

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



DÉPARTEMENT D'ÉLECTRONIQUE

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de master en Electronique

Thème :

**Etude et simulation d'une antenne spirale
reconfigurable**

Encadré par :

Pr AKSAS.R

Dr. GHANEM.F

Réalisé par :

Mlle HETTAK Lydia

Promotion : Juin 2013

ملخص

يمكن استعمال الهوائيات ذات الشريط النافذ العريض في لعدة أنظمة و في نفس الوقت. لكنها تولد التداخلات من طرف مصادر الإشارة المجاورة. لذلك، تم الاهتمام بإعادة تشكيل هذه الهوائيات لإزالة عيوبها. في مذكرتنا، اهتمنا بإعادة تشكيل هوائي أرخميدس حلزوني ذو أربعة أذرع.

كلمات المفاتيح: هوائي قابل لإعادة التشكيل, هوائي عريض الشريط النافذ, هوائي حلزوني.

Résumé

Les antennes ultra large bande utilisés en télécommunication permettent d'avoir plusieurs applications sans fil et mobiles à la fois (GPS,Bluetooth....). Cependant, ces antennes présentent des inconvénients comme la présence d'interférences. D'un autre coté, les antennes reconfigurables ont de faibles interférences mais ne permettent l'utilisation que d'un seul type de systèmes à la fois. C'est pourquoi nous nous sommes intéressés à la combinaison de ces deux types d'antennes. Dans notre mémoire, nous nous proposons de rendre l'antenne spirale d'Archimède reconfigurable.

Mot clés : ULB, Antennes reconfigurables, Antenne spirale.

Abstract

The ultra-wideband antennas can have permits multiple applications at once (GPS, Bluetooth). However, these antennas affected by the presence of interference. On the other hand, the reconfigurable antennas, have low interference but only allows the use of one type of system at a time. That is why, we are interested in the combination of these two types of antennas . In this work, we tried to design a reconfigurable Archimedean spiral antenna.

Keyword: UWB Antenna, reconfigurable antenna, spiral antenna.

Remerciements

Au terme de ce travail, nous tenons d'abord à remercier notre promoteur, le professeur AKSAS.R qui a été disponible pour nous, et avec qui on a appris énormément. Ses précieux conseils et ses remarques ont été d'une grande utilité dans la réalisation de notre projet. Nous remercions également notre Co-promoteur Dr F.GHANEM maître de recherche au Centre de Développement des Technologies Avancées (CDTA), pour son soutien permanent et toutes ses recommandations tout le long de l'année.

Ce travail a été réalisé au laboratoire Micro-ondes et Radar au sein de l'unité d'Enseignement et de la Recherche en Electronique, de l'Ecole Militaire Polytechnique sous la direction de colonel KIMOUCHE.H, à qui nous présentons l'expression de notre profonde gratitude pour sa disponibilité, sa confiance et son intérêt pour notre travail.

Nous tenons également à remercier notre professeur, Mr BELOUHRANI.A professeur à l'Ecole National Polytechnique, de nous avoir proposé ce sujet et de nous avoir orienté et conseillé au cours de notre travail.

Nous remercions également notre professeur, Mr TRABELSI.M professeur à l'Ecole Nationale Polytechnique, qui nous a fait l'honneur d'accepter de présider le jury. Nous remercions aussi Mr REMILIK d'avoir accepté de juger notre mémoire.

Nous tenons spécialement à remercier le capitaine AKSAS.H de l'Ecole Militaire Polytechnique pour son aide précieuse et sa présence lors de la réalisation de l'antenne et la mesure de ses caractéristiques.

Enfin il nous serait impossible de terminer ces remerciements sans adresser une pensée chaleureuse à notre famille et tous nos amis qui nous ont soutenu, encouragé et surtout supporté tout au long de notre travail.

*

Table des matières

Introduction	8
1 Généralités sur les antennes Ultra Large Bande	10
1.1 Histoire des ultras larges bandes	10
1.2 Définition :	11
1.3 Etat de l'art	11
1.3.1 l'Antenne biconique	11
1.3.2 l'Antenne log-periodique	13
1.3.3 l'Antenne spirale	15
1.3.3.1 Antenne spirale équiangulaire	15
1.3.3.2 Antenne spirale d'Archimède	16
2 Antennes reconfigurables	18
2.1 Bande étroite vers bande étroite	18
2.2 Large bande vers bande étroite	19
2.3 Large bande avec rejection de fréquences	22
2.4 Large bande vers large bande	23
3 Reconfiguration de l'Antenne spirale d'Archimède	24
3.1 Principe	24
3.2 Simulation et résultats	25
3.2.1 L'outil de simulation : Microwave-studio	26
3.2.2 Modélisation	26
3.2.3 Résultats	27
Conclusion	29

Liste des symboles

\vec{E}	champ électrique	(V/m)
\vec{H}	champ magnétique	(A/m)
f	fréquence	(Hz)
T	période	(s)
Z	impédance	(Ω)
I	courant électrique	(A)
V	tension électrique	(V)
Z_c	impédance caractéristique	(Ω)
Z_e	impédance d'entrée	(Ω)
f_l	fréquence limite basse	(Hz)
f_h	fréquence limite haute	(Hz)
D	directivité de l'antenne	
U	intensité du rayonnement	(Watt/stéradians)
U_{iso}	intensité du rayonnement	(Watt/stéradians)
G	gain de l'antenne	
P_f	puissance fournie	(Watt)
P_{ray}	puissance rayonnée	(Watt)
N_{modes}	nombre de modes de d'une antenne	
N_{bras}	nombre de bras l'antenne spirale	
$P(N)$	déphasage du courants d'excitation	(rad)
c	la vitesse de la lumière dans le vide	(m/s)
S_{ii}	coefficient de réflexion à l'accès i	
S_{ji}	coefficient de transmission de j vers i	
k	nombre d'onde	rad/m
N	le nombre de bras	
W	largeur du microruban	(mm)
S	l'espacement entre chaque microruban	(mm)
h	l'épaisseur du substrat	(mm)
w	largeur du substrat	(mm)
r	rayon du trou circulaire dans le plan de masse	(mm)
a	taux d'accroissement radial	(mm/rad)

$b_{simulateur}$	angle initial de la spirale	(rad)
b_{reel}	rayon initial de la spirale	(mm)
n	nombre de tours de la spirale	
z	distance entre le plan de masse et le substrat	(mm)
D_{ext}	diamètre externe de l'antenne	(m)
D_{coax}	diamètre du coaxiale	(m)
(r, θ, ϕ)	coordonnés sphériques	
θ_h	demi angle du cône	(rad)
λ	la longueur d'onde	(m)
Γ	coefficient de réflexion	
L_n	longueur du nième dipole	(m)
R_n	position du nième dipole	(m)
d_n	distance entre deux dipoles succécifs	(m)
σ	facteur de déplacement dans l'antenne log-périodique	
τ	la raison de la série géométrique qui définit l'antenne log-périodique	
α	l'angle d'ouverture de l'antenne log-périodique	(rad)
r_0	rayon initial des bras de la spirale	(mm)
r_1, r_2, r_3, r_4	rayons des courbes définissant la spirale	(mm)
Ψ	déphasage	(rad)
d	distance séparant deux éléments du réseau	(m)
AF	facteur de réseau	
β	déphasage électrique	(rad)
β_x	déphasage électrique suivant x	(rad)
β_y	déphasage électrique suivant y	(rad)
α_n	phase du nième courant d'excitation du réseau circulaire	(rad)
ϵ_r	permittivité relative	
δ	l'angle définissant la largeur de la spirale	(rad)

Liste des abréviations

ULB	Ultra Large Bande
TOS	Taux d'onde stationnaire
BP	Bande Passante
AOA	Angle Of Arrival
FCC	Federal Communications Comissions
ENP	Ecole Nationale polytechnique
EMP	Ecole Militaire Polytechnique
LPDA	Log-Périodique Dipole Array
CST	Computer Simulation Technologie
FEM	Finite Element Methode
FDTD	FInite Difference Time Domaine
MOM	Method Of Moments
FIT	Finite Integration Technique
TLM	Transmission Line Matrix
BEM	Boundary Element Methode
UGTD	Uniform Geometrical Theory of Diffraction

