

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université AboubakrBelkaïd- Tlemcen –
Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER

En : Télécommunications

Spécialité : Systèmes de Télécommunications

Par : KDROUCI AHLAM

Sujet

**Conception d'une antenne patch inspirée des méta- matériaux
pour les applications RFID**

Soutenu publiquement, le 08 /07 / 2021, devant le jury composé de :

Mr N. BOUKLI HACEN	Professeur	Univ. Tlemcen	Président
Mme F. BOUSALAH	Maître de Conférences B	Univ. Tlemcen	Examinatrice
Mme H.BENOSMAN	Maître de Conférences B	Univ. Tlemcen	Encadrant
Mr.M.A.RABAH	Maître de Recherche A	Univ. Tlemcen	Co-encadreur

Année universitaire 2020/2021

Remerciements

Mes remerciements vont tout d'abord à ALLAH tous puissant pour m'avoir donné la volonté, la patience et le courage nécessaire pour mener ce modeste travail à bout.

J'adresse mes remerciements les plus sincères à mon encadreur Mme **H.BENOSMAN**, Maitre de conférences à la faculté de technologie, département de Télécommunications, et à mon Co-encadreur Mr **A.RABAH**. Merci pour votre encadrement, votre disponibilité. Merci pour votre compréhension, votre grande gentillesse et pour la confiance que vous m'avez témoignée tout au long de cette étude. Malgré vos importantes obligations, vous avez toujours été présente pour orienter mes recherches dans la bonne direction et ceci été fondamental dans la bonne réalisation de ce mémoire. Soyez assurée de ma profonde gratitude.

Je remercie également les membres du jury Prof Mr **N. BOUKLI HACEN** et Mme **F. BOUSALAH** qui se sont intéressés à mon étude et qui m'ont fait l'honneur d'accepter de juger notre travail.

Nos remerciements s'étendent également à tous, nos enseignants durant les années d'études.

Enfin nous ne voudrais pas oublier de remercier toute personne qui Nous aidons de loin ou de près à réaliser ce travail.

Dédicace

A l'aide de la grâce du dieu tout puissant que j'ai achevé ce modeste

Travail que je dédie:



La lumière de mes yeux et le bonheur de mon existence: mes **chers parents**, ceux qui m'ont encouragé et qui ont sacrifié les meilleurs moments de leur vie pour ma réussite, que dieu vous procure, santé et longue vie, Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous.



Mes chères sœurs **Fadia** et **Boutaina** pour leurs présences et soutiens.



Ma grande mère et à toute ma famille.



Tous les enseignants qui ont contribué à ma formation



Toutes mes amies, en particulier tous ceux qui m'ont procuré aide et réconfort durant la réalisation de ce travail, Enfin à tous ceux qui m'aiment et qui ont une place dans mon cœur.

AHLAM

Résumé

Les méta-matériaux suscitent de plus en plus l'intérêt des chercheurs dans le domaine des microondes, des antennes et des radiofréquences. L'utilisation de ces matériaux offre des avantages tels que la réduction du poids et de l'encombrement qui sont exigés dans la miniaturisation des antennes. L'objectif de ce projet est de proposer une antenne miniature destinée pour les applications RFID. Après quelques rappels sur le fonctionnement théorique des antennes patches, nous nous intéressons à la conception et à la simulation d'une antenne micro-ruban miniature à base de résonateurs en anneau fendus en utilisant le logiciel CST MWS. Les résultats obtenus seront alors présentés et commentés.

Mots clés : Méta-matériaux, résonateur en anneau fendu complémentaire, antenne micro-ruban rectangulaire.

Abstract

Metamaterials are increasingly attracting the interest of researchers in the fields of microwaves, antennas and radio frequencies. The use of these materials offers advantages such as the reduction in weight and bulk that are required in the miniaturization of antennas. The objective of this project is to provide a miniature antenna intended for RFID applications. After a few reminders on the theoretical operation of patch antennas, we are interested in the design and simulation of a miniature micro strip antenna based on split resonators using the CST MWS software. The results obtained will then be presented and commented on.

Key words: Metamaterials, Complementary Split Ring Resonator, Patch Antenna.

المخلص

تجذب المواد الخارقة اهتمام الباحثين بشكل متزايد في مجالات الموجات الدقيقة والهوائيات والترددات الراديوية. يوفر استخدام هذه المواد مزايا مثل تقليل الوزن والحجم المطلوب في تصغير الهوائيات. الهدف من هذا المشروع هو توفير هوائي مصغر مخصص لتطبيقات RFID. بعد القليل من التذكيرات حول التشغيل النظري لهوائيات التصحيح ، نحن مهتمون بتصميم ومحاكاة هوائي microstrip مصغر يعتمد على الرنانة المنقسمة باستخدام برنامج CST MWS. سيتم بعد ذلك عرض النتائج التي تم الحصول عليها والتعليق عليها.

الكلمات المفتاحية: المواد الفوقية ، مرنان الحلقة المنقسمة التكميلية ، هوائي شريطي مستطيل الشكل

Sommaire

Liste Des Figures

Liste Des Tableaux

Introduction Générale

CHAPITRE I : Généralités sur les antennes.

I-1-Introduction	16
I-2-Définition	16
I-3-Historique	17
I-4-Les caractéristiques d'une antenne	17
I-4-1-L'impédance	17
I-4-2- Le diagramme de rayonnement	18
I-4-3- Directivité et Gain	19
I-4-4- Polarisation	19
I-4-5- Bande passante	20
I-4-6- Ouverture rayonnante et Rendement	20
I-4-7- Coefficient de réflexion et taux d'onde stationnaire (TOS)	21
I-5-Les types des antennes	21
I-5-1-Les antennes filaires	21
I-5-2-Antenne directive	22
I-5-2-1-Les antennes cornet	22
I-5-2-2-Antenne à transition progressive (Vivaldi)	22
I-5-3-Les antennes à fente	23
I-5-4-Le dipôle demi-onde	24
I-5-5-Les antennes paraboliques	24
I-5-6-Antennes omnidirectionnelles	25
I-5-6-1- Antenne biconique	26
I-5-6-2- Antenne discônes	26
I-5-7-Antennes log-périodiques	27
I-5-8-Antennes patch (micro ruban)	27
I-5-8-1- Description d'une antenne imprimée	27

I-5-8-2-Structure d'une antenne imprimée	28
I-5-8-3-Les paramètres géométriques d'une antenne imprimée	29
I-5-8-3-1- Largeur du patch	29
I-5-8-3-2- Longueur du patch	29
I-5-8-3-3- Choix du substrat	30
I-5-8-4-Techniques d'alimentation	30
I-5-8-4-1-Alimentations par contact	30
I-5-8-4-1-1- Alimentation par une ligne micro ruban	30
I-5-8-4-1-2-Alimentation coaxiale directe	30
I-5-8-4-2-Alimentations par proximité	31
I-5-8-4-2-1-Alimentation par couplage électromagnétique	31
I-5-8-4-2-2-Alimentation par couplage à ouverture (fente) dans le plan de masse	31
I-5-9- Techniques d'adaptation des antennes patch	32
I-5-9-1- Adaptation par ligne quart d'onde	32
I-5-9-2- Adaptation par STUB	32
I-5-9-3- Adaptation avec encoche	33
I-5-10- Avantages et inconvénients	33
I-5-10-1- Avantages des antennes imprimées	33
I-5-10-2-Inconvénients des antennes imprimées	33
I-5-11- Applications des antennes patch	33
I-6-Conclusion	34

Références bibliographiques

Chapitre II: Présentation des Méta-matériaux (MMT)

II-1-Introduction	40
II-2-Historique	40
II-3-Définition des Métamatériaux	40
II-4- Classification des Métamatériaux	41
II-4-1-Les Matériaux doublement positifs (DPS) ($\epsilon > 0$ et $\mu > 0$)	41
II-4-2-Les Matériaux doublement négatives (DNG) ($\epsilon < 0$ $\mu < 0$)	41
II-4-3-Les matériaux à perméabilité négative (MNG) ($\epsilon > 0$ et $\mu < 0$)	42

II-4-4-Les matériaux à permittivité négative (ENG) ($\epsilon < 0$ $\mu > 0$)	43
II-5-Extraction de paramètre effectifs	45
II-6-Applications des métamatériaux	44
II-6-1-Cape d'invisibilité	46
II-6-2- Lentilles parfaites	47
II-6-3-Miniaturisation	47
II-6-4- Applications liée aux antennes	48
II-7-Conclusion	48
Références bibliographiques	

Chapitre III: Conception et Simulation de l'antenne patch miniature

III-1-Introduction	51
III-2-La technologie RFID	52
III-2-3-Les types des systèmes RFID	53
III-2-3-1-Les systèmes à couplages inductifs (BF et HF)	53
III-2-3-2-Les systèmes Ultra Large Bande (ULB)	54
III-2-4-Applications	54
III-2-5-Avantages et inconvénients	57
III-2-5-1-Avantages	57
III-2-5-2- Inconvénients	57
III-3-Conception et simulation	57
III-3-1- Outil de simulation	57
III-3-2-Conception de base de l'antenne	58
III-3-2-1-Interprétation des résultats de simulation	64
III-3-3-Processus de miniaturisation.....	65
III-3-3-1-Conception et simulation de la cellule SRR (Split Ring Resonator) ..	64
III-3-3-2-Antenne miniature associe aux cellule SRR	66
III-3-3-3-Résultats et discussion.	67
III-3-4-Etude paramétrique et discussion	72
III-3-4-1-Effet de l'espacement entre les deux cellules	75
III-3-4-2-Variation de l'ouverture des anneaux(c).....	76

