

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université 8Mai 1945 – Guelma
Faculté des sciences et de la Technologie
Département d'Electronique et Télécommunications



Mémoire de fin d'étude
pour l'obtention du diplôme de Master Académique

Domaine : **Sciences et Technologie**
Filière : **Télécommunications**
Spécialité : **Systems de Télécommunications**

**Conception et analyse d'une antenne MIMO fractal 4x4
pour les applications ULB**

Présenté par :

Amyar Amal

Sous la direction de :

Mme. GUEBGOUB NASSIMA

Juin 2022

Remerciements

*C'est avec humilité et gratitude que nous
reconnaissons ce que nous devons :*

*Nous commençons par remercier et rendre grâce
à Dieu le tout puissant de
nous avoir donné le courage et la volonté de
mener à bon terme ce travail.*

*Nos remerciements vont en particulier à **M me.***

GUEBGOUB, notre

*Promoteur, qui nous a dirigé et beaucoup aidé
afin de mener à bien ce travail.*

*Nous remercions aussi les membres de jury qui
nous ont fait l'honneur*

D'accepter le jugement de notre travail.

*Que tous ceux qui ont contribué de près ou de
loin à la réalisation de ce travail,
trouvent ici nos sincères reconnaissances.*

*A l'aide de dieu tout puissant, qui m'a tracé le
Chemin de ma vie, j'ai pu réaliser ce travail que je dédie
ce travail*

A mes parents

A mon mari et Mon fils

A mes Frère

A Mes Belle Sœur

A toute Ma Famille

A mes proches

*A tous ceux qui m'ont soutenu et encouragé
pendant mes études*

Je dédie ce modeste travail.

ملخص:

الهدف من هذه الأطروحة هو تصميم نظام هوائي جديد فعال ومنخفض MIMO 4x4 لتطبيقات UWB. في البدايات، دأبنا على دراسة نظرية حول أنظمة MIMO والهندسة الكسورية بسبب ذلك، تم تصميم هوائي قاعدة كوخ أحادي القطب مستوي وتحليله واسطخ رنامج محاكاة CST بسبب ذلك، استخدمنا هذا الهوائي لتصميم نظام MIMO الخاص بنا والذي يتم تنفيذه في المقام الأول، من خلال موضع طوري هوائيين تم إزاحته في الفضاء بمقدار 90 درجة على نفس الركيزة العازلة (MIMO 2x2). ثم على نفس المبدأ، قمنا بتصميم MIMO 4x4. تظهر نتائج المحاكاة أداء الهيكل المقترح من حيث التكيف وعرض النطاق الترددي [3.6 - 7.4 جيجا هرتز]. يوفر الهوائي أقصى كسب قدره 4.6 ديسيبل ومتوسط كسب قدره 2.5 ديسيبل عبر النطاقس أكمله.

الكلمات المفتاحية: MIMO، ULB، fractal، هوائي مستوي.

Résumé

L'objectif de ce mémoire est la conception d'un nouveau système d'antenne MIMO 4x4 de faible profil performant destiné aux applications ULB. Dans un premier temps Nous avons commencé par une étude théorique sur les systèmes MIMO et les géométries fractales. Ensuite, une antenne de base monopôle fractale de Koch planaire a été conçue et analysée par le logiciel de simulation CST. Par la suite, on a utilisé cette antenne pour concevoir notre système MIMO qui est réalisé en premier lieu, par la position de deux antennes déphasées en espace par 90° sur le même substrat diélectrique (MIMO 2x2). Puis sur le même principe, on a conçu notre MIMO 4 x 4. Les résultats de simulation montrent les performances de la structure proposée en termes d'adaptation et bande passante [3.6 – 7.4 GHz]. L'antenne offre un gain max 4.6 dB et un gain moyen de 2.5 dB dans toute la bande.

Mots-clés : MIMO, ULB, fractale, antenne planaire.

Abstract

The objective of this thesis is the design of a new efficient low profile 4x4 MIMO antenna system for UWB applications. At first We started with a theoretical study on MIMO systems and fractal geometries. Then, a planar Koch fractal monopole base antenna was designed and analyzed by CST simulation software. Subsequently, we used this antenna to design our MIMO system which is carried out in the first place, by the position of two antennas phase shifted in space by 90° on the same dielectric substrate (MIMO 2x2). Then on the same principle, we designed our 4 x 4 MIMO. The simulation results show the performance of the proposed structure in terms of adaptation and bandwidth [3.6 – 7.4 GHz]. The antenna offers a maximum gain of 4.6 dB and an average gain of 2.5 dB in the whole band.

Table des Matières

Table des Matières.....	I
Liste des Figures.....	III
Liste des Tableaux.....	V
Abréviations et Symboles.....	VI
Introduction générale.....	1
Chapitre I	
I.1. INTRODUCTION	3
I.2. PRINCIPE DU MIMO:.....	4
I.3. ARCHITECTURE ET CARACTERISATION :	4
I.3.1. Architecture MIMO :.....	4
I.3.1.1. Système SISO (Single Input Single Output)	4
I.3.1.2. Système MISO (Multiple Input Single Output)	5
I.3.1.3. Système SIMO (Single Input Multiple Output)	6
I.3.1.4. Système MIMO (Multiple Input Multiple Output).....	7
I.4. MODELE DU CANAL MIMO :.....	8
I.5. CAPACITE DE CANAUX MIMO :	9
I.6. DOMAINE D'UTILISATION DE LA TECHNOLOGIE MIMO :.....	10
I.6.1. La technologie MIMO dans WiMAX:	10
I.6.2. La technologie MIMO dans WiFi:	11
I.7. LES AVANTAGES DE LA TECHNOLOGIE MIMO :	11
II.8. PERFORMANCES DES ANTENNES MIMO EN DIVERSITE.....	11
II.8.1 Couplage mutuel.....	11
II.8.2 Efficacité totale.....	11
II.8.3 Coefficient de corrélation d'enveloppe (ECC : Enveloppe Corrélation Coefficient)	12
II.8.4 Gain de Diversité (DG)	12
I.9. CONCLUSION :	13
Chapitre II	
II.1.INTRODUCTION :	14
II.2. DEFINITION DES FRACTALES :	14
II.3. PROPRIETES DES FORMES FRACTALES :	14
II.3. 1. Autosimilarité :	14
II.3. 2.dimension fractale :.....	14
II.4. LES DIFFERENTES FORMES FRACTALES :	14
II.4. 1.Les courbes fractales :.....	15
II.4. 1.1.La courbe de Koch :.....	15
II.4.1.2. Ensemble Cantor.....	15
II.4. 1.3.Fractale de Minkowski :	16
II.4. 1.4.Les fractales de Hilbert et Peano :	17
II.4. 2.Les surfaces fractales :.....	18
II.4. 2.1.Triangle de Sierpinski (Sierpinskigasket) :.....	18
II.4. 2.2.Tapis de Sierpinski (Sierpinskicarpét) :.....	19
II.4. 3.Les volumes fractals :	19
II.4. 3.1.Le tétraèdre de Sierpinski.....	19
II.4. 3.2.L'éponge de Sierpinski Menger :	20
II.5.ANTENNE MONOPOLE ULB :	20
II.6.CONCLUSION :	21

Chapitre III

III.1. INTRODUCTION :.....	22
III.2.PRESENTATION DU LOGICIEL MICROWAVE STUDIO DE CST :.....	22
III.3. CONCEPTION DE L'ANTENNE DE BASE :	23
III.3.1. Antenne hexagonale :	23
III.3.2. Antenne fractale :	24
III.4. CONCEPTION D'ANTENNE MIMO 2X2 ULB :	28
III.5. CONCEPTION D'ANTENNE MIMO 4X4 ULB :	28
III.7.Conclusion :.....	29
Conclusion générale.....	30
Reference	31

Liste des figures

Chapitres	Page
Chapitre I : Généralités sur les antennes MIMO	
Figure I.1. Schémas représentatifs du SISO, MISO, SIMO et MIMO	03
Figure I.2. Principe du MIMO	04
Figure.I.3. Système SISO	05
Figure I.4. .Système MISO	05
Figure I.5. Système SIMO	07
Figure I.6. Système MIMO	08
Figure I.7. Système MIMO	08
Chapitre II. Généralités sur les antennes fractales	
Figure. II.1. la courbe de Koch	15
Figure. II.2. Construction des quatre premières itérations d'un ensemble Cantor	16
Figure. II.3. la fractale de Minkowski	16
Figure. II.4. Génération de la courbe de Hilbert	17
Figure. II.5. Génération de la courbe de Péano	18
Figure. II.6. Itérations du triangle de Sierpinski composées de triangles pleins	18
Figure. II.7. Itérations d'un tapis de Sierpinski	19
Figure. II.8. . Le tétraèdre de SierpinskiII	19
Figure. II.9. L'éponge de Sierpinski Menger	20
Figure II.10. Quelques structures d'un monopôle planaire ULB	20
Chapitre III. Conception et analyse d'une d'antenne MIMO 4x4	
Figure. III.1. La géométrie initiale de l'antenne hexagonale de base	23
Figure .III.2. Les trois premières itérations de l'antenne de base itération 0, Itération 1, itération 2	24
Figure .III.3. Comparaison entre les trois itérations de l'antenne de base en termes de Coefficient de réflexion S11	25
Figure.III.4. Diagramme de rayonnement (3D) en directivité aux fréquences : (a) 5.08GHz, (b) 7.55GHz, (c) 10.52GHz(b)	26
Figure.III.5. Distribution de la densité de courant de l'antenne hexagonal aux fréquences :(a)5.08GHz, (b) 7.55GHz, (c) 10.52GHz(b)	26
Figure III.6. Gain en [dB] de l'antenne de base en fonction de la fréquence	27
Figure III.7. Efficacité de rayonnement de l'antenne de	27
Figure III.8. Géométrie de l'antenne proposée MIMO à 2 ports	28

Figure III.9. Coefficient de réflexion S11 et S22	28
Figure III.10. Géométrie de l'antenne proposée MIMO 4x4 à 4 ports	29
Figure III.11. Coefficient de réflexion S11, S22, S33 et S44	29
Figure III.12. Amélioration de couplage d'antenne MIMO 4x4 ULB	30
Figure III.13. Coefficients de transmission S41 et S32	30

Liste des tableaux

Chapitres	Page
Chapitres.III.Conception et analyse d'une d'antenne MIMO 4x4	
Tableau III.1. Les dimensions de l'antenne hexagonale de base	24

Abréviations et Symboles

MIMO	Multiple Input Multiple Output
SIMO	Single Input Multiple Output
MISO	Multiple Input Single Output
SNR	Signal-to-noise ratio
LTE	Long Terme Evolution
MU-MIMO	MIMO multi-utilisateurs
Wifi	Wireless Fidelity
WiMAX:	W orldwide I nteroperability for M icrowave A ccess
MIMO-OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PHY	couche physique
IMPER	couche moyenne de contrôle d'accès
MG	gain moyen
ECC	Enveloppe Corrélation Coefficient
DG	Gain de Diversité
DSG	Gain de Diversité du système
ULB	ultra large bande

Introduction générale

Introduction générale :

Depuis peu, les réseaux sans fil se développent de plus en plus en termes du nombre de connexions et du nombre d'applications couvertes aussi bien qu'en qualité de liaisons. La transmission par ondes électromagnétiques est considérée comme un support principal de cette génération de télécommunications au lieu des câbles et des liaisons filaires. L'efficacité de ces réseaux est totalement dépendante des performances des éléments qui les composent, en particulier les antennes. Pour l'établissement d'une liaison entre deux ou plusieurs points, l'antenne est un élément important, là où les supports de communication habituels (câbles, fibres optiques...) sont difficiles, voire impossibles à mettre en œuvre. Elle assure ainsi les fonctions d'émission et de réception des ondes électromagnétiques qui véhiculent le signal dans l'espace libre. Différents types d'antennes peuvent être utilisées telles que les antennes Fractales MIMO pour les applications ULB.

L'utilisation de la technologie d'antenne MIMO permet d'augmenter la capacité des systèmes sans fil en proportion du nombre d'antennes. Elle a été également utilisée dans la 4G pour augmenter les débits et la portée.

La technologie ULB promet en effet d'atteindre des débits de plusieurs centaines de mégabits par seconde, tout en conservant une complexité et des coûts limités. Sa nature impulsionnelle et sa largeur de bande lui confèrent en outre une bonne résistance aux brouillages et aux trajets multiples, ce qui la rend très adaptée à une utilisation en intérieur. Réciproquement, sa faible densité spectrale de puissance lui permet de cohabiter en introduisant peu d'interférences aux systèmes environnants.

L'objectif de ce mémoire était de concevoir un nouveau système d'antenne MIMO 4 x 4 de faible profil performant destiné aux applications ULB. La géométrie fractale apporte beaucoup d'avantages dans la conception des antennes imprimées telles que l'élargissement de la bande passante et la réduction de taille. Plusieurs antennes fractales ont été rapportées dans la littérature, comme Koch, Sierpinski, Minkowski et Hilbert. On a utilisé le fractal du Koch pour notre conception. Les antennes fractales de type Koch ont été étudiées par Cohen pour améliorer l'efficacité des antennes dipôles.

.Pour cela, nous avons divisé ce mémoire en trois chapitres principaux.

Dans le premier chapitre, nous avons présenté les systèmes MIMO et le principe de la technologie MIMO, le modèle de canaux d'un système MIMO, ainsi leurs domaines d'utilisation et les avantages sont présentés dans une deuxième partie.

Le deuxième chapitre est consacré aux antennes imprimées fractales, une étude bibliographique sur le concept des géométries fractales, leurs caractéristiques, ainsi que les différentes formes les plus connues sont présentés.

Nous proposons dans le troisième chapitre, une nouvelle structure d'antenne MIMO 4 x 4 fonctionnant sur une ultra large bande de fréquences performante et miniature.

Chapitre I

I.1. INTRODUCTION

Les techniques MIMO, acronyme de Multiple Input Multiple Output, sont apparus dans les années 90 grâce à Gerard. J. Foschini Le but étant d'augmenter le débit et la portée des réseaux sans fil, elles se basent sur l'utilisation de plusieurs antennes aussi bien du côté de l'émetteur que celui du récepteur.

Dans les systèmes multi antennes, la capacité augmente linéairement avec le nombre d'antennes émettrices. Ces systèmes possèdent un avantage en plus car ils résistent aux évanouissements et aux interférences.

Les systèmes MIMO sont considérés comme une technologie capable de résoudre les problèmes d'encombrement et de limitation de capacité des réseaux sans fil large bande. Lorsqu'un système MIMO comprend seulement, une seule antenne à l'émission et plusieurs antennes à la réception, il est nommé SIMO (Single Input Multiple Output). De même, lorsqu'il comprend plusieurs antennes à la réception et une seule antenne à l'émission, il est nommé MISO (Multiple Input Single Output).

Finalement, si les deux côtés comptent une antenne chacun, le système est dit SISO (Single Input Single Output) [1].

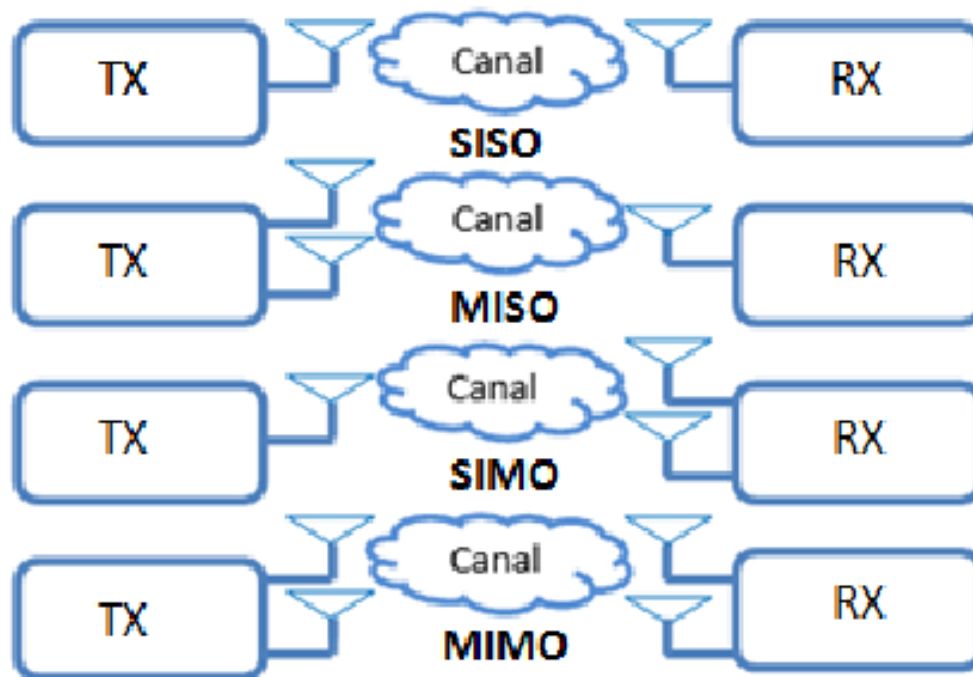


Figure I.1.Schémas représentatifs du SISO, MISO, SIMO et MIMO

I.2. PRINCIPE DU MIMO:

Les technologies MIMO utilisent des réseaux d'antennes à l'émission et à la réception (Figure I.2) afin d'améliorer la qualité du rapport signal sur bruit (Signal-to-noise ratio ou SNR en anglais) et le débit de transmission. Cela permet ensuite de pouvoir diminuer le niveau d'émission des signaux radio afin de réduire la pollution électromagnétique environnante, mais aussi de prolonger la durée des batteries dans le cas d'un téléphone. [2]

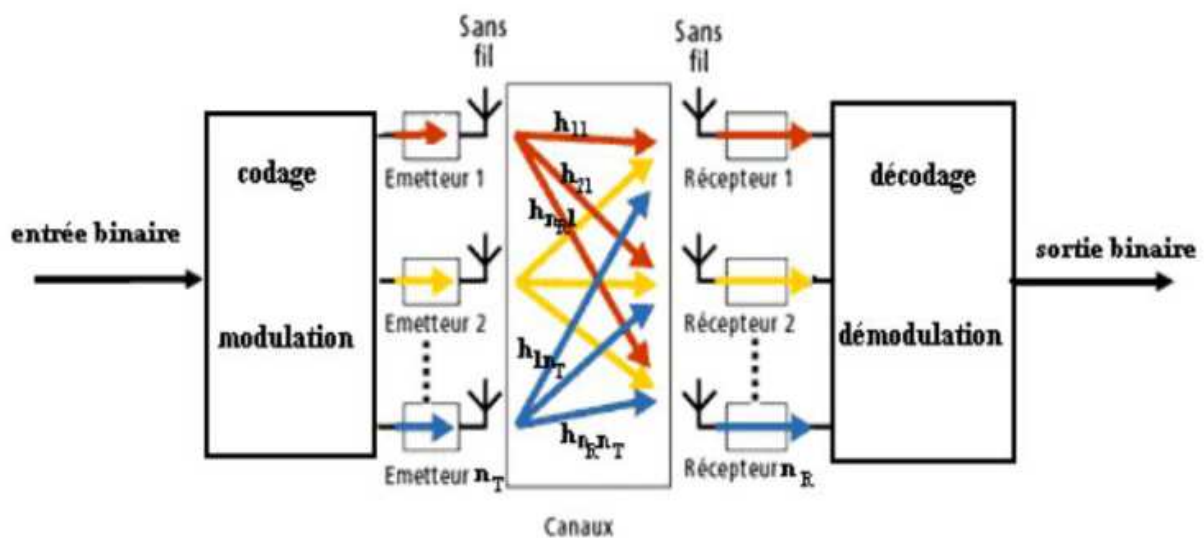


Figure I.2.Principe du MIMO

I.3. ARCHITECTURE ET CARACTERISATION :

I.3.1. Architecture MIMO :

Il existe quatre modèles de configuration d'antenne de base qui incluent :

- ✓ SISO - Single Input Single Output
- ✓ SIMO - Entrée unique Sortie multiple
- ✓ MISO - Sortie unique à entrées multiples
- ✓ MIMO - Entrée multiple Sortie multiple

I.3.1.1. Système SISO (Single Input Single Output)

Un système SISO est un système possédant une seule entrée et une seule sortie. Ce sont les systèmes les plus simples (Figure I.3), ils sont qualifiés aussi de mono_variables. [3]

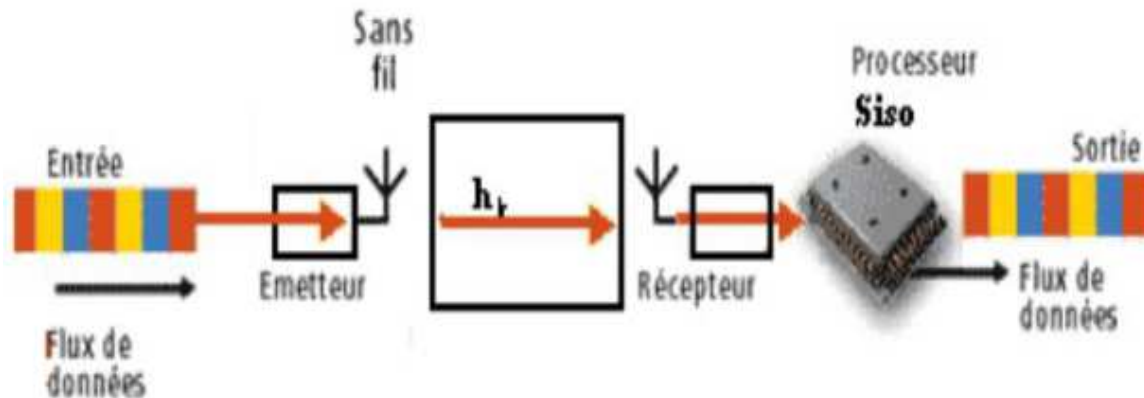


Figure I.3. Système SISO

La capacité du canal SISO est donner par :

$$C = W \times \log_2 \left(1 + \frac{P}{N_0 W} \right) \text{ bit/s} \quad (\text{I.1})$$

Où :

P : la puissance du signal utile en Watt,

N₀ : la densité spectrale de puissance du bruit calculé en W/Hz,

W : la bande passante donnée en Hz.

En normalisant la capacité par la bande utile W, on obtient :

$$C = (1 + \rho) [\text{bit/s}] \quad (\text{I.2})$$

Avec ρ est le rapport signal sur bruit (SNR).

I.3.1.2. Système MISO (Multiple Input Single Output)

C'est une technique de diversité spatiale en émission ; c'est-à-dire plusieurs antennes émettent des signaux qui sont interceptés par une seule antenne en réception (Figure I.4). [3]

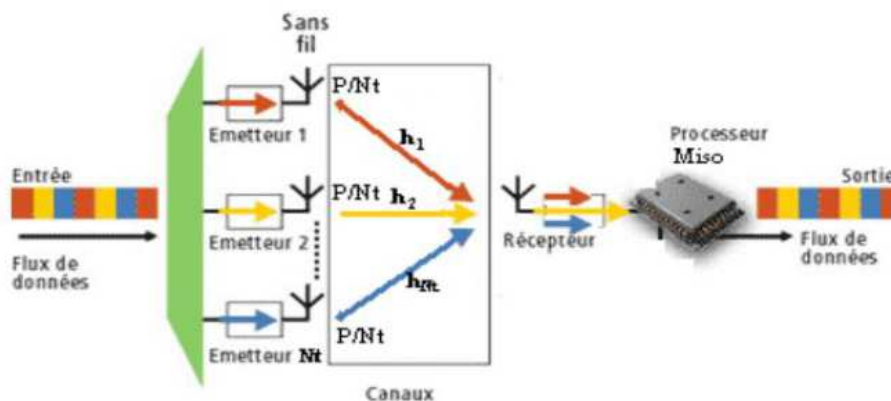


Figure I.4. Système MISO

Dans ce mode de transmission, une superposition du signal transmis simultanément par les N antennes émettrices est reçue. Chaque antenne émet le même symbole d'énergie $\left(E_s/N_T\right)$

C'est-à-dire que la puissance émise est divisée sur le nombre d'antenne telle que :

$$P = \sum_{i=1}^{N_t} P_i \quad (\text{I.3})$$

Avec P_i est la puissance émise sur chaque antenne. Si cette puissance est égale sur toutes les antennes, alors on dira que :

$$P = N_t \cdot P_i. \quad (\text{I.4})$$

La capacité du canal MISO :

$$C = W \times \log_2\left(1 + N_t \frac{P_i}{N_0 W}\right) = W \times \log_2\left(1 + N_t \frac{P}{N_0 W}\right) \quad \text{bit/s} \quad (\text{I.5})$$

En normalisant la capacité par la bande utile W , on obtient :

$$C = \log_2(1 + \rho) \text{ bit/s} \quad (\text{I.6})$$

L'avantage de la technique MISO par rapport à la technique SISO est dans le fait que dans les multi trajets ; la probabilité d'évanouissement dans N_t antennes est inférieure à la probabilité d'évanouissement sur une seule antenne.

I.3.1.3. Système SIMO (Single Input Multiple Output)

C'est une technique qui utilise plusieurs antennes en réception pour lutter contre l'évanouissement dû au canal. Le signal reçu est additionné et le rapport signal sur bruit total est la somme des rapports signaux sur bruits de chacun des antennes de la réception (voir Figure I.5). [3]

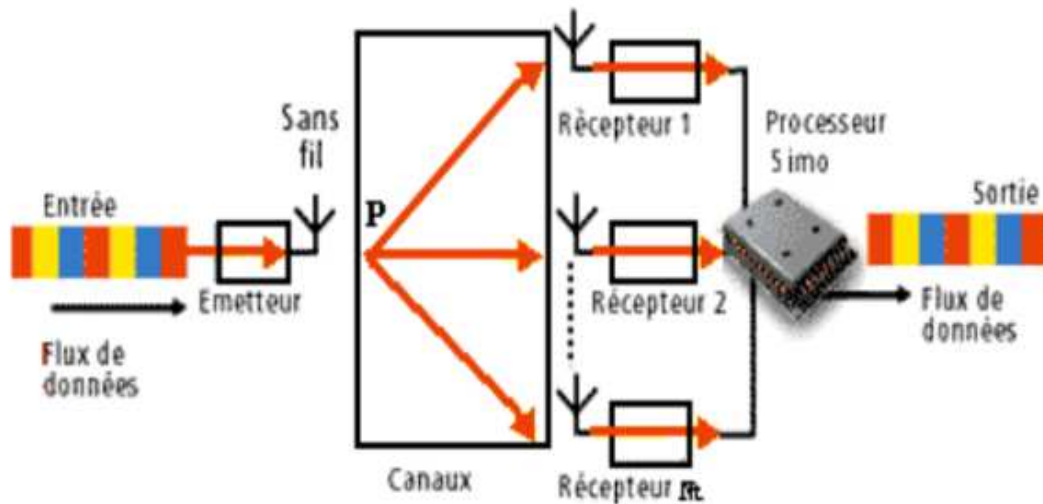


Figure I.5. Système SIMO

La capacité du canal SIMO :

$$C = W \times \log_2\left(1 + N_r^2 \frac{P}{N_0 W}\right) \quad \text{bit/s} \quad (\text{I.7})$$

N_r : le nombre d'antenne réceptrice.

En normalisant la capacité par la bande utile W , nous obtenons :

$$C = W \times \log_2(1 + N_r^2 \rho) \quad \text{bit/s} \quad (\text{I.8})$$

Avec ρ est le rapport signal sur bruit.

I.3.1.4. Système MIMO (Multiple Input Multiple Output)

Comme nous l'avons vu précédemment, le MIMO est un système utilisant plusieurs antennes pour la transmission comme pour la réception (Figure I.6). Le MIMO envoie des paquets différents aux antennes qui émettent à la même fréquence, en choisissant des chemins séparés pour chaque antenne afin de permettre l'utilisation de plusieurs chemins de signaux.[3]

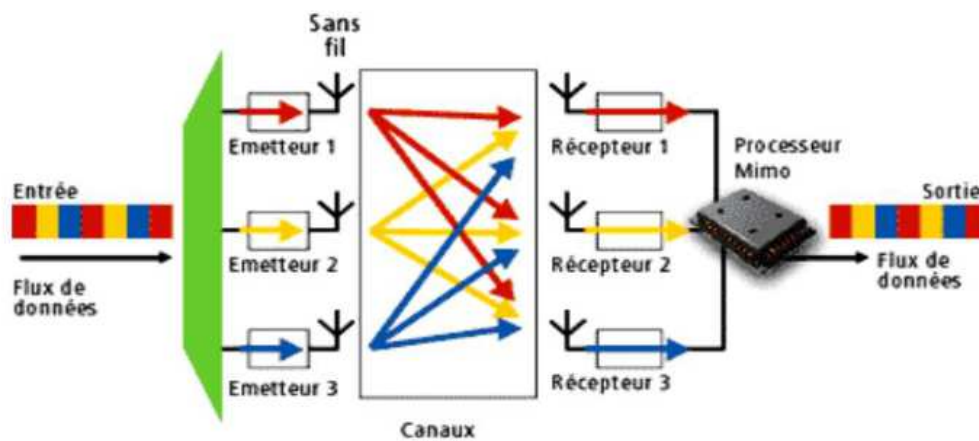


Figure I.6. Système MIMO

I.4. MODELE DU CANAL MIMO :

Considérons un système MIMO (figure I.13) composé de N_T d'antennes à l'émission et N_R d'antennes à la réception. L'information est émise par les N_T antennes à la fois. Lors de sa propagation, elle est portée par plusieurs canaux reliant chacun une antenne d'émission à une autre en réception.

A la réception on détecte un signal $y(t) \in \mathbb{C}^{N_R \times 1}$ qui s'écrit :

$$y(t) = Hx(t) + b(t) \quad (\text{I.9})$$

avec : $H \in \mathbb{C}^{N_R \times N_T}$ la matrice du canal, $x(t) \in \mathbb{C}^{N_T \times 1}$ le signal émis et $b(t) \in \mathbb{C}^{N_R \times 1}$ un bruit blanc additif gaussien.

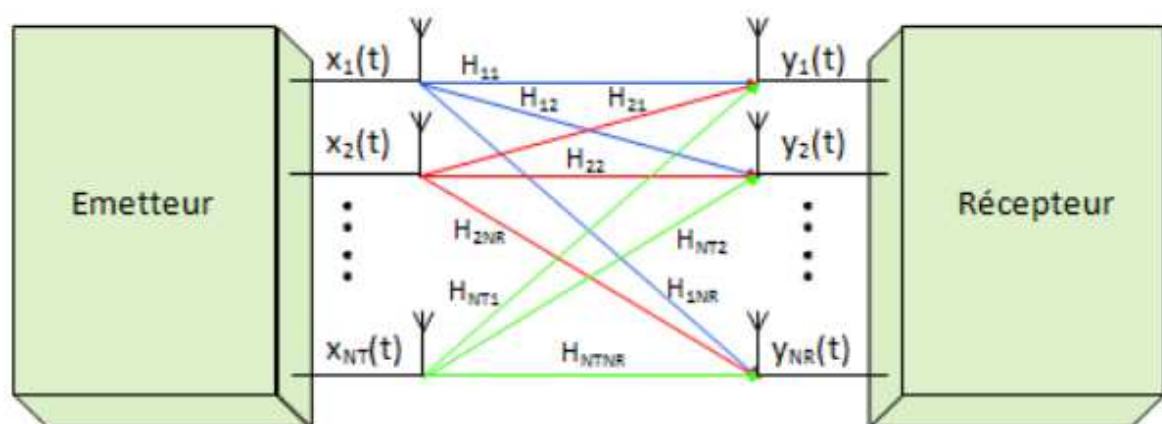


Figure I.7.: Modèle du canal MIMO

Les équations (I.10) et (I.11) comportent l'écriture matricielle des éléments composant ce système. $x(t) = [x_1(t) x_2(t) \dots x_{N_T}(t)]$

$$x(t) = [y_1(t) y_2(t) \dots y_{N_R}(t)] \quad (\text{I.10})$$

avec $x_i(t)$ et $y_j(t)$ représentent, respectivement, le signal relatif à la $i^{\text{ème}}$ antenne d'émission et celui relatif à la $j^{\text{ème}}$ antenne de réception.

$$H = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} & \dots & H_{1N_T} \\ H_{21} & H_{22} & \dots & H_{2N_T} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ H_{N_R1} & H_{N_R2} & \dots & H_{N_RN_T} \end{bmatrix} \quad (\text{I.11})$$

avec H_{ij} le coefficient complexe du canal entre la $i^{\text{ème}}$ antenne d'émission et la $j^{\text{ème}}$ antenne de réception. En fonction de l'environnement de propagation, de l'espacement entre les antennes ou même de leurs polarisations, ces coefficients peuvent être plus ou moins corrélés entre eux. [4]

I.5. CAPACITE DE CANAUX MIMO :

Lors de transmission, la quantité d'information transmise est limitée par la capacité du canal, ainsi cette limite est indépendante de l'utilisateur, et par conséquent, impose une limite aux transmissions, cette limite est appelée « capacité de Shannon ». Pour un lien simple, c'est-à-dire une antenne à l'émission et une autre à la réception, la capacité maximale du canal est donnée par :

$$C = W \times \log_2 \left(1 + \frac{P}{N_0} \right) \quad \text{bps} \quad (\text{I.12})$$

où :

P : est la puissance du signal utile en Watt,

N₀ : est la densité spectrale de puissance du bruit calculée en W/Hz,

W : est la bande passante donnée en Hz.

Pour rendre la capacité indépendante de la bande passante du canal W , la notation d'efficacité spectrale η a été définie, qui est le rapport entre la capacité du canal et la bande passante :

$$\eta = \frac{c}{W} = \log_2\left(1 + \frac{P}{N_0W}\right) \text{ bps/Hz} \quad (\text{I.13})$$

Physiquement cela se traduit par la quantité d'information que l'on peut envoyer par chaque Hertz de bande passante. Autrement dit, l'efficacité spectrale renseigne sur la limite à laquelle on peut exploiter la bande passante disponible [5].

I.6. DOMAINE D'UTILISATION DE LA TECHNOLOGIE MIMO :

Les systèmes MIMO sont l'un des principaux axes de développement pour augmenter les débits des communications sans fil.

MIMO est également prévu pour être utilisé dans de radiotéléphonie mobile des normes telles que récente 3GPP et 3GPP2 . En 3GPP, l'accès haute vitesse par paquets plus (HSPA+) et Long Term Evolution (LTE) normes prennent en compte MIMO. Par ailleurs, à soutenir pleinement les environnements cellulaires, y compris les consortiums de recherche MIMO IST-MASCOT proposent de développer des techniques avancées MIMO, par exemple, MIMO multi-utilisateurs (MU-MIMO)

Les systèmes : HiperLAN/2, Wifi et les systèmes de la 4ème génération tels LTE et WiMAX utilisent la technologie MIMO-OFDM afin d'augmenter le débit de transmission et améliorer la qualité de transmission

I.6.1. La technologie MIMO dans WiMAX:

WiMAX est le nom de marque de technologie pour l'exécution de la norme IEEE 802.16. 802.16 indique interface d'air au PHY (couche physique) et à l'IMPER (couche moyenne de contrôle d'accès). Hormis indiquer l'appui de diverses largeurs de bande de canal et modulation et codage adaptatifs.

Les réalisations de WiMAX qui emploient la technologie de MIMO sont devenues importantes. L'utilisation de la technologie de MIMO améliore la réception et tient compte d'une meilleure extension et taux de transmission. L'exécution de MIMO donne également à WiMAX une augmentation significative d'efficacité spectrale

I.6.2. La technologie MIMO dans WiFi:

La norme 802.11n est disponible depuis le 11 septembre 2009. Le débit théorique atteint les 300 Mbit/s (débit réel de 100 Mbit/s dans un rayon de 100 mètres) grâce aux technologies MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) et OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) [3].

I.7. LES AVANTAGES DE LA TECHNOLOGIE MIMO :

La technique MIMO présente multiples avantages, nous citons :

- ♣ Augmenter le débit de données du système pour la même puissance rayonnée totale et la même largeur de bande de canal.
- ♣ Parvenir à très haute efficacité spectrale et c'est une solution parfaite pour la disponibilité de la bande passante limitée.
- ♣ Sauver la consommation électrique du système, car elle augmente la capacité du système et de fiabilité sans consommer un pouvoir excessif.
- ♣ Accroître la capacité du système, donc il peut prendre en charge un nombre beaucoup d'utilisateurs.
- ♣ Augmenter le système dans l'ensemble comme il peut soutenir des débits élevés.
- ♣ Augmenter la qualité de service et les revenus de manière significative [5].

II.8. PERFORMANCES DES ANTENNES MIMO EN DIVERSITE

II.8.1 Couplage mutuel

Quand deux antennes sont près l'une de l'autre, et que l'une ou les deux sont excitées, une partie de l'énergie a tendance à se dissiper dans l'autre antenne et plus particulièrement dans son impédance de charge. Cet échange d'énergie est une conséquence du couplage mutuel. Il dépend des caractéristiques de rayonnement des antennes, de la distance entre les antennes, de leur orientation et de leur nature.

II.8.2 Efficacité totale

Dans les systèmes de communication entre mobiles, le diagramme de rayonnement de l'antenne joue très souvent un rôle mineur, c'est surtout l'efficacité totale de l'antenne (ou gain moyen (MG) de l'antenne) qui est le paramètre le plus important. Elle nous renseigne sur les performances de la liaison sans fil. Ceci est aussi valable pour les systèmes SIMO (diversité) et MIMO. L'efficacité totale d'une antenne est définie comme étant le rapport entre la puissance rayonnée et la puissance incidente sur son port d'alimentation. Elle prend en compte aussi bien les pertes de réflexion dues à la désadaptation entre le câble coaxial et le port

d'alimentation de l'antenne que les pertes ohmiques et diélectriques de l'antenne. Elle peut être calculée à partir de l'intégration des diagrammes de rayonnement dans tout l'espace (I.14) ou bien à partir des paramètres S et de l'efficacité rayonnée η_{ray} de l'antenne (I.15).

$$\eta_{tot} = MG = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^\pi G_\theta(\theta, \varphi) + G_\varphi(\theta, \varphi) \sin\theta d\theta d\varphi}{4\pi} \quad (\text{I.14})$$

Où $G_\theta(\theta, \varphi)$ et $G_\varphi(\theta, \varphi)$ sont les gains des antennes dans les directions θ et φ .

$$\eta_{tot} = \eta_{tot}(1 - |S_{11}|^2) \quad (\text{I.15})$$

II.8.3 Coefficient de corrélation d'enveloppe (ECC : Enveloppe Corrélation Coefficient)

Le coefficient de corrélation d'enveloppe (Enveloppe Corrélation Coefficient (ECC)) est considéré comme un indicateur clé de la performance. Une valeur faible de ECC entre deux ports signifie une diaphonie faible lors d'une opération simultanée. Cela signifie également une meilleure performance en termes de diversité dans le cas d'une utilisation en MIMO. Le ECC peut être calculé à partir des diagrammes de rayonnement de l'antenne par la formule (II.16)

$$\rho_{ij} = \frac{|\vec{F}_i \cdot \vec{F}_j^* d\Omega|^2}{\iint |\vec{F}_i|^2 d\Omega \iint |\vec{F}_j|^2 d\Omega} \quad (\text{I.16})$$

où $d\Omega = \sin(\theta) d\theta d\varphi$ et F_i est le champ lointain rayonné par le port numéro i . Dans le cas d'antennes sans perte, et en supposant que les ondes entrantes soient uniformément réparties, le ECC peut être calculé à partir des paramètres S de l'antenne à l'aide de la formule (I.17), qui se simplifie dans le cas d'une antenne à deux ports, à la formule (I.18).

$$\rho_{ij} = \frac{\sum |S_{11} \times S_{ij}|^2}{\prod_{m=ij} (1 - \sum |S_{nm}|^2)} \quad (\text{I.17})$$

$$\rho_{ij} = \frac{|S_{11} \times S_{12} + S_{21} \times S_{22}|^2}{(1 - |S_{11}|^2 - |S_{12}|^2) \times (1 - |S_{21}|^2 - |S_{22}|^2)} \quad (\text{I.18})$$

II.8.4 Gain de Diversité (DG)

Une approximation du gain de diversité par sélection dans le cas d'une antenne à 2 ports i, j , à un niveau de probabilité d'interruption de 1% peut être calculée à partir du ECC par la formule (I.19):

$$G_{ij} = 10 \sqrt{(1 - |\rho_{ij}|^2)} \quad (\text{I.19})$$

Où, l'hypothèse des ondes entrantes uniformément réparties n'est pas toujours garantie, ni l'hypothèse que les antennes sont sans perte.

Ce gain de diversité n'est vraiment significatif que si toutes les antennes du système ont une efficacité totale égale à 100% ce qui est loin d'être évident en pratique. Ainsi le gain en diversité réaliste d'un système (DSG : Gain de Diversité du système) doit également prendre en compte l'efficacité totale de chaque antenne. En supposant que toutes les antennes du système sont identiques, le DSG sera alors [6]:

$$DSG = \eta_{tot} \times DG(I.20)$$

I.9. CONCLUSION :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les systèmes MIMO et le principe de la technologie MIMO, en nous concentrant sur différents types de système MIMO, dans une première partie. Ensuite, le modèle de canaux d'un système MIMO, ainsi leur domaines d'utilisation et les avantages sont présentés dans une deuxième partie.

Cette technologie MIMO est basée sur l'utilisation combinée de réseaux d'antennes à l'émission et à la réception, elle améliore la vitesse de la liaison sans fil sans augmenter la force de transmission et la bande de fréquences assignée. Les systèmes MIMO peuvent être utilisés dans ce cas pour améliorer la vitesse de transmission et ainsi permettre au réseau de desservir plus de clients tout en respectant la qualité de service requise par les applications clients.

Chapitre II

II.1. INTRODUCTION :

Le terme de fractal a été introduit par Benoît Mandelbrot au cours des années 70, dans un ouvrage célèbre, plusieurs fois édité et modifié qui s'appelle 'Les Objets Fractals'. Benoît Mandelbrot, un mathématicien, né en France en 1924, est le "pilier" de la théorie des fractales qu'il a initié en s'appuyant à la fois sur une somme d'indices relevés dans les travaux de divers mathématiciens et par un regard curieux et sans cesse investigateur du monde qui nous entoure[7].

Dans ce chapitre nous présentons les géométries fractales, leurs propriétés et leurs types. Ensuite, nous donnons quelques notions sur les antennes monopole ULB.

II.2. DEFINITION DES FRACTALES :

Le mot « fractale » est inspiré du mot latin « fractus » qui signifie irrégulier ou brisé ce sont des objets infinis possédant une structure géométrique répétitive et auto similaire. Le terme « fractal » a été introduit par B.B. Mandelbrot (fractal, c'est-à-dire qui a été fractionné à l'infini, du latin « fractus » dérivé du verbe « franger », briser). Une définition à la fois précise et générale d'un objet fractal est difficile, nous le définirons avec Mandelbrot comme un ensemble qui présente des irrégularités à toutes les échelles[8].

II.3. PROPRIÉTÉS DES FORMES FRACTALES :

Les particularités et les propriétés des objets fractales découlent de la forme auto similaire et de dimension non entière.

II.3. 1. Autosimilarité :

La géométrie fractale est basée sur la reproduction d'un même motif de plus en plus petit. En faisant un zoom sur un objet, on observe toujours exactement la même.

II.3. 2. dimension fractale :

La dimension de similarité est le nombre qui quantifie le degré d'irrégularité et de fragmentation d'un ensemble géométrique ou d'un objet naturel. La dimension fractale est aussi une mesure de la façon dont la forme fractale occupe l'espace[8].

II.4. LES DIFFÉRENTES FORMES FRACTALES :

Il existe une très grande variété de figures ou formes fractales qu'on peut classer en trois catégories :

II.4. 1. Les courbes fractales :

Certaines structures fractales sont construites simplement en utilisant un processus itératif consistant en un initiateur (état initial) et un générateur (opération itérative) [9].

II.4. 1.1. La courbe de Koch :

La courbe de Koch a une longueur infinie. Elle a été générée par Helge Von Koch en 1904. Chaque segment de longueur ε est remplacé par une ligne brisée (générateur) composée de quatre segments de longueur $\varepsilon/3$, selon la relation de récurrence suivante (Figure II.1) [9] :

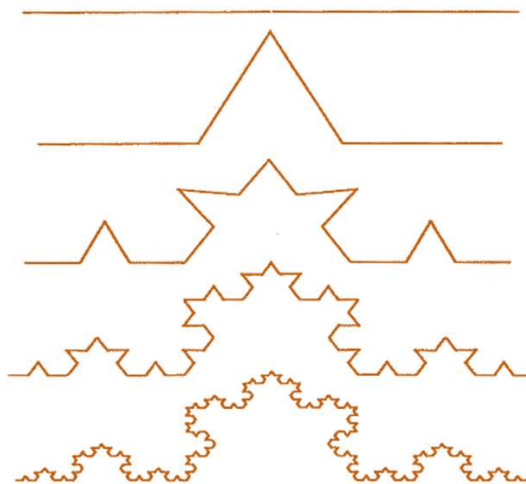


Figure II.1. La courbe de Koch.

Les relations donnant la longueur L de la courbe sont donc :

$$\varepsilon_1 = \frac{L}{3} \quad \rightarrow \quad L_1 = 4\varepsilon_1$$

$$\varepsilon_2 = \frac{L}{3^2} \quad \rightarrow \quad L_2 = 16\varepsilon_2$$

$$\varepsilon_n = \frac{L}{3^n} \quad \rightarrow \quad L_n = 4^n \varepsilon_n$$

II.4.1.2. Ensemble Cantor

En mathématiques, l'ensemble de Cantor est un ensemble de points situés sur un segment de ligne unique et qui possède plusieurs propriétés remarquables et profondes. Il a été découvert en 1874 par Henry John Stephen Smith et introduit par le mathématicien allemand George Cantor, en 1883. Il s'agit d'un autre exemple d'objets ayant donné lieu à de nombreuses études avant l'introduction de la notion de fractale. L'ensemble de Cantor suivant est obtenu en

supprimant de manière itérative le tiers central de chaque segment : Les cinq premières itérations sont illustrées à la **Figure II.2**. La dimension fractale de cet ensemble est donnée par :

$$D = \log 2 / \log 3 = 0,6309\dots$$

Pour les ensembles Cantor, nous avons $0 \leq D \leq 1$: on dit qu'il s'agit d'une “poussière”. Comme il est composé uniquement de points, sa dimension topologique est $d_T = 0$ [9].

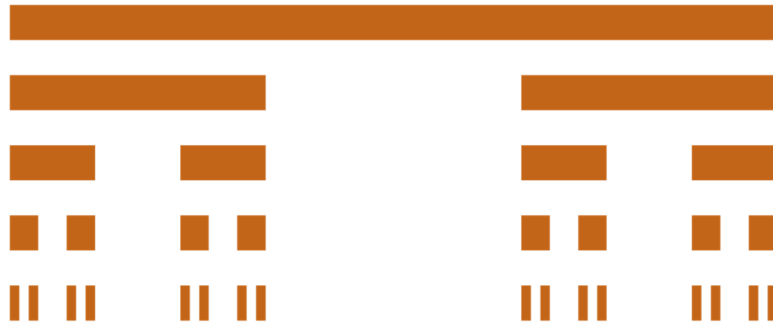


Figure II.2. Construction des quatre premières itérations d'un ensemble Cantor.

II.4. 1.3.Fractale de Minkowski :

On commence par une modèle carré et considéré comme l'itération 0 (modèle initial), Ensuite, chaque segment du carré est divisé à nouveau pour former cinq segment pour chaque segment du carré, et ainsi de suite(figure II.3) [8] .

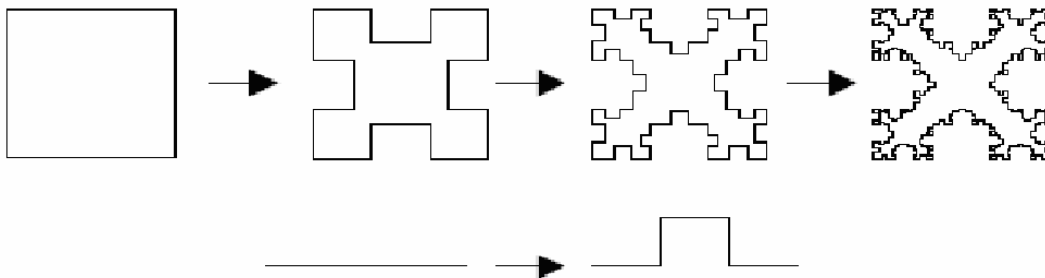


Figure II.3.La fractale de Minkowski.

II.4. 1.4. Les fractales de Hilbert et Peano :

Ensuite, à la fin du XIX^e siècle, Peano et Hilbert construisirent presque simultanément une courbe qui remplit un carré[8].

- **La fractale de Hilbert :**

Le motif initial est reproduit à l'infini avec des raccordements, une entrée, une sortie comme montré sur la figure II.4[8].

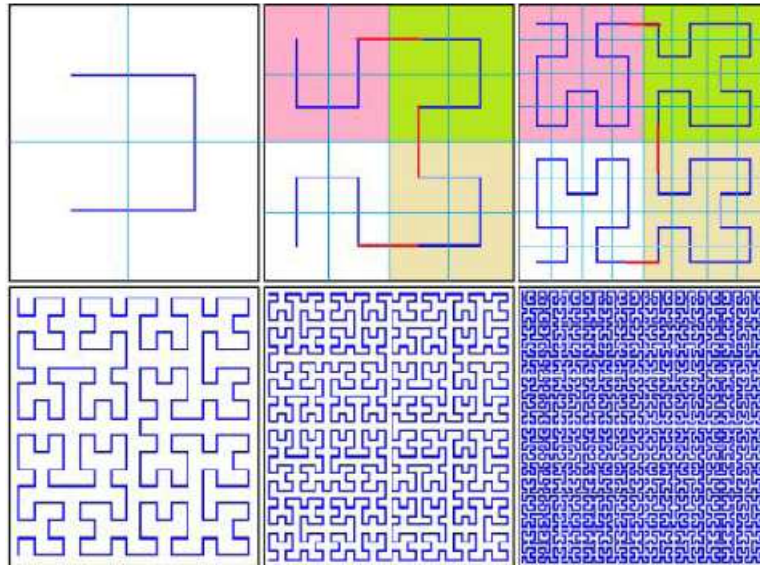


Figure II.4. Génération de la courbe de Hilbert.

- **La fractale de Peano :**

Construction géométrique de la courbe de Peano la plus célèbre consiste tout d'abord à tracer une diagonale du carré. Pour réaliser la deuxième étape, on partage le carré initial en neuf petits carrés congrus et on parcourt tous les carrés en passant par une de leurs diagonales d'un seul trait de crayon tel qu'illustré à la figure II.5. De la même façon pour chacun des petits carrés qu'on subdivise à nouveau et on y trace le même parcours. Le carré entièrement été réalisée à un processus itératif jusqu' à l'infini (figure II.5) [8].

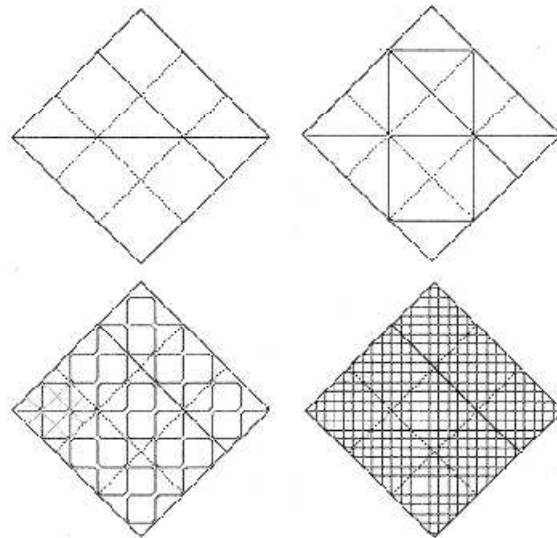


Figure II.5. Génération de la courbe de Péano.

II.4. 2. Les surfaces fractales :

II.4. 2.1. Triangle de Sierpinski (Sierpinski gasket) :

Le triangle de Sierpinski, le joint de Sierpinski ou le tamis de Sierpinski constituent un ensemble fractal fixe et attractant. Il a été introduit par le mathématicien polonais Waclaw Sierpinski, en 1915.



Figure II.6. Itérations du triangle de Sierpinski composées de triangles pleins.

Le facteur d'échelle de l'itération est 2, tandis que le rapport de masse est 3 (figure II.6). La dimension fractale correspondante est donnée dans [9] :

$$D = \frac{\log 3}{\log 2} = 1.585$$

II.4. 2.2. Tapis de Sierpinski (Sierpinski carpet) :

Le tapis de Sierpinski est une fractale plane. Il a également été décrit par Waclaw Sierpinski, en 1916. Le tapis est une généralisation du jeu de Cantor à deux dimensions (une autre est la poussière de Cantor).



Figure II.7. Itérations d'un tapis de Sierpinski.

Le facteur d'échelle est 3 et le rapport de masse (carrés noirs) est 8 (Figure II.7). I Par conséquent[9].

$$D = \frac{\log 8}{\log 3} = 1.8928 \dots$$

II.4. 3. Les volumes fractals :

II.4. 3.1. Le tétraèdre de Sierpinski

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[10].

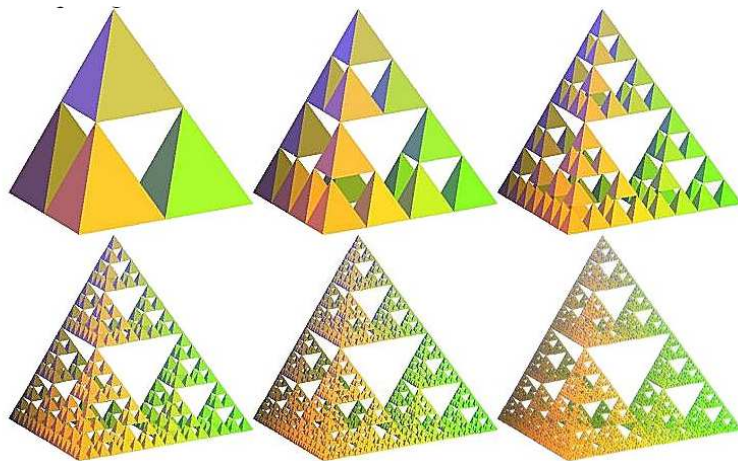


Figure II.8. Le tétraèdre de Sierpinski

II.4. 3.2.L'éponge de Sierpinski Menger :

En dimension 3, la fractale de Sierpinski la plus célèbre, est l'éponge de Sierpinski Menger (mathématicien Américain), attracteur de 20 homothéties de rapport $1/3$ centrées aux sommets et aux milieux des arêtes d'un cube, d'une dimension fractale de 2.7[10].

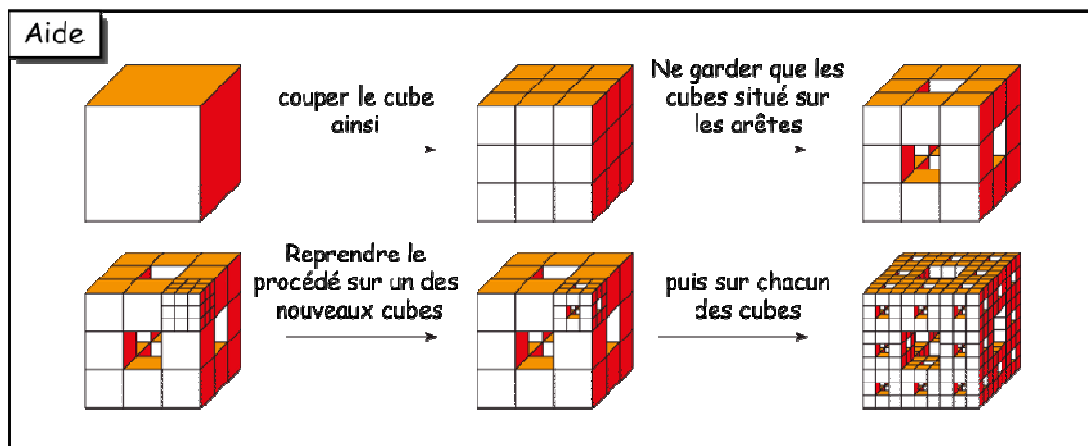


Figure II.9. L'éponge de Sierpinski Menger

II.5. ANTENNE MONOPOLE ULB :

Avec l'évolution de la technologie ULB, Les antennes monopôles imprimées à plan de masse réduit, a fait l'objet de beaucoup de recherches. Grâce à leurs encombrements, les recherches ont été poussées dans l'objectif d'intégrer ces antennes dans des circuits RF ainsi que des dispositifs ULB et les systèmes commerciaux. Elle a été conçue sous différentes formes: rectangulaire, circulaire, elliptique, triangulaire avec un plan de masse parallèle est imprimé au même niveau que l'élément rayonnant comme dans le cas d'une alimentation coplanaire ou coplanaire sur plan de masse (ground coplanaire), soit sur un niveau inférieur comme dans le cas d'une alimentation par une ligne microruban (figure II.10) [6].

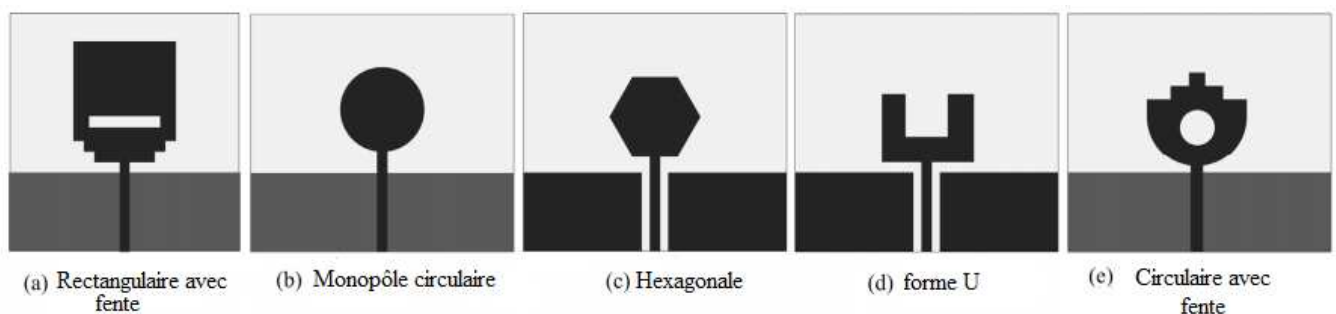


Figure II.10. Quelques structures d'un monopôle planaire ULB

II.6.CONCLUSION :

Par conséquent, sans augmenter la taille de l'antenne, la géométrie fractale est apparue comme une solution prometteuse pour obtenir les caractéristiques de haut débit en raison des propriétés de remplissage de l'espace et l'autosimilarité[9].

Dans ce chapitre, nous avons donné brièvement la théorie de la géométrie fractale, on met en évidence leurs propriétés fondamentales, ce chapitre est clôturé par une explication sur les monopôles planaires ULB.

Chapitre III

III.1. INTRODUCTION :

Les systèmes UWB suscitent un intérêt depuis l'annonce par la FCC pour l'utilisation de la bande [3,1–10,6] GHz pour les applications de communication commerciales. Les dernières conceptions d'antenne ULB se concentrent sur des petites antennes planaires en raison de leur facilité de fabrication et leur capacité à être intégré avec d'autres composants sur la même carte de circuits imprimés. Cela a initié la recherche des antennes dans diverses directions dont l'un est l'élément d'antenne en forme de fractale.

Dans ce chapitre, on a utilisé comme antenne de base de notre système MIMO 4 x 4 la structure proposée par la référence[1], il s'agit d'une antenne hexagonale fractale sous la forme d'un monopôle planaire, destinées aux applications ULB. La structure proposée se compose successivement d'un patch hexagonal, avec un fractal de Koch sur les bornes extérieures et avec un plan de masse partiel, alimentée par ligne micro ruban. Notre système MIMO est réalisé en premier lieu, par la position de deux antennes déphasées en espace par 90° sur le même substrat diélectrique. Ensuite, on a conçu un MIMO 4 x 4 par le même principe. Cette configuration donne une meilleure isolation entre les différents ports des antennes. Les différents résultats de simulation sont réalisés à l'aide du logiciel de simulation électromagnétique CST MWS (Computer Simulation Technology Micro Wave Studio)[11].

III.2 PRESENTATION DU LOGICIEL MICROWAVE STUDIO DE CST :

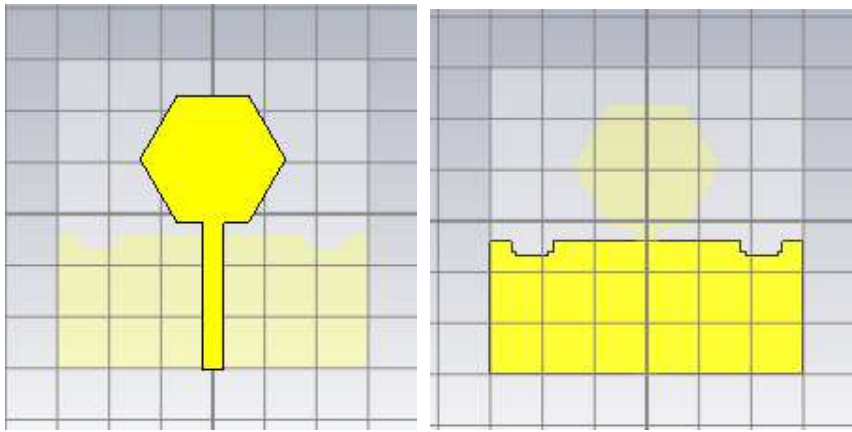
Fondé en 1992, le logiciel de simulation électromagnétique CST STUDIO SUITE est l'aboutissement de nombreuses années de recherche et de développement dans les solutions les plus efficaces et précises de calcul pour la conception électromagnétique. CST Microwave Studio est un logiciel de simulation électromagnétique de structure passives en 3 Dimensions basé sur la résolution des équations de Maxwell suivant la technique des équations intégrales (FIT : Finite Integration Technic). Cette méthode numérique offre une discrétisation de l'espace permettant la description directement en 3D de tous les composants des systèmes décrits, ce qui lui permet d'être appliqué à de nombreux problèmes électromagnétiques allant de la statique aux hyperfréquences en analyses temporelle et fréquentielle. De plus, contrairement à la plupart des logiciels de simulation électromagnétique, CST discrétise la forme intégrale des équations de Maxwell plutôt que leurs formes différentielles, et ce qui est l'une de ses caractéristiques clés de ce simulateur. CST Microwave Studio fait partie de CST

DEIGN STUDIO suite, et offre un certain nombre de solveurs différents selon le type d'application et du problème rencontré [6].

III.3. CONCEPTION DE L'ANTENNE DE BASE :

III.3.1. Antenne hexagonale :

L'antenne imprimée ultra large bande choisie est de forme hexagonale alimentée par ligne micro-ruban. La figure III.1 représente la géométrie de cette antenne qui est constituée d'un patch hexagonale imprimé d'épaisseur $t=0.035$ sur un substrat de type FR-4 (lossy), et un plan de masse rectangulaire de l'autre côté du substrat qui est caractérisé par une constante diélectrique $\epsilon_r=4.3$, de tangente de pertes $\tan \delta= 0.02$ et d'épaisseur $\square = 1.5\text{mm}$ [8].



La Figure III.1. La géométrie initiale de l'antenne hexagonale de base

Toutes les dimensions de cette antenne sont optimisées et présentées dans le tableau ci-dessous [III.1] :

Tableau III.1. Les dimensions de l'antenne hexagonale de base

Paramètre	Dimension en (mm)
Ws	30
Ls	30
Wf	2
Lf	14.5
Lg	12.5
A	7
H	1.5
T	0.035

III.3.2. Antenne fractale :

A partir de l'antenne de base, on propose de faire appliquer le fractale de koch sur le patch
 Pour voir son effet sur l'antenne [8].

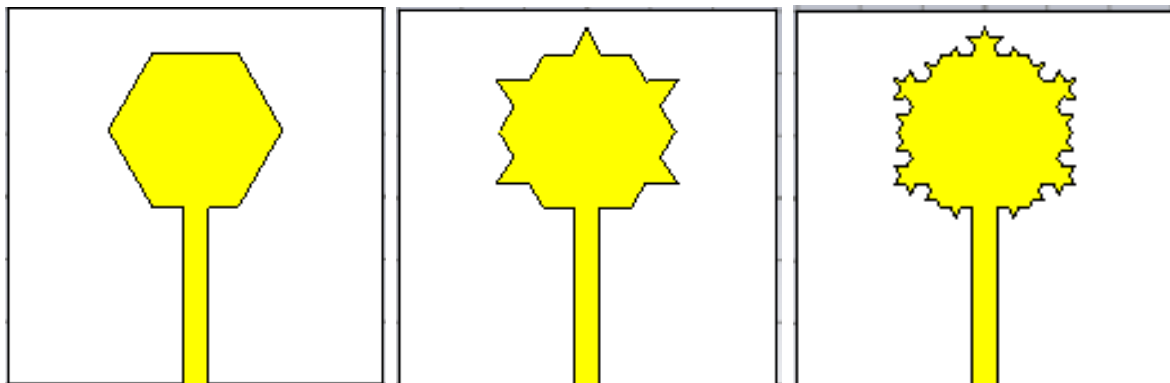


Figure III.2. Les trois premières itérations de l'antenne de base itération 0, itération 1, itération 2

Coefficient de réflexion S11 :

Le résultat de la figure (III.3) représente la Comparaison entre les trois itérations de l'antenne de base en termes de Coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence.

On observe à partir de cette figure que l'antenne proposée a une Ultra large bande passante [3.4-11.37] GHz.

On remarque d'après cette figure qu'à chaque fois on augmente les itérations du fractal on obtient une bonne adaptation (jusqu'à -26.79dB) pour l'itération 2 [8].

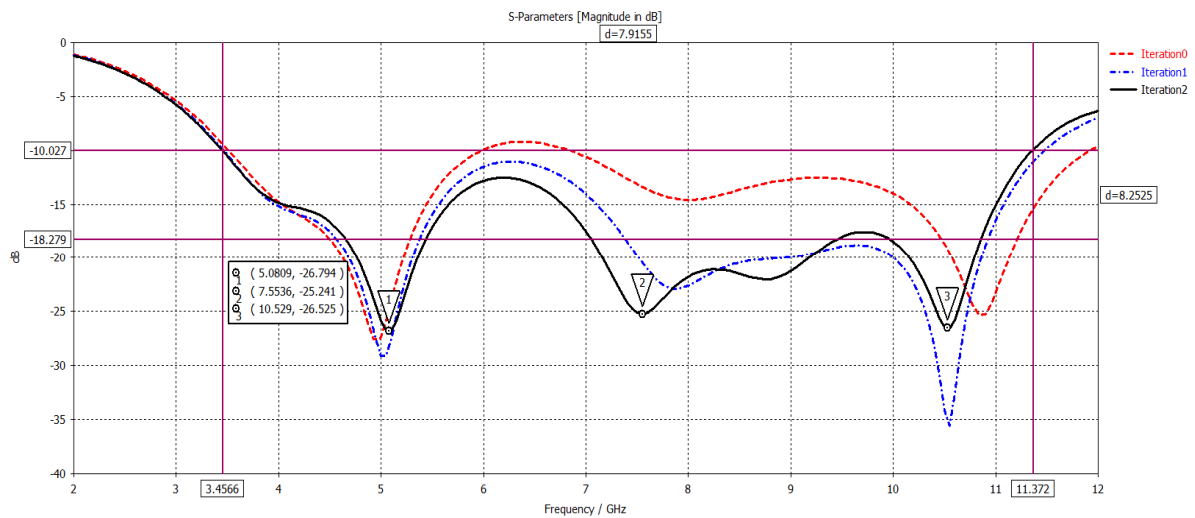


Figure III.3. Comparaison entre les trois itérations de l'antenne de base en termes de Coefficient de réflexion S11

Diagramme de rayonnement :

La figure (III.4) respectivement, représenté le diagramme de rayonnement en présentations polaire et en 3D. Nous remarquons que la valeur maximale est égale à 3.99dBi , notant que ce diagramme est directionnel dans le plan vertical H ($\varphi=\text{constante}$) et omnidirectionnel dans le plan horizontal E ($\varphi=0$) [6].

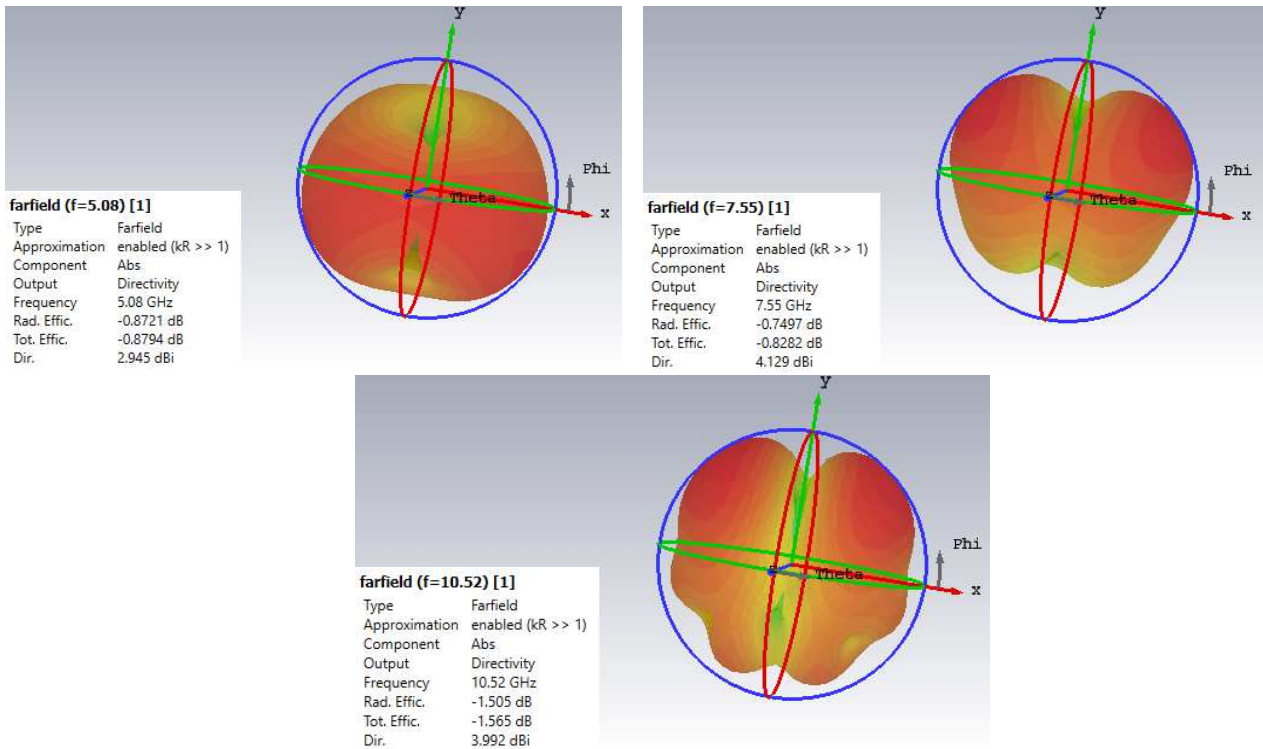


Figure III.4 Diagramme de rayonnement (3D) en directivité aux fréquences :

Distribution de courant :

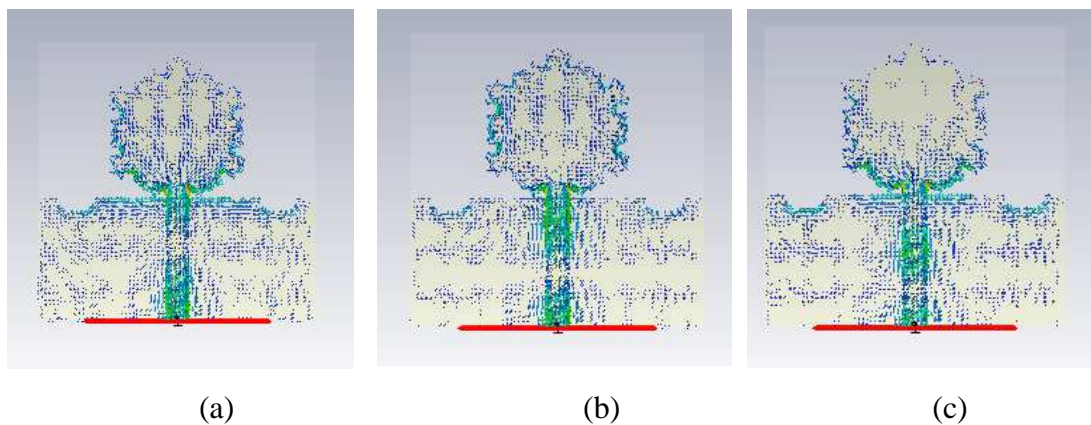


Figure III.5. Distribution de la densité de courant de l'antenne hexagonal aux fréquences :

(a) 5.08GHz, (b) 7.55GHz, (c) 10.52GHz

La performance de l'antenne ULB proposée est illustrée plus en détails à l'aide des distributions des courants de surface simulées sur la structure d'antenne à trois fréquences de résonance 5.08,7.55 et 10.52 GHz, tel qu'il apparaît à la figure III.5. on concentre À la figure

III.5.(b), on voit que le courant de surface est concentré sur la ligne d'alimentation et les bords inférieurs du côté de l'hexagone central. Cependant, à la figure III.5.(c), on observe que la distribution du courant électrique est principalement localisée sur la ligne d'alimentation[9].

Le gain en fonction de la fréquence :

La variation du gain simulé en fonction de la fréquence est mise en évidence à la figure III.6. On constate que le gain varie entre un maximum de 4.6 dB et un Minimum de 1 dB avec une moyenne de 2.5 dB sur toutes les fréquences de Fonctionnement [9].

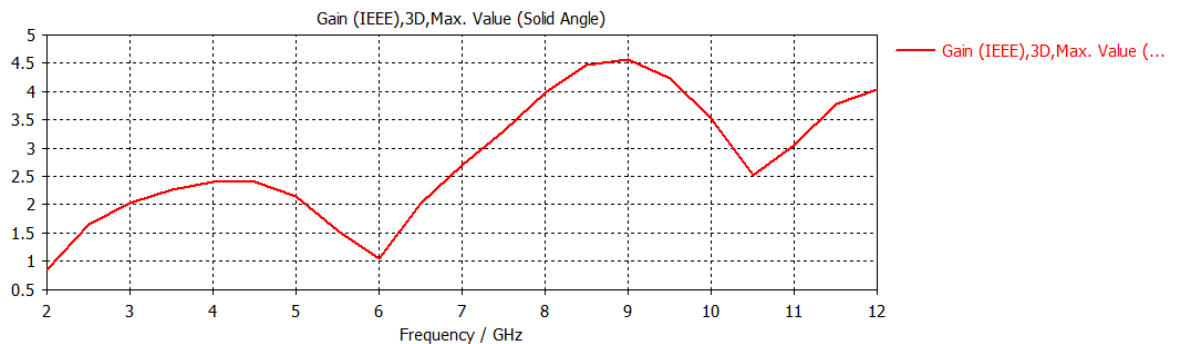


Figure III.6 .Gain en [dB] de l'antenne de base en fonction de la fréquence

Efficacité de rayonnement :

La figure III.7. est représenté l'Efficacité de rayonnement en fonction de la fréquence. Nous avons constaté que l'Efficacité varie entre -0.6dB et une valeur maximale égale à -0.5dB sur toute la bande de fréquence.

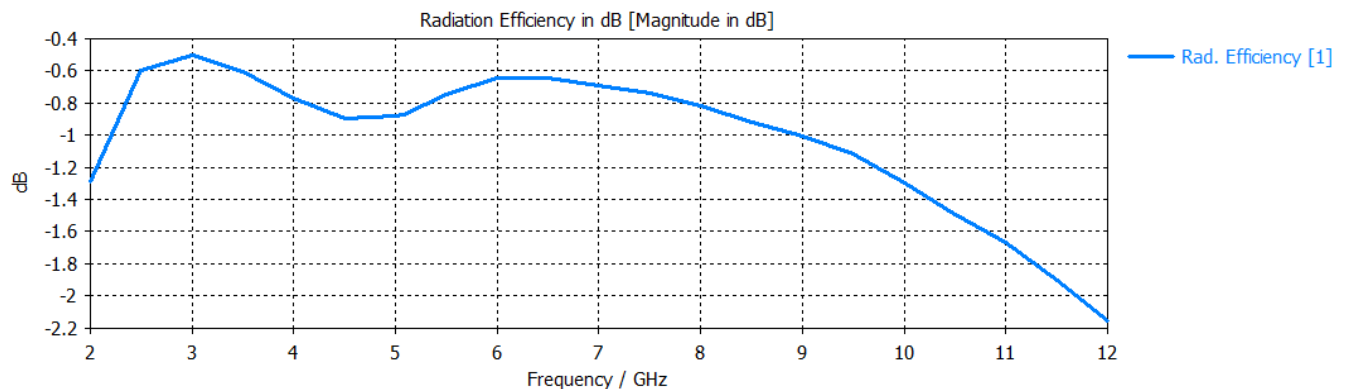


Figure III.7. Efficacité de rayonnement de l'antenne de base

III.4. CONCEPTION D'ANTENNE MIMO 2X2 ULB :

A partir de l'antenne de départ, nous avons conçues une configuration MIMO à deux antennes avec deux ports, imprimées sur le même substrat FR4 de dimensions : $2W_s \times L_s$ [6].

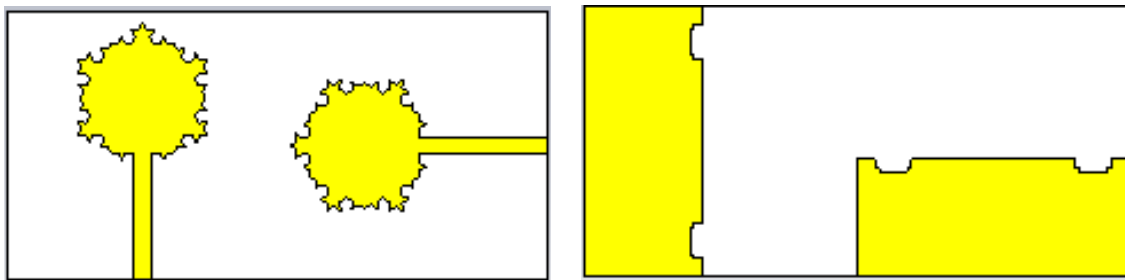


Figure III.8. Géométrie de l'antenne proposée MIMO à 2 ports

Coefficients de réflexion S11 et S22 :

Les résultats de simulation de cette 1ère structure, donnés dans la Figure III.7, montrent une adaptation moyenne. En effet, le S11 ne dépasse pas -42dB sur une ultra large bande de fréquence allant de 3.5 - 11 GHz, mais le S22 dépassé a -49dB sur une ultra large bande de fréquence allant de 4.5 - 11 GHz.

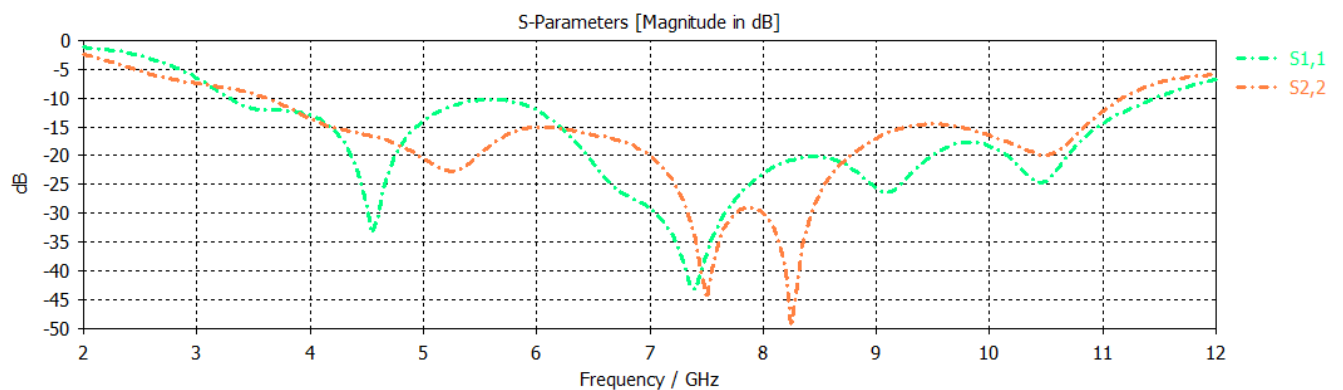


Figure III.9. Coefficient de réflexion S11 et S22

III.5. CONCEPTION D'ANTENNE MIMO 4X4 ULB :

A partir de la structure précédente on a conçu une configuration MIMO 4x4 à quatre antennes avec quatre ports, imprimées sur le même substrat FR4 de dimensions $2L_s \times 2W_s$ [6].

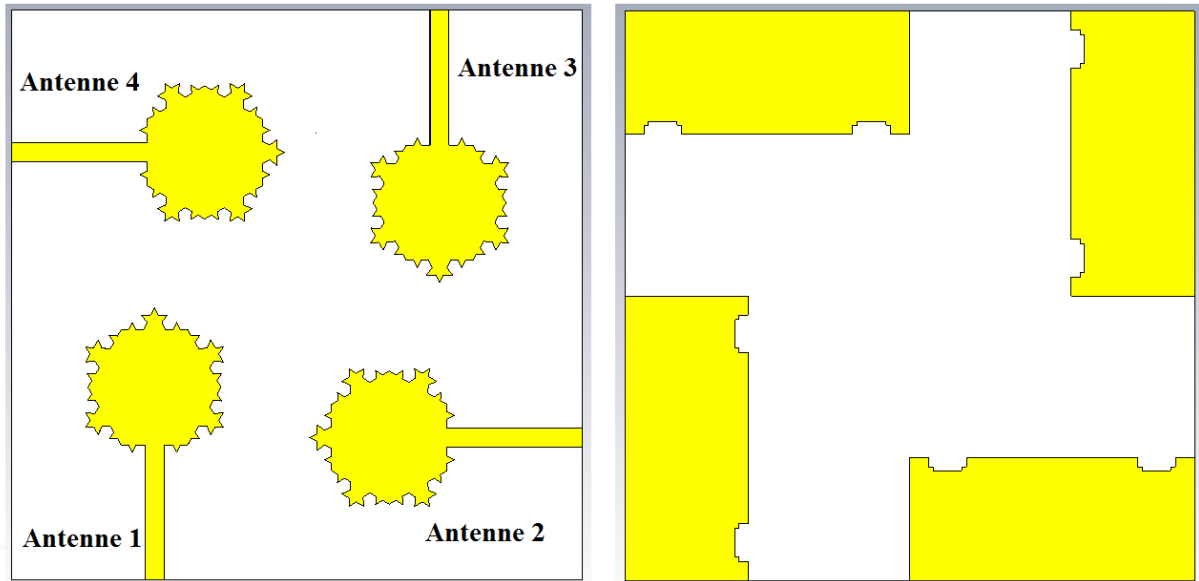


Figure III.10. Géométrie de l'antenne proposée MIMO 4x4 à 4 ports

Coefficients de réflexion S11, S22, S33 et S44 :

Les résultats de simulation présentés dans la **Figure III.11**, montrent une bonne adaptation de la bande passante de l'antenne MIMO à 4ports sur une ultra large bande de fréquences, fonctionnant à partir de $f_0 = 3.5\text{GHz}$ [6].

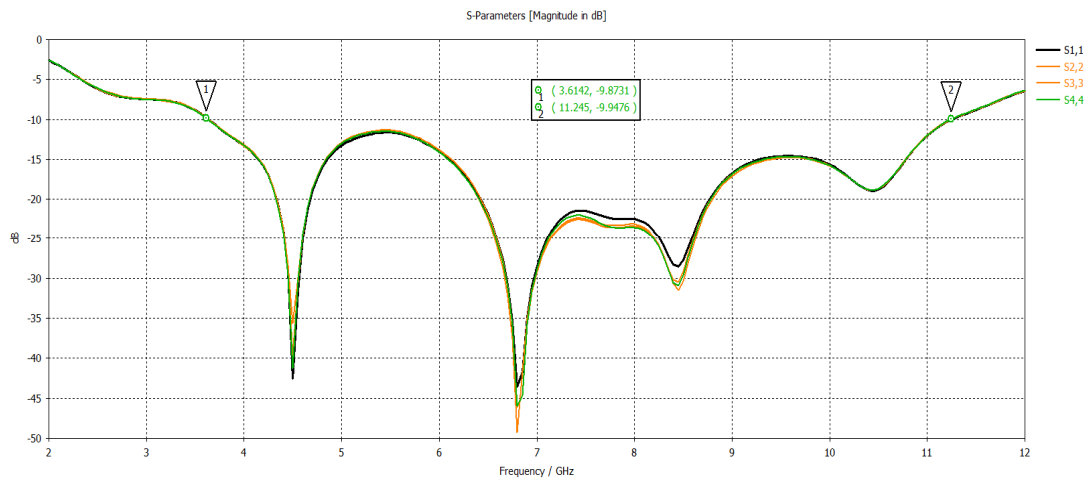


Figure III.11. Coefficient de réflexion S11, S22, S33 et S44

La figure des coefficients de réflexion : S11 ; S22 ; S33 ; et S44 montre qu'ils sont identiques et que la structure MIMO 4 x4 proposée est bien adaptée aux applications ULB. L'antenne offre une bande de 7.63 GHz, s'étend de 3.6 à 11.24 GHz.

Etude de couplage – L'isolation :

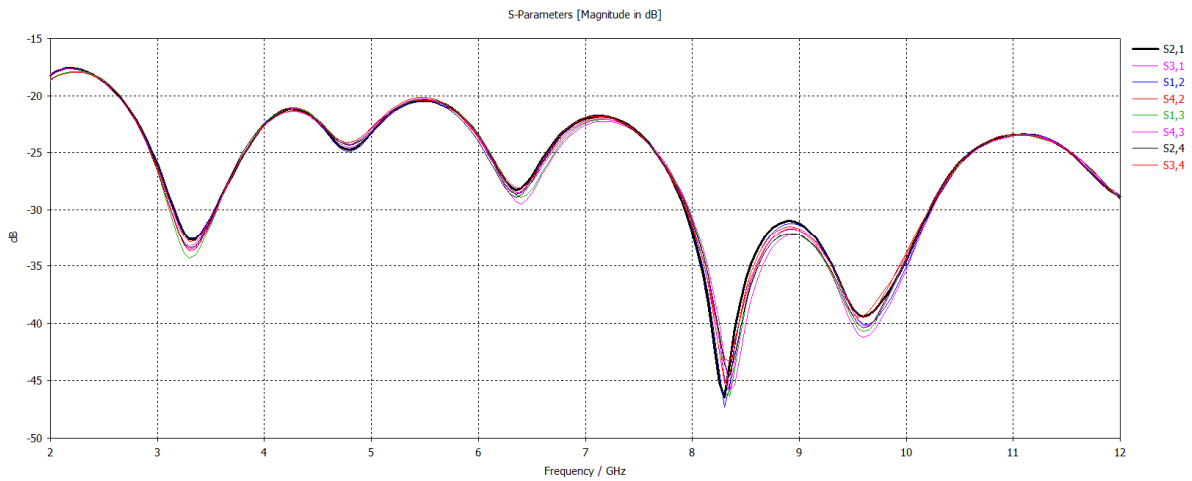


Figure III.12. Coefficients de transmission S₂₁, S₃₁, S₄₂ et S₄₃

D'après la figure de coefficient de transmission S₂₁ ; S₃₁ ; S₄₂ et S₄₃ on a obtenu une bonne isolation entre les antennes 2 et 1, 3 et 1, 4 et 2, et enfin 4 et 3, car le $S_{ij} \leq -20\text{dB}$ dans toute la bande de fonctionnement ($i, j = 1, 2, 3, 4$).

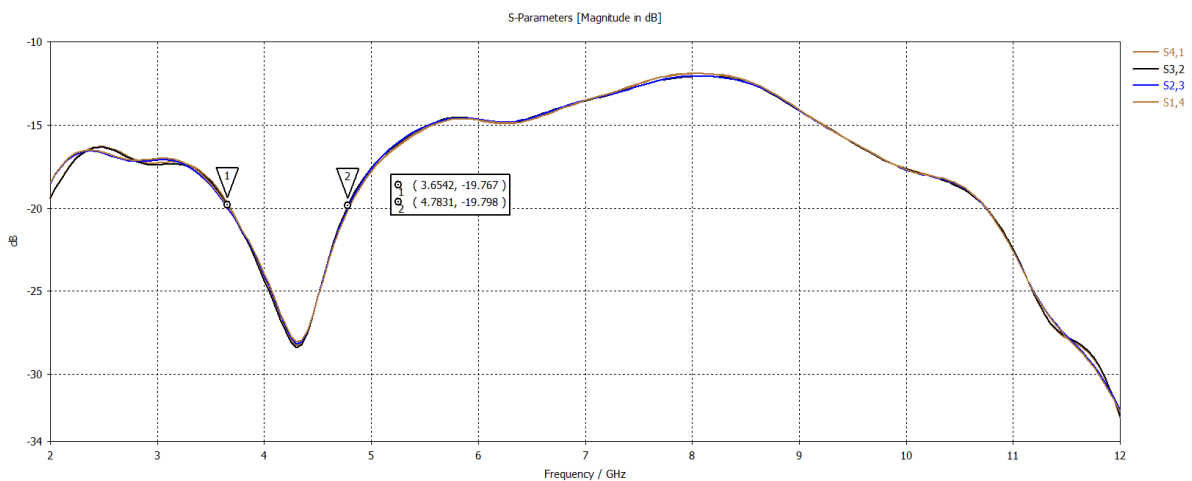


Figure III.13. Coefficients de transmission S₄₁ et S₃₂

D'après la figure de coefficient de transmission S₄₁ et S₃₂ on a obtenu une mauvaise isolation entre les antennes 4 et 1 et les antennes 3 et 2 où le $S_{ij} \geq -20\text{dB}$ dans la bande s'étend de 4.78 GHz et 10.76 GHz. Une bonne isolation est obtenue dans la bande [3.65 GHz – 4.78 GHz].

III.7. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons étudié les différentes étapes de conception de l'antenne de base de notre système MIMO. Tout d'abord, on a conçu l'antenne fractal hexagonale pour les trois itérations, puis on a fait une analyse détaillée de la deuxième itération, afin de voir les différents paramètres de l'antenne proposée, et leurs performances en termes d'adaptation, largeur de bande, diagramme de rayonnement, efficacité et gain. Les résultats de la simulation montrent que l'antenne de base est performante fonctionnant sur une large bande de fréquence s'étendant de 3.4 - 11.37 GHz avec un gain max de 4.6 dB à 9 GHz et en moyenne 2.5 dB dans toute la bande passante. Ensuite, on a étudié les performances de l'antenne MIMO 2 x 2 en termes d'adaptation (réflexion ≤ -10 dB) et isolation des deux ports d'alimentation (transmission ≤ -20 dB). L'antenne MIMO 2 x 2 est performante, a été observé par les résultats de simulation. Concernant l'antenne MIMO 4 x 4, la bande passante n'est pas affectée et les paramètres S_{ii} sont identiques ($i=1,2,3,4$) et $S_{ii} \leq -10$ dB dans la bande [3.6 – 11.4 GHz]. Ce qui concerne la transmission, les antennes : (1,2), (3,1), (4,3) et (4,2) sont bien isolées, et présente de faibles pertes de transmission entre les ports d'alimentation, $S_{ij} \leq -20$ dB dans toute la bande d'opération. Par contre les antennes (4,1) et (3,2) sont fortement couplées et présente une mauvaise isolation. Ce couplage se traduit par l'excitation des bords opposés de l'autre antenne apportée par le champ rayonné. Cependant, notre structure d'antenne MIMO proposée reste performante dans la bande allant de [3.6 - 11.4 GHz] où tous les $S_{ij} \leq -20$ dB.

Conclusion générale

Conclusion générale et perspective:

Ces dernières années, les travaux de recherche dans le domaine des télécommunications sans fils ont amenés de nouvelles solutions pour améliorer le débit ou/et la qualité de transmission. Une des techniques qui peut répondre à ces problématiques est connue sous le nom de systèmes MIMO.

L'objectif de ce mémoire était de concevoir un nouveau système d'antenne MIMO de faible profil performant destiné aux applications ULB. Nous avons commencé par une étude théorique de ces systèmes.

Par la suite, on a utilisé la technique fractale, vue les avantages qu'apportent ces géométries dans la conception des antennes imprimées telles que l'élargissement de la bande passante et la réduction de taille. L'antenne de base est un monopôle planaire dont l'élément rayonnant est un patch hexagonal avec fractale de Koch fonctionnant dans la bande [3.4 – 11.3GHz], adaptée aux applications de la communication ULB. Notre système MIMO est réalisé en premier lieu, par la position de deux antennes déphasées en espace par 90° sur le même substrat diélectrique. Puis sur le même principe, on a conçu notre MIMO 4 x 4.

Les résultats obtenus par les simulations réalisées à l'aide du logiciel CST montrent que l'antenne offre toujours une bande passante ultra large adaptée par les paramètres $S_{ii} \leq -10\text{dB}$. Notre MIMO 4 x4 présente une bonne isolation des antennes : (1,2), (3,1), (4,3) et (4,2) où le coefficient de transmission $S_{ij} \leq -20\text{dB}$ dans toute la bande de fonctionnement. Par contre les antennes (4,1) et (3,2) sont fortement couplées et présente une mauvaise isolation à partir de 4.7GHz. Ce couplage se traduit par l'excitation des bords opposés de l'autre antenne apportée par le champ rayonné. Cependant, notre structure d'antenne MIMO proposée reste performante dans la bande allant de [3.6 -4.7GHz] avec une bonne efficacité de rayonnement et un gain acceptable sur toute la bande ULB.

On peut améliorer cette isolation par l'introduction des structures BIE (Bandes Interdites Electromagnétique) ou par l'ajout des stubs conducteur dans plan de masse. Cette idée peut être une des perspectives proposées pour améliorer notre système MIMO.

Références

- [1] BOUHAFS ABDERREZZAQ & ICHOU ABDELKADER. 2019-2020. " Etude et conception d'un réseau d'antenne pour des applications 5G". Mémoire de master : Réseaux et Télécommunications. Page 7.
- [2] Melle RESFA Ibtissem." Intégration de la technologie MIMO dans les réseaux Mesh sans fil". Mémoire de master : Réseaux et Télécommunications. Université Abou BekrBelkaidTilmcan .
- [3].MAZRI Ammar. 2020."Etude d'un modèle de canal MIMO". Mémoire de master : Réseaux et Télécommunications. Université Mohamed Khider Biskra. Page25.
- [4] ZERROUKI HADJ.2013." cross-layer design et accès multiple dans les réseaux sans fil mimo: application au réseau wimax". doctorat : télécommunications. Université Abou BekrBelkaidTilmcan .
- [5] BENOSMAN Radia SIDHOUM Amel ." Etudes et simulation des performances des systèmes MIMO en configurations STBC et V-BLAST Etudes et simulation des performances des systèmes MIMO en configurations STBC et V-BLAST". Mémoire de master : Réseaux et Télécommunications. Université Abou BekrBelkaidTilmcan .
- [6] ALLEL MONCEF AMRAOUI ZAKARIA.2021." Conception de nouveau système d'antennes MIMO pour le standard 5G ". Mémoire de master : Réseaux et Télécommunications. Université 8 Mai 1945 – Guelma.
- [7] Hafedh Ben IBRAHIM GAHA. 2007. "Analyse et Conception des Antennes Fractales Applications aux Télécommunications Large Bande". Doctorat : Électronique. Université INPT-ENSEEIH de Toulouse & UTM-ENI de Tunis ..
- [8] gandoura ibtissem lamersoumia. 2019. "conception et réalisation des antennes fractales imprimées ultra large bande (ULB) a bande rejetée". . Mémoire de master : Réseaux et Télécommunications. Université 8 Mai 1945 – Guelma.
- [9] M. BrahamChaoucheYoucef. 2013/2014."Conception d'Antennes Planaires Reconfigurables pour Opération Large Bande et Multi-Bande". Doctorat : Électronique. Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou

[10] AMEZIANE Djamel, Etude et Optimisation d'Antennes Fractales Plaquées, Mémoire de Magister, UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID-TLEMCEM, 2009.

[11] Ziane cherif Abderrahman Benhaddoudi abderrahim. 2016/2017. 'Conception, modélisation et réalisation d'une antenne micro ruban triangulaire miniature ULB. Mémoire de master : Electronique. Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent.