

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Télécommunications

Spécialité : Réseaux et Télécommunication

Par :

Bennabi Mohamed

Beyoud Azzeddine

Thème

**Etude et conception d'antennes PIFAs fractales quadribandes pour
les différents systèmes de communication sans fils**

Soutenu publiquement, le 29 / 09 / 2022 , devant le jury composé de :

Mr Abri Mehadji	Professeur	Univ de Tlemcen	Président
Mme Bousalah Fayza	MCA	Univ de Tlemcen	Examinatrice
Mr Boukli Hacene Noureddine	Professeur	Univ de Tlemcen	Encadrant
Mr Zemam Youcef	Doctorant	Univ de Tlemcen	Co-Encadrant

Dédicaces

À nos chers *parents*, pour **tous** leurs sacrifices, amour, affection, soutien et prières tout au long de nos études,

À nos chères *sœurs* pour leur encouragement constant et leur soutien moral, À nos *frères* chers à les soutenir et à les encourager,

À toute notre *famille* pour leur soutien tout au long de notre carrière universitaire,

Pour tous nos camarades de classe “ *systèmes de communications* ”

À toute la *famille universitaire*,

Nous transmettons cet humble message sans oublier *l'encadreur* qui mérite un dévouement particulier à ses efforts .Ainsi que notre co- encadrant qui nous ont consacrés à la réussite de ce travail,

Nous espérons que ce travail permettra de tenir vos promesses présumées et les fuites infaillibles de soutien,

Merci d'être toujours là pour nous.

*Beyoud
Bennabi*

Remerciements

Nous remercions tout d'abord Allah , le clement , le miséricordieux , pour l'achèvement de ce mémoire.

Nous adressons nos remerciements à notre encadrant Monsieur Boukli Hacene Noureddine , professeur à l'université de Tlemcen , ainsi que notre co-encadrant Monsieur Zemam Youcef, doctorant à l'université de Tlemcen , pour leur conseils et suggestions avisés qui nous ont aidés à mener à bien ce travail .

Nous remercions aussi à Madame Zemam Hadjira pour l'aide apportée dans la réalisation de ce mémoire .

Nous exprimons notre gratitude à Monsieur Abri Mehadji , professeur à l'université de Tlemcen , d'avoir accepté de presider le jury de ce mémoire.

Nous remercions aussi Madame Bousalah Fayza , maitre de conférences "A" à l'université de Tlemcen , d'avoir accepté d'examiner ce travail .

Résumé

Le domaine des systèmes de communication a connu un développement conséquent et rapide au cours des dernières décennies, et pour cela tous système de communication fonctionnel doit être qualifié performant et de taille miniature.

Dans un système de communication, les antennes , principaux composants d'une chaîne de transmission sans fil , sont des composants à part entière nécessitant une étude particulière . Tout en cherchant à améliorer les performances d'une antenne, on doit l'adapter aux applications les plus récentes.

La diversité des standards de communications sans fils ont créés un besoin pressant pour des antennes multifréquences permettant notamment d'assurer la compatibilité des différentes normes ou accéder à de nombreux services à partir du même appareil et qui répondent également aux contraintes de multiplication de bandes de fréquences .

Le principal objectif de ce travail est la conception et l'étude d'antennes pifa fractales quadribandes assurant des fonctionnalités pour plusieurs applications en même temps et appliquées notamment aux différents systèmes de communications sans fils.

Mots clés : Antenne PIFA fractale, conception, quadri bandes, systèmes de communication sans fils, cst studio 2014, antenne miniatures, multi-bandes.

Abstract

The field of communication systems has known a consequent and rapid development during the last decades, and for this all functional communication system must be qualified efficient and of miniature size.

In a communication system, antennas are the main components of a wireless transmission chain , are components in their own right requiring special study while seeking to improve the performance of an antenna, it must be adapted to the most recent applications.

The diversity of wireless communication standards have created a pressing need for multi-frequency antennas, in particular ensuring the compatibility of different standards or accessing numerous services from the same device and which also meet the constraintsof multiplying frequency bands.

The main objective of this work is the design and study of quad-band fractal pifa antennas which provide functionality for several applications at the same time and applied in particular to different wireless communication systems.

Keywords: Fractal PIFA antenna, design, quad bands, wireless communication systems, CST studio 2014, miniature antenna, multi-band

المخلص

تطور مجال الاتصالات بسرعة في العقود الأخيرة ، و لهذا يجب أن تكون جميع أنظمة الاتصالات الوظيفية مؤهلة و ذات حجم صغير .

في نظام الاتصالات ، تكون الهوائيات المؤلفات المبدئية من سلسلة الارسال بلا ملفات ، هي عبارة عن مكونات كاملة تتطلب دراسة خاصة مع السعي وراء تحسين أداء هوائي يجب تكييفه مع أحدث التطبيقات . أدى تنوع معايير الاتصالات اللاسلكية الى خلق حاجة ملحة للهوائيات متعددة الترددات ، و لاسيما ضمان توافق المعايير المختلفة أو الوصول الى العديد من الخدمات من نفس الجهاز و التي تلبي أيضا قيود مضاعفة نطاقات التردد .

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو تصميم هوائيات pifa النقطية رباعية النطاق والتي تضمن وظائف للعديد من التطبيقات في نفس الوقت و تطبيقها بشكل خاص على أنظمة الاتصالات اللاسلكية المختلفة .

الكلمات المفتاحية : هوائي مصغر ، تصميم رباعي النطاقات ، أنظمة اتصالات لاسلكية ، متعدد الموجات ،

PIFA Fractal ، Cst Studio 2014

Table des matières

Remerciements

Résumé

Introduction générale1

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES ANTENNES ET LES SYSTEMES COMMUNICANTS

I.1 INTRODUCTION 3

I.2 DEFINITION.....3

I.3 PARAMETRES CARACTERISTIQUES D'ANTENNE..... 4

I.3.1 L'impédance d'entrée4

I.3.2 Polarisation.....5

I.3.2.1 Polarisation rectiligne ou linéaire6

I.3.2.2 Polarisation circulaire 6

I.3.2.3 Polarisation elliptique..... 7

I.3.3 Le diagramme de rayonnement..... 8

I.3.4 Angle d'ouverture 8

I.3.5 Directivité et gain 9

I.3.6 Bande passante 10

I.3.7 Le coefficient de réflexion et taux d'onde stationnaire (TOS)10

I.4 DIFFÉRENT TYPE D'ANTENNE11

I.4.1 Antenne dipolaire et filaire 11

I.4.2 Les antennes patch.....11

I.4.3 Les antennes à résonateurs diélectriques..... 12

I.5 ANTENNES MINIATURES13

I.5.1 Définition..... 13

I.5.2 les paramètres et les limites fondamentales de l'AEP (directivité, efficacité de Rayonnement, facteur de qualité)	14
I.5.2.1 Définition du facteur de qualité	15
I.5.3 Les techniques de miniaturisation	15
I.5.3.1 Substrat a haute permittivité.....	15
I.5.3.2 Les méta matériaux	16
I.5.3.3 Ajout de court-circuit-antenne PIFA	16
I.5.3.4 Ajout de fentes dans l'élément rayonnant.....	17
I.5.3.5 Repliement des éléments	17
I.5.3.6 l'utilisation des fentes fractales	18
I.6 TECHNOLOGIE DES RESEAUX SANS FILS	20
I.6.1 Bluetooth	20
I.6.2 Wifi.....	20
I.6.3 Wimax	20
I.6.4 Réseaux cellulaires (2G, 3G, 4G, 5G)	21
I.7 CONCLUSION	22

CHAPITRE II : ANTENNES PIFAs FRACTALES MULTIBANDES

II.1 INTRODUCTION	25
II.2 ANTENNES PIFAs	25
II.2.1 Evolution de l'antenne PIFA	25
II.2.1.1 Antennes filaires.....	25
II.2.1.1.1 Antenne dipolaire.....	25
II.2.1.1.2 Antenne mono polaire	26
II.2.1.1.3 Antennes ILA et IFA.....	28
II.2.2 Caractéristiques radioélectrique de l'antenne PIFA.....	29
II.2.2.1 Distribution de champ électrique.....	29
II.2.2.2 Distribution du courant	29

II.2.2.3 L'effet des paramètres de substrat.....	29
II.2.3 Avantages et inconvénients de l'antenne PIFA	30
II.2.4 Techniques pour augmenter la largeur de bande	30
II.3 GÉOMETRIE FRACTALE	31
II.3.1 Définition des fractales	31
II.3.2 Les différentes formes fractales	31
II.3.2.1 Les courbes fractales.....	31
II.3.2.1.1 La courbe de Koch.....	31
II.3.2.1.2 Les fractales de Hilbert et Peano.....	32
II.3.2.1.3 Fractal de Minkowski	34
II.3.2.2 Les surfaces fractales.....	34
II.3.2.2.1 Le triangle de SIERPINSKI.....	34
II.3.2.2.2 Le tapis de SIERPINSKI	35
II.3.2.2.3 L'étoile de Koch... ..	35
II.3.2.3 Les volumes fractales	36
II.3.2.3.1 Le tétraèdre de Sierpinski	36
II.3.2.3.2 L'éponge de Sierpinski Menger.....	37
II.3.3 Applications des formes fractales	37
II.4 LES ANTENNES MULTI BANDES	38
II.4.1 Définition.....	38
II.4.2 Nécessité.....	39
II.4.3 Les différentes techniques multi bandes.....	39
II.4.3.1 Combinaison de plusieurs éléments rayonnants.....	40
II.4.3.2 Technique de fente.....	40
II.4.3.3 Technique fractale.....	41
II.5 CONCLUSION	41

CHAPITRE III : CONCEPTION D'ANTENNES PIFAs FRACTALES QUADRIBANDES

III.1 INTRODUCTION	44
III.2 PRÉSENTARION DE L'OUTIL DE SIMULATION	44
III.3 ANTENNE PIFA CONVENTIONNELLE	45
III.4 CONCEPTION DE L'ANTENNE PIFA FRACTALE QUADRI BANDES	46
III.4.1 Géométries et dimension de l'antenne PIFA fractale.....	46
III.4.2 Résultat	47
III.4.3 Etude et optimisation de l'antenne PIFA fractale	50
III.4.4 L'effet des paramètres géométriques de la fente fractale sur l'antenne PIFA	50
III.5 PRÉSENTATION ET DISCUSSION DU RESULTAT FINAL DE LA SIMULATION	51
III.6 CONCLUSION	58
CONCLUSION GENERALE.....	60

Listes des figures

<i>Fig. I.1 .Antenne d'émission et antenne de réception</i>	<i>3</i>
<i>Fig. I.2 .Les antennes paraboliques.....</i>	<i>4</i>
<i>Fig. I.3.Impédance d'entrée</i>	<i>5</i>
<i>Fig. I.4 .Polarisation rectiligne.....</i>	<i>6</i>
<i>Fig. I.5 Polarisation circulaire</i>	<i>7</i>
<i>Fig. I.6 .Polarisation elliptique</i>	<i>7</i>
<i>Fig. I.7 . Représentation du diagramme de rayonnement d'une antenne.....</i>	<i>8</i>
<i>Fig. I.8 .Représentation d'angle d'ouverture</i>	<i>9</i>
<i>Fig. I.9 .Bande passante</i>	<i>10</i>
<i>Fig. I.10 .Antenne dipolaire Micro HF</i>	<i>11</i>
<i>Fig. I.11 Antenne patch</i>	<i>12</i>
<i>Fig. I.12 Antenne a résonateurs diélectriques.....</i>	<i>13</i>
<i>Fig. I.13 Antenne miniature</i>	<i>14</i>
<i>Fig. I.14 .Les méta matériaux</i>	<i>16</i>
<i>Fig. I.15 Géométrie d'une antenne PIFA.....</i>	<i>17</i>
<i>Fig. I.16. Antenne PIFA – a : avec court-circuit plan, b : avec languette court-circuit</i>	<i>16</i>
<i>Fig. I.17 Exemple d'une antenne méandres" sans son plan de masse"</i>	<i>18</i>
<i>Fig. I.18 .Procédure de conception d'une fractale selon la géométrie de Koch.....</i>	<i>19</i>
<i>Fig. I.19 .Standard de Sierpinski appliquée à un dipôle</i>	<i>19</i>
<i>Fig. I.20. Bluetooth.....</i>	<i>20</i>
<i>Fig. I.21. WIFI.....</i>	<i>20</i>
<i>Fig. I.22 .Le réseaux WIMAX.....</i>	<i>21</i>
<i>Fig. II.1. Diagramme de rayonnement d'une antenne dipôle.....</i>	<i>26</i>
<i>Fig. II.2. Antenne monopole.....</i>	<i>26</i>
<i>Fig. II.3. Exemples de produits mettant en œuvre des monopoles.....</i>	<i>27</i>
<i>Fig. II.4 .Monopole quart d'onde.....</i>	<i>27</i>
<i>Fig. II.5. Géométrie d'une antenne ILA</i>	<i>28</i>
<i>Fig. II.6 .Géométrie d'une antenne IFA</i>	<i>28</i>
<i>Fig. II.7 .Courbe de Koch.....</i>	<i>32</i>
<i>Fig. II.8. Courbe de Hilbert.....</i>	<i>32</i>
<i>Fig. II.9. Première itération de la géométrie.....</i>	<i>33</i>
<i>Fig. II.10. Forme géométrique après plusieurs itérations.....</i>	<i>33</i>

Fig. II.11. Génération de la fractale de Minkowski	34
Fig. II.12. Le triangle de Sierpinski	35
Fig. II.13. Le tapis de sierpinski.....	35
Fig. II.14. Génération d'une étoile de Koch.....	36
Fig. II.15. Le tétraèdre de sierpinski	36
Fig. II.16. L'éponge de Sierpinski Menger	37
Fig. II.17. Antenne verticale multi bande.....	39
Fig. II.18. Divers types d'éléments rayonnants	40
Fig. II.19. Différents types d'antennes fractales.....	41
Fig. III.1. Cst Studio 2014	45
Fig.III.2 Antenne sans fractale.....	46
Fig.III.3 Antenne PIFA fractales quadribandes dans le rédacteur de CST microwave studio.	47
Fig. III.4 coefficient de reflexion de l'antenne sans fractales	47
Fig. III.5 Variation de coefficient de reflexion en fonction de e	48
Fig. III.6. Variation de coefficient de reflexion en fonction de h	48
Fig. III.7. Variation de coefficient de reflexion en fonction de L1	49
Fig. III.8. Variation de coefficient de reflexion en fonction de L2.....	49
Fig. III.9. Variation de coefficient de reflexion en fonction de la largeur des fentes.....	49
Fig. III.10. Variation du coefficient de réflexion on fonction de la fréquence pour différentes valeurs de la largeur de la fente.....	50
Fig.III.11. Coefficient de réflexion pour différentes valeurs de la longueur de la fente fractale.	50
Fig.III.12. s11 d'antenne finale	51
Fig.III.13. VSWR de l'antenne finale.....	52
Fig.III.14. gain de l'antenne pour les frequences (a) 0.99ghz, (b)1.82ghz, (c)2.67ghz,(d)4.34 Ghz	53
Fig. III.15. directivité de l'antenne pour les frequences (a) 0.99ghz plan E,(b) 0.99 ghz planH (c)1.82 ghz plane ,(d)1.82 ghz plan H,(e) 2.67 ghz plan E, (f) 2.67ghz plan H,(g) 4.34 ghz plan E (h) 4.34 ghz planH.....	56
Fig. III.16. Diagrammes de rayonnement en 3D pour les 4 fréq. Trouvées (a)0.99ghz, (b)1.82ghz ,(c)2.67ghz ,(d) 4.34ghz.....	57

Liste des tableaux

Tableau II .1. Les avantages et les inconvénients de l'antenne PIFA.....	30
Tableau III.1 Les dimensions de l'antenne PIFA fractale.....	46
Tableau III.2 Nouvelle valeurs des parametres de l'antenne PIFA après l'adaptation	51

Liste des abréviations

- ***AEP*** : *Antenne Électriquement Petite*
- ***CST*** : *Computer Simulation Technology*
- ***DCS*** : *Digital Cellular System*
- ***ILA*** : *Inverted L Antenna*
- ***IFA*** : *Inverted F Antenna*
- ***GSM*** : *Global System for Mobile Communication*
- ***L'UMTS*** : *Universal Mobile Télécommunication System*
- ***PIFA*** : *Planar Inverted F Antenna*
- ***4G*** : *4em Génération*
- ***WLAN*** : *Wireless Local Area Network*
- ***WPAN*** : *Wireless Personnel Area Network*
- ***WIFI*** : *Wireless Fidelity*
- ***WIMAX*** : *Word Interopérabilité for Microwave Access*

Introduction générale

Introduction Générale

Le domaine des télécommunications a connu un progrès technologique au cours de ces dernières années grâce à la forte demande de la population et de l'industrie. Parmi les applications de ce domaine qui ont attiré plus d'attentions sont les antennes. Elles 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 communications mobiles et sans fil.

L'antenne est l'un des organes technologiques les plus importants qui a donné un avantage concurrentiel dans toute l'industrie des télécommunications. Elle est une composante à part entière, dans un système de communication qui nécessite une étude particulière. Elle doit ainsi, à cause de ces applications liées aux nouvelles technologies, posséder de larges bandes passantes (pour assurer le haut débit) et des gains élevés pour permettre des communications longues portées.

Durant ces dernières années, les efforts de nombreux centres de recherche dans le monde, étaient concentrés pour optimiser les performances radioélectriques de l'antenne, et l'adapter aux applications les plus récentes : (communications cellulaires, communications spatiales, communications sans fil ou encore antennes pour automobiles) et aussi pour répondre aux exigences d'intégration dans l'architecture des différents équipements de télécommunication.

Dans le domaine de télécommunications, une antenne utilisant une géométrie fractale est avantageuse pour les applications multi-bandes et ultra-large bande. En outre, le concept fractal peut être utilisé pour miniaturiser la taille de l'antenne sans réduire leurs performances en raison de leur propriété de l'autosimilarité.

La technologie des antennes fractales est utilisée pour obtenir une nouvelle génération d'antenne avec certaines fonctionnalités des multi bandes qui ont été souvent considérées comme impossible au années 1980.

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'une continuité de la recherche sur les antennes PIFAS fractales quadri bandes . Notre objectif consiste à étudier et à concevoir des antennes PIFAS fractales quadri bandes pour les différents systèmes de communication sans fil . Pour ce faire , nous nous appuyons sur la théorie des antennes pour déterminer les paramètres géométriques de notre antenne proposée , en utilisant le logiciel cst studio 2014 comme outil de simulation pour notre travail .

Ce mémoire se compose de trois chapitres ; le premier chapitre, contient les généralités sur les antennes et les systèmes communicants. Nous présentons dans un premier temps, leurs définitions, ainsi que leurs caractéristiques principales. Nous définissons par la suite les différents types d'antennes, notamment celles des antennes miniatures. Nous exposons alors les techniques de miniaturisation de ces dernières. Nous terminerons ce chapitre par la technologie des réseaux sans fils.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons les antennes PIFA , leurs définitions, ainsi que leurs caractéristiques radioélectriques puis leurs avantages et inconvénients, les différentes techniques pour augmenter la largeur de bande.

Ensuite, nous exposerons la géométrie fractale. Nous définissons par la suite les antennes multi bandes puis leur nécessité et les différentes techniques multibandes.

Le troisième chapitre sera consacré à la présentation des étapes de conception d'antennes PIFAS fractales quadri bandes, Nous allons commencer par une présentation du l'outil de simulation. Puis l'antenne PIFA conventionnelle mono-bande. Ensuite, la conception de l'antenne PIFA fractale quadri bandes, puis une présentation et discussion du résultat final de la simulation. Enfin, nous terminerons ce mémoire par une conclusion générale.

Chapitre I

*Généralités sur les antennes
et les systèmes communicants*

I.1 Introduction

Les antennes à profil bas sont essentielles dans les applications aérospatiales et militaires où une petite taille, un poids léger, un faible coût, des performances élevées et une facilité de mise en œuvre sont principalement requis. De nos jours, avec le développement rapide des télécommunications, ces contraintes se retrouvent dans les applications sans fil commerciales.

Dans ce chapitre, nous présentons d'abord la définition générale, les caractéristiques d'une antenne, les différents types d'antennes. Ensuite, nous allons nous intéresser aux antennes miniatures, leur définition, leurs différentes Techniques de miniaturisation. Enfin, nous terminerons ce chapitre en passant brièvement en revue la Technologie des réseaux sans fils " Bluetooth, Wifi, Wimax, Réseaux cellulaires " 2G.3G. 4G. 5G".

I.2 Définition

Une antenne est un dispositif permettant de transformer l'énergie électrique en énergie électromagnétique en émission ou en réception. Une antenne peut émettre dans toutes les directions (antenne omnidirectionnelle) ou dans une direction définie (antenne sectorielle ou directionnelle) [1].

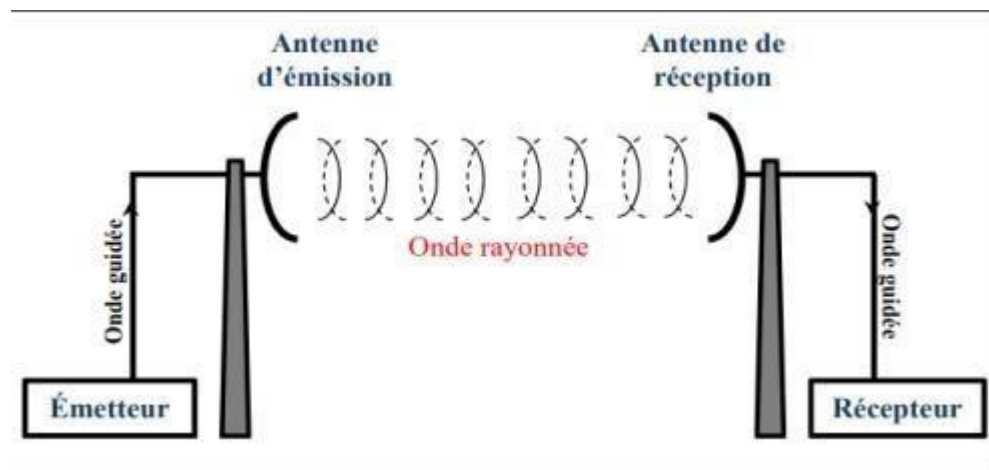


Fig. I.1. Antenne d'émission et antenne de réception

L'antenne peut être utilisée (en particulier dans un système de communication) pour diriger l'énergie du rayonnement dans une direction, et de la réduire ou l'annuler dans d'autres directions selon les fréquences. Ceci dit, l'antenne n'est plus seulement un outil de transmission, mais également un dispositif de transition [2]



Fig. I.2. Les antennes paraboliques.

I.3 Paramètres caractéristiques d'une antenne

I.3.1 L'impédance d'entrée :

Il s'agit donc du rapport complexe observé entre la tension et le courant à l'entrée d'une antenne en émission.

$$\mathbf{Z_e} = \frac{V_e}{I_e} \quad (1.1)$$

Une antenne prise entre ses deux bornes d'accès constitue donc un dipôle ayant une impédance complexe.

$$\mathbf{Z_e = R + jX} \quad (1.2)$$

La partie réelle de l'impédance R_{ant} regroupe la résistance de pertes et la résistance de rayonnement de l'antenne et elle s'écrit comme suit :

$$\mathbf{R_{ant} = R_{pertes} + R_{ray}} \quad (1.3)$$

Si on reprend l'exemple de la ligne ouverte, l'écartement des brins provoque un changement de l'impédance. L'onde est alors réfléchi à l'interface entre la ligne et l'antenne, d'où une perte importante d'énergie. Le but est alors de revenir à un système adapté.