III-3-4-3-Variation de la longueur exterieur de l'anneau(W1)	76
III-3-4-4-Variation de l'espacement entre les deux anneaux	78
III-3-5-Conclusion.....	78
Références bibliographiques	

CONCLUSION GENERALE

LISTE DES FIGURES

Chapitre I

Figure I-1:Structure d'une antenne.....	16
Figure I-2:Antenne en mode émetteur.....	18
Figure I-3:Diagramme de rayonnement en coordonnées polaires.....	18
Figure I-4:Diagramme de rayonnement en coordonnées cartésiennes.....	19
Figure I-5:Différents états de polarisation d'une onde électromagnétique.....	20
Figure I-6:Bande passante.....	20
FigureI- 7:Antenne filaire.....	22
FigureI-8:Antenne Yagi.....	22
FigureI- 9:Les différents types d'antenne cornet.....	22
FigureI- 10:Trois structures de l'antenne Vivaldi.....	23
FigureI- 11:Antenne Vivaldi.....	23
FigureI- 12:Antenne à fentes.....	24
FigureI- 13:Le dipôle demi-onde.....	24
Figure I-14:Antenne paraboliques.....	25
FigureI- 15:Antennes omnidirectionnelles.....	25
FigureI- 16:Les cordonnées cartésiennes d'une antenne omnidirectionnelle vertical et horizontal.....	25
FigureI- 17:Antenne biconique.....	26
FigureI- 18:Antenne discône.....	26
FigureI- 19:Antenne log-périodique.....	27
FigureI- 20:Présentation d'une antenne imprimée.....	28
FigureI- 21:Différentes formes d'antennes micro ruban.....	28
FigureI- 22:Antenne imprimée alimentée par ligne micro-ruban.....	30
FigureI- 23:Alimentation coaxiale directe.....	31
FigureI- 24:Alimentation par couplage électromagnétique.....	31
FigureI- 25:Alimentation par couplage à ouverture (fente) dans le plan de masse.....	32
FigureI- 26:Adaptation par ligne quart d'onde.....	32
FigureI- 27:Adaptation par STUB.....	32
FigureI- 28:Adaptation avec encoche.....	33

Chapitre II

FigureII-1:Coupe de Lycurgus en lumière réfléchié à gauche, en lumière transmise à droite.....	40
FigureII-2:Photographie du premier métamatériau à indice de réfraction négatif réalisé par l'équipe de David Smith en 2000.....	41
FigureII-3:Schéma du premier SRR imaginé par John Pendry [3].....	41
FigureII-4:Classement des matériaux en fonction du signe de leur permittivité ϵ et perméabilité.....	41
FigureII-5:(a)cellule DNG-"SRR+Tige",(b)perméabilité et permittivité de la cellule "SRR+Tige" [8].....	42

FigureII-6:La structure rouleau de suisse.....	42
FigureII-7:Métamatériaux ENG formé par un réseau de tige métallique [9].....	44
Figure II-8 : Coefficients de réflexion et de transmission à travers un matériau homogène.	46
FigureII-9:Cape d'invisibilité de J. Pendry [10].	47
FigureII-10:(a) Lentille parfaite de Pendry d'indice de réfraction négatif. (b) Lentille parfaite de Smithen d'indice de réfraction négatif [1].	47
FigureII-11:Schéma du dispositif où le métamatériau Main.....	48

Chapitre III

Figure III-1:fonctionnement d'un tag RFID.....	53
FigureIII-2:système couplages inductifs (BF et HF).....	53
FigureIII-3:une étiquette ou Tag HF.	54
FigureIII-4:Exemples d'application de la technologie RFID.....	56
Figure III-5:Outil de simulation CST.....	58
Figure III-6:Antenne patch rectangulaire initiale.....	59
Figure III-7:Coefficient de réflexion de l'antenne patch en fonction de la fréquence.	59
Figure III-8:le rapport d'onde stationnaire VSWR.	59
Figure III-9:La distance de lecture.	60
Figure III-10 :Antenne patch rectangulaire avec encoche.....	61
Figure III-11 :Résultats de l'étude paramétrique.	62
Figure III-12:Coefficient reflexion de l'antenne patch en fonction de la fréquence.....	61
Figure III-13:Rapport d'onde stationnaire (VSWR).	62
Figure III-14:le gain en fonction de la fréquence.....	62
Figure III-15:Le diagramme de rayonnement en 2D.....	63
Figure III-16:Le diagramme de rayonnement en 3D(a) le gian (b) la directivité.....	63
Figure III-17:Distance du lecteur e à la fréquence de résonnance.	64
Figure III-18:Représentation de la cellule unitaire SRR.....	65
Figure III-19:représentation des paramètres (S) de la cellule unitaire.	66
Figure III-20: La perméabilité en fonction de la fréquence.	67
Figure III-21:la nouvelle structure de l'antenne patch.	67
Figure III-22: coefficient de réflexion en fonction de fréquence.....	68
Figure III-23 : Structure d'antenne chargée par un réeau de SRRsur le plan de masse : (a) antenne à 2 cellules(b) antenne à 4 cellules(c) antenne à 8 cellules.....	68
Figure III-24 :coefficient de réflexion S11 en fonction de fréquence pour les troisconfiguration du plan de masse (a), (b), et (c)	69
Figure III-25 : La structure d'antenne miniature.....	70
Figure III-26:coefficient de réflexion S11 de l'antenne miniaturisée	70
Figure III-27:Rapport d'onde stationnaire (VSWR) de l'antenne miniaturisée.....	71
Figure III-28 :Le diagramme de rayonnement en 2D.....	72
Figure III-29 :les diagramme de rayonnement en 3D(a) le gian (b) la directivité	73
Figure III-30: Distance de la lecture	74

Figure III-31 : Configuration de l'antenne patch miniature modifiée.....	71
Figure III-32 : Coefficient de réflexion de l'antenne miniature modifiée.....	71
Figure III-33 : Rayonnement de l'antenne miniature modifiée au niveau du plan E.....	75
Figure III-34 : Distance de la lecture	76
Figure III-35 : Géométrie de la cellule SRR complémentaire	76
Figure III-36: Effet de l'espacement d sur le coefficient de réflexion de l'antenne miniature	77
Figure III-37 : Module de S ₁₁ pour différentes valeurs de c	77
Figure III-38 : Module de S ₁₁ pour différentes valeurs de W ₁	78
Figure III-39 : Module de S ₁₁ pour différentes valeurs de b.....	78

LISTE DES TABLEAUX

Tableau III-1:Comparaison des différents systèmes RFID.	54
Tableau III-2:Les paramètres de l'antenne patch initiale.	57
Tableau III-3:Paramètres de l'antenne patch avec encoche.	61
Tableau III- 4:Les dimensions de l'antenne miniature.....	69
Tableau III-5 : Tableau comparatif entre l'antenne initiale et l'antenne miniature.....	73

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale

Les technologies d'identification RFID font partie aux domaines des télécommunications. Ces domaines ont subi une croissance très rapide depuis quelques décennies. Cette croissance est due à l'évolution sociale et économique de notre société qui est caractérisée par un développement rapide des moyens d'identifications. Les antennes font partie des applications de ce domaine qui ont attiré plus d'attentions. Ce sont des éléments indispensables pour assurer une opération d'émission ou de réception des ondes électromagnétiques dans l'atmosphère terrestre ou dans l'espace. Elles sont présentes dans tous les systèmes de communication sans fil et les systèmes d'identifications RFID.

Cette nouvelle technologie, connue par sa grande souplesse, rend l'échange d'informations plus rapide et efficace. En effet, son développement devrait bientôt permettre l'identification individuelle et unique des objets et mène à la création d'un "Internet des objets".

L'objectif de ce travail est la conception des antennes RFID à base des méta-matériaux. L'outil de conception est le logiciel CST MWS-2012 (Computer Simulation Technology – Micro-wave Studio).

Ainsi, ce mémoire se compose de trois chapitres ; le premier chapitre, dresse un état de l'art des antennes. Nous présentons en premier temps, leurs définitions, ainsi que leurs caractéristiques principales. Nous définissons par la suite les différents types d'antennes qui existent dans la littérature, notamment celles des antennes imprimées. Nous exposons alors quelques caractéristiques de ces dernières, leurs avantages ainsi que leurs inconvénients.

Le second chapitre présente des généralités des méta-matériaux. Nous rappelons dans un premier temps leur définition ainsi que leur historique, puis nous exposons les différentes catégories des méta-matériaux qui existent dans la littérature. Nous citerons à la fin les différentes applications envisagées dans plusieurs domaines.

Nous avons étudié dans le troisième chapitre une structure d'antenne micro ruban miniature à base de méta-matériaux destinée pour les applications RFID, conçue et simulée avec le logiciel de conception électromagnétique CST-Microwave Studio. La configuration proposée est celle d'une antenne patch rectangulaire ayant un plan de masse dans lequel nous avons gravé un réseau de résonateurs à anneaux fendus complémentaire. Nous dévoilons avec cette configuration, l'intérêt que peut avoir l'application d'un méta-matériau sur la taille de l'antenne, l'amélioration de son gain et l'élargissement de sa bande passante. On finira par donner une conclusion générale.

