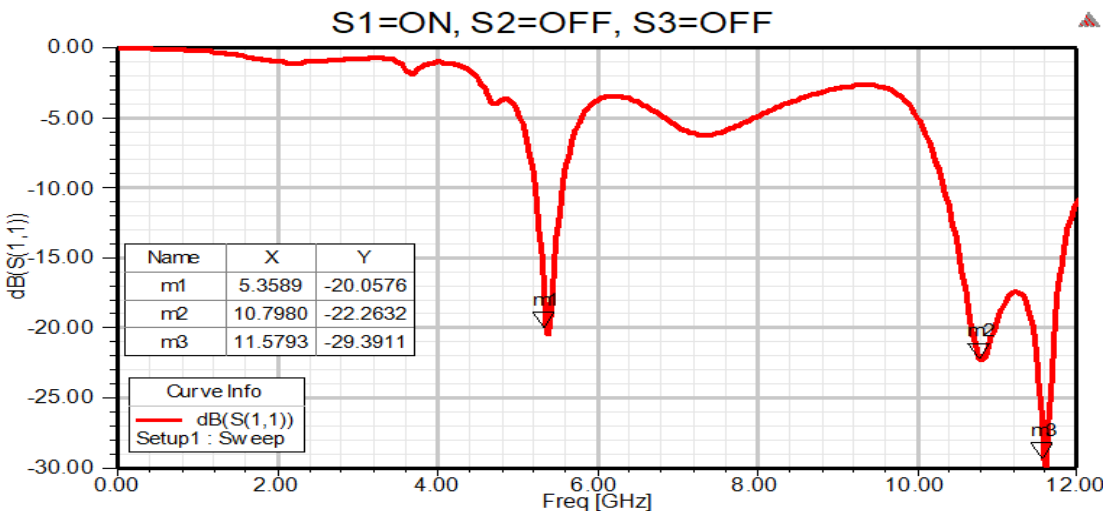


FIGURE 3.18 – Coefficient de réflexion de l'antenne S_1C_3

Le diagramme de rayonnement de l'antenne S_1C_3 est donné dans la figure 3.19.

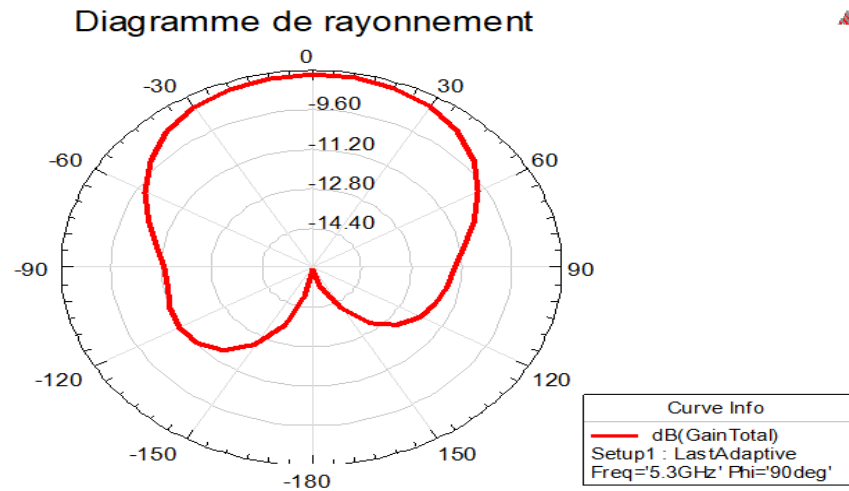


FIGURE 3.19 – Diagramme de rayonnement de l'antenne S_1C_3

Simulation de l'antenne S_1C_4

La Figure 3.20 montre le coefficient de réflexion de l'antenne S_1C_3 . D'après la simulation on voit que le coefficient de réflexion change par rapport à l'état principal :