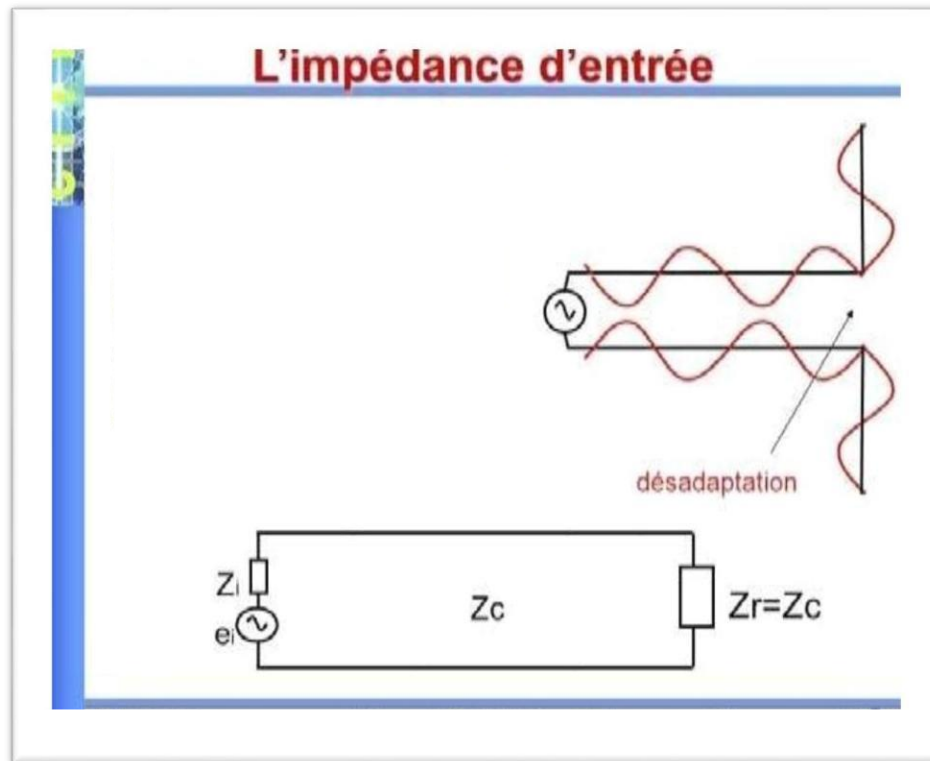


Fig. I.3. Impédance d'entrée

L'utilité de cette notion est importante pour assurer les meilleurs transferts d'énergie entre les antennes et les dispositifs qui y sont connectés grâce aux techniques d'adaptation.

Très souvent, les constructeurs des antennes cherchent à obtenir une résistance pure en partie réelle $R= 50\Omega$, et nulle en partie imaginaire $X= 0$.

I.3.2 Polarisation:

Une antenne émet une onde électromagnétique qui est décrite par 3 vecteurs [3] :

K : Le vecteur d'onde qui est colinéaire à la direction de propagation.

E : Le vecteur champ électrique.

H : Le vecteur champ magnétique.

La polarisation d'une antenne est en fait la polarisation de l'onde émise par celle-ci. on la définit en s'intéressant à la façon dont se propage le vecteur E [4].

I.3.2.1 Polarisation rectiligne ou linéaire

La polarisation de l'onde est dite rectiligne ou linéaire lorsque le champ électrique E se propage en maintenant une direction constante dans le temps [4].

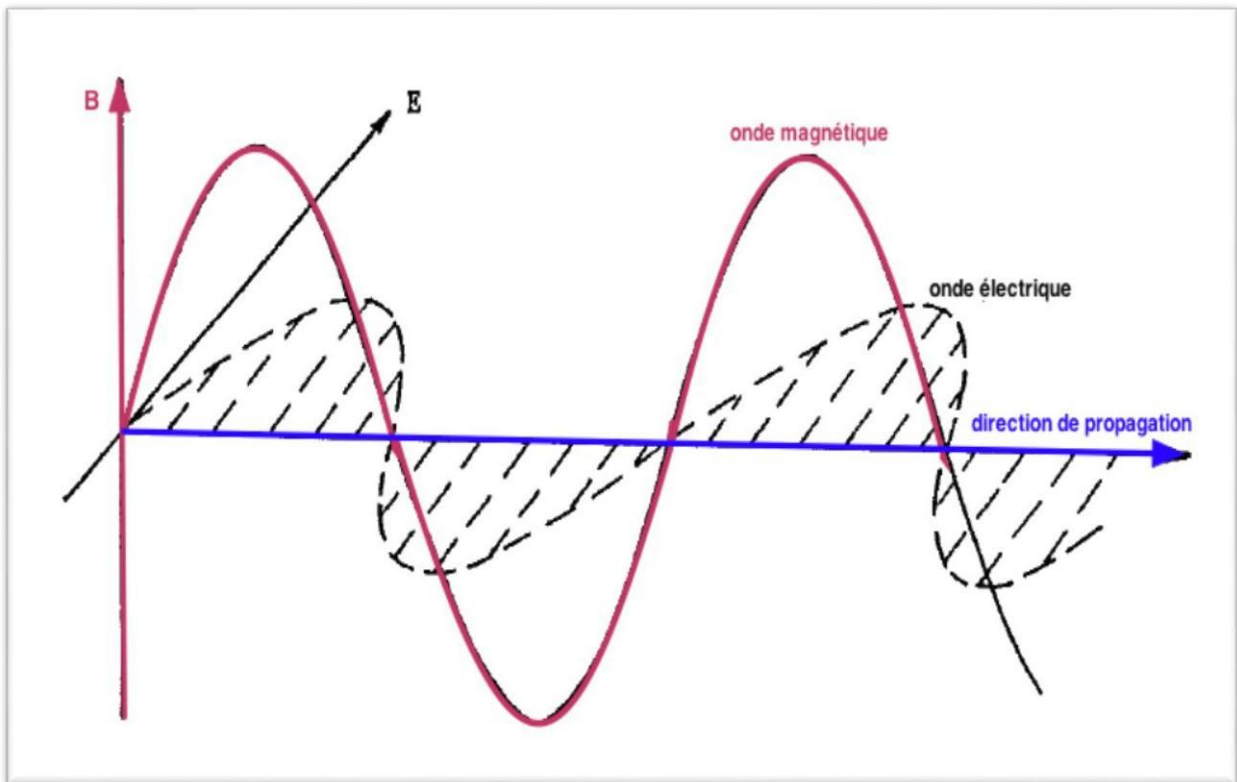


Fig. I.4 .Polarisation rectiligne.

I.3.2.2 Polarisation circulaire

Lorsque le champ électrique E décrit une spirale de section circulaire dans le temps, la polarisation de l'onde est dite circulaire.

La projection de l'extrémité E peut être décrite en fonction du temps dans un sens ou dans l'autre : on dit alors polarisation circulaire droite ou polarisation circulaire gauche [3].

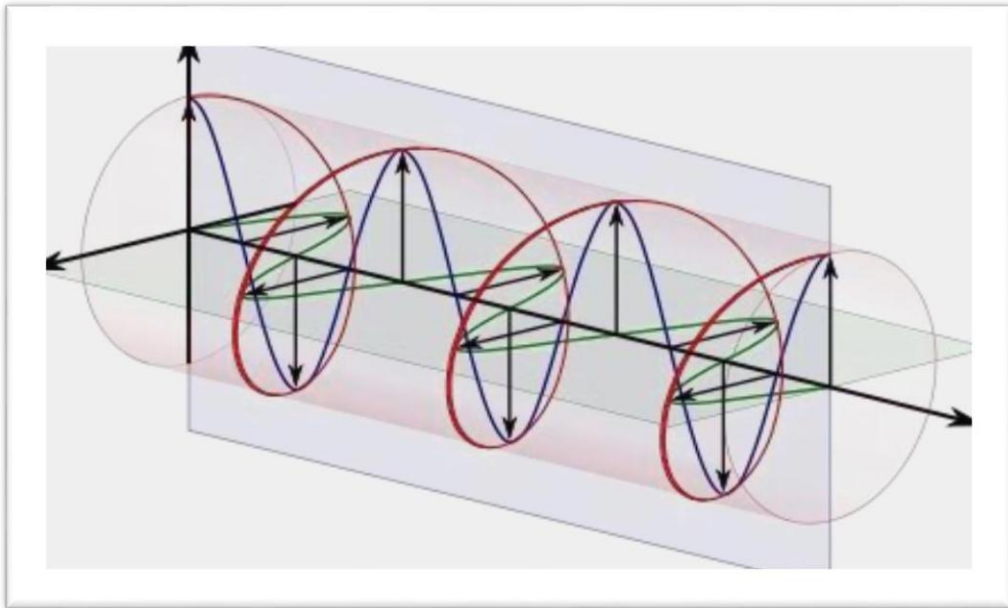


Fig. I.5. Polarisation circulaire

I.3.2.3 Polarisation elliptique :

Une onde est polarisée elliptiquement, si son champ électrique décrit une ellipse au cours du temps par rapport à un observateur fixe.

C'est le cas général, lorsque les composantes du champ électrique varient sans relations particulière entre eux. De même que pour la polarisation circulaire, deux types de polarisation elliptiques sont définis : gauche et droite [4].

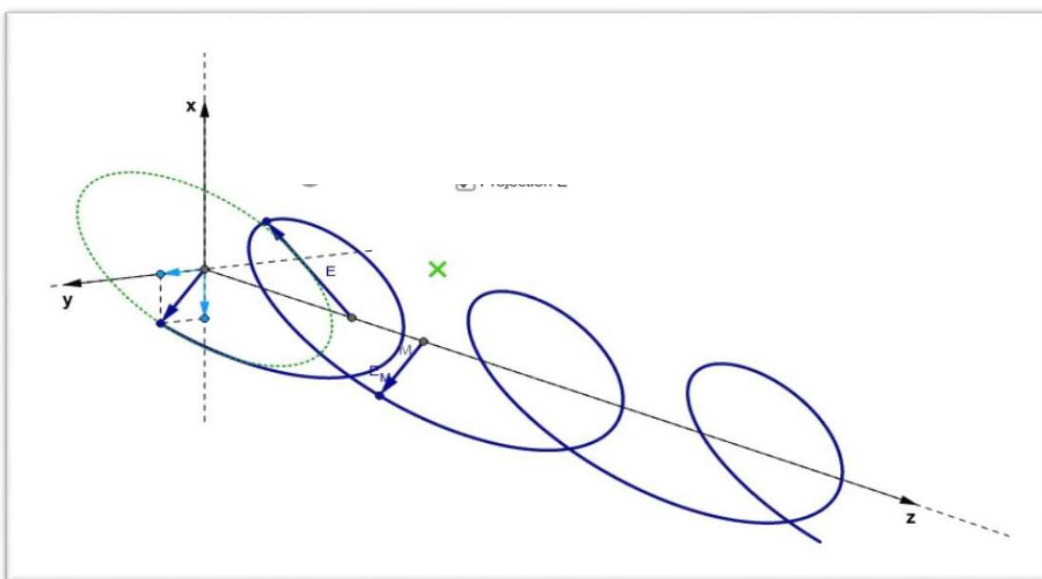


Fig. I.6. Polarisation elliptique.

I.3.3 Le diagramme de rayonnement

Une antenne isotrope, c'est-à-dire qui rayonne de la même façon dans toutes les directions, est un modèle théorique qui ne peut être réalisé. En pratique, l'énergie rayonnée par une antenne est répartie dans l'espace, dans certaines directions étant privilégiées : ce sont les «lobes rayonnants».

Le diagramme de rayonnement représente les variations de la puissance rayonnée par l'antenne dans les différentes directions de l'espace. Il permet de visualiser les lobes dans l'espace tridimensionnel dans le plan horizontal, dans le plan vertical incluant le lobe le plus important [5].

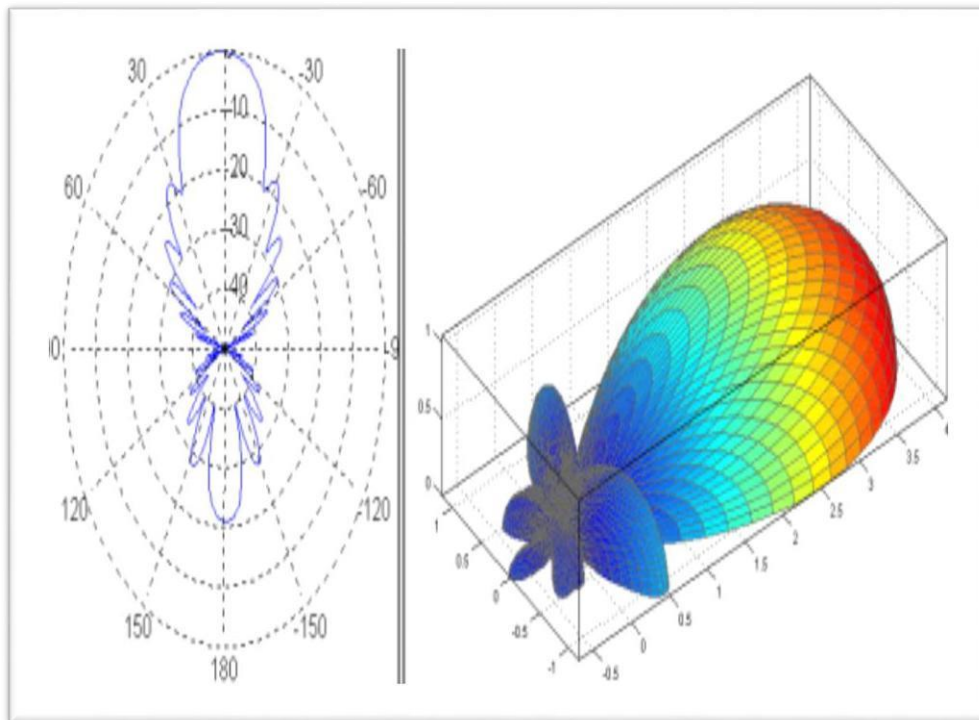


Fig. I.7. Représentation du diagramme de rayonnement d'une antenne

I.3.4 Angle d'ouverture

L'angle d'ouverture est l'angle que font entre elles les deux directions du lobe principal selon lesquelles la puissance rayonnée est égale à la moitié de la puissance rayonnée dans la direction de rayonnement maximal [1]. La figure 1.8 présente l'angle d'ouverture.

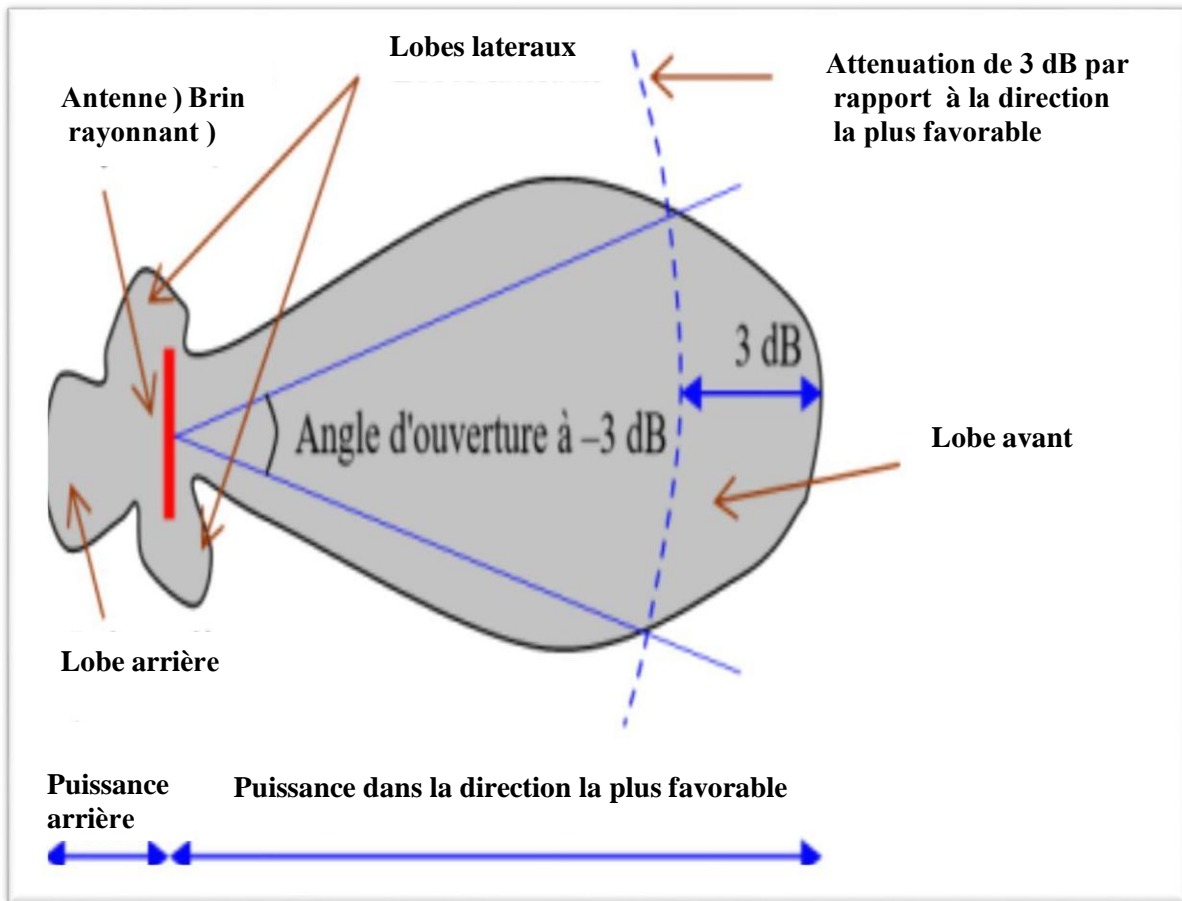


Fig. I.8. Représentation d'angle d'ouverture

I.3.5 Directivité et gain

La directivité $D(\theta, \varphi)$ d'une antenne dans une direction (θ, φ) est le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction donnée $P(\theta, \varphi)$ et la puissance que rayonnerait une antenne isotrope [5].

$$D(\theta, \varphi) = \frac{P(\theta, \varphi)}{\frac{P_R}{4\pi}} = 4\pi \frac{P(\theta, \varphi)}{P_R} \quad (1.4)$$

Le gain est défini comme :

$$G(\theta, \varphi) = \eta D(\theta, \varphi) \quad (1.5)$$

η est l'efficacité de l'antenne : c'est un chiffre compris entre 0 et 1 qui reflète les pertes présentes sur l'antenne (c'est la différence entre P_{ant} et P_{ray} vue que $P_{ray} = \eta \cdot P_{ant}$).

Plus η est proche de 1, plus la puissance injectée dans l'antenne est rayonnée, donc plus l'antenne est efficace [3].

I.3.6 Bande passante

La bande passante peut être définie en fonction du coefficient de réflexion, à condition que le diagramme de rayonnement ne change pas sur cette bande.

Il n'y a pas de critères précis pour la limite du coefficient de réflexion. Un critère typique d'avoir un coefficient de réflexion inférieure à -10 dB ou -15 dB sur la bande passante [5].

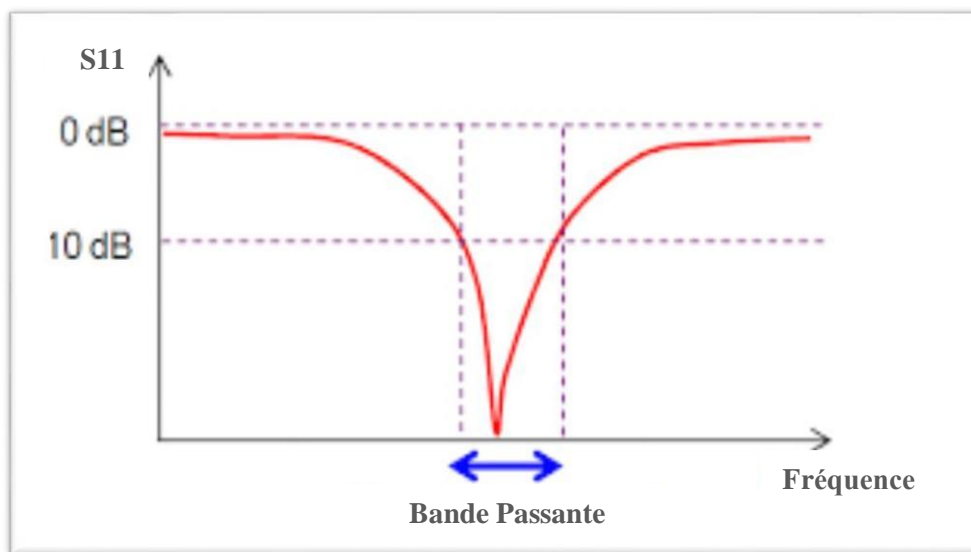


Fig. I.9. Bande Passante

I.3.7 Le coefficient de réflexion et taux d'onde stationnaire (TOS)

Le coefficient de réflexion est le rapport entre l'onde réfléchie et l'onde incidente .

La réflectance est déterminée par l'impédance de l'extrémité de la ligne, ainsi que l'impédance caractéristique de la ligne, le coefficient de réflexion est défini comme suit [6]:

$$S_{11} = \frac{(Z_r - Z_c)}{(Z_r + Z_c)} \quad (1.6)$$

En présence d'ondes stationnaires, la tension et le courant présentent des extremums, le coefficient qui traduit cet état est le rapport d'onde stationnaire [6]:

$$\mathbf{ROS} = \frac{U_{\max}}{U_{\min}} = \frac{I_{\min}}{I_{\max}} \quad (1.7)$$

Le ROS peut s'écrire en fonction du coefficient de réflexion [6]:

$$\mathbf{ROS} = \frac{1+|\mathbf{S11}|}{1-|\mathbf{S11}|} \quad (1.8)$$

I.4 Différent type d'antenne

I.4.1 Antenne dipolaire et filaire

Les antennes filaire, linéaire ou courbée, sont les plus ancien, les plus simple, les moins chers et dans plusieurs cas les plus souple pour énormément d'applications [7].

Une antenne filaire est constituée à partir de fils rigides (tiges métalliques très conductrices) de diamètre petit devant la longueur l du fil [8].



Fig1.10. Antenne dipolaire micro HF

I.4.2 Les antennes patch

Elle est composée d'un élément rayonnant qui a une forme géométrique quelconque (rectangle, cercle, carré, ...), spécifiée selon les besoins. L'élément rayonnant est séparé d'un plan réflecteur conducteur par une ou plusieurs couches de substrat diélectrique qui peuvent avoir des permittivités (ϵ_r) égales ou différentes [1].

La forme du patch conducteur influe sur les modes qui sont susceptibles de s'exciter dans l'antenne, et donc sur la nature du rayonnement [1].

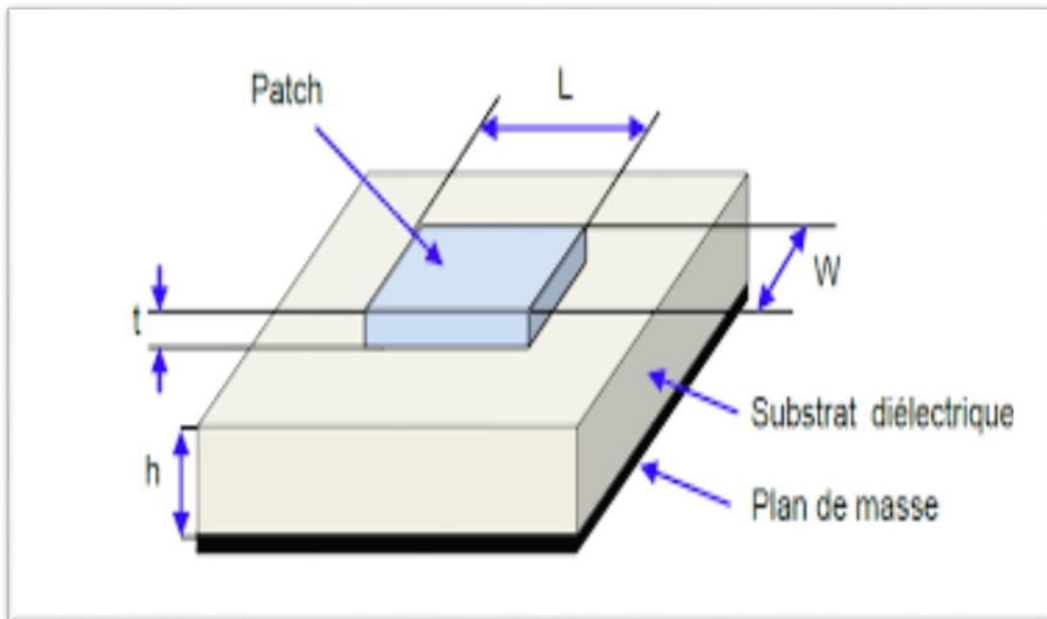


Fig.1.11 : Antenne patch

I.4.3 Les antennes à résonateurs diélectriques

Les résonateurs diélectriques sont des pastilles céramiques poly cristallines nues ou métallisées, utilisées dans le domaine des hyperfréquences comme circuits résonants de base dans la réalisation, par exemple, de filtres, des oscillateurs et des antennes [1].

Un résonateur diélectrique est caractérisé par une permittivité diélectrique élevée, des pertes diélectriques assez faibles ou un facteur de qualité élevé, et une stabilité thermique autour de la fréquence de résonance [1].

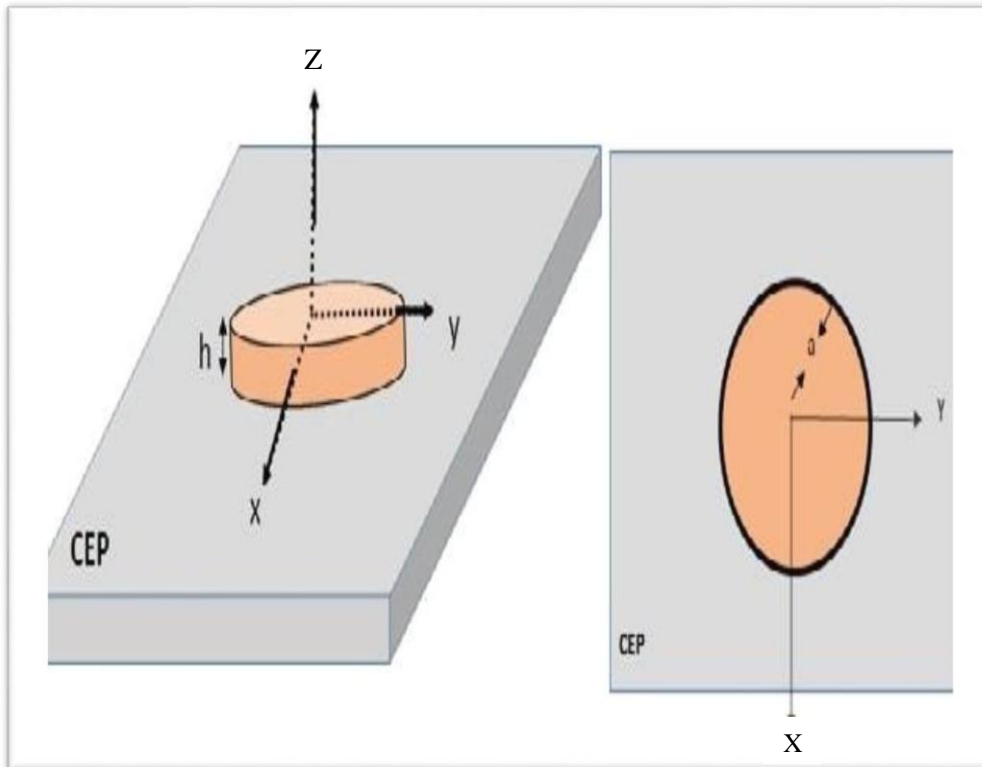


Fig.1.12. Antenne à résonateurs diélectriques

I.5 Antenne miniatures

I.5.1 Définition

Il existe plusieurs façons de définir une antenne électriquement petite ou miniature.

La définition la plus répandue est celle donnée par Wheeler en 1947. Wheeler a défini une antenne électriquement petite (AEP) comme une antenne dont la plus grande dimension est inférieure à $\lambda / 2\pi$ avec λ la longueur d'onde dans le vide. Cette relation est généralement exprimée par : $ka \leq 1$

Avec a le rayon de la plus petite sphère contenant l'antenne et k est le nombre d'onde dans le milieu de propagation, tel que $k = 2\pi / \lambda$. Cette sphère est souvent appelée la sphère de Wheeler ou la sphère de Chu. Elle correspond à la distance de transition entre le champ proche où l'énergie électromagnétique est stockée dans l'antenne et le champ lointain où celle-ci est propagée [9].

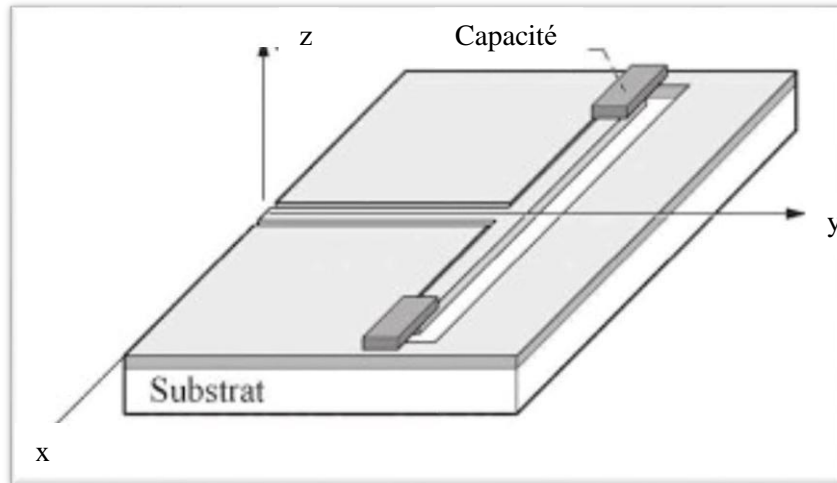


Fig.1.13. Antenne Miniature

I.5.2 les paramètres et les limites fondamentales de l'AEP (directivité, efficacité de rayonnement, facteur de qualité)

Miniaturiser une antenne consiste à trouver un compromis entre les dimensions minimales souhaitées et les performances acceptables en termes de facteur de qualité, d'efficacité et de bande passante. Or, ces performances sont dépendantes de leur taille électrique : celles-ci dépendent énormément des dimensions de l'antenne normalisées par rapport à la longueur d'onde de fonctionnement.

Les limites théoriques à la miniaturisation des antennes font depuis des décennies l'objet de nombreuses discussions.

Plusieurs expressions reliant le facteur de qualité à la bande passante et efficacité rayonnée ont été développées. Ces travaux ont été initiés par Wheeler , puis par Chu qui ont été les premiers à exprimer des limites théoriques en termes de facteur de qualité pour des dimensions d'antenne données [10].

La principale difficulté pour évaluer le facteur de qualité Q est de déterminer les énergies moyennes électriques et magnétiques dans la zone réactive de l'antenne. En effet, la définition du facteur de qualité est directement liée à cette énergie stockée , et nous verrons comment il est lié aux limites en termes de performances des antennes électriquement petites [10].

I.5.2.1 Définition du facteur de qualité

Le facteur de qualité est un paramètre intrinsèque à l'antenne. Il est souvent calculé à la résonance, et est lié à la bande passante. La définition générale d'un facteur de qualité pour une antenne est le rapport entre l'énergie maximale stockée et la puissance totale rayonnée. Son expression définie dans la littérature est donnée sous la forme suivante :

$$Q_{\text{ray}} = \frac{2\omega_0 \cdot \max(W_e, W_m)}{P_{\text{ray}}} \quad (1.9)$$

Avec W_e et W_m respectivement les énergies électriques et magnétiques moyennes stockées dans la zone réactive (proche) de l'antenne, ω_0 la fréquence angulaire de travail et P_{ray} la puissance rayonnée par l'antenne [10].

I.5.3 Les techniques de miniaturisation

Il existe néanmoins différentes techniques pour résoudre le problème de l'encombrement de l'antenne et aboutir à des antennes de petites dimensions. Nous présenterons ici les techniques les plus courantes, comme :

- L'utilisation d'un substrat à forte permittivité
- L'utilisation du méta matériaux
- L'ajout de court-circuit entre l'élément rayonnant et le plan de masse
- Le repliement de l'élément rayonnant
- L'ajout de fentes dans les éléments rayonnants
- L'utilisation de structures fractales [11].

I.5.3.1 Substrat à haute permittivité

L'utilisation de matériaux à forte permittivité permet d'allonger les longueurs électriques. La longueur d'onde dans un matériau de permittivité relative ϵ_r est donnée par l'équation I-10 où λ est la longueur d'onde, f la fréquence et c la célérité:

$$\lambda = \frac{c}{f \times \sqrt{\epsilon_r}} \quad (1.10)$$

Il est évident qu'augmenter la permittivité du substrat réduira les longueurs résonantes de l'élément. Les antennes utilisant ce type de substrat souffrent généralement d'une diminution de la largeur de bande et d'une efficacité dégradée. Le coût de fabrication est également augmenté [11].

I.5.3.2 Les métas matériaux

L'utilisation des métas matériaux est une méthode de miniaturisation assez récente. Ces matériaux artificiels, homogènes de permittivité et de perméabilité négatives possèdent des caractéristiques électromagnétiques inhabituelles. Ils offrent de nouvelles propriétés physiques permettant de confiner les ondes électromagnétiques dans des dimensions réduites (propriétés basées sur les lois de snell-descartes inversées : indice de réfraction du milieu négatif). Ce sont des structures périodiques de dimensions inférieures à la longueur d'onde [11].

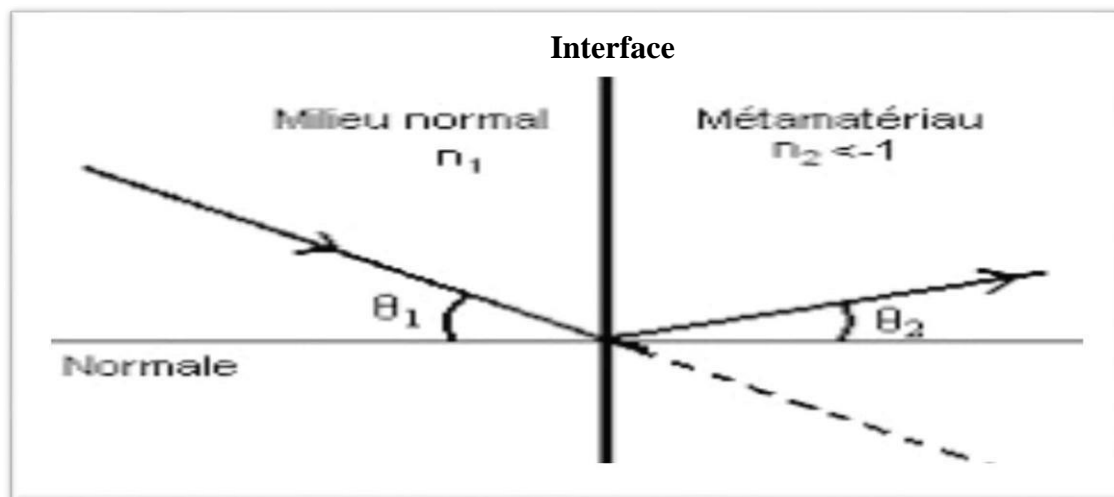


Fig.1.14. Les Méta matériaux

I.5.3.3 Ajout de court-circuit-antenne PIFA

L'ajout d'un court-circuit entraîne l'addition d'une inductance, dont la valeur est directement liée aux dimensions de celui-ci. L'inductance différente créée par chaque type de court-circuit et la position de ceux-ci par rapport à l'alimentation permet de contrôler à la fois l'impédance d'entrée de l'antenne et sa fréquence de résonance [12].

Le court-circuit existant sur les antennes PIFA peut être remplacé par une résistance de faible valeur (1 à 2 Ohms). Par un choix et un positionnement judicieux de celui-ci, nous pouvons arriver à diminuer la fréquence de résonance et améliorer la bande passante. L'inconvénient de cette technique est l'augmentation des pertes ohmiques, d'où une baisse de l'efficacité due à la concentration des courants dans la résistance qui, bien que faible, demeure plus résistive qu'un court-circuit [9].

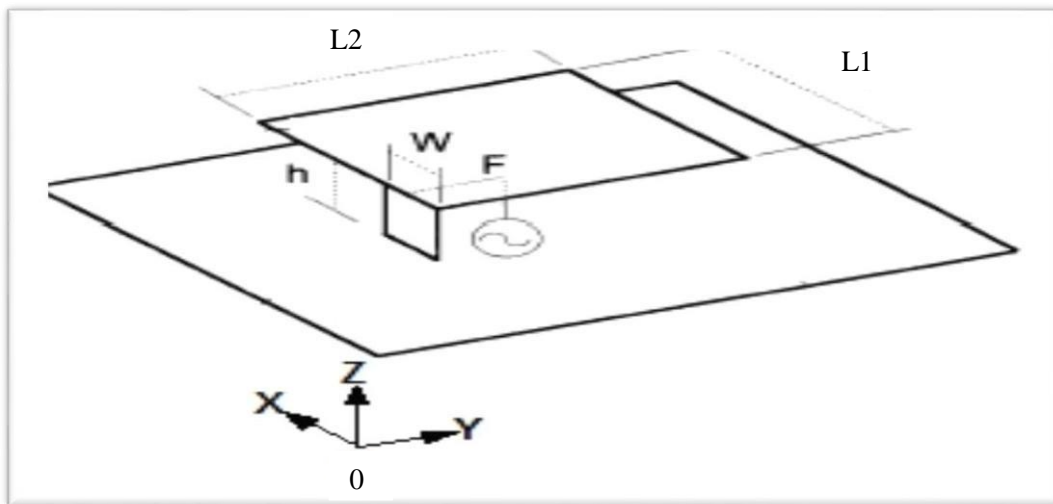


Fig.1.15. Géométrie d'une antenne PIFA

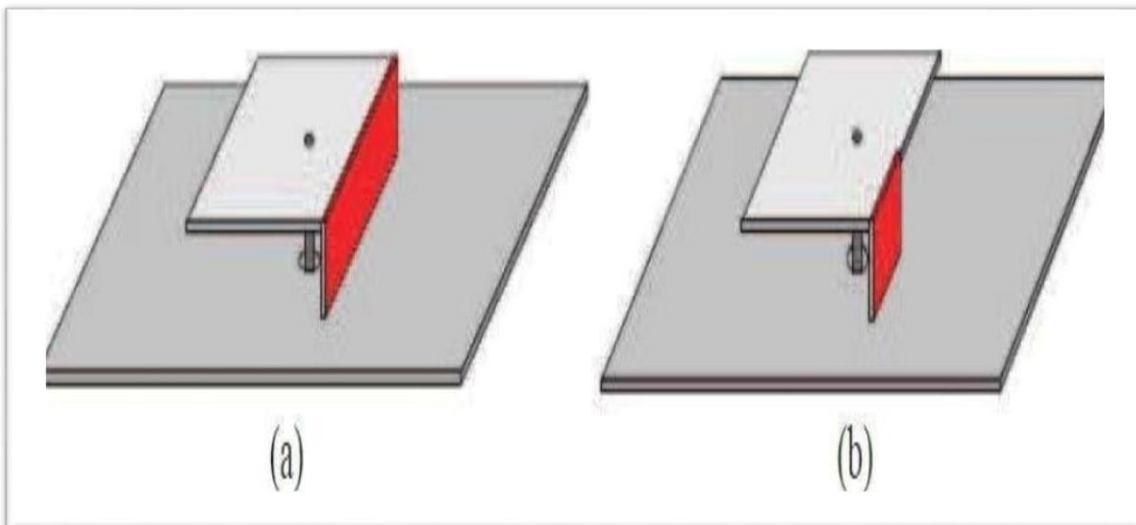


Fig.1.16. Antenne PIFA– a : avec court-circuit plan, b : avec languette court-circuit

I.5.3.4 Ajout de fentes dans l'élément rayonnant

Une première façon de réduire significativement la taille des antennes consiste à modifier sa forme, son design. Sur les antennes planaires comme les patches, en introduisant des fentes ou des méandres latéraux sur le contour de l'antenne, le courant va être forcé de les contourner. Cela va avoir pour conséquence de rallonger la longueur électrique, donc d'abaisser la fréquence de résonance de la structure.

Une réduction de la fréquence de la résonance est équivalente à une réduction de la taille de l'antenne si on se ramène toujours à la même fréquence de travail [9].

Des effets inductifs et capacitifs seront aussi induits, ce qui aura pour effet de modifier l'impédance d'entrée de l'antenne et sa bande passante.

La mise en œuvre de cette technique peut réduire la taille d'une antenne patch de 50% mais la largeur de bande est diminuée ainsi que l'efficacité de rayonnement de l'antenne. Sur la figure I.7, on peut voir un exemple d'antenne patch avec des fentes [9].

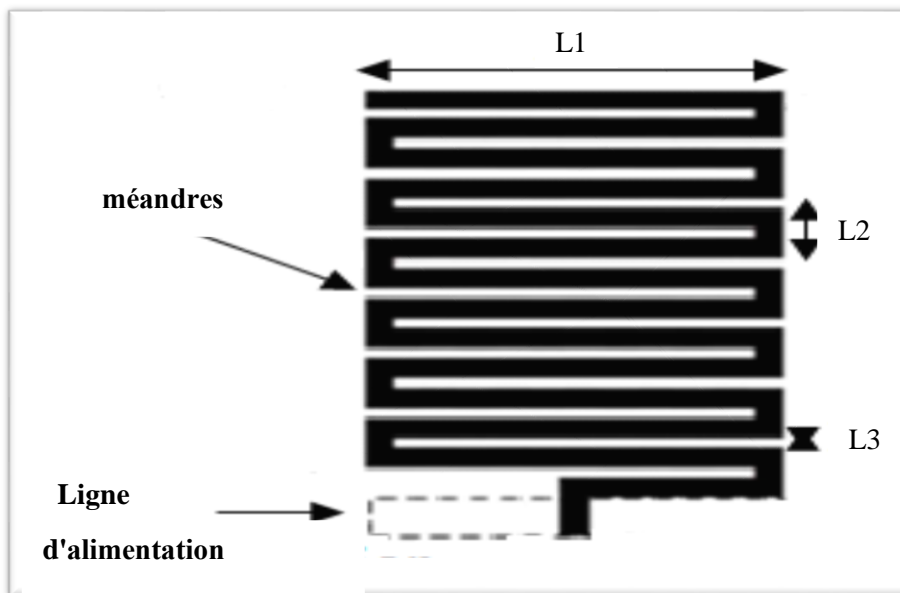


Fig.1.17. Exemple d'une antenne méandres "sans son plan de masse"

I.5.3.5 Repliement des éléments

Pour les antennes filaires comme les dipôles ou monopoles, imprimés ou non, le repliement est également une modification de la forme originale de l'antenne qui permet de réduire son encombrement. Le repliement peut également être appliqué sur des structures planaires comme des PIFA où non seulement l'élément replié occupe moins d'espace mais aussi crée en effet capacitif qui contribue à la diminution de la fréquence de résonance. La principale contrepartie de ce type d'opération réside dans l'augmentation des pertes ohmiques qui engendre alors une diminution de l'efficacité et du gain [9].

I.5.3.6 l'utilisation des fentes fractales

Une dernière technique de modification de design est l'utilisation de structures fractales, on parle alors d'antennes fractales. Il s'agit d'antennes classiques planaires ou filaires dont le design est issu d'algorithmes mathématiques basés sur des fonctions itératives. A partir d'une géométrie de base, plusieurs itérations sont effectuées. Des exemples très connus sont les courbes de Hilbert, les géométries fractales de Von Koch et celles de Sierpinsky. La figure I.18 présente une structure de Von Koch appliquée à un monopôle à plusieurs itérations. Cependant la bande passante et l'efficacité de ces antennes fractales sont sensiblement dégradées comparées au simple monopôle [9].

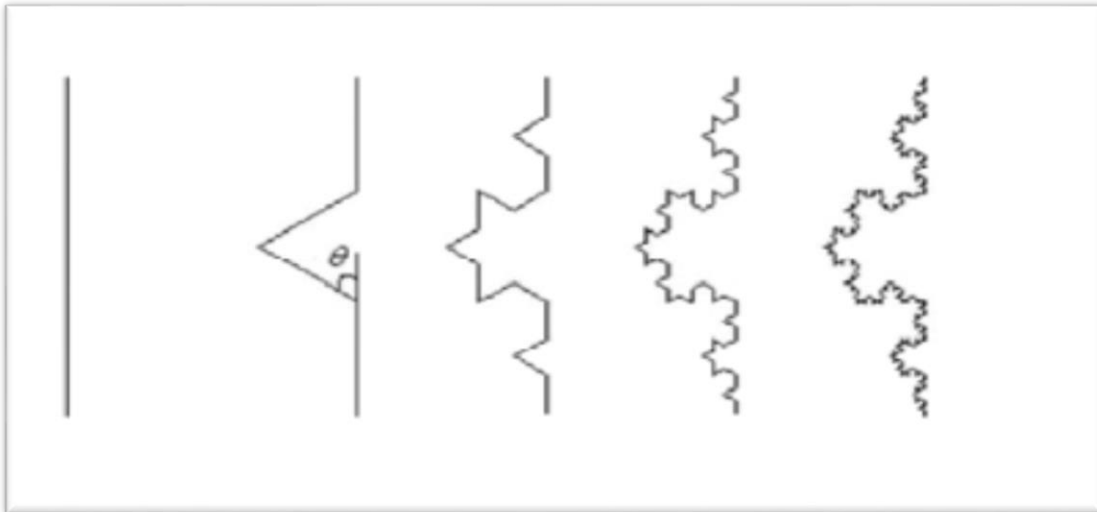


Fig.1.18 .Procédure de conception d'une fractale selon la géométrie de Koch.

Les structures fractales peuvent également être appliquées à des structures imprimées ou planaires comme la montre l'antenne [9] figure I.19 qui présente Standard de Sierpinsky appliquée à un dipôle.

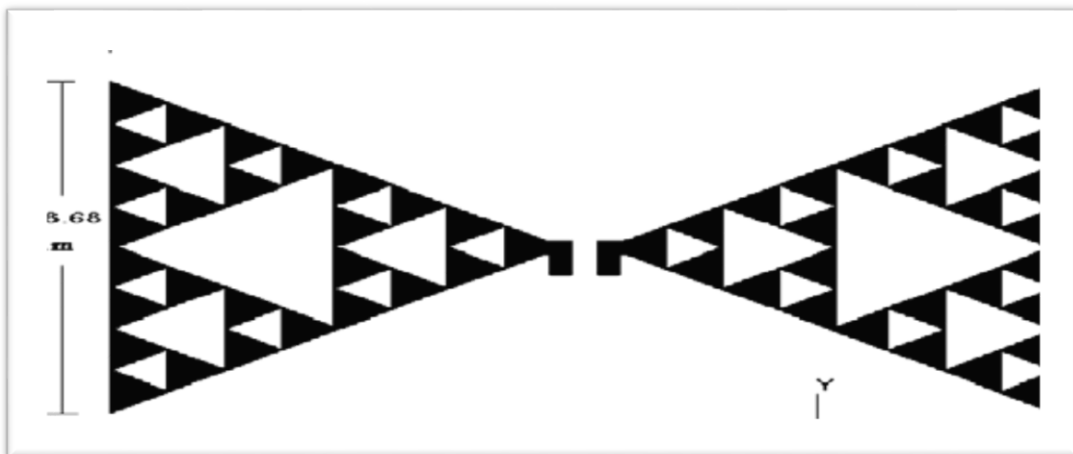


Fig.1.19. Standard de Sierpinski appliquée à un dipôle

Ces structures permettent de réduire la taille des antennes de 20 à 40% et présentent un certain intérêt en télécommunications dans le cas d'applications large bande et multi bandes [9] .

