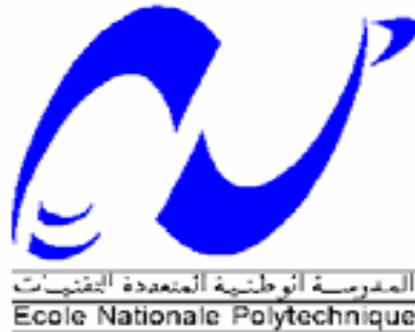


République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



DÉPARTEMENT D'ÉLECTRONIQUE

Mémoire de Master

En Électronique

Thème :

La conception d'Antenne Sierpinski

Encadré par :

Pr: R. AKSAS

Réalisé par :

ZIDANE Mohamed Amine

Promotion: Juin 2015

Résumé :

Le travail présenté dans cette thèse concerne l'étude des antennes fractale, en particulier Sierpinski Gasket. Après avoir introduit le concept des fractales, en illustrant avec certains exemples. J'ai présenté une méthode pour concevoir ce type d'antenne. En appliquant sur un exemple d'une antenne qui opère sur 1.8 GHZ.

Mots Clés : Antenne fractale, Sierpinski Gasket

Abstract:

The work presented in this thesis concerns a study of a fractal antennas, in particular with Sierpinski Gasket After having introduced the concept of the fractals, illustrating with some examples. I presented a method for designing this type of antenna. By applying to an example of an antenna that operates on 1.8 GHz.

Key word: Fractal Antenna, Sierpinski Gasket

ملخص:

الموضوع الوارد في هذه الأطروحة يتخصص في دراسة الهوائيات من نوع فركتال. بعد تقديم لمحة نظرية عن هذه الأشكال خاصة سير بنسكي، مع توضيح بأمثلة. قدمت طريقة لتصميم هذا النوع من الهوائي. من خلال تطبيق لمثال على هوائي يعمل على 1.8 غيغاهرتز.

كلمات مفتاحية

سير بنسكي, هوائي فركتال

Remerciements

Je remercie le Professeur **AKSAS. R**, de l'École Nationale Polytechnique, pour le temps qu'il m'a consacré tout au long de cette période, sachant répondre à toutes mes interrogations ; sans oublier sa participation au cheminement de ce rapport.

Je tiens à remercier, le Professeur **TRABELSI. M**, de l'École Nationale Polytechnique, qui m'a fait l'honneur d'accepter d'examiner ma thèse. Notamment pour son soutien indéfectible, ainsi que pour ses précieux conseils et remarques qui m'ont été d'une grande utilité.

Je remercie également, le docteur **Terra. Z**, de l'École Nationale Polytechnique, Pour l'intérêt porté a mes travaux et m'avoir fait l'immense honneur d'avoir accepté d'être le jury de ma thèse.

Enfin, il me serait impossible de terminer ces remerciements sans adresser une pensée chaleureuse à tous mes amis et à toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin, sans oublier **Taleb Mohamed Bachir** pour son aide précieuse.

Sommaire

Remerciements	2
Liste des figures	4
Liste des tableaux	5
Liste des symboles	6
Liste des abréviations	7
1.Introduction :.....	8
2.Les éléments de l’antenne fractale :	9
3.La géométrie fractale :.....	10
3.1.Le tapis de Sierpinski « Sierpinski Carpet »	10
3.2.La courbe de koch:	10
3.3.La fractales de Hilbert	11
4. Etude du triangle de Sierpinski « Sierpinski Gasket »	11
4.1.Génération de la géométrie fractale de Sierpinski Gasket :.....	12
4.2.Le monopole de Sierpinski gasket :.....	14
4.2.1.Procédure de conception:	15
4.3.Antenne patch de Sierpinski gasket :.....	18
4.4 Le monopole de Sierpinski Gasket Fractal 2.....	18
5.Conclusion :.....	20
Références bibliographies	21

Liste des figures

Figure I. 1 Exemple de la nature d'une fougère qu'on peut modéliser avec la géométrie fractale.....	9
Figure I. 2 Génération de la géométrie du tapis de Sierpinski .	10
Figure I. 3 Courbe de Koch .	11
Figure I. 4 Génération de la courbe de Hilbert .	11
Figure I. 5 Génération par rapproche de copie multiple .	13
Figure I. 6 Génération par rapproche de décomposition..	13
Figure I. 7 Génération de la géométrie Sierpinski gasket.	13
Figure I. 8 Antenne monopole de Sierpinski gasket.	14
Figure I. 9 Organigramme de la procédure de conception pour SGFpe1,SGFpd1,et SGFm1 .	16
Figure I. 10 Géométrie de chaque antenne.....	17
Figure I. 11 Etape de construction antenne patch de Sierpinski gasket.	18
Figure I. 12 Dimension de SGFm2.	19

Liste des tableaux

Tableau I. 1 Caractéristiques de diélectrique FR4 utilisé.....	16
Tableau I. 2 Dimension de chaque antenne.....	17
Tableau I.3 les paramètres de la géométrie SGFm2.....	19

Liste des symboles

c	-	<i>Vitesse de la lumière</i>
D	-	<i>Dimension fractale</i>
ϵ_r	-	<i>Permittivité relative du diélectrique</i>
f	-	<i>Fréquence</i>
f_0	-	<i>Fréquence d'opération</i>
f_r	-	<i>Fréquence de résonance</i>
h	-	<i>Longueur de monopole</i>
α	-	<i>Angle de triangle</i>
δ	-	<i>Facteur de l'échelle</i>
n	-	<i>Nombre de bande de fréquence</i>

Liste des abréviations

- SGFpe1** : Sierpinski Gasket Fractal patch edge feed 1.
SGFpd1 : Sierpinski Gasket Fractal patch direct feed 1.
SGFm1 : Sierpinski Gasket Fractal monopole 1.
SGFm1 : Sierpinski Gasket Fractal monopole.
IFS : Iterative Function System.

1. Introduction :

Le développement de la technologie de l'information et de la communication offre de multitudes applications dans notre société moderne. De ce fait, les antennes à large bande, multibande, sont les mieux adaptées pour diverses applications (commerciales, militaires). Alors, des recherches sur les antennes ont été initiées en plusieurs directions. Une de ces recherches se base sur l'antenne fractale. Traditionnellement, chaque antenne opère dans une seule bande de fréquence ou en bi bande, d'où il faut des antennes différentes pour des applications différentes.

La forme fractale de l'antenne a déjà été prouvée qu'elle a des caractéristiques uniques liées à ses propriétés géométriques. Benoit Mandelbrot [1] est la première personne qui a défini les fractales en 1975 comme un moyen pour classer des structures qui ont des dimensions non régulières. Les caractéristiques des antennes fractales sont uniques dans la nature. Elles peuvent être utilisées pour décrire les feuilles de l'arbre et les plantes, un terrain accidenté, la forme de sable, les veines sanguines du corps humain et plusieurs autres exemples de la nature. Les fractales ont été utilisées dans divers domaines tel que la compression d'image, analyse des phénomènes de foudre en haute altitude.

Les fractales sont des formes géométriques qui se trouvent dans la nature, et qui ont été créées après des millions d'années de l'évolution, de sélection et d'optimisation.

Le terme fractal a été mentionné par le mathématicien français B.B.Mandelbrot en 1970 après ses recherches sur plusieurs géométries irrégulières et fragmentées qui ne se trouvent pas dans les lois de la géométrie euclidienne. Ces géométries ont généralement été négligées et considérées comme étant une forme arbitraire sans importance, mais Mandelbrot a découvert certaines caractéristiques spéciales qui peuvent être associées à elles.

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 [2]. Généralement, on dit qu'un objet est infini lorsqu'il est déterminé par une fin non tangible, c'est-à-dire que si vous « zoomez », et vous « zoomez » encore, il y aura toujours de nouveaux détails qui apparaîtront sur lesquels vous pourrez encore « zoomer ».

Pour des fractales constituées de N copies d'une certaine forme originale, construites à chaque itération et pondérées par un facteur de similarité s , la relation de la dimension fractale est définie [3] par:

$$D = \frac{\log N}{\log\left(\frac{1}{s}\right)} \quad (1)$$

Ces formes fractales peuvent donc avoir une dimension non entière, comprise entre 0 et 2. Plus cette dimension s'approche de 2, plus la fractale est irrégulière et si la dimension est vraiment très proche de 2, alors la courbe est tellement irrégulière qu'elle remplit presque tout le plan qui, rappelons-le, est bidimensionnel.

Notons que les objets qui ont un volume (tétraèdre, éponges...), ont une dimension entre 2 et 3. Ce qui nous permet de dire que chaque ensemble ayant une dimension non entière est une fractale mais ce dernier peut aussi disposer d'une dimension entière.



Figure I. 1. Exemple de la nature d'une fougère qu'on peut modéliser avec la géométrie fractale [3].

2. L'avantage de l'antenne fractale :

Il ya de nombreux avantages lors de l'application de ce pouvoir de la nature pour développer les éléments d'antenne, en appliquant la forme fractale aux différents éléments d'antenne:

- nous pouvons créer des antennes Petite de taille.
- atteindre des fréquences de résonance multi bande.
- optimiser le gain.
- atteindre une large bande de fréquence.