(m1) $\Rightarrow S_{11} = -25.3130dB$ à une fréquence de $5.2988GHz$

(m2) $\Rightarrow S_{11} = -21.5032dB$ à une fréquence de $10.7078GHz$

(m3) $\Rightarrow S_{11} = -18.8567dB$ à une fréquence de $11.5192GHz$

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

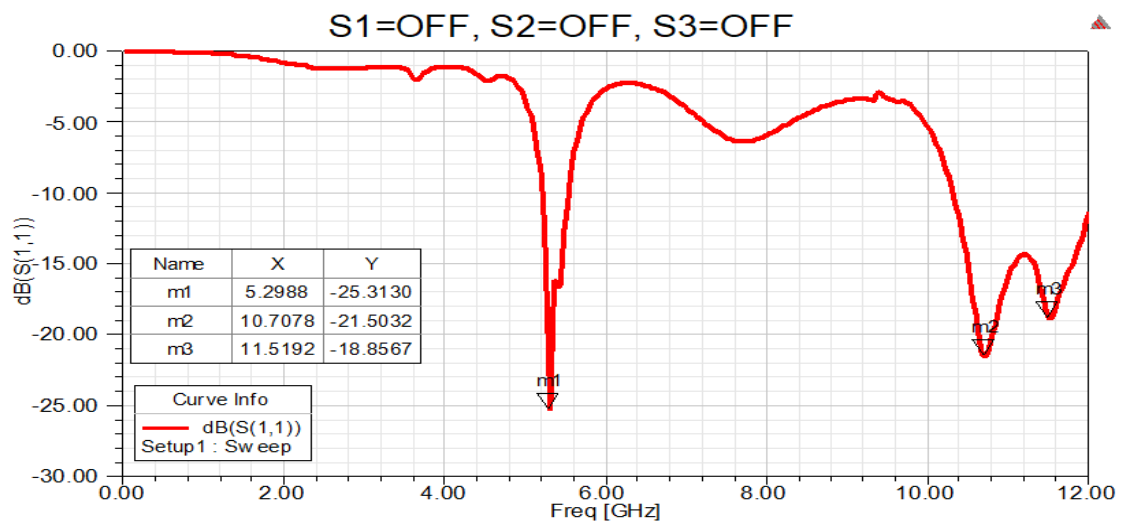


FIGURE 3.20 – Coefficient de réflexion de l'antenne S_1C_4

Le diagramme de rayonnement de l'antenne S_1C_4 est donné dans la figure 3.21.

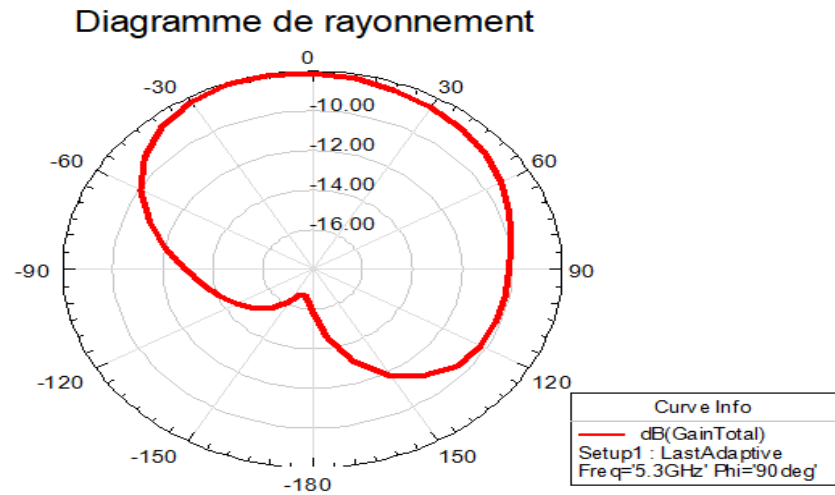


FIGURE 3.21 – Diagramme de rayonnement de l'antenne S_1C_4

Etude Comparative entre les configurations de la 1^{ère} structure

La figure 3.22 donne le coefficient de réflexion pour les différentes configurations de la 1^{ère} structure. D'après la comparaison des coefficients on montre la possibilité de reconfigurer l'antenne proposée en fréquence selon l'application visée. On remarque aussi que la meilleure adaptation des quatre configurations est donnée par l'antenne S_1C_3 avec une fréquence de $f = 11.5793GHz$.