I.6 Technologie des réseaux sans fils

I.6.1 Bluetooth

Le bluetooth est une technologie du réseau wpan (wireless personal area network) qui est un réseau sans fil à courte portée utilisant les ondes radio comme support de transmission. Les principaux avantages de la technologie bluetooth sont sa fiabilité, sa faible consommation en énergie, son faible coût [13] .



Fig.1.20. Logo de bluetooth

I.6.2 WIFI

Le WIFI est une norme radio opérant aux fréquences 2.4 GHz ou 5 GHz selon le standard 802.11 a/b/g/n pour réaliser des réseaux locaux sans fil. Ces extensions se différencient de par leur couche physique et/ou leur méthode d'accès au médium. WIFI se caractérise par des débits d'information élevés pouvant atteindre 54 Mbits/s ou 300 Mbits/s et une mobilité des équipements au sein de réseaux de grande portée[14] .



Fig.1.21. Wifi

I.6.3 WIMAX

Le WIMAX (Word interoperabilité for microwave access) est un réseau hertzien, haut débit, large bande qui couvre un rayon de plusieurs kilomètres. Il est normalisé par l'organisme IEEE sous la norme 802.16. Son objectif principal est de fournir une connexion internet haut débit aux zones dépourvues d'accès aux réseaux filaires à cause des contraintes économiques ou géographiques [15] .

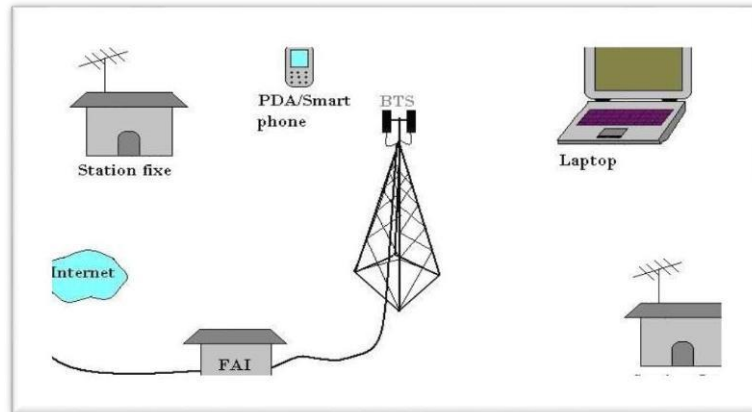


Fig.1.22. Le réseaux WIMAX

I.6.4 Réseaux cellulaires (2G, 3G, 4G, 5G)

I.6.4.1 Le réseau 2G "GSM"

Le réseau GSM (global system for mobile communications) constitue au début du 21ème siècle le standard de téléphonie mobile le plus utilisé en Europe. Il s'agit d'un standard de téléphonie de deuxième génération (2G) où les communications fonctionnent selon un mode entièrement numérique. En Europe, le standard GSM utilise les bandes de fréquences 900 MHz et 1800 MHz. Aux États-Unis par contre, la bande de fréquences utilisée est la bande 1900 MHz [14].

I.6.4.2 Le réseau 3G

La 3G représentée principalement par l'UMTS (universal mobile telecommunications system), repose sur un autre système moins déployé, car nécessitant la mise en œuvre de nouvelles infrastructures, mais plus rapide. En effet, alors que l'EDGE offre un débit de 120 kbit/s, la 3G peut atteindre 250 kbit/s [14].

I.6.4.3 Le réseau 4G

Voici quelques fonctionnalités possibles des systèmes 4G :

- Prise en charge multimédia interactives, voix, vidéo, internet sans fil et autres services large bande.
- Haute vitesse, haute capacité et à faible coût par bit.
- La mobilité mondiale, la portabilité des services, réseaux mobiles évolutifs.

- De commutation transparente, la variété de services basés sur la qualité de service (QoS).
- Une meilleure planification et des techniques de contrôle d'admission d'appel.
- Les réseaux ad-hoc et réseaux multi-sauts [9] .

I.6.4.4 Le réseau 5G

La technologie 5G pourrait permettre des débits de télécommunication mobile, de plusieurs gigabits de données par seconde, soit jusqu'à mille fois plus rapide que les réseaux mobiles en 2013 et jusqu'à 100 fois plus rapide que la 4G à l'horizon 2020. Le but est de connecter non seulement les smartphones et les tablettes mais plus globalement l'ensemble des objets [14] .

I.7 Conclusion

Ce chapitre a été consacré, dans son ensemble, à une présentation des antennes en général et des antennes miniatures en particulier. Ensuite, on a présenté les techniques de miniaturisation ainsi que la technologie des réseaux sans fils.

Références

- [1] : H.Boudghene Stambouli et S. Bounebbab , " Étude et conception d'antennes à résonateurs diélectriques "Tlemcen, 2017. " Mémoire master " .
- [2] : A. Djelloul, "Etude et conception d'antennes fractales pour des applications ultra-large-bande", Tlemcen, 2019. "Mémoire master " .
- [3] : A. C. Lepage , "Caractéristiques des antennes", pp. 4-5.
- [4] : H. Laribi et N. Kamni "Conception d'antennes implantables larges bandes pour les applications médicales», Tlemcen, 2019. " Mémoire de master " .
- [5] : A. Boyer, "Antennes, support de cours enonce de travaux diriges", Institut national des sciences appliques de toulouse, pp. 16-22.
- [6] : C. A. Balanis, "Antenna theory", New York: 3rd edition, John Wiley, 2005.
- [7] : A.Zitouni, "Antennes», Unicersité Hassiba Benbouali de chlef Faculté de Technologie Département d'Electronique, 2018, pp. 54. "Mémoire master " .
- [8] : EPUNSA," Mesures d'antennes filaires ", Dép. Elec, 2 ème annéeTP Electronique, pp. 1.
- [9] : M. Zekri et S. Nehad , "Conception des antennes PIFA fractales tribandes pour les systemes de telecommunications mobiles », Tlemcen,2021. "Mémoire master" .
- [10] : A. Niang, " Antennes miniatures et structures électromagnétiques à circuits Non-Foster "Matériaux. Université Paris Saclay (COMUE), 2017, pp.15-16.
- [11] R. Cédric, "Antennes quasi-auto-complémentaires pour terminaux mobiles multi-standards «,Université Nice Sophia Antipolis, pp. 22-28.
- [12] : Y.Belhadef "Conception d'antennes PIFAs large bande et multibandes pour différents standards de telecommunications mobiles " , Tlemcen, 2011. " Thèse de doctorat " .
- [13] : A. Iliassou et M. Djire " Conception d'antenne miniature d'objets connectés pour application au réseau LPWAN «, Tlemcen, 2021. " Mémoire de master " .
- [14] : S. Saadaoui " Conception d'un système de communication sans fil industriel Basé sur la transformée en ondelettes «, Université de Lorraine, 2019, pp. 14. "Mémoire master" .

Chapitre I Généralités sur les antennes et les systèmes communicants

[15]: S. Mahi et N. Medjahdi " Etude et implémentation des codes LDPC pour la technologie wimax IEEE 802.16 «, Tlemcen, 2013. Projet de fin d'études " .

Chapitre II

*Antennes PIFAs fractales
multi bandes*

II.1 Introduction

Les antennes PIFA (planar inverted F- antenna) sont des structures potentielles pour la réalisation d'antennes multi-bandes [1].

L'antenne PIFA est apparue pour la première fois dans la littérature de l'IEEE en 1987. Le nom PIFA provient des antennes planaires F inversées qui étaient des structures en fil conducteur au-dessus d'un plan de masse, formant une forme de F. On peut dire aussi que l'antenne PIFA est une modification de l'antenne patch en introduisant un pin de court-circuit entre le patch et le plan de masse à divers endroits. Le pin de court-circuit fournit une inductance parallèle à l'impédance de l'antenne [2]. L'antenne PIFA est populaire parce qu'elle a un profil bas et un motif omnidirectionnel [3].

Ce chapitre est consacré à la présentation des différents types des antennes qui sont utilisées actuellement. Nous nous sommes intéressés à trois catégories des antennes : les antennes PIFAs et ses évolutions, ses caractéristiques radioélectrique, ses avantages et ses inconvénients de l'antenne PIFA et les techniques pour augmenter la largeur de bande. Ensuite les antennes fractales et ses différentes formes puis ses applications.

Nous présenterons enfin les antennes multi bandes ses nécessités et les différentes techniques multi bandes.

II.2 Antennes PIFAs

II.2.1 l'évolution de l'antenne PIFA

Le PIFA est de plus en plus utilisé dans les applications des dispositifs implantables. L'antenne est résonnante à un quart de longueur d'onde (ce qui réduit l'espace nécessaire dans l'implant) et possède généralement de bonnes propriétés SAR [3]. Cette antenne a évolué à travers plusieurs types :

II.2.1.1 Antennes filaires

II.2.1.1.1 Antenne dipolaire

Le dipôle est une antenne filaire composée de deux brins conducteurs écartés en directions opposées [4].

Le dipôle $\lambda / 2$ est une des antennes les plus généralement utilisées, puisque sa résistance de rayonnement est de 73Ω , qui est proche des impédances caractéristiques de certaines lignes de transmission [6]. Le dipôle $\lambda/2$ est très simplement réalisable à partir de conducteur rigide et ses propriétés théoriques sont très bien définies, ce qui fait que cette antenne peut servir de référence. De plus, elle a l'avantage de présenter un diagramme de rayonnement omnidirectionnel de forme torique et une polarisation linéaire parallèle à la direction des conducteurs. La Figure II.1 représente le diagramme de rayonnement d'une antenne dipôle[5].

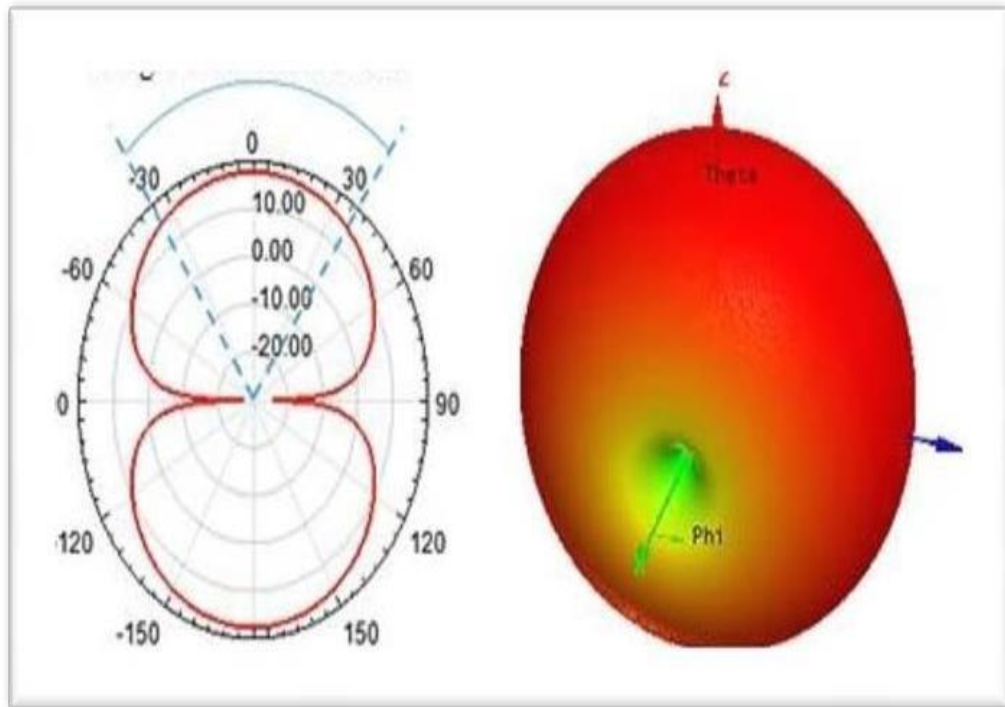


Fig. II.1. Diagramme de rayonnement d'une antenne dipôle.

II.2.1.1.2 Antenne mono polaire

La dimension de l'antenne dipolaire peut être réduite avec l'ajout d'un plan de masse positionné au centre de l'antenne, perpendiculairement à l'axe des fils, c'est l'antenne monopôle (fig. II.2) [5].



Fig. II.2. Antenne monopôle

Une antenne monopôle 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 [7].

Le monopôle était utilisé comme antenne dans les premières générations de

téléphone mobile, mais il a été remplacé par d'autres structures plus compactes et multi-bandes. Aujourd'hui ce type d'antenne reste employé notamment au niveau des routeurs ou des cartes réseau WIFI où la contrainte d'encombrement est moins forte et où un rayonnement omnidirectionnel est souhaitable [5].



(a): Routeur WIFI.

(b) : Téléphone mobile.

(c) : Carte réseau Wifi

Fig. II.3. Exemples de produits mettant en œuvre des monopoles

Le champ rayonné par un monopole quart d'onde disposé sur un plan métallique infini présente, en première approximation, les mêmes caractéristiques que celles obtenues avec le dipôle équivalent. Théoriquement, le monopole possède 3 dB de gain supplémentaire par rapport à celui du dipôle puisqu'il rayonne uniquement sur un demi-espace. En pratique, les dimensions réduites du plan de masse déforment le diagramme de rayonnement et réduisent le maximum de directivité à l'horizon. En termes d'adaptation et de bande passante, le monopôle quart d'onde présente des performances comparables à celles du dipôle équivalent [5].

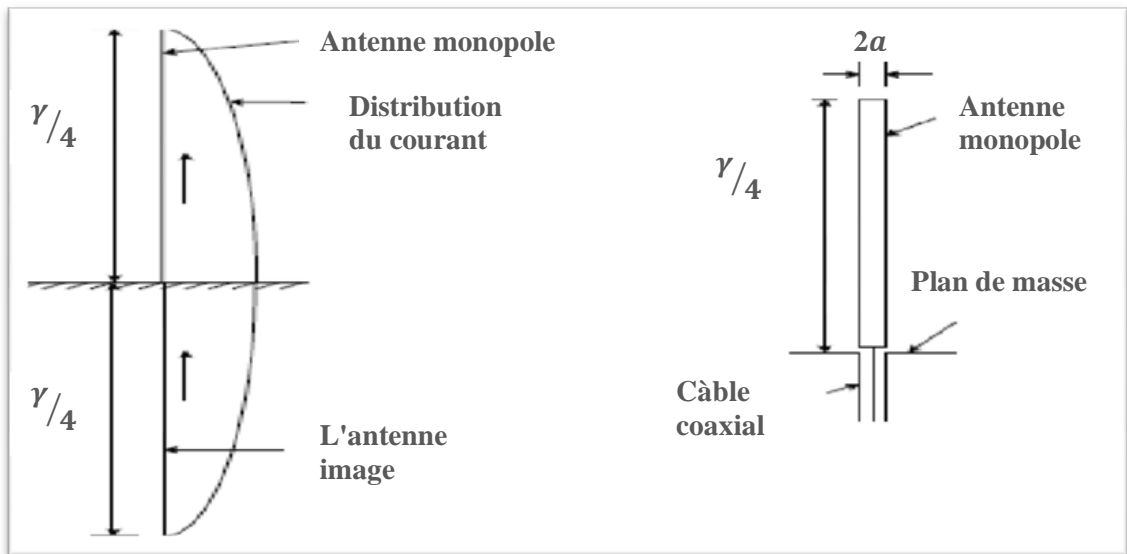


Fig. II.4 .Monopole quart d'onde

II.2.1.1.3 Antennes ILA et IFA

Les antennes ILA (antenne L inverse) se compose d'un monopole vertical court avec l'addition d'un long bras horizontale au dessus . L'impédance d'entrée est presque équivalant a celle de monopole court avec l'addition de la résonance provoqué par le fil horizontale place au dessus de plans de masse [8].

La structure ILA est généralement modifiée en ajoutant un autre élément de inversé à l'extrémité du segment verticale pour la forme de l'antenne IFA [8].

L'antenne PIFA (planar inverted F antenna) apparaît comme un bon compromis entre l'antenne imprimée quart d'onde et l'antenne IFA [8].

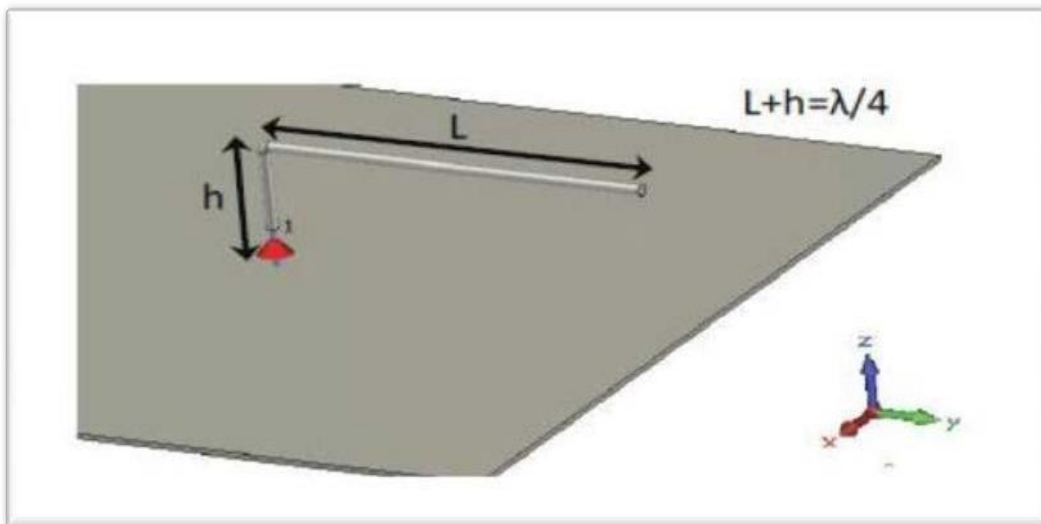


Figure II.5. Géométrie d'une antenne ILA.

L'ajustement de l'adaptation d'une antenne ILA est possible en ajoutant un retour à la masse sur le brin horizontal, on parle alors de l'antenne IFA (inverted F antenna) représentée à la figure II.6 [5] .

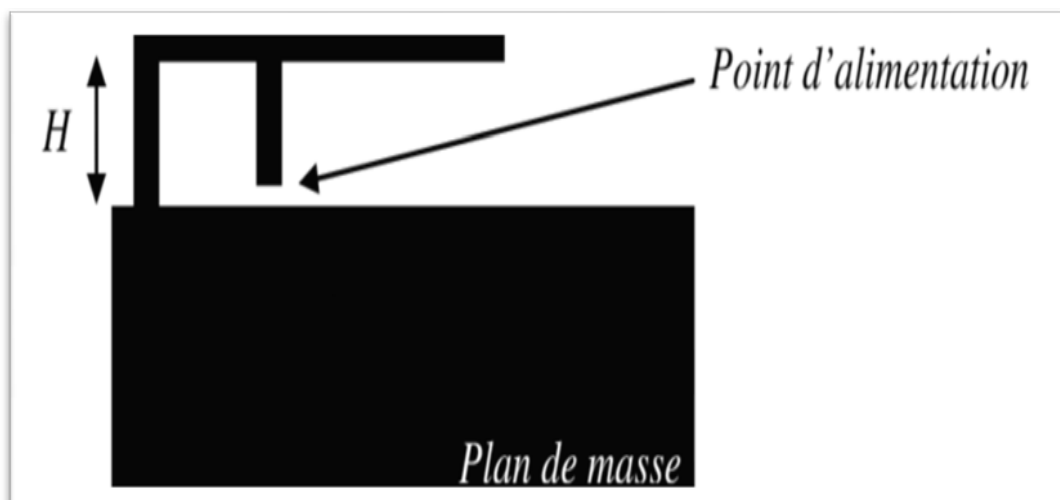


Figure II.6. Géométrie d'une antenne IFA.

L'antenne IFA est une variante du monopole où la section supérieure a été pliée vers le bas afin d'être parallèle avec le plan de masse. Ceci est fait pour réduire la taille de l'antenne. La section pliée du monopole représente la capacité de l'impédance d'entrée de l'antenne qui est composée en implémentant un plat de court-circuit [5] .

II.2.2 Caractéristiques radioélectrique de l'antenne PIFA

II.2.2.1 Distribution de champ électrique

La composante dominante du champ électrique E_z est égale à zéro au plan de court-circuit tandis que l'intensité de ce champ au bord opposé de l'élément planaire est sensiblement grande [9].

Pour les champs E_x et E_y l'élément pointu , qui correspond à la source d'alimentation. Signifie que la ligne électrique de la force est dirigée de la source d'alimentation vers le plan de masse [9].

Quand la largeur du plan de court-circuit est plus étroite que l'élément planaire, le début de champ électrique E_x et E_y se produisant à tous les bords de l'élément planaire. Ces champs marginaux sont les sources de rayonnement dans l'antenne PIFA [9].

II.2.2.2 Distribution du courant

PIFA a des écoulements de courant très grands sur la face inférieure de l'élément planaire et du plan de masse comparé au champ sur la surface supérieure de l'élément. En raison de ce comportement, PIFA est le meilleur candidat quand on parle de l'influence des objets externes qui affectent les caractéristiques d'antenne [9].

La distribution de courant de PIFA change pour les différentes largeurs des plans de court-circuit la distribution de courant est maximal près du fil de court-circuit et diminue loin de lui [9] .

II.2.2.3 L'effet des paramètres de substrat

La largeur de bande d'impédance de PIFA est inversement proportionnelle au facteur de qualité Q qui est défini pour un résonateur par [9] :

$$Q = \text{Energie Stockée} / \text{Puissance Perdue} \quad (2.1)$$

Le substrat avec la constante diélectrique ϵ_r élevée tend à stocker plus d'énergie que le rayonnement. C'est équivalent en modélisant le PIFA comme condensateur avec ϵ_r élevé. de ce fait la valeur de Q augmente et la largeur de bande diminue. de même quand l'épaisseur de substrat est augmentée, la capacité diminue l'énergie stockée dans le PIFA et également le facteur Q . ce qui augmente la largeur de bande [9] .

En résumé, l'augmentation de la taille et la diminution de ϵ_r peuvent être employées pour augmenter la largeur de bande de PIFA [9] .

II.2.3 Avantages et inconvénients de l'antenne PIFA

Le tableau suivant montre les Avantages et inconvénients de l'antenne PIFA :

Les avantages de l'antenne PIFA	Les inconvénients de l'antenne PIFA
<ul style="list-style-type: none"> - Elle peut être intégrée dans un boîtier de téléphone portable [5] . - Le rayonnement en arrière vers la tête de l'utilisateur est réduit, ce qui rend minimale l'absorption de puissance de l'onde électromagnétique et augmente l'exécution d'antenne [5] . - La troisième avantage est que PIFA présente un gain moyen élevé dans les deux états vertical et horizontal de polarisation. Ce dispositif est très utile dans certaines communications sans fil où l'orientation d'antenne n'est pas fixe et les réflexions naissent des différents coins de l'environnement. Dans ces cas, le paramètre important à considérer est le champ qui est la somme du vecteur horizontal et vertical de polarisation [5] . 	<ul style="list-style-type: none"> - La bande étroite de PIFA est l'une des limitations pour son application commerciale pour le mobile sans fil [5]. - Les types habituels de PIFA dans les quels le plan de court-circuit est proche du point de la sonde d'alimentation est une bonne méthode pour réduire la taille d'antenne, mais ceci engendre une largeur de bande étroite d'impédance [5].

Tableau II .1.Les avantages et les inconvénients de l'antenne PIFA

II.2.4 Techniques pour augmenter la largeur de bande

Ces techniques peuvent être récapitulées comme [5] :

- La largeur de bande est affectée par la taille du plan de masse. En changeant cette taille, la largeur de bande d'un PIFA peut être ajustée. Par exemple, la réduction du plan de masse a pour effet d'élargir efficacement la largeur de bande de l'antenne [5].
- L'utilisation de substrat d'air a pour conséquence d'augmenter la largeur de bande et réduire le facteur de qualité Q [5].
- L'emploi de résonateurs parasites avec des fréquences résonantes près de la fréquence du résonateur principal [5].
- L'ajustement de l'endroit et de l'espacement entre les deux plans de courts-circuits[5].
- L'utilisation d'éléments empilés augmente la largeur de bande [5].

