



Université Ain Temouchent Belhadj Bouchaib

جامعة عين تمشنت بلهادج بوشايب

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Projet de Fin d'Etudes

LE DIPLOME DE MASTER

FILIERE : TELECOMMUNICATION
SPECIALITE : RESEAUX TELECOM

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
DEPARTEMENT GENIE ELECTRIQUE

Conception et simulation d'antenne imprimée a Formes fractales ultra large bande

Réalisé par :

BOUBEKEUR Safaa Firdaous

KHELIL Fatima Zahra

Soutenu le 02 /07/2023 devant le jury composé de :

Dr BENGHENIA HADJ ABDELKADER	MCB	UBBAT	Président
Dr YAGOUB REDA	MCB	UBBAT	Examineur
Mr AMEZIANE DJAMAL	MAA	UBBAT	Encadrant

Année Universitaire 2022-2023

Remerciement

En préambule à ce mémoire nous remercions **ALLAH** qui nous aidé et nous a donné la patience et le courage, la volonté pour accomplir ce mémoire.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et notre reconnaissance à notre encadrant, **AMEZIANE DJAMEL**, pour sa présence et ses précieux conseils.

Nos remerciements les plus vifs s'adressent aussi à tous les membres de jury d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer notre travail et l'enrichir par leurs propositions.

Nos remerciements les plus respectueux et notre profond respect s'adressent également à **BELABBES ABDELKADER** pour son aide et son soutien tout au long de ce travail..

Enfin, nous ne voudrions pas oublier de remercier tous ceux qui nous ont aidés De près ou de loin à faire ce travail.



Dédicace

Je dédie ce modeste travail

À mes **chers parents** et, qui m'ont toujours poussé et motivé dans mes études.

Ce projet fin d'étude représente donc l'aboutissement du soutien et des encouragements qu'ils m'ont prodigués tout au long de ma scolarité. Qu'ils en soient remerciés par cette trop modeste dédicace.

A mon frère **IBRAHIM** qui a partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail. Il m'a chaleureusement supporté et encouragé tout au long de mon parcours.

À mon binôme **ZAHIRA**, je suis reconnaissante d'être avec vous et de votre soutien.

A ma famille, mes proches et à ceux qui me donnent de l'amour et de la vivacité.

A tous mes amis qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.

A tous ceux que j'aime.

Safaa

Dédicace

A mon père :

Tu as été toujours à mes côtés pour me soutenir et m'encourager que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.

A mon amie dans la vie ma mère :

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes cotés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

A mes frères et mes sœurs :

ABED RAHIM, AYMEN, MAAMAR, RIDA, NABILA et AFAF « Source de joie et de bonheur »

Mes oncles et Mes tantes :

ABED ALLAH, MADANI, OMAR _ FATIHA et SOUAD « Source d'espoir et de motivation »

A Mes amies :

AMALE, SOUMIA, HABIB « qui m'avez toujours soutenu et encouragé durant ces années d'études ».

Et à ma chère amie avant d'être binôme SAFAA et sa famille.

A vous chers lecteurs

Que dieu vous donne de la santé, bonheur, courage et surtout réussite.

Fatima Zahra

Table Des Matières

INTRODCUTION GENERALE

CHAPITRE I: ETAT DE L'ART SUR LES ANTENNES

I.1 INTRODUCTION	3
I.2 GENERALITES SUR LES ANTENNES	3
I.2.1 DEFINITION	3
I.2.2 CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES.....	4
I.2.2.1 L'IMPEDANCE D'ENTREE	4
I.2.2.2 COEFFICIENT DE REFLEXION	5
I.2.2.3 RAPPORT D'ONDE STATIONNAIRE	5
I.2.2.4 RECIPROCITE	5
I.2.3 LES CARACTERISTIQUES DE RAYONNEMENT	5
I.2.3.1 DIAGRAMME DE RAYONNEMENT	5
I.2.3.2 LA DIRECTIVITE	7
I.2.3.3 LE GAIN.....	8
I.2.3.4 LES ANGLES D'OUVERTURES HORIZONTALES ET VERTICALES	9
I.2.3.5 LA POLARISATION	9
I.2.3.6 LA BANDE PASSANTE	10
I.3 LES DIFFERENTS TYPES D'ANTENNES.....	11
I.3.1 L'ANTENNES DIPOLAIRE	11
I.3.2 L'ANTENNE CORNET	11
I.3.3 L'ANTENNE A REFLECTEUR PARABOLIQUE	12
I.3.4 L'ANTENNES PLANAIRE	12
I.3.5 ANTENNES ACTIVE.....	13
I.4 LES ANTENENS MULTIBANDES	14
I.4.1 DEFINITION	14
I.4.2 LES DIFFERENTES TECHNIQUES MULTIBANDES	14
I.4.2.1 LA TECHNIQUE DE FENTE	14
I.4.2.2 L'UTILISATION DES COMPOSANTS ELECTRIQUES.....	14
I.4.2.3 LA TECHNIQUE FRACTALE	14
I.5 LA TECHNOLOGIE ULTRA LARGE BANDE (ULB)	14
I.5.1 DEFINITION	15

I.5.2 L'INTERET DE L'ULB	15
I.5.3 AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES SYSTEMES ULB	15
I.5.4 LES ANTENNES ULTRA LARGE BANDE	16
I.6 CONCLUSION.....	18
CHAPITRE II : LA THEORIE DES FRACTALES	
II.1 INTRODUCTION	20
II.2 LA GOMETRIE FRACTALE	20
II.2.1 DEFINITION	20
II.2.2 CARACTERISTIQUES	21
II.2.2.1 DIMENSION FRACTALE	21
II.2.2.2 L'AUTOSIMILARITE	23
II.2.2.3 LACUNARITE D'UN OBJET FRACTAL.....	24
II.2.3 LES FORMES FRACTALES.....	24
II.2.3.1 LES COURBES FRACTALES	24
II.2.3.1.1 LA COURBE DE KOCH	24
II.2.3.1.2 FRACTALE DE MINKOWSKI	25
II.2.3.1.3 LES FRACTALES DE HILBERT	26
II.2.3.1.4 L'ARBRE FRACTAL « TRI FRACTAL ».....	26
II.2.3.2 LES SURFACES FRACTALES.....	27
II.2.3.2.1 LE TRIANGLE DE SIERPINSKI « SIERPINSKY GASKET »	27
II.2.3.2.2 LE TAPIS DE SIERPINSKI « Sierpinsky Capet ».....	28
II.2.3.2.3 L'ETOILE DE KOCH	29
II.2.3.3 LES VOLUMES FRACTALS	29
II.2.3.3.1 LE TETRAEDRE DE SIERPINSKI	29
II.2.4 LES APPLICATIONS DE LA GEOMETRIE FRACTALE	30
II.3 LES ANTENNES FRACTALES	31
II.3.1 HISTORIQUE.....	31
II.3.2 DEFINITION	31
II.3.3 PROPRIETES DES STRUCTURES FRACTALES	32
II.3.4 AVANTAGES ET INCONVENIENTS.....	32
II.4 DIFFRENTS TYPES D'ANTENNES FRACTALES	32
II.4.1 L'ANTENNE DE KOCH	32
II.4.2 L'ANTENNE FRACTALE DE SIERPINSKI	33
II.4.3 L'ANTENNE D'HIBERT	34
II.4.4 L'ANTENNE DE L'ARBRE FRACTAL	35

II.5 CONCLUSION	35
CHAPITRE III :_Description De Logiciel HFSS	
III.1 INTRODUCTION	37
III.2 DEFINITION	37
III.3 DESCRIPTION GENERALE DES OUTILS HFSS	37
III.3.1 FENETRE DE PROPRIETES	38
III.3.2 COMMANDE	39
III.3.3 GESTIONNAIRE DE PROJET ARBORESCENT (MANAGER DES PROJETS)	39
III.3.4 DRAW	40
III.3.6 VALIDAION	40
III.3.7 EXCITATIONS.....	40
III.3.8 VISUALISATION DES RESULTATS.....	41
III.3.9 CREATE MODAL SOLUTION DATA REPORT	42
III.3.10 DIAGRAMME DE RAYONNEMENT	42
III.5 CONCLUSION	44
CHAPITRE IV : Simulations et resultats	
IV.1 INTRODUCTION.....	46
IV.2 PROCEDURE DE CONCEPTION	46
IV.2.1 CHOIX DE L’OUTIL DE SIMULATION	46
IV.2.2 CHOIX DU SUBSTRAT DIELECTRIQUE.....	47
IV.2.3 CHOIX DE LA TECHNIQUE D’ALIMENTATION	47
IV.3 PRESENTTAION DE LA GEOMETRIE DE L’ANTENEN PROPOSEE.....	48
IV.4 SIMULTTAION ET RESULTATS	50
IV.4.1 STRUCTURE 1 (ITERATION 0).....	50
IV.4.2 ITETRATION 1	50
IV.4.3 ITERTAION 2	52
IV.5 CONCLUSION	57
CONCLUSION GENERALE.....	59
<u>Résumé</u>	<u>59</u>
Références et Bibliographie.....	Error! Bookmark not defined.

Listes des Figures

Figure I. 1: Antenne mode émetteur.....	4
Figure I. 2: Diagramme de rayonnement normalisé dans le plan H, en dB.....	6
Figure I. 3: Diagramme de rayonnement normalisé dans le plan E en coordonnées polaire, en fonction de U, en dB.....	7
Figure I. 4: Champ électromagnétique d'une onde plane polarisée rectilignement.....	9
Figure I. 5: polarisation du champ électromagnétique.....	10
Figure I. 6: Bande passante et coefficient de réflexion.....	10
Figure I. 7: Antenne dipolaire.....	11
Figure I. 8: Antenne cornet.....	11
Figure I. 9: Antenne à réflecteur parabolique.....	12
Figure I. 10: Structure d'une antenne imprimée.....	13
Figure I. 11: Antenne plaquée avec alimentation à couplage électromagnétique.....	13
Figure I. 12: Antennes log-périodique.....	16
Figure I. 13: Antenne log périodique.....	17
Figure I. 14: Antenne spirale logarithmique.....	17
Figure II. 1:Exemple de calcul de la dimension fractale [12].....	22
Figure II. 2: Autosimilarité d'une feuille de fougère [13].....	23
Figure II. 3: Courbe de Koch.....	25
Figure II. 4 : Génération de la fractale de Minkowski [15].....	26
Figure II. 5: 4 itérations d fractale de Hilbert.....	26
Figure II. 6: Arbre fractal [11].....	26
Figure II. 7 : Génération du triangle de Sierpinski par les deux approches [17]......	28
Figure II. 8 : Génération de la géométrie du tapis de Sierpinski [18].....	29
Figure II. 9: Etoile de Koch [19]......	29
Figure II. 10 : Tétraèdre de Sierpinski [15]......	29
Figure II. 11: Résumé sur l'histoire des fractales [12].....	30
Figure II. 12: L'itération 5 de l'antenne monopole de Koch.....	33
Figure II. 13: l'antenne monopole de sierpinski.....	33
Figure II. 14: S11 de la structure de l'antenne de sierpinski.....	34
Figure II. 15: a) monopole vertical, b) Hilbert 1, c) Hilbert 2, d) Hilbert 3, e) Hilbert 4, f) Hilbert 5.....	34
Figure II. 16: Exemple d'une antenne arbre fractal a l'itération 3.....	35
Figure III. 1: Page d'accueil du logiciel HFSS.....	38
Figure III. 2: Fenêtre des propriétés.....	38
Figure III. 3: Fenêtre des paramètres de projet.....	39
Figure III. 4: Fenêtre manager de projet.....	39
Figure III. 5: Validation du modèle.....	40
Figure III. 6: Types d'excitation.....	41
Figure III. 7: Modifier le balayage de projet.....	41
Figure III. 8: les paramètres S de l'antenne.....	42
Figure III. 9: Visualisation de diagramme de rayonnement.....	43
Figure III. 10: Le diagramme de rayonnement de l'antenne en $\Phi=0^\circ$ et $\Phi=90^\circ$	43

Figure IV. 1: Alimentation par guides d'ondes coplanaires	47
Figure IV. 2: Alimentation par ligne micro-ruban	48
Figure IV. 3: Les trois premières itérations de la géométrie fractale proposée	48
Figure IV. 4: Antenne de la forme initiale.....	50
Figure IV. 5: Insertion de cinq éléments fractals trapézoïdaux	51
Figure IV. 6: Antenne fractale large bande avec 7 fentes.....	52
Figure IV. 7: Diagramme de rayonnement à la fréquence 11,2 GHz.....	53
Figure IV. 8 : Antenne à l'itération 1 alimentée par ligne micro ruban	54
Par la suite, nous avons passé à l'itération 2 en utilisant l'alimentation par ligne micro ruban comme la montre la figure IV. 9	55
Figure IV. 9 : Structure de l'antenne a l'itération 2	55
Figure IV. 10: Diagramme de rayonnement a la fréquence $F=8.5\text{GHz}$	56

Liste du tableau

Tableau II. 1: Hauteur de chaque segment de l'arbre fractal pour les trois premières Itérations [16].	27
Tableau II. 2: Propriétés des structures fractales et leur conséquence.	32
<u>Tableau IV. 1: les paramètres de l'antenne proposée.</u>	<u>49</u>

Liste de l'abréviation

- ROS : Le Rapport d'Onde Stationnaire
- VSWR : Tension Rapport d'ondes stationnaires
- TM mn : Réseau de gestion des télécommunications
- GSM: Système mondial de communications mobiles
- DCS : Système cellulaire numérique
- ULB : Bande ultra large
- FFC : Commission fédérale des communications
- HFSS: Simulateur de structure à haute fréquence
- FEM : la méthode des éléments finis
- CPW : un guide d'ondes coplanaire
- CST: Technologie de simulation informatique
- ADS: Serveur d'applications et de données
- FEKO: Calculs de champs impliquant des corps de forme arbitraire
- MIMO: Entrées multiples Sorties multiples

INTRODUCTION GENERALE

INTRODCUTION GENERALE

Durant ces dernières années, beaucoup de recherches, étaient concentrés pour optimiser les performances radioélectriques de l'antenne, et l'adapter aux applications les plus récentes à savoir les communications cellulaires, communications spatiales, communications sans fil ou encore antennes pour automobiles, donc il est nécessaire de concevoir des antennes bien adaptées aux exigences de leurs applications, avec une large bande passante, un bon gain, une bonne pureté de polarisation.

La géométrie fractale représente l'une des techniques utilisées pour élargir la bande passante de l'antenne et aide à fabriquer des antennes à géométries fractales fonctionnant sur plusieurs fréquences de résonances et aussi sur une bande de fréquence ultra large grâce à la propriété d'autosimilarité qui spécifie ce genre d'antennes, en outre le concept fractal peut être utilisé à la miniaturisation de la taille de l'antenne en gardant les mêmes caractéristiques électromagnétiques.

Le travail effectué dans ce mémoire a pour objectif la conception des antennes imprimées à formes fractales ultra large bande, appliquées dans les différents standards de communications sans fil.

Pour remplir cette tâche, nous proposons en premier chapitre un état de l'art sur les antennes et leurs caractéristiques électriques et électromagnétiques. Par la suite on fait rappel sur la technologie ultra large bande ainsi qu'une bref description sur les antennes multi bandes

Dans le deuxième chapitre, une description générale sur la géométrie fractale sera donnée. Nous aborderons aussi des exemples d'applications des fractales a la conception des antennes.

Le troisième chapitre est consacré à la présentation du logiciel HFSS 3D où nous avons donné de façon générale le rôle de différentes fonctions de cet outil pour réaliser nos simulations.

Afin de mieux appréhender le comportement électrique des antennes fractales, nous effectuerons dans le quatrième chapitre une simulation numérique d'une structure de cette antenne à l'aide du logiciel HFSS.

Nous clôturons notre travail, par une conclusion générale et les perspectives futures à envisager dans le domaine de conception d'antennes à géométries fractales.

CHAPITRE I

ETAT DE L'ART SUR LES ANTENNES

I.1 INTRODUCTION

L'échange de l'information dans différents milieux naturels, est l'une des objectifs des systèmes de télécommunications, où la fonction de la transformation des signaux électriques en ondes électromagnétique rayonnées dans l'espace est réalisée par un dispositif, appelé **antenne**.

Il est nécessaire d'avoir une connaissance globale de fonctionnement de l'antenne lors du choix d'un dispositif rayonnant. La compréhension de ce fonctionnement aidera, à utiliser les antennes au mieux de ses performances.

Dans ce chapitre, nous présenterons une description globale sur les antennes, en particulier leurs caractéristiques électriques et électromagnétiques, ainsi que les différents types d'antenne et Nous terminerons par donner un aperçu sur les deux technologies multi bande et ultra large bande [1].

I.2 GENERALITES SUR LES ANTENNES

I.2.1 DEFINITION

L'antenne est un dispositif qui permet de recevoir et d'émettre les ondes radioélectriques. Elle transforme l'énergie guidée en énergie rayonnée et vice versa. Ce dispositif est en général réciproque. Lorsqu'il est utilisé pour transmettre l'énergie électromagnétique d'une source radioélectrique vers le milieu de propagation, on l'appelle antenne d'émission. Par contre, lorsqu'il est utilisé en sens inverse, on l'appelle antenne de réception [1]

Une antenne à le pouvoir d'émettre que ce soit dans toutes les directions (antenne omnidirectionnelle) ou dans une seule direction définie (antenne directionnelle) [1]

La première caractéristique de l'antenne est la qualité de son adaptation à la ligne de transmission qui les alimente, ou à laquelle elles transmettent le signal. Une antenne doit avoir une bonne adaptation à sa ligne de transmission, parce que cette adaptation est la condition pour que l'Energie passe bien de la ligne de transmission à l'antenne ou réciproquement, Une antenne peut également être vue comme un adaptateur d'impédance entre le milieu de propagation et le circuit électronique [2].

Par ailleurs, deux catégories de paramètres peuvent décrire les caractéristiques et les performances des antennes. La première, caractérise l'antenne comme un élément de circuit électrique (impédance d'entrée, coefficient de réflexion, rapport d'onde stationnaire et la bande d'utilisation), la deuxième s'intéresse à ses propriétés de rayonnement (le diagramme de rayonnement, la puissance rayonnée, la directivité, le gain et la polarisation).

I.2.2 CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES

I.2.2.1 L'IMPEDANCE D'ENTREE

Dans un système électronique, l'antenne se comporte comme un circuit résonant connectée aux autres éléments par une ligne de transmission. L'impédance d'entrée de l'antenne marque la charge présentée par cette antenne au circuit d'excitation. On exprime l'impédance d'entrée sous la forme [2] :

$$Z = R + jX \quad I.1$$

R : est la résistance d'entrée.

X : est la réactance liée à la puissance réactive stockée et concentrée au voisinage de l'antenne, en générale l'impédance d'entrée égale à 50 ou 75 Ohms.

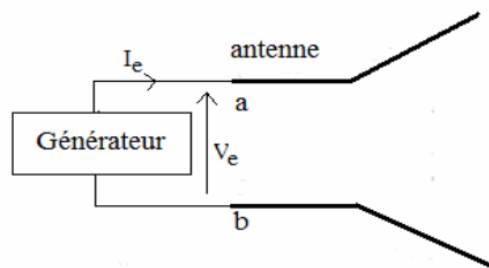


Figure I. 1: Antenne mode émetteur [2]

Généralement pour qu'une antenne ait un bon rendement, il est nécessaire que l'émetteur, la ligne de transmission, et l'antenne aient presque la même impédance [3].

L'impédance de l'antenne est influencée par les objets environnants, en particulier par des objets ou des plans métalliques proches ou par d'autres antennes.

I.2.2.2 COEFFICIENT DE REFLEXION

Le coefficient de réflexion est un paramètre qui permet de quantifier la quantité du signal réfléchi par rapport au signal incident. Lors de la transmission quand l'onde incidente change de milieu de propagation ou rencontre une nouvelle interface ; une partie de cette onde incidente est réfléchi et l'autre partie est transmise dans le nouveau milieu [4]

Le coefficient de réflexion Γ est défini comme le rapport entre l'impédance caractéristique et l'impédance d'entrée de l'antenne [5] :

$$|\Gamma| = \frac{Z_e - Z_c}{Z_e + Z_c} \quad \text{I.2}$$

Les pertes par réflexion (**S11**) exprimées en dB, sont données par :

$$S_{11} = -20 \log |\Gamma| \quad \text{I.3}$$

I.2.2.3 RAPPORT D'ONDE STATIONNAIRE

Le Rapport d'Onde Stationnaire ou ROS est le rapport des valeurs maximales et minimales de l'amplitude de l'onde stationnaire. En anglais, il est connu par le VSWR (Voltage Standing Wave Ratio), exprime la qualité d'adaptation de l'antenne et qui peut également s'exprimer à partir du coefficient de réflexion.

Le rapport d'onde stationnaire est donné par l'expression suivante [6] :

$$\mathbf{Ros} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|}$$

I.2.2.4 RECIPROCITE

Le théorème de réciprocité indique que les antennes adaptées à leur ligne de transmission ont des propriétés de rayonnement identiques à l'émission et à la réception. Or, les mesures de diagramme et de gain sont effectuées toujours à la réception ou toujours à l'émission quelle que soit le genre d'utilisation d'une antenne, suivant les appareils de mesure dont on dispose. L'adaptation est mesurée généralement par le taux d'onde stationnaire.