Table des figures

1.1	Antenne biconique infinie [12].	12
1.2	Antenne log-périodique circulaire [12].	13
1.3	Antenne log-périodique trapézoïdale [3].	13
1.4	Géométrie de l'antenne LPDA [12].	14
1.5	Impédance d'entrée d'une antenne log-périodique en fonction du log de la fréquence [3].	15
1.6	Géométrie d'une antenne spirale équiangulaire planaire [3].	16
1.7	Géométrie d'une antenne spirale d'Archimède planaire [13].	17
2.1	Antenne patch reconfigurable.	19
2.2	Antenne mécaniquement reconfigurable [6].	20
2.3	Monopole avec antenne fente intégrée[7].	20
2.4	Antenne reconfigurable en connectant le plan de masse [8].	21
2.5	Fente circulaire reconfigurable en connectant des anneaux [9].	21
2.6	Rejection de bande à l'aide d'un patch parasite[10].	22
2.7	Antenne ULB reconfigurable (monopole planaire enroulé) [10].	23
3.1	Antenne spirale reconfigurable (large bande vers large bande).	25
3.2	Switch ouvert sous CST.	27
3.3	Paramètre s_{11} avant insertion du switch.	27
3.4	Paramètre s_{11} avec le switch activé et désactivé.	28

Introduction

La récente tendance est au développement des antennes à large bande, multi-bandes ainsi que des antennes reconfigurables. Ceci dans le but de réaliser plusieurs applications dans un même système. De tels systèmes peuvent avoir plusieurs applications comme le GPS, GSM, Bluetooth . . .etc. Parmi les solutions proposées, les antennes reconfigurables présentes plusieurs avantages du fait de leur compacité et leur flexibilité. De plus, les interférences sont plus faibles pour ces antennes car elles utilisent seulement une seule bande à la fois. Ces antennes sont donc la solution la plus intéressante pour cette application.

Les antennes reconfigurables permettent d'effectuer un pré-filtrage du signal reçu et réduisent ainsi la taille des circuits qui suivent la partie antenne. Cependant, ces antennes sont limités par l'utilisation d'un seul système à la fois et présentes des pertes supplémentaires à cause de l'introduction des switches.

D'un autre coté, les antennes ultra large bande permettent d'utiliser plusieurs applications dans un même système. Leur avantage comparé aux antennes reconfigurables est la possibilité d'utiliser ces applications en même temps. Cependant, ces antennes présentent une faible réjection en dehors de la bande passante ; Leur large bande introduit un bruit plus grand que celui des antennes multi-bandes et des antennes reconfigurables.

Les avantages et les inconvénients des antennes ultra large bande, ainsi que ceux des antennes reconfigurables sont complémentaires. Ceci a donné l'idée aux chercheurs de combiner les deux types d'antennes afin de profiter de leurs avantages et de réduire leurs inconvénients. Cette combinaison est potentiellement utile pour des applications de surveillance (sur une très large bande de fréquences) et dans les applications militaires comme le brouillage des fréquences utilisées par l'ennemi.

Dans ce travail nous allons commencer par aborder les différents types d'antennes ultra large bande, nous nous intéresseront en particulier aux antennes indépendantes de la fréquence. Nous allons ensuite aborder les différents types d'antennes reconfigurables. Enfin, nous verrons une application d'antennes ultra large bande reconfigurables. Notre travail s'est porté sur l'antenne spirale d'Archimède à quatre bras. Cette antenne ultra large bande à été réalisée dans le cadre d'un projet de fin d'études afin d'être utilisée pour une application de détection d'angle d'arrivée. Nous nous proposons travail de rendre cette antenne reconfigurable en lui offrant 2 fonctionnements possibles. Le premier est un fonctionnement sur toute sa bande de fréquences d'origine. Le deuxième sur la moitié supérieure de la bande de fréquences.

*

Chapitre 1

Généralités sur les antennes Ultra Large Bande

Le terme « ultra large bande » réfère communément à tout signal ou système qui a une très large bande relative et absolue. Une telle large bande offre des avantages spécifiques tout en respectant la robustesse du signal. Les communications ULB n'ont retenu une grande attention que depuis la dernière décennie. Cette attention a été suscitée principalement par le développement des transmissions à courte distance.

1.1 Histoire des ultras larges bandes

Durant les 3 dernières décennies, pour faire face à l'encombrement des bandes de fréquences utilisées pour la transmission d'informations, on a essentiellement cherché à réduire la largeur de bande nécessaire pour transmettre ces informations avec un taux d'erreurs acceptable. Ce n'est que récemment (une dizaine d'années) que le concept d'ultra large bande a retrouvé un intérêt principalement suscité par le développement des transmissions à courte distance. Si le terme "ultra large bande" est relativement récent, le concept lui même est par contre bien plus ancien [1] :

- La grande majorité des techniques de transmission actuelles utilisent des modulations avec porteuses (bluetooth, ...). Dès la fin du 19ème siècle, Heinrich. Hertz – avait eu l'idée d'utiliser des décharges électriques pour produire des ondes électromagnétiques. C'était la base de la technique Ultra large bande
- Dans les années 60, Ross et Bennett [5] étudient pour la première fois la propagation d'ondes électromagnétiques d'un point de vue temporel plutôt que d'un point de vue fréquentiel. Dans leur publication, apparaissent pour la première fois, des applications liées à cette nouvelle technique : les communications et les radars
- Dans les années 1970-1994, la majorité des travaux visent à améliorer certains sous-systèmes de cette nouvelle technique. A cette époque, on lui donne plusieurs noms : technologie "sans porteuse", ou en "bande de base" ou encore technologie "impulsionnelle". C'est en 1989 que le terme ultra large bande apparaît dans une publication du ministère de la Défense aux Etats-Unis. Les travaux concernant cette technologie sont effectués, pour la plupart, dans le cadre de programmes confidentiels américains (militaires).

- En 1994, la confidentialité des travaux liés à l'ultra large bande est levée : La recherche se développe de façon importante aussi bien dans l'industrie que dans les universités.
- En 2002, la FCC (Federal Communication Commission) [2], l'organisme de régulation des communications américain, réglemente l'Ultra large bande : Elle en donne une définition précise, et définit les niveaux de puissance maximale autorisés (- 41 dBm /MHz pour la bande haute).

1.2 Définition :

La définition des ultra large bande donnée par la FCC en février 2002 est la suivante. Un signal est dit ultra large bande si

- Sa bande passante est au minimum de 500 Mhz à - 10 dB
- Sa bande passante relative est supérieur à 0.2.

On définit la bande passante relative comme étant

$$BP_{relative} = 2 \frac{f_h - f_l}{f_h + f_l} > 0.2 \quad (1.1)$$

où f_l et f_h désignent respectivement les fréquences limites basses et hautes du spectre du signal, fréquences prises à -10 dB. Ces deux conditions ne sont pas forcément satisfaites en même temps.

Une autre définition serait d'avoir une bande passante fractionnelle supérieure à 0.25 par rapport à la fréquence centrale du système (ou une bande passante à -10 dB supérieure à 1.5 GHz). Bien qu'elle soit moins rigoureuse, cette définition est la plus utilisée par les constructeurs.

1.3 Etat de l'art

Il existe plusieurs types d'antennes indépendantes de la fréquence avec des géométries différentes. Nous nous sommes intéressés dans ce qui suit aux plus répandues d'entre elles : l'antenne biconique, l'antenne log-périodique et l'antenne spirale.

1.3.1 l'Antenne biconique

Les antennes biconiques ont plusieurs géométries : l'antenne biconique planaire, l'antenne biconique finie, l'antenne discône etc. Nous nous intéresserons à l'antenne biconique infinie pour décrire la théorie de ces antennes. En pratique, on ne peut avoir une antenne biconique infinie. Cependant, on peut montrer que le courant dans une telle antenne diminue jusqu'à être négligeable après une certaine distance. Il est donc intéressant de prendre en compte cette distance lors de l'élaboration d'antennes biconiques finies.

La bande passante d'une antenne dipôle augmente avec le diamètre du conducteur. En étendant ce principe, et en procédant à un évasement progressif du conducteur, on parvient à obtenir une bande passante plus importante. L'antenne biconique (fig.1.1) peut être considérée comme une ligne de transmission s'étendant jusqu'à l'infini.