II.3 Géométrie fractale

II.3.1 Définition des fractales

D'après B. Mandelbrot, un objet fractal (1975) se dit d'une figure géométrique ou d'un objet naturel. Le terme fractal vient à partir de l'adjectif latin 'fractus', qui signifie irrégulier ou brisé. Un objet fractal doit combiner les caractéristiques suivantes [10] :

- Ses parties ont la même forme ou structure que le tout, que ce soit à une échelle différente ou légèrement déformées [10] .
- Sa forme est, soit extrêmement irrégulière, soit extrêmement interrompue ou fragmentée, quelle que soit l'échelle d'examen [10].

Les fractales ont joué un rôle important dans l'histoire des mathématiques et dans le développement de l'analyse réelle, notamment pour la compréhension de concepts comme la continuité ou la dérivabilité. Depuis, elles n'ont cessé de trouver des applications dans de nombreux domaines différents (mathématiques, modélisation en physique, en finance. . .) [11].

II.3.2 Les différentes forms fractales

Il y a plusieurs formes fractales, classées sous trois catégories :

II.3.2.1 Les courbes fractales

II.3.2.1.1 La courbe de Koch

La courbe de Helge von Koch [Von Koch 1904], construite en tant qu'exemple de courbe continue nulle part dérivable [11]. Pour y arriver, on prend un segment de longueur 1 et on remplace son tiers central par un « pic » formé de deux segments de longueur $1/3$. Au sommet, on ne peut pas trouver de tangente. Les deux points où a eu lieu la « greffe » n'admettent pas de tangente non plus. On refait le même processus pour chacun des quatre nouveaux segments et ainsi de suite. À l'infini, on obtient une courbe exclusivement formée de « pics » qui, on le sait, n'admettent pas de tangente [12].

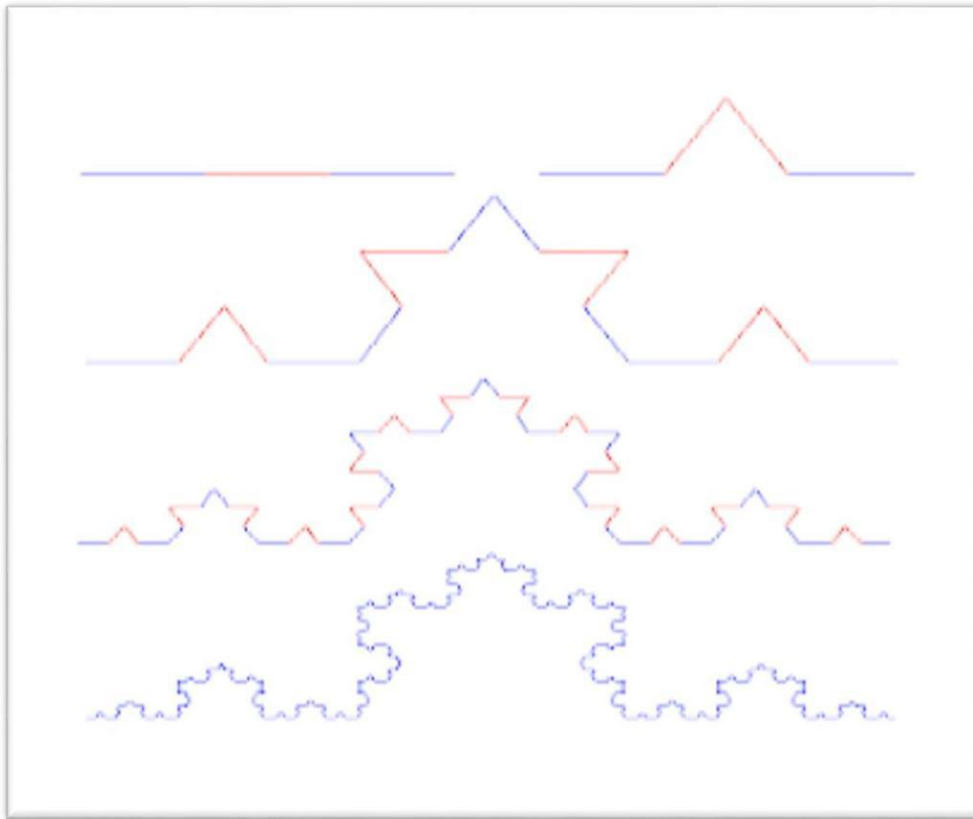


Fig. II.7. Courbe de Koch

II.3.2.1.2 Les Fractals de Hilbert et Peano

a – La fractale de Hilbert

La construction géométrique de la courbe de Hilbert est définie par l'algorithme suivant: 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 [13].

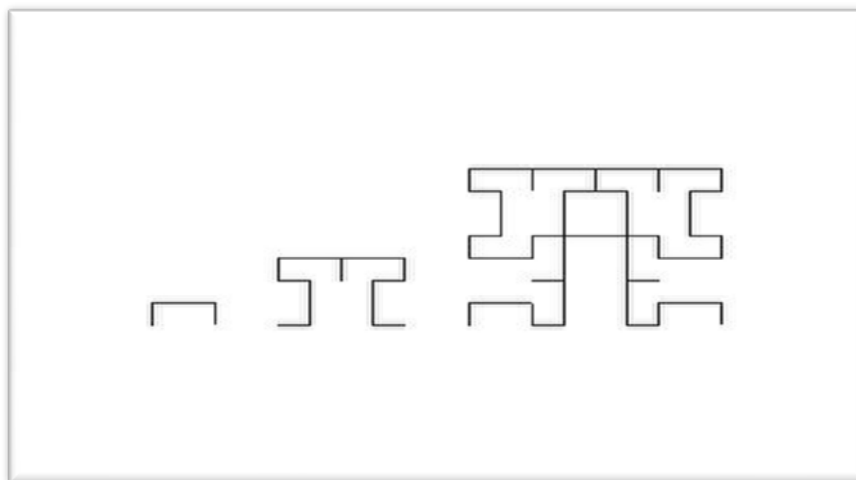


Fig. II.8. Courbe de Hilbert

b- La fractale de Peano :

Elle est découverte par le mathématicien Italien Giuseppe Peano en 1890, c'est une courbe capable de remplir tout un carré, sans jamais se couper. Cette courbe a également été réalisée grâce à un système itératif. Pour cela, il faut prendre un carré dans lequel est dessinée la figure suivante [13] :

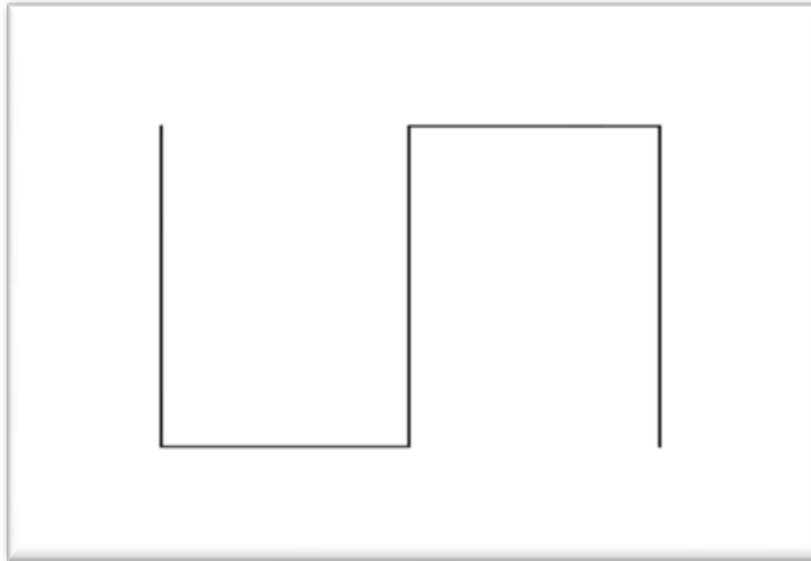


Fig. II.9. Première itération de la géométrie

On imagine alors que ce carré et son motif font partie d'un plus grand carré de côté 3 fois plus long. Chacun des 9 petits carrés est ensuite tourné de façon à ce qu'une courbe continue se forme à l'intérieur du grand carré. On obtient la figure II.10 [13] :

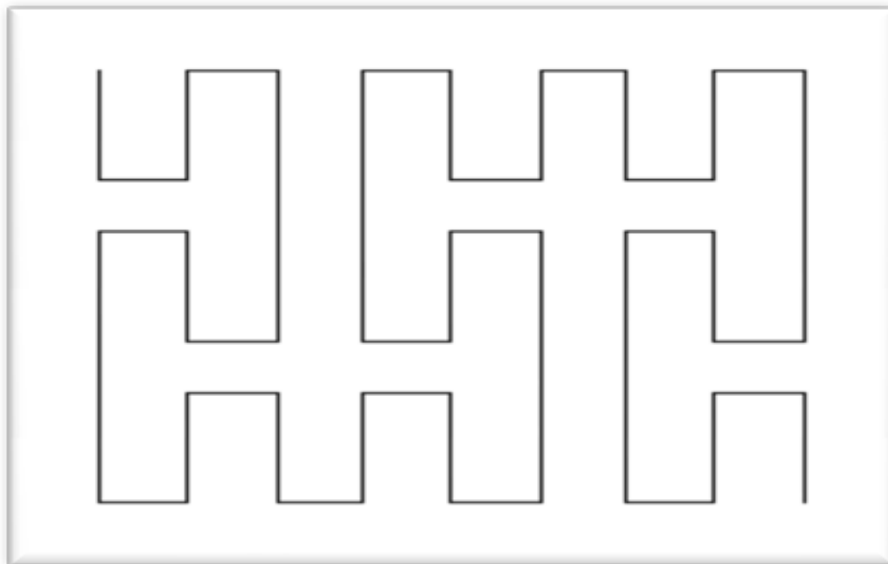


Fig. II. 10. Forme géométrique après plusieurs itérations

II.3.2.1.3 La fractale de Minkowski

Comme le montre la figure II.11, le modèle de démarrage pour la génération de cette fractale est un carré (modèle initial) considéré comme l'itération 0. Une première itération consiste à remplacer chaque segment du carré par un générateur qui se constitue de 5 segments, et ainsi de suite [5].

Notant que les segments des extrémités ainsi que le segment du milieu ont la même longueur, les deux segments qui restent ont une importance capitale. Ils sont considérées comme paramètres de réglage et permettant d'adapter la longueur du périmètre de la fractale [5].

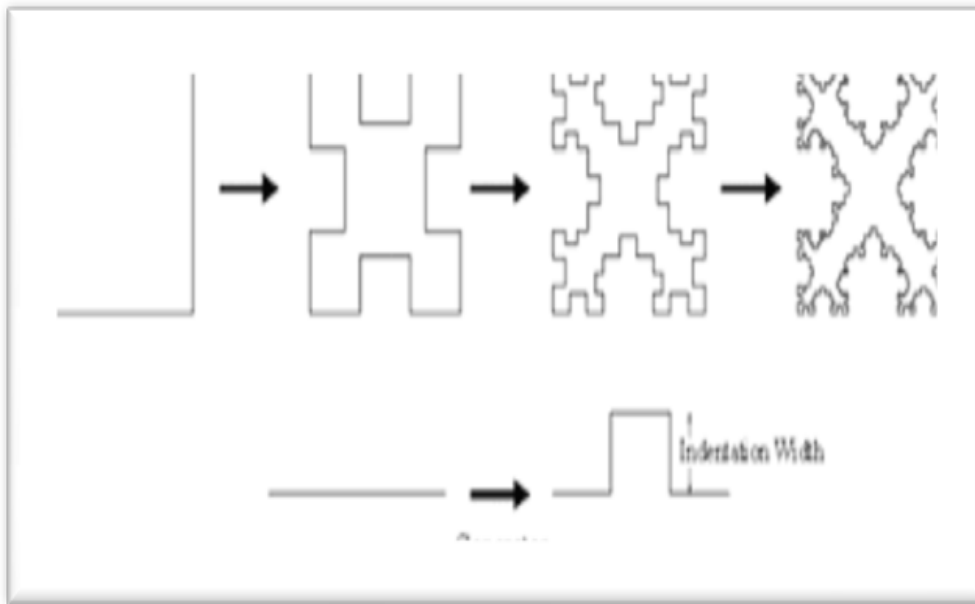


Fig. II.11. Génération de la fractale de Minkowski

II.3.2.2 Les surfaces fractales

Il existe divers géométrie parmi lesquelles :

II.3.2.2.1 Le triangle de Sierpinski

Le triangle de Sierpinski ou le tamis de Sierpinski se construit ainsi : nous prenons au départ un triangle équilatéral, nous le divisons en quatre triangles équilatéraux identiques, équivalents à un quart du triangle initial et nous retirons le triangle central. Nous reproduisons cette division dans les trois autres triangles. Nous pouvons continuer ainsi jusqu'à l'infini. Nous obtenons le tamis de Sierpinski [14].



Fig. II.12. Le triangle de Sierpinski

II.3.2.2.2 Le tapis de Sierpinski

La construction du tapis de Sierpinski est conçue à partir d'un carré plein et en appliquant récursivement les étapes suivantes [15]:

- On découpe le carré en neuf carrés égaux avec une grille de trois par trois [15].
- On supprime la pièce centrale [15].
- On applique cette procédure indéfiniment aux huit carrés restants [15].

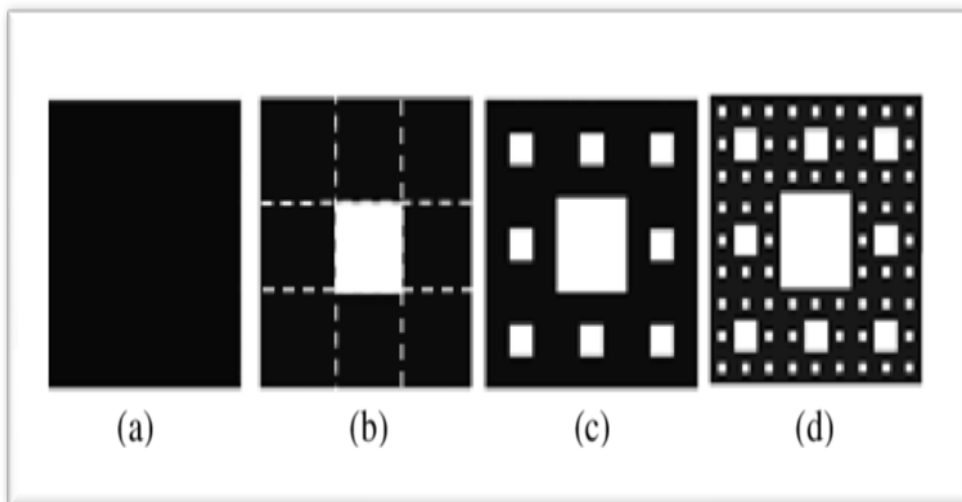


Fig. II.13. Le tapis de Sierpinski

II.3.2.2.3 L'étoile de Koch

Cette forme c'est une surface fractale, elle 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 le montre la figure II.14 [10].

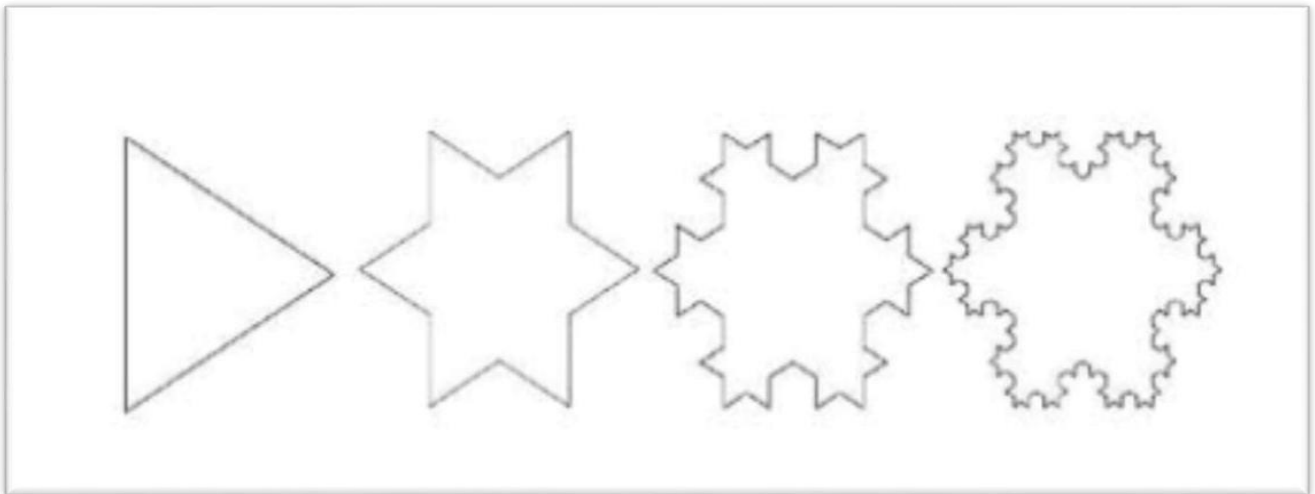


Fig. II.14. Génération d'une étoile de Koch

II.3.2.3 Les volumes fractales

II.3.2.3.1 Le tétraèdre de Sierpinski

Il existe aussi une version 3D du tamis de Sierpinski, le « tétraèdre de Sierpinski », attracteur de 4 homothéties de rapport $1/2$ centrées aux sommets d'un tétraèdre, sa dimension fractale égale à 2 [13] .

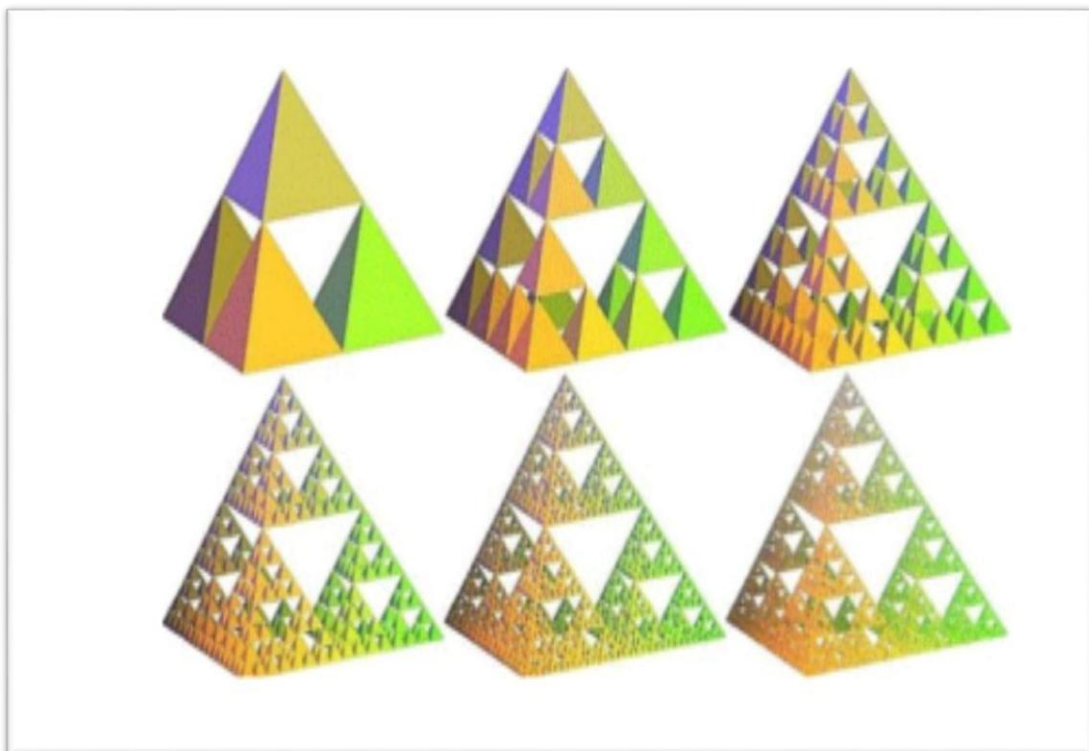


Fig. II.15. Le tétraèdre de Sierpinski

II.3.2.3.2 L'éponge de Sierpinski Menger

L'éponge de Menger, parfois appelée éponge de Menger-Sierpinski, est un solide fractal. Il s'agit de l'extension dans une troisième dimension de l'ensemble de Cantor et du tapis de Sierpinski et fut décrite pour la première fois par le mathématicien autrichien Karl Menger en 1926 [16].

Voici comment on peut procéder pour fabriquer les premiers stades d'une éponge de Menger [16] :

- On prend un cube et on découpe chacun de ses cotés en 3 parties égales, de sorte que chacune de ses faces soit découpée en 9 [16] .
- le cube lui-même se trouve découpé en 27 petits cubes. On enlève au cube initial les trois «barres » de trois cubes joignant les centres des faces [16] .
- le petit cube central étant commun à ces trois barres, on a enlevé au cube initial une espèce de croix composée de sept petits cubes [16].
- On fait alors subir aux vingt petits cubes restant la même « opération » que celle subie par le grand cube et ainsi de suite [16].

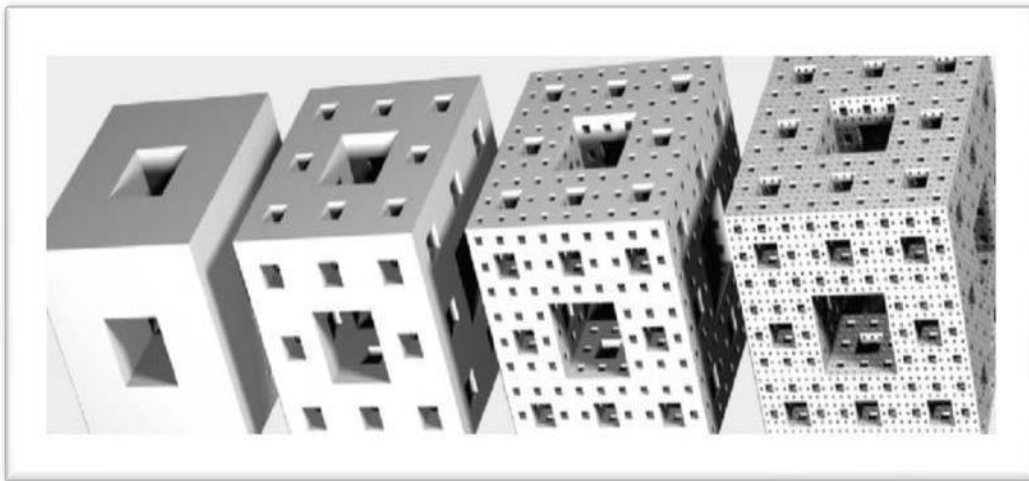


Fig. II.16. L'éponge de Sierpinski Menger

II.3.3. Applications des formes fractales

Depuis la contribution de Mandelbrot, les fractales sont devenues une véritable notoriété, ils sont tout d'abord utilisés pour décrire les objets irréguliers qui existent dans la nature (géométrie d'une côte, arbres, plantes,...) mais à nos jours les possibilités qu'offrent les fractales dans les avancées mathématiques, physiques, et technologiques sont nombreuses [13]:

- La compréhension, le calcul et le traitement de certains phénomènes aléatoires qui n'obéissent pas aux lois statistiques classiques comme les bruits parasites dans les circuits électroniques [13].
- En médecine, elles offrent la perspective de dépistage du cancer du sein , d'après les avis de

plusieurs chercheurs américains, ils pensent de pouvoir établir un dépistage du cancer du sein grâce aux fractales. Ils ont prouvé que la chromatine (substance composée de molécules d'ADN, d'ARN et de protéines, contenue dans le noyau des cellules) est de structure fractale faiblement irrégulière dans les tissus sains du sein .

Un autre domaine d'application est la fabrication d'antennes radio fractales où elles présentent une faible place tout en ayant un très bon rendement dans le domaine multi- bandes ou large bande d'émission [15].

