



**epsc**

**Escola Politècnica Superior  
de Castelldefels**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# TREBALL DE FI DE CARRERA

**TÍTOL DEL TFC:** ÉTUDE DE L'EFFET D'UNE STRUCTURE  
MÉTAMATÉRIAU SUR UNE ANTENNE PIFA

**TITULACIÓ:** Enginyeria Tècnica de Telecomunicació, especialitat Sistemes de  
Telecomunicació

**AUTOR:** Miguel I. Eizmendi Vallés

**DIRECTORA:** Habiba H. Ouslimani

**DATA:** 30 de juny de 2009



## RECONNAISSANCES

Primerament, vull agrair a Madame Ouslimani, la directora d'aquest TFC, qui estat una excel·lent coordinadora, em va donar una molt bona acollida dins del seu laboratori, m'ha ajudat quan ho he necessitat i m'ha recolzat et tot moment. També vull agrair al seu equip de doctorants l'ajuda que m'han ofert. Amb tots ells, he après molt i he descobert com és treballar dins d'un grup de recerca.

D'altra banda, vull agrair calorosament als amics que he fet estant d'erasmus a París i en especial a Agustín, Iker, Johanna, Mario, Rita y Sophia, per interessar-se dia darrere dia en com avançava aquest treball. Amb ells, he passat molts bons moments i estic segur que els trobaré a faltar quan marxi de París.

I per suposat, a la meva família que m'ha donat ànims a través de les videoconferències de cada diumenge, i que també han anat seguint projecte. Després d'estar un quadrimestre fora de casa, estic ple de ganes de tornar a veure'ls, especialment a les meues filloles, Nerea i Amaya, que encara no fan un any de vida.

**Títol:** Estudi de l'efecte d'una estructura metamaterial en una antena PIFA

**Autor:** Miguel I. Eizmendi Vallés

**Directora:** Habiba H. Ouslimani

**Data:** 30 de juny de 2009

## **Resum**

En aquest document s'exposen dues antenes del tipus PIFA, que en els darrers anys han sigut utilitzades per substituir entre d'altres a les antenes monopòl en les comunicacions mòbils, degut al seu caràcter multibanda i a la seva reduïda talla que facilita la integració en els equips.

Així mateix, s'estudia la incorporació d'una estructura metamaterial híbrida sota l'antena, aconseguint beneficis substancials. Gràcies a aquesta estructura és possible reduir l'altura de l'antena i a la vegada augmentar el ample de banda i el seu guany.

Finalment, s'exposen dues eines informàtiques. La primera és un macro per al programa de simulació CST que automatitza el procés de integració del metamaterial i simulació de l'antena. La segona eina permet obrir els fitxers fruit de la simulació en CST, calcula els amplex de banda i visualitza les gràfiques del coeficient de reflexió de l'antena.

**Title:** The effect of the integration a metamaterial structure in an antenne PIFA

**Author:** Miguel I. Eizmendi Vallés

**Director:** Habiba H. Ouslimani

**Date:** June, 30th of 2009

## Overview

This document is about the study of two antennas PIFA, which are now widely used in the common GSM cellular terminal and portable radio equipment for its compactness and multiband support, which allow an easy integration in the mobile devices.

Moreover, in this paper is proposed a hybrid structure metamaterial as a ground plane which gives better performances to the new antenna. Thanks to this structure, is possible to reduce the total thickness and enhance the bandwidth at the same time.

Finally, two informatic tools are exposed in this document. On the one hand, a macro for the simulation program CST was developed to automate the integration of the metamaterial structure in the antenna and the simulation process. On the other hand, another tool, able to open files created by CST, calculates the bandwidths and visualizes the graphics of the reflection coefficient of the antenna.

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE 1. CONCEPTION D'UNE ANTENNE PIFA.....</b>	<b>2</b>
1.1 Introduction.....	2
1.2 Dessin de l'antenne.....	2
1.3 Simulation de l'antenne.....	3
<b>CHAPITRE 2. PIFA SUR METAMATERIAL.....</b>	<b>5</b>
2.1 Introduction aux métamatériaux.....	5
2.2 Types de structures métamatériaux.....	5
2.3 PIFA sur une structure de crois de Jérusalem.....	6
2.4 PIFA sur une structure hybride.....	7
<b>CHAPITRE 3. STRUCTURE HYBRIDE EN UN ANTENNE TRI-BANDE.....</b>	<b>9</b>
3.1 Présentation de l'antenne.....	9
3.2 Application du metamatériaux hybride.....	10
3.3 Diminution de l'hauteur de l'antenne originel.....	10
<b>CHAPITRE 4. AUTOMATISATION DU PROCES DE CREATION ET SIMULATION DU MÉTAMATÉRIAU.....</b>	<b>13</b>
4.1 Développement d'une Macro sur CST.....	13
4.2 Développement d'une logiciel pour ouvrir les archives créés pour CST.....	14
4.3 Lignes de future.....	15
<b>CHAPITRE 6. CONCLUSION.....</b>	<b>17</b>
<b>4. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>18</b>
<b>5. ANEX.....</b>	<b>19</b>

## INTRODUCTION

Ce document traite sur l'étude de deux antennes PIFA, lesquelles sont beaucoup utilisés dans les terminaux portables pour son réduites démentions et a le support pour plusieurs bandes sur la même antenne. C'est que fais de l'antenne PIFA pourvoir être facilement intégré dans les dispositifs portables.

En plus, c'est exposé aussi une structure hybride de métamatériau laquelle donne des meilleures caractéristiques a l'antenne. Grace à cette structure c'est possible de réduire l'hauteur totale de l'antenne et élargir la bande passante au même temps.

Finalement, deux outils informatiques sont présentés. La première s'agit d'une macro pour le logiciel de simulation CST que a été développé pour automatiser la intégration du métamatériau dans l'antenne et pour automatiser aussi le procès de simulation. La deuxième s'agite d'un outil de visualitation capable d'ouvrir les fichiers générés pour CST et calculer les bandes passantes et visualiser les graphiques du coefficient de réflexion de l'antenne.

## CHAPITRE 1. CONCEPTION D'UNE ANTENNE PIFA

### 1.1 Introduction

La croissante demande de remplacer les antennes des terminaux GSM, du type monopole ou hélix, a provoqué, il y a quelques années, le développement de nouvelles antennes de dimensions réduits qui font l'équipe portable plus confortable.

Les antennes du type PIFA (Planar Inverted-F Antenna) sont les plus utilisées dans les dispositifs portables pour les applications GSM, Wi-Fi, Bluetooth... dû au leur faible coût de fabrication, leur compacité et au fait que supporte travailler avec plusieurs bandes de fréquence.

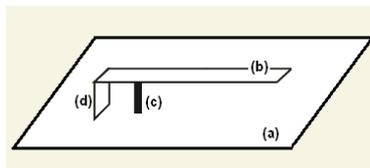


Figure 1. Vu en perspectif d'une antenne PIFA.

La structure d'une antenne PIFA (Figure 1.) est composée par un plan de masse (a), un plateau résonant (b), l'alimentation (c) et d'un plateau qui connecte le plateau résonant avec le plan de masse et qui joue la fonction d'un court-circuit.

C'est possible d'adapter l'antenne pour plusieurs bandes grâce à l'insertion de fentes sur le plateau résonant. En plus, en changeant le point d'alimentation on peut améliorer l'adaptation de l'antenne.

### 1.2 Dessin de l'antenne

L'application pour laquelle on réalise l'antenne est le GPS. Son standard définit deux bandes  $L_1 = 1227.5$  MHz et  $L_2 = 1575.5$  MHz avec une bande passante de 20MHz chaque une.