I.2.3 LES CARACTERISTIQUES DE RAYONNEMENT

I.2.3.1 DIAGRAMME DE RAYONNEMENT

La représentation graphique de la fonction caractéristique de l'antenne porte le nom de diagramme de rayonnement où La direction du maximum de rayonnement est appelée l'axe

de rayonnement de l'antenne.

Le diagramme de rayonnement caractérise la répartition dans l'espace de l'énergie rayonnée par une antenne.

Classiquement, on a pris l'habitude de représenter le diagramme de rayonnement dans deux plans perpendiculaires qui sont : le plan E et le plan H. Le plan E est défini comme le plan contenant l'axe de l'antenne et le champ électrique. Le plan H est défini comme le plan contenant l'axe de l'antenne et le champ magnétique [6].

Le diagramme de rayonnement normalisé dans le plan E en utilisant les coordonnées rectangulaire est donné sur la figure suivante.

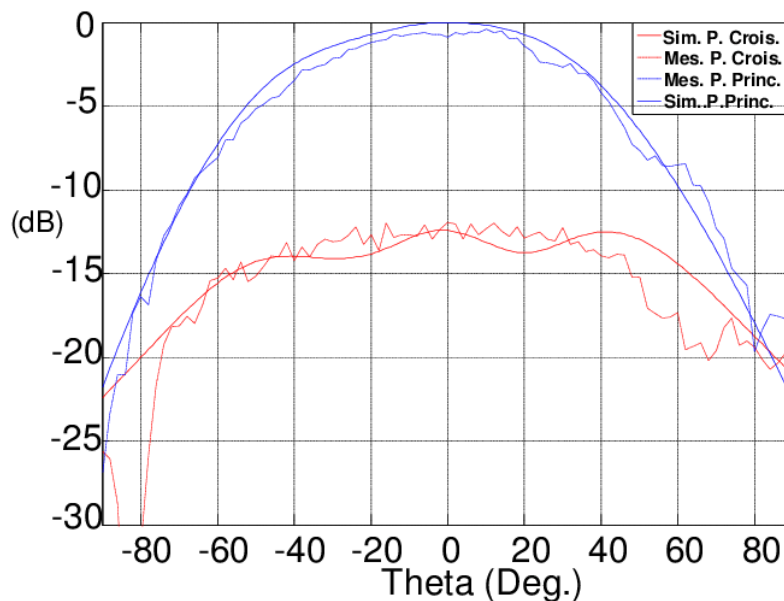


Figure I. 2: Diagramme de rayonnement normalisé dans le plan H, en dB [6]

La figure montre la représentation en coordonnées polaires d'un diagramme de rayonnement dans les plans E et H. La valeur du maximum est de 0 dB, obtenu dans la direction du maximum qui correspond à l'axe de l'antenne.

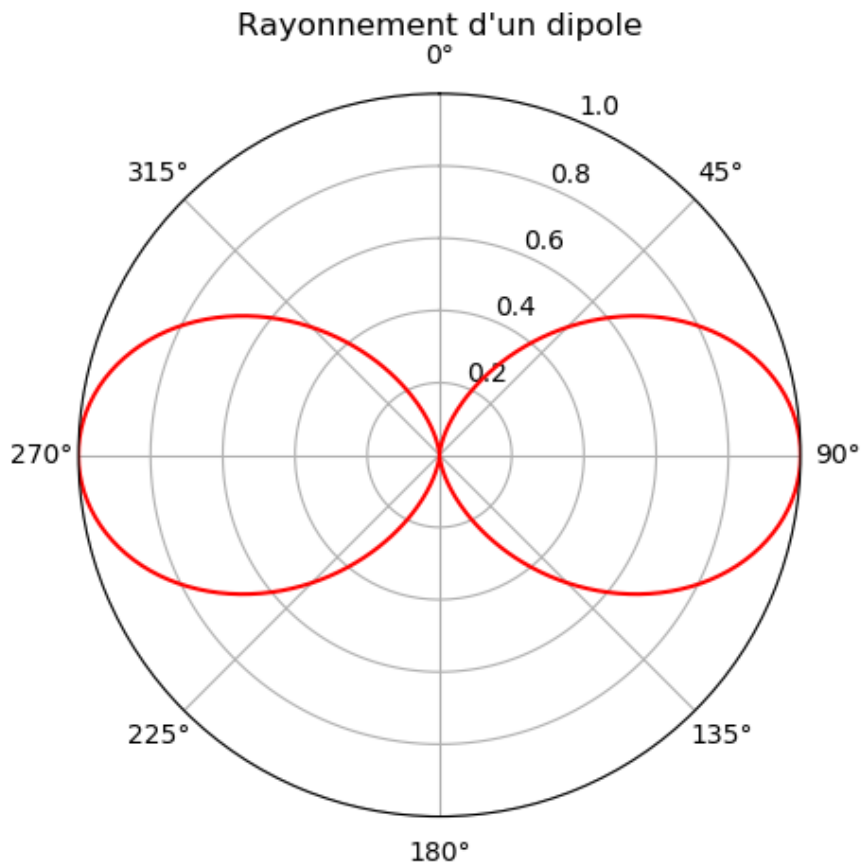


Figure I. 3: Diagramme de rayonnement normalisé dans le plan E en coordonnées polaire, en fonction de U, en dB [7]

Le lobe principal est défini entre les deux minima de chaque côté du maximum. Des maxima secondaires apparaissent de chaque côté. Ils constituent les lobes secondaires [7].

I.2.3.2 LA DIRECTIVITE

La directivité d'une antenne caractérise la manière dont cette antenne concentre son rayonnement dans certaines directions de l'espace. La directivité d'une antenne dans une direction $\Delta(\theta, \phi)$ est définie comme suit :

$$D(\theta, \phi) = \frac{U(\theta, \phi)}{U_{ISO}} \quad \text{I.5}$$

$U(\theta, \phi)$: Intensité de rayonnement de l'antenne considérée.

U_{ISO} : Intensité de rayonnement d'une antenne isotrope, elle est donnée par :

$$U_{ISO} = \frac{P_{ray}}{4\pi} \quad \text{I.6}$$

P_{ray} : Puissance rayonnée de l'antenne.

La directivité maximale que l'on appelle souvent et simplement directivité est donnée par :

$$D_0 = \text{MAX } D(\theta, \varphi) \quad \text{I.7}$$

La directivité, grandeur sans dimension, est généralement exprimée par sa valeur en décibels :

$$D(\theta, \varphi)|_{dB} = 10 \log_{10} D_0 \quad \text{I.8}$$

Une antenne isotrope rayonne uniformément la même densité de puissance quel que soit la direction.

I.2.3.3 LE GAIN

Le gain est une quantité descriptive de la performance d'une antenne. Le gain d'une antenne isotrope est pris comme une référence unité (0 dB).

Le gain dans une direction est défini par le rapport de la densité de puissance rayonnée dans une direction à la densité de puissance S_{ri} qui serait rayonnée par une antenne isotrope sans pertes, les deux antennes étant alimentées par la même puissance, La puissance en entrée est supposée la même pour tous les cas.

$$G(\theta, \varphi) = 4\pi \left(\frac{U(\theta, \varphi)}{\text{Source Isotropique Sans Perte}} \right) \quad \text{I.9}$$

La direction de maximum de rayonnement est souvent prise comme la direction pour déduire le gain de puissance. Si η est l'efficacité de rayonnement d'une antenne, on définit le gain par

$$D(\theta, \varphi) = \eta \cdot \theta(\theta, \varphi) \quad \text{I.10}$$

Le gain est proportionnel à la directivité. Il porte la même information sur les directions de rayonnement.

D'autres paramètres permettent de décrire les caractéristiques et les performances des antennes. Parmi ces éléments nous citons :

I.2.3.4 LES ANGLES D'OUVERTURES HORIZONTALES ET VERTICALES

L'angle d'ouverture horizontale caractérise la largeur du faisceau de l'antenne dans un plan horizontal. Il est défini comme l'angle entre les directions où le gain est 3 dB inférieur au gain maximal.

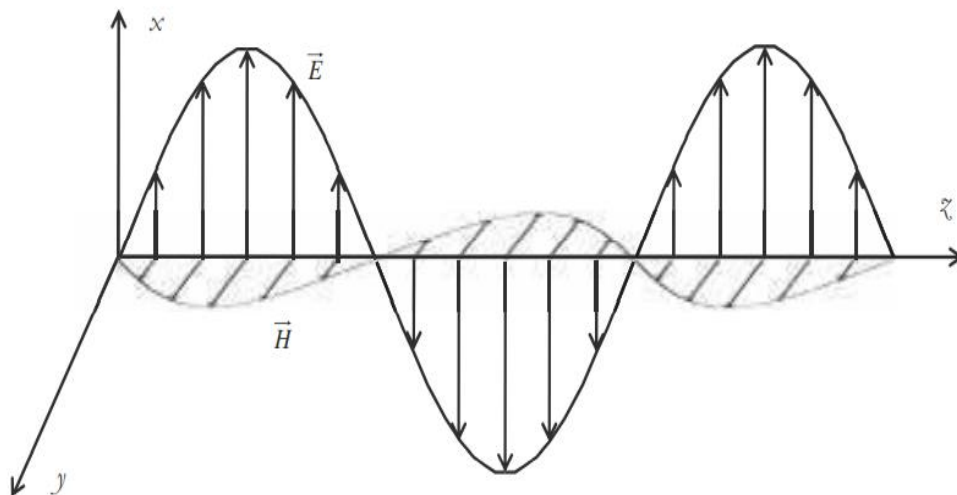
Alors que l'angle d'ouverture verticale caractérise la largeur du faisceau de l'antenne dans un plan vertical.

I.2.3.5 LA POLARISATION

La polarisation d'une onde est une donnée fondamentale pour l'étude des antennes, En effet, si la polarisation de l'antenne de réception n'est pas accordée sur la polarisation de l'antenne d'émission, la puissance reçue ne sera pas maximale

La polarisation du champ électromagnétique rayonné par une antenne est déterminée par la trajectoire décrite par le champ électrique.

Si E garde une direction constante dans le temps, on dit que l'on a une polarisation rectiligne. Si la direction varie avec le temps de telle sorte que si en un point donné on schématise les positions successives de E , l'extrémité du vecteur représentatif décrivant un cercle ou une ellipse, on dit alors que le champ rayonné est à polarisation circulaire ou elliptique [8].



.Figure I. 4: Champ électromagnétique d'une onde plane polarisée rectilignement [8]

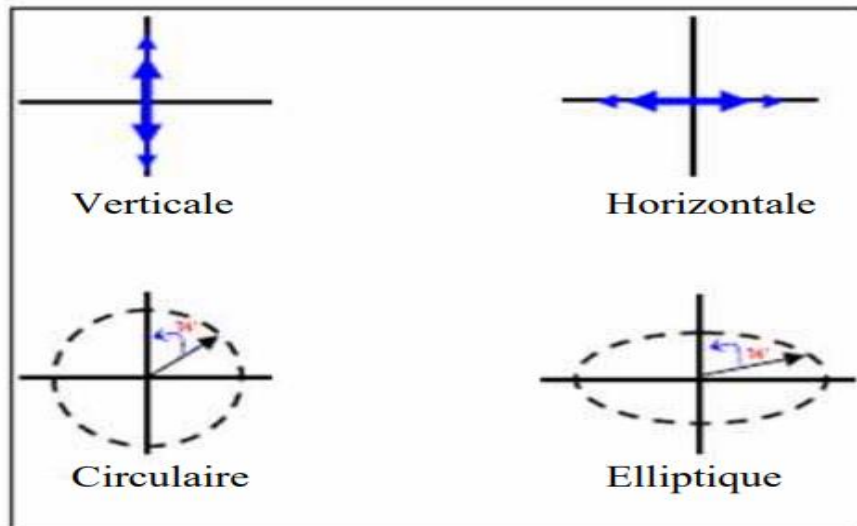


Figure I. 5: polarisation du champ électromagnétique [8]

I.2.3.6 LA BANDE PASSANTE

La bande passante, appelée aussi largeur de bande, d'une antenne définit le domaine de fréquences dans lequel le rayonnement de l'antenne présente les caractéristiques requises.

Généralement on définit la largeur de bande en pourcentage % comme suit :

$$B = 100 * \frac{F_s - F_i}{F_c} \% \quad \text{I.11}$$

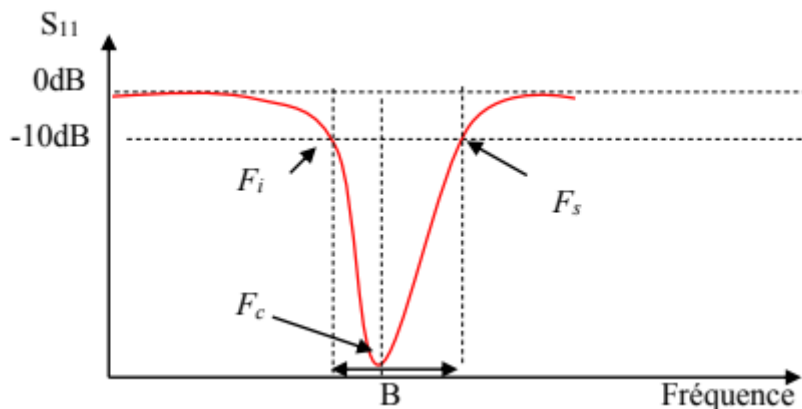


Figure I. 6: Bande passante et coefficient de réflexion [8]

Où f est la fréquence centrale d'utilisation pour laquelle l'antenne est conçue, F_i et F_s sont les fréquences limites supérieures et inférieures pour un certain niveau donné. Généralement la définition de ce niveau peut être limitée par le rapport d'onde stationnaire maximal admissible ($ROS = 2$).

I.3 LES DIFFERENTS TYPES D'ANTENNES

Afin de comprendre comment s'effectue la transformation entre la puissance guidée et la puissance rayonnée, nous allons présenter un certain nombre d'antennes. Elles sont classées ici selon un ordre qui suit approximativement leur chronologie d'apparition. Dans ce paragraphe nous présentons certaines antennes les plus utilisées et qui sont classées selon leurs géométries.

I.3.1 L'ANTENNES DIPOLAIRE

L'antenne dipolaire est constituée de deux fils alignés, très courts et reliés chacun à deux fils parallèles et très proches se compose d'une ligne bifilaire. En émission, cette ligne est reliée à un générateur alternatif, caractérisé par sa fréquence et son impédance interne. À la réception, la ligne bifilaire est branchée sur un récepteur.

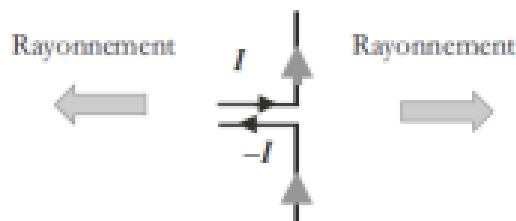


Figure I. 7: Antenne dipolaire [8]

I.3.2 L'ANTENNE CORNET

Un dispositif très utilisé pour la propagation d'ondes guidées est le guide d'onde rectangulaire. Sa qualité de transmission est excellente. Pour cette raison, Son utilisation est très répandue en hyperfréquences. Le transformateur de puissance électromagnétique guidée en puissance rayonnée est l'antenne cornet (figure 8).

Sa forme permet de passer graduellement des dimensions du guide d'onde à l'espace libre. L'onde est ainsi naturellement projetée dans l'espace libre. C'est le même principe que le cornet acoustique.

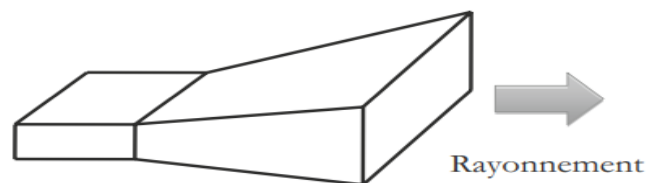


Figure I. 8: Antenne cornet

I.3.3 L'ANTENNE A REFLECTEUR PARABOLIQUE

L'antenne à réflecteur est constituée de la source d'émission associée à une partie métallique réfléchissante, souvent de forme parabolique (figure 1.9).

La source, placée au foyer de la parabole envoie l'onde vers le réflecteur parabolique. Selon la propriété bien connue de la parabole, tous les rayons sont réfléchis parallèlement

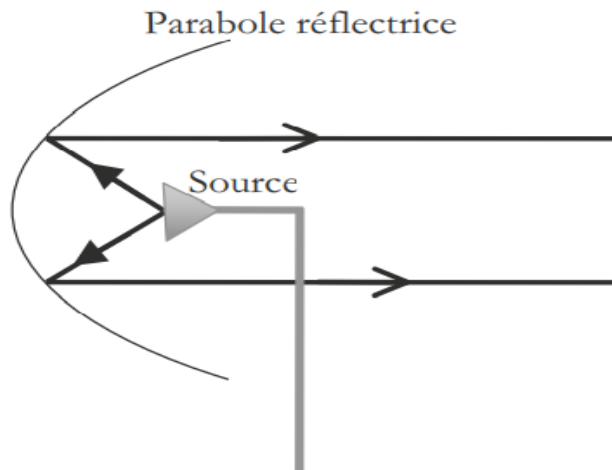


Figure I. 9: Antenne à réflecteur parabolique [8].

Ce type d'antenne est utilisé pour viser dans une direction très précise, puisque tous les rayons passant par le foyer sortent parallèles.

Ces antennes permettent de recevoir un signal d'un satellite, placé à très grande distance. Les antennes de ce type sont très répandues pour la réception de la télévision. Leur orientation est choisie de façon à viser un satellite particulier.

I.3.4 L'ANTENNES PLANAIRES

L'antenne plaquée, appelée aussi antenne patch est un type récent d'antenne dont le développement et l'utilisation sont de plus en plus fréquents.

Dans sa configuration géométrique usuelle, une antenne imprimée est constituée d'une plaque métallique de forme quelconque, appelée élément rayonnant, située sur la face supérieure d'un substrat diélectrique. On considère en général le conducteur comme étant parfait et d'épaisseur négligeable. La face inférieure de la lame diélectrique est métallisée et constitue le plan de masse (voir figure I.10)

Les dimensions typiques d'une antenne patch sont sa longueur L , sa largeur W et son épaisseur h . D'un point de vue pratique, cette dernière est habituellement fine et bien inférieure à la longueur d'onde de travail ($h < 0,05\lambda_0$, λ_0 représentant la longueur d'onde

dans le vide

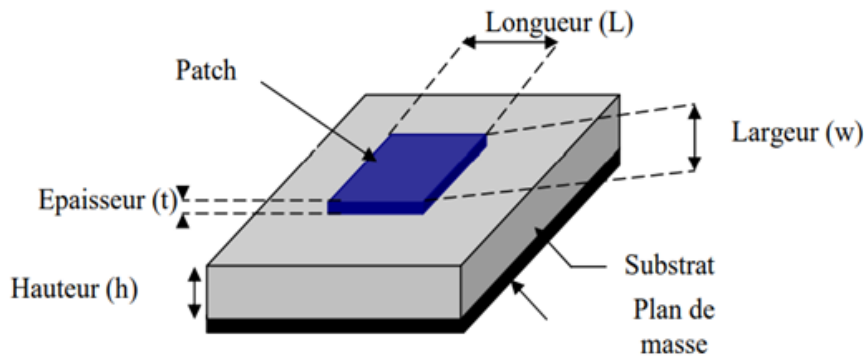


Figure I. 10: Structure d'une antenne imprimée [8]

Dans le cas d'une antenne de forme rectangulaire de dimensions L , W , les fréquences de résonances d'un mode TM mn dans la cavité sont données par la formule suivante :

$$f_{mn} = \frac{c}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{\left(\frac{m}{L}\right)^2 + \left(\frac{n}{W}\right)^2} \quad 1.12$$

Où c : est la vitesse de la lumière dans le vide et ϵ_r , la permittivité du substrat.

I.3.5 ANTENNES ACTIVE

Les progrès réalisés sur la fabrication des antennes plaquées, ont donné la possibilité au report d'un circuit actif sur l'antenne. L'antenne a des fonctions qui dépassent son rôle simple de transformateur d'énergie. Selon les fonctions électroniques adjointes, on obtient un dispositif complexe. On parle ainsi d'antennes intelligentes si le dispositif a une partie de contrôle et de commande.