La plupart des fractales ont certaines complexités et détails qui peuvent être utilisées pour réduire la taille de l'antenne et obtenir des antennes moins encombrantes. Pour la plupart des fractales, le concept d'autosimilarité peut atteindre plusieurs bandes de fréquence en raison de différentes parties de l'antenne qui sont semblables les uns aux autres à différentes échelles. La combinaison entre la complexité et le détail et l'autosimilarité permet de concevoir l'antenne avec des performances très large bande.

3. La géométrie fractale :

Il y a plusieurs géométries fractales qui ont été utilisées pour concevoir des nouvelles antennes.

3.1. Le tapis de Sierpinski « Sierpinski Carpet »

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

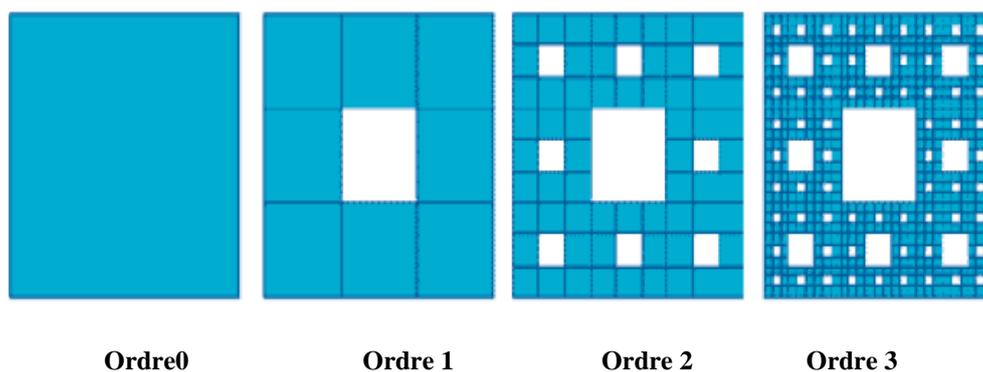


Figure I. 2 Génération de la géométrie du tapis de Sierpinski [4].

Ce tapis est l'attracteur de 8 homothéties de rapport $1/3$ centrées aux sommets et aux milieux des côtés d'un carré. Sa dimension fractale est égale à $\log 8 / \log 3 = 1.89$.

3.2. La courbe de Koch:

La construction géométrique de la courbe standard de Koch est assez simple. On commence par une ligne droite, appelée l'initiateur. Ce dernier sera divisé en trois parts égales et le segment du milieu sera remplacé lui aussi par deux autres de la même longueur. C'est la première translation réitérée de la géométrie appelée générateur ou fractale de Koch d'ordre 1. On refait le même processus pour chacun de ces quatre nouveaux segments et ainsi de suite, comme le montre la figure I.2.

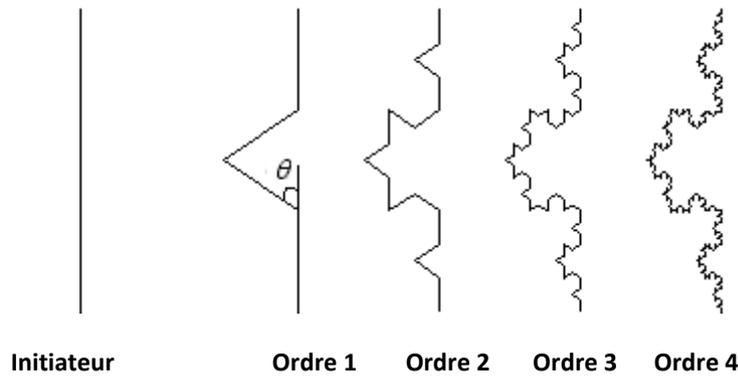


Figure I. 3 Courbe de Koch [2].

3.3. La fractales de Hilbert

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.

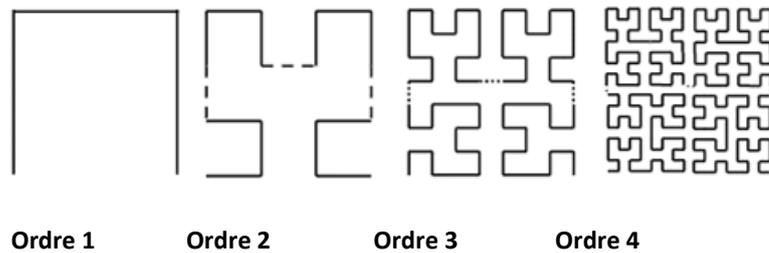


Figure I. 4 Génération de la courbe de Hilbert [5].