L'antenne est résonante à un quart de longueur d'onde et les dimensions du plateau résonant et de la hauteur déterminent les fréquences de résonance.

$$L_1 + L_2 + H = \frac{\lambda_r}{4} \quad (1)$$

L'hauteur normale pour une antenne Pifa est autour de 7mm. Ca reste que trouver les dimensions des deux côtés du plateau résonant,  $L_1$  contigu et  $L_2$  le côté opposé au côté court-circuité.

$$f_r = \begin{cases} r \cdot f_1 + (1-r) \cdot f_2 & \text{si } L_1/L_2 \leq 1 \\ r^{L_1/L_2} \cdot f_1 + (1-r^{L_1/L_2}) \cdot f_2 & \text{si } L_1/L_2 \geq 1 \end{cases} \quad (2)$$

$$f_1 = \frac{c}{4(L_2 + H)} \quad f_2 = \frac{c}{4(L_1 + L_2 + H - W)}$$

Avec le système formé par les équations (1) et (2) c'est possible de trouver les dimensions approximés de l'antenne PIFA [ (1)].

### 1.3 Simulation de l'antenne

Avec le logiciel CST MW a été simulée l'antenne utilisant les dimensions calculées pour plateau résonante. On a ajouté une fente en forme de « L » comme montre la Figure 2. et on a optimisé les dimensions du plateau et de la fente pour adapter l'antenne a les fréquences L1 et L2. L'antenne est alimentée entre la fin de la fente et le plateau court-circuit par un coaxial et sa position est aussi utile pour adapter l'antenne.

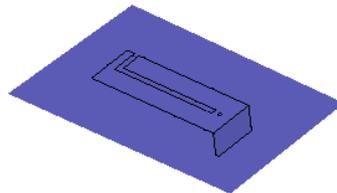


Figure 2. Vu de l'antenne PIFA dessiné

Les meilleurs résultats obtenus par les simulations n'ont pas satisfait les formalités requises. L'antenne simulée a deux bandes à 1239MHz et à 1575MHz avec une bande passante de 12MHz et 9Mhz respectivement. Dans tout ce document, la valeur du coefficient de réflexion pour mesurer la bande passante qu'a été pris comme référence est -10dB (Figure 3).

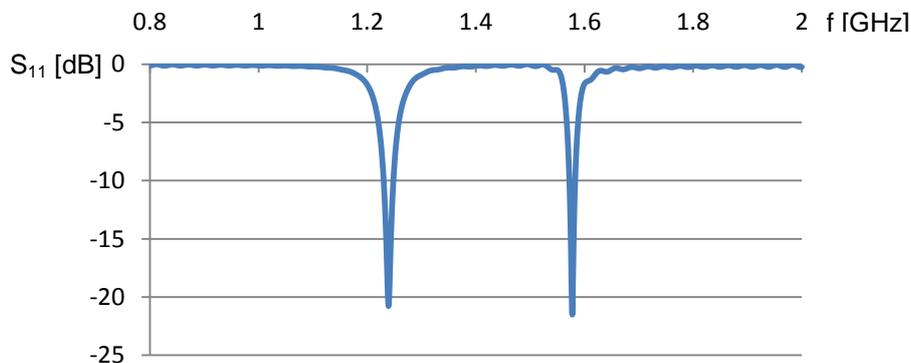


Figure 3. Coefficient de réflexion de l'antenne PIFA

Les dimensions du plateau résonant pour cette antenne sont 50mm x 17mm et il est situé à une hauteur de 7mm.

Une fois arrivé à ce point on se questionne pourquoi l'antenne ne peut pas être bien optimisée, c'est-à-dire, travailler avec bandes passantes plus grandes que 12MHz~1%. Il y a pas beaucoup de documentation sur les antennes pifa pour deux bandes si proches comme la bande L1 et L2. Normalement, ce type d'antennes est utilisé pour applications GSM, soit avec bandes considérablement plus éloignés ou soit avec une bande passante pour les deux fréquences si les bandes sont suffisamment proches pour le faire.

Comme curiosité: Il y a un nouveau logiciel, Antenna Magus, de l'entreprise CST qui désigne une antenne PIFA bibande, comme sur laquelle on travaille. L'utilisateur doit juste introduire les deux fréquences comme paramètre mais ce logiciel impose la restriction de que une bande doit être place en fréquence un minimum de 1.5 fois l'autre. Dans le notre cas, L2 est 1.28 fois L1.

## CHAPITRE 2. PIFA SUR METAMATERIAL

### 2.1 Introduction aux métamatériaux

Le terme métamatériau désigne un matériau composite artificiel qui présente des propriétés électromagnétiques qu'on ne retrouve pas dans un matériau naturel.

Il s'agit en général de structures périodiques, diélectriques ou métalliques, qui se comportent comme un matériau homogène n'existant pas à l'état naturel. Il existe plusieurs types de métamatériaux en électromagnétisme, les plus connus étant ceux susceptibles de présenter à la fois une permittivité et une perméabilité négatives. Mais il en existe d'autres: milieux d'impédance infinie, milieu à permittivité relative inférieure à 1, etc. En réalité les métamatériaux sont très anciens, puisqu'on peut considérer par exemple les verres colorés utilisés dans les vitraux des cathédrales comme des métamatériaux optiques. De même on peut considérer les cristaux photoniques comme des métamatériaux. [(2)]

Le métamatériau est un conducteur ACM (Artificial Magnetic Conductor), aussi connu comme surfaces haute-impédance (HIS), et est un type de matériel EGB (Electromagnetic Band Gap). Les matériaux EGB sont caractérisés par deux propriétés principales qui n'arrivent pas dans la nature. Premièrement, il s'agit que les surfaces ont une bande de fréquence interdite sur laquelle les ondes de surface ne peuvent pas se propager, et ça les fait idéales pour les utiliser comme plans de masse. En employant les surfaces ACM comme plan de masse on peut améliorer le diagramme de radiation dans la bande de fréquences où le métamatériau résonne. D'autre part, les surfaces ACM ont une très haute impédance dans un déterminé rang de fréquences où le champ magnétique tangentiel est petit même avec un large champ électrique en long de la surface. En plus, les surfaces ACM peuvent avoir un coefficient de réflexion de +1, c'est-à-dire, en phase et en conséquence le gain est supérieur. [(3)]

### 2.2 Types de structures métamatériaux

Les structures AMC sont normalement réalisées avec un substrat diélectrique, au dessus il y a une couche métallique qui a la fonction de le plan de masse et dessus il y a une autre couche métallique avec des dessins périodiques. Selon le type de structure on peut trouver des vias qui court-circuitent les deux couches. (Figure 4)



Figure 4. Vue latérale d'une structure métamatériau sans vias (a) et avec vias (b)

La bande laquelle le métamatériau résonne dépend directement de la forme et les dimensions de la structure périodique et selon le type de structure il y a un modèle analytique qui permet de les trouver. Ils existent beaucoup de structures métamatériau différents, comme par exemple le mushroom-like (Figure 5.a), le Crois de Jérusalem (Figure 5.b) et d'autres dérivées plus compliquées. [(4)]

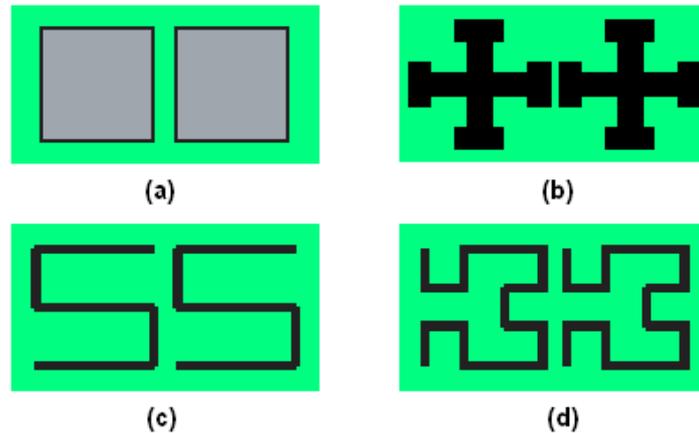


Figure 5. Levé d'une structure Mushroom-like (a), Crois de Jerusalem (b) courbe de Peano de premier ordre, (c) et courbe de Hilbert de premier ordre (d)

D'autre part, les courbes fractales sont aussi utilisées pour dessiner des structures de haute impédance, comme par exemple la courbe de Peano (Figure 5.c) et de Hilbert (Figure 5.d).