- En informatique, la compression de fichiers (images, sons) utilise ces propriétés bien utiles pour gagner de la place [13].

- En biologie, le dépistage du cancer du sein se fait en observant le noyau des cellules. La grosseur, la forme, la régularité et la présence de vides dans la chromatine sont autant de critères permettant de juger de la malignité d'une cellule [13].

- En géologie, les fractales sont utilisées pour la recherche de nappes de pétrole [13].

- 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 [13].

Un autre domaine d'application est l'utilisation des formes fractales dans la conception d'antennes où certaines de ces géométries ont été particulièrement utiles en diminuant la taille de l'antenne , alors que d'autres visent à implanter des caractéristiques multi-bandes [13].

II.4 Les antennes multi bandes

II.4.1 Définition

Une antenne multi-bande est une antenne qui fonctionne ou plus précisément qui résonne sur au moins deux fréquences avec les mêmes exigences (adaptation, valeur du coefficient de réflexion,...) [17].

La fréquence de résonance d'une antenne définit sa fréquence de fonctionnement, i.e. la fréquence pour laquelle la partie imaginaire de son impédance d'entrée est nulle. Cela autorise, dans la majorité des cas, un coefficient de réflexion minimum [18].

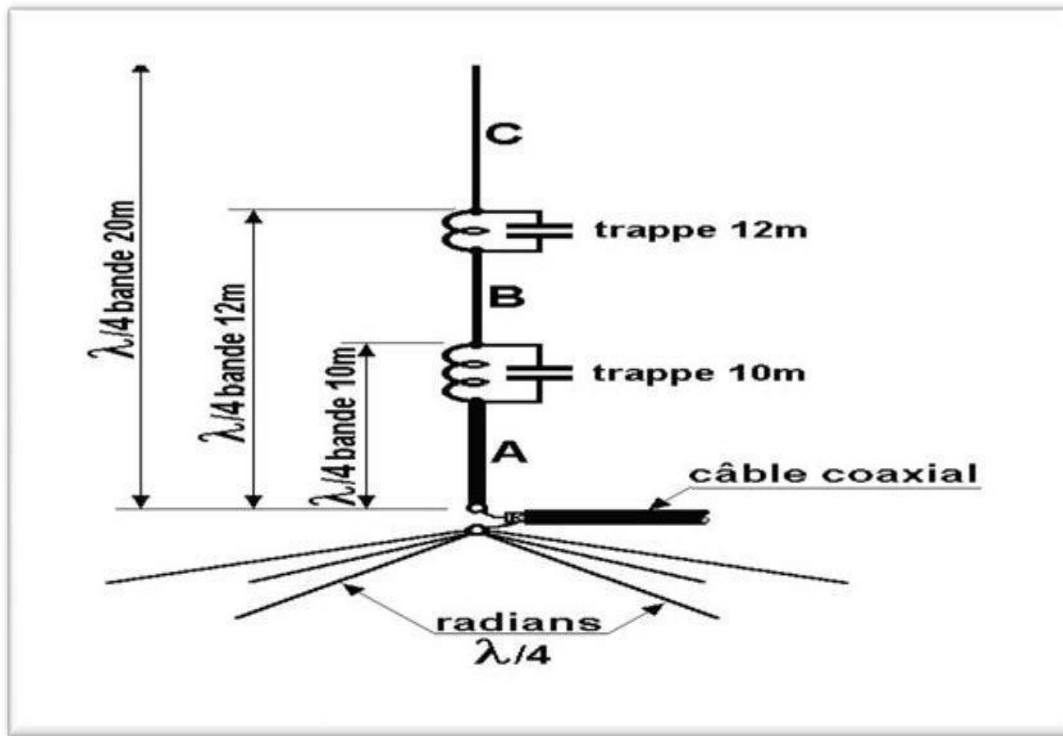


Fig. II.17. Antenne verticale multi bande

II.4.2 Nécessité des multi bandes

Actuellement , la plupart des téléphones mobiles fonctionnent avec des antennes Intégrées tribandes . GSM900/DCS1800/UMTS2172 . La plupart des solutions existantes pour réaliser ces antennes sont basées sur des éléments court-circuités (quart-d'onde) [13].

L'élément rayonnant est généralement optimisé pour assurer le fonctionnement en bande basse (GSM900). Le fonctionnement en bande haute (DCS 1800) est quant à lui assuré par l'abaissement des modes supérieurs de l'élément quart-d'onde , Pour cela, en simplifiant, deux principes sont utilisés la plupart du temps [13] : L'allongement des longueurs électriques et/ou la création d'effets capacitifs. Les bandes passantes ainsi obtenues au moyen d'une seule résonance pour chaque standard, sont cependant souvent trop étroites pour assurer un bon fonctionnement, en particulier lorsque l'antenne se trouve dans son environnement de travail définitif (boîtier plastique, batterie, composants ajoutés sous l'antenne ...) [13].

Il semble donc difficile de pouvoir continuer à réaliser des antennes pour les terminaux de troisième génération avec ce concept d'élément à un seul résonateur [13].

II.4.3 Les différentes techniques multi bandes

Les méthodes mises en œuvre pour faire résonner l'antenne en fréquence sont très Diverses et reposent sur plusieurs concepts. Les sous-sections suivantes décrivent les concepts les plus courants utilisés pour obtenir des antennes multi bandes [19].

II.4.3.1 Combinaison de plusieurs éléments rayonnants

La technique la plus classique pour obtenir des antennes multi-bandes est la combinaison de deux ou plusieurs éléments rayonnants (résonateurs) mono-bande. Ces éléments mono- bande peuvent être de même type ou différents les uns des autres. Côté excitation, les éléments constituant ces antennes multi-bandes peuvent être alimentés de deux manières différentes

[13] :

- Alimentation directe par port d'excitation : dans ce cas ces éléments sont appelés éléments actifs ou directeurs [13].

- Alimentation par couplage électromagnétique avec élément rayonnant voisin alimenté directement : dans ce cas ces éléments sont appelés éléments parasites ou passif [13].

Les différents éléments rayonnants de ces antennes créent leurs propres fréquences de résonance fondamentale et supérieures. Si l'on désire obtenir une large bande passante, il faut choisir les longueurs résonnantes de ces éléments du même ordre de grandeur. Si l'on souhaite plutôt travailler sur plusieurs bandes de fréquences distinctes, il faut alors dimensionner différemment chaque résonateur [13].

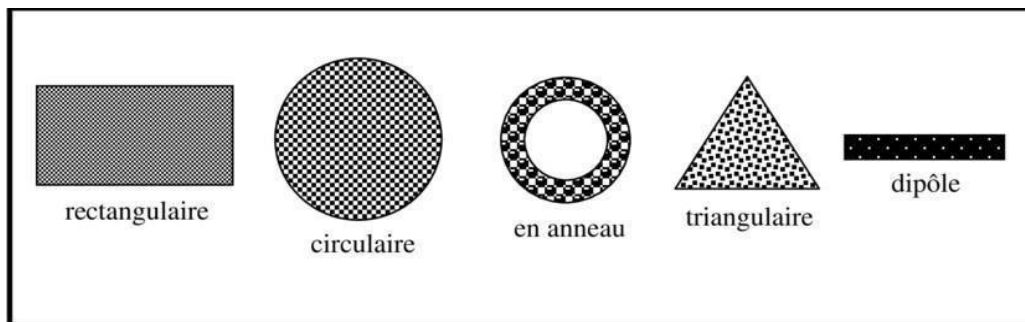


Fig. II.18. Divers types d'éléments rayonnants

II.4.3.2 Technique de fente :

Ces dernières années, le nombre de standards de communication a augmenté (GSM900, DCS 1800, UMTS, WLAN, BLUETOOTH, etc.). Ces normes incitent fortement les chercheurs à rechercher des modèles d'antennes de plus en plus complexes, ils utilisent généralement des structures de court-circuit ou utilisent des fentes qui permettent de réduire le rayonnement dans le mode supérieur [19].

II.4.3.3 Technique fractale :

Ce sont des antennes très spéciales qui peuvent réaliser un fonctionnement multi- bandes grâce à des formes fractales. Les fractales sont une solution efficace pour augmenter le périmètre de la surface. Évidemment, la circonférence de l'antenne est un facteur clé pour déterminer la fréquence de résonance. Une antenne fractale avec un périmètre donné couvrant une surface plus petite qu'une antenne carrée similaire. La figure II.19 montre certains types d'antennes fractales [19] .

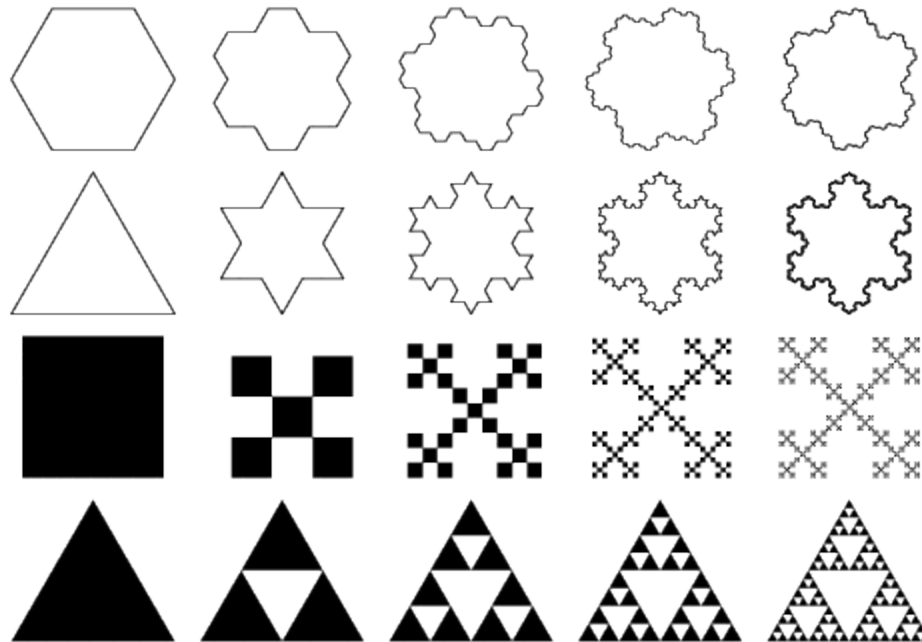


Fig. II.19. Différents types des antennes fractales

II.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés aux trois catégories des antennes à savoir les antennes PIFAs (planar inverted – F antenna) , les antennes fractales et les antennes multi-bandes . Il est à noter que les antennes PIFAs et les antennes fractales sont des structures potentielles pour la réalisation des antennes multi-bandes . Le chapitre se termine par les différentes techniques multi-bandes .

Références

- [1] : S. Hebib , " Nouvelle topologie d'antennes multibandes pour applications spatiales " , Doctorat de l'université de toulouse , 2008 .
- [2] : A. Djellid," Analyse rigoureuse des antennes F inversees par la methode des elements finis d'ordre superieur " », Université Mohamed Boudiaf – Msila faculte de technologie , 2019. "Mémoire de master " .
- [3] :Y. Abdenour " Étude et conception des antennes miniatures pour les applications biomédicales «, Tlemcen, 2018. " Mémoire de master "
- [4] : Insa Lyon, "Communications Hertziennes (COH)», CITI – Dept Télécoms – Insa lyon ,Deuxième partie : Antennes pp II-37.
- [5] M. Zekri et S. Nehad , "Conception des antennes PIFA fractales tribandes pour les systemes de telecommunications mobiles " , Tlemcen , 2021 "Mémoire de master " .
- [6] A. Zitouni,"Antennes», universite Hassiba benbouali de chlef faculté de technologie département d'électronique, 2018. "Mémoire de master" .
- [7] : Trong Duc Nguyen, "Conception d'antenne intelligente reconfigurable pour la radiocognitive», Université de Grenoble, 2012. Français. FfNNT : 2012GRENT027ff. fftel- 00859818f.
- [8] : N. Belgacem , " Conception des antennes PIFA mono-bande et multi –bandes GSM, DCS, PCS, UMTS ET WIFI», Tlemcen, 2013. " Mémoire master " .
- [9] : A. Iliasou et M. Djire " Conception d'antenne miniature d'objets connectés pour application au réseau LPWAN «, Tlemcen, 2021. " Mémoire master " .
- [10]: Y. Belhadef " Conception d'antennes PIFAs large bande et multibandes pour différents standards de telecommunications mobiles " , Tlemcen, 2011. " Thèse de doctorat " .

- [11] :S. Maxime, "Modèle géométrique de calcul : fractales et barrières de complexité «université d'orléans , 2013. "Thèse de doctorat " .
- [12] : D. Aissaoui , "Etude et conception d'antennes fractales pour des applications ultra-large-bande " , Tlemcen, 2019. " Thèse de doctorat " .
- [13] : D. Ameziane " Etude et optimisation d'antennes fractales plaquées " , Tlemcen,2009.
- [14] Céline Abraham, " Tamis de Sierpiński «, Collège Alain-Fournier, Orsay (91) , Année2015 – 2016. " Article rédigé par des élèves dans collège Alain-Fournier, Orsay " .
- [15] : W. Guennad et I. Hattab , "Etude et conception d'antennes originales fractales a base des méta-matériaux pour les applications sans-fil " , Tlemcen .
" Mémoire master " .
- [16] : Patrick chili, L'éponge de Menger, APMEP no 473.
- [17] : Hafedh Ben IBRAHIM GAHA, " Analyse et conception des antennes fractales applications aux télécommunications large bande», INPT-ENSEEIH de Toulouse &UTM-ENI de Tunis, 2007.
- [18] : A. Brahim, "Etude de la technologie des antennes multibandes pour les applications spatiales ,» Université des Sciences et de la technologie d'Oran Mohamed Boudiaf , 2009. "Mémoire de magister " .
- [19] : N. Tiab ET A. Moumed , " Conception d'une nouvelle antenne multibandes à Polarisation Circulaire «, Université 8 Mai 1945 – Guelma, 2021. " Mémoire master " .

Chapitre III

Conception d'antennes

PIFAs fractales quadri bandes

III.1 Introduction

Actuellement, la multiplication et la diversité des standards de communications radio mobiles ont créé un besoin pressant pour les antennes multifréquences permettant notamment d'assurer la compatibilité des différentes normes ou accéder à de nombreux services à partir du même appareil [1].

Dans ce chapitre , nous présentons de nouvelles géométries pour le type d'antenne PIFA.L'alimentation de l'élément est effectuée par une ligne microruban. La conception des Structures proposées, à partir d'une antenne PIFA simple, par logiciels CST studio permet d'avoir des antennes quadri bandes.

Nous présentons d'abord l'outil de simulation " logiciel CST " , par la suite nous allons nous intéresser aux antenne PIFA conventionnelle mono-bande . Ensuite , la conception de l'antenne PIFA fractale quadri bandes , et nous terminerons ce travail par une présentation et discussion du résultat final de la simulation.

III.2 Présentation de l'outil de simulation " logiciel CST" :

CST microwave studio est un logiciel dédié à la conception et à la simulation électromagnétique de structures hyperfréquences complexes (telles que filtres, coupleur et tous types d'antennes). Il a été fondé en 1992 par la société allemande CST (computer simulation technology). Le logiciel est basé sur la technique d'intégration finie (FIT) pour déterminer des solutions aux problèmes électromagnétiques, en particulier les fréquences micro-ondes pour l'analyse du temps et de la fréquence [1].

Le principe de l'intégrale finie est de reformuler l'équation intégrale de Maxwell et sa discrétisation pour la rendre compatible avec les systèmes informatiques , de manière à résoudre le problème de la structure complexe . Il est nécessaire d'utiliser un volume fini fermé pour définir le domaine de calcul pour faciliter la discrétisation de chaque équation de Maxwell et son analyse à travers la grille cubique [1].

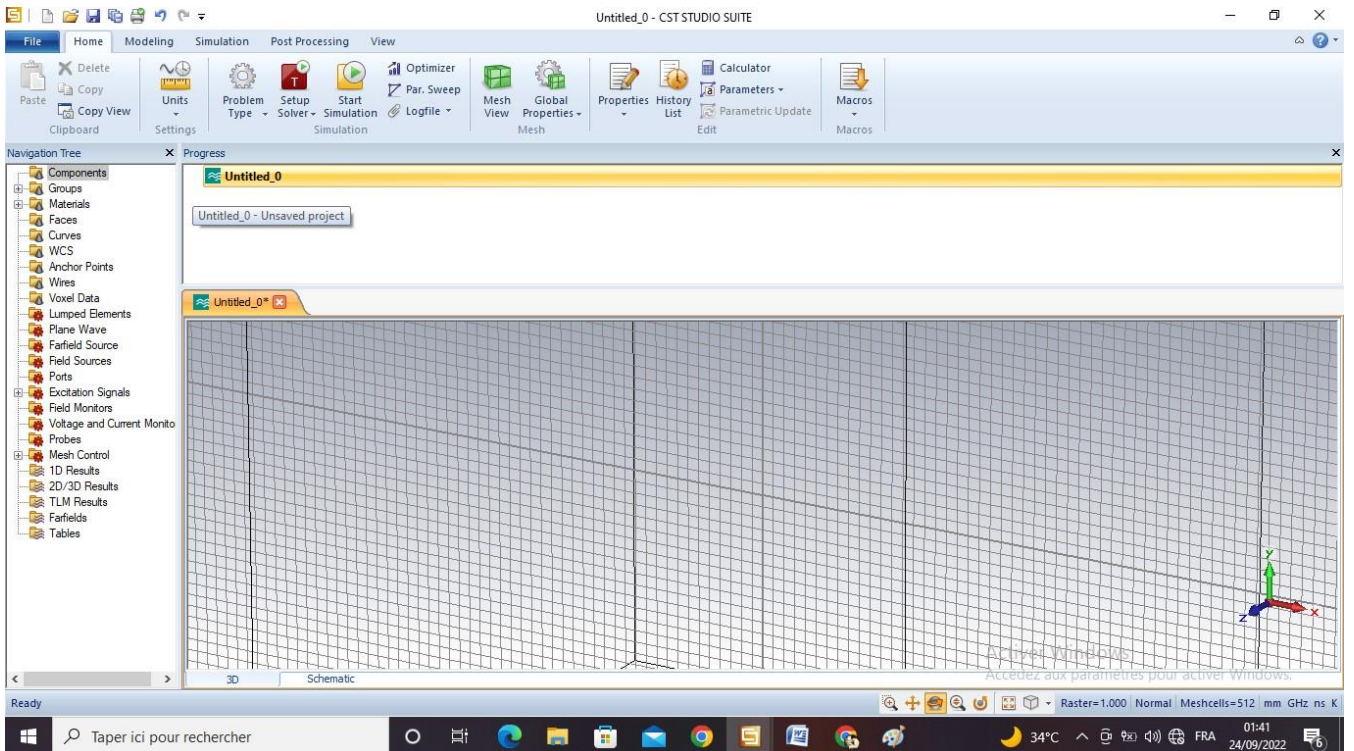


Fig.III.1. Interface Cst studio suite 2014

III.3 Antenne PIFA conventionnelle

L'antenne PIFA initiale est constituée d'un plan de masse de 70 mm de longueur et 30 mm de largeur et d'un patch rectangulaire d'une longueur $L_1=40$ mm et d'une largeur $L_2=21$ mm placé sur un substrat de mêmes dimensions de plan de masse utilisant comme matériau le FR4_epoxy qui est caractérisé par une permittivité relative de 4, une perméabilité relative de 1, la $\tan \delta$ des pertes diélectriques=0.02 et une épaisseur $t = 0.035$ mm. Le patch a une hauteur H de 5mm. Il est lié au plan de masse à travers une languette de même hauteur et de même largeur du patch. Le patch est alimenté via une ligne microruban d'impédance caractéristique 50Ω et dont sa position est $x=3.1$, $y=5.2$. L'antenne est conçue pour servir à l'application LTE à 2.6 GHz [1] .

L'alimentation de la structure est réalisée par une languette de 1mm située d'un pin de court circuit [2].

La figure ci-dessous représente un antenne PIFA sans fractale :

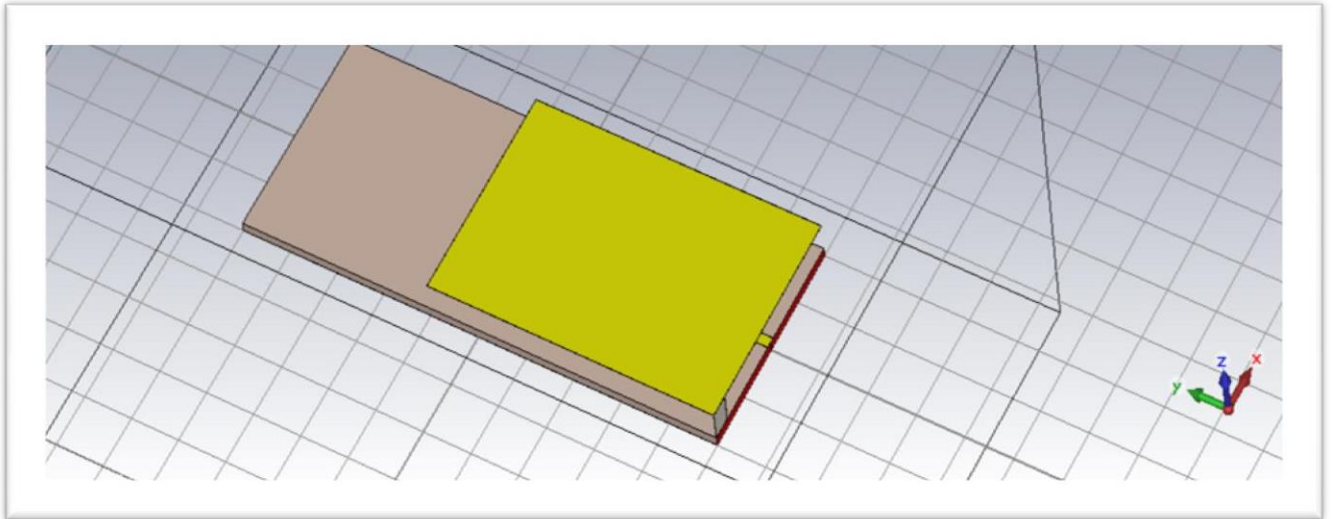


Fig III.2. Antenne sans fractale

La figure à ci-dessous représente les variations du coefficient de reflexion en fonction de f .

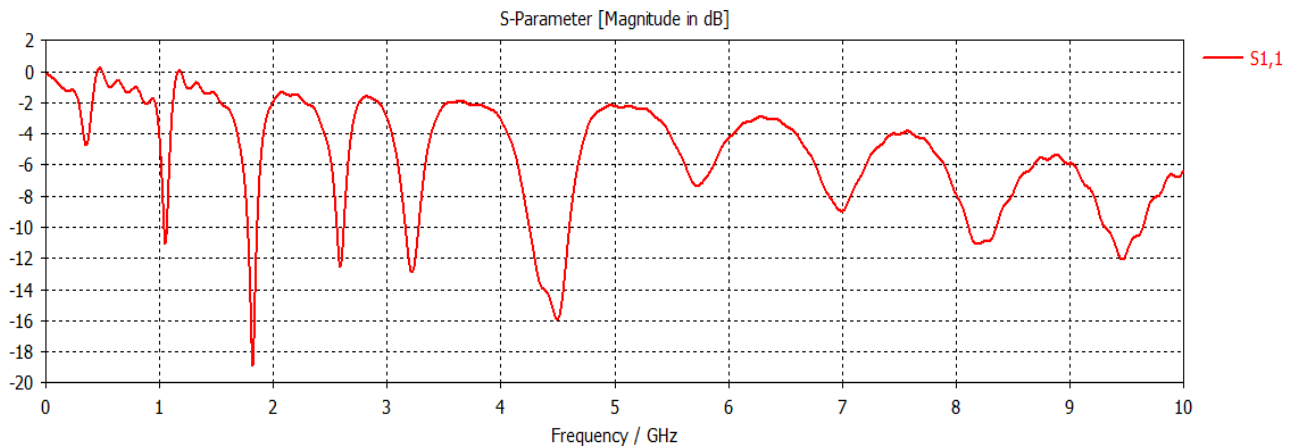


Fig III.3. Coefficient de reflexion de l'antenne sans fractale .