4. Etude du triangle de Sierpinski « Sierpinski Gasket »

La fractale de Sierpinski apparue en 1915 est l'une des formes fractales les plus utilisée. Elle est baptisée du nom de Waclaw Sierpinski, le mathématicien polonais qui l'a intensivement étudié [6].

Sierpinski Gasket a été étudiée largement pour des configurations d'antenne tel que le monopole et le dipôle .l'auto similarité de cette géométrie est attendue pour produire un caractère multi bande. On a trouvé qu'on peut Controller la nature multi bande de cette antenne en modifiant un peu sa géométrie. La variation des angles de triangle a aussi été

explorée pour changer les caractéristiques de l'antenne. On a découvert que la nature multi bande de ces antennes peut être transformé à une large bande en utilisant un substrat avec un constant diélectrique très grand et un matériel absorbant convenable.

4.1. Génération de la géométrie fractale de Sierpinski Gasket :

La génération du triangle se base sur deux méthodes à savoir

- l'approche de copie multiple.
- L'approche de décomposition.

La génération du triangle se base sur deux méthodes à savoir : l'approche copie multiple, ou l'approche de décomposition. Dans la première, on commence par un petit triangle. Deux copies supplémentaires de ce triangle de la même taille sont produites et collées au triangle original. Ce processus peut être répété n fois, n étant l'ordre de l'itération fractale. Dans l'approche de décomposition, on commence par un grand triangle entourant la géométrie entière. Les points médians des côtés sont joints ensemble, et un espace creux au milieu est créé. Ce processus divise le triangle original à trois versions réduites du plus grand triangle. Le même processus de division peut être réalisé sur chacune des copies.

Les transformations IFS de cette forme peuvent être exprimées comme suit:

$$W \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} r \cos \theta & -s \sin \varphi \\ r \sin \theta & s \cos \varphi \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Dans l'équation ci-dessus, r et s sont des facteurs d'échelles, θ et φ correspondent aux angles de rotation et x_0 et y_0 des vecteurs de translation. On peut remarquer que si :

$r = s$: la transformation est auto-similaire.

$r \neq s$: la transformation est auto-affine.

L'approche de copie multiple :

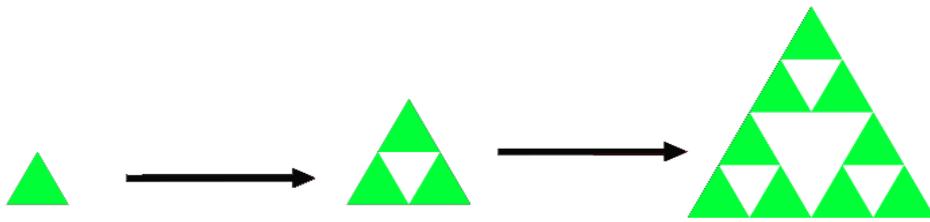


Figure I. 5 Génération par rapproche de copie multiple

L'approche de décomposition :

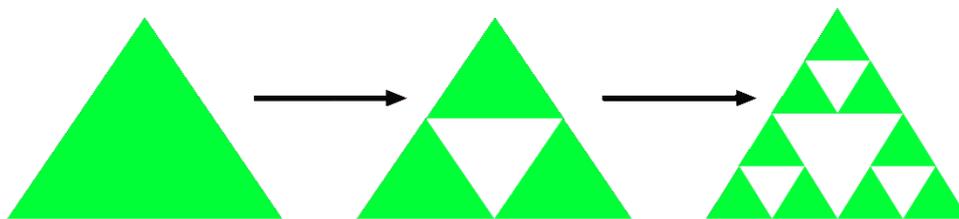


Figure I. 6 Génération par rapproche de décomposition.

On prend la base du système de coordonnées au dessous, dans l'angle gauche du premier triangle, l'axe x passe à travers la base de triangle, les transformations W_1 , W_2 , W_3 sont indiquées dans la figure I.7 .la deuxième géométrie est obtenue en faisant la réunion de ces trois transformations :

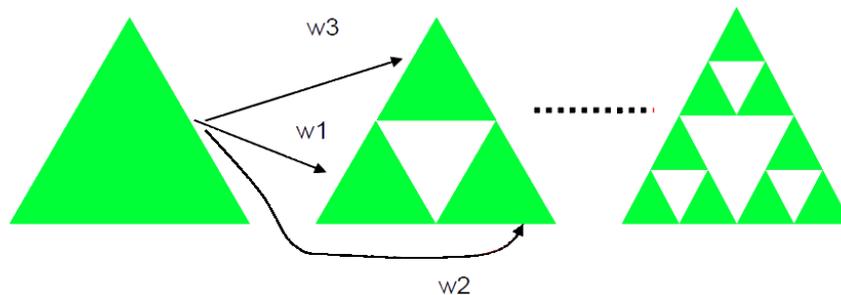


Figure I. 7 Génération de la géométrie Sierpinski gasket.