### 2.3 PIFA sur une structure de crois de Jérusalem

Pour commencer, on a étudié la structure de Crois de Jérusalem. Il s'agit d'une structure mono-bande les dimensions de laquelle on a obtenu grâce à un modèle présenté en [(3)]. Chaque branche du crois est traitée comme une inductance et une capacité en série et tout l'ensemble en parallèle avec une autre capacité, effet de la partie extrême du crois avec le plan de masse (Figure 6).



Figure 6. Model circuitel de la Crois de Jérusalem

Sur cet article, on peut trouver les indications pour calculer la fréquence résonante pour le métamatériau à partir des dimensions de la croix. Ainsi, on a choisi les dimensions d'un crois et on l'a élargi proportionnellement jusqu'à arriver à la fréquence désirée. Sur la Figure 7 peut être observé les dimensions obtenues pour la structure AMC.

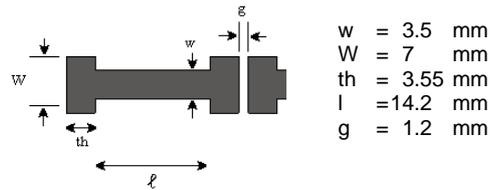


Figure 7. Croquis et dimensions de la Croix de Jérusalem

Une fois calculés les dimensions de la Croix de Jérusalem, on a simulé l'ensemble de la structure métamatériau et de l'antenne PIFA. La bande la plus basse est été déplacée autour de 1.15GHz et sur la partie supérieure de le spectre c'est possible observer des pics d'adaptation typiques des structures métamatériau Figure 8. On a réussi élargir la bande passante L1 de 12MHz à 19MHz.

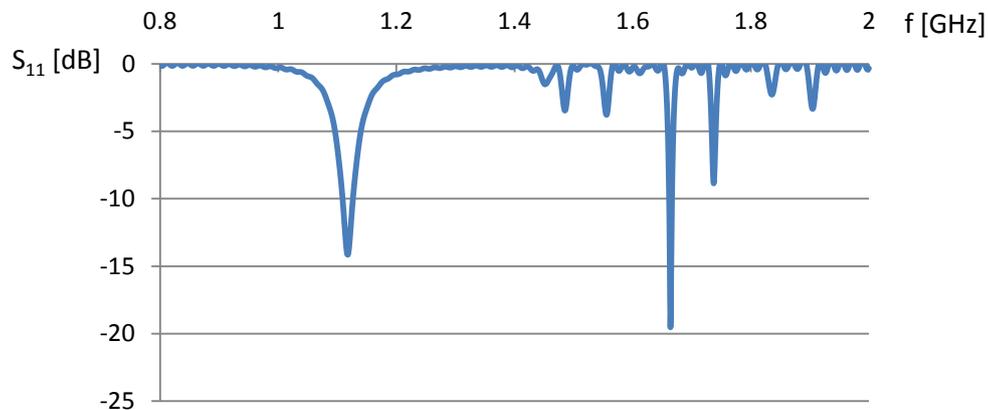


Figure 8. Coefficient de réflexion de l'antenne PIFA avec la structure de Croix de Jérusalem comme plane de masse.

## 2.4 PIFA sur une structure hybride

En ce document, une nouvelle structure ACM est présentée. Il s'agit de une structure de Crois de Jérusalem conventionnel avec une structure de type Mushroom-like comme se montre sur la Figure 9.

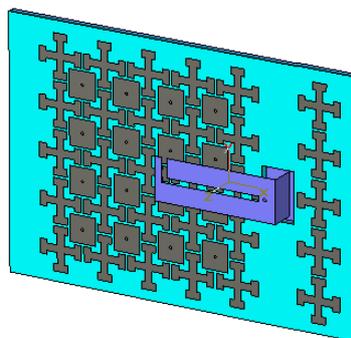
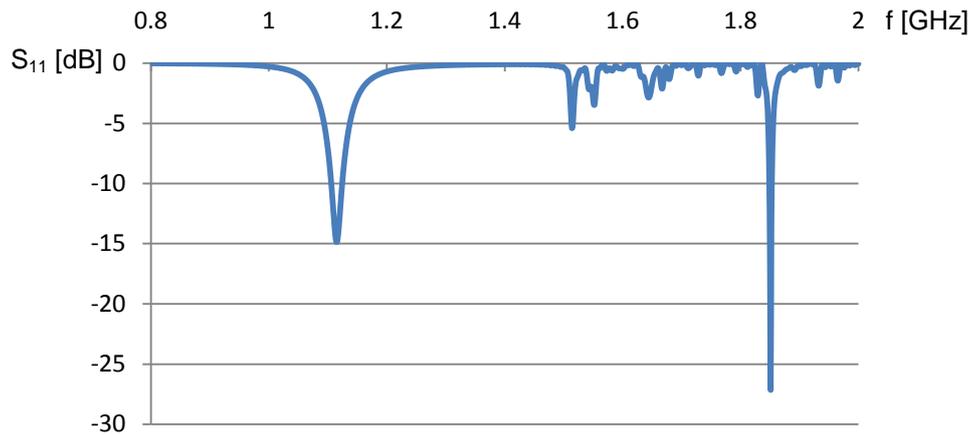


Figure 9. Antenne PIFA avec la structure hybride comme plan de masse.

Différentes dimensions du patch carré ont été essayées pour trouver laquelle adapte mieux l'antenne pour la bande plus supérieure. Sur la figure Figure 10 se montre le paramètre  $S_{11}$  de l'antenne PIFA avec la structure hybride et une largeur de patch carré de 10.1mm. L'effet d'ajouter un patch carré n'a pas modifié la première bande, qui reste intacte avec ses presque 20MHz de bande passante, mais a amélioré l'adaptation de l'antenne pour la deuxième bande 7dB.



**Figure 10. Coefficient de réflexion de l'antenne PIFA avec la structure Hybride comme plane de masse.**

Cependant, les deux bandes n'ont même pas une bande passante qui accomplit les conditions du service GPS.

## CHAPITRE 3. STRUCTURE HYBRIDE EN UN ANTENNE TRI-BANDE

### 3.1 Présentation de l'antenne

Dans ce chapitre est présenté une antenne PIFA tri-bande de caractéristiques conventionnels en ce qui concerne la bande passante. Le plateau résonant est de dimensions 60mm x 40mm y est monté sur un plan de masse de dimensions 100mm x 60mm a une hauteur de 7,5mm (Figure 11).

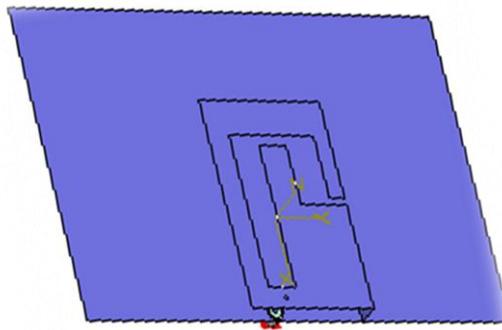


Figure 11. Vu de l'antenne tri-bande.

Avec cette configuration d'antenne on a obtenu trois bandes à 1590 MHz, 2110 MHz et 3035 MHz avec une bande passante de 90 MHz ~ 6%, 40 MHz ~ 2% et 130 MHz ~ 4% respectivement (Figure 12)

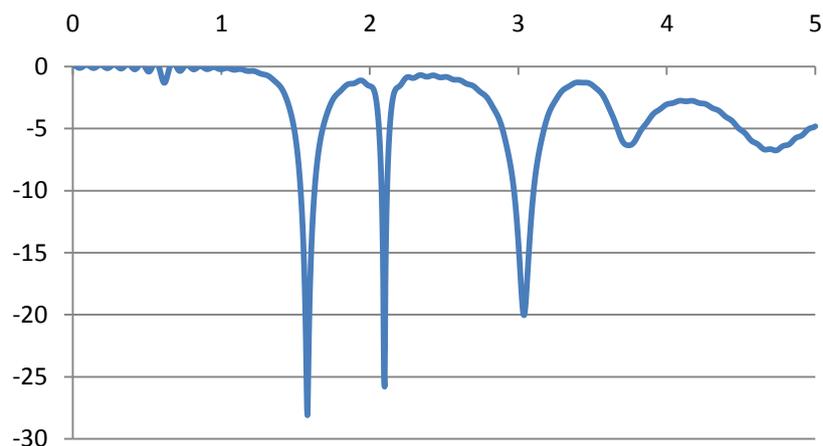


Figure 12. Coefficient de réflexion de l'antenne tri-bande

La principale différence en termes de dessin par rapport à l'antenne précédente est que le plateau court-circuitant est placé sur le côté droit au lieu d'être à côté de l'alimentation. Aussi, il y a une fente sur le plateau résonant qui permet que l'antenne rayonne à plusieurs bandes.