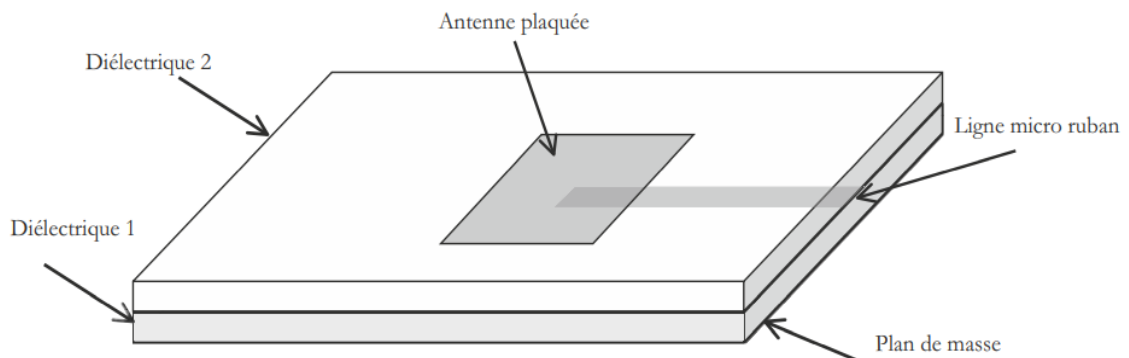


Figure I. 11: Antenne plaquée avec alimentation à couplage électromagnétique [8]

L'intérêt actuel porte toutefois sur les antennes intégrées, pour lesquelles l'antenne est

au plus près du circuit intégré car réalisée en même temps, sur le même support

I.4 LES ANTENNES MULTIBANDES

I.4.1 DEFINITION

Les antennes multi bandes sont des dispositifs conçus pour fonctionner dans plusieurs bandes de fréquence. Elles sont conçues pour avoir une partie active pour une bande de fréquence spécifique et une autre partie active pour une bande de fréquence alternative avec les mêmes exigences (valeur du coefficient de réflexion, adaptation,) [9].

I.4.2 LES DIFFERENTES TECHNIQUES MULTIBANDES

I.4.2.1 LA TECHNIQUE DE FENTE

La demande croissant par les nouvelles applications a poussé les chercheurs de trouver des modèles d'antennes de plus en plus complexes faisant généralement appel à des structures court-circuitées ou avec des fentes rayonnantes qui permettent d'abaisser les modes supérieurs.

La plupart de ces standards n'étant pas activés en même temps, l'idée est alors d'utiliser une structure possédant en son sein un élément de commutation permettant de passer simplement d'une bande de fréquence à une autre [9].

I.4.2.2 L'UTILISATION DES COMPOSANTS ELECTRIQUES

Le fonctionnement multi-bandes peut-être envisager en utilisant des composantes électroniques (condensateur, bobine,) pour assurer la commutation en deux ou plusieurs bandes c'est-à dire faire fonctionner l'antenne tantôt sur la bande par exemple GSM tantôt sur la bande DCS.

I.4.2.3 LA TECHNIQUE FRACTALE

Ce sont des antennes très spéciales basses sur les formes fractales pour aboutir à un fonctionnement multi-bande ou large bande

I.5 LA TECHNOLOGIE ULTRA LARGE BANDE (ULB)

I.5.1 DEFINITION

Taylor a donné la première définition pour l'ULB (UWB en anglais). Il s'agissait de systèmes qui transmettent et reçoivent des ondes dont la largeur de bande relative (LB) est supérieure ou égale à 0,25 avec :

$$LB = \frac{f_h - f_l}{f_c} \quad f_c = \frac{f_h + f_l}{2} \quad \text{I.13}$$

En février 2002, la première définition a été modifiée et La FFC (Fédéral communications commission) a proposé une nouvelle définition, où l'ultra large bande est considéré comme tout système ayant une bande passante supérieure à 500 MHz (à -10 dB), ou supérieure à 20% de la bande passante relative (BP relative) définie par :

$$BP_{relative} = \frac{f_h - f_l}{f_c} \geq 20\% \quad \text{I.14}$$

f_c Représente la fréquence centrale de transmission.

f_h Et f_l sont, respectivement, les fréquences limites supérieures et inférieures de la bande de fréquence.

I.5.2 L'INTERET DE L'ULB

Les technologies ULB ont très fortement évolué durant les dernières années, lorsqu'en février 2002, la FCC (Fédéral Communications Commission) a mis en place une régulation permettant l'utilisation de ces technologies pour des applications grand public. Le FCC a permis l'ouverture à de nouvelles applications pour les transmissions à très haut débit.

La principale bande destinée à l'ULB se situe entre 3,1 et 10,6 GHz. Cette bande représente environ 7 GHz et pourrait donc être divisée en 14 sous-bandes de 500 MHz.

Les principales applications des systèmes ULB sont : la détection, la géolocalisation, et les communications sans fil.

I.5.3 AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES SYSTEMES ULB

Les avantages de la technologie ULB, sont énumérés ci-dessous :

- Débit très élevé de l'ordre de gigabits par seconde (Gb/s).

- Une faible probabilité d'interception et de détection en raison de leur faible puissance moyenne transmise.
- Une faible consommation d'énergie grâce à la faible puissance de transmission.
- Une capacité de pénétration : les signaux ULB peuvent ainsi traverser différents types de surface.

Néanmoins, l'ULB présente des inconvénients, on cite :

- Une couverture faible : la faible puissance du signal ULB ainsi que la très large bande limitent le type d'applications possibles qui utilisent cette technologie.

I.5.4 LES ANTENNES ULTRA LARGE BANDE

L'ULB est une technologie prometteuse qui est spécifiée par un débit élevé peut atteindre plusieurs centaines de mégabits par second [9]

Actuellement, de nombreux modèles d'antennes sont utilisées dans les systèmes ULB pouvant atteindre une large bande passante tels que l'antenne Vivaldi, l'antenne biconique, l'antenne log-périodique, l'antenne spirale comme c'est montre sur les figures ci-dessous.

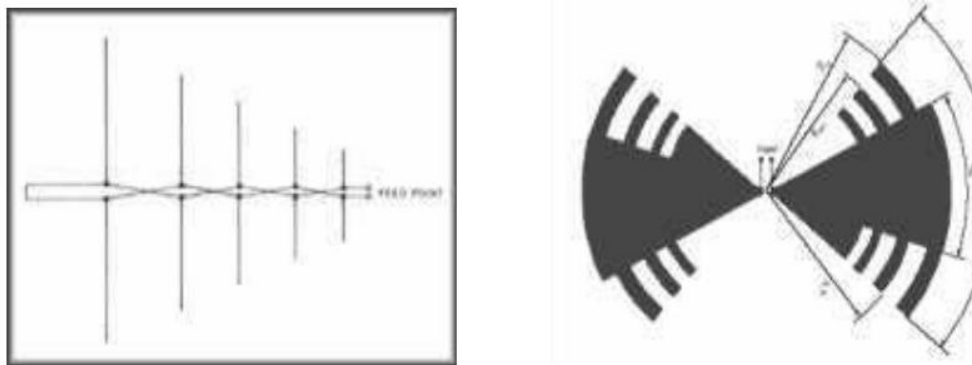


Figure I. 12: Antennes log- périodique [9].

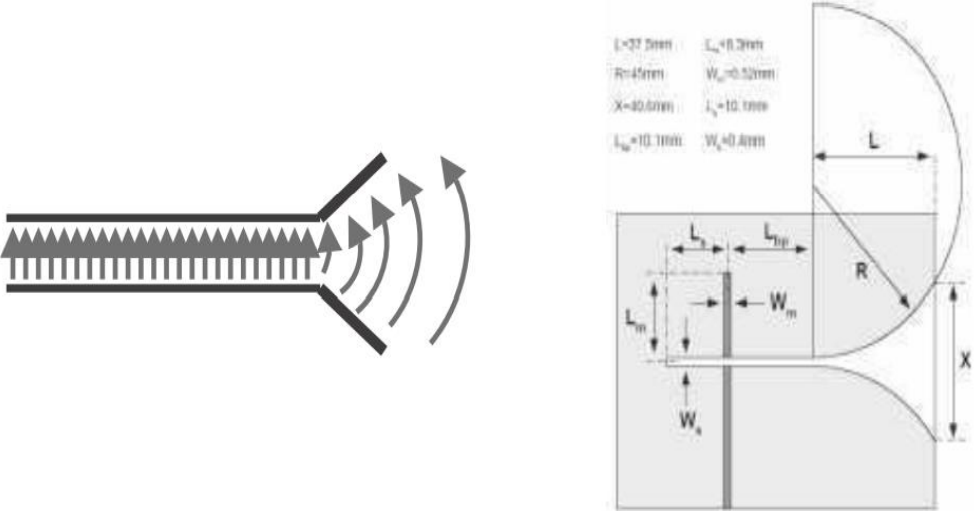


Figure I. 13: Antenne log périodique [9].



Figure I. 14: Antenne spirale logarithmique [9].

I.6 CONCLUSION

Les différents types d'antennes ont des propriétés et des caractéristiques, selon lesquelles elles sont valorisées, Pour assurer un bon fonctionnement d'une antenne, il faut choisir la technique la plus adaptée à l'application envisagée telle que la technologie d'antenne imprimée. Un aperçu a été donné sur la technologie ultra large bande et multi bande en fin de chapitre.

CHAPITRE II

LA THEORIE DES

FRACTALES

II.1 INTRODUCTION

Depuis l'antiquité, la géométrie euclidienne est utilisée pour décrire la géométrie du monde, elle permet de décrire facilement les objets simples de la nature tels que les cercles, les carrés, les triangles, les rectangles, les cônes de sphères ou de cubes. Néanmoins, il y'a d'autres formes plus complexes et irréguliers que ne nous pouvons pas définir à l'aide de ces figures géométriques conventionnelles, Cela a mené les scientifiques à inventer nouveaux modèles pour tenter d'expliquer cette irrégularité de la nature. Il s'agit de la géométrie, appelée « géométrie fractale ».

Plusieurs mathématiciens du 19^e siècle et au début 20^e siècle ont abordés timidement quelques formes fractales, mais en 1975 [10], le mathématicien Français Benoît Mandelbrot dans la première édition de son livre « les Objets fractals : forme hasard et dimension » a introduit le concept de géométrie fractale.

Dans ce second chapitre, nous donnons un aperçu sur la géométrie fractale et leurs propriétés, En plus, une classification des objets fractals en fonction de leurs dimensions sera donnée.

II.2 LA GOMETRIE FRACTALE

II.2.1 DEFINITION

Le terme fractal vient à partir de l'adjectif latin 'fractus', qui signifie irrégulier ou brisé,

D'après B. Mandelbrot, dans son livre les objets fractals (1975) [10] : le terme Fractal, se dit d'une figure géométrique ou d'un objet naturel qui présente la même irrégularité à toutes les échelles et dans toutes ses parties : on dit que cet objet est auto-similaire ou symétrique par changement d'échelle.

La façon de générer les formes fractales, est itérative, deux résultats peuvent être donnés soit des formes déterministes ou aléatoires.

Si les paramètres de la fractale sont gardés constants à chaque itération, on dit que c'est une forme déterministe, dans le cas où l'un de ses paramètres change d'une manière

aléatoire le long de l'opération de génération, on dit que c'est une forme aléatoire.

II.2.2 CARACTERISTIQUES

II.2.2.1 DIMENSION FRACTALE

L'une des caractéristiques principales de tout objet fractal est sa dimension fractale, qui sera dénotée par D . Elle mesure son degré d'irrégularité et de brisure.

Il est important de mentionner que contrairement aux nombres de dimensions habituels de quelques figures simples qui sont des entiers naturels à titre d'exemple, Un carré a pour dimension $D = 2$, Un cube a pour dimension $D = 3$, la dimension fractale peut très bien être une fraction simple, telle que $3/2$ ou $5/3$, et même un nombre irrationnel, tel que $\log 5 / \log 4$. . .

Ainsi, il est utile de dire de certaines courbes planes très irrégulières que leur dimension fractale soit entre 1 et 2

Soit un objet initial formé de N parties auto-similaires, chacune de ces parties étant réduite d'un facteur r par rapport à l'objet initial, la dimension fractale est donnée par la formule suivante [11]

$$D = \frac{\log(N)}{\log\left(\frac{1}{r}\right)} = \frac{\log(\text{Nombre De Copies})}{\log\left(\frac{1}{\text{Rapport De Reduction}}\right)} \quad \text{II. 1}$$

Les exemples suivants (figure II.1) présentent le calcul de la dimension fractale de différents objets. Toutes les structures fractales sont construites à partir d'un segment de base de longueur 1. L'étalon de mesure est représenté en grisé

❖ Trois premières itérations du triangle de Sierpinski :



étalon : $\varepsilon = \frac{l}{2}$
 $N = 3$

étalon : $\varepsilon = \frac{l}{2^2}$
 $N = 3^2$

étalon : $\varepsilon = \frac{l}{2^3}$
 $N = 3^3$

Dimension fractale $D = \frac{\log 3}{\log 2} = 1.58$

❖ Trois premières itérations d'un arbre fractal :



étalon : $\varepsilon = \frac{l}{3}$
 $N = 7$

étalon : $\varepsilon = \frac{l}{3^2}$
 $N = 7^2$

étalon : $\varepsilon = \frac{l}{3^3}$
 $N = 7^3$

Dimension fractale $D = \frac{\log 7}{\log 3} = 1.77$

❖ Trois premières itérations de la courbe de Koch :



étalon : $\varepsilon = \frac{l}{3}$
 $N = 4$

étalon : $\varepsilon = \frac{l}{3^2}$
 $N = 4^2$

étalon : $\varepsilon = \frac{l}{3^3}$
 $N = 4^3$

Dimension fractale $D = \frac{\log 4}{\log 3} = 1.26$

Figure II. 1:Exemple de calcul de la dimension fractale [12]

On peut construire des objets fractals de dimensions différentes en modifiant le nombre de parties de l'objet N ou le facteur de réduction $1/\epsilon$. La dimension fractale est souvent insuffisante pour décrire une fractale car deux structures différentes peuvent avoir une dimension identique.

II.2.2.2 L'AUTOSIMILARITE

On dit qu'un objet est auto-similaire (ou invariant d'échelle) lorsqu'il conserve sa forme, quelle que soit l'échelle à laquelle on l'observe. Notant que l'autosimilarité des structures fractales naturelles s'arrête à un certain moment .et par conséquent, ce ne sont pas vraiment des structures fractales à l'infini

La feuille de fougère reflète bien La propriété d'autosimilarité comme le montre la figure suivante. Elle est composée de plusieurs petites feuilles, qu'une fois séparées, se révèlent identiques au tout au sens statistique, mais plus petit.

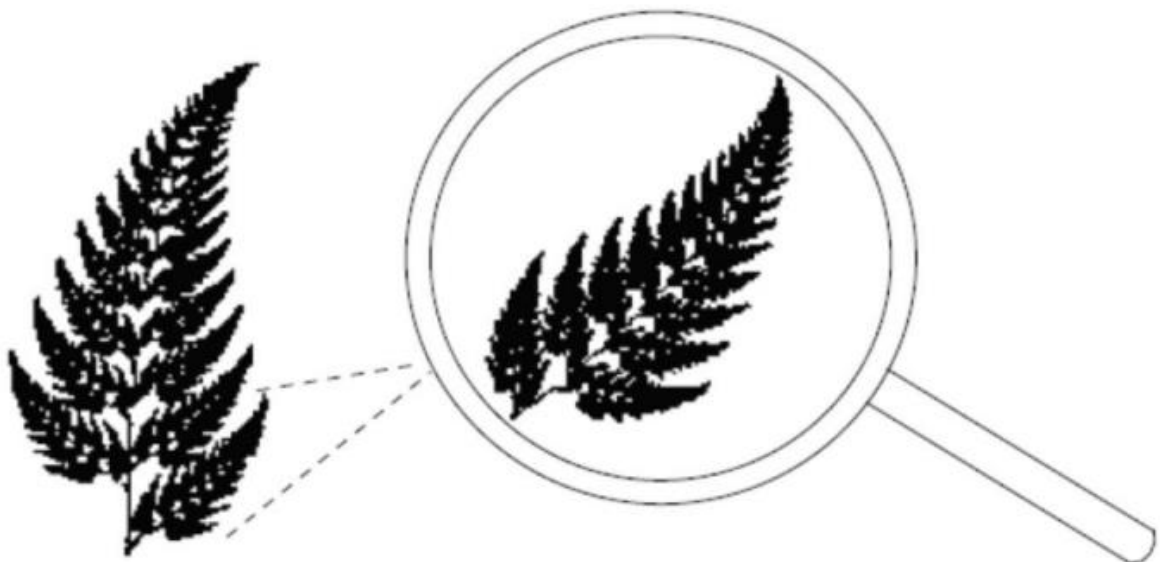


Figure II. 2: Autosimilarité d'une feuille de fougère [13]

La propriété de symétrie par dilatation est appelée autosimilarité ou invariance par changement d'échelle.

La nature est la source d'une multitude de géométries fractales dans lesquelles on retrouve ces concepts de similitude interne et d'invariance d'échelle [13], comme par exemple

dans :

- Les trajectoires de particules,
- Les lignes de flux hydrodynamiques,
- Les paysages, montagnes, îles et rivières,
- Les roches, métaux et matériaux composites,
- Les plantes,
- Les polymères, etc.

II.2.2.3 LACUNARITE D'UN OBJET FRACTAL

La lacunarité (ou texture) d'un objet fractal est le nombre qui quantifie la distribution de la taille des 'trous' dans un objet fractal [14]

II.2.3 LES FORMES FRACTALES

Les formes fractales et leurs grandes variétés de figures, peuvent être classé en 3 catégories

- Les courbes fractales.
- Les surfaces fractales.
- Les volumes fractals

II.2.3.1 LES COURBES FRACTALES

Il existe plusieurs formes des courbes fractales, on peut citer :

II.2.3.1.1 LA COURBE DE KOCH

La fractale de Koch est aussi l'une des premières courbes fractales à avoir été décrite en 1906 par le mathématicien Suéde Helge Von Koch [15].

Le principe de construction géométrique de la courbe de Koch est assez simple. Au départ on trace une ligne droite, appelée l'initiateur ce qui représente l'itération 0. Puis on divise cette ligne en trois parts égales et le segment du milieu sera remplacé lui aussi par deux autres de la même longueur. Et donc C'est la première itération de cette géométrie.

On refait le même processus pour chacun de ces quatre nouveaux segments et ainsi de suite, comme la montre la figure II.3

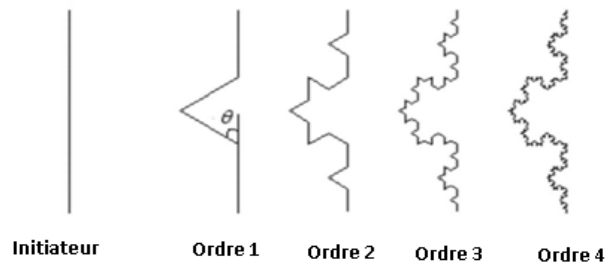


Figure II. 3: Courbe de Koch [15]

La première itération de longueur 1 de la ligne droite remplacé par 4 segments de longueur $l/3$, à la deuxième $16 \times l/9$ et ainsi de suite. A chaque nouvelle itération de la longueur $l/3$ est multipliée par $4/3$, ce qui signifie que la longueur d'une courbe de Koch tend vers l'infini pour un nombre n infini d'itérations [13] :

$$I_n = I_0 \left(\frac{4}{3}\right)^n \quad \text{II.2}$$

I_0 Est La hauteur effective de l'initiateur de Koch.

II.2.3.1.2 FRACTALE DE MINKOWSKI

Pour ce type de forme, Comme c'est montré dans la figure II.4, l'itération 0 ou la forme initiale est un carré, la première itération consiste à remplacer chaque segment du carré par un générateur qui se constitue de 5 segments, on répète la même opération sur chaque segment pour les autres itérations.

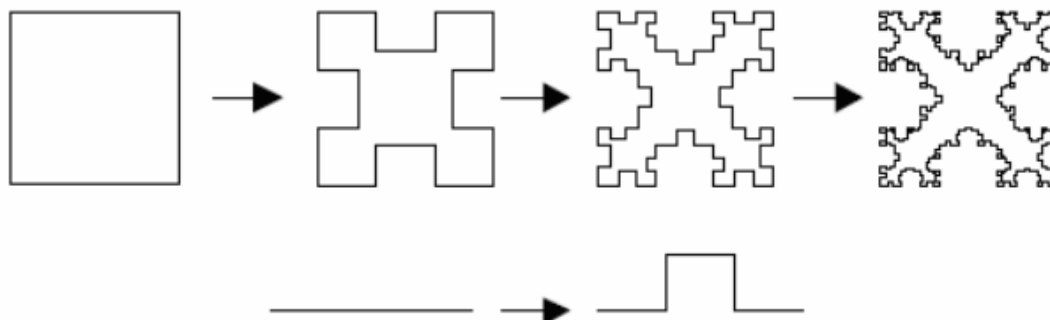


Figure II. 4 : Génération de la fractale de Minkowski [15]

II.2.3.1.3 LES FRACTALES DE HILBERT

Construction géométrique de la courbe de Hilbert est définie par la manière suivante : on partage le carré initial en 4 petits carrés égaux en premier lieu ; chacun de ces carrés est numéroté de sorte que deux carrés successifs se touchent par un côté, en commençant par le carré en bas à gauche, et s'achevant par le carré en bas à droite. Puis, on partage chacun de ces nouveaux carrés en 4 micros carrés égaux jusqu'à l'infini.