Sa fonction caractéristique s'écrit

$$F(\theta) = \frac{\sin \theta_h}{\sin \theta} \quad (1.2)$$

où θ_h est le demi angle du cône, et θ l'angle à partir de l'axe z . On voit bien que plus θ_h augmente, plus l'intensité du champ augmente.
 L'impédance d'entrée de l'antenne est définie par

$$Z_e = 120 \ln \left(\cot \left(\frac{\theta_h}{2} \right) \right) \quad (1.3)$$

Elle est bien indépendante de la fréquence. Cette indépendance peut être étendue au diagramme de rayonnement. Il faut noter que dans le cas de l'antenne biconique finie, on a des réflexions aux extrémités du bicone, causant ainsi l'apparition d'ondes stationnaires au sein de la structure. On aura donc une impédance complexe à l'entrée de l'antenne.

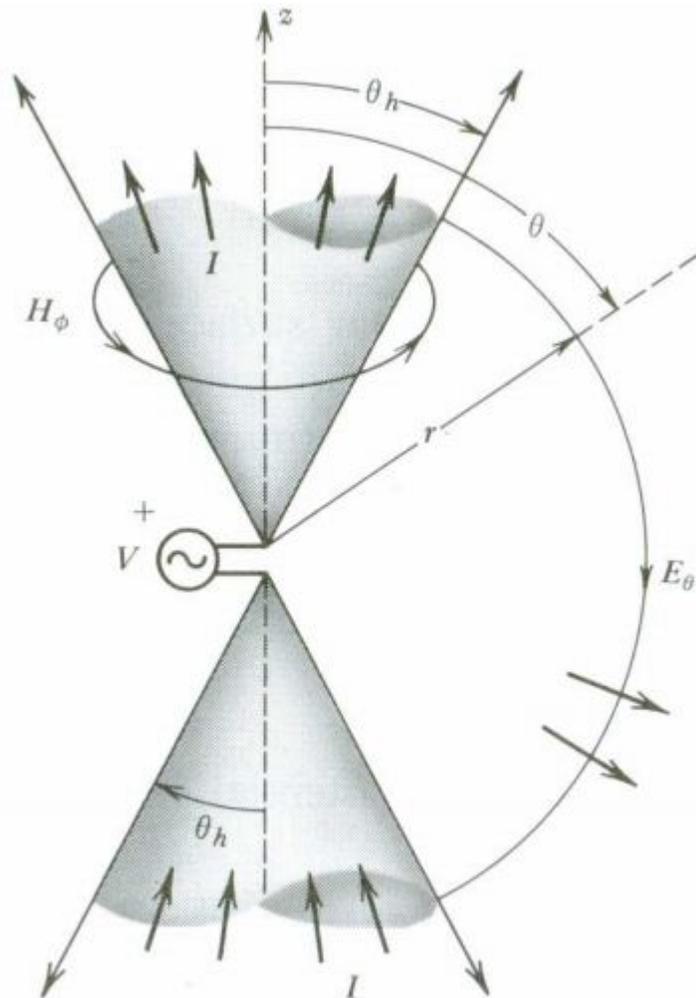


FIG. 1.1 – Antenne biconique infinie [12].

1.3.2 l'Antenne log-periodique

Comme l'antenne biconique, cette antenne est basée sur l'antenne dipôle et existe sous différentes formes : circulaire, trapézoïdale ou réseau de dipôles (fig.1.2, fig.1.3, fig.1.4) .

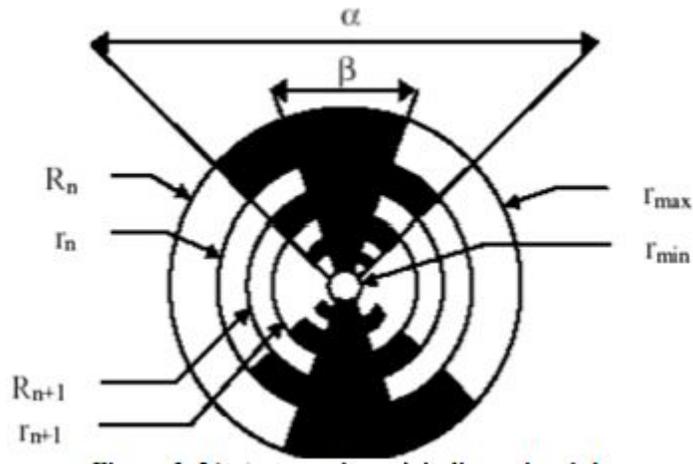


FIG. 1.2 – Antenne log-périodique circulaire [12].

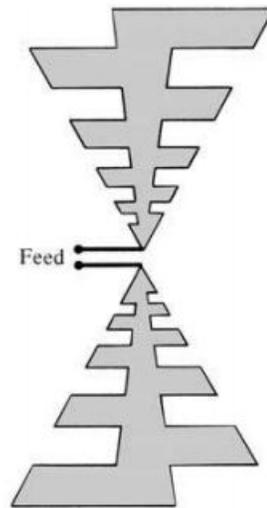


FIG. 1.3 – Antenne log-périodique trapézoïdale [3].

Nous nous sommes intéressés à l'antenne LPDA (Log Periodic Dipole Array) pour décrire la théorie de ces antennes. L'antenne LPDA est un réseau de dipôles dont la longueur croît de façon à couvrir une bande de fréquence donnée. La figure 1.4 décrit la géométrie de cette antenne.

Cette antenne ne peut être décrite par des angles seulement comme le suppose la théorie des antennes indépendante de la fréquence. Cependant, si ses dimensions sont bien choisies,

ses performances approchent celles des antennes ULB. Sa bande passante peut être déduite à partir des équations suivantes

$$L_1 \approx \frac{\lambda_{\text{FrequenceMin}}}{2} \quad \text{et} \quad L_N \approx \frac{\lambda_{\text{FrequenceMax}}}{2} \quad (1.4)$$

où L_1 and L_N sont les longueurs du plus court et plus long dipôle respectivement.

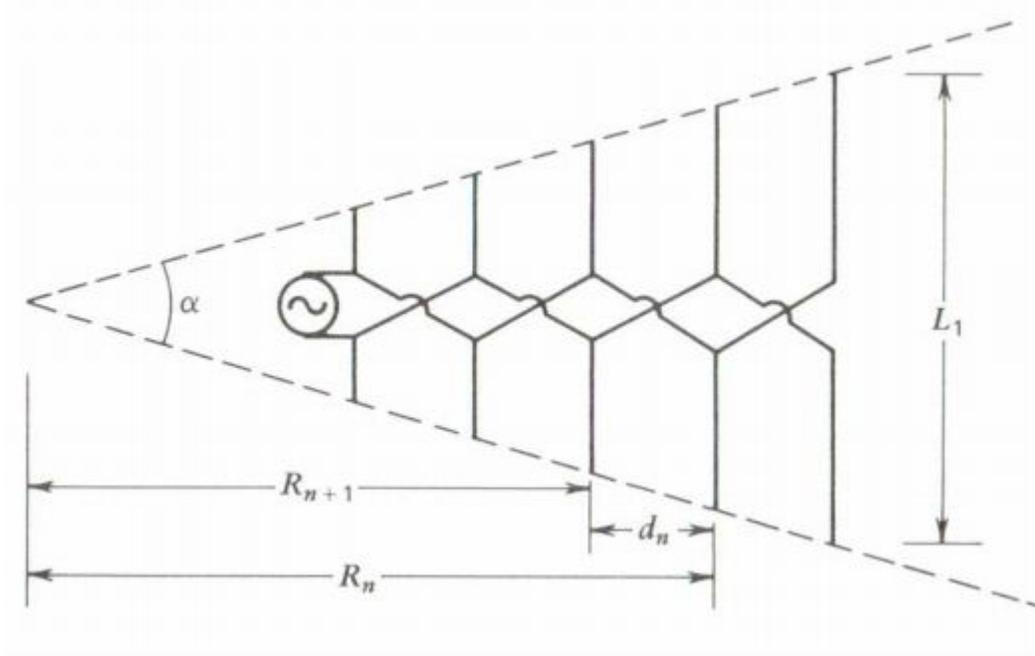


FIG. 1.4 – Géométrie de l'antenne LPDA [12].

L'antenne log-périodique est aussi caractérisée par les équations suivantes

$$\tau = \frac{R_{n+1}}{R_n} = \frac{L_{n+1}}{L_n} = \frac{d_{n+1}}{d_n} \quad (1.5)$$

τ est la raison de la série géométrique qui régie l'antenne. Elle définit l'accroissement de la longueur des dipôles qui composent cette antenne.