### 3.2 Application du metamatériaux hybride

Pour vérifier l'effet du métamatériau hybride on a appliqué la même technique présenté dans le Chapitre 2.4. Après d'optimiser la structure hybride pour cette antenne, on a réussi à gagné 4dB d'adaptation sur la deuxième bande, mais on a perdu 10dB et 6dB sur la première et troisième. Même avec c'est résultats la bande passante de les trois bandes a resté presque intacte (Figure 13).

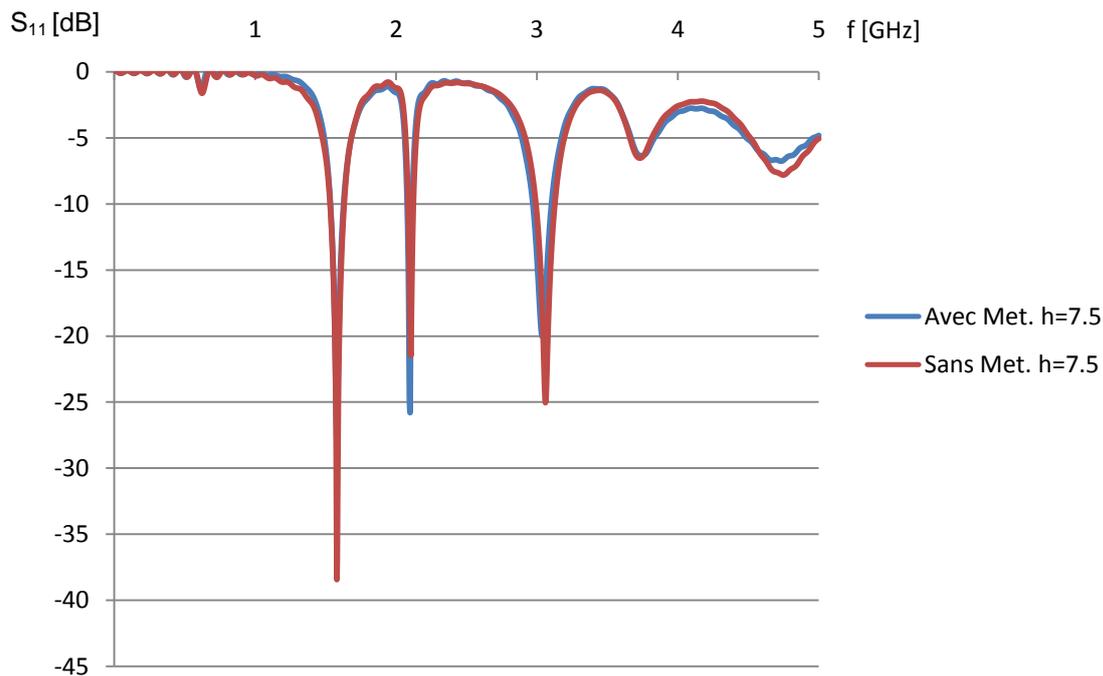


Figure 13. Coefficient de réflexion de l'antenne tri-bande sans et avec métamatériau

### 3.3 Diminution de l'hauteur de l'antenne originel

La hauteur laquelle est meilleur pour une antenne PIFA est autour de 7.5mm. À mesure qu'on diminue cette hauteur on empire l'adaptation de l'antenne comme peut être observé sur la Figure 14.

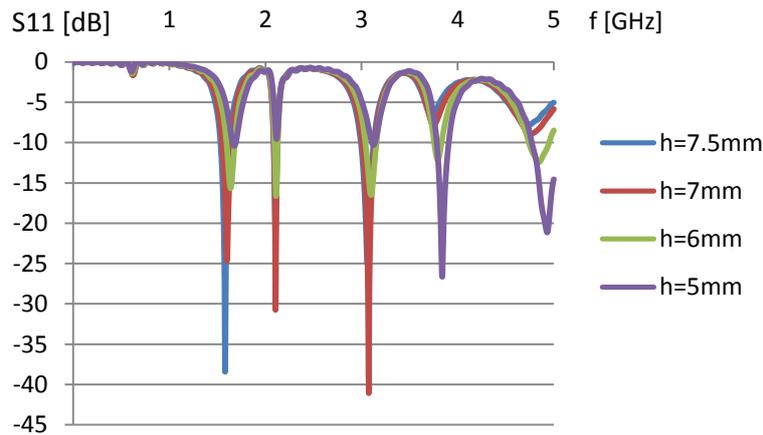


Figure 14. Coefficient de réflexion de l'antenne PIFA tri-bande pour différentes hauteurs

Pour une hauteur de 5mm les deux bandes inférieures sont disparues, la troisième est diminuée jusqu'à 75MHz  $\sim$  2% et deux nouvelles bandes sont placées environ 3850MHz et 4900MHz avec une bande passante de 160MHz  $\sim$  4% et 250MHz  $\sim$  5% respectivement.

Dans le but d'adapter l'antenne et récupérer les bandes disparues, à cause de la diminution de la hauteur jusqu'à 5mm, on a appliqué le métamatériau hybride sous l'antenne PIFA Tri-bande.

Avec cette technique on a récupéré la première bande qui est décalée et placée à 1810MHz avec une bande passante de 159MHz  $\sim$  9%, plus du double de l'originel. En changeant les dimensions du patch carré, c'est possible d'adapter une deuxième fréquence plus haute. Sur la Figure 15 peut être observé l'adaptation de la deuxième bande qui a passé d'une bande passante de 160MHz  $\sim$  4% à 394MHz  $\sim$  11%, c'est-à-dire, la bande passante a été élargie de 246%. La bande la plus haute apparaît quand on a diminué la hauteur à 5mm, elle reste presque intacte, avec une bande passante de 234MHz  $\sim$  5%, mais décalée à une fréquence centrale de 4692MHz.

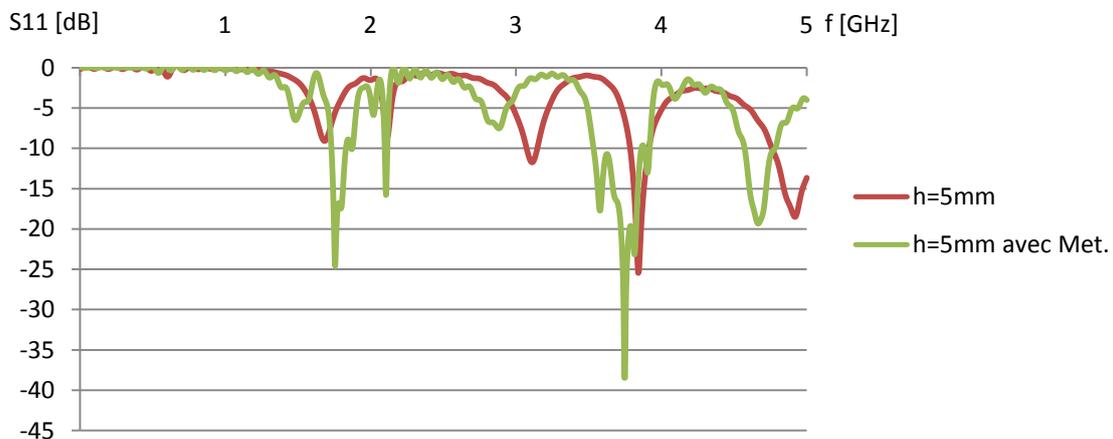


Figure 15. Coefficient de réflexion de l'antenne avec et sans métamatériau

Par conséquent d'appliquer la structure métamatériau hybride, formés par croix de 34mm ( $\lambda_1/4.8$  ; si  $f_1 = 1810\text{MHz}$ ) de largeur et patches de 16mm ( $\lambda_2/4.8$  ; si  $f_2 = 1580\text{MHz}$ ), on a diminué l'hauteur de l'antenne un facteur de 0.66

En regardant le diagramme de radiation pour les trois bandes, Figure 16, on peut remarquer que ses gains sont assez hautes, étant le plus bas 6.2dBi pour la fréquence 1805MHz et plus de 8 dBi pour les autres fréquences.