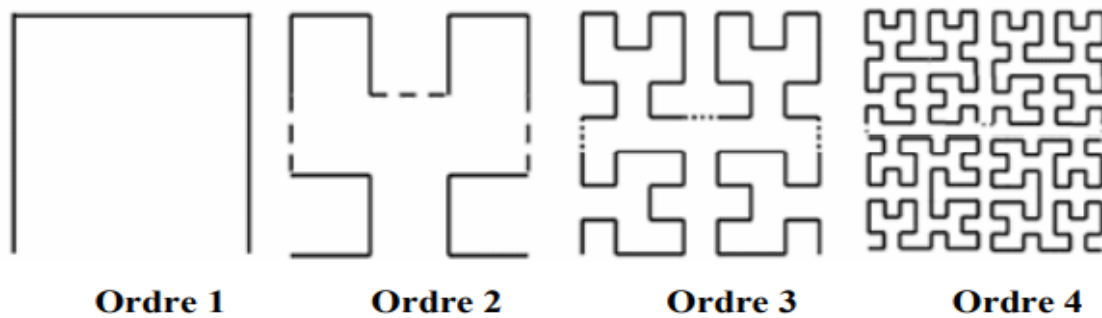


Figure II. 5: 4 itérations d fractale de Hilbert

II.2.3.1.4 L'ARBRE FRACTAL « TRI FRACTAL »

Pour générer ce type de géométrie fractale, on commence à l'itération 0 par une "tige" de longueur l_0 , puis on construit à l'itération 1 et à partir de l'une des deux extrémités deux lignes de longueurs $l_0/3$ séparées par un angle de rotation θ , et le processus est répété infiniment (Figure II.6).

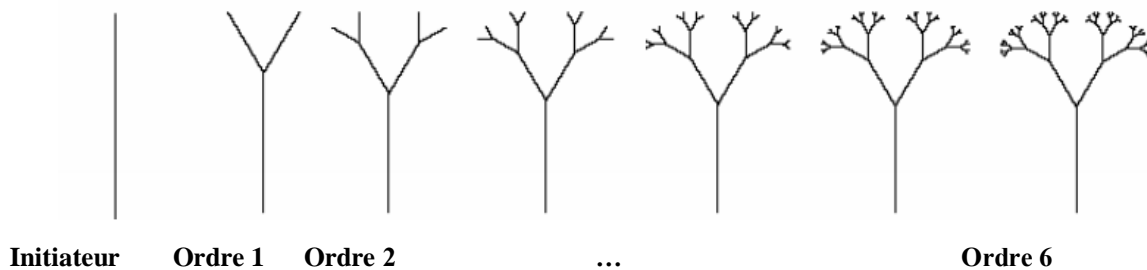


Figure II. 6: Arbre fractal [11]

La hauteur de chaque segment de cette géométrie pour les trois premières itérations est donnée dans le tableau II.1, où l_0 est la hauteur effective de l'initiateur.

Ordre 0	Ordre 1	Ordre 2	Ordre 3
l_0	$l_0/3$	$l_0/7$	$l_0/15$
	$2l_0/3$	$2l_0/7$	$2l_0/15$
		$4l_0/7$	$4l_0/15$
			$8 l_0/15$

Tableau II. 1: Hauteur de chaque segment de l'arbre fractal pour les trois premières Itérations [16].

II.2.3.2 LES SURFACES FRACTALES

II.2.3.2.1 LE TRIANGLE DE SIERPINSKI « SIERPINSKY GASKET »

La fractale de Sierpinsky apparue en 1915 est l'une des formes fractales les plus utilisées. Elle est baptisée du nom de Waclaw Sierpinsky, le mathématicien polonais qui l'a intensivement étudié [17].

Il existe deux approches pour la construction de ce modèle de triangle : l'approche copie multiple, ou l'approche de décomposition.

Dans la première approche, On commence par un petit triangle. Deux copies supplémentaires de ce triangle de la même taille sont produites et collées au triangle original

Dans l'approche de décomposition, on commence par un grand triangle entourant la géométrie entière. Les points médians des côtés sont joints ensemble, et un espace creux au milieu est créé. Ce processus divise le triangle original à trois versions réduites du plus grand triangle. Le même processus de division peut être réalisé sur chacune des copies

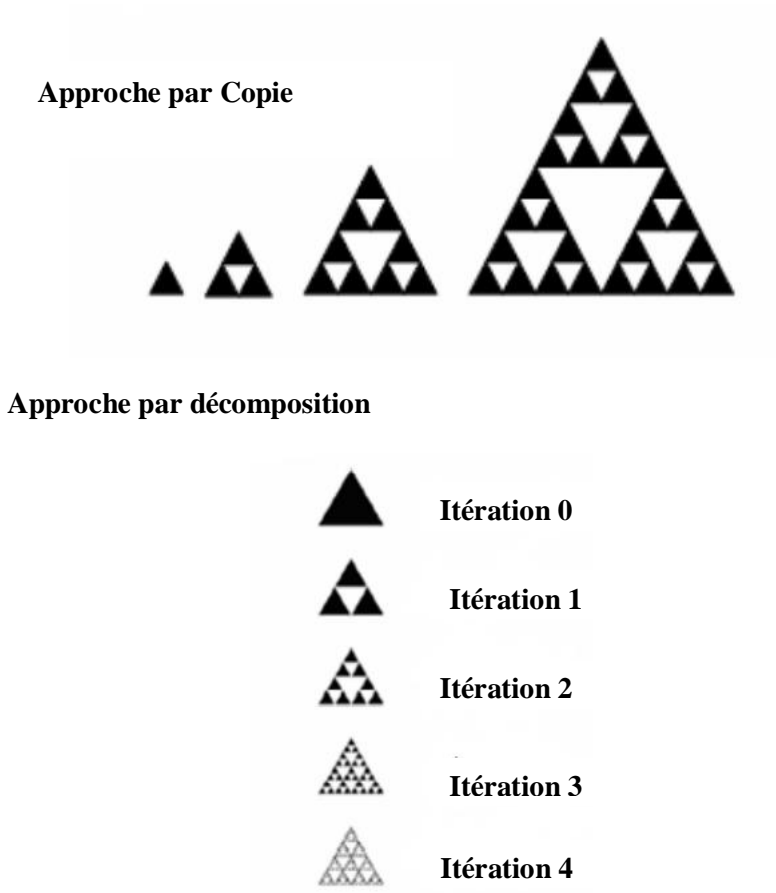


Figure II. 7 : Génération du triangle de Sierpinsky par les deux approches [17].

II.2.3.2.2 LE TAPIS DE SIERPINSKI « Sierpinsky Capet »

On obtient généralement ce « tapis » en partant d'un carré. On le subdivise en 9 carrés de même taille et on supprime le carré central. On répète l'opération sur les huit carrés restants et ainsi de suite.

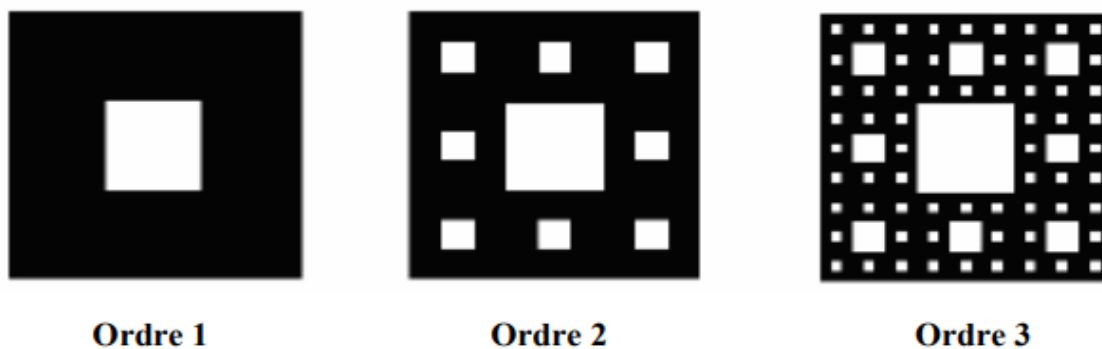


Figure II. 8 : Génération de la géométrie du tapis de Sierpinsky [18]

II.2.3.2.3 L'ETOILE DE KOCH

Cette forme s'obtient à partir d'un triangle équilatéral au lieu d'un segment de droite en opérant les modifications par l'orientation des triangles vers l'extérieur. Ainsi, lorsqu'on accole trois courbes de Koch aux sommets d'un triangle équilatéral on obtient l'étoile de Koch (Koch Island) comme la montre la figure II.9

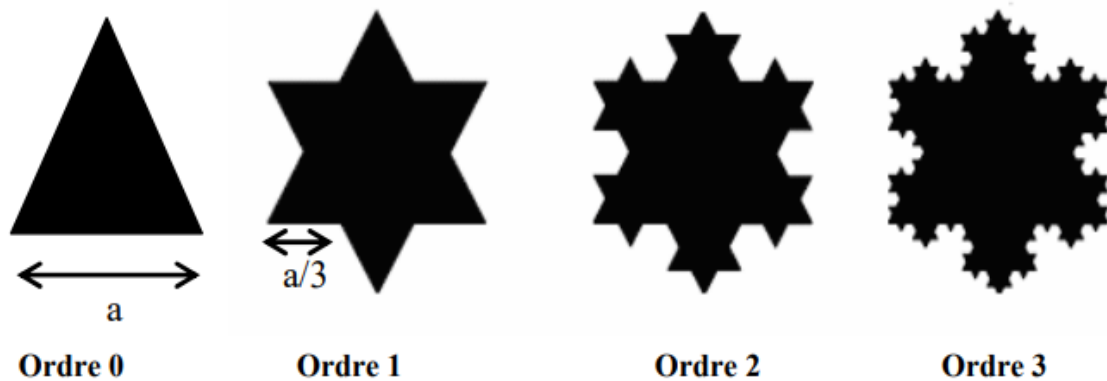


Figure II. 9: Etoile de Koch [19].

II.2.3.3 LES VOLUMES FRACTALS

II.2.3.3.1 LE TETRAEDRE DE SIERPINSKI

Il existe aussi une version 3D du tapis de Sierpinsky, le « tétraèdre de Sierpinsky », attracteur de 4 homothéties de rapport $1/2$ centrées aux sommets d'un tétraèdre, sa dimension fractale égale à 2.



Figure II. 10 : Tétraèdre de Sierpinsky [15].

La figure ci-dessous résume l'histoire des différentes formes fractales :

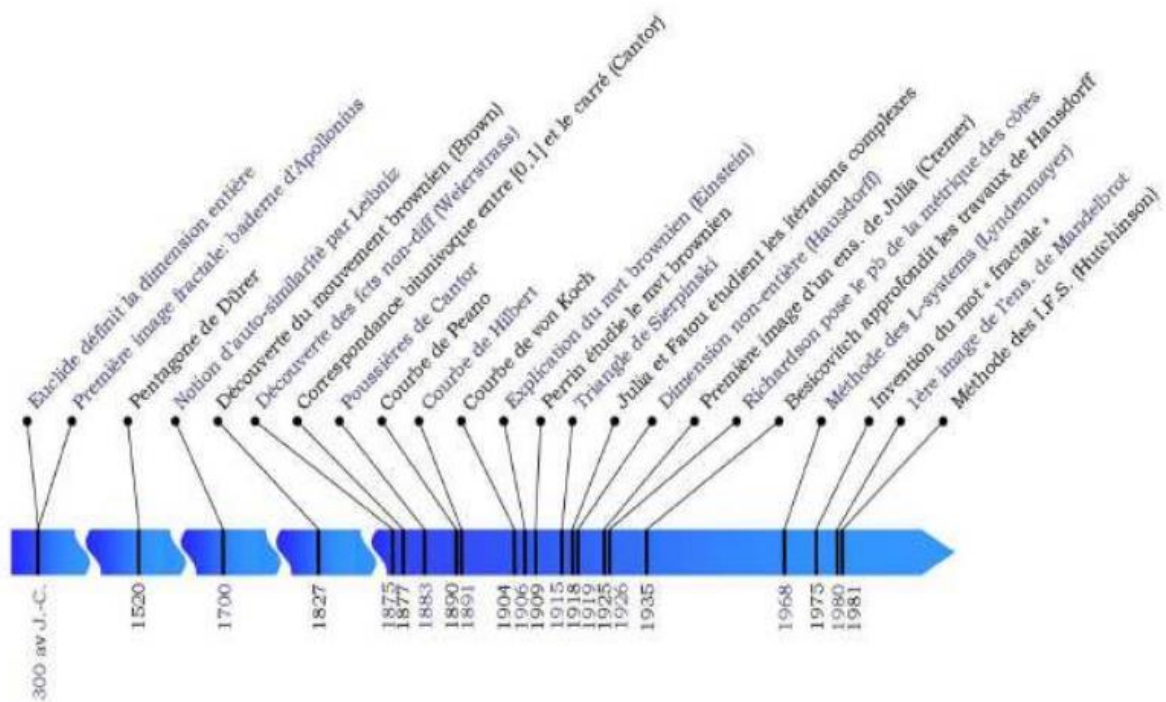


Figure II. 11: Résumé sur l'histoire des fractales [12]

II.2.4 LES APPLICATIONS DE LA GEOMETRIE FRACTALE

La géométrie fractale a été utilisée au début de sa création, pour décrire les objets irréguliers qui existent dans la nature (géométrie d'une côte, arbres, plantes), mais actuellement, les formes fractales ont des applications dans plusieurs domaines, nous citons à titre exemple :

- En médecine, on réalise des simulations de réseaux sanguins et neuronaux.
- En finance, le graphe représentant le cours d'un actif en bourse est de nature fractale car la rentabilité périodique possède une invariance d'échelle.
- En géologie, les fractales sont utilisées pour la recherche de nappes de pétrole.
- On utilise aussi l'approche fractale en géophysique, où un grand nombre de statistiques possède des propriétés d'autosimilarité : c'est le cas des inondations, des tremblements de terre.

II.3 LES ANTENNES FRACTALES

II.3.1 HISTORIQUE

En 1994 D.H. Werner a utilisé l'expression « antennes fractales » pour la première fois dans son article [20], Plus tard, d'autres articles ont été publiés par Cohen [21], [22] où il a présenté une introduction sur l'application de ces géométries fractales pour les antennes. Il est à noter qu'en 1988, l'antenne « à rang logarithmique » a été développée par Nathan Cohen, et le lien entre cette antenne les fractales a été mis en évidence mais sans utiliser le terme antenne fractale.

Dans le contexte de ce travail, il est nécessaire de rappeler les travaux de recherche sur les antennes de forme fractale qui ont été réalisés. Voici quelques articles :

Les articles [23], [24] et [25], ont étudiés l'antenne de Koch, où les auteurs ont présenté les propriétés et les performances de l'antenne monopôle par rapport au monopôle classique.

Les articles [26] et [27] ont posés les particularités et les performances de cette géométrie mais sous forme de dipôle.

L'antenne de Sierpinsky, a été étudiée sous formes de monopôles dans l'article [28], dans [29] et [30], les auteurs ont montré que les formes d'**arbre fractal** peuvent réaliser des antennes à large bande et à dimensions réduites.

Dans le domaine des antennes fractales, Deux pôles principaux mènent les axes de recherches :

- En Espagne, l'équipe de C. Puente de l'université polytechnique de catalogne (la société Fractus).
- Aux USA, l'équipe de N. Cohen de l'université de Boston (société Fractal Antenna System).

II.3.2 DEFINITION

Une fractale est une antenne utilisant une conception fractale, aussi dite auto-similaire, son aspect clé réside dans la répétition d'un motif sur plusieurs tailles d'échelle ou "itérations".

La réponse d'une antenne fractale diffère sensiblement de celle des modèles

traditionnels d'antennes, car elle peut fonctionner à plusieurs fréquences simultanées avec des performances allant de bonnes à excellentes. Notons que cette géométrie est aussi exploitée dans la conception des antennes afin d'assurer une miniaturisation de taille tout en combinant l'aspect multi-bandes et large-bande avec un encombrement réduit [31].

II.3.3 PROPRIETES DES STRUCTURES FRACTALES

Le tableau II.2 résume les deux raisons pour lesquelles nous avons choisi d'étudier des structures d'antennes dont la géométrie est fractale.

Propriétés des structures fractales	Conséquences
Autosimilarité fractale	Antennes multi-bandes
Occupation de l'espace due aux formes très accidentées	Petites antennes

Tableau II. 2: Propriétés des structures fractales et leur conséquence [31].

II.3.4 AVANTAGES ET INCONVENIENTS

L'antenne fractale présente les avantages suivants :

- Surface occupée très réduite : la compacité résulte du caractère irrégulier des formes fractales.
- Résonances multiples : le caractère multi-bande et large bande vient du caractère d'autosimilarité.
- Gain très important dans certain cas.

Les principaux inconvénients d'une antenne fractale sont :

- Gain faible dans d'autres cas.
- Réalisation très difficile liée à la complexité des formes

II.4 DIFFRENTS TYPES D'ANTENNES FRACTALES

II.4.1 L'ANTENNE DE KOCH

La figure ci-dessous représente l'antenne fractale de Koch sous forme d'un monopole

à l'itération 5, Cette antenne a fait l'objet de plusieurs recherches, où dans certains articles les auteurs ont étudié les propriétés et les performances de ce monopôle par rapport au monopôle classique.

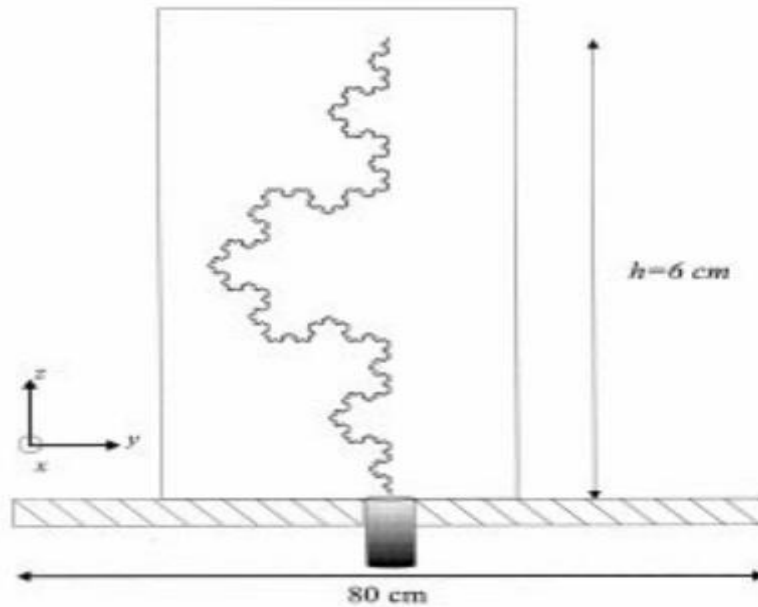


Figure II. 12: L'itération 5 de l'antenne monopole de Koch [31]

II.4.2 L'ANTENNE FRACTALE DE SIERPINSKI

Dans l'article [32], l'antenne de Sierpinsky sous forme monopole a été étudiée comme le montre la figure ci-dessous, il est à noter que ce type d'antenne peut être réalisé sous forme d'un monopole, dipôle et patch.

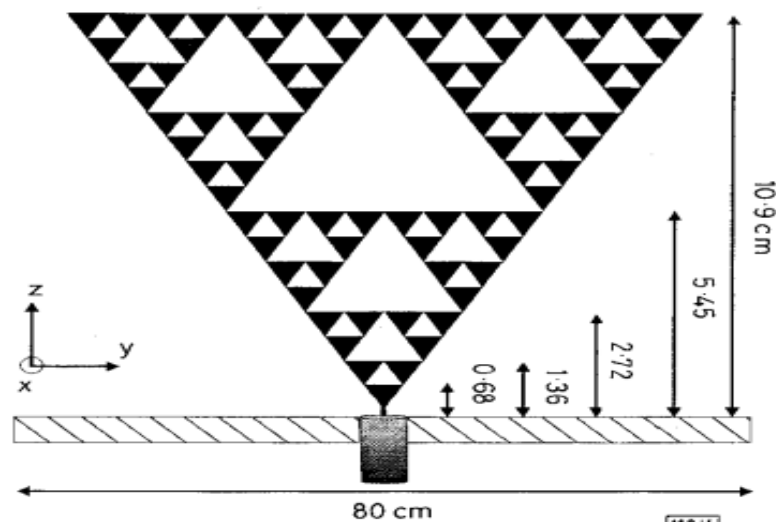


Figure II. 13: l'antenne monopole de Sierpinsky [32]

Le résultat du S11 est montré dans la figure suivante, où le comportement multi bande est bien clair.

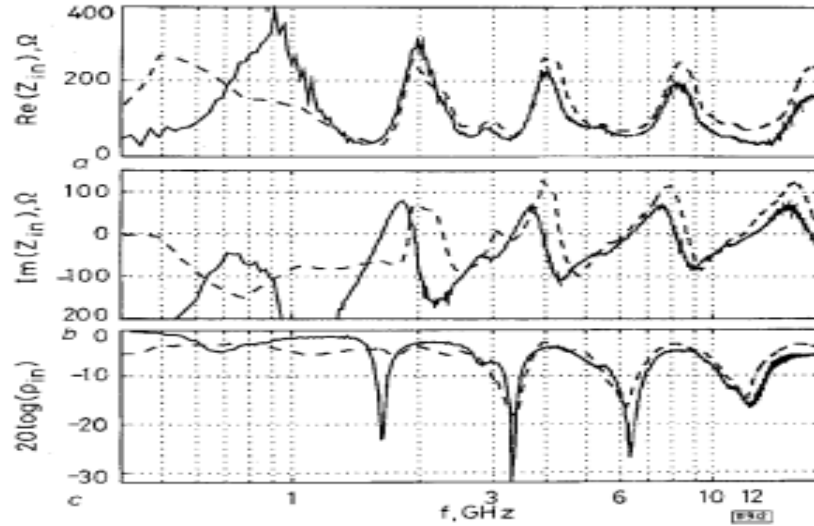


Figure II. 14: S11 de la structure de l’antenne de Sierpinsky [32]

II.4.3 L’ANTENNE D’HIBERT

La géométrie de cette antenne est basée sur la fractale de Hilbert, Dans l’article [33], l’antenne étudiée est sous forme d’un monopôle, le substrat utilisé est de type FR4.