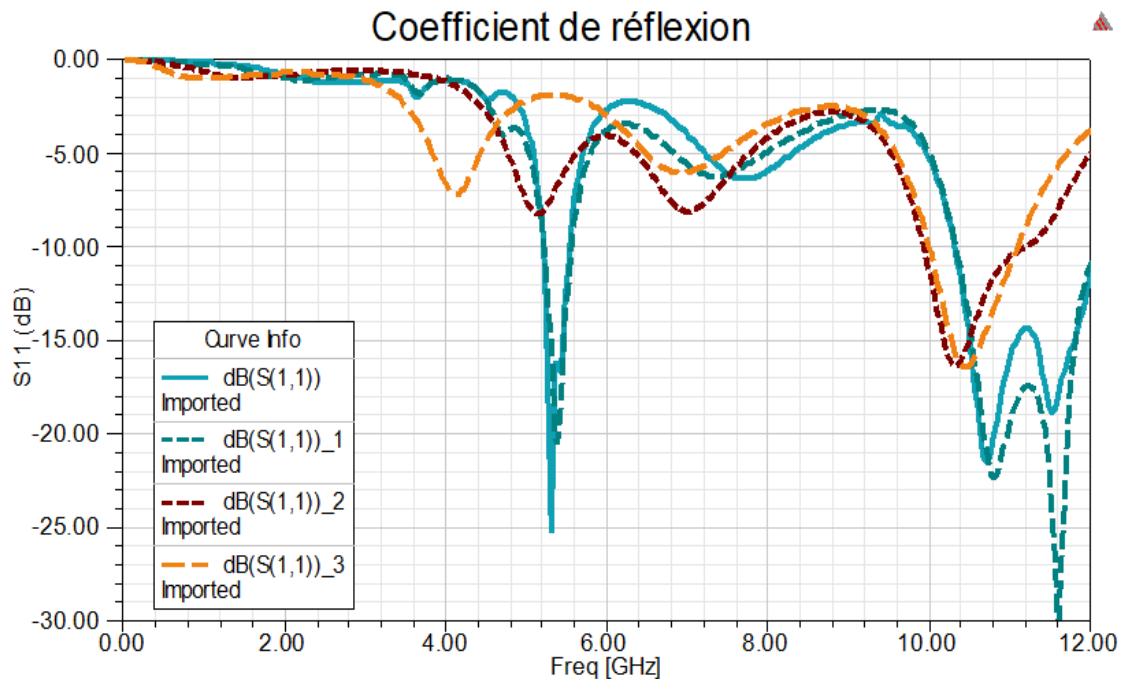


FIGURE 3.22 – Etude Comparative des quatre configurations de la 1^{ère} structure

b Fractale de Sierpinski 2^{ime} structure

La figure 3.23 montre la deuxième structure proposée de l'antenne de sierpinski reconfigurable.

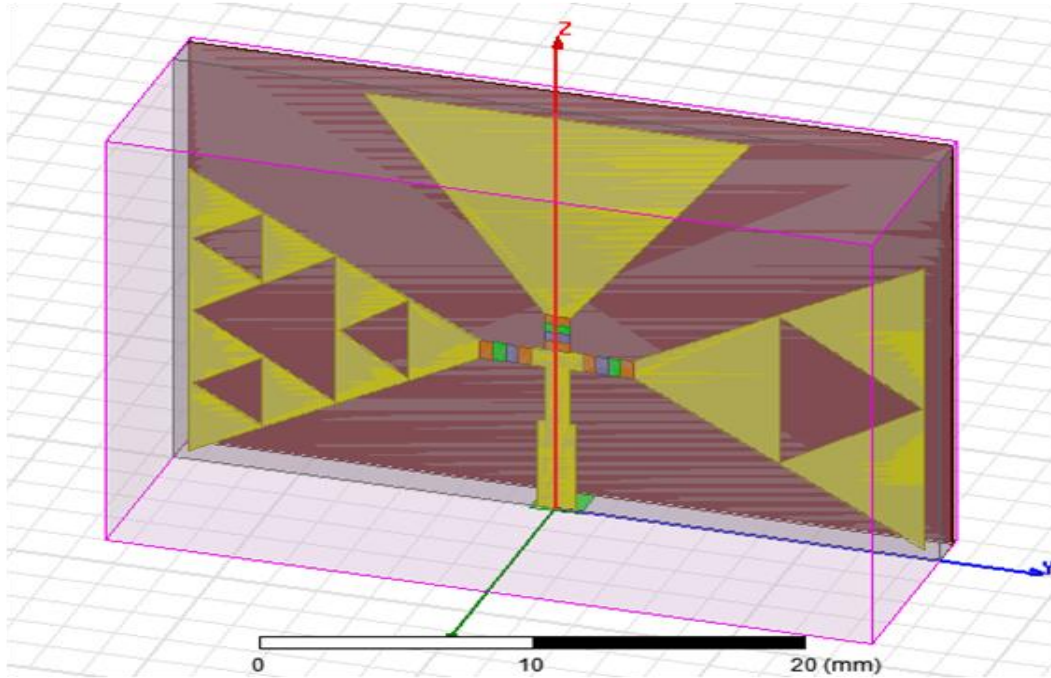


FIGURE 3.23 – Structure du deuxième antenne fractale

Les simulations vont prendre les différentes combinaisons possibles selon l'état de chaque diode (tableau 3.3).

Configurations	États des diodes		
	S_1	S_2	S_3
S_2C_1	ON	ON	ON
S_2C_2	ON	OFF	OFF
S_2C_3	OFF	ON	OFF
S_2C_4	OFF	OFF	ON
S_2C_5	ON	OFF	ON

TABLE 3.3 – Différents configurations de la 2^{ime} structure

Ces différentes configurations sont analysées à l'aide du logiciel HFSS. Nous présentons ici les différents résultats obtenus.