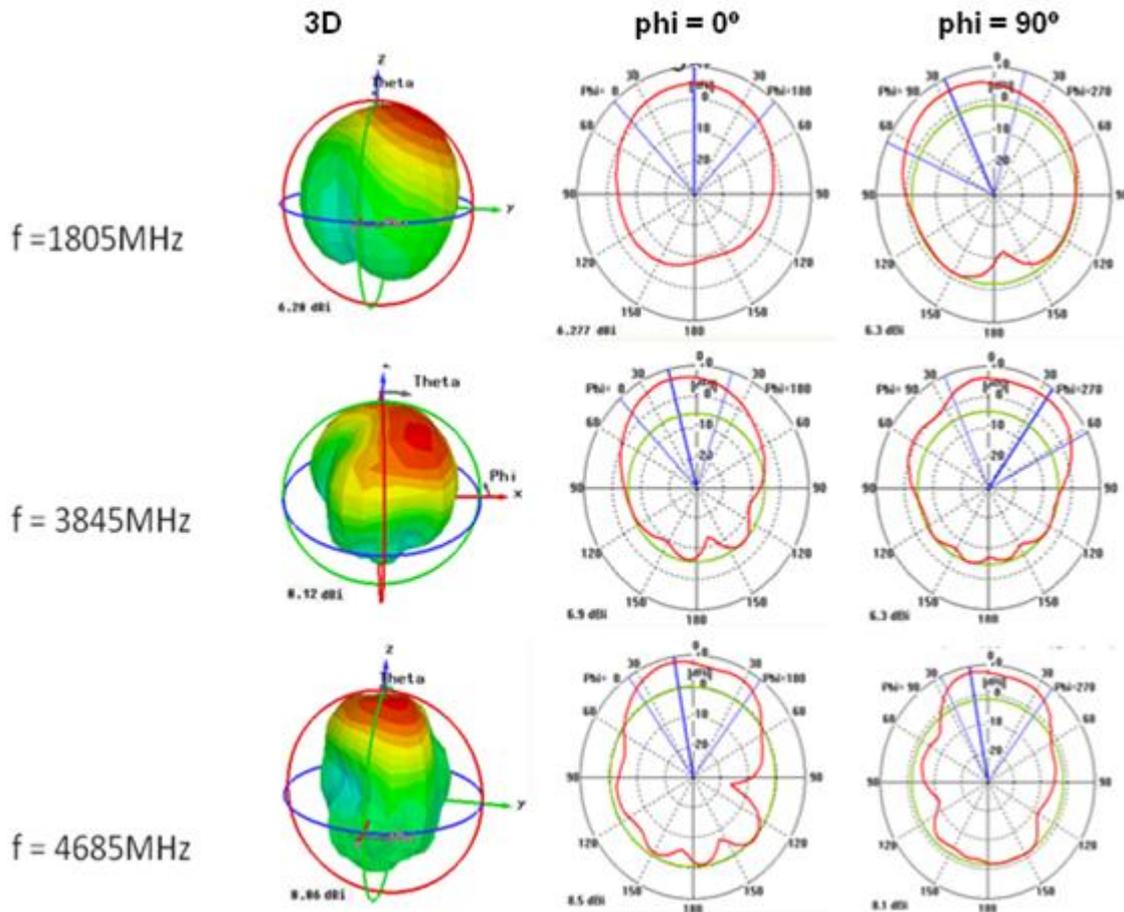


Figure 16. Diagramme de rayonnement pour les fréquences 1805MHz, 3845MHz et 4685MHz.

On peut voir aussi une bonne directivité environ à l'axe Z sur la troisième bande avec largeur de faisceau de  $70^\circ$  (ref. -3dB). Cependant, pour la première et deuxième bande la direction de rayonnement est décalé de l'axe Z  $35^\circ$  sur le plan  $\phi = 0^\circ$  et  $15^\circ$  sur le plan  $\phi = 90^\circ$ . Pour la première bande, juste sur le plan  $\phi = 90^\circ$  elle rayonne à  $25^\circ$  de l'axe Z.

## CHAPITRE 4. AUTOMATISATION DU PROCES DE CREATION ET SIMULATION DU MÉTAMATÉRIAU

Dont que la structure métamatériaux est un structure périodique, c'est possible d'introduire sur CST d'une façon automatique en évitant ainsi introduire tous les parts de la structure manuellement. C'est chapitre parle sur cet procès et aussi sur l'automatisation des mesures de bande passante sur les résultats des simulations, que a permis avancer rapidement en la recherche de le métamatériau hybride.

### 4.1 Développement d'une Macro sur CST

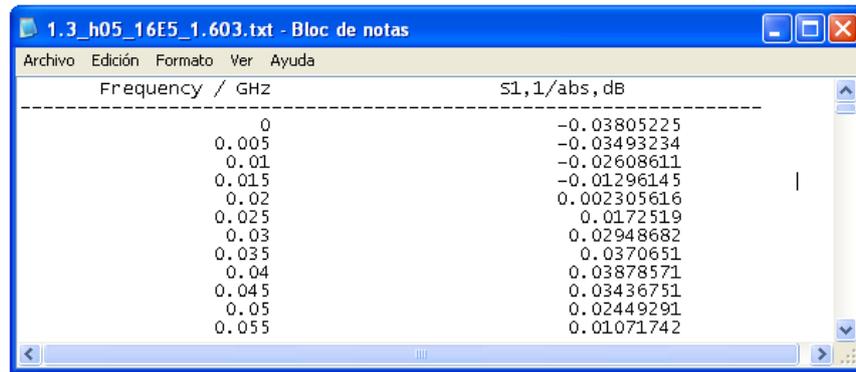
C'est que on a besoin est de donné une surface, le plane de mase, construire une structure métamatériau dessus a partir des dimensions de chaque élément simple de la structure, en la répètent par toute la surface. Pour ça, on a développé la fonction EGB.

Cette fonction commence pour calculer combien de crois de Jérusalem on a le place sur le plan de masse. Après, elle calcule les points pour les placer, toujours le plus proche a l'antenne et centrés sur les côtes. Une fois les crois de Jérusalem sont ajoutés, les patches carrées sont insérées entre les crois.

Vu que on ne connaît pas la dimension des patches que vont adapter l'antenne, on essaye premièrement avec une dimension laquelle laisse une séparation entre le patch et la crois égale a la séparation entre deux croises « g ». Après on réduit la dimension de le crois et refais la simulation. On essaye comme ça avec différents mesures de crois de Jérusalem et de patches pour trouver les dimensions optime qui adaptent l'antenne pour les deux bandes.

Après de faire chaque simulation, la macro enregistre le paramètre  $S_{11}$  dans un fichier de texte qui s'appelle « FACTOR\_DIMENSIONPATCH » ou factor est la valeur pour lequel s'agrandi la crois originelle et DIMENSIONPATCH est la dimension de le patch en centimètres. Tous les fichiers s'enregistrent sur le dossier « C:\Resultados ».

La tête des fichiers générés par CST est formée par deux lignes. Le corps du fichier est forme par deux colonnes, la première correspond à la fréquence et la deuxième correspond à la valeur du paramètre  $S_{11}$  (Figure 17).