Soit σ le facteur d'espacement qui décrit la distance entre deux dipôles successifs au sein du réseau.

$$\sigma = \frac{d_n}{2L_n} \quad (1.6)$$

On aura alors

$$\alpha = 2 \tan^{-1} \left(\frac{1 - \tau}{4\sigma} \right) \quad (1.7)$$

α étant l'angle d'ouverture de l'antenne log-périodique.

La figure 1.5 représente la variation de l'impédance d'entrée en fonction du log de la fréquence. On voit bien que cette impédance est périodique (d'où le nom log-périodique).

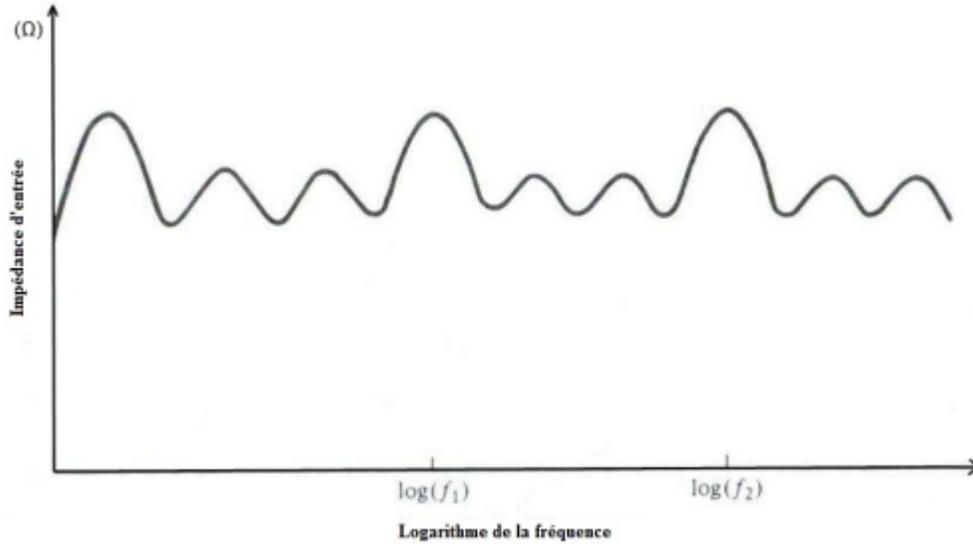


FIG. 1.5 – Impédance d’entrée d’une antenne log-périodique en fonction du log de la fréquence [3].

D’autres paramètres de cette antenne comme la directivité, le diagramme de rayonnement et la largeur du lobe ont cette même périodicité. Cette périodicité ne garantit pas le caractère ULB. Cependant, si les variations de l’impédance sont suffisamment réduites dans la bande passante désirée, le caractère ULB est assuré dans des limites de variations raisonnables.

1.3.3 l’Antenne spirale

La géométrie de cette antenne est exclusivement définie par ses angles. Comme l’antenne log-périodique et l’antenne biconique, elle existe sous plusieurs formes. Nous allons nous intéresser dans cette section à l’antenne spirale équiangulaire (fig. 1.6) et l’antenne spirale d’Archimède (fig. 1.7). Chacune de ces formes peut être planaire conique ou sphérique. La version planaire est la plus répandue étant donné qu’elle peut être réalisée facilement grâce aux circuits imprimés. Nous allons aborder la version à deux bras de ces antennes pour expliquer leur concept théorique. Ces deux bras peuvent être considérés comme étant un dipôle torsadé autour de son point d’alimentation.

1.3.3.1 Antenne spirale équiangulaire

Cette antenne comme toute autre antenne spirale est définie par des angles uniquement. Il y a quatre équations qui définissent les courbes intérieures et extérieures des deux bras.

$$r_1 = r_0 e^{a\phi} \tag{1.8}$$

$$r_2 = r_0 e^{a(\phi-\delta)} \tag{1.9}$$

$$r_3 = r_0 e^{a(\phi-\pi)} \tag{1.10}$$

$$r_4 = r_0 e^{a(\phi-\pi-\delta)} \tag{1.11}$$

Le taux d'évasement a est mieux représenté par le rapport d'expansion ϵ . Défini par

$$\epsilon = e^{a2\pi} \quad (1.12)$$

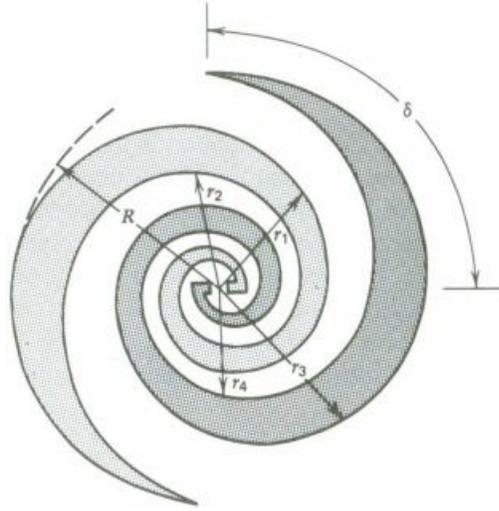


FIG. 1.6 – Géométrie d'une antenne spirale équiangulaire planaire [3].

Cette antenne est auto-complémentaire, c'est-à-dire que la complémentaire de l'antenne à la même forme que l'antenne. Ceci est dû au fait que l'espace occupé par le conducteur est le même que celui occupé par l'espace libre. Les antennes auto-complémentaires ont la particularité d'avoir une impédance pratiquement constante en fonction de la fréquence, indépendamment de leur forme. L'antenne spirale équiangulaire auto-complémentaire à deux bras a une impédance d'entrée de 189Ω , Elle peut être réduite en modifiant la largeur des brins de la spirale.

L'inconvénient de cette antenne est que son nombre de tours par unité de surface est petit, ce qui réduit sa compacité. Ceci a amené les chercheurs à utiliser l'antenne spirale d'Archimède. Bien que cette dernière ne soit pas définie que par ses angles, son étalement linéaire permet de faire plus de tours par unité de surface augmentant ainsi sa compacité.

1.3.3.2 Antenne spirale d'Archimède

Bien que l'impédance de cette antenne ne soit pas indépendante de la fréquence, elle peut avoir une bande passante de plusieurs octaves. Cette antenne est la plus répandue étant donné sa grande compacité et sa facilité de réalisation. Elle est caractérisée par les équations suivantes

le centre du bras

$$r = a\phi + b \quad (1.13)$$

les deux cotés du bras

$$r = a \left(\phi \pm \frac{\delta}{2} \right) + b \quad (1.14)$$

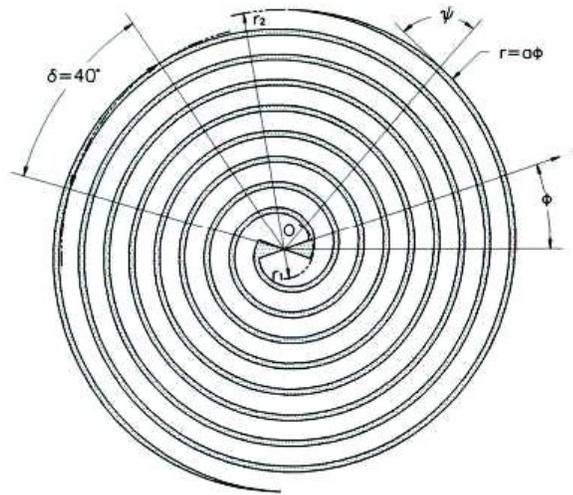


FIG. 1.7 – Géométrie d'une antenne spirale d'Archimède planaire [13].

Le deuxième conducteur est obtenu en effectuant une rotation de π au premier conducteur. La largeur du microruban est définie par

$$W = a\delta \quad (1.15)$$

L'espacement entre chaque microruban est

$$S = 2\pi a \quad (1.16)$$

Dans le cas où

$$\frac{W}{S} = \frac{1}{2N}$$

Avec N le nombre de bras de l'antenne.

L'antenne spirale d'Archimède devient auto-complémentaire.