Chapitre I : Généralités sur les antennes

I-1-Introduction

Les antennes sont des dispositifs utilisés pour rayonner le champ électromagnétique dans l'espace ou pour le capter. Il existe de nombreux types d'antennes. Il est important d'avoir une connaissance globale de leur fonctionnement lors du choix d'un dispositif rayonnant.

Ce chapitre a pour objectif de présenter en première partie la définition, l'historique et les différents types des antennes. Dans la seconde partie, on présentera leurs caractéristiques générales telles que; le diagramme de rayonnement, le gain, la directivité, la polarisation et la bande passante. Enfin nous exposerons les techniques d'alimentation de ces antennes.

I-2-Définition

D'après la norme IEEE, une antenne est un moyen de rayonnement ou de réception des ondes radio. Une antenne en réalité est un bout de métal, ou un diélectrique ; avec un langage plus approprié à l'électronique. En d'autres termes, c'est une structure transitoire entre l'espace libre et un dispositif guidant [1].

Le principe de l'antenne d'émission est de faire en sorte que lorsqu'elle est parcourue par un courant variable, sans chauffer ni s'illuminer, va créer un champ magnétique variable autour et ce dernier crée à son tour un champ électrique et ainsi de suite ; ce champ se propage, c'est alors une onde électromagnétique [2].

Une onde électromagnétique se transforme en énergie électrique guidée à un conducteur électrique, c'est le principe de l'antenne de réception qui est de faire en sorte que le champ électromagnétique de l'air soit transformé en énergie utilisable (signal électrique) [2].

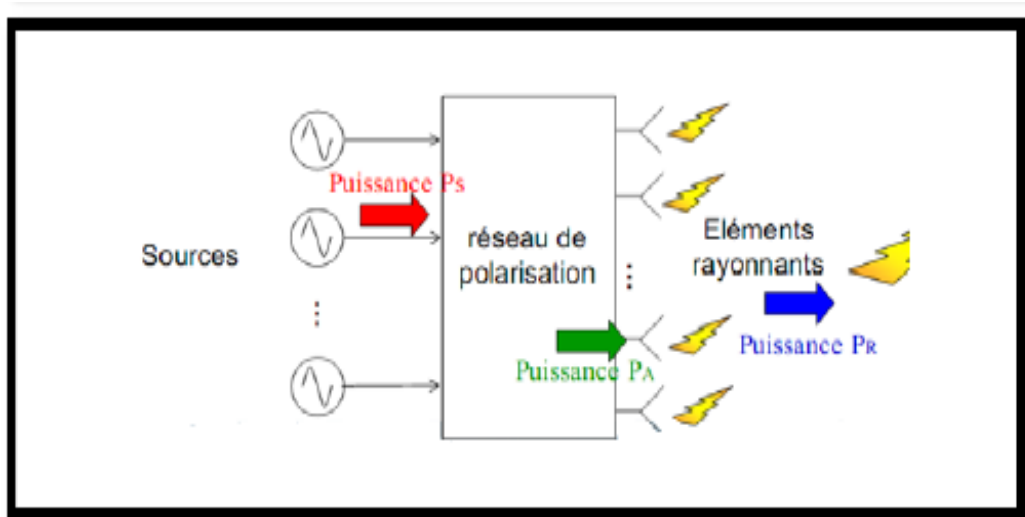


Figure I-1: Structure d'une antenne.

I-3-Historique

La possibilité de transmettre à distance des signaux électriques est entrevue dès que les phénomènes d'induction sont mis en évidence en 1831. Dans une certaine mesure la bobine peut être considérée comme la première antenne [1].

En 1888, Heinrich Hertz utilisa pour la première fois des antennes pour prouver qu'il y avait des ondes électromagnétiques dans l'air (théorie de Maxwell). Hertz a étudié la propagation des ondes électromagnétiques qui font passer l'énergie d'un circuit à un autre sans l'aide d'un fil conducteur [1].

Les antennes présentent une propriété connue sous le nom de réciprocité c'est-à-dire une antenne utilisée en réception ou en émission avec les mêmes propriétés rayonnantes.

Il existe trois catégories d'une antenne : [3]

- La première catégorie est les antennes omnidirectionnelles : permettent d'émettre le signal dans toutes les directions.
- La deuxième catégorie est les antennes directionnelles : privilégient et concentre le signal dans une direction.
- La troisième catégorie est les antennes isotropes : est une antenne fictive, ponctuelle, qui rayonne la même densité de puissance dans toutes les directions de l'espace.

I-4-Les caractéristiques d'une antenne

I-4-1-L'impédance

L'impédance d'entrée d'une antenne caractérise la charge apportée par cette antenne au circuit d'excitation. Le cas le plus simple est celui des antennes pour lesquelles on peut définir deux bornes d'entrée telles qu'en régime d'émission, il existe entre elles une tension lorsque circule un courant ; L'antenne peut alors être représentée par un dipôle, au sens de la théorie des circuits, dont l'impédance d'entrée serait :[4]

$$\mathbf{Z} = \frac{V_e}{I_e} = \mathbf{R} + j\mathbf{X} \quad (\text{I-1})$$

Où :

Z=impédance d'entrée aux bornes a et b.

R= résistance de l'antenne aux bornes a et b.

X= réactance de l'antenne aux bornes a et b.

Chapitre I : Généralités sur les antennes.

L'impédance d'entrée de l'antenne que l'on souhaite la plus proche possible de 50Ω en partie réelle, et nulle en partie imaginaire, dépend du type d'alimentation [5].

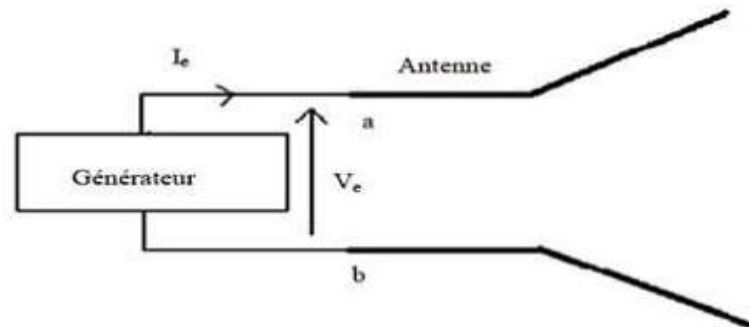


Figure I-2: Antenne en mode émetteur.

I-4-2- Le diagramme de rayonnement

C'est un diagramme qui représente les variations de la puissance que rayonne l'antenne par unité d'angle solide dans les différentes directions de l'espace. [6]

D'un point de vue pratique, la mesure du diagramme de rayonnement est bien souvent effectuée dans deux plans principaux orthogonaux qui sont les plans $\Phi = 0^\circ$ et 90° . On parle aussi de plan E et plan H. La polarisation du champ émis par l'antenne n'étant a priori pas connue, il faudra, en plus de la mesure du rapport axial qui donne une information sur la qualité de la polarisation émise, mesurer les quatre diagrammes qui sont : [7]

$E_\theta(\Phi = 0^\circ, \theta)$: diagramme de la composante du champ électrique E_θ dans le plan $\Phi = 0^\circ$.

$E_\theta(\Phi = 90^\circ, \theta)$: diagramme de la composante du champ électrique E_θ dans le plan $\Phi = 90^\circ$.

$E_\phi(\Phi = 0^\circ, \theta)$: diagramme de la composante du champ électrique E_ϕ dans le plan $\Phi = 0^\circ$.

$E_\phi(\Phi = 90^\circ, \theta)$: diagramme de la composante du champ électrique E_ϕ dans le plan $\Phi = 90^\circ$.

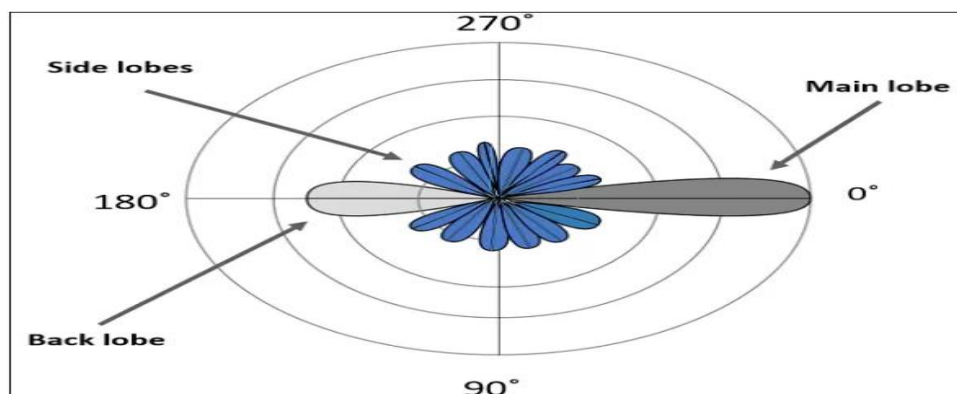


Figure I-3: Diagramme de rayonnement en coordonnées polaires.