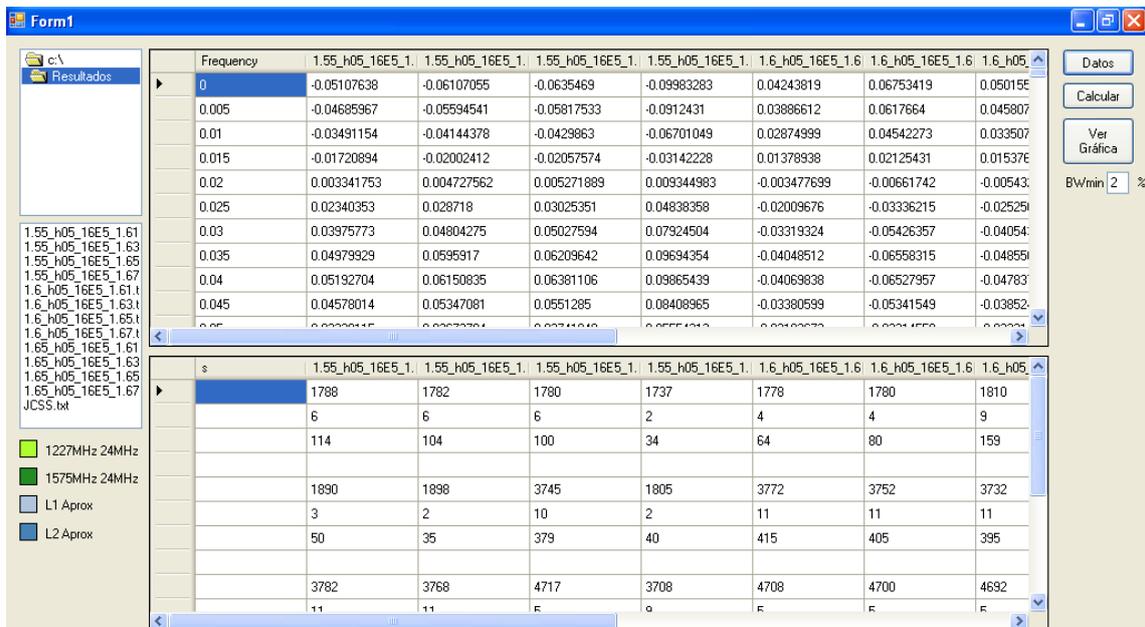
Frequency / GHz	S1,1/abs, dB
0	-0.03805225
0.005	-0.03493234
0.01	-0.02608611
0.015	-0.01296145
0.02	0.002305616
0.025	0.0172519
0.03	0.02948682
0.035	0.0370651
0.04	0.03878571
0.045	0.03436751
0.05	0.02449291
0.055	0.01071742

Figure 17. Format des fichiers générés par CST

## 4.2 Développement d'une logiciel pour ouvrir les archives créés pour CST

Au début, on a importé les fichiers créés pour CST avec Microsoft Exel, mais c'est long de le faire un par un pour après afficher la graphique et mesurer les bandes passantes qu'on trouve.

Pour résoudre ce problème, un logiciel a été développé avec Visual Basic. Il ouvre les fichiers des simulations et affiche le paramètre S11 en différents colonnes. Après il calcule les bandes passantes avec une référence de -10dB et les affiche dans le grille inferieur (Figure 18).



Frequency	1.55_h05_16E5_1.1	1.55_h05_16E5_1.1	1.55_h05_16E5_1.1	1.55_h05_16E5_1.1	1.6_h05_16E5_1.6	1.6_h05_16E5_1.6	1.6_h05_16E5_1.6
0	-0.05107638	-0.06107055	-0.0635469	-0.09983283	0.04243819	0.06753419	0.050155
0.005	-0.04688967	-0.05934541	-0.05817533	-0.0912431	0.03886612	0.0617664	0.045807
0.01	-0.03491154	-0.04144378	-0.0429863	-0.06701049	0.02874999	0.04542273	0.033507
0.015	-0.01720894	-0.02002412	-0.02057574	-0.03142228	0.01378938	0.02125431	0.015376
0.02	0.003341753	0.004727562	0.005271889	0.009344983	-0.003477699	-0.00661742	-0.00543
0.025	0.02340353	0.028718	0.03025351	0.04838358	-0.02009676	-0.03336215	-0.02525
0.03	0.03975773	0.04804275	0.05027594	0.07924504	-0.03319324	-0.05426357	-0.04054
0.035	0.04979929	0.0595917	0.06209642	0.09694354	-0.04048512	-0.06558315	-0.04855
0.04	0.05192704	0.06150835	0.06381106	0.09865439	-0.04069838	-0.06527957	-0.04783
0.045	0.04578014	0.05347081	0.0551285	0.08408965	-0.03380599	-0.05341549	-0.03852
0.05	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
0.055	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000

s	1.55_h05_16E5_1.1	1.55_h05_16E5_1.1	1.55_h05_16E5_1.1	1.55_h05_16E5_1.1	1.6_h05_16E5_1.6	1.6_h05_16E5_1.6	1.6_h05_16E5_1.6
1788	1782	1780	1737	1778	1780	1810	
6	6	6	2	4	4	9	
114	104	100	34	64	80	159	
1890	1898	3745	1805	3772	3752	3732	
3	2	10	2	11	11	11	
50	35	379	40	415	405	395	
3782	3768	4717	3708	4708	4700	4692	
11	11	11	11	11	11	11	

Figure 18. Fenêtre du logiciel traiter les fichiers créés par les simulations

Pour afficher les graphiques du paramètre S11 c'est suffi d'activer le mode de visualisation avec les boutons « Ver Gráfica ». Après en cliquant sur les colonnes de la grille inferieur les graphiques sont affichées. C'est possible aussi se déplacer sur les colonnes avec les flèches du clavier (Figure 19). La ligne gris marque la référence de -10dB et les lignes vertes chaque intervalle de 1GHz.



Figure 19. Fenêtre du logiciel en mode visualisation

### 4.3 Lignes de future

Avec ces deux utiles, on peut automatiser une tache qu'avant était réalisé manuellement. Actuellement on visualise les fichiers et choisie quel configuration est la meilleur ou en analysent les résultats on décide de faire unes autres simulations avec unes certains critères.

C'est possible alors introduire celtes critères dans le logiciel pour automatiser l'optimisation de l'antenne. Pour exemple, on commence en réduisant une mesure de patch avec un certain pas, alors le logiciel peut trouver la configuration laquelle est meilleur et se bouger autour de cette dimensions avec un pas plus petit pour trouver une encore meilleur.

Pour réaliser c'est fonction, il faut intégrer la macro de CST et le logiciel pour donner le feedback nécessaire (Figure 20).

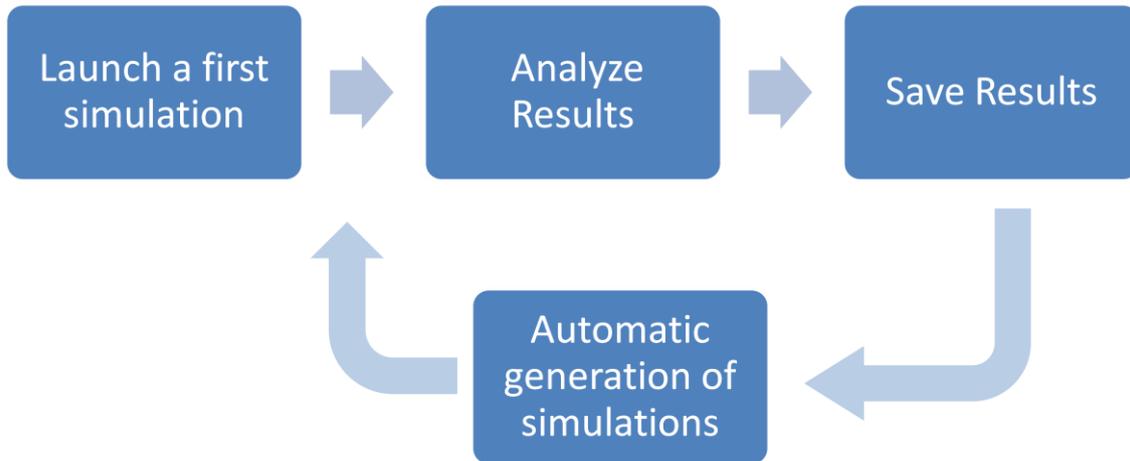


Figure 20. Diagramme de fonctionnement du logiciel avec feedback

## CHAPITRE 5. CONCLUSION

Les antennes PIFA sont beaucoup utilisés pour différentes applications portables et, en ce moment, ont l'attention d'entreprises et chercheurs. Sur ce document on a exposé une nouvelle structure métamatériau avec laquelle on est capable d'adapter deux bandes avec une seule couche, c'est donc un type de structure pas chère de fabriquer.