Dans la section qui suit, nous allons nous intéresser aux différentes méthodes d'estimation d'angles d'arrivée et aborder les différentes méthodes d'estimation afin de justifier l'intérêt particulier pour l'antenne spirale.

Chapitre 2

Antennes reconfigurables

Une antenne reconfigurable est une antenne dont au moins une des caractéristiques est modifiable après sa fabrication, par application d'une commande. Il existe plusieurs types d'antennes reconfigurables. Celles-ci peuvent être classées suivant plusieurs critères. Par exemple, cela peut être fait selon la propriété physique qui les rend reconfigurables (modification des lignes de courant, déformation géométrique...), selon le type de composants reconfigurables employés (diodes, transistors, MEMS...) ou selon leur structure géométrique (type de structure reconfigurable, géométrie à priori de l'antenne).

Les antennes reconfigurables peuvent être réalisées principalement de trois manières : (1) en modifiant la partie de l'antenne qui participe au rayonnement à l'aide de switches. (2) en agissant sur des charges ou sur l'adaptation de l'antenne. (3) en modifiant la géométrie de l'antenne par des mouvements mécaniques. Dans ce chapitre, nous allons aborder quatre types d'antennes reconfigurables [4]. Le premier type consiste à passer d'une bande étroite à une autre ou à une multi-bande. Le deuxième permet le passage entre large bande et bande étroite. Le troisième type comporte les antennes ultra large bande avec une réjection en fréquence. Enfin le dernier type permet le passage d'une large bande à une autre.

2.1 Bande étroite vers bande étroite

Il existe un grand nombre d'antennes reconfigurables qui permettent le passage entre deux bandes étroites. Un premier exemple est d'utiliser un ensemble de patches qui travaillent chacun à une certaine fréquence. On choisira ensuite le patch qui va fonctionner à l'aide de switches. On aura alors un nombre de fréquences de travail égal au nombre de patches. Des diodes peuvent aussi être utilisées afin de modifier la structure de l'antenne. En effet l'utilisation des diodes peut permettre de modifier la taille du patch (fig.2.1) ou bien la largeur du patch comme dans le cas du patch en E.

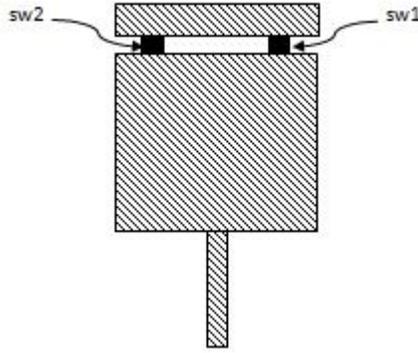


FIG. 2.1 – Antenne patch reconfigurable.

L'utilisation d'antennes PIFA offre plus de possibilités que les antennes précédentes vu son caractère multi-bande. Une autre approche est d'utiliser des antennes à fentes dont la longueur de la fente est contrôlée par des diodes. Nous pourrions aussi obtenir des résultats satisfaisants en agissant sur le circuit d'adaptation de l'antenne ou bien en combinant plusieurs des solutions citées précédemment.

On voit donc qu'il y a beaucoup de solutions possibles pour reconfigurer la fréquence de travail d'une antenne. Cependant, les antennes citées précédemment permettent seulement de travailler à des fréquences bien précises. De plus, les possibilités de reconfiguration de la bande étroite vers la bande large sont limitées. La reconfiguration de la large bande vers la bande étroite offre plus de possibilités et peut permettre de combiner large bande, multi-bande et bande étroite. Ce type d'antenne sera l'objet de la section suivante de ce chapitre.

2.2 Large bande vers bande étroite

Il existe en général plusieurs manières de réaliser la reconfiguration large bande vers bande étroite. La première est d'intégrer une antenne à large bande avec une antenne à bande étroite avec chacune son port d'alimentation. La seconde approche est de reconfigurer l'antenne ultra large bande afin qu'elle devienne à bande étroite (par exemple en modifiant des parties de la structure de l'antenne).

La commutation entre l'antenne ultra large bande peut se faire électriquement où mécaniquement. La figure 2.2 montre un exemple d'antenne mécaniquement reconfigurable. La partie qui rayonne est modifiée à l'aide d'un moteur qui fait tourner la structure rayonnante. L'inconvénient de cette technique est qu'on est limité par le nombre de patch imprimée dans la partie tournante. De plus, introduire un moteur va augmenter la complexité de l'antenne et son temps de commutation est souvent supérieur à celui des commutateurs électriques.

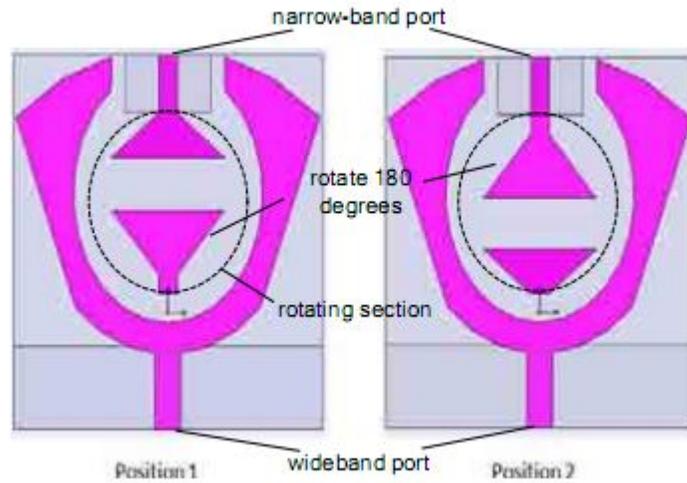


FIG. 2.2 – Antenne mécaniquement reconfigurable [6].

Un autre exemple est l'insertion d'une fente qui produit une bande étroite à l'intérieur d'une antenne disque monopole ultra large bande. L'exemple de la figure 2.3 contient de plus un résonateur qui permet d'effectuer une rejection de fréquence dans la partie ULB.

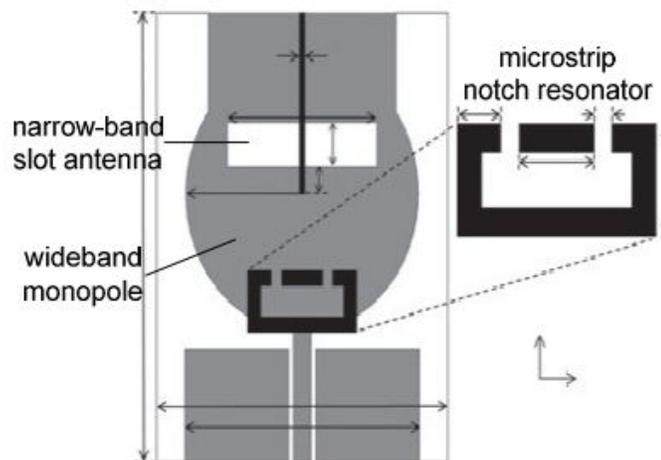


FIG. 2.3 – Monopole avec antenne fente intégrée[7].

Plusieurs autres approches sont possibles, comme par exemple la combinaison d'un monopole et d'une PIFA qui permettent le passage ultra large bande vers multi-bande. Le point commun entre les solutions précédentes est qu'elles utilisent des excitations indépendantes pour la partie large bande et la partie bande étroite. Dans la partie qui va suivre, nous allons aborder la seconde approche qui consiste à réaliser le passage ULB vers bande étroite avec une même alimentation.

Le premier exemple consiste à reconfigurer une antenne monopole en antenne micro-ruban. Ce passage se fait directement en connectant un plan de masse sous l'antenne résonante (fig.2.4). Cependant, le passage vers une autre bande étroite s'avère difficile et la structure de l'antenne devra être modifiée afin de changer la fréquence de la bande étroite.

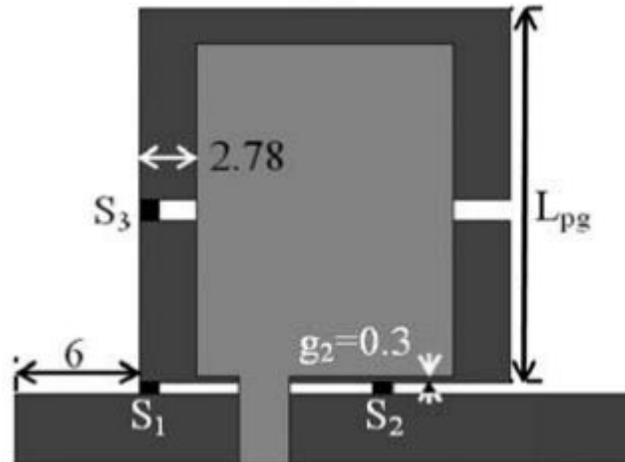


FIG. 2.4 – Antenne reconfigurable en connectant le plan de masse [8].