III.4 Conception de l'antenne PIFA fractale quadri bandes

Les antennes PIFA (planar inverted-F antenna) sont des structures potentielles pour la réalisation d'antennes multi-bandes. Elles trouvent principalement leurs applications dans les dispositifs de communication sans-fil comme les téléphones portables [4] .

L'antenne PIFA est un combinaison de l'antenne fractale dans la topologie de PIFA. Dans ce cas , on alimentée l'antenne par une ligne microruban et on a placé un court-circuit pour liée la ligne et le patch d'antenne.

III.4.1 Géométries et dimension de l'antenne PIFA fractale

Sur le patch nous avons inséré une fente fractale du type Péano comme le montre la figure III.4.

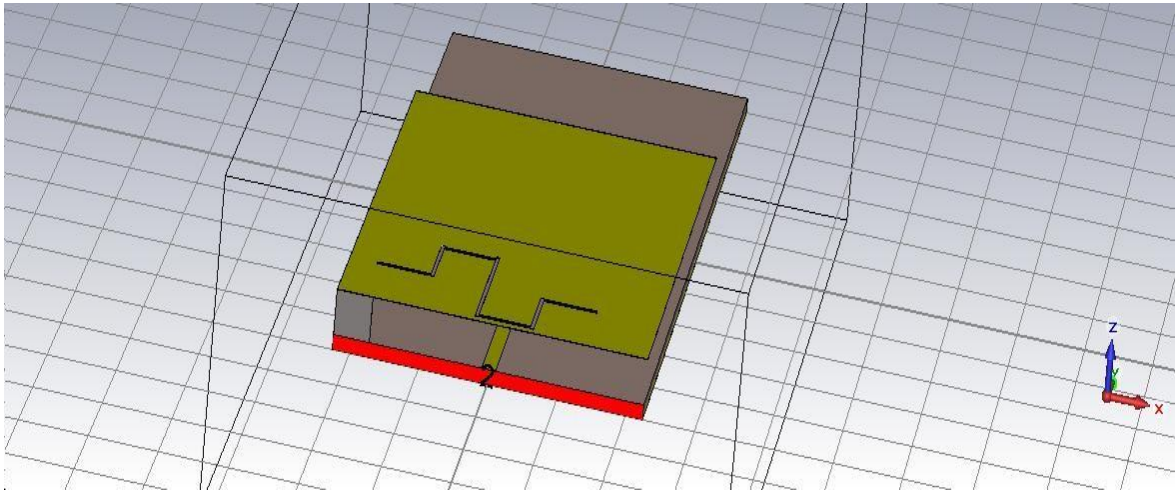


Fig III.4. Antenne PIFA fractales quadribandes dans le rédacteur de CST microwave studio.

Le tableau suivant montre les dimensions de l'antenne PIFA fractale :

Paramètres	Dimensions (mm)	Description
E	1.5	Epaisseur des fentes
H	6	Hauteur de patch
Hs	1.6	Hauteur du substrat
L1	40	Longueur du patch
L2	60	Largeur de patch
L3	100	Longueur de plan de masse
Lg	70	Largeur de plan de masse
S1	8	Longueur des fentes
T	0.035	Epaisseur de plan de masse
M	4	Longueur de court-circuit
Ws	0.5	Largeur des fentes
X	3.1	L'écart x
Y	5.2	L'écart y
V	1	Largeur de ligne d'alimentation

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

Les normes GSM/DCS/UMTS...etc. sont disponibles pour la plupart des fournisseurs de service de communication. L'antenne avec ces bandes multiples est exigée par les fabricants du téléphone mobile [3].

Pour montrer l'influence des fentes fractales sur l'antenne PIFA, nous allons passer à l'itération suivante. De ce fait nous ajoutons des fentes supplémentaires sur les côtés de la fente principale afin d'obtenir la forme des fentes fractales ci-dessous :

III.4.2 Résultat

Étude paramétrique:

Étude du paramètre e :

On varie " e " de 1.5 à 5.5 , comme le montre la figure III.5.

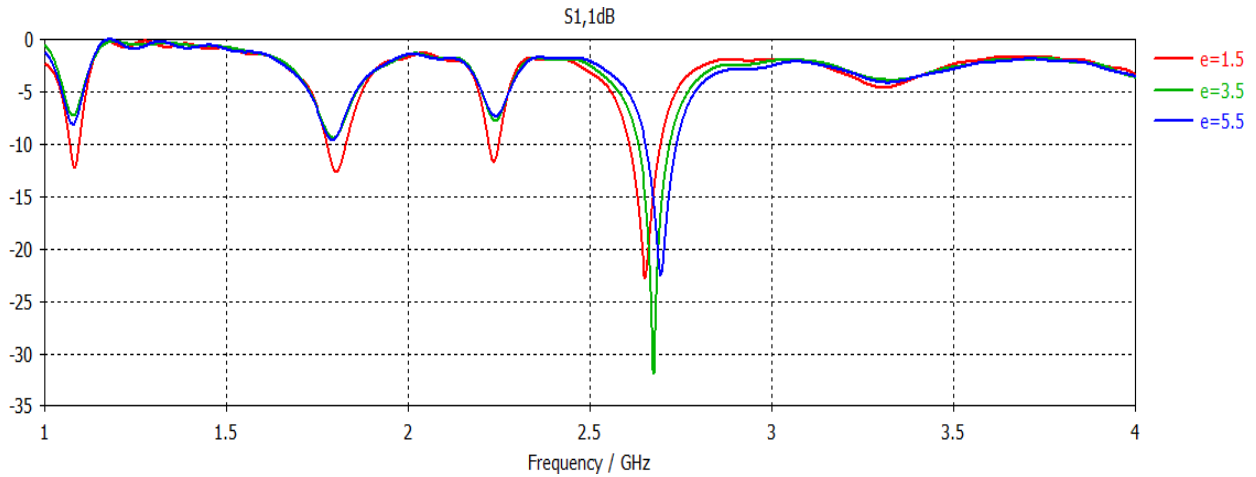


Fig III.5. Variation de coefficient de réflexion en fonction de e

On remarque dans la variation du paramètre " e " que le s_{11} pour " $e=1.5$ " est bien adapté par rapport au autres valeurs de " e ".

Étude du paramètre h :

On varie " h " de 5 à 6 , comme le montre la figure III.6 .

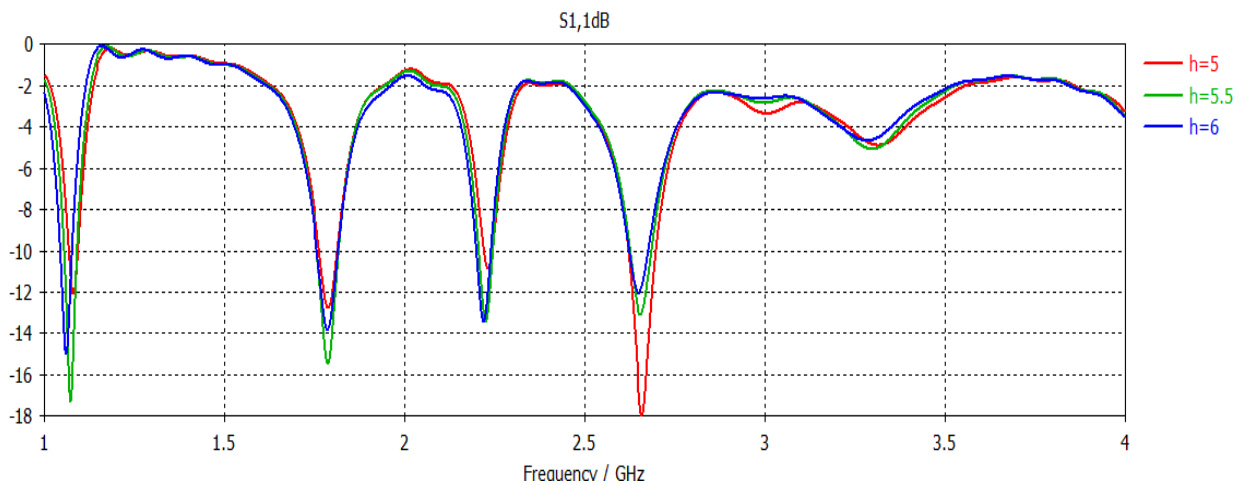


Fig III.6. Variation de coefficient de réflexion en fonction de h

Par l'étude paramétrique de paramètre h , on observe que la variation de h ne présente pas une grande influence beaucoup à les fréquence de résonance .

Étude du paramètre $L1$:

On varie " $L1$ " de 45 à 40 , comme le montre la figure III.7 .

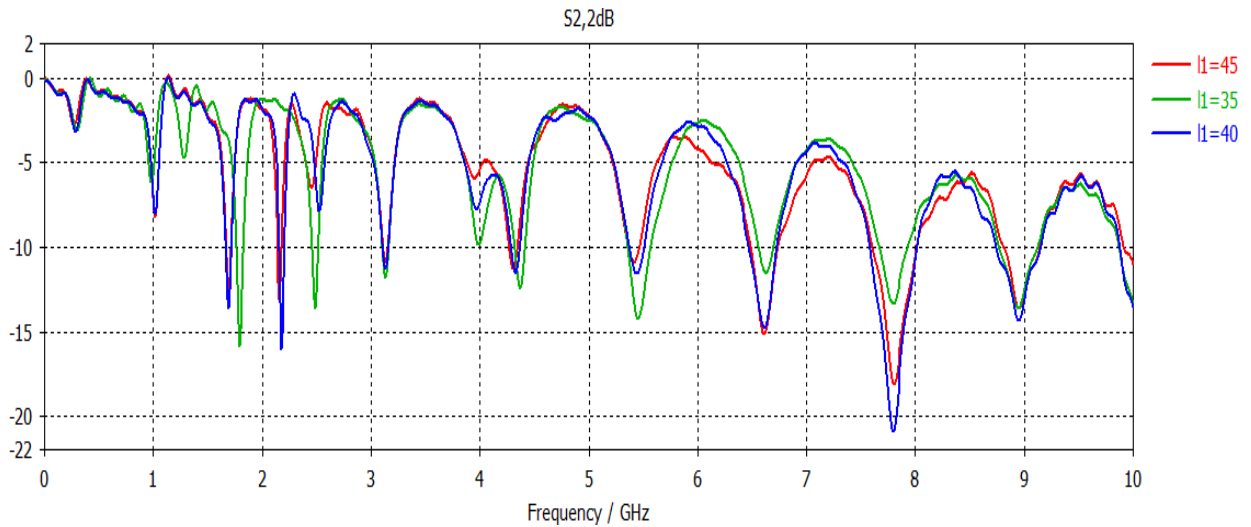


Fig III.7. Variation de coefficient de reflexion en fonction de L1

On remarque que une bonne adaptation est réalisée par $L1=35\text{mm}$.

Etude d paramètre L2:

Après l'étude de L1 on est passé à l'autre dimension du patch L2, et on trouve que $L2=60$ est la meilleure valeur pour adapter cette antenne (la figure III.8).

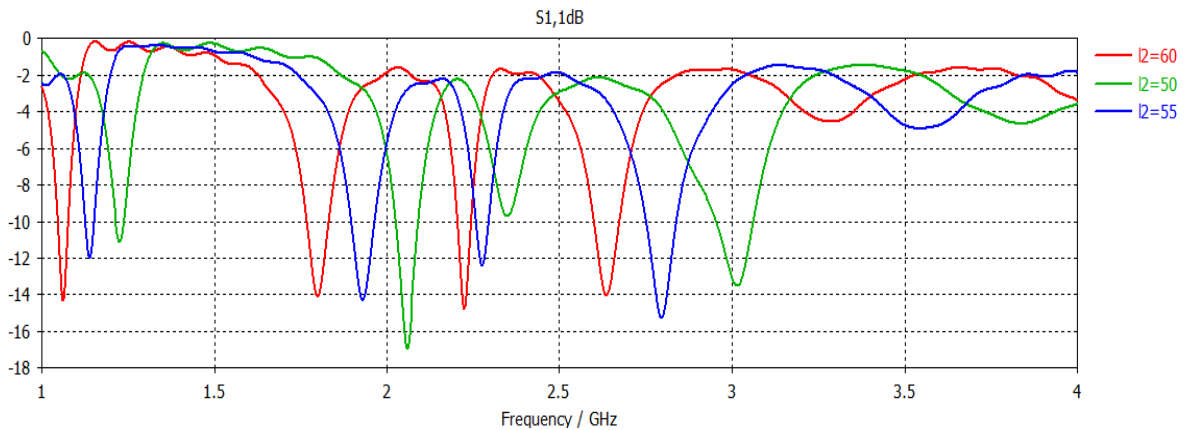


Fig III.8. Variation de coefficient de reflexion en fonction de L2

Etude du paramètre v (largeur de ligne d'alimentation) :

On remarque que lorsqu'on varie la largeur de ligne d'alimentation pour voir son influence sur la fréquence et dans le cas de notre antenne c'est la valeur $v=2\text{mm}$ qui a donnée la meilleure adaptation (la figure III.9).

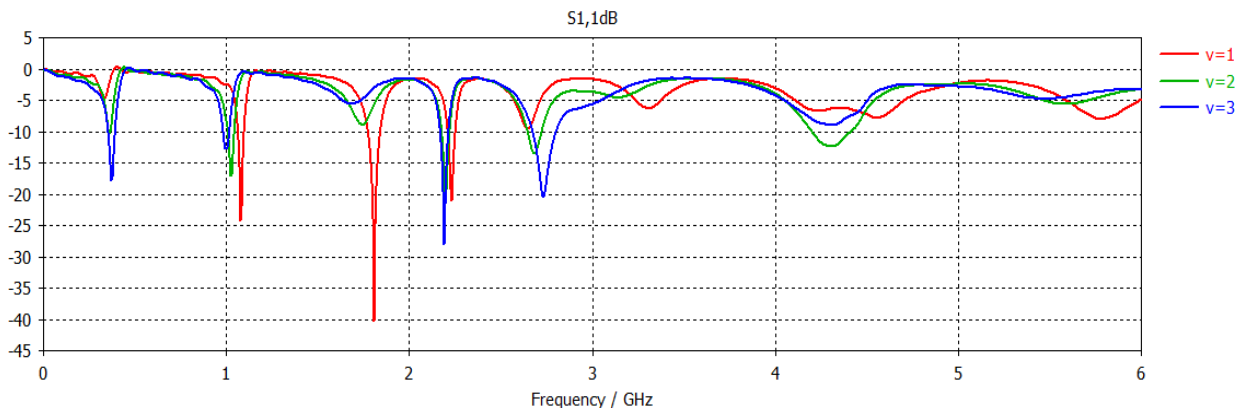


Fig III.9. Variation de coefficient de reflexion en fonction de e de la largeur des fentes

III.4.3 Etude et optimisation de l'antenne PIFA fractale

Pour faire connaître l'influence des fentes, on va étudier leurs paramètres géométriques

III.4.4 L'effets des paramètres géométriques de la fente fractal sur l'antenne PIFA

a – L'effet de la largeur de la fente

La figure III.10 montre l'influence de la largeur de la fente sur la fréquence de résonance de l'antenne pour différentes valeurs de la largeur de la fente ($w_s1=0.25\text{mm}$, $w_s2=0.5\text{mm}$, et $w_s3=0.75\text{mm}$). On observe une bonne adaptation de l'impédance pour la fréquence de résonance à (1.2, 1.8, 2.3 et 2.6 GHz pour w_s1), (1.2, 1.7, 2.25, 2.62 GHz pour w_s2), (1.2, 1.7, 2.26, 2.61 GHz pour w_s3) en réglant la valeur du paramètre w_s . La valeur optimale de ce paramètre est $w_s=0.5$.

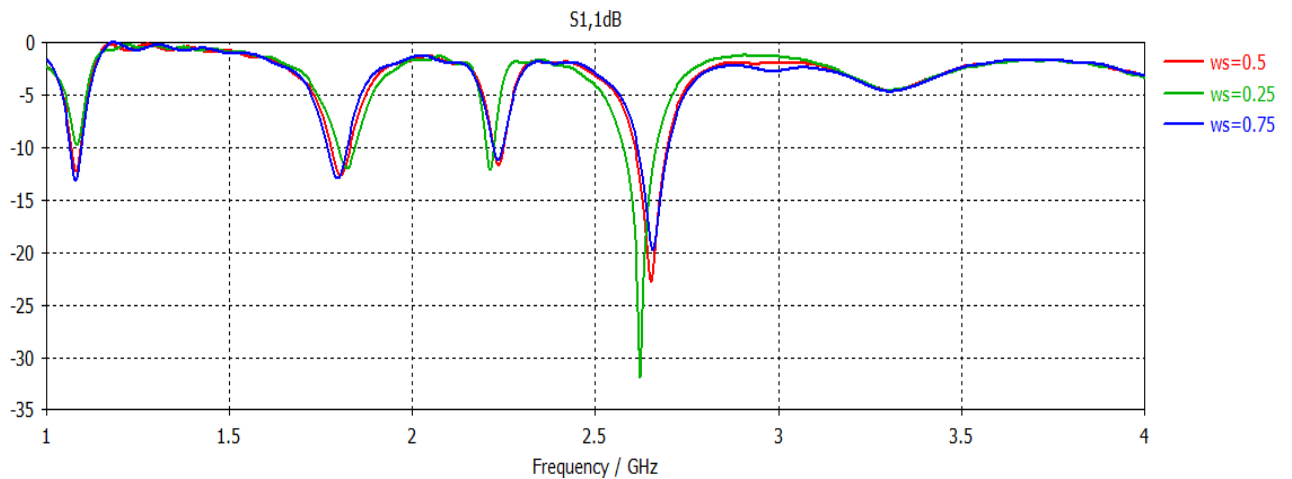


Fig III.10. Variation du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence pour différentes valeurs de la largeur de la fente.

b – L'effet de la longueur de la fente

Les dimensions de l'antenne précédente un dimensions suivant la position x on a $s_1(7,8,9 \text{ mm})$. Les meilleures valeurs du coefficient de réflexion étant obtenues pour $s_1=8\text{mm}$ où l'antenne fonctionne à quatre fréquences de résonances 1.02, 1.8, 2.4, 2.7 GHz.

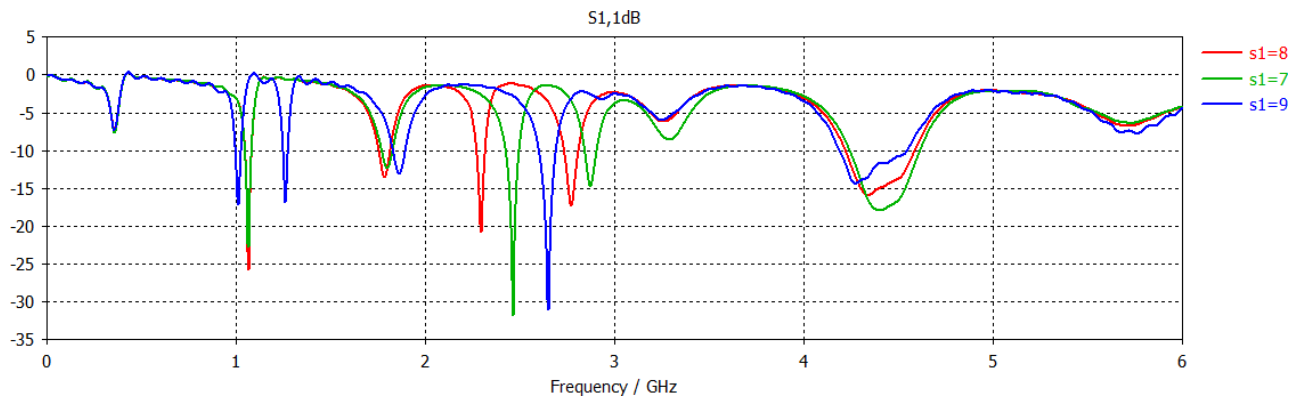


Fig.III.11. Coefficient de réflexion pour différentes valeurs de la longueur de la fente fractale.

III.5 Présentation et discussion du résultat final de la simulation

D'après l'étude paramétrique : Le nouveau tableau des dimensions

Parametres	Dimensions (mm)
E	1.5
H	5.5
Hs	1.6
L1	35
L3	100
M	4
S1	8
S2	9
T	0.035
V	2
Ws	0.5

Tableau III.2. Nouvelles valeurs des parametres de l'antenne PIFA après l'adaptation .