On a vu aussi qu'avec cette structure on peu réduire l'hauteur de l'antenne en un facteur de 0.66, non juste sans perdre adaptation, sinon que en plus la bande passante est alargué un 246% dans le meilleur cas. Et, en ajoutent des structures métamatériau on meilleure aussi le gain.

Est possible, donc, conclure que l'ensemble PIFA et structure métamatériau hybride sont indiqués pour applications qui ont besoin de une large band passante et une haute directivité. Grace à sa petite hauteur, est aussi recommandable comme antenne « Low Profile » puisque ca fait que 5mm, est facile d'intégrer dans les dispositifs portables.

Mais c'est toujours important de remarquer que c'est un des premiers documents sur ce type de structure hybride. C'est pour cela qu'il faudrait continuer cette recherche, pour connaitre mieux son fonctionnement l'adapter pour une application réelle.

## 6. BIBLIOGRAPHIE

1. *Two-band planar arrays for gps and/or gsm terminals.* **Krzysztofik, Wojciech J.** 0-7803-7330-8/02/, Wroclaw : IEEE, 2002.
2. **Wikipedia.** Métamatériau. [En ligne] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Métamatériau>.
3. **GONZÁLEZ, P. J. FERRER.** *Study and Numerical Simulation of Electromagnetic Band Gap (EBG) Surfaces.* Louvain : s.n., 2004.
4. *Characteristics Estimation for Jerusalem Cross-Based.* **Hakkak, Mehdi Hosseini and Mohammad.** 1536-1225, s.l. : IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS, 2008, Vol. 7.
5. *Comparative study on various artificial magnetic conductors for low-profile antenna.* **J. R. Sohn, K. Y. Kim, H.-S. Tae et J.-H. Lee.** Korea : Progress In Electromagnetics Research, 2006, Vol. PIER 61, 27–37.

## 7. ANNEXE

### MACROS

**Function EBG** (x1 As Double, x2 As Double, y1 As Double, y2 As Double, wi As Double, wide As Double, th As Double, l As Double, g As Double, wpatch As Double) As String

```
Dim nx As Double
Dim ny As Double
Dim i As Integer
Dim xx As Double
Dim yy As Double
```

```
longg = l + 2*th+g
```

```
nx = (((x2-1.3 - x1) / (longg)) -0.5) \1 'número de parches en eje X
'nx2 =(((x2 -x-2) / (longg)) -0.5) \1
ny = (((y2 -y1-2) / (longg)) -0.5) \1
```

```
xx = x2-1.3 '- ( (x2-1.3-x1)-(nx*(longg)-g) )/2
'xx2 = x2 - ( (x2-x)-(nx2*(longg)-g) )/2
yy = y2 - ( (y2-y1)-(ny*(longg)-g) )/2
```

With Brick

```
.Reset
.Name ("Substract")
.Component ("component3")
.Material ("Substract")
.Xrange (x2, x1)
.Yrange (y2, y1)
.Zrange (0, "h")
.Create
```

End With

With Cylinder

```
.Reset
.Name ("abujero")
.Component ("component3")
.Material ("Vacuum")
.Axis ("z")
.Outerradius (0.205+0.05)
.Innerradius (0)
.Xcenter (x)
.Ycenter (y)
.Zcenter (0)
```

```

.Zrange (0, "h")
.Segments (0)
.Create
End With
Solid.Subtract "component3:Substract", "component3:abujero"

```

```

With Brick
.Reset
.Name ("subs")
.Component ("component3")
.Material ("Substract")
.Xrange (x-1.1, x+0.6)
.Yrange (1.9, 2.1)
.Zrange (0, "h")
.Create
End With
Solid.Subtract "component3:Substract", "component3:subs"

```

```

For n = 0 To ny - 1
  For m = 0 To nx-1
    centerX = xx - longg*m -longg/2
    centerY = yy - longg*n -longg/2
    With Brick
      .Reset
      .Name ("patch1_"& n & "_" & m)
      .Component ("component3")
      .Material ("PEC")
      .Xrange (centerX-wi/2,centerX+wi/2)
      .Yrange (centerY-l/2, centerY+l/2)
      .Zrange ("h", "h")
      .Create
    End With

```

```

    With Brick
      .Reset
      .Name ("patch2_"& n & "_" & m)
      .Component ("component3")
      .Material ("PEC")
      .Xrange (centerX-l/2,centerX+l/2)
      .Yrange (centerY-wi/2, centerY+wi/2)
      .Zrange ("h", "h")
      .Create
    End With

```

```

    With Brick
      .Reset
      .Name ("patch3_"& n & "_" & m)
      .Component ("component3")
      .Material ("PEC")
      .Xrange (centerX-l/2-th,centerX-l/2)

```

```

        .Yrange (centerY-wide/2, centerY+wide/2)
        .Zrange ("h", "h")
        .Create
    End With

    With Brick
        .Reset
        .Name ("patch4_" & n & "_" & m)
        .Component ("component3")
        .Material ("PEC")
        .Xrange (centerX+l/2,centerX+l/2+th)
        .Yrange (centerY-wide/2, centerY+wide/2)
        .Zrange ("h", "h")
        .Create
    End With
    With Brick
        .Reset
        .Name ("patch5_" & n & "_" & m)
        .Component ("component3")
        .Material ("PEC")
        .Xrange (centerX-wide/2,centerX+wide/2)
        .Yrange (centerY+l/2, centerY+l/2+th)
        .Zrange ("h", "h")
        .Create
    End With
    With Brick
        .Reset
        .Name ("patch6_" & n & "_" & m)
        .Component ("component3")
        .Material ("PEC")
        .Xrange (centerX-wide/2,centerX+wide/2)
        .Yrange (centerY-l/2-th, centerY-l/2)
        .Zrange ("h", "h")
        .Create
    End With
    For i = 2 To 6
        Solid.Add "component3:patch1_" & n & "_" & m,
                "component3:patch" & i & "_" & n & "_" & m
    Next i

    Next m
Next n

For n = 1 To ny - 1
    For m = 1 To nx-1
        centerX = xx - longg*m
        centerY = yy - longg*n
        With Cylinder
            .Reset
            .Name ("cylinder" & n & "_" & m)

```

```

.Component ("component3")
.Material ("PEC")
.Axis ("z")
.Outerradius (0.05)
.Innerradius (0)
.Xcenter (centerX)
.Ycenter (centerY)
.Zcenter (0)
.Zrange (0, "h")
.Segments (0)
.Create
End With

Solid.Subtract "component3:Subtract", "component3:cylinder" & n
& "_" & m

With Cylinder
.Reset
.Name ("cylinder" & n & "_" & m)
.Component ("component3")
.Material ("PEC")
.Axis ("z")
.Outerradius (0.05)
.Innerradius (0)
.Xcenter (centerX)
.Ycenter (centerY)
.Zcenter (0)
.Zrange (0, "h")
.Segments (0)
.Create
End With

With Brick
.Reset
.Name ("patch"& n & "_" & m)
.Component ("component3")
.Material ("PEC")
.Xrange (centerX - wpatch/2,centerX + wpatch/2)
.Yrange (centerY - wpatch/2,centerY + wpatch/2)
.Zrange ("h", "h")
.Create
End With
Next m
Next n