Une seconde approche consiste à utiliser une fente circulaire à l'intérieur de laquelle on insère deux anneaux. Ces anneaux seront ensuite connectés à l'alimentation à l'aide de switches (fig.2.5). Il sera alors possible d'avoir deux modes ULB et un mode à bande étroite.

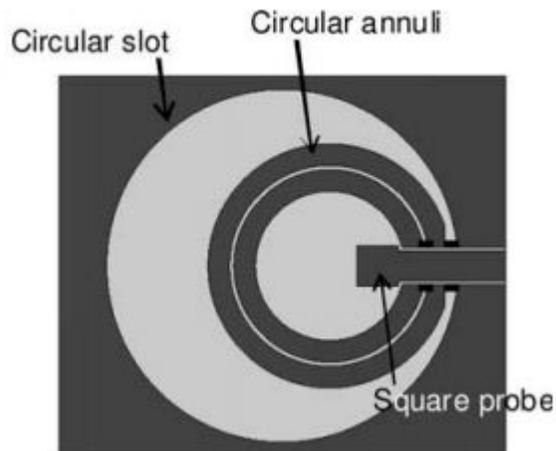


FIG. 2.5 – Fente circulaire reconfigurable en connectant des anneaux [9].

La combinaison d'une antenne large bande et d'une autre à bande étroite utilisant des ports séparés est utile pour les systèmes qui doivent travailler dans deux modes à la fois (large bande et bande étroite). Dans ce type d'antennes, le plus important est d'assurer une bonne isolation entre les deux ports. Pour les systèmes qui ne travaillent qu'à un seul de ces modes à la fois, la reconfiguration large bande vers bande étroite à un seul port peut être utilisée.

2.3 Large bande avec rejection de fréquences

Les antennes ultra large bande sont utilisables pour les communications qui utilisent plusieurs fréquences. Cependant, le risque est d'avoir des interférences de la part des fréquences voisines. C'est pourquoi il est intéressant d'utiliser des antennes reconfigurable à large bande avec rejection de fréquences.

Il existe plusieurs types d'antennes ultra large bande avec rejection de fréquence. Certains se sont intéressés à l'insertion d'encoches dans l'antenne Vivaldi, d'autres se sont utilisés l'antenne à fente en forme de U. L'utilisation de la reconfiguration à encoche est utile lorsqu'il y a une interférence potentielle dans le voisinage de l'antenne de réception. Le fait d'insérer une fente dans le résonateur a pour effet de modifier le trajet parcouru par les lignes de courant, créant ainsi des pièges à courants à certaines fréquences. La fréquence de la bande rejetée est proportionnelle à la longueur électrique de la fente. On pourra alors éliminer l'effet de la fente, ou le laisser en modifiant sa longueur électrique à l'aide de diodes ou de switches. La fréquence éliminée par la fente sera respectivement à l'extérieur ou à l'intérieur de la bande passante de l'antenne.

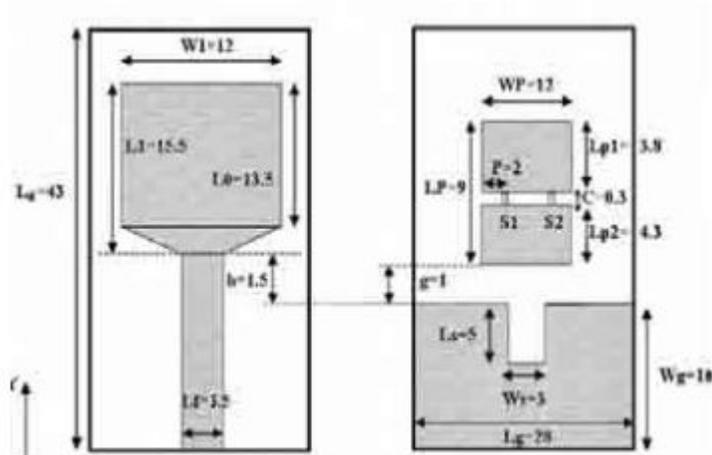


FIG. 2.6 – Rejection de bande à l'aide d'un patch parasite[10].

La figure 2.6 montre une antenne ULB où une bande de rejection a été ajoutée à l'aide d'un patch parasite ajouté à l'arrière de l'élément résonant. Il existe plein d'autres solutions utilisant des antennes ULB dans lesquels on insère des fentes afin de produire une rejection de

fréquence. Le même principe utilisé pour éliminer l'effet de ces fentes (variation de la longueur électrique de la fente) peut être utilisé pour choisir la fréquence centrale de la bande rejetée.

2.4 Large bande vers large bande

Un autre concept de reconfiguration est la reconfiguration large bande vers large bande. La figure 2.7 montre une antenne reconfigurable constituée d'un monopole planaire enroulé. Il a été démontré dans [11] que la bande passante de cette antenne est ultra large bande et que cette bande est modifiée en modifiant l'épaisseur du plan enroulé.

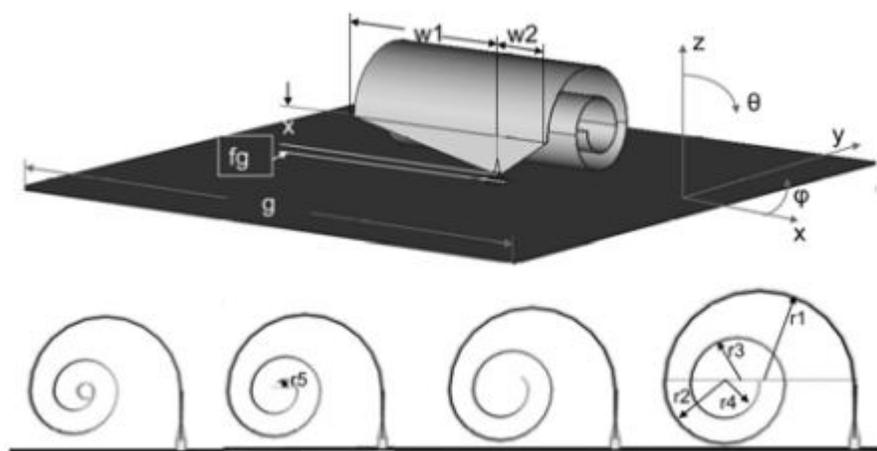


FIG. 2.7 – Antenne ULB reconfigurable (monopole planaire enroulé) [10].

Dans notre travail, nous nous sommes intéressés à la reconfiguration large bande vers large bande, nous nous proposons de modifier la bande passante d'une antenne spirale d'Archimède en changeant son rayon externe à l'aide d'un switch.

Chapitre 3

Reconfiguration de l'Antenne spirale d'Archimède

Pour effectuer notre travail, nous avons décidé d'utiliser l'antenne spirale d'Archimède à quatre bras. Cette antenne a été l'objet d'une précédente étude dans le cadre de notre projet de fin d'études et est destinée à une application de détection de direction d'arrivée.

Dans la première section nous allons expliquer le principe utilisé afin de réaliser cette reconfiguration, Nous allons ensuite passer à la partie simulation dans laquelle on mettra en évidence les différents modes de fonctionnement de cette antenne.

3.1 Principe

Pour concevoir cette antenne, nous allons nous baser sur le fait que la bande passante de l'antenne spirale d'Archimède est principalement affectée par ses rayons interne et externe. Sa fréquence min et sa fréquence max sont régies par les équations suivantes

$$f_{min} = \frac{c}{\pi D_{ext}} \quad (3.1)$$

$$f_{max} = \frac{c}{\pi \sqrt{2} D_{coax}} \quad (3.2)$$

Avec D_{ext} le diamètre extérieur de la spirale et D_{coax} le diamètre du coaxial. L'idée serait alors de séparer la spirale en 2 intervalles $[D_1, D_2]$ et $[D_1, D_{ext}]$. Dans le premier mode, le port alimente la partie intérieure de la spirale. Dans le deuxième mode, les deux parties de la spirale pourront être connectés à l'aide de switches pour avoir toute la bande passante. Dans l'antenne spirale d'Archimède à quatre bras, les quatre bras sont alimentés en même temps. On aura alors quatre ports pour chaque mode.