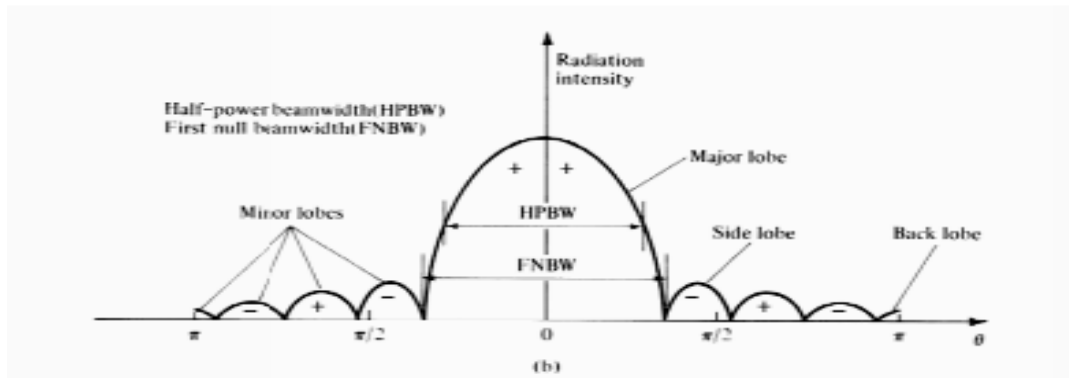


Figure I-4: Diagramme de rayonnement en coordonnées cartésiennes.

I-4-3- Directivité et Gain

La directivité d'une antenne est le rapport de la puissance rayonnée par unité d'angle solide dans la direction (θ, ϕ) à la puissance que rayonnerait la source isotrope de référence par unité d'angle solide pour une même puissance totale rayonnée [6].

$$D(\theta, \phi) = \frac{P(\theta, \phi)}{P_a \eta} 4 \pi \quad (\text{I-2})$$

La relation entre le gain et la directivité d'une antenne est donnée par l'équation suivante : [8]

$$G(\theta, \phi) = \eta D(\theta, \phi) \quad (\text{I-3})$$

I-4-4- Polarisation

La polarisation est linéaire lorsque le champ rayonné à l'infini conserve une direction constante (rectiligne) au cours du temps, et elle est circulaire lorsque l'extrémité du vecteur champ électrique rayonné à l'infini décrit un cercle en fonction du temps. La polarisation peut être aussi elliptique. Toute onde elliptique peut être considérée comme l'addition vectorielle de deux vecteurs perpendiculaires déphasés dans le temps de 90° [5].

Dans une antenne le rapport axial est défini comme étant le rapport du grand axe sur le petit axe de l'ellipse de polarisation, Il donne une indication fondamentale sur la polarisation de l'onde qui se propage. Pour une polarisation circulaire de bonne qualité, on fixera un seuil de rapport axial à 3dB [8].

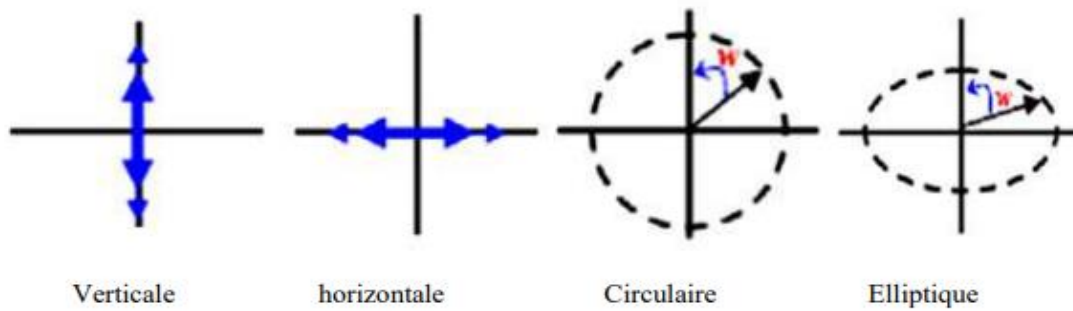


Figure I-5: Différents états de polarisation d'une onde électromagnétique.

I-4-5- Bande passante

La bande passante peut être définie en fonction du coefficient de réflexion, à condition que le diagramme de rayonnement ne change pas sur cette bande. Il n'y a pas de critères précis pour la limite du coefficient de réflexion. Un critère typique d'avoir un coefficient de réflexion inférieure à -10 dB ou -15 dB sur la bande passante [9].

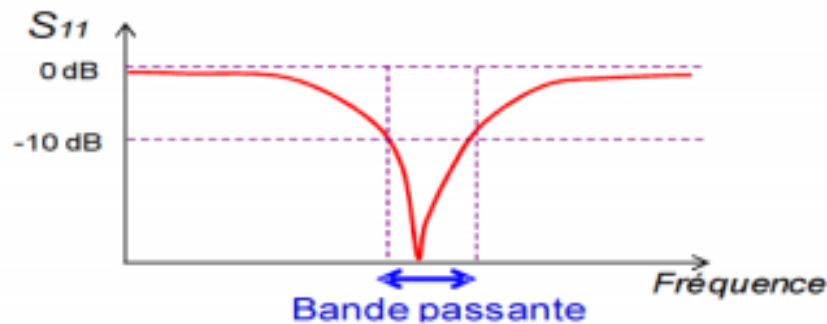


Figure I-6: Bande passante.

I-4-6- Ouverture rayonnante et Rendement

L'ouverture rayonnante d'une antenne est la surface géométrique rayonnante de cette antenne. [10]

La puissance rayonnée par l'antenne est différente de la puissance d'alimentation de l'antenne. On définit alors : [11]

$$\eta = \frac{P}{P_a} \quad (\text{I-4})$$

I-4-7-Coefficient de réflexion et taux d'onde stationnaire (TOS)

Le coefficient de réflexion d'une antenne se définit comme étant le rapport des amplitudes des ondes incidentes sur les ondes réfléchies. Pour une antenne d'impédance Z , reliée à la source par une ligne d'impédance caractéristique Z_s (souvent égale à 50Ω), le coefficient de réflexion peut être défini comme suite : [1]

$$S_{11} = \frac{Z_a - Z_0}{Z_a + Z_0} \quad (\text{I-5})$$

Par définition le ROS est le rapport entre le maximum et le minimum de tension relevés sur la ligne au niveau d'un ventre de tension : [9]

$$ROS = \frac{u_{max}}{u_{min}} = \frac{I_{min}}{I_{max}} \quad (\text{I-6})$$

On peut aussi l'exprimer à partir du coefficient de réflexion :

$$ROS = \frac{1 + S_{11}}{1 - S_{11}} \quad (\text{I-7})$$

I-5-Les types des antennes

Il existe plusieurs types d'antennes selon la géométrie, le gain, la forme du faisceau et la bande passante. On peut les classer comme suite : [12]

I-5-1-Les antennes filaires

Le dipôle est une antenne filaire composé de deux brins conducteurs écartés en directions opposés, la catégorie des antennes filaires regroupe l'ensemble des antennes formées d'une structure de câble conducteur de diamètre faible où l'on considérera des densités linéiques de courant. Les antennes filaires directives existant actuellement sont le plus souvent réalisées à partir du groupement de conducteurs rectilignes, circulaires ou hélicoïdaux. Elles regroupent l'ensemble des antennes formées de câble conducteur de faible diamètre. Les antennes de base sont : les dipôles, les monopôles, les boucles. Exemple antennes de type Yagi, antennes en V ou en losange, rideau d'antennes, cadre, antenne en hélice . . . [13].



Figure I-7: Antenne filaire.



Figure I-8: Antenne Yagi.

I-5-2-Antenne directive

I-5-2-1-Les antennes cornet

Un dispositif très utilisé pour la propagation d'ondes guidées est le guide d'onde rectangulaire. Sa qualité de transmission est excellente. Pour cette raison, il est utilisé en hyperfréquence. Son utilisation est très répandue dans ces gammes fréquentielles. Une antenne cornet est une antenne de forme cylindrique, conique ou pyramidale employée pour des liaisons directes ou comme antenne source pour éclairer un réflecteur parabolique [14].

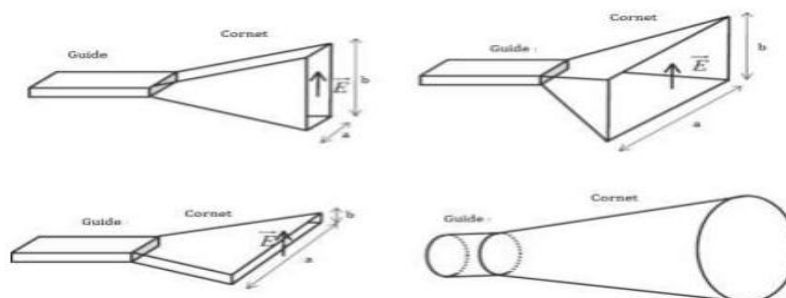


Figure I-9: Les différents types d'antenne cornet.

I-5-2-2-Antenne à transition progressive (Vivaldi)

Les antennes à fente à transition progressive (TSA : Tapered Slot Antenna) constituent une autre catégorie importante d'antennes ULB directives. Ce sont des antennes à deux dimensions présentant une transition à partir d'une ligne ou d'un guide d'onde imprimé [15]. Le profil de ces ouvertures peut prendre différentes formes:

- Antenne Vivaldi à fente conique (Tapered slot Vivaldi antenna).
- Antenne Vivaldi Antipode (Antipodal Vivaldi Antenna).
- Antenne Vivaldi antipodale équilibrée (Balanced Antipodal Vivaldi Antenna).