Sur les deux figures ci-dessus ,on represente respectivement le coefficient de reflexion s_{11} . de et le taux d'onde stationnaire l'antenne finale :

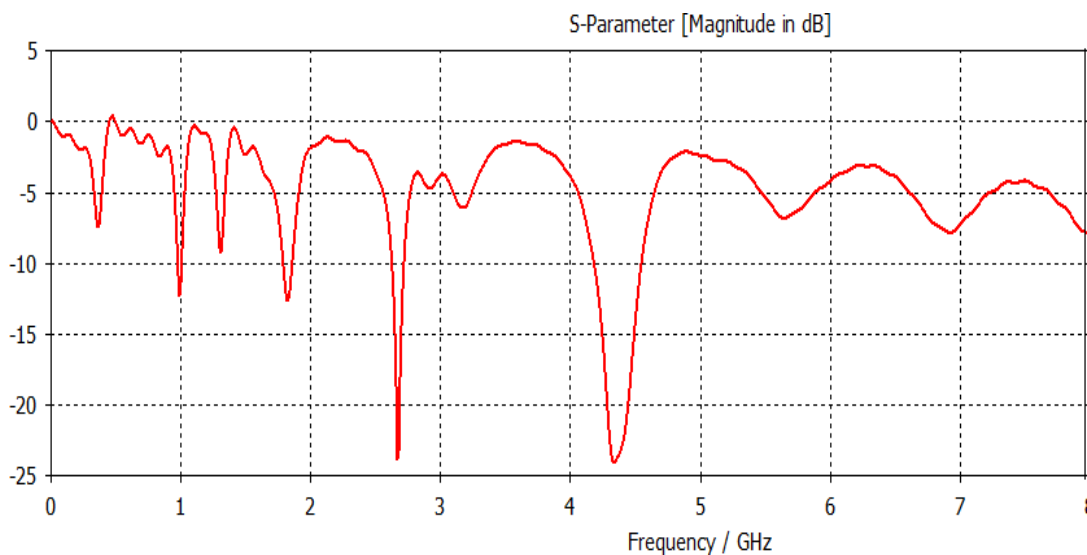


Fig. III.12. s_{11} d'antenne finale

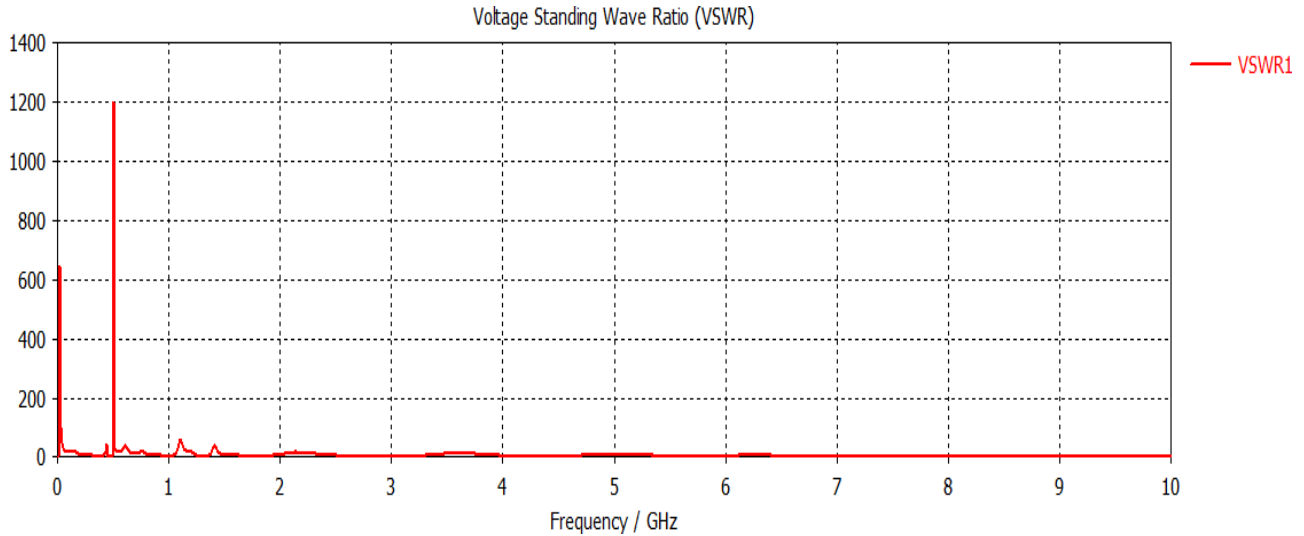
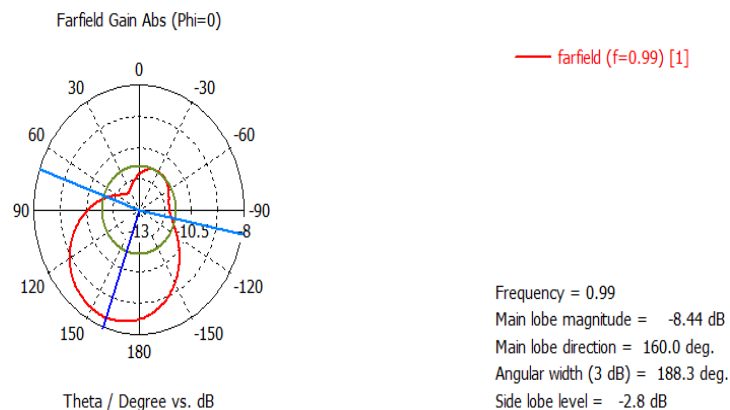


Fig.III 13. VSWR de l’antenne finale

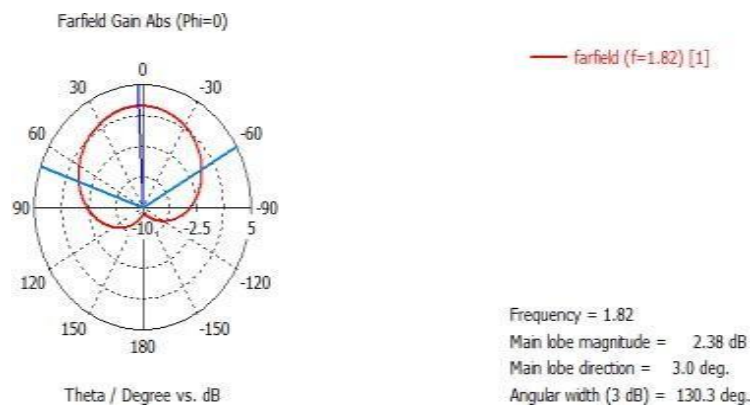
Nous pouvons constater que la meilleure adaptation possible à l’entrée de l’antenne finale a été obtenue pour quatre fréquences . En effet, on observe quatre pics présentant des valeurs minimales égales à -12.4 dB, -12.5dB, -23.8dB et - 24.1.dB aux fréquences 0.99GHz, 1.82.GHz , 2.67 GHz ,et 4.34GHz respectivement ce qui correspond à une puissance réfléchiée nulle. Les quatres bandes correspondent respectivement aux normes suivantes (GSM 900 , DCS , WIMAX , 5G) qui trouvent leurs applications dans les réseaux mobiles et/ ou agissent en complément de ces réseaux .

Nous nous sommes intéressés aussi à la représentation du rapport d'onde stationnaire . On remarque qu’il est compris entre 1 et 2 ce qui montre une bonne adaptation d’impédance entre l’antenne et la ligne d’alimentation.

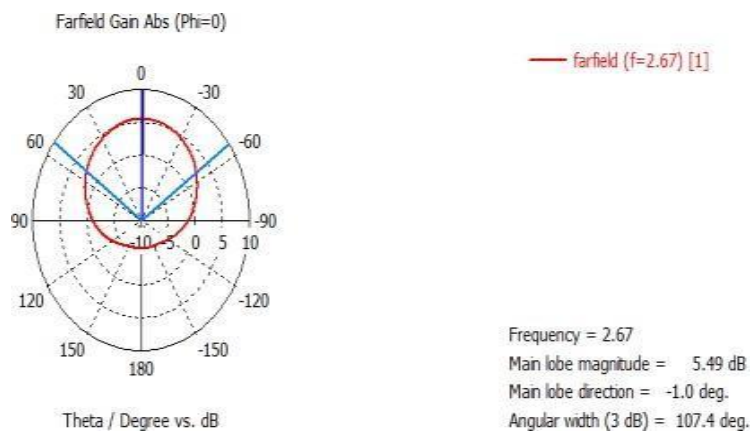
Sur les figures ci-dessous on represente respectivement les diagrammes de gains en plan E pour les quatres frequences trouvées :



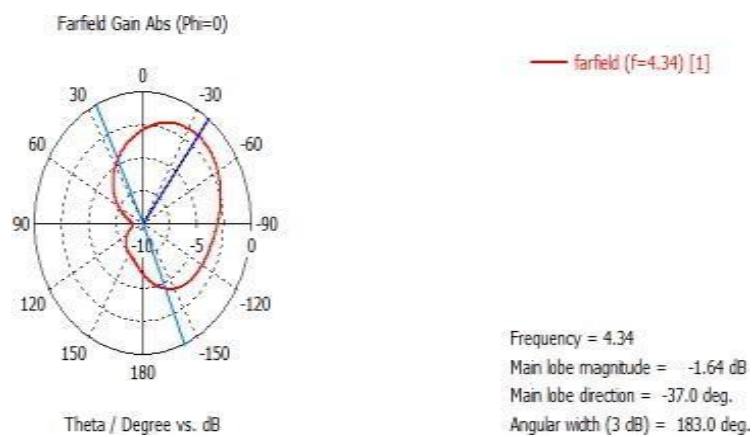
(a)



(b)



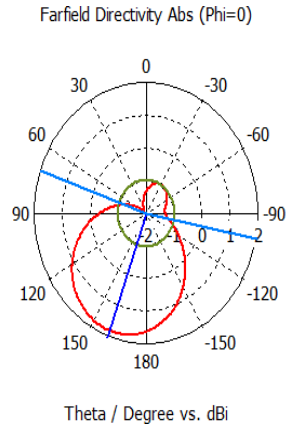
(c)



(d)

Fig.III.14. gain de l'antenne pour les frequences (a) 0.99Ghz, (b)1.82Ghz, (c)2.67Ghz,(d)4.34Ghz

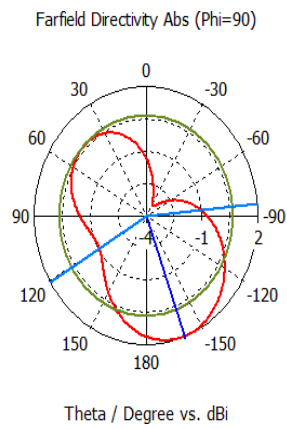
De meme sur les figures suivants on représente les diagrammes de directivités , en plan E et H pour les frequences trouvées.



— farfield (f=0.99) [1]

Frequency = 0.99
 Main lobe magnitude = 1.8 dBi
 Main lobe direction = 160.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 188.3 deg.
 Side lobe level = -2.8 dB

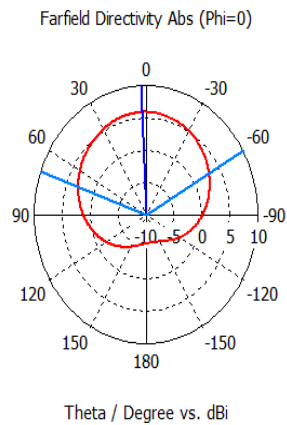
(a)



— farfield (f=0.99) [1]

Frequency = 0.99
 Main lobe magnitude = 1.91 dBi
 Main lobe direction = -160.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 154.9 deg.
 Side lobe level = -1.3 dB

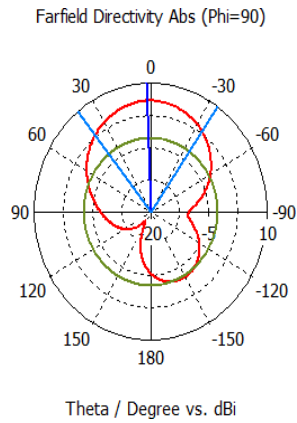
(b)



— farfield (f=1.82) [1]

Frequency = 1.82
 Main lobe magnitude = 5.88 dBi
 Main lobe direction = 3.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 130.3 deg.

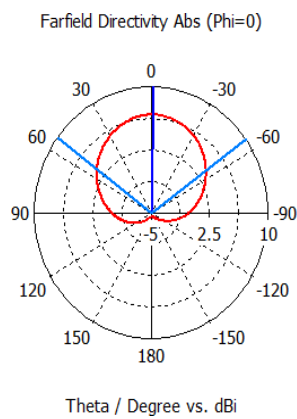
(c)



— farfield (f=1.82) [1]

Frequency = 1.82
 Main lobe magnitude = 5.88 dBi
 Main lobe direction = 2.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 73.6 deg.
 Side lobe level = -8.5 dB

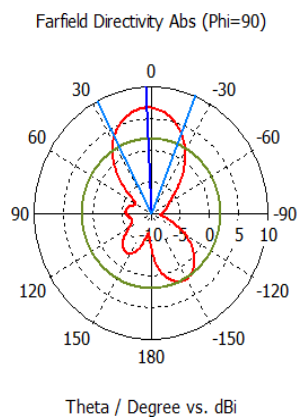
(d)



— farfield (f=2.67) [1]

Frequency = 2.67
 Main lobe magnitude = 6.65 dBi
 Main lobe direction = -1.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 107.4 deg.

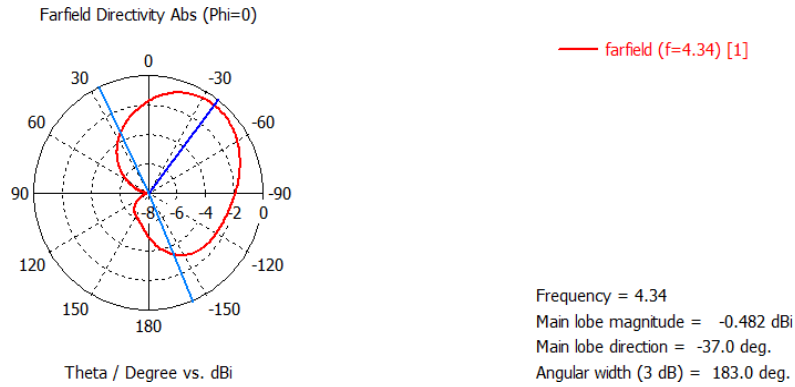
(e)



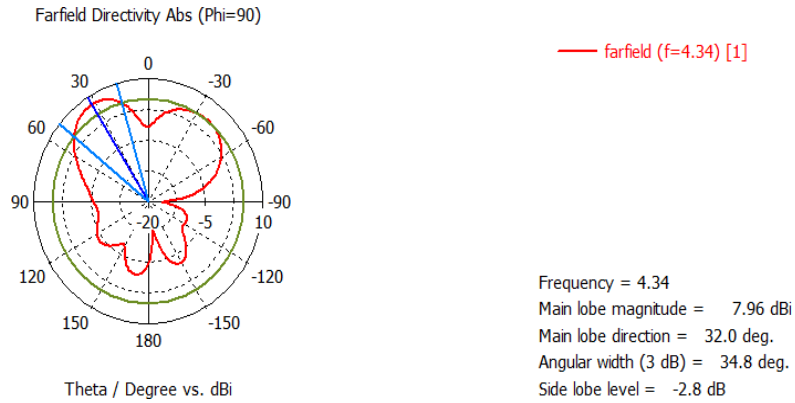
— farfield (f=2.67) [1]

Frequency = 2.67
 Main lobe magnitude = 6.7 dBi
 Main lobe direction = 3.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 49.3 deg.
 Side lobe level = -4.8 dB

(f)



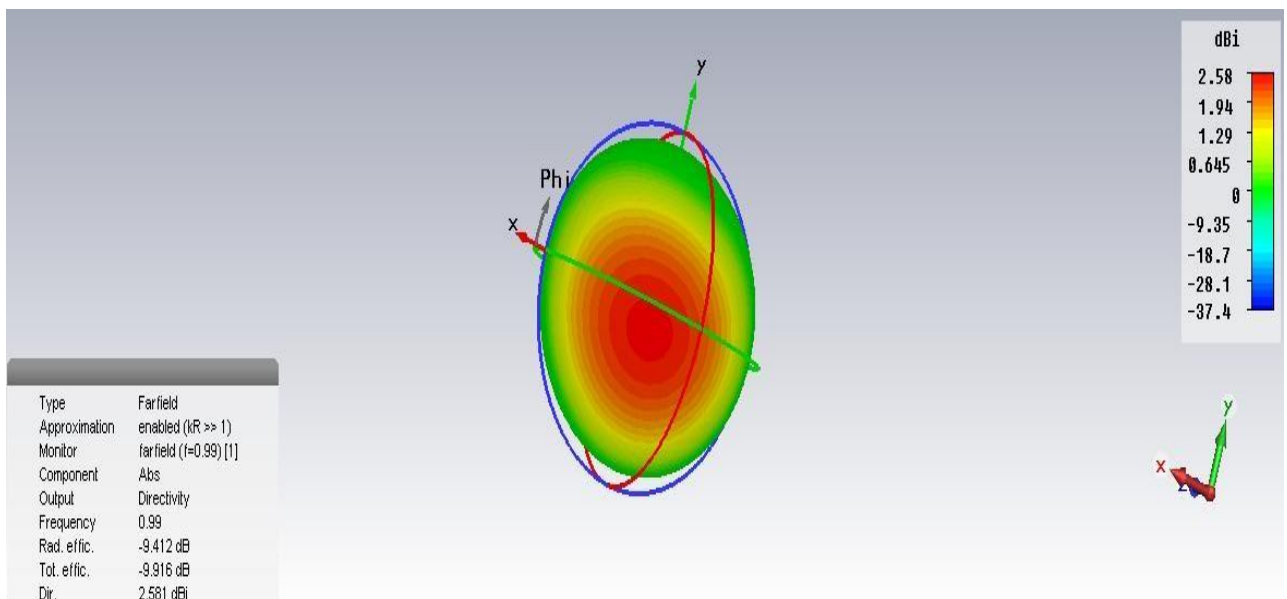
(g)



(h)

Fig III.15. directivité de l'antenne pour les frequences (a) 0.99Ghz plan E,(b) 0.99 Ghz planH (c)1.82 Ghz plane ,(d)1.82 Ghz plan H,(e) 2.67 Ghz plan E, (f) 2.67Ghz plan H,(g) 4.34 Ghz plan E (h) 4.34 Ghz planH .

Pour terminer , on represente sur les figures ci-dessous les diagrammes de rayonnement en 3D pour les 4 fréquences trouvées .



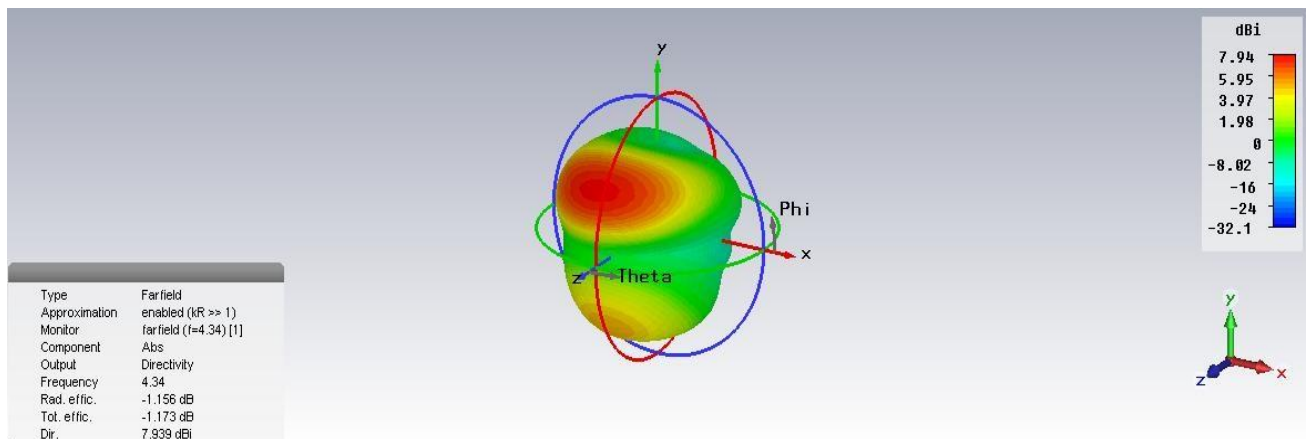
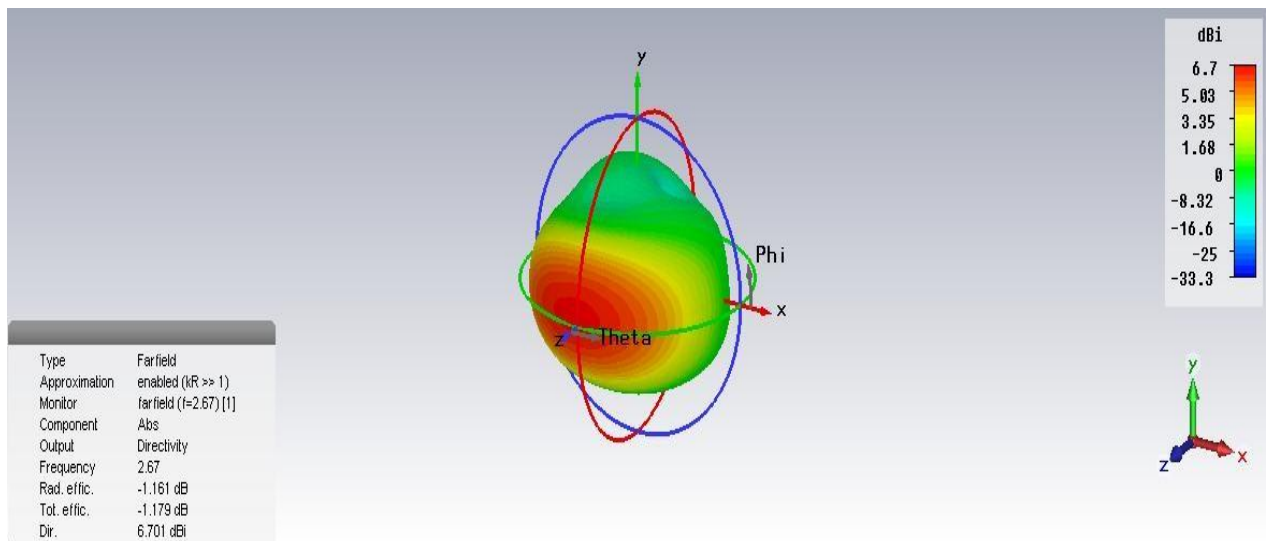
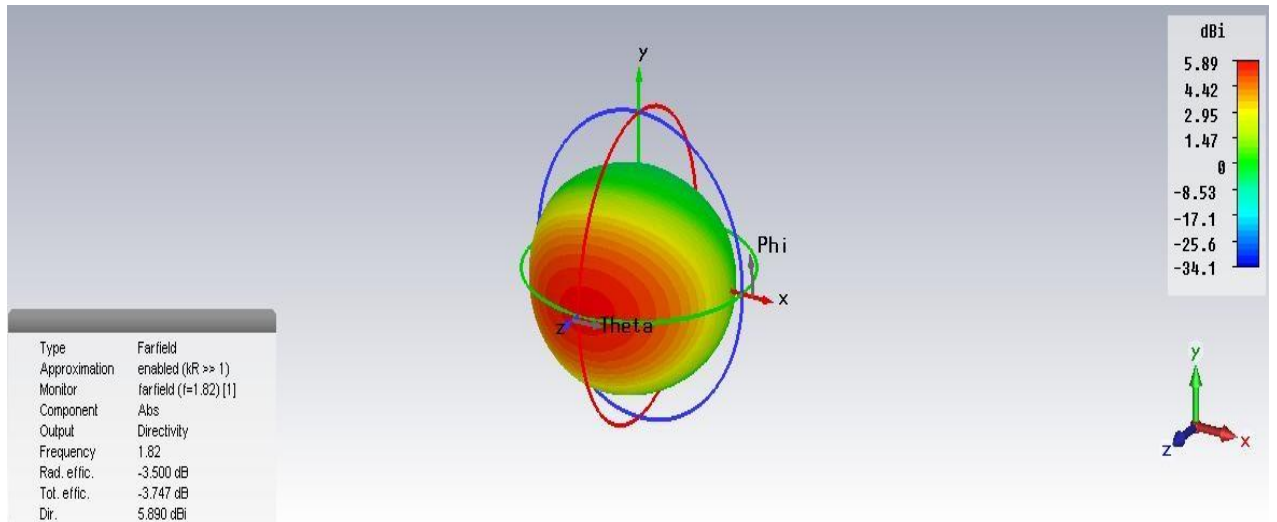


Fig III.16. Diagrammes de rayonnement en 3D pour les 4 fréq trouvées (a)0.99Ghz, (b)1.82Ghz ,(c)2.67Ghz ,(d) 4.34Ghz

On remarque que ces diagrammes varient du caractère quasi omnidirectionnel au caractère directionnel.

III.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les étapes de conception d'antennes PIFAs fractales quadri bandes , nous avons commencé par une présentation du l'outil de simulation , puis les antennes PIFA conventionnelle mono- bande, ensuite la conception de l'antenne PIFAfractale quadri bandes, puis une présentation et discussion du résultat final de la simulation .

Références

- [1] : M. Zekri et S. Nehad , "Conception des antennes PIFA fractales tribandes pour les systemes de telecommunications mobiles », Tlemcen,2021 . " Mémoire de master "
- [2] : N. . Belgacem , " Conception des antennes PIFA mono-bande et multi –bandes GSM, DCS, PCS, UMTS ET WIFI», Tlemcen, 2013. " Mémoire de master " .
- [3] Y. Belhadeif " Conception d’antennes PIFAs large bande et multibandes pour différents standards de telecommunications mobiles " , Tlemcen, 2011. " Thèse de doctorat " .
- [4] : D. Ameziane " Etude et optimisation d’antennes fractales plaquées " , Tlemcen,2009. " Mémoire de magister de télécommunicatins " .

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans un système de communication, les antennes sont des composantes à part entière nécessitant une étude particulière. Tout en cherchant à améliorer les performances d'une antenne, on doit l'adapter aux applications les plus récentes. L'antenne doit également répondre aux contraintes de multiplications de bandes de fréquences et d'intégration dans l'architecture des terminaux. L'intérêt pour les antennes multibandes ne fait que croître, en particulier dans le but de réduire le nombre d'antennes embarquées en associant plusieurs applications sur une même antenne. Cependant, les performances des antennes multibandes actuelles sont traditionnellement limitées par la forme et l'arrangement de leurs éléments rayonnants .

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à l'étude et la conception d'antennes PIFAs fractales quadri bandes . En effet, nous avons exposé, dans une première étape des généralités sur les antennes, et en particulier sur les antennes miniatures . Ensuite , nous avons présenté la technologie des réseaux sans fils .

Dans le deuxième chapitre nous avons présenté les antennes PIFA , ainsi que la géométrie fractale . Nous définissons par la suite les antennes multi bandes puis leur nécessité et les différentes techniques appliquées pour les multibandes.

Enfin, le troisième chapitre a été consacré à la présentation des résultats de simulation en utilisant le logiciel CST mirowave studio qui porte sur la conception d'antenne PIFA fractale quadri bandes .