La figure montre le résultat de simulation du coefficient de réflexion

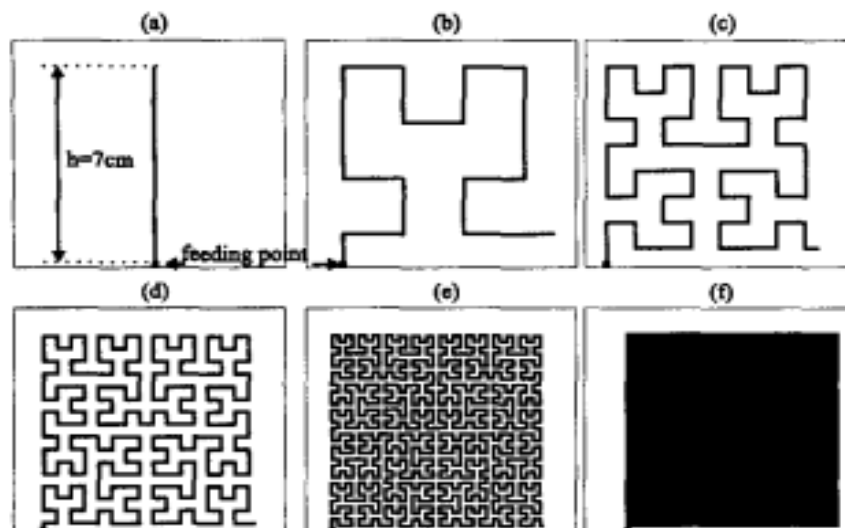


Figure II. 15: a) monopole vertical, b) Hilbert 1, c) Hilbert 2, d) Hilbert 3, e) Hilbert 4, f) Hilbert 5. [33]

II.4.4 L'ANTENNE DE L'ARBRE FRACTAL

Les arbres fractals, sont des géométries inspirées de la nature, ces formes peuvent réaliser des antennes à large bande et à dimensions réduites. C'est une antenne multi-bande à profil très simple. Un inconvénient majeur de cette antenne est la polarisation alternée aux différentes fréquences de fonctionnement. Coté rayonnement, l'autosimilarité des diagrammes est moyenne

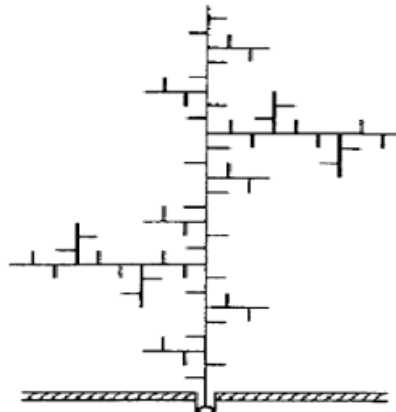


Figure II. 16: Exemple d'une antenne arbre fractal a l'itération 3 [33]

II.5 CONCLUSION

Dans ce chapitre, la théorie des formes fractales a été exposée, nous avons mis en évidence les propriétés fondamentales de ces formes, ainsi que leurs différentes structures géométriques. Nous avons terminé ce chapitre par donner des exemples d'antennes basées sur la géométrie fractale.

Le concept des fractales offre une compréhension sur de nombreux phénomènes naturels et il est devenu, un champ des mathématiques qui permet d'étudier avec succès plusieurs objets dont la forme est extrêmement irrégulière, au début des années 90, les chercheurs ont utilisé les fractales dans le domaine de l'électromagnétisme, spécialement dans la conception d'antennes.

CHAPITRE III

DESCRIPTION DE

LOGICIEL HFSS

III.1 INTRODUCTION

Ce chapitre est réservé à la description générale du logiciel HFSS (High Frequency Structure Simulator), et présenter, Ses fonctionnalités ainsi que le rôle de chaque fonction que nous allons utiliser pour réaliser nos simulations

III.2 DEFINITION

Le HFSS est un logiciel commercial et un outil de simulation électromagnétique 3D basée sur la méthode des éléments finis (FEM) [34], plusieurs paramètres peuvent être calculés par ce logiciel tels que Paramètres S, fréquence de résonance, et des champs électriques et magnétiques...et où les solutions des problèmes électromagnétiques 3D sont obtenues rapidement et avec précision.

Des éléments volumiques tétraédriques sont utilisés pour mailler la structure, De surcroît, il est adapté à des structures homogènes aussi bien qu'hétérogènes.

III.3 DESCRIPTION GENERALE DES OUTILS HFSS

La fenêtre de HFSS a plusieurs panneaux facultatifs :

- Le Project Manager: contient un arbre de conception qui énumère la structure du projet.
- Le Message Manager: permet d'afficher tous les erreurs avant de commencer la simulation.
- La fenêtre de Propriétés: pour les affichages et permet de changer les paramètres des attributs du modèle.
- La fenêtre de Progress: affiche les progressions de la solution. [35]
- La fenêtre de 3D Modeler: contient le modèle et son arbre pour la conception active

Voici la page d'accueil de logiciel HFSS

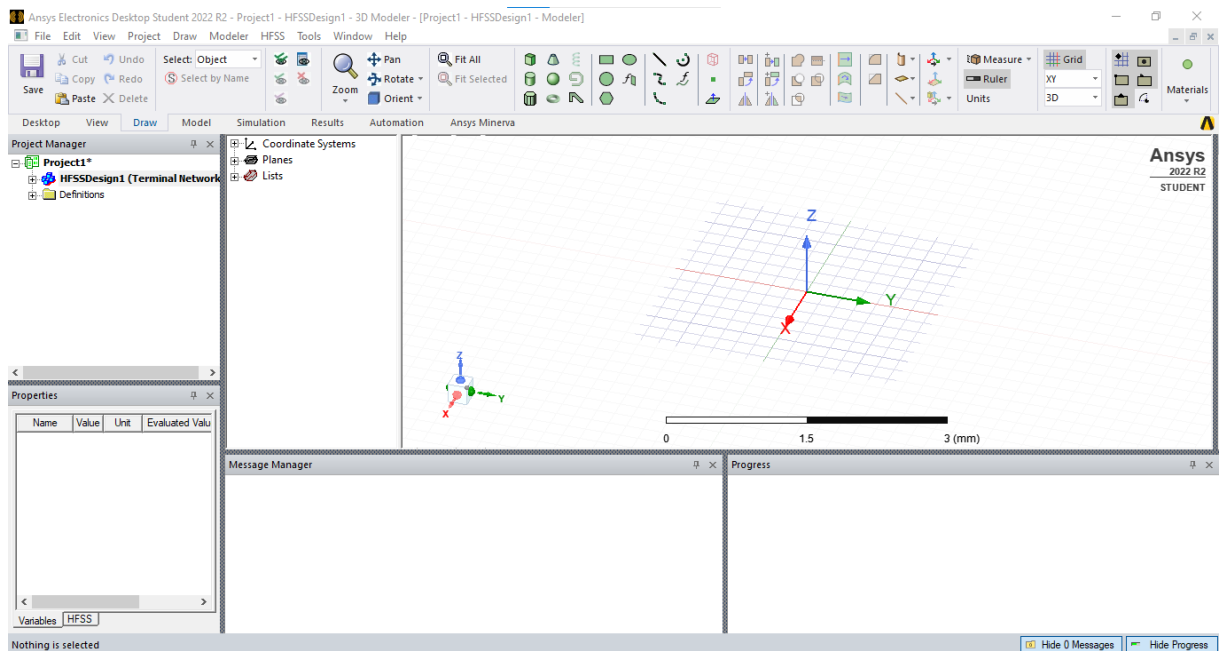


Figure III. 1: Page d'accueil du logiciel HFSS [35]

III.3.1 FENETRE DE PROPRIETES

Elle nous permet d'attribuer le nom, le matériau, la couleur...etc., de l'objet [35]

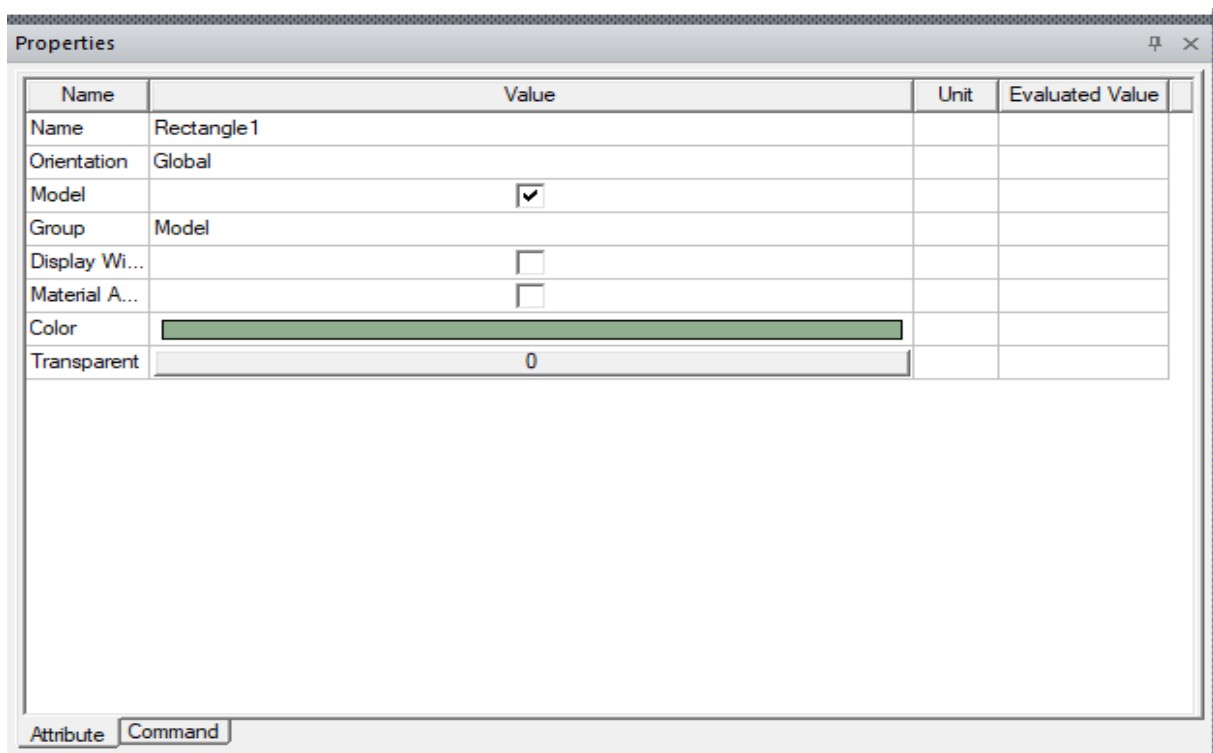


Figure III. 2: Fenêtre des propriétés [35]

III.3.2 COMMANDE

On trouve la position et les paramètres (hauteur, largeur) du modèle, on peut les modifier à n'importe quel moment durant le travail.

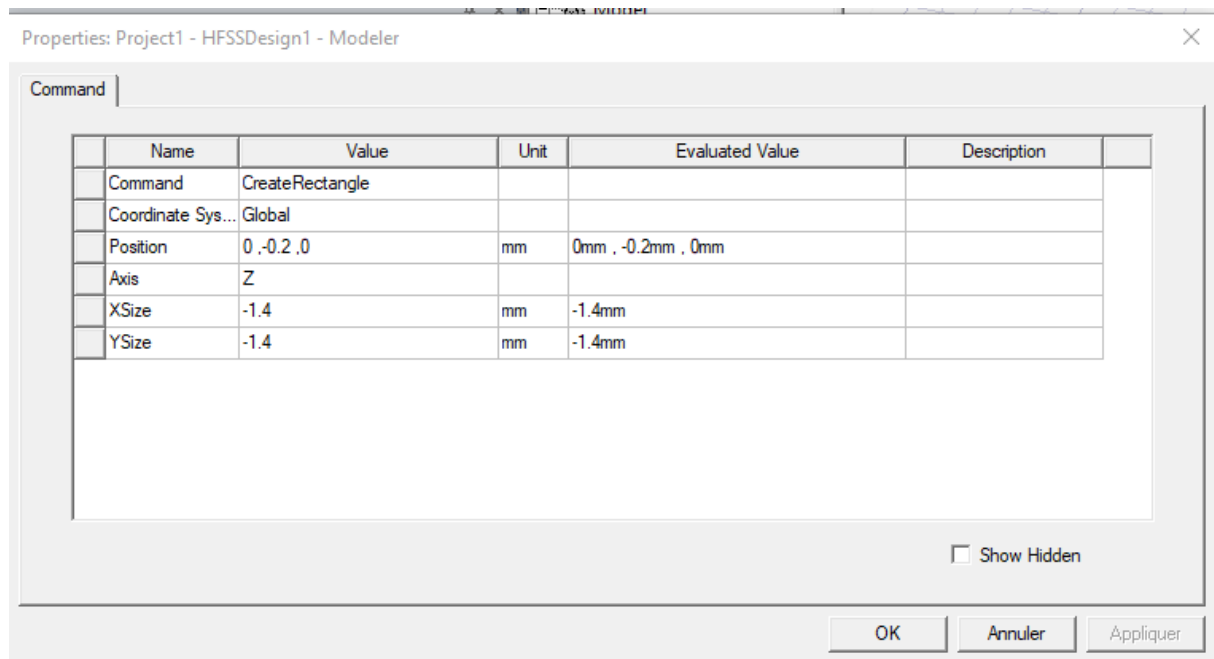


Figure III. 3: Fenêtre des paramètres de projet [35]

III.3.3 GESTIONNAIRE DE PROJET ARBORESCENT (MANAGER DES PROJETS)

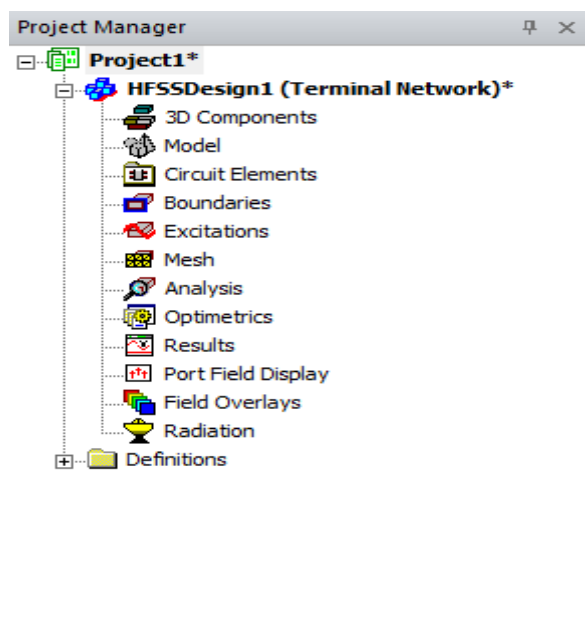


Figure III. 4: Fenêtre manager de projet [35]

III.3.4 DRAW

Regroupe tous les modèles, rectangle, ellipse, cercle, boîte..... [35]

III.3.5 MODELER/ 3D MODELER

Il contient les éléments suivants : Booléen (fusionner deux objets), unité à utiliser (mm, cm, km...),

- **Mesures** (mesurer les distances),
- **Coordinate system** (les coordonnées à utiliser)
- **Mode analysis** :(analyse les propriétés et les performances des objets, des surfaces)
- **Coordinate system** : nous permet de changer le système des coordonnées.
- **Units** : choisir l'unité de mesure (mm, cm,....)

III.3.6 VALIDAION

Compiler le projet si tout est bon la fenêtre ci-dessous apparaît :

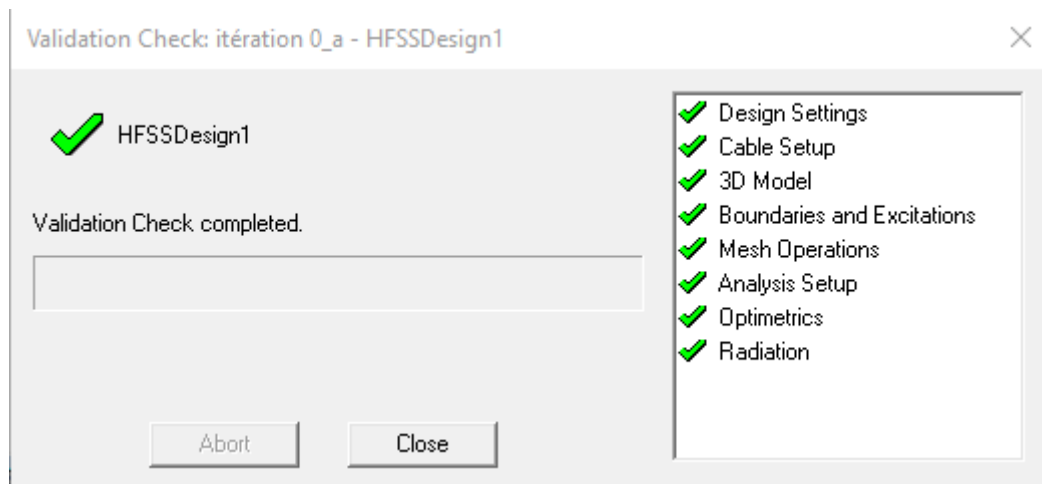


Figure III. 5: Validation du modèle [35]

III.3.7 EXCITATIONS

Avant de lancer la simulation l'excitation de la structure est nécessaire dans tous les logiciels de simulation électromagnétiques [35].

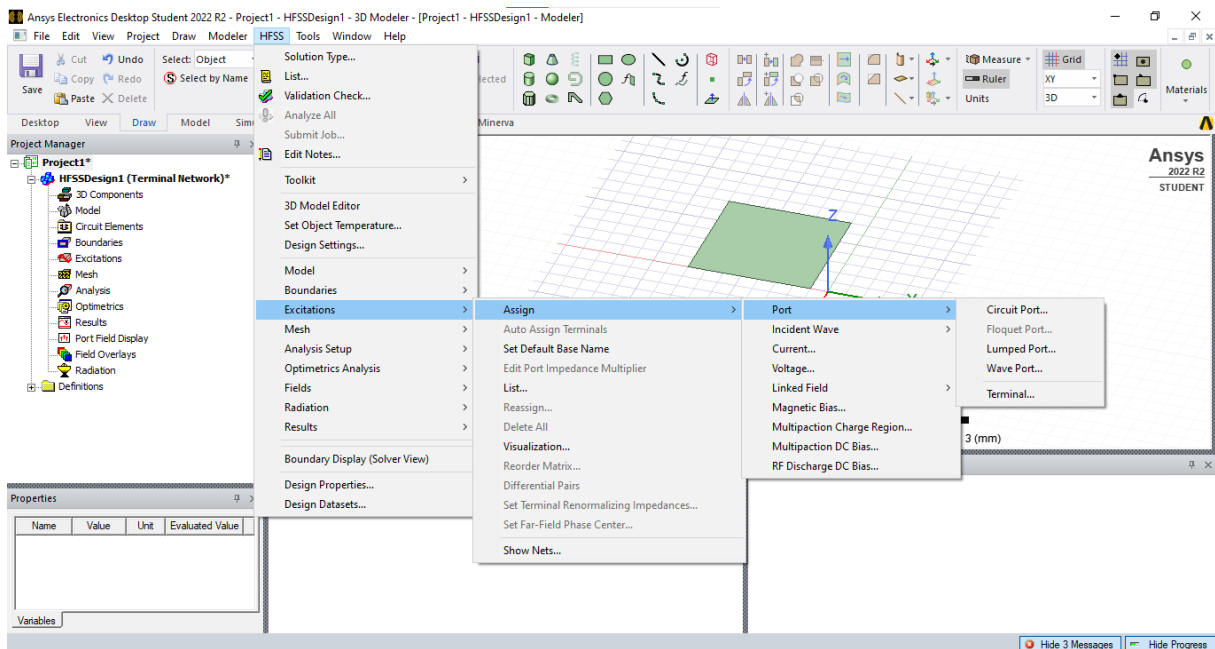


Figure III. 6: Types d'excitation [35]

III.3.8 VISUALISATION DES RESULTATS

Après avoir dessiné le modèle, en rajoutant l'excitation et la plage de fréquence, puis on lance la simulation [35].