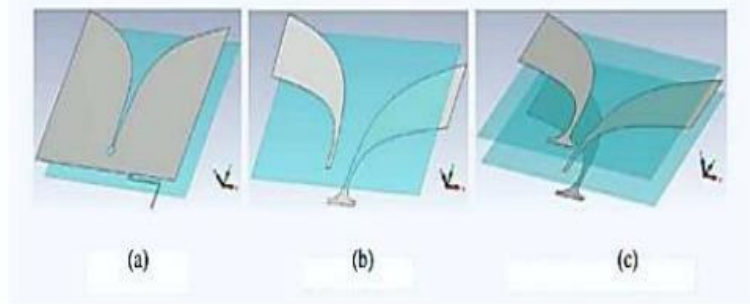


Figure I-10: Trois structures de l'antenne Vivaldi.

Les antennes TSA sont adaptées sur une très large bande passante de 125% à 170%. Leur directivité augmente avec la fréquence et les gains atteints par ces antennes peuvent aller jusqu'à 10 dB selon le type de profil [16].

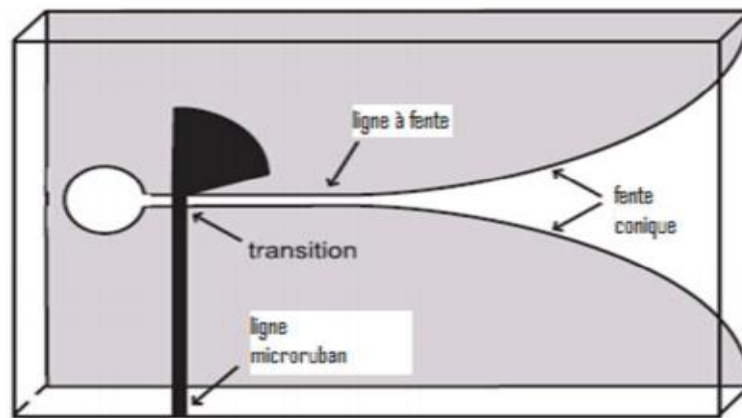


Figure I-11: Antenne Vivaldi.

I-5-3-Les antennes à fente

Les fentes rayonnantes (antennes résonantes) dont l'ouverture généralement rectangulaire ou circulaire est pratiquée dans un plan conducteur et alimentée par une ligne micro ruban. Elles se caractérisent par son développement vertical ou horizontal en forme de cornière, avec des fentes de dimensions et d'emplacements particuliers qui se font en fonction de la fréquence. Ce type de dispositif est utilisé lorsque le rayonnement doit être localisé. Les antennes à fentes sont aujourd'hui largement utilisées dans de nombreuses applications. Par exemple, dans des endroits où la transmission des ondes s'effectue mal, on peut placer un réseau de fentes rayonnantes [17].

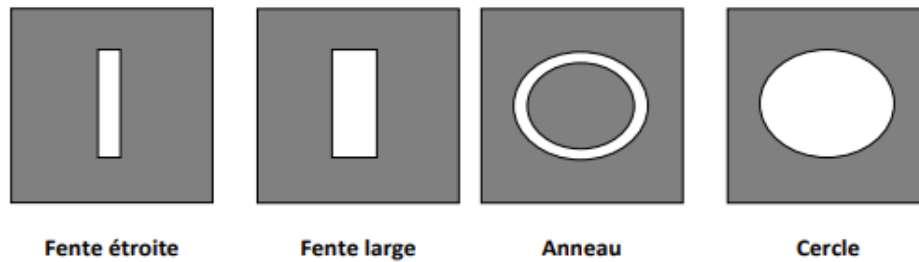


Figure I-12: Antenne à fentes.

I-5-4-Le dipôle demi-onde

L'antenne doublet encore appelée dipôle est constituée d'un conducteur filiforme de longueur l , coupé en son milieu pour l'alimentation par un générateur. Théoriquement la longueur L peut être comprise entre une fraction de à quelques λ . Toutefois, pour une longueur mécanique d'une demi longueur d'onde ($\lambda / 2$), cette antenne présente des caractéristiques particulières: son impédance est de l'ordre de 730hm, mais cette impédance varie un peu avec le diamètre du conducteur [17].

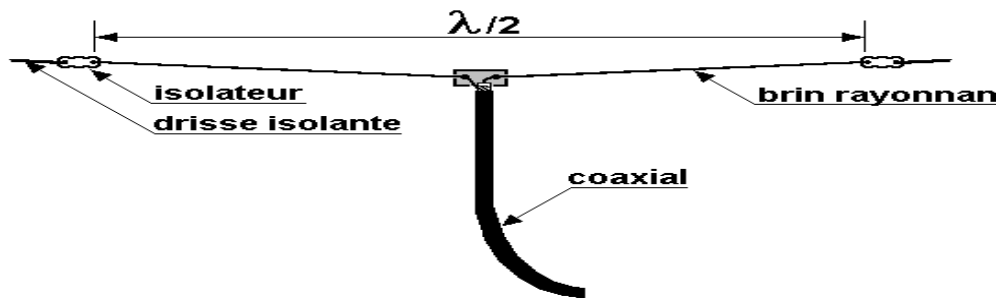


Figure I-13: Le dipôle demi-onde.

I-5-5-Les antennes paraboliques

Les paraboles sont des antennes à projecteurs d'ondes assimilables à des ouvertures rayonnantes de grandes dimensions par rapport à la longueur d'onde [18].

Il est constitué par un cornet dont les propriétés doivent être les suivantes :

- Il doit collecter les micro-ondes concentrées au foyer du réflecteur.
- Il doit détecter un minimum de bruit et de signaux parasites
- Il ne doit pas ajouter au signal reçu de bruit propre.



Figure I-14:Antenne paraboliques.

I-5-6-Antennes omnidirectionnelles

Les antennes omnidirectionnelles sont les plus usuels d'aptitude d'émission par une distribution égale de l'énergie en 360 degrés dans le plan horizontal la puissance de ce type d'antenne peut être pareillement centralisée dans deux sens opposés lorsque la transmission sur le plan vertical [19].



Figure I-15:Antennes omnidirectionnelles.

Le diagramme de rayonnement de ce type d'antenne :

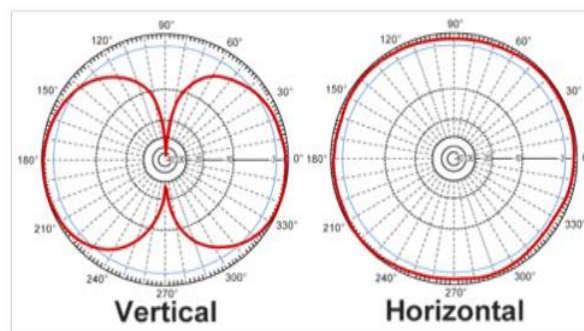


Figure I-16:Les cordonnées cartésiennes d'une antenne omnidirectionnelle vertical et horizontal.

Chapitre I : Généralités sur les antennes.

On peut distinguer deux catégories d'antennes large bandes omnidirectionnelles: les antennes biconiques et les antennes monopoles/ dipôles large bandes.

I-5-6-1- Antenne biconique

L'antenne biconique finie possède une bande passante de plus 100 %, un diagramme de rayonnement omnidirectionnel perpendiculaire à l'axe des cônes et un nul électrique le long de l'axe des cônes. La polarisation est linéaire et un gain maximum typique pour ce type d'antenne est de 4 dB [20].

Le concept de l'antenne biconique est basé sur le fait qu'un dipôle construit à l'aide d'un fil épais offre une bande passante plus grande que celle construit avec un fil. L'antenne biconique peut être analysée comme si la ligne de transmission biconique de l'antenne était évasée jusqu'à l'infini. L'antenne biconique infinie agit comme un guide pour une onde sphérique [15].



Figure I-17:Antenne biconique.

I-5-6-2- Antenne discône

L'antenne discône est une antenne biconique dont un des cônes est remplacé par un plan de masse de dimensions infini par rapport à la longueur d'onde la plus bas [21].



Figure 18:Antenne discône.

I-5-7-Antennes log-périodiques

Les antennes log-périodiques introduites en 1956 par Duhamel et Isabel de l'université de l'Illinois s'appuient sur le concept d'antennes dimensionnées pour toutes les fréquences, mais apportent un caractère périodique plutôt que linéaire aux structures [20].

Le premier concept de conception est que la géométrie de l'antenne peut être définie en utilisant des angles plutôt que la longueur. Le deuxième principe est L'impédance d'entrée de l'antenne indépendante de la fréquence. Il s'agit donc également d'une antenne indépendante de la fréquence. Troisièmement, les propriétés électriques de l'antenne se répètent périodiquement avec le logarithme de la fréquence. Cette répétition périodique des propriétés électriques peut être obtenue à partir de la structure logarithmique de l'antenne [22].

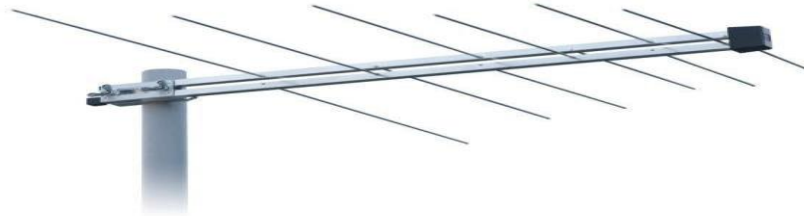


Figure I-19:Antenne log-périodique.

I-5-8-Antennes patch (micro ruban)

Le concept d'antenne imprimée fut pour la première fois imaginé en 1953 par Georges Deschamps. Alors que le premier brevet reprenant ce concept fut déposé en 1956 par Henri Gutton et Georges Boissinot. Il fallut cependant attendre les années 1970 pour voir apparaître la réalisation des premiers prototypes, notamment grâce à l'amélioration des techniques de photo lithogravure du cuivre et de l'or sur substrat diélectrique, ainsi que des progrès dans la modélisation [23].