Les transformations W_1 , W_2 , W_3 strictement auto-similaires pour un angle de 60° sont :

$$W_1 \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0 \\ 0 & 0.5 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$W_2 \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0 \\ 0 & 0.5 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0.5 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$W_3 \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0 \\ 0 & 0.5 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0.25 \\ 0.433 \end{pmatrix} \quad (5)$$

La géométrie sera obtenue avec l'union de ces trois transformations :

$$W(A) = W_1(A) \cup W_2(A) \cup W_3(A) \quad (6)$$

ce processus de génération de la géométrie est très pratique pour la programmation sur l'ordinateur. et on l'appelle MRCM (multiple reduction copy machine), en mathématique, ceci se réfère au système de fonction d'itération (IFS).

Une extension de la notion de la dimension permet de préciser que cette courbe a une dimension fractale non entière. Pour un angle de rotation 60° , cette dimension vaut:

$$D = \log 3 / \log 2 = 1.585 \quad (7)$$

4.2. Le monopole de Sierpinski gasket :

La conception d'antenne dépend fortement de la fréquence d'où la taille de l'antenne est relative par rapport à la longueur d'onde d'opération. Carles Puente [7] est la première personne qui a décrit le comportement multi bande de monopole qui a la géométrie Sierpinski gasket. Un tel comportement est basé sur la propriété de l'auto similarité des antennes fractales. ce qu'il ouvre des nouvelles alternatives pour concevoir des antennes multi bande et indépendantes de la fréquence (FIA).

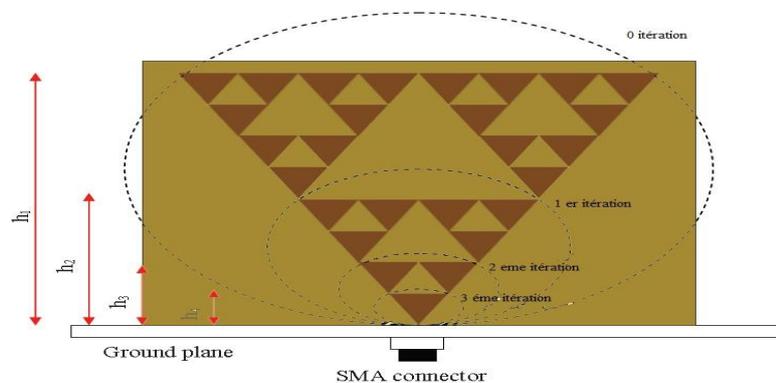


Figure I. 8 Antenne monopole de Sierpinski gasket.

Le facteur d'échelle qui détermine la longueur de chaque triangle est donné par:

$$\delta = \frac{h_n}{h_{n+1}} \quad (8)$$

La figure I.8 représente la troisième itération de l'antenne fractale Sierpinski gasket. La longueur de chaque sous triangle détermine la fréquence de résonance de l'antenne. Ce qui signifie qu'on obtient 4 différents bandes parce qu'il y a 4 différentes longueurs pour les sous triangles .en changeant le facteur de l'échelle, nous obtiendrons différentes longueurs pour chaque sous triangle, donc différentes bandes de fréquence.

Par [8], pour déterminer la fréquence de résonance du monopole Sierpinski gasket, l'équation simplifiée est donnée par :

$$f_r = k \frac{c}{h} \cos(\alpha/2) (\delta)^n \quad (9)$$

Avec :

c : vitesse de la lumière

h : longueur de monopole

α : angle de triangle

δ: facteur de l'échelle

n: nombre de bande

k: 0.152

Dans cette thèse, on prend l'angle du triangle égal à 60 degré comme un point de départ. Le constant k dépend du diélectrique de substrat et son épaisseur.

4.2.1. Procédure de conception:

Dans ce projet, le substrat utilisé est FR4 époxy. On l'a choisit pour plusieurs raisons, la première, son cout est faible, aussi, le FR4 peut opérer jusqu'a la fréquence 10 GHZ. L'épaisseur du diélectrique est 1.6 mm et perte diélectrique égale à 0.019. Le diélectrique du substrat FR4 est acceptable. Le tableau I.1 représente les spécifications de FR4.