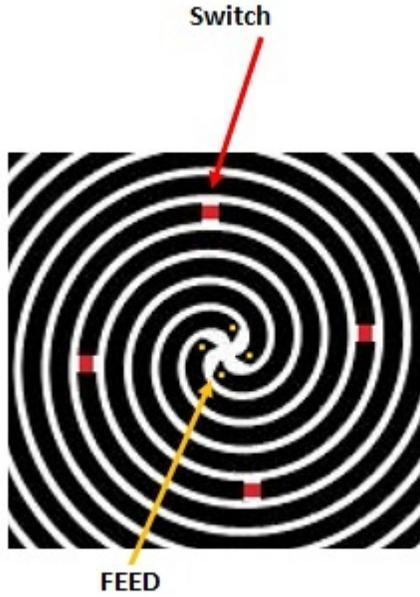


FIG. 3.1 – Antenne spirale reconfigurable (large bande vers large bande).

Les fréquences des différentes modes seront alors définies par les équations suivantes

$$f_{min} = \frac{c}{\pi D_{ext}} \quad (3.3)$$

$$f_{int} = \frac{c}{2\pi R_{switch}} \quad (3.4)$$

$$f_{max} = \frac{c}{\pi\sqrt{2}D_{coax}} \quad (3.5)$$

Avec R_{switch} la distance entre le switch et le centre de la spirale et f_{int} la fréquence séparant les deux modes ULB.

Cependant, ces équations sont des approximations qui ne prennent pas en compte le substrat sur lequel est imprimée l'antenne ainsi que les paramètres du plan de masse qui influent sur sa bande passante. C'est pourquoi, nous allons effectuer une simulation du paramètre s_{11} de cette antenne afin de mettre en évidence son caractère ULB et reconfigurable. La simulation a été faite sur le logiciel de simulation CST, et ses résultats seront présentés dans la section suivante de ce chapitre.

3.2 Simulation et résultats

Avant de réaliser une antenne, une étude doit être effectuée afin de déterminer ses performances et ses caractéristiques. En effet, il est intéressant de connaître le diagramme de rayonnement, la bande passante, la directivité et d'autres caractéristiques qui définissent l'antenne avant même de la réaliser.

Le développement de moyens numériques est un atout majeur pour le concepteur d'antennes. En effet, ils permettent de déterminer les caractéristiques d'antennes complexes pour lesquelles une étude théorique serait fastidieuse voir même impossible.

Plusieurs outils de modélisation et de simulation numérique du rayonnement des antennes ont été développés. Ces outils utilisent des méthodes de calcul basées sur la résolution numérique des équations de Maxwell, sur des techniques différentielles, ou sur des méthodes asymptotiques hautes fréquences. Les méthodes les plus connues sont : la MOM (Method Of Moments), la FEM (Finite Element Method), la FDTD (Finite Difference Time Domain), la FIT (Finite Integration Technique), la TLM (Transmission Line Matrix), la BEM (Boundary Element Method) et la UGTD(Uniform Geometrical Theory of Diffraction).

3.2.1 L'outil de simulation : Microwave-studio

Afin de simuler l'antenne spirale d'Archimède à 4 bras nous avons opté pour l'outil de simulation CST (Computer Simulation Technology) Microwave Studio. Celui-ci utilise la méthode des intégrales finies (Finite Integral Technique) qui a été proposée par Weiland [15] en 1997.

Dans toutes les méthodes numériques, la discrétisation des équations de Maxwell est basée sur la décomposition de la géométrie étudiée en cellules qui servent de grille de calcul. Dans la méthode de l'intégration finie, les équations de Maxwell sont formulées dans chaque cellule de ce maillage. Des maillages hexaédrique (parallélépipèdes) ou tétraédrique peuvent être utilisés pour faire une discrétisation spatiale. Autrement dit, cette méthode consiste à échantillonner spatialement les équations de Maxwell sous leur forme intégrale. Le maillage généré est donc volumique.

Dans Microwave-studio, chaque cellule du maillage est cubique. L'outil de résolution temporelle remplace les dérivées partielles $\frac{\partial}{\partial t}$ par des différentielles Δt . L'utilisation d'un outil de résolution dans le domaine temporel est très avantageuse en terme de temps de calcul pour la simulation d'antenne à large bande passante. C'est pourquoi, notre choix s'est porté sur CST afin de simuler notre antenne.

Lors de notre simulation, nous avons déterminé la bande passante pour différentes positions du switch. Nous avons ensuite gardé la position qui offrait la meilleure élimination des basses fréquences. Pour effectuer cette étude, nous nous sommes basé sur le travail de Glass [14] et ainsi que sur le travail qu'on a réalisé au cours de notre projet de fin d'études. Nous allons donc présenter les résultats de notre simulation pour la position adéquate du switch.

3.2.2 Modélisation

Nous avons utilisé lors de la simulation le modèle déjà réalisé dans notre PFE. Nous l'avons seulement modifié pour vérifier le caractère ULB de cette antenne. Le switch n'a pas été réalisé dans notre simulateur. Il a été représenté par une fente lorsque le switch est ouvert, et l'absence de fente lorsque le switch est fermée (fig.3.2). Les pertes du switch ne seront donc pas prises en compte.

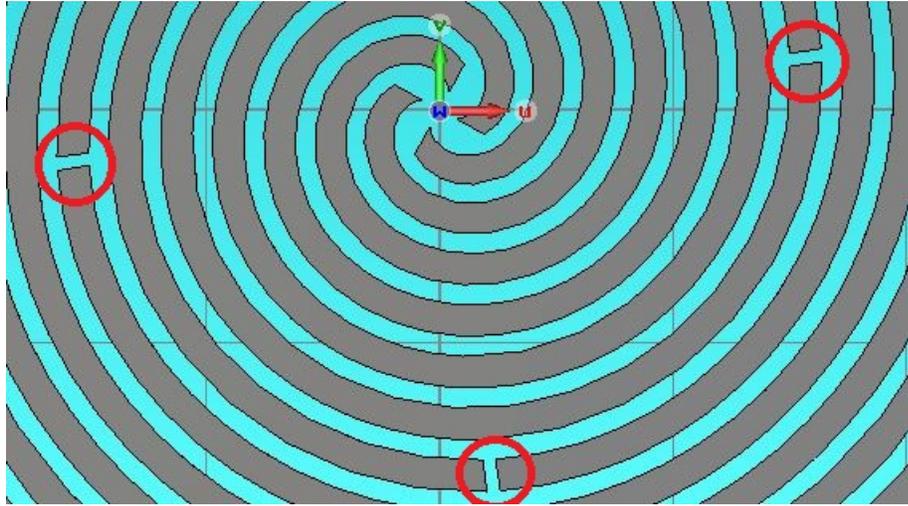


FIG. 3.2 – Switch ouvert sous CST.

3.2.3 Résultats

A partir des équations (3.1) et 3.2, nous voyons que les hautes fréquences sont concentrés aux petits diamètres de la spirale. Les basses fréquences occupent donc une plus grande partie de la spirale. le switch sera alors proche du centre de la spirale afin de bien pouvoir éliminer la partie basses fréquences.

La figure suivante montre le paramètre s_{11} de l'antenne spirale d'Archimède à quatre bras, alimentée à son centre et avant l'insertion du switch.