Simulation de l'antenne S_2C_1

La Figure 3.24 montre le coefficient de réflexion de l'antenne S_2C_1 . D'après la simulation on voit que le coefficient de réflexion change par rapport à l'état principal :

(m1) $\Rightarrow S_{11} = -26.9656dB$ à une fréquence de $4.9082GHz$

(m2) $\Rightarrow S_{11} = -24.2884dB$ à une fréquence de $11.0083GHz$

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

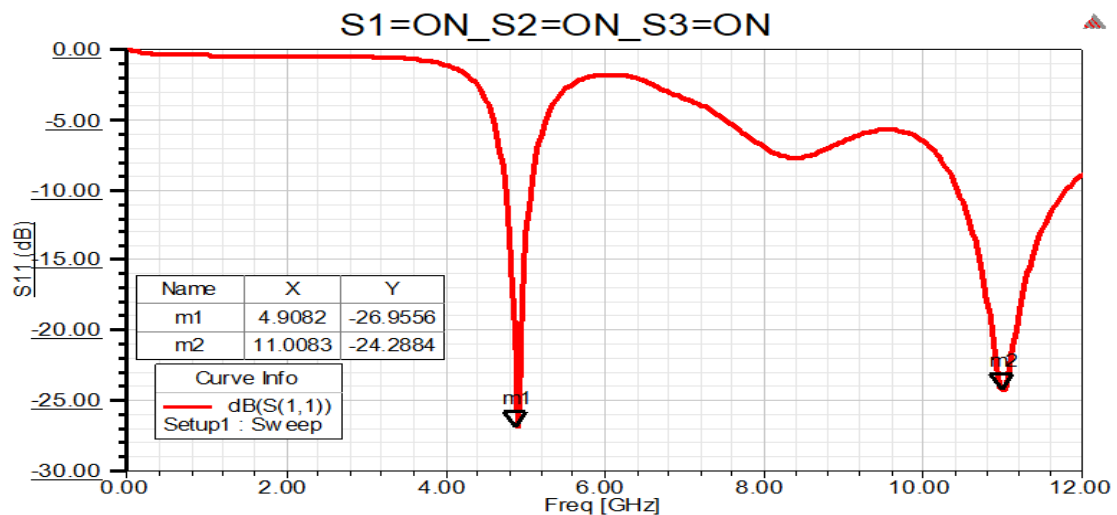


FIGURE 3.24 – Coefficient de réflexion de l'antenne S_2C_1

Le diagramme de rayonnement de l'antenne S_2C_1 est illustré dans la figure 3.25.

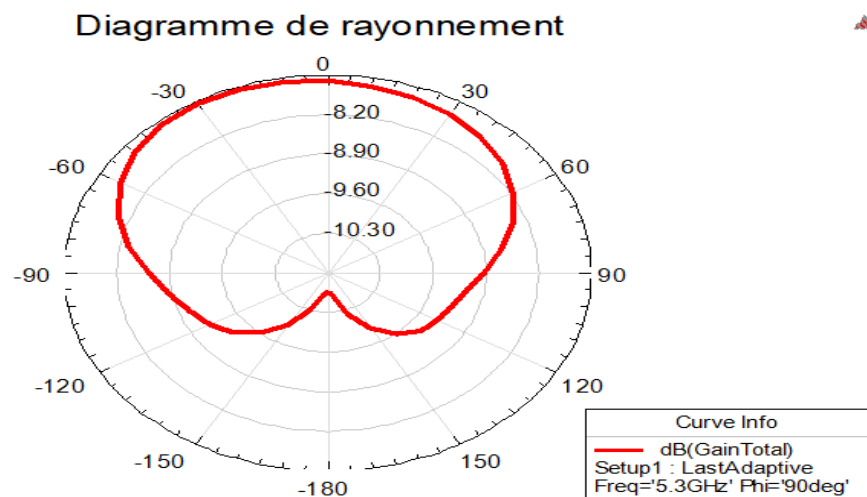


FIGURE 3.25 – Diagramme de rayonnement de l'antenne S_2C_1

Simulation de l'antenne S_2C_2

La figure 3.26 montre le coefficient de réflexion de l'antenne S_2C_2 . D'après la simulation on voit que le coefficient de réflexion change par rapport à l'état principal :