Pour visualiser les résultats, il faut aller à l'icône results, clique droit dessus, et choisir ce que vous voulez visualiser (diagramme de rayonnement, coefficient de réflexion, gain ...) Exemple :(**HFSS>Results>Solution Data**):

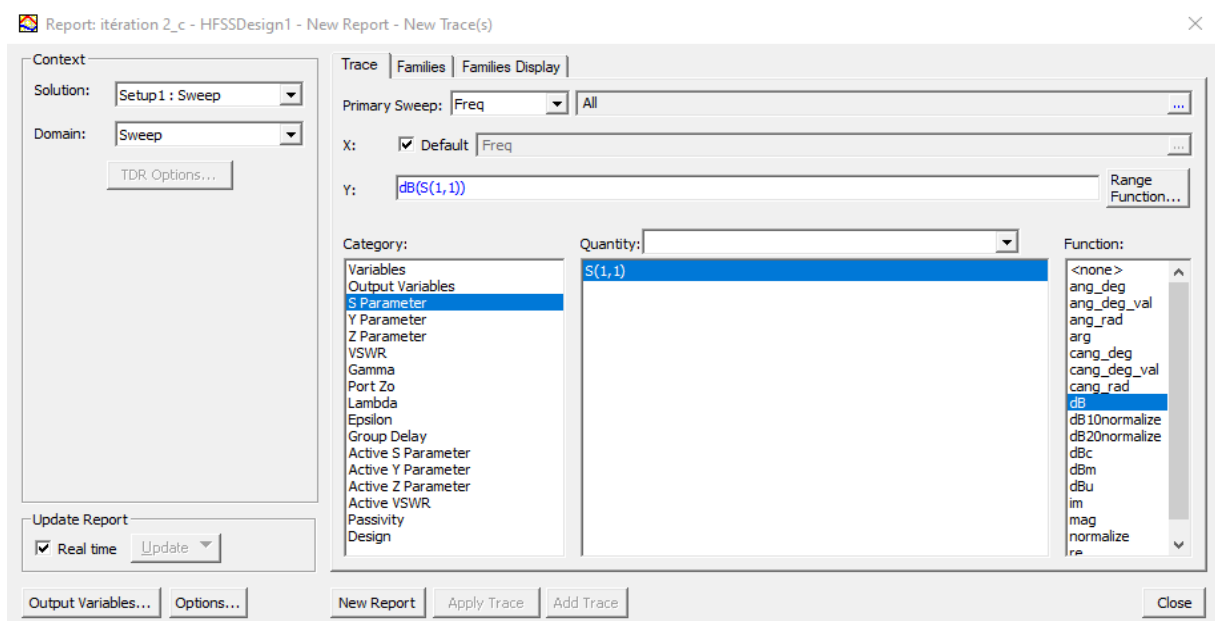


Figure III. 7: Modifier le balayage de projet [35]

III.3.9 CREATE MODAL SOLUTION DATA REPORT

Cette icone nous permet d'afficher et visualiser des paramètres de l'antenne en 2D ou 3D (S, Y, Z, TOS, Gamma...). Prenons l'exemple de rectangular Plot : choisissons le paramètre (S11 par exemple) et son unité (db, re, im, ang...) et cliquer sur New Report[35].

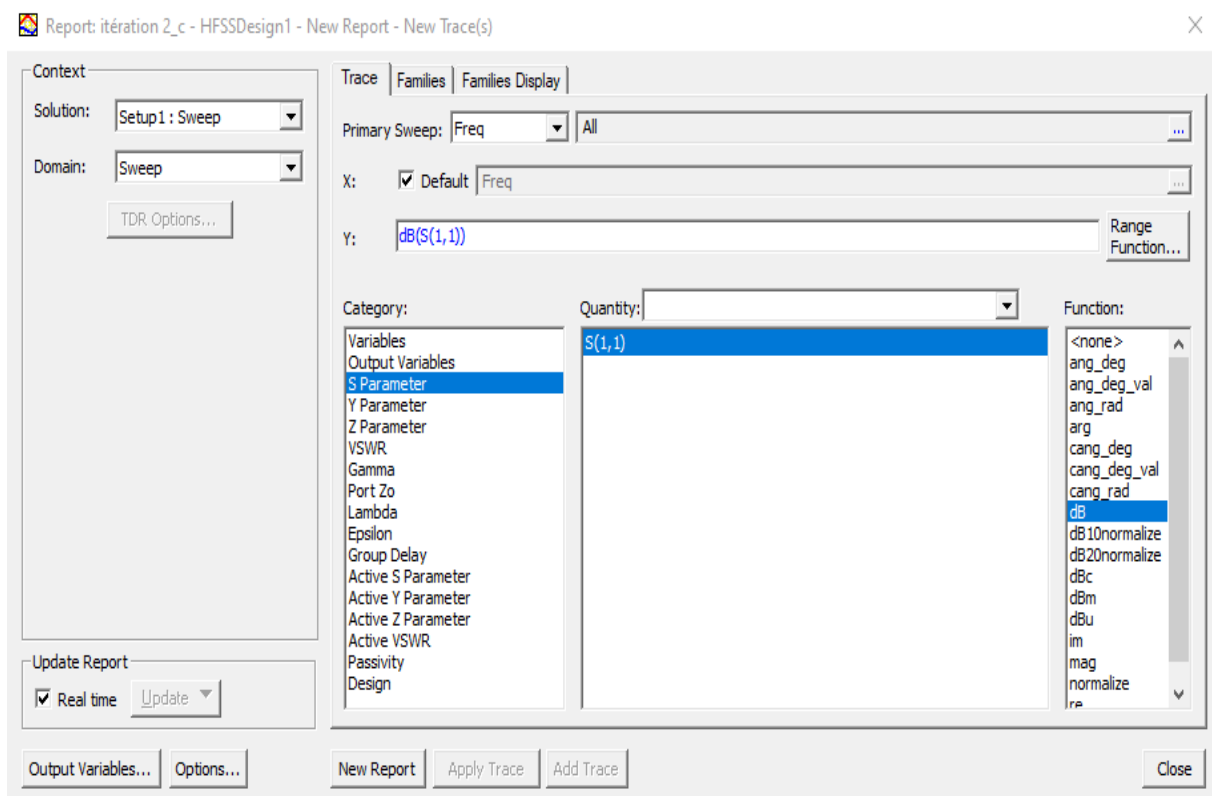


Figure III. 8: les paramètres S de l'antenne [35]

III.3.10 DIAGRAMME DE RAYONNEMENT

Pour visualiser le diagramme de rayonnement sous le logiciel HFSS on fait : on HFSS>>Radiation>>Insert Far Field Setup>>Infinif Sphère

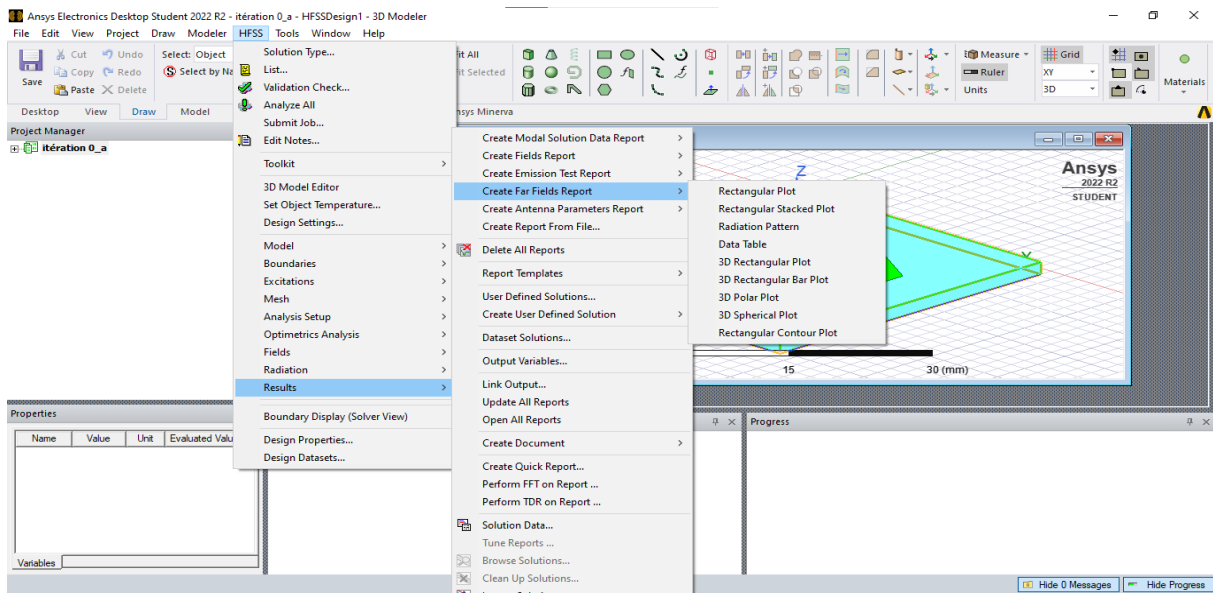


Figure III. 9: Visualisation de diagramme de rayonnement [35]

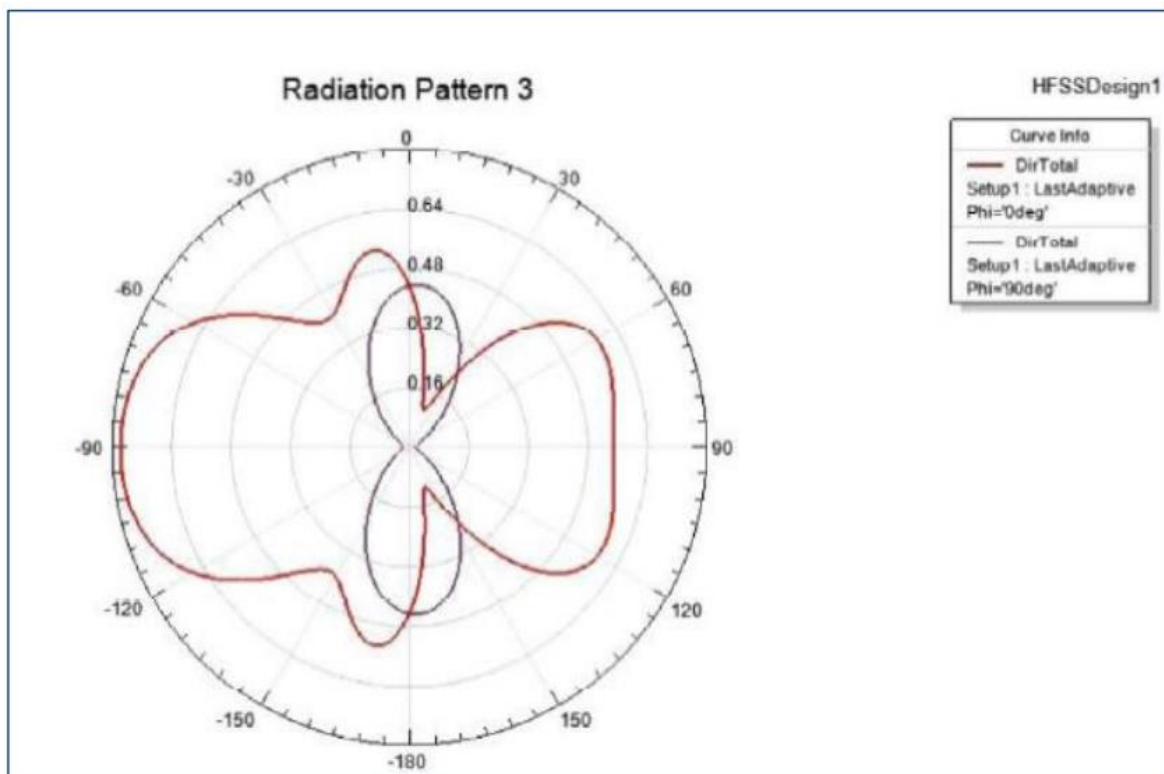


Figure III. 10: Le diagramme de rayonnement de l'antenne en $\Phi=0^\circ$ et $\Phi=90^\circ$ [35]

III.5 CONCLUSION

Nous avons donné une aperçue sur l'utilisation de logiciel HFSS (Simulateur structurel haute fréquence), et montrer ses différentes fonctionnalités. Toutes les rubriques sont classées par ordre d'exécution, ce qui simplifie la procédure de la conception.

Maitriser ce logiciel est un atout important pour un ingénieur de télécommunication spécialisé dans le domaine de microonde (les antennes, filtres, coupleurs,). Après cette description nous allons entamer à la réalisation de notre projet, c'est ce que nous verrons dans le quatrième chapitre

CHAPITRE IV

SIMULATION ET

RESULTATS

IV.1 INTRODUCTION

Après la présentation de l'état de l'art de la géométrie fractale qui a fait l'objet du second chapitre de ce mémoire, nous allons procéder dans ce présent chapitre à la conception des antennes fractales à formes fractales appliquées aux télécommunications ultra large bande de 3,1 GHz à 10,6 GHz

Les différentes simulations ont été achevées à l'aide du logiciel HFSS, où nous allons étudier les caractéristiques et les avantages des antennes basées sur ces formes fractales appliquées dans le domaine de télécommunications sans fil.

La réalisation réelle de n'importe qu'elle composant microonde nécessite une simulation puisqu'elle nous oriente vers le bon choix des paramètres statiques pour atteindre l'objectif fixé a priori ainsi que l'optimisation des résultats de simulation est nécessaire, dans le but d'améliorer le comportement électromagnétique du composant.

IV.2 PROCEDURE DE CONCEPTION

Ce chapitre a pour objectif d'orienter vers la conception et la simulation d'une antenne fractales appliquées aux télécommunications sans fil. Une structure d'antenne fractale de forme hexagonale sera étudiée où nous allons utiliser deux types d'alimentation pour comparer nos résultats, la première est par un guide d'ondes coplanaire et la deuxième par une r ligne micro ruban comme le montre les deux figures **IV.1 Et IV.2**

Pour améliorer les caractéristiques d'impédance de cette antenne, nous effectuerons un changement sur la structure en introduisant cinq éléments de forme trapézoïdaux avec sept petites fentes hexagonales symétriquement

Notre étude consiste à calculer le coefficient de réflexion S11, le VSWR et les diagrammes de rayonnements.

La simulation et réalisation de n'importe quelle structure microonde nécessitent un logiciel de calcul et des matériaux à savoir le substrat.

IV.2.1 CHOIX DE L'OUTIL DE SIMULATION

Le logiciel de simulation utilisé pour réaliser ce travail de mémoire est le logiciel commercial Ansys HFSS 3D (High Frequency simulation software).

LE HFSS permet de modéliser et de concevoir des composants hauts fréquences souvent assez complexes. C'est à partir des équations caractérisant le champ

électromagnétique que le logiciel de HFSS fonctionne.

IV.2.2 CHOIX DU SUBSTRAT DIELECTRIQUE

Les caractéristiques physiques et géométriques du substrat définissent en grande partie les performances de l'antenne, généralement, Il existe une variété de matériaux diélectriques qui peuvent être utilisés dans la conception des antennes.

Ainsi, dans le cadre de notre travail de mémoire nous avons utilisé comme substrat de type Rogers RO4350B dont son épaisseur est de 1,524 mm, avec une permittivité relative de 3,66 et une tangente de perte de 0,004.

IV.2.3 CHOIX DE LA TECHNIQUE D'ALIMENTATION

Il existe plusieurs techniques d'alimentation dans la conception des antennes à savoir l'alimentation par guide d'ondes coplanaire (fig. IV.1) et l'alimentation par ligne micro ruban (fig. IV.2).

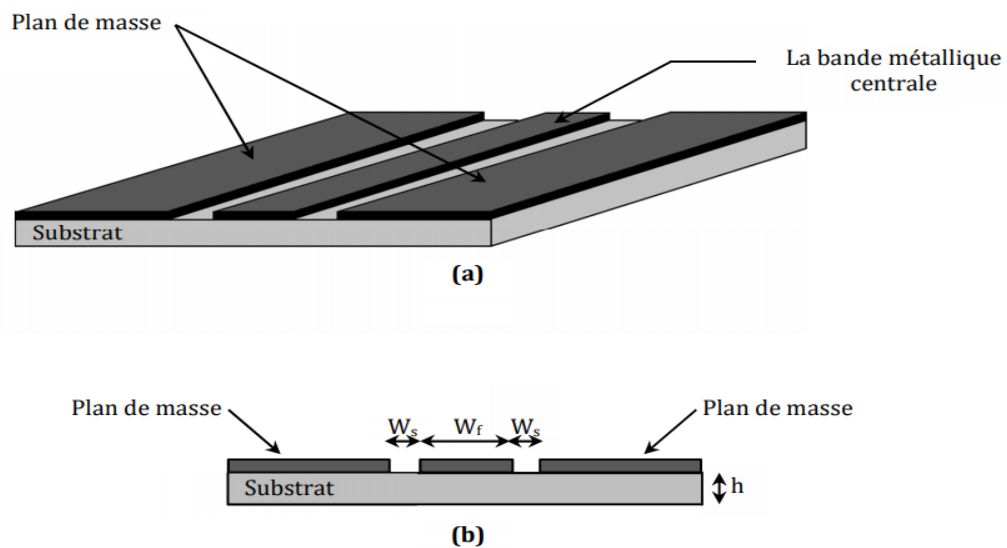


Figure IV. 1: Alimentation par guides d'ondes coplanaires

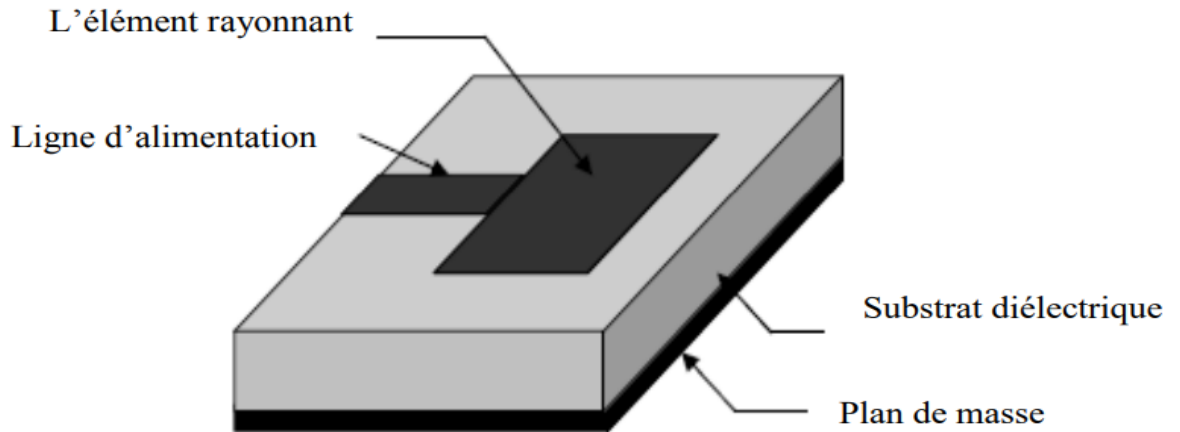


Figure IV. 2: Alimentation par ligne micro-ruban

IV.3 PRESENTAION DE LA GEOMETRIE DE L'ANTENEN PROPOSEE

Notre structure d'antenne proposée est de forme hexagone a l'itération 0, voir la figure IV.3-a, en effet Cette géométrie d'antenne est régulière dont ses côtés latéraux sont égaux de longueur $A = 11.9 \text{ mm}$, le choix de la forme hexagone a été fait en en raison de son excellence aptitude à satisfaire la nécessité d'un fonctionnement large bande.

Par la suite nous appliquons deux itérations sur la structure, il s'agit de l'itération 1 (voir figure IV.3-b) qui est obtenue en divisant la longueur initiale A de chaque côté de l'antenne en quatre parties égales (soit de largeur $B1 = A/4$). Les deux segments centriques sont remplacés par un trapèze régulier d'angle $\theta = 60^\circ$. Pour obtenir l'itération 2 on répète le même processus dur l'itération 1 (voir figure IV.3-c).

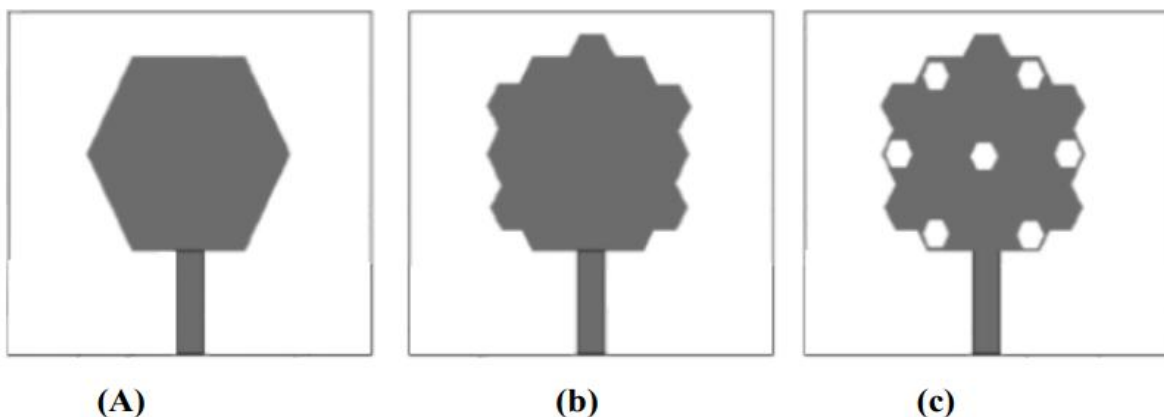


Figure IV. 3: Les trois premières itérations de la géométrie fractale proposée

Les structures proposées de la Figure IIV.3 (3 itérations) sont imprimées sur un substrat de dimensions $41 \times 35 \times 1.524 \text{ mm}$ (c'est-à-dire $W_{\text{sub}} \times L_{\text{sub}} \times h$), où Le patch

rayonnant de chaque structure est excité à partir d'un guide d'ondes coplanaires (CPW).