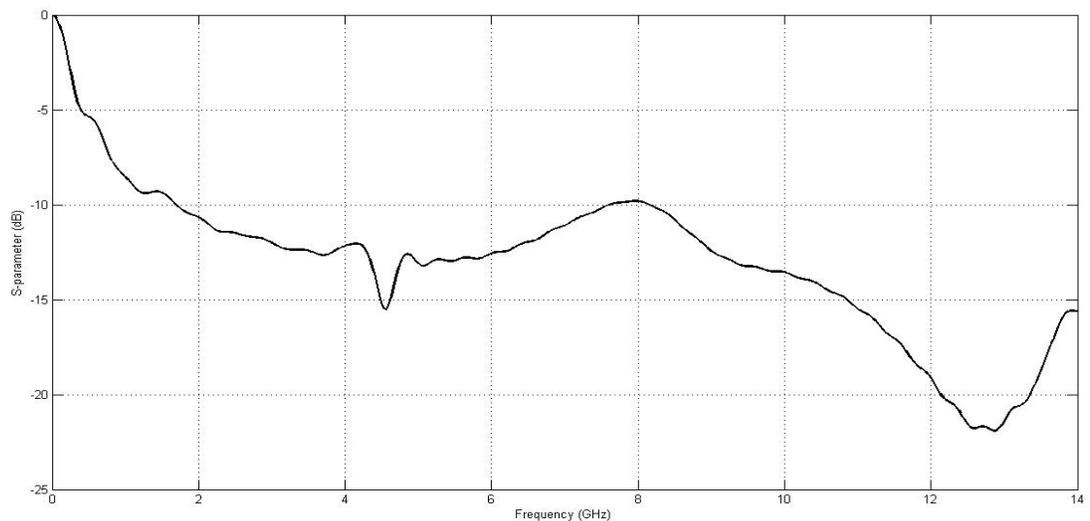


FIG. 3.3 – Paramètre s_{11} avant insertion du switch.

La figure 3.4 illustre quant à elle la superposition du paramètre s_{11} de l'antenne lorsque

le switch est activé ou désactivé.

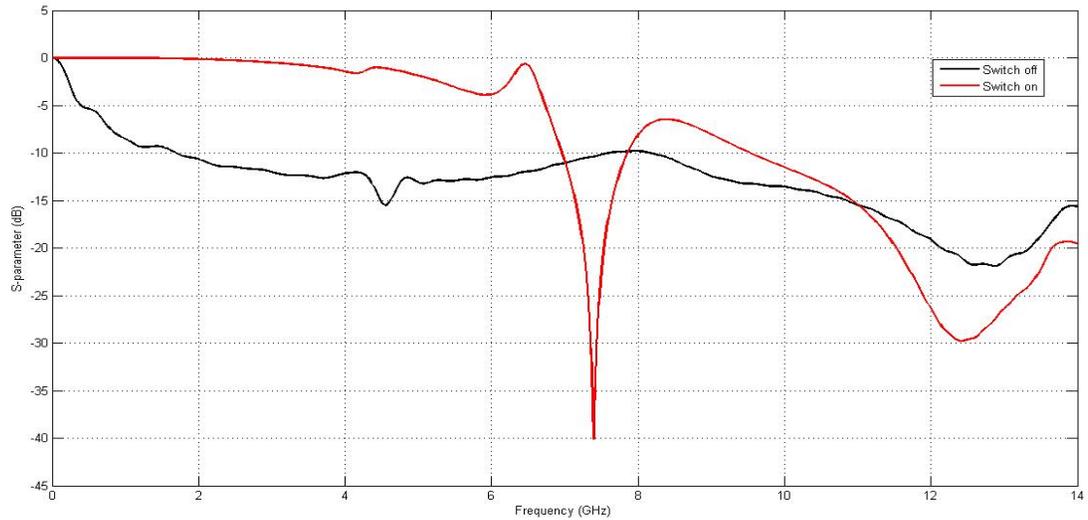


FIG. 3.4 – Paramètre s_{11} avec le switch activé et désactivé.

La figure montre qu'il y a bien une élimination des basses fréquences de la bande passante lorsque le switch est activé. On a donc une antenne, ultra large bande reconfigurable de type ULB vers ULB. La bande passante éliminée, peut être contrôlée en changeant la position du switch. On pourra alors l'élargir en rapprochant le switch du centre de la spirale ou la réduire en l'éloignant du centre.

Conclusion

Dans notre mémoire nous avons commencé par aborder les antennes ultra large bande, ainsi que les antennes reconfigurables. Nous avons vu que chacun de ces type d'antennes présentait des avantages et des inconvénients. Les chercheurs ayant remarqué que les avantages du premier type permettaient de remédier aux inconvénients du deuxième type d'antennes et vice versa. Ils se sont donc intéressé à combiner ces deux types d'antennes afin de profiter de leurs avantages respectifs tout en réduisant leurs inconvénients.

Dans notre travail, nous nous sommes intéressés à l'antenne spirale d'Archimède à quatre bras que nous avons réalisé lors d'une étude précédente. Nous avons décidé de la rendre reconfigurable en agissant sur son rayon externe à l'aide d'un switch.

L'antenne spirale obtenue est une antenne ultra large bande reconfigurable de type large bande vers large bande. Elle possède deux modes de fonctionnement. Dans le premier mode, l'antenne fonctionne sur toute sa bande de fréquences. Ce mode est activé lorsque le switch connecte les deux parties de la spirale. Dans le mode 2 les basses fréquences sont éliminées lorsque le switch ne connecte pas les deux parties de la spirale. Ceci permet d'éliminer les interférences des autres fréquences lorsqu'on utilise cette antenne aux hautes fréquences. De plus le bruit thermique est réduit vu qu'il est proportionnel à la bande passante.

Une approche intéressante serait de rajouter des ports pour connecter seulement la partie BF de la spirale, ceci permettrait alors d'avoir trois modes de fonctionnement, un mode avec toute la bande passante, un second avec la partie inférieure de la bande passante et un troisième avec la partie haute de la bande passante. Il serait aussi intéressant de rendre cette antenne ultra large bande avec rejection de fréquences afin d'éliminer seulement les fréquences qui pourraient interférer. On pourrait aussi utiliser plusieurs switches ou combiner plusieurs des solutions précédentes.

Bibliographie

- [1] L. Babour, *Etude et conception d'antennes ultra large bande miniaturisées en impulsionnel*, Thèse de doctorat, Institut Polytechnique de Grenoble, 7 mai 2009.
- [2] *FCC 1st Report and Order on Ultra-Wideband Technology*, February. 2002
- [3] Balanis, C. A., *Antenna Theory : Analysis and Design*, 3rd Edition, New Jersey : John Wiley & Sons Inc., 2005.
- [4] Hamid M. R., *Wideband Reconfigurable Antennas*, PhD Thesis, University of Birmingham, mai 2011.
- [5] L. Bennett G.F. Ross, *Time domain electrpagnetics and its applications*, Proceedings of the IEEE, VOL. 66, issue 3, 99. 299-318, Mars 1978
- [6] Y. Tawk and C. G. Christodoulou, " *A New Reconfigurable Antenna Design for Cognitive Radio*, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 8, pp. 1378-1381, 2009.
- [7] F. Ghanem, P. S. Hall, and J. R. Kelly, *Two port frequency reconfigurable antenna for cognitive radios*, Electronics Letters, vol. 45, pp. 534-535, May 21 2009.
- [8] J. R. Kelly, P. S. Hall, and P. Gardner, *Integrated wide-narrow band antenna for switched operation*, in Antennas and Propagation, 2009. EuCAP 2009. 3rd European Conference on, 2009, pp. 3757-3760.
- [9] J. R. Kelly and P. S. Hall, *Reconfigurable slot antenna for Cognitive Radio applications*, in Antennas and Propagation Society International Symposium, 2009. APSURSI '09. IEEE, 2009, pp. 1-4.
- [10] A. H. Khidre, H. A. El Sadek, and H. F. Ragai, *Reconfigurable UWB printed monopole antenna with band rejection covering IEEE 802.11a/h*, in Antennas and Propagation Society International Symposium, 2009. APSURSI '09. IEEE, 2009, pp. 1-4.
- [11] G. Ruvio, M. J. Ammann, and C. Zhi Ning, *Wideband Reconfigurable Rolled Planar Monopole Antenna*, Antennas and Propagation, IEEE Transactions on, vol. 55, pp. 1760-1767, 2007.
- [12] Stuzman, W.L and Thiele, G.A, *Antenna theory and design*, 1st edition, New York : John Wiley & sons inc, 1981, pages 260-305.
- [13] Johnson, R.C, *Antenna Engineering Handbook*, 3rd Edition, New York : Mc Graw Hill Inc, 1993, pages 151-186.
- [14] Glass, Douglas J. (2007). *Investigation of Cylindrically Conformed Four-Arm Spiral Antennas*. Unpublished master's thesis, Wright State University. Dayton.
- [15] T. weiland, *A Discretization Method For The Solution of Maxwell's Equations For Component Field*, International journal of electronics and communications, vol :31 .1997, pp.116-120.