Permittivité relative du diélectrique	$\epsilon_r=4.7$
Pertes diélectriques	$\tan \delta = 0.019$
Epaisseur de substrat (mm)	1.6
Bande de fréquence acceptable	$< 10 \text{ GHz}$

Tableau I. 1 Caractéristiques de diélectrique FR4 utilisé.

L'organigramme de la procédure de conception est présenté dans la Figure I.9 .pour un patch Sierpinski gasket, la conception commence par un triangle équilatérale a 1.8 GHz (pour SGFpe1, SGFpd1,et SGFm1). Actuellement pour les trois premiers antennes, les dimensions utilisées sont les mêmes mais le point d'alimentation est différent. La prochaine étape, on choisit le matériel convenable. Dans ce projet, le matériel choisit est FR4 laminé, l'antenne est fractale de la première itération jusqu'a la troisième itération, sauf pour SGFm2.l'antenne est particulièrement conçu en bi bande 2.4 GHz et 5.0 GHz.

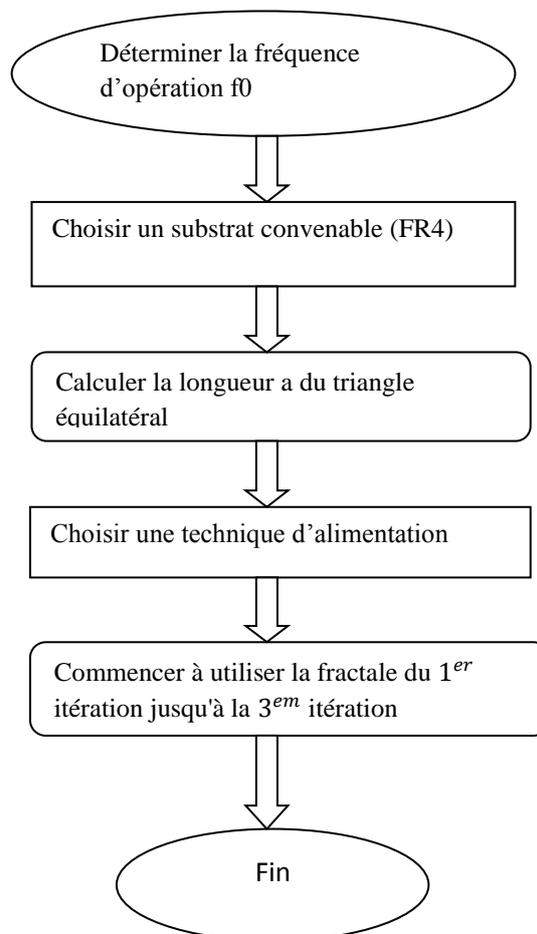


Figure I. 9 Organigramme de la procédure de conception pour SGFpe1, SGFpd1, et SGFm1

La longueur de chaque coté du triangle et la hauteur h du triangle équilatérale est calculée, dans ce projet, le facteur d'échelle choisit est 2 .donc chaque hauteur h du triangle équilatérale fractale est divisée sur 2. Le tableau I.2 représente les dimensions de chaque antenne.

Les antennes	SGFpe1	SGFpd1	SGFm1
La longueur a du coté (mm)	52	52	52
La hauteur h (mm)	45.03	45.03	45.03

Tableau I. 2 Dimension de chaque antenne.