Les valeurs optimisées des paramètres de l'antenne fractale proposée sont indiquées dans le Tableau IV.1

<i>Paramètres</i>	<i>Dimensions (mm)</i>
A	11.5
B1	2.3
B2	4.6
h1	1.5
wf	2.9
lsub	36.5
wsub	39
b	0.5
d	0.7

Tableau IV. 1: les paramètres de l'antenne proposée.

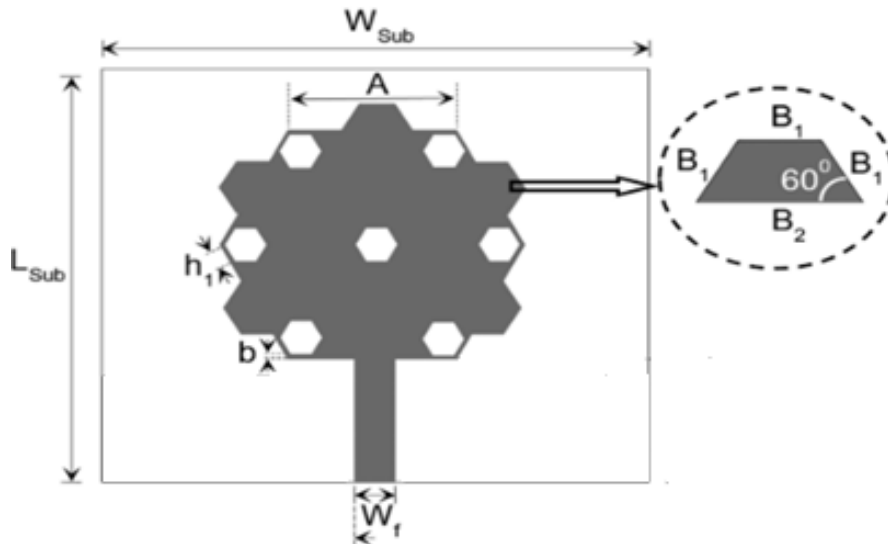


Figure I : la géométrie proposée de l'antenne

IV.4 SIMULTAION ET RESULTATS

IV.4.1 STRUCTURE 1 (ITERATION 0)

La figure ci-dessous représente notre antenne à la forme initiale

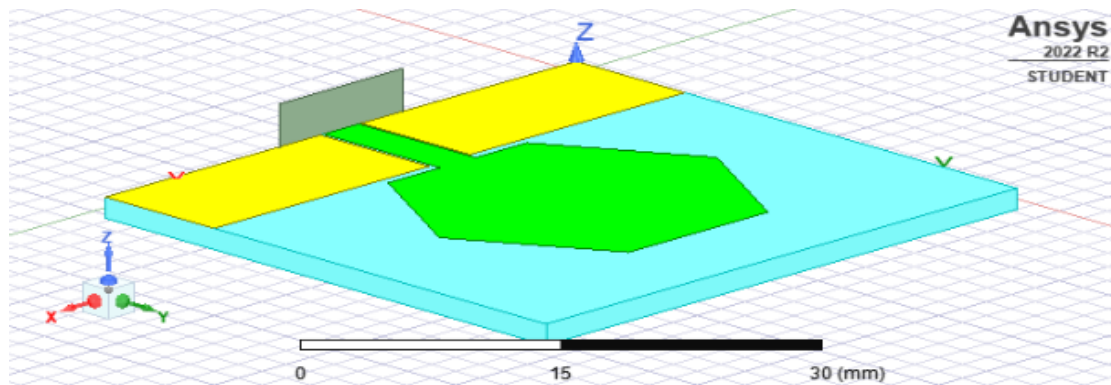


Figure IV. 4: Antenne de la forme initiale

Le résultat de simulation de cette antenne à l'aide du logiciel HFSS donnent le module de coefficient de réflexion S11 qui est illustré sur la figure IV.1.

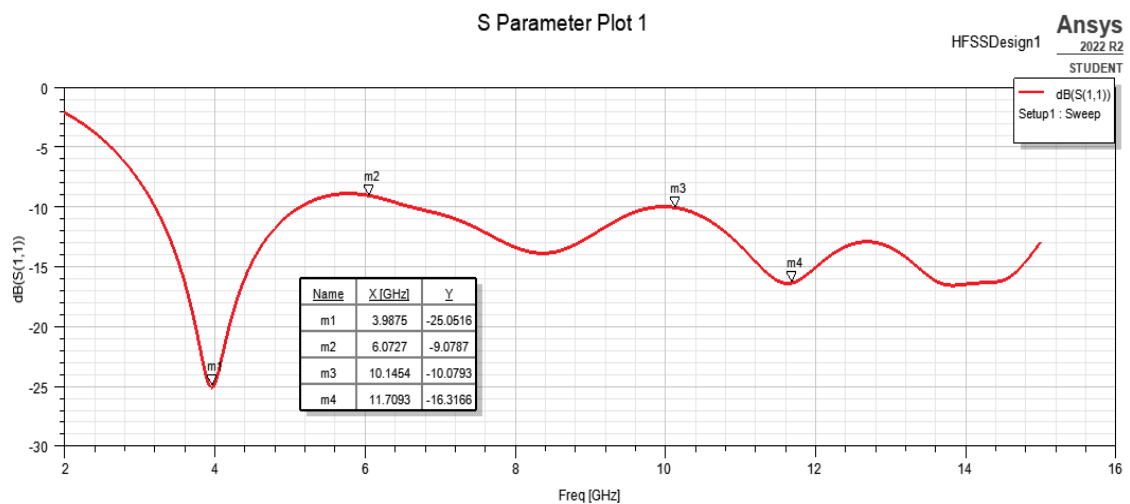


Figure II le coefficient de réflexion s11

D'après la figure IV.5, on remarque que l'antenne est adaptée dans la fréquence f égale à 4GHz, où la valeur de S11 est autour de -25dB. Ce résultat nécessite une optimisation car nous recherchons un comportement ultra large bande.

IV.4.2 ITETRATION 1

Pour voir l'effet de l'autosimilarité de la structure fractale, nous effectuons une simulation de l'antenne à l'itération 1, La figure IV.6 représente l'antenne après la modification qui consiste l'insertion de cinq petits éléments trapézoïdaux à trois côtés égaux.

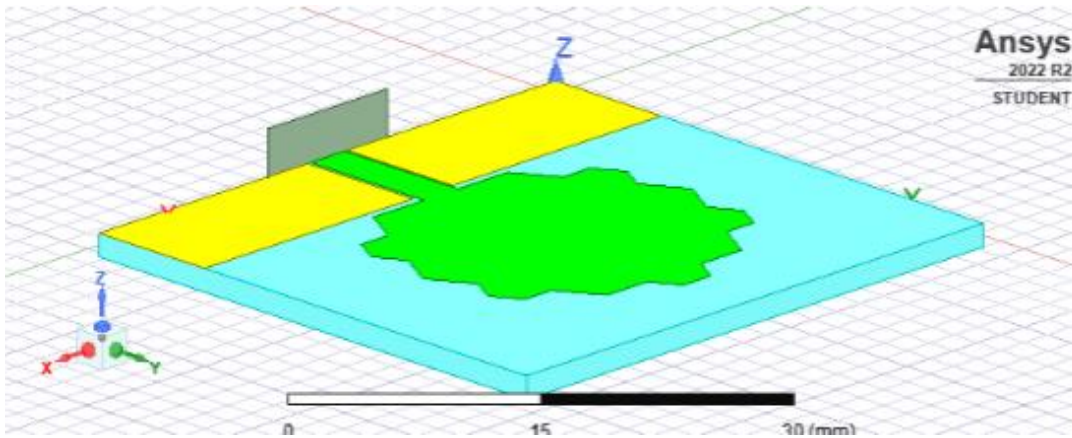


Figure IV. 5: Insertion de cinq éléments fractals trapézoïdaux

Après simulation, le résultat obtenu est donné sur la figure ci-dessous.

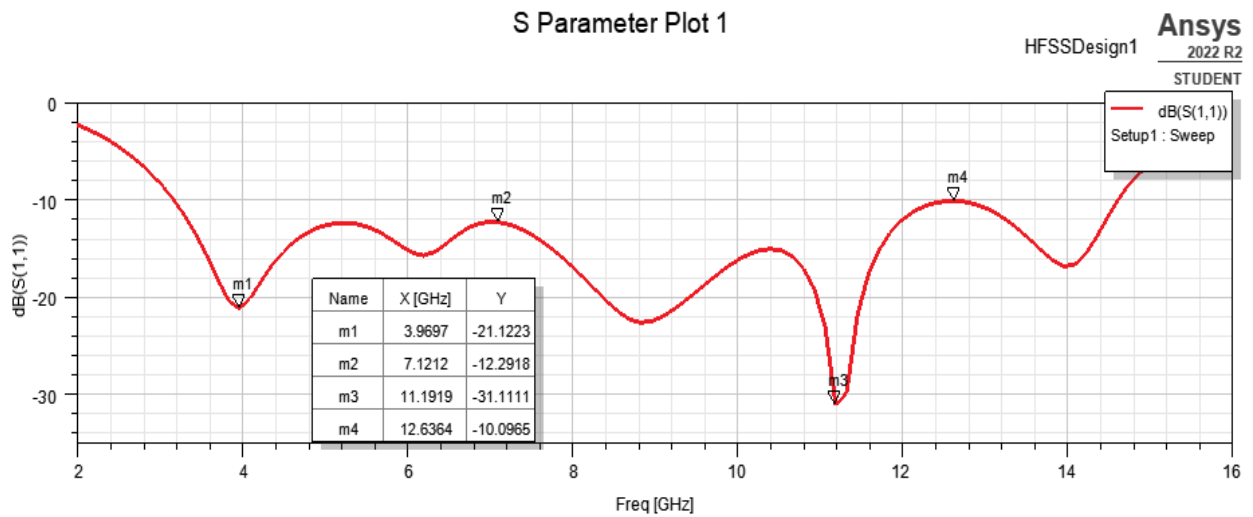


Figure III le S11 de l'antenne a l'itération 1

Nous remarquons que, Dans la plage de fréquence [3.2- 12.6 GHz], le comportement ultra large bande de notre antenne est bien clair a -10dB,

Le rapport d'onde stationnaire est illustre dans la figure IV.7, nous voyons bien que le VSWR est inferieur a 5 dans la bande de 3.2 GHz au 12GHz, et pour certaines fréquences telles que 4GHZ, 8.4GHz et 11.2 GHz le VSWR est égale à 1. Ce qui signifie une bonne adaptation.

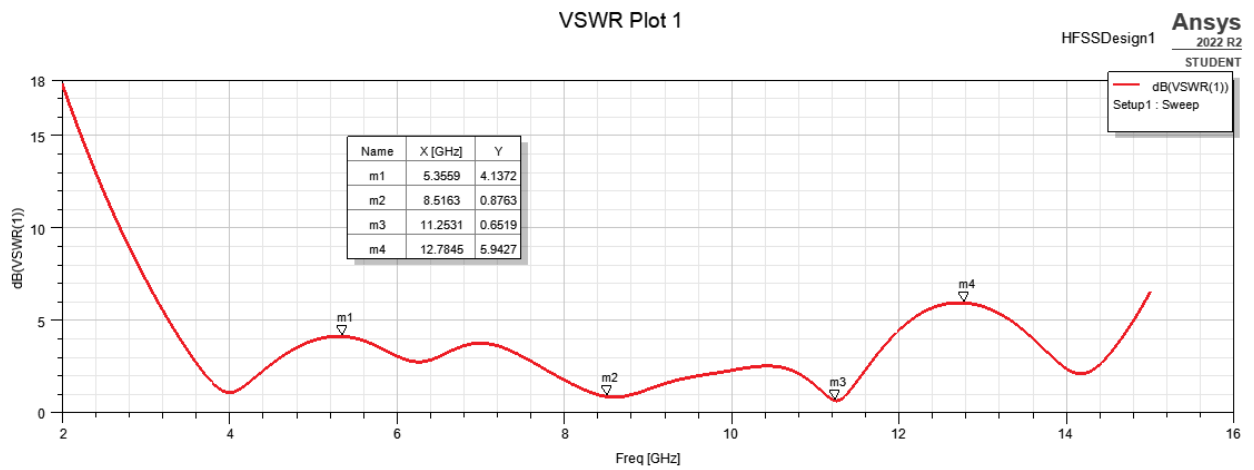


Figure IV Le rapport d'onde stationnaire VSWR

IV.4.3 ITERATION 2

Pour améliorer notre résultat, une modification sur la structure a été faite, où nous avons introduit des fentes à l'intérieur de la structure de l'antenne fractale de forme hexagone à l'itération 1.

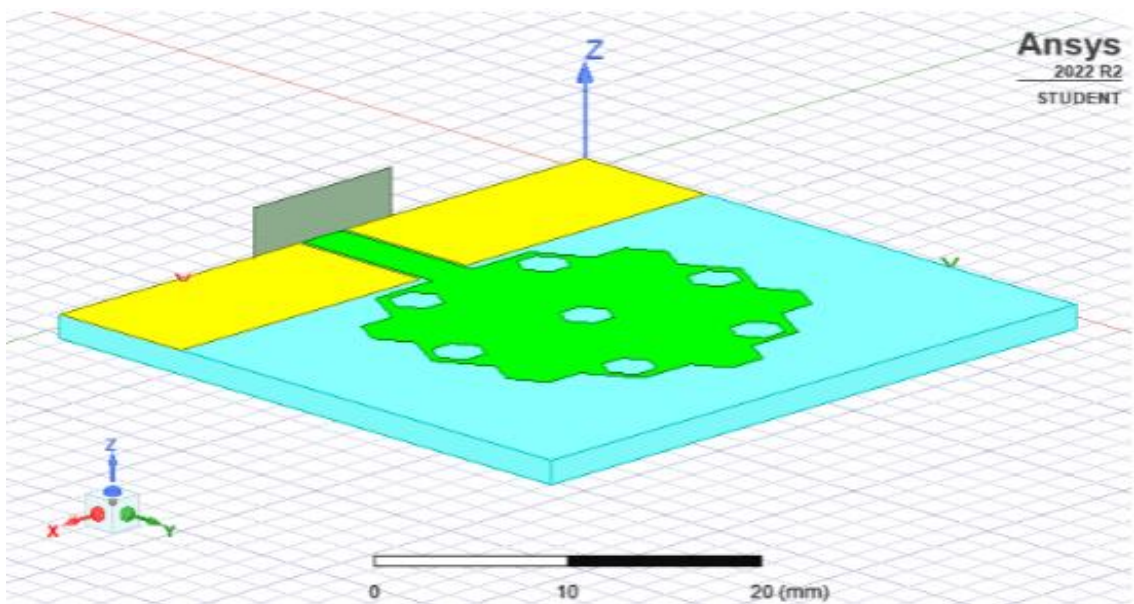


Figure IV. 6: Antenne fractale large bande avec 7 fentes.

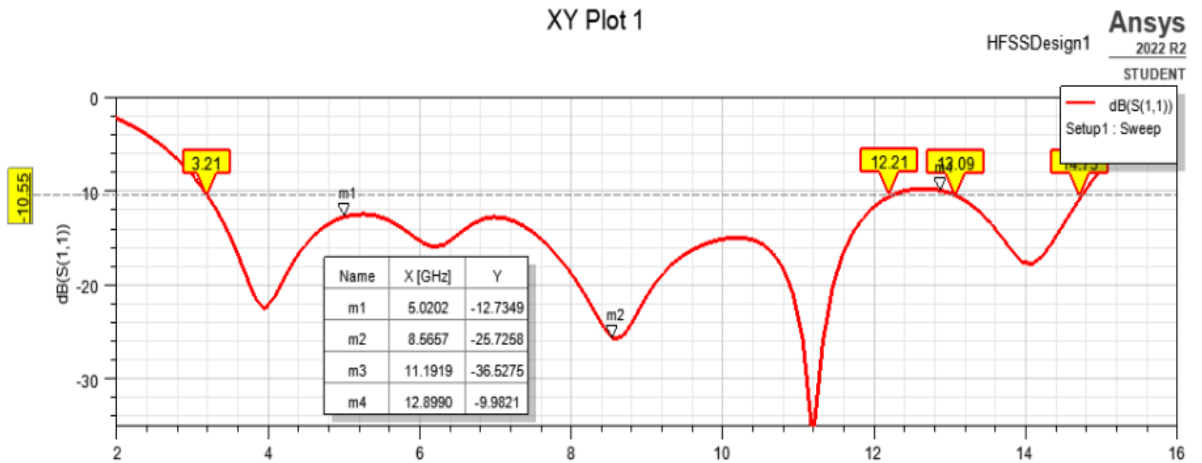


Figure V le coefficient de réflexion

La figure ci-dessous montre le coefficient de réflexion S11 de la structure simulée, à partir de ce graphe on voit bien qu’il y a un comportement très large bande à -10dB, de la fréquence 3,2 GHz à la fréquence 14,8 GHz avec une largeur de bande de 11.6 GHz. Ce qui nous permet de classer le fonctionnement de cette antenne à la bande d’ultra large bande.

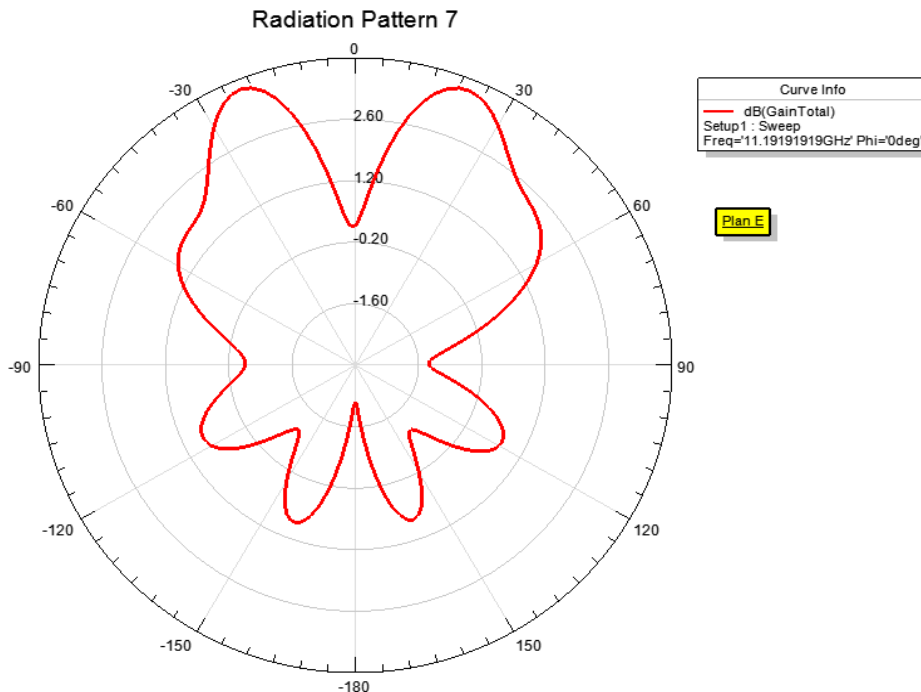


Figure IV. 7: Diagramme de rayonnement à la fréquence 11,2 GHz

Le diagramme de rayonnement de l’antenne fractale proposée dans le plan E pour la fréquence de résonance 11.2GHz est montrée dans la figure suivante. On peut observer que le

diagramme de rayonnement de cette antenne est bidirectionnel dans le plan E.

Pour voir l'effet du choix de la technique d'alimentation, nous simulons maintenant notre antenne en utilisant l'alimentation par ligne micro ruban, comme ci montrée ci-dessous.

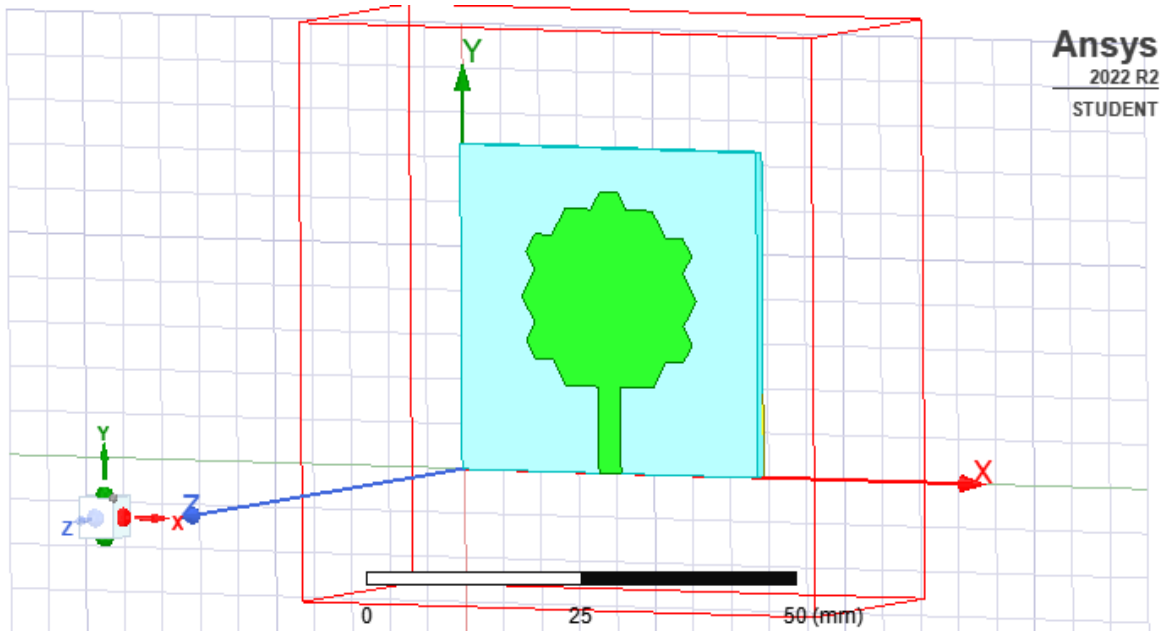


Figure IV. 8 : Antenne à l'itération 1 alimentée par ligne micro ruban

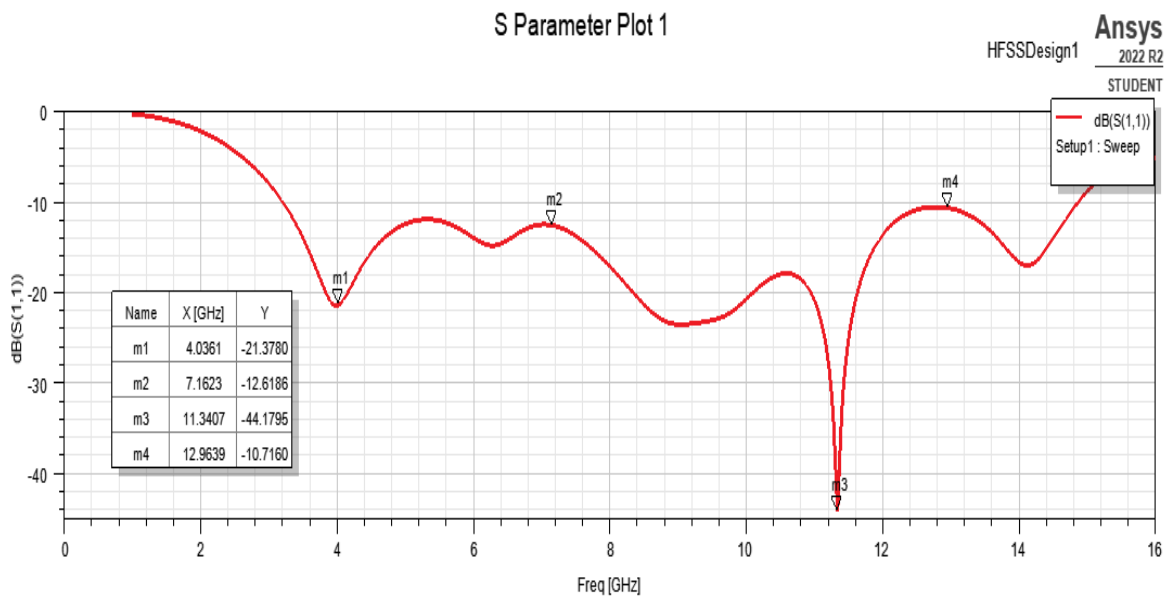


Figure VI Le S11 de l'antenne

Le résultat du coefficient de réflexion montre les caractères ultra large bande de cette antenne.

Par la suite, nous avons passé à l'itération 2 en utilisant l'alimentation par ligne micro ruban comme la montre la figure IV. 9

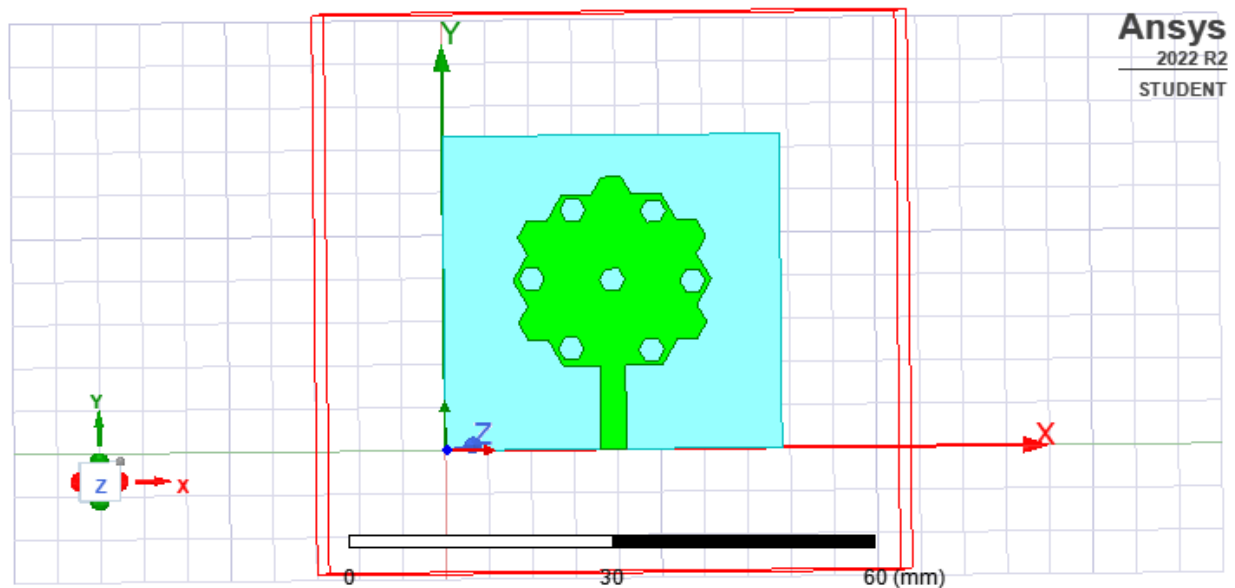


Figure IV. 10 : Structure de l'antenne a l'itération 2

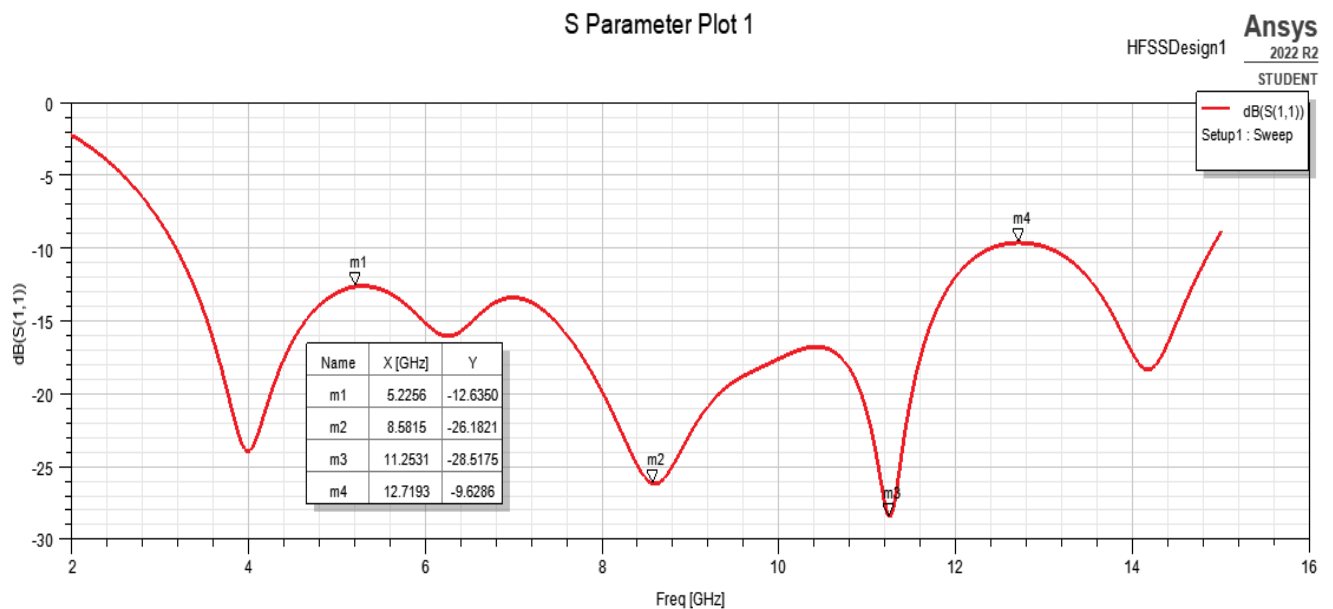


Figure VII Le coefficient de réflexion S11

Les résultats de simulation du S11 sont illustré sur la figure VIII, où nous voyons qu'il y a un comportement ultra large bande, et ce résultat reste comparable avec l'autre technique

d'alimentation qui est le guide d'onde coplanaire.

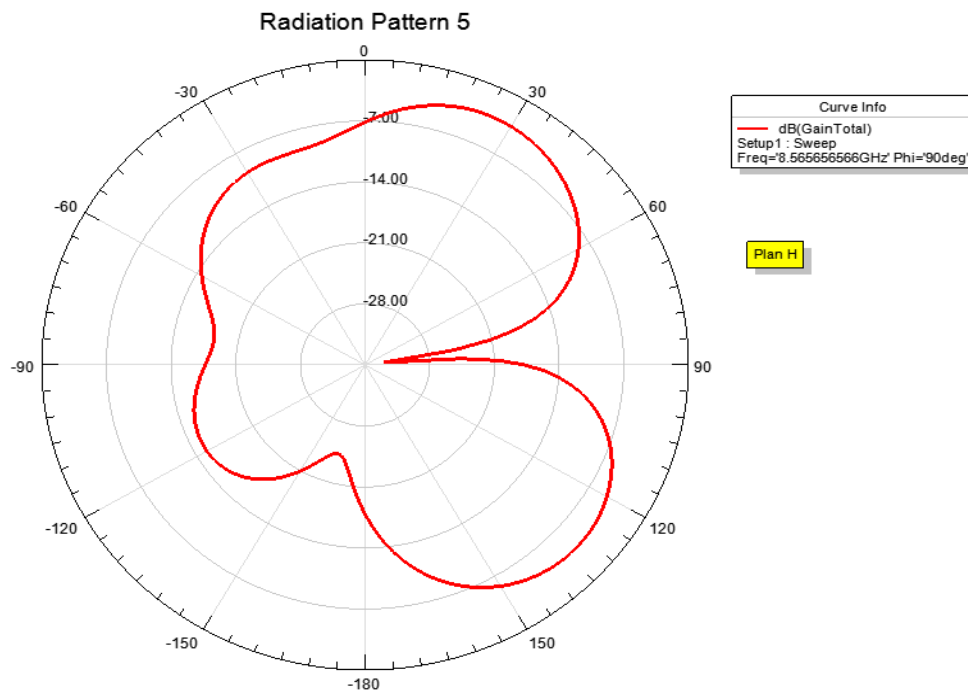


Figure IV. 11: Diagramme de rayonnement a la fréquence F=8.5GHz

Cette figure montre le comportement électromagnétique de notre antenne à la fréquence de résonance de 8,5GHz, où nous remarquons un diagramme de rayonnement bidirectionnel.

IV.5 CONCLUSION

La simulation de notre structure d'antenne fractale imprimée ultra large bande, a été effectuée dans ce chapitre, notre structure est de forme hexagonale avec des éléments fractals supplémentaire qu'on a pu avoir en réalisant en premier lieu une itération sur l'antenne de référence et en introduisant des fentes à l'intérieur de notre structure en deuxième étape.

Les résultats obtenus montrent un comportement ultra large bande et des bonnes performances en termes de coefficient de réflexion et de diagramme de rayonnement, en comparant avec les antennes classiques et cela est dû à la propriété d'autosimilarité qui caractérise ce type d'antenne.

CONCLUSION

GENERALE

CONCLUSION GENERALE

La géométrie fractale a attiré beaucoup d'attention par des chercheurs depuis la création du concept fractal par l'inventeur Benoît Mandelbrot dans son livre publié en 1975.

Cette forme a été utilisée dans le domaine de micro-onde pour la conception des antennes plus performantes en termes de la bande passante large, gain élevé et une taille petite.

Les différentes simulations ont été effectuées sous le logiciel 3D, HFSS, ce logiciel est basé sur la méthode des éléments fini, et qui permet d'analyser les différentes structure planaires, il reste comparable aux autres logiciels tels que : CST, l'ADS, FEKO, etc.

Le comportement large bande a été met en évidence après le calcul du coefficient de réflexion S11 de la structure de l'antenne proposée à géométrie fractale, ce qui nous permet de conclure que la propriété d'autosimilarité favorise le fonctionnement large bande et multi bande des antennes.

Ce travail a montré l'avantage d'utiliser la géométrie fractale dans la conception des antennes fractales, en raison de leurs performances en termes d'adaptation sur une bande large à savoir ultra large.

Comme suite à notre travail, il serait intéressant de prendre en considération les éléments suivants :

- Utiliser la technique fractale pour la conception des autres types d'antennes telles que MIMO.
- Mettre l'antenne fractale sous forme réseaux d'antennes pour des applications sans fil.

Résumé

La technique fractale a été récemment utilisée pour concevoir des antennes à comportement multi bande et ultra large bande (ULB).

Dans le cadre de ce travail, nous avons étudié une structure d'antennes fractales pour les applications ULB. La forme d'antenne fractale proposée consiste essentiellement en un élément rayonnant hexagonal alimenté par un guide d'ondes coplanaire CPW.

Pour améliorer les caractéristiques d'impédance de ces antennes, nous avons introduit la technique fractale sur les structures étudiées. Ces structures ont été simulés à l'aide du logiciel numeic-3D, HFSS, et les résultats de simulation obtenus ont été interprétés et montrent que le concept proposé fournit une bande passante ultra-large.

Abstract

The fractal technique has recently been used to design antennas with multi-band and ultra-wideband (ULB) behavior.

In this work, we have investigated a fractal antenna structure for ULB applications. The proposed fractal antenna shape essentially consists of a hexagonal radiating element fed by a coplanar CPW waveguide.

To improve the impedance characteristics of these antennas, we introduced the fractal technique on the structures studied. These structures were simulated using the numeic-3D software, HFSS, and the simulation results obtained were interpreted to show that the proposed concept provides ultra-wide bandwidth.

ملخص

تم استخدام تقنية الفركتل مؤخرًا لتصميم هوائيات ذات سلوك متعدد النطاقات وعريضة النطاق للغاية كجزء من هذا العمل ، لقد درسنا هيكل الهوائيات الكسورية للتطبيقات عريضة النطاق. يتكون شكل الهوائي الفركتلي المقترح أساسًا من عنصر إشعاع سداسي الشكل يغذيه دليل موجي متحد المستوى ، لتحسين خصائص المعاوقة لهذه الهوائيات ، أدخلنا تقنية الفركتل على الهياكل المدروسة. تمت محاكاة هذه الهياكل باستخدام البرنامج العددي ثلاثي الأبعاد وقد تم تفسير نتائج المحاكاة التي تم الحصول عليها وتبين أن المفهوم المقترح يوفر نطاق ترددي واسع للغاية

**REFERENCE ET
BIBLIOGRAPHIE**

REFERENCES ET BIBLIOGRAPHIES

- [1] Odile Picon, Laurent Cirio, Christian Ripoll, Geneviève Baudoin, Jean-François Bercher et al “LES ANTENNES : Théorie, conception et applications”.-2009
- [2] J. Zhu, A. Hoorfar, N. Engheta, “Bandwidth, Cross -Polarization, and Feed-Point Characteristics of Matched Hilbert Antennas”, IEEE Antennas and Wireless Propagation
- [3] GROSSE, C TIRADO “Animating field lines“. Education, IEEE Transactions on. Vol. 39, Issue 1, Feb. 1996.
- [4] Jean-Marc laheurte, ”petites antennes communication sans fil et terminaux ”. 2009
- [5] STALLING “Fast display of illuminated field lines». Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on. Vol. 3, Issue 2, Jun 1997
- [6] N. Fortino, « conception et caractérisation d’antenne imprimées pour les systèmes Ultra-large-Bande impulsionnels», thèse de doctorat, a l’université de Nice Sophia Antipolis-2006
- [7] Radartutorial.eu Editeur : Christian Wolff
- [8] Ameziane Djamel “conception et optimisation des antennes fractales plaquées». Mémoire de Magister de Télécommunications Année universitaire 2008-2009
- [9] Josiane la joie, «la géométrie fractale », mémoire présenté à l’université du Québec Juin 2006
- [10] Hafedh Ben IBRAHIM GAHA « Analyse et Conception des Antennes Fractales Applications aux Télécommunications Large Bande », THESE présentée pour obtenir le titre de docteur de l’institut national polytechnique de Toulouse (France) juillet 2007
- [10] Benoit. Mandelbrot, “The fractal geometry of nature”, New York, W.H. Freeman and Company, 1975.
- [11] K.J. Vinoy, “Fractal shaped antenna elements for wide- and multi- band wireless applications”. A thesis in Engineering science and mechanics, submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy the Pennsylvania state University the graduate school College of engineering, August 2002.
- [12] Ameziane Djamel “conception et optimisation des antennes fractales plaquées”. Mémoire de Magister de Télécommunications Année universitaire 2008-2009
- [13] Hafedh ben Ibrahim Gaha “Analyse et conception des antennes fractales applications à la

télécommunication large bande” Thèse de doctorat juillet 2007

[14] LAKSARI, Y, AUBERT, H.: Lacunarité de fractal super lattices: à remote estimation using wavelets. Antenna and Propagation, IEEE Transactions on April 2005

[15] Josiane Lajoie “la géométrie fractale” mémoire présenté à l’université de Québec Juin 2006

[16] John Gianvittorio, “Fractal antennas Design, characterisation, and applications”, A thesis submitted in partial satisfaction of the requirements for the degree master of science in electrical engineering, university of California, Los Angeles, 2000

[17] Journal of Engineering Technology July, 2017, a Journey of Antenna from Dipole to Fractal: A Review, Narinder Sharma and Vipul Sharma

[18] A. REHA, Le Comportement Des Antennes Fractales De Types « Courbe De Sierpinsky», Méditerranéen Télécommunications Journal, , June 2016.

[19] Von Koch, Helge (1904). "Sur une courbe continue sans tangente, obtenu par une construction géométrique élémentaire». Arkiv för matematik, astronomi och fysik (en français).

[20] D.H. Werner, “Fractal Radiators”, proceedings of the 4 th annual 1994, MOHAWK valley section dual-use technologies and applications conference, volume i, Suny institute of technology at Utica/Rome, New York, May 23-26

[21] N. Cohen, “Fractal antennas, part 1”, communications quarterly, summer 1995, pp 7-22.

[22] N. Cohen, “Fractal antennas, part 2”, communications quarterly, summer 1996, pp 53-66.

[23] Puente, J. Romeo, R. Pous, J. Ramis, and A. Hijazo, “Small but long Koch fractal monopole”, IEE electronics letters, 34, 1, January 1998, pp 9-10.

[24] C.Puente, J. Romeu, R. Pous and A. Cardama, “The Koch monopole: a small fractal antenna”, IEEE transactions on antennas and propagation, AP-48, 11, November 2000, pp 1773-1781.

[25] Lora Schulwitz, “The small Koch fractal monopole: theory, design and applications”, electrical engineering and computer science, University of Michigan.

[26] P. Tang, “Scaling property of the Koch fractal dipole”, IEEE international symposium on antennas and propagation digest volume 3, Boston, Massachusetts, July 2000

[27] N. Cohen, “Are fractals naturally frequency invariant/independent”, 15 th annual review of progress in applied computational electromagnetic, volume i, naval post graduate school, Monterey, CA, March 1999

[28] Puente, C, Romeo, J., bartoleme, R, and Pous, R “Perturbation of the Sierpinsky antenna to allocate operating bands” 1996

- [29] Ay-fang E. Yang” A thesis submitted in partial satisfaction of the requirements for the degree master of science in electrical engineering, university of California, Los Angeles, 2000
- [30] P. Tang, « Scaling property of the Koch fractal dipole », IEEE international symposium on antennas and propagation digest volume 3, Boston, Massachusetts, July 2000.
- [31] Salvans, M.Q, Pous, R. (1996). “Multiband properties of a fractal tree antenna generated by electrochemical deposition.” Electronics Letters, 1996
- [32] Puente, C, Romeu, J, Pous, R, Garcia, X, Benitez, F. (1996): “Fractal multiband antenna based on the Sierpinski gasket.” Electronics Letters
- [33] S.R.B “The fractal loop antenna a comparison of fractal and non-fractal geometries”, IEEE international symposium on antenna and propagation digest, volume 3, Boston,
- [34] El-Shaarawy, H. B., F. Coccetti, R. Plana, M. El Said, and E. A. Hashish, “Compact band pass ring resonator filter with enhanced wide-band rejection characteristics using defected ground structures,” IEEE Microwave and Wireless Components Letters 2008.
- [35] Hamid Megedadi, Jean-Charles Paux, "Simulation 3D HFSS de filtres", FTI.2.2006.