(m1) $\Rightarrow S_{11} = -6.2537dB$ à une fréquence de $2.5042GHz$

(m2) $\Rightarrow S_{11} = -14.5479dB$ à une fréquence de $4.9983GHz$

(m3) $\Rightarrow S_{11} = -23.5144dB$ à une fréquence de $10.9182GHz$

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

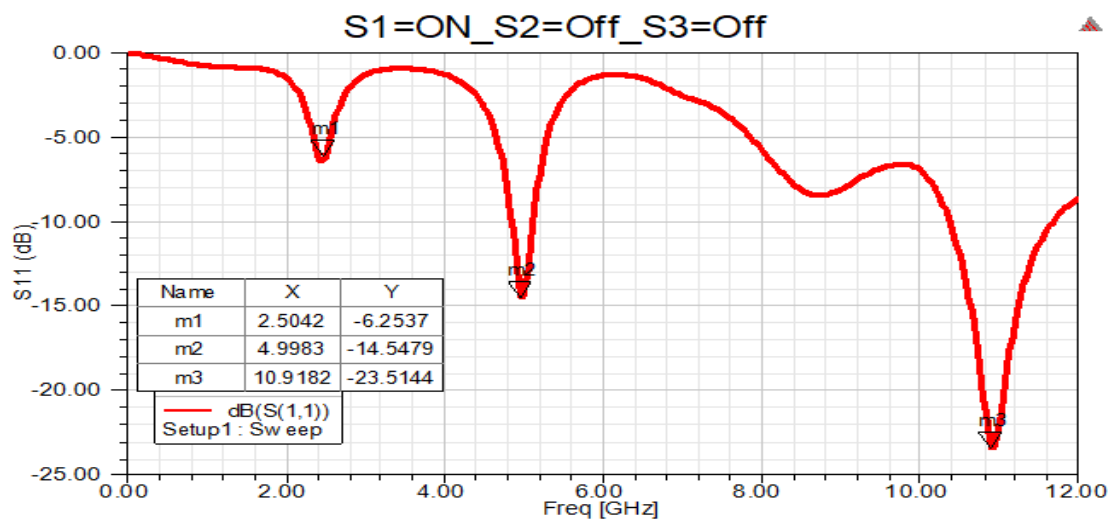


FIGURE 3.26 – Coefficient de réflexion de l'antenne S_2C_2

Le diagramme de rayonnement de l'antenne S_2C_2 est illustré dans la figure 3.27.

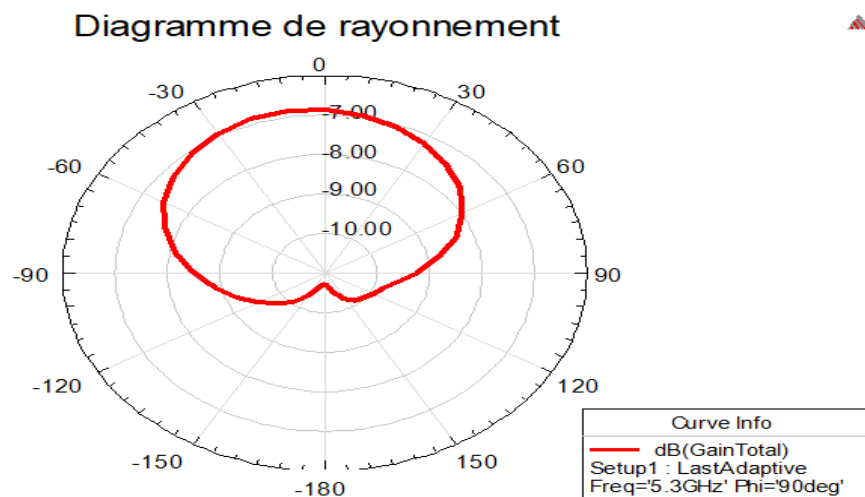


FIGURE 3.27 – Diagramme de rayonnement de l'antenne S_2C_2

Simulation de l'antenne S_2C_3

La figure 3.28 montre le coefficient de réflexion de l'antenne S_2C_3 . D'après la simulation on voit que le coefficient de réflexion change par rapport à l'état principal :

(m1) $\Rightarrow S_{11} = -6.0982dB$ à une fréquence de $2.7446GHz$

(m2) $\Rightarrow S_{11} = -22.8041dB$ à une fréquence de $4.8781GHz$

(m3) $\Rightarrow S_{11} = -21.6014dB$ à une fréquence de $10.9182GHz$

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

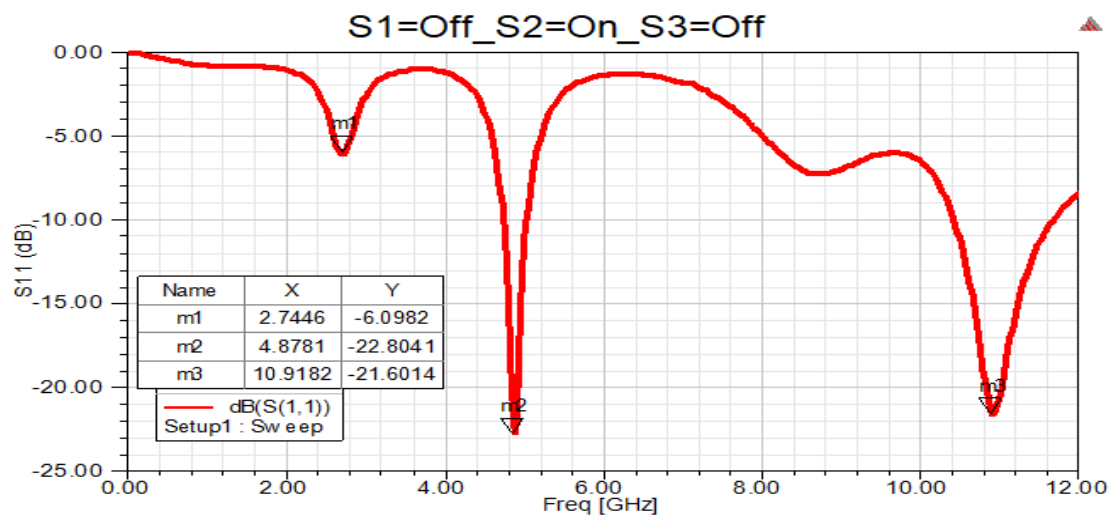


FIGURE 3.28 – Coefficient de réflexion de l'antenne S_2C_3

Le diagramme de rayonnement obtenu pour cette structure set illustré dans la figure 3.29