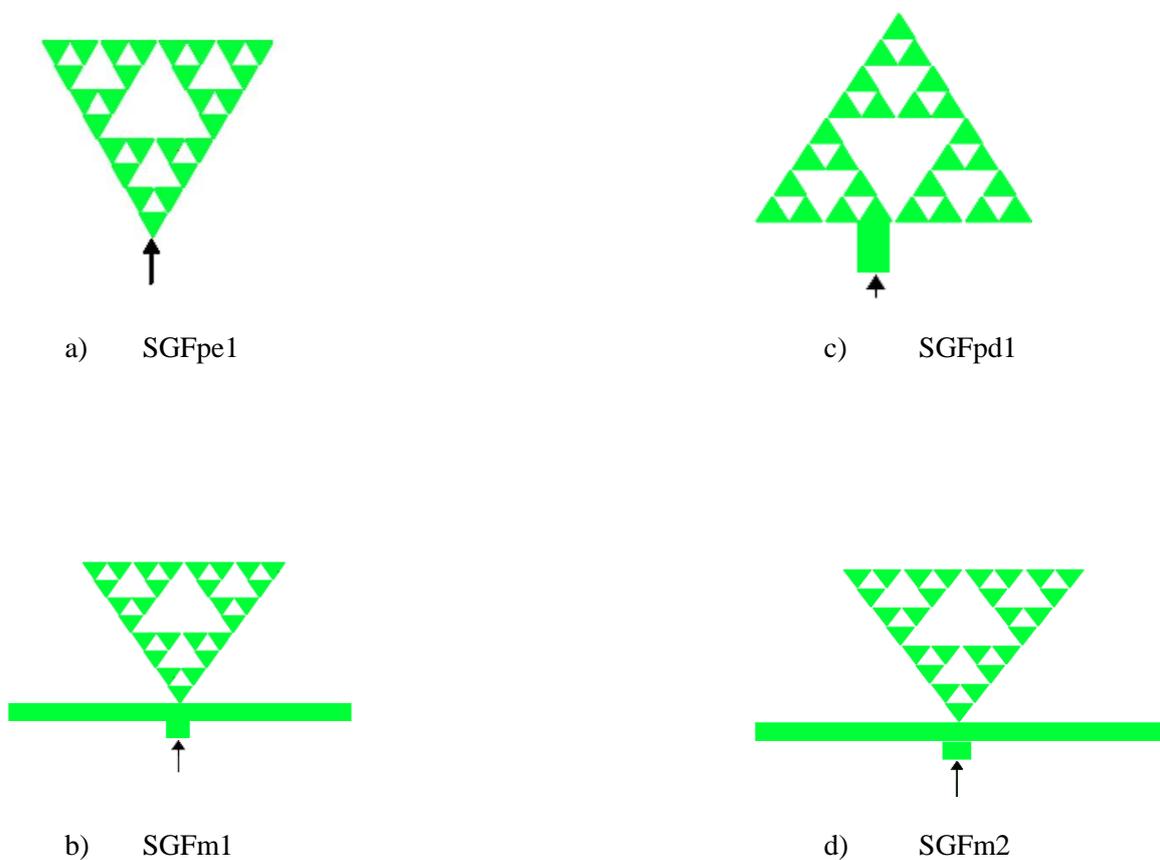


Figure I.10 Géométrie de chaque antenne.

4.3. Antenne patch de Sierpinski Gasket :

Nous concevons une antenne patch fractale en utilisant des motifs d'un triangle équilatérale, on suppose que les informations à propos du constant de diélectrique de substrat, la fréquence de résonance, la hauteur de substrat sont connues.

On spécifie:

- $\epsilon_r, f_0(1.8GHZ), h$
- longueur de coté du triangle a est déterminée (dépend de f_0)
- le point d'alimentation
- en utilisant du fractale de 1^{er} itération jusqu'a 3^{eme} itération, facteur d'échelle égale a 2 .l'angle du triangle égale a 60.

Deux antennes ont été conçues, il y a SGFpe1 et SGFpd1.les étapes pour construire Sierpinski gasket est présenté dans la Figure I.8.

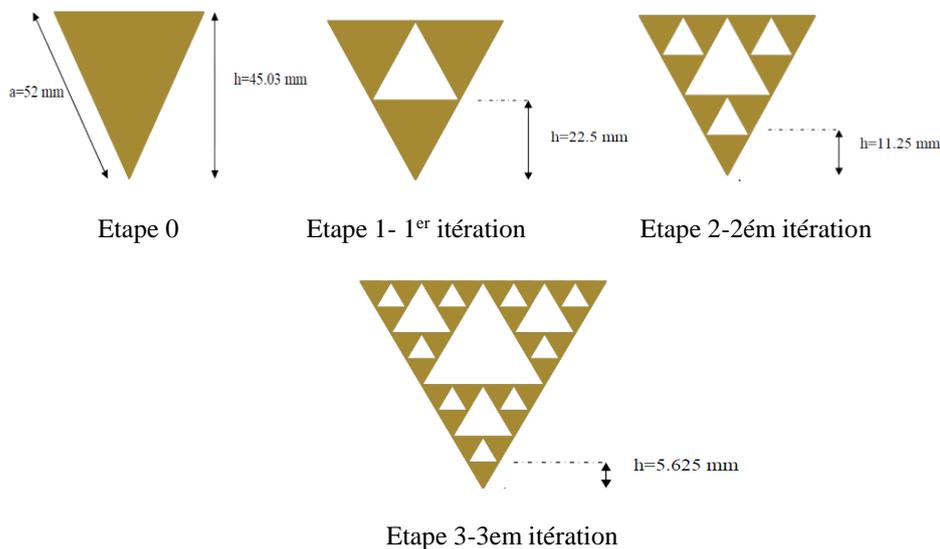


Figure I. 11 Etape de construction antenne patch de Sierpinski gasket.