```

**Sub Main ()**

```
Dim iCruz, iPatch As Integer
```

```
Dim x1 As Double
```

```
Dim x2 As Double
```

```
Dim y1 As Double
```

```
Dim y2 As Double
```

```
Dim wi, wide, th, l, g, wpatch As Double
```

```
Dim factor As Double
```

```
wi=0.35
```

```
wide=0.7
```

```
th=0.355
```

```
l=1.42
```

```
g=0.12
```

```
wpatch = 1
```

```
On Error Resume Next
```

```
'Une premiere simulation sans metamaterial est lancé pour avoir  
une reference
```

```
' Deleteresults
```

```
' Component.delete ("component3")
```

```
' StartSim
```

```
'SelectTreeltem ("1D Results\|S| dB\S1,1")
```

```
'SaveFile ("Sin Meta tribanda h05 gnd37775")
```

```
'For iCruz = 0 To 4
```

```
' For iPatch = 0 To 4
```

```
Deleteresults
```

```
Component.delete ("component3")
```

```
l = 1.6'1.42 - iCruz/10
```

```
factor = 1.6' - iCruz/100
```

```
wi= 0.35*factor
```

```
wide=0.7*factor
```

```
th=0.355*factor
```

```
l=1.42*factor
```

```
g=0.12*factor
```

```
wpatch = 1.65 '1.7 - iPatch/100'l + 2*th - wide -g -0.1 -  
iPatch/10
```

```
x1 = GNDxmin
x2 = GNDxmax
y1 = GNDymin
y2 = GNDymax

EBG(x1,x2,y1,y2,wi,wide,th,l,g,wpatch)
' StartSim

' SelectTreeltem ("1D Results\|S| dB\S1,1")

' SaveFile (factor & "_h05_16E5_" & wpatch)

' Next iPatch
' Next iCruz
MsgBox("fin")
End Sub
```

## Fonction AddArchivo

```
Private Sub AddArchivo(ByVal Archivo As String, ByVal Columna As Integer,
    ByVal nombre As String)

    'Cette fonction ouvre l'archive « Archivo » et charge les
    données de la deuxième colonne sur la colonne numéro « Columna »
    du objet « DataGrid » et nombre la tete de la colonne avec le
    nom « Nombre ».

Using MyReader As New _
    Microsoft.VisualBasic.FileIO.TextFieldParser(Archivo)
    MyReader.TextFieldType = FileIO.FieldType.Delimited
    MyReader.SetDelimiters(" ")
    DataGrid.Columns.Add(Columna, nombre)

    Dim fila, c As Integer
    fila = 0
    c = 0

    MyReader.ReadFields()           'Ces dos instructions efface
    MyReader.ReadFields()         ' la tete de l'archive

    Dim currentRow As String()
    While Not MyReader.EndOfData
        Try
            currentRow = MyReader.ReadFields()

            Dim currentField As String
            For Each currentField In currentRow
                If currentField <> "" Then
                    If c = 1 Then
                        If currentField < -10 Then
                            DataGrid.Item(Columna, fila).Style.BackColor = _
                                Color.Aqua
                        End If
                        DataGrid.Item(Columna, fila).Value = currentField
                    End If
                    c = c + 1
                End If
            Next
            c = 0
            Catch ex As Microsoft.VisualBasic.FileIO.MalformedLineException
                MsgBox("Line " & ex.Message & _
                    "is not valid and will be skipped.")
            End Try
            fila = fila + 1
        End While
    End Using
End Sub
```

## Fonction AddColCero

```
Private Sub AddColCero(ByVal Archivo As String)
    Using MyReader As New _
        Microsoft.VisualBasic.FileIO.TextFieldParser(Archivo)
        MyReader.TextFieldType = FileIO.FieldType.Delimited
        MyReader.SetDelimiters(" ")
        DataGrid.Columns.Add(0, "Frequency")

        Dim fila, c As Integer
        fila = 0
        c = 0

        MyReader.ReadFields()
        MyReader.ReadFields()

        Dim currentRow As String()
        While Not MyReader.EndOfData
            Try
                currentRow = MyReader.ReadFields()
                DataGrid.Rows.Add()

                Dim currentField As String
                For Each currentField In currentRow
                    If currentField <> "" Then
                        If c = 0 Then
                            DataGrid.Item(0, fila).Value = currentField
                        End If
                        c = c + 1
                    End If
                Next
                c = 0
            Catch ex As
                Microsoft.VisualBasic.FileIO.MalformedLineException
                MsgBox("Line " & ex.Message & _
                    "is not valid and will be skipped.")
            End Try
            fila = fila + 1
        End While
    End Using

End Sub
```

## Fonction Calculer

```

Private Sub Calculer(ByVal columna As Integer, ByVal nombre As String)
    'Cette fonction calcule le largeur de bande de les bandes
    'passantes de cada simulation a partir de le parametre S11
    'existent en la colonne "columna" de DataGrid et les place en la
    'colonne "columna" de datagridBW. "Nombre" serai le texte de la
    'tete de la colonne.

    Dim enBanda, enganche As Boolean
    Dim BWrel, contador, centro As Integer
    Dim inicio, fin As Double

    dataGridBW.Columns.Add(columna, nombre)
    enBanda = False
    enganche = False
    contador = 0

    For fila = 0 To DataGrid.RowCount - 1
        If DataGrid.Item(columna, fila).Value <= -10 Then
            If enBanda = False Then
                inicio = DataGrid.Item(0, fila).Value
                enBanda = True
                '
                fin = DataGrid.Item(columna, fila).Value
            End If
            ElseIf DataGrid.Item(columna, fila).Value < -8 And
DataGrid.Item(columna, fila).Value > -10 And enBanda = True Then

        Else
            If enBanda = True Then
                enBanda = False
                fin = DataGrid.Item(0, fila).Value
                centro = (inicio + fin) * 1000 / 2
                BWrel = (fin - inicio) * 100 / ((inicio + fin) / 2)
                If BWrel >= txtBWmin.Text Then
                    If contador * 4 + 2 > dataGridBW.RowCount Then
                        dataGridBW.Rows.Add()
                        dataGridBW.Item(columna, dataGridBW.RowCount - 2).Value
                        = centro
                        If (inicio < 1.3) And (fin > 1.2) Then
                            dataGridBW.Item(columna, dataGridBW.RowCount -
                                2).Style.BackColor = RectL1aprox.FillColor
                        ElseIf (inicio < 1.6) And (fin > 1.5) Then
                            dataGridBW.Item(columna, dataGridBW.RowCount -
                                2).Style.BackColor = RectL2aprox.FillColor
                        End If
                    If (inicio < 1215) And (fin > 1239) Then
                        dataGridBW.Item(columna, dataGridBW.RowCount -
                            2).Style.BackColor = RectL1.FillColor
                    ElseIf (inicio < 1.563) And (fin > 1.587) Then
                        dataGridBW.Item(columna, dataGridBW.RowCount -
                            2).Style.BackColor = RectL2.FillColor
                    End If
                    dataGridBW.Rows.Add()
                    dataGridBW.Item(columna, dataGridBW.RowCount - 2).Value = BWrel
                    dataGridBW.Rows.Add()
                    dataGridBW.Item(columna, dataGridBW.RowCount - 2).Value =
                        Int((fin - inicio) * 1000)
                    dataGridBW.Rows.Add()
                    contador = contador + 1
                End If
            End If
        End If
    Next fila
End Sub

```

```
Else
  If (inicio < 1.3) And (fin > 1.2) Then
    dataGridBW.Item(columna, contador * 4 +
      0).Style.BackColor = RectL1aprox.FillColor

    ElseIf (inicio < 1.6) And (fin > 1.5) Then
      dataGridBW.Item(columna, contador * 4 + 0).Style.BackColor
        = RectL2aprox.FillColor
    End If
  End If
  If (inicio < 1215) And (fin > 1239) Then
    dataGridBW.Item(columna, contador * 4 +
      0).Style.BackColor = RectL1.FillColor
  ElseIf (inicio < 1.563) And (fin > 1.587) Then
    dataGridBW.Item(columna, contador * 4 +
      0).Style.BackColor = RectL2.FillColor
  End If
  dataGridBW.Item(columna, contador * 4 + 0).Value = centro
  dataGridBW.Item(columna, contador * 4 + 1).Value = BWrel
  dataGridBW.Item(columna, contador * 4 + 2).Value = Int((fin
    - inicio) * 1000)

  contador = contador + 1
End If
End If
End If
End If
Next
End Sub
```