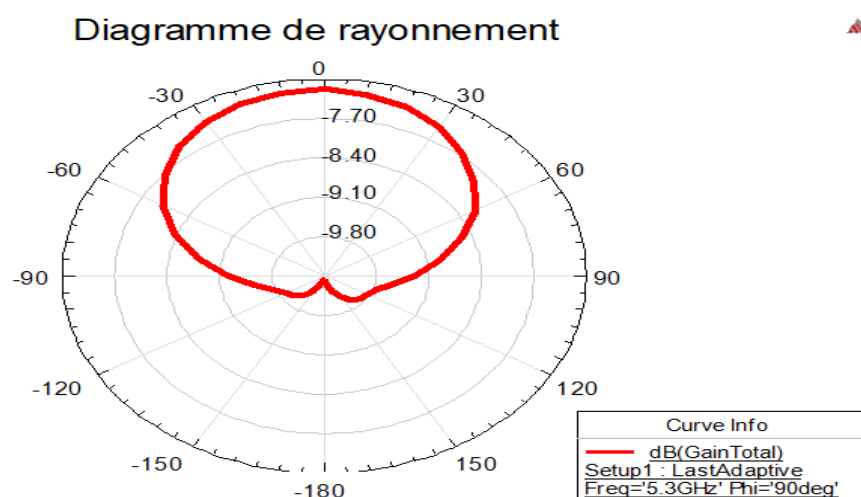


FIGURE 3.29 – Diagramme de rayonnement de l'antenne S_2C_3

Simulation de l'antenne S_2C_4

La figure 3.30 montre le coefficient de réflexion de l'antenne S_2C_4 . D'après la simulation on voit que le coefficient de réflexion change par rapport à l'état principal :

(m1) $\Rightarrow S_{11} = -6.7551dB$ à une fréquence de $2.5042GHz$

(m2) $\Rightarrow S_{11} = -25.8164dB$ à une fréquence de $5.0264GHz$

(m3) $\Rightarrow S_{11} = -21.3748dB$ à une fréquence de $10.9482GHz$

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

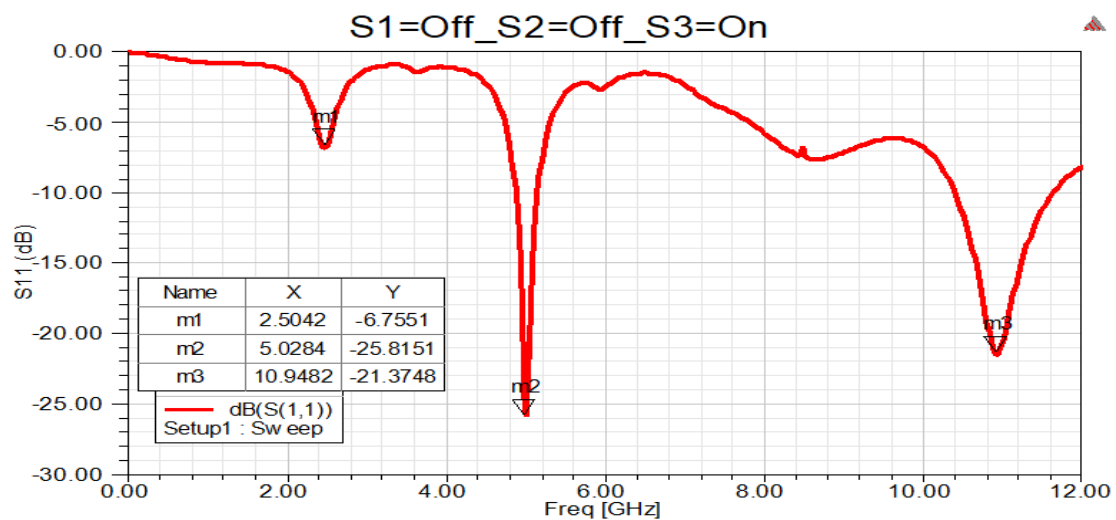


FIGURE 3.30 – Coefficient de réflexion de l'antenne S_2C_4

La figure 3.31 montre le diagramme de rayonnement de l'antenne S_2C_4 .

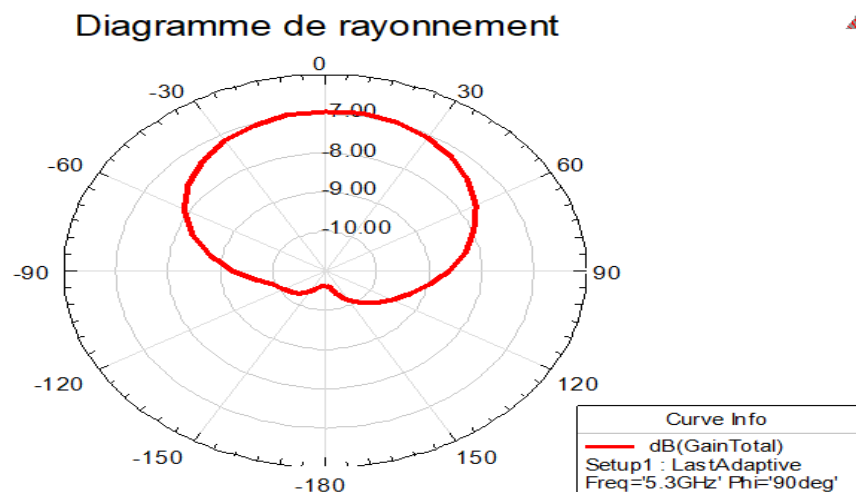


FIGURE 3.31 – Diagramme de rayonnement de l'antenne S_2C_4

Simulation de l'antenne S_2C_5

La figure 3.32 montre le coefficient de réflexion de l'antenne S_2C_5 . D'après la simulation on voit que le coefficient de réflexion change par rapport à l'état principal :

(m1) $\Rightarrow S_{11} = -27.2705dB$ à une fréquence de $3.2655GHz$

(m2) $\Rightarrow S_{11} = -23.0674dB$ à une fréquence de $5.0284GHz$

(m3) $\Rightarrow S_{11} = -23.2611dB$ à une fréquence de $10.9482GHz$

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

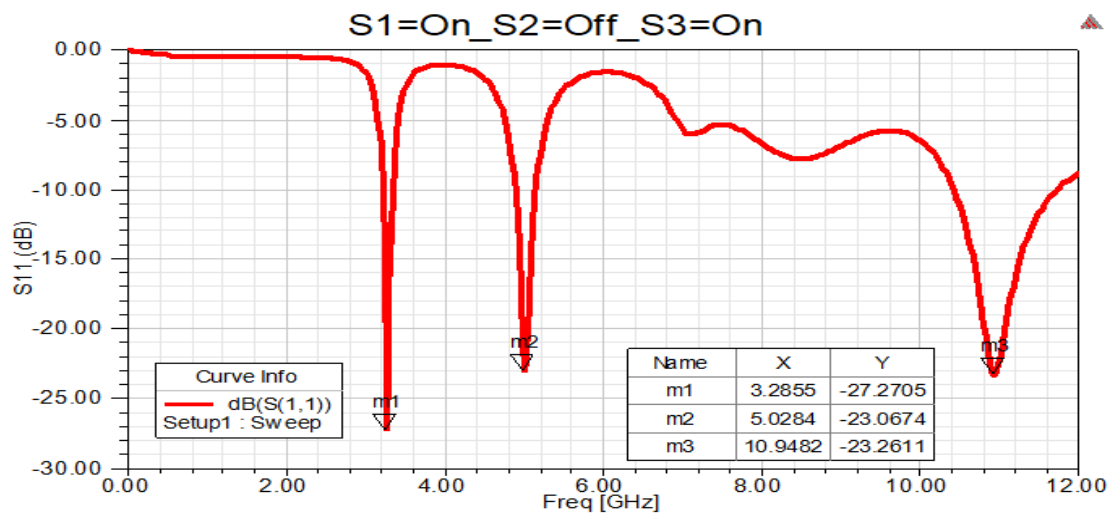


FIGURE 3.32 – Coefficient de réflexion de l'antenne S_2C_5

Le diagramme de rayonnement de cette configuration est illustré dans la figure 3.33.

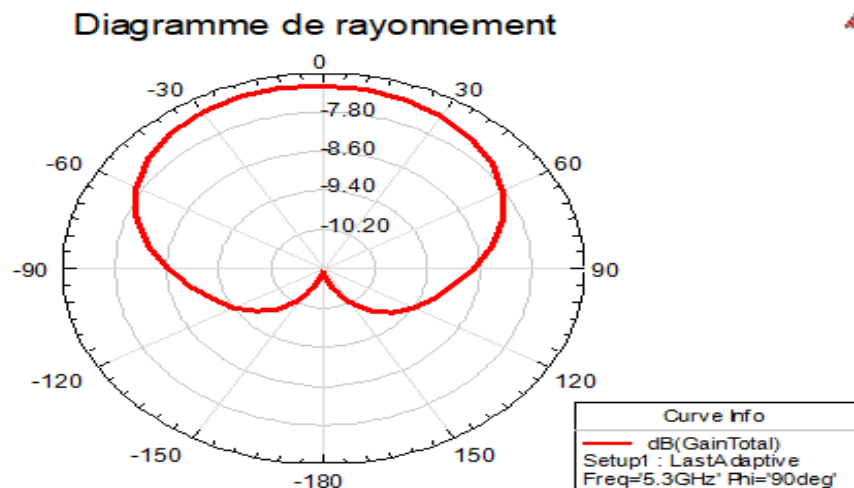


FIGURE 3.33 – Diagramme de rayonnement de l'antenne S_2C_5

Etude Comparative entre les configurations de la 2^{ème} structure

La figure 3.34 montre le coefficient de réflexion de l'antenne reconfigurable (deuxième structure) pour ses différentes configurations.

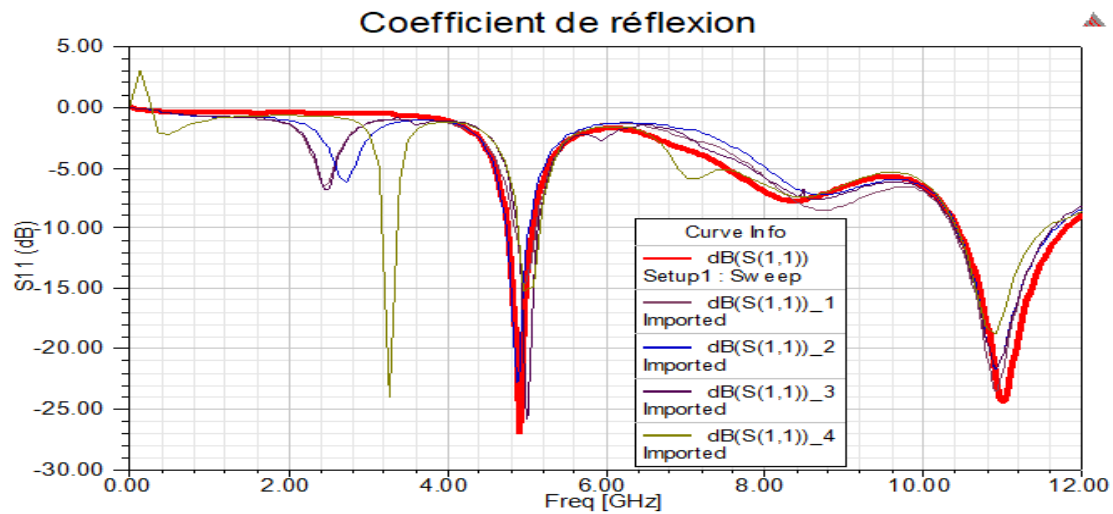


FIGURE 3.34 – Etude Comparative des quatre configurations de la 2^{ème} structure

D'après la comparaison des coefficients de réflexion on montre la possibilité de contrôler la fréquence suivant le besoin. En outre, on remarque que la meilleure adaptation est obtenue par une antenne S_2C_5 avec une fréquence de $f = 4.9082\text{GHz}$.

3.6 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 S_{11} , et le diagramme de rayonnement.

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 métamatériaux', Mémoire de Master, Telemcen, 2016.
- [2] Wikipédia
- [3] H. CHORFI, 'Conception d'un nouveau système d'antennes réseau conforme en onde millimétrique', Thèse de doctorat, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue.
- [4] S. Melihi, 'Antenne de Téléphonie mobile, caractérisation et optimisation', Mémoire de Master, Université ABDERRAHMANE MIRA-Bejaia ,master 2016.
- [5] S.Fersiti et F. MahiedineAntennes, 'Antennes à Plan de Masse Partielle de type Hilbert pour un fonctionnement Ultra Large Bande', Mémoire de Master, Université de Telemcen, 2017.
- [6] H. Ben IBRAHIM GAHA, 'Analyse et Conception des Antennes Fractales Applications aux Télécommunications Large Bande', Thèse de doctorat, 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', Mémoire de Master, Université Telemcen, 2011.
- [8] A. SOUIKEUR, 'Contribution à la modélisation des antennes multifonction à métamatériaux', Thèse de Magister, Université Ziane Achour de Djelfa 2014.
- [9] F. ADJILA. et N. MELATI, 'Etude et conception d'une antenne fractales reconfigurables en fréquence', Mémoire de Master, Université de Guelma, 2019.
- [10] N.BERROUA,et A. GHERIS,'Etude paramétrique et simulation de l'antenne patch sous CST', Mémoire de 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 de doctorat, l'École Doctorale EEATS, 2012.
- [12] Laurent Petit, 'Antennes reconfigurables à base de mems RF', Thèse de doctorat, 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 de doctorat, 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', Mémoire de master, Université Mohamed Boudiaf m'sila, 2018/2019.
- [17] F.ADJILA et N.MELATI, 'Etude et conception d'une antenne fractale reconfigurable en fréquence', Mémoire de 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.