Terme français établi par l'usage pour désigner l'antenne élémentaire dont le nom anglais est « patch » (« pavé » ou « pastille », en français). On utilise le plus souvent «antenne imprimée» ou « antenne microruban » car les premières antennes imprimées rectangulaires étaient constituées par une partie de ligne microruban rayonnante [24].

I-5-8-1- Description d'une antenne imprimée

L'antenne imprimée est constituée d'une mince couche métallique d'épaisseur t de forme géométrique appropriée (rectangle, cercle, triangle ou d'autres formes plus complexes) formant l'élément rayonnant, déposée sur la face supérieure d'un substrat diélectrique (FR4, Roger4350,...). Un type récent d'antenne dont le développement et l'utilisation sont de plus en plus fréquents [25].

I-5-8-2-Structure d'une antenne imprimée

Elle est composée d'un élément rayonnant qui a une forme géométrique quelconque (rectangle, cercle, carré, ...), spécifiée selon les besoins. L'élément rayonnant est séparé d'un plan réflecteur conducteur par une ou plusieurs couches de substrat diélectrique qui peuvent avoir des permittivités (ϵ_r) égales ou différentes [9].

Les substrats diélectriques ont généralement une faible permittivité ($\epsilon_r \leq 3$) pour faciliter et favoriser le rayonnement, en évitant le confinement des champs dans la cavité comprise entre l'élément imprimé et le plan de masse [9].

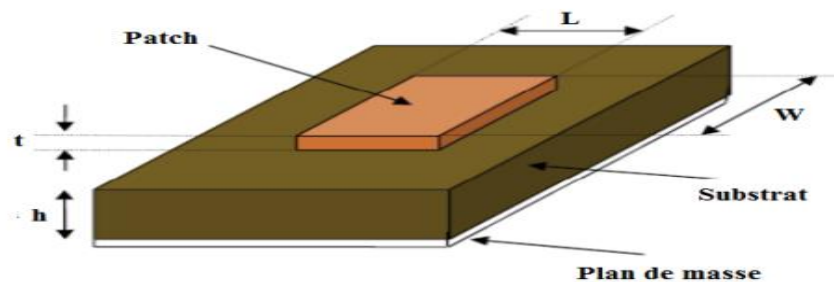


Figure I-20: Présentation d'une antenne imprimée.

L : Longueur du patch.

t : épaisseur du patch.

W : Largeur du patch.

h : épaisseur du substrat.

Les gravures des parties métalliques peuvent prendre des formes très variées en fonction des objectifs fixés pour la répartition du rayonnement dans l'espace. Ceci donne une grande souplesse de conception [26].

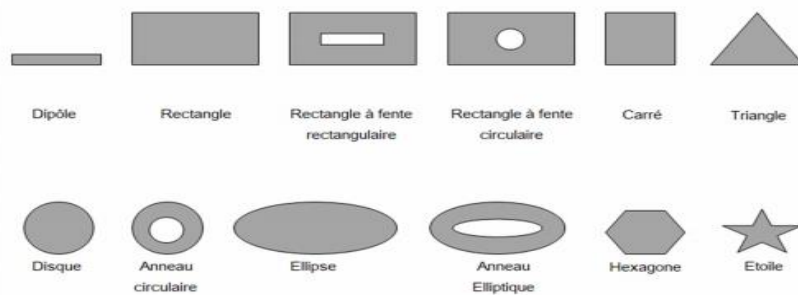


Figure I-21: Différentes formes d'antennes micro ruban.

I-5-8-3-Les paramètres géométriques d'une antenne imprimée

I-5-8-3-1- Largeur du patch

La largeur du patch a un effet mineur sur les fréquences de résonance et sur le diagramme de rayonnement de l'antenne. Par contre, elle joue un rôle pour l'impédance d'entrée de l'antenne et la bande passante à ses résonances : [27]

$$W = \frac{c}{2f} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (\text{I-8})$$

ϵ_r : Permittivité.

f : Représente la fréquence fondamentale de l'antenne.

C : La vitesse de la lumière ($3 \cdot 10^8$ m/s)

I-5-8-3-2- Longueur du patch

La longueur du patch détermine les fréquences de résonance de l'antenne. Il ne faut surtout pas oublier de retrancher la longueur L correspond aux extensions des champs : [27]

$$L = \frac{c}{2f\sqrt{\epsilon_{r,eff}}} \quad (\text{I-9})$$

$\epsilon_{r,eff}$: Permittivité effective donner par :

$$\epsilon_{r,eff} = \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2}\right) + \left(\frac{\epsilon_r - 1}{2}\right) \left(1 + 12 * \left(\frac{h}{W}\right)\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (\text{I-10})$$

La longueur effective du patch :

$$L_{eff} = L + 2\Delta L \quad (\text{I-11})$$

L : longueur du patch

$$\Delta L = 0.421h \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{W}{h}\right) + 0.264}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{W}{h}\right) - 0.8} \quad (\text{I-12})$$

I-5-8-3-3- Choix du substrat

Les substrats exploités dans la conception des antennes imprimées sont nombreux et doivent être compatibles avec le matériau de patch [27].

Dans le cas où le matériau du patch de l'antenne est normal comme le cuivre, la permittivité relative du substrat varie de 1 à 12 [28].

Les substrats exploités dans la conception des antennes patches sont nombreux, Ils doivent être de permittivité relative faible ($\epsilon_r \leq 3$) de façon à permettre le rayonnement, et éviter le confinement des champs, la constante diélectrique du substrat s'étale de 2.2 à 12, et les matériaux les plus couramment utilisés sont des composites à base de téflon ($2 \leq \epsilon_r \leq 3$ et $\tan \delta \approx 10^{-3}$), du polypropylène ($\epsilon_r = 2.18$ et $\tan \delta = 3.10^{-4}$), ainsi que mousses synthétiques contenant beaucoup de minuscules poches d'air ($\epsilon_r = 1.03$ et $\tan \delta \approx 10^{-3}$). [6].

I-5-8-4-Techniques d'alimentation

L'alimentation des antennes patches est l'une des parties les plus importantes dans le processus de la conception. Pour cela, plusieurs techniques ont été considérées dans ce but [29].

I-5-8-4-1-Alimentations par contact

I-5-8-4-1-1- Alimentation par une ligne micro ruban

Dans cette méthode d'alimentation, une ligne micro-ruban (généralement de 50Ω) est connecte directement au bord du patch rayonnant. La longueur de la bande conductrice est plus petite par rapport au patch. Ce genre d'alimentation a l'avantage que l'alimentation peut être gravée sur le même substrat pour fournir une structure plane. C'est la technique la moins coûteuse et la plus simple a réalisé [30].

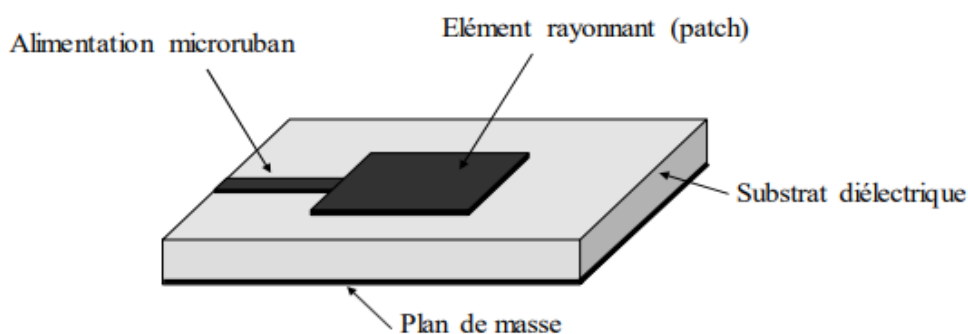


Figure I-22: Antenne imprimée alimentée par ligne micro-ruban.

I-5-8-4-1-2- Alimentation coaxiale directe

L'alimentation des éléments rayonnants peut aussi être effectuée par connexion directe en utilisant une ligne coaxiale. Ce dernier arrive par derrière le substrat et joint la plaque en traversant le plan de masse et le diélectrique. Le conducteur central de la ligne coaxiale est

connecté en un point situé sur l'axe de symétrie de l'élément rayonnant, plus ou moins près du bord, afin de réaliser l'adaptation, tandis que le conducteur extérieur est soudé au plan de masse [26].

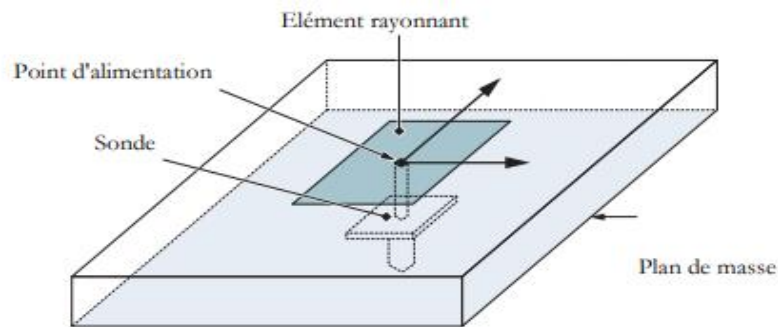


Figure I-23:Alimentation coaxiale directe.

I-5-8-4-2-Alimentations par proximité

I-5-8-4-2-1-Alimentation par couplage électromagnétique

Ce type d'alimentation se fait par couplage électromagnétique d'une ligne micro rubana l'élément rayonnant .Les avantages principaux de cette alimentation sont l'élimination de rayonnement parasite et l'élargissement de la bande passante et son inconvénient réside dans la difficulté de la mise en œuvre [29].

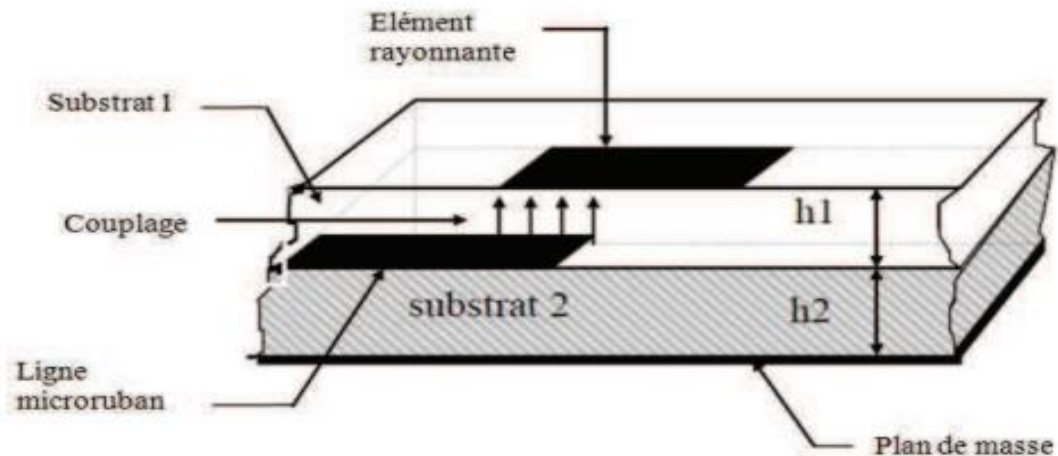


Figure I-24:Alimentation par couplage électromagnétique.

I-5-8-4-2-2-Alimentation par couplage à ouverture (fente) dans le plan de masse:

L'élément rayonnant et la ligne micro-ruban d'alimentation sont placés de part et d'autre du plan de masse. La fente de couplage dans le plan de masse permet la circulation de l'énergie entre la ligne d'alimentation et l'élément rayonnant. Cette méthode nécessite un positionnement précis de la fente [29].

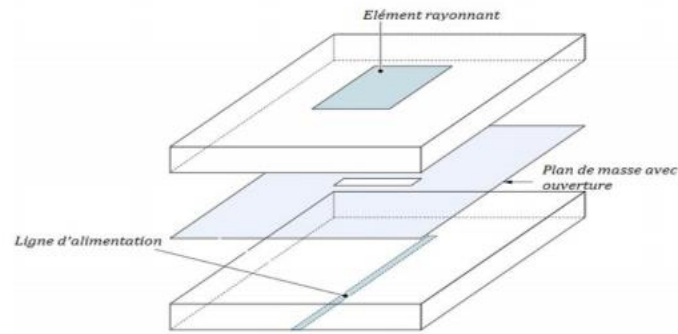


Figure I-25:Alimentation par couplage à ouverture (fente) dans le plan de masse.

I-5-9- Techniques d'adaptation des antennes patch

I-5-9-1- Adaptation par ligne quart d'onde

Une ligne « quart d'onde » permet de réaliser une adaptation d'impédance en insérant un élément d'adaptation en série entre 2 éléments d'impédances différentes à condition qu'elles soient purement réelles [31].

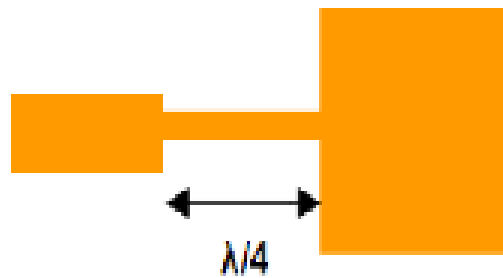


Figure I-26:Adaptation par ligne quart d'onde.

I-5-9-2-Adaptation par STUB

Un stub ramène en parallèle sur la charge une certaine admittance pure qui dépend de son impédance caractéristique et de sa longueur. Cette admittance s'ajoute donc à celle de la charge. Si elle est convenablement calculée, elle permet ainsi d'annuler la partie imaginaire présentée par la charge [31].

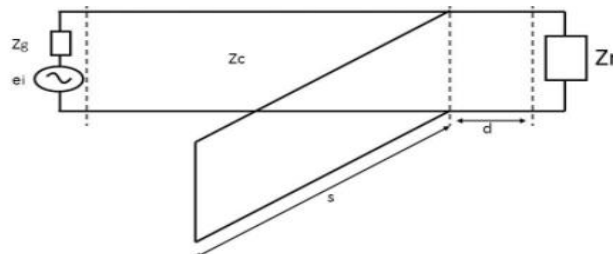


Figure I-27:Adaptation par STUB.

I-5-9-3- Adaptation avec encoche

On utilise des encoches pour adapter l'antenne, donc il suffit de modifier la géométrie du patch [31].

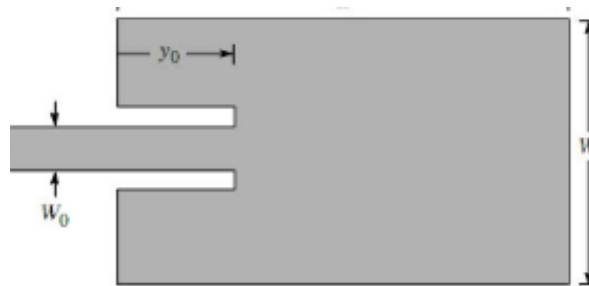


Figure I-28: Adaptation avec encoche.

I-5-10- Avantages et inconvénients

I-5-10-1- Avantages des antennes imprimées

Les antennes imprimées présentent de nombreux avantages et leurs applications couvrent le large domaine de fréquence : 100 MHz à 100 GHz.

Certains avantages sont les suivants : [9]

- Faible poids, encombrement réduite.
- Faible coût de fabrication.
- Polarisation linéaire et circulaire pour les télécommunications.
- Réseaux d'alimentation et d'adaptation fabriqués simultanément avec l'antenne

I-5-10-2- Inconvénients des antennes imprimées

Certains inconvénients sont les suivants : [32]

- Bande passante très étroite.
- Gain faible dû aux pertes.
- Rendement faible (concentration des champs sur les parois métallique).
- Effet de couplage parasite entre les éléments
- Pureté polarisation difficile à obtenir Puissance supportées limitée.
- Rayonnement parasite de l'alimentation.

I-5-11- Applications des antennes patch

Pour les conceptions pratiques, les avantages des antennes patch l'emportent de loin sur leur inconvénient. Il existe plusieurs systèmes d'application qui exigent une bonne directivité pour lequel ils furent développés, Parmi ces applications on cite : [6]

- Les télécommunications par satellites.
- La commande et contrôle.

Chapitre I : Généralités sur les antennes.

- La télémétrie par missile.
- Les équipements portatifs.
- Les éléments d'alimentation dans les antennes complexes.
- Les antennes d'émission utilisées en médecine.
- Les récepteurs satellite de navigation.

I-6-Conclusion :

Ce chapitre a fait l'objet des généralités sur les antennes imprimées, leurs caractéristiques, leurs avantages et inconvénients ainsi que leurs techniques d'alimentation les plus utilisées. L'étude des paramètres d'une antenne est importante car cela permet de concevoir une antenne en fonction de son utilisation. Dans le chapitre suivant nous allons-nous intéresser à une présentation générale des méta-matériaux qui sont récemment utilisés et appliqués pour miniaturiser la structure de l'antenne et permettent d'acquérir de meilleures performances.

Chapitre I : Généralités sur les antennes.

Références bibliographiques

- [1]- Constantine A. Balanis, "Antenna Theory Analysis and Design", 2005, John Wiley & Sons, INC.
- [2]- <http://www.louis-armand-mulhouse.eu/btsse/acrobat-modules/ondes-antennes.pdf>
- [3]- A. Chami « Miniaturisation Et Intégration D'antennes Imprimées Pour Systèmes ULB Pulsés » Université Nice Sophia Antipolis. France. 2011.
- [4]- AMEZIANE Djamel « Etude et optimisation d'antennes fractales plaquées », Magister télécom, 20 mai 2009.
- [5]- G. Kossiavas, R. Staraj, C. Luxey, A. Papiernik, "Antennes imprimées- Bases et principes", Technique de l'ingénieur, Référence E3310, 05/ 2007.
- [6]- GUENNACH Mohamed, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah Faculté des Sciences et Techniques Fès Département Génie Electrique "Conception d'une antenne "PIFA" Multi-bandes pour applications sans fil"
- [7]- Ulaby, F.T, «Fundamentals of Applied Electromagnetic»Prentice Hall, 1999.
- [8]- BOUDGHENE StambouliHadjer. BOUNEBBAB Sabiha, « Étude et Conception d'Antennes à Résonateurs Diélectriques », mémoire de fin d'étude, université de Tlemcen, le 22 /06/ 2017
- [9]- SalimaAzzazRahmani et Nouredine BoukliHacene, "Analyse des antennes imprimées en anneaux concentriques : Etude et simulation des antennes imprimées fonctionnant en multibandes", Mémoire fin d'étude , université Tlemcen avril 2012.
- [10]- CHORFI Hamid, « conception d'un nouveau système d'antenne réseau conforme en onde millimétrique », Mémoire Bibliothèque du Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue, Université du Québec en Abitibi-TEMISCAMINGUE, 2012.
- [11]- C.A.Balanis, Antenna theory analysis and design, 2eme edition John Wiley and Sons, 1997.
- [12]- D. Kajfez, and P. Guillon, Dielectric resonators, Artech House, Norwood, MA, 1986.
- [13]- Alain.MERITET, OPTIMISATION DES ANTENNES FILAIRES. Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique. Septembre 1980, Domaine de Voluveau Rocquencourt Bp.105 78150 Le Chesnay France.
- [14]- Ahmed Benomar. "Etude des antennes à Résonateurs Diélectriques. Application aux Réseaux de Télécommunication".Thèse de Doctorat . Soutenue le 15/11/2013 l'Université européenne de Bretagne.

Chapitre I : Généralités sur les antennes.

- [15]- L.BABOUR « Etude et conception d'antennes ultra large bande miniaturisées en impulsionnel » thèse de doctorat, juin 2009, l'Institut Polytechnique de Grenoble.
- [16]- J.NEVERLY « Design of Vivaldi antenna » these de doctorat, 2007 in Czech Technical University in Prague Faculty of Electrical Engineering.
- [17]- <http://www.scribd.com/doc/49186784/Les-antennes-et-les-lignes-de-transmissions>
- [18]- J.R. MURAT, Eléments de construction, Edition de l'E.P.M, Décembre 1980
- [19]- CHOUICHA MOHAMED.HAISSOUNE LAHCEN, « Etude de l'influence des différents matériaux sur les performances d'une antenne multicouche fort gain », Mémoire de fin d'étude, Université 8Mai 1945 – Guelma, Juillet 2019.
- [20]- B.MARTIN « Etude et conception d'un étage de mise en forme d'impulsions ultra-large-bande de forte puissance » thèse de doctorat, octobre 2008, Université de Limoges.
- [21]- N. P. Agrawal, G. Kumar, K.P. Ray, "New wideband monopole antennas", IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Vol.1, pp. 248-251, July 1997.
- [22]- N. FARTINO « conception et caractérisation d'antenne imprimées pour les systèmes ULB impulsionnels » thèse de doctorat, université de Nice-Sophia Antipolis, 2006.
- [23]- K. R. Carver and J. W. Mink, "Microstrip Antenna Technology," IEEE Trans. Antennas Propagat. ,Vol. AP-29, No. 1, pp. 2–24, January 1981.
- [24]- Abia. B,"Contribution à l'étude des antennes microstrip Supraconducteur de forme triangulaire", Mémoire de Magistère en Micro-ondes. Université Mentouri. Constantine 2010.
- [25]- Odile Picon et coll « LES ANTENNES Théorie, conception et application » Préface de Maurice Bellanger, Paris, 2009.
- [26]- D. Aissaoui, " Analyse à l'aide de modèles équivalents d'antennes imprimées alimentées par ligne adaptées ", Mémoire de Magister, Université de Abou Baker BelkaidTlemcen , 03/2007.
- [27]- E. O. Hammerstad," Equations for Microstrip circuit design ", proceeding of the fifth European microwave conference, pp 268-272, September 1975.
- [28]- S. Courreges, " Les matériaux ferroélectriques et supraconducteurs appliqués à la conception de dispositifs micro-ondes" Thèse de Doctorat, Université de Limoges, 2007.
- [29]- A. Boufrioua, "Contribution à l'étude des antennes à patch résistif et parfaitement conducteur tenant compte d'une source d'excitation et des nouvelles formes asymptotiques de courant", Thèse de Doctorat, Université Mentouri, Constantine, 2006.
- [30]- AISSAOUI Djelloul, « ETUDE ET CONCEPTION D'ANTENNES FRACTALES POUR DES APPLICATIONS ULTRA-LARGE-BANDE », thèse, Université de Tlemcen, le 08 Janvier 2019.

Chapitre I : Généralités sur les antennes.

[31]- Fouad Benamrane, « Conception d'une antenne patch microstrip », Université Sidi Mohamed Ben Abdellah (Fès) MAROC - Master télécoms hyperfréquence 2011.

[32]- A. Boufrioua, "Contribution à l'étude des antennes à patch résistif et parfaitement conducteur tenant compte d'une source d'excitation et des nouvelles formes asymptotiques de courant", Thèse de Doctorat, Université Mentouri, Constantine, 2006.

Chapitre II :
Présentation des Métamatériaux
(MMTs)

II-1-Introduction

La science et la technologie ont une soif insatiable des matériaux meilleurs et plus performants et qui peuvent promettre des perspectives sans limites. De par leurs caractéristiques électromagnétiques intéressantes et peu communes, les méta-matériaux sont aujourd'hui largement utilisés dans la conception des antennes, en particulier des antennes micro-rubans. Ce chapitre est consacré à une présentation générale des méta-matériaux. Nous présentons, en premier lieu, la définition ainsi qu'un bref historique des méta-matériaux. Nous allons par la suite exposer les différentes applications des MMT dans plusieurs domaines. Enfin nous donnons l'approche qui permettra l'extraction des paramètres effectifs de ces milieux à partir des coefficients de réflexion et de transmission. Ces deux coefficients sont obtenus à partir des simulations numériques.

II-2-Historique

Avant même l'apparition du terme méta-matériaux les hommes ont cherché à dépasser les propriétés des matériaux classiques. Comme en témoigne la réalisation de la coupe de Lycurgus, dont le verre présente des inclusions de nanoparticules d'or et d'argent, qui entraînent un changement de couleur de la coupe, selon qu'elle est observée en lumière transmise ou réfléchie [1]



Figure II-1: Coupe de Lycurgus en lumière réfléchie à gauche, en lumière transmise à droite.

Un premier pas vers les méta-matériaux au sens contemporain du terme est réalisé par Victor Veselago en 1967 [2] avec la publication d'une étude théorique sur la propagation d'une onde électromagnétique dans un milieu matériel en fonction des valeurs prises par la permittivité diélectrique et la perméabilité magnétique relatives du milieu [1].

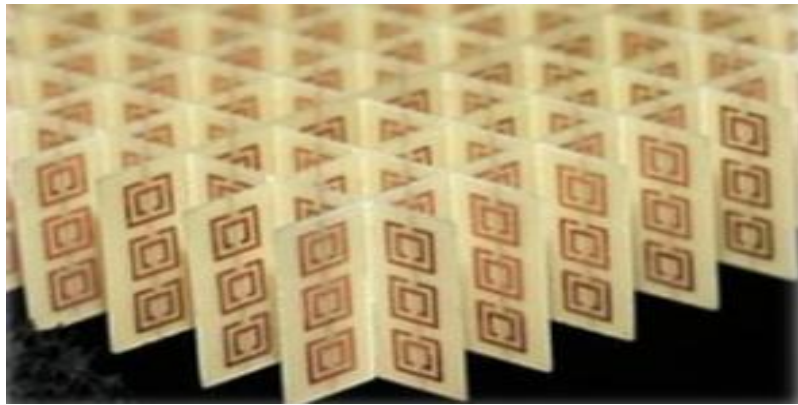


Figure II-2: Photographie du premier méta-matériau à indice de réfraction négatif réalisé par l'équipe de David Smith en 2000.

Ce n'est qu'en 1999 que l'équipe de John Pendry [3] va changer cet état de fait en montrant dans un article de physique théorique qu'il est possible de générer une réponse magnétique à partir d'objets amagnétiques. La solution proposée est un milieu composé de résonateurs conducteurs (circuits RLC), sensibles au champ électrique, ayant une forme d'anneaux ouverts (« split-ring resonators » - SRR) de taille inférieure à la longueur d'onde d'utilisation [1].

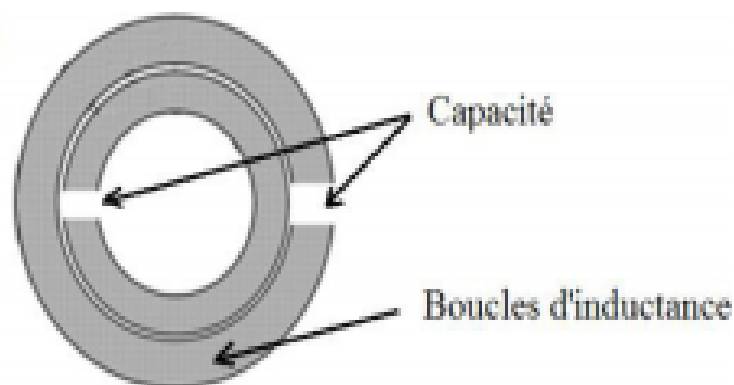


Figure II-3: Schéma du premier SRR imaginé par John Pendry [3].

Ce premier méta-matériau, fonctionnant dans le domaine des micro-ondes, permet de vérifier les prédictions de Viktor Veselago et de mettre en évidence le phénomène de réfraction négative.

II-3-Définition des Méta-matériaux

Les méta-matériaux (MMTs) sont définis comme des matériaux artificiels qui présentent des propriétés électromagnétiques qu'on ne retrouve pas dans les matériaux nature. La principale propriété est que ces méta-matériaux manifestent un indice de réfraction négatif (se traduisant par une permittivité $\epsilon < 0$ et une perméabilité $\mu < 0$) [4].

Chapitre II : Présentation des Métamatériaux

La