4.4 Le monopole de Sierpinski Gasket Fractal 2:

SGFm2 est conçu pour travailler en 2.4 GHz et 5.0 GHz, le facteur d'échelle peut être calculé par le rapport de la fréquence de résonance désirée: $f_2 = 2.4 \text{ GHz}$ (la deuxième bande requise) et $f_3 = 5.0 \text{ GHz}$ (troisième bande requise).

$$5.0\text{GHz}/2.4\text{GHz} = 2.08$$

le facteur d'échelle est 2.08 presque 2, alors chaque structure du triangle qui se rejoint est deux fois plus large que les sous triangle, la hauteur de la structure triangulaire qui résonne a f_2 est $h_2=3.1$ cm, la hauteur du monopole est $h=2*h_2=6.2$. Le nombre d'itération qu'il faut $n_{\max}=4$, cela veut dire qu'on va aller jusqu'a la troisième itération, alors il y aurait 4 bandes de fréquences, ou f_1 et f_4 ne vont pas influencer la bande de fréquence qui nous intéresse (f_2 et f_3).

Les paramètres	Les valeurs
Facteur d'échelle	2
Hauteur h (mm)	62
L'angle de triangle alpha	60
L'itération maximale n_{\max}	4

Tableau I. 3 les paramètres de la géométrie SGFm2.

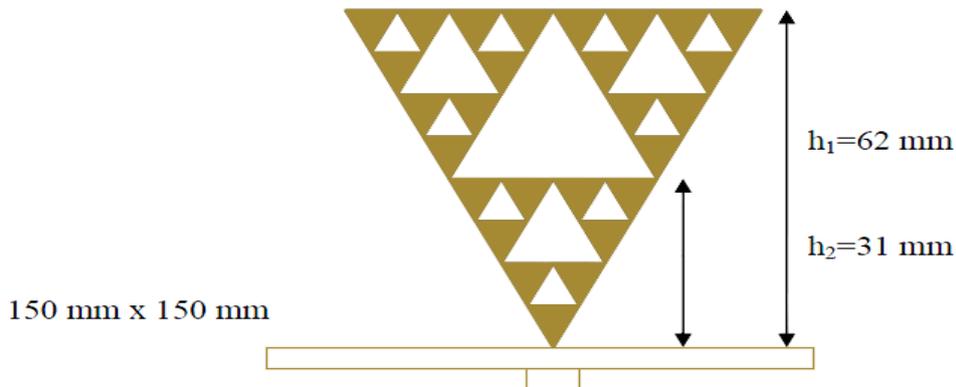


Figure I. 12 Dimension de SGFm2.

5. Conclusion :

Durant ce travail nous avons adopté une méthode pour faire une conception des antennes fractales en particulier Sierpensi Gasket, elle-même s'applique sur un patch, il existait quatre types d'antennes SGFpe1 SGFpd1 SGFm1, SGFm2. On peut utiliser la même méthode pour concevoir ces antennes, la seule différence réside dans le point d'alimentation de chaque antenne.

Références bibliographiques

- [1] Benoit. B. Mandelbrot, “*The fractal geometry of nature*”, New York, W.H. Freeman and Company, 1977.
- [2] Josiane Lajoie, “*La géométrie fractale*”, mémoire présenté à l’université du Québec, Juin 2006.
- [3] Tian Tiehong, Zhou, *A Novel Multiband Antenna: Fractal Antenna*, Beijing University of posts and Telecommunications, Proceedings of ICCT2003.
- [4] Douglas H. Werner and Suman Ganguly, *an Overview of Fractal Antenna Engineering Research*, IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol 45, No 1, February 2003.
- [5] K.J. Vinoy, “*Fractal shaped antenna elements for wide- and multi- band wireless applications*”, A thesis in Engineering science and mechanics, submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy the Pennsylvania state University the graduate school College of engineering, August 2002.
- [6] W. Sierpinski, “*Sur une courbe cantorienne dont tout point est un point de ramification*”, C.R. Académie des Sciences de Paris 160, 1915, p. 302.
- [7] C.Puente, J.Romeu, R.Pous, X.Garcia and F.Benitez, *Fractal Multiband Antenna Based On The Sierpinski Gasket*, Electronics Letters 4th January 1991 Vol 32 NO1
- [8] C.Borja, C.Puene and A.Medina, *Iterative Network Model to predict the Behavior of a Sierpinski Fractal Network*, Electronics Letters 23rd July 1998 Vol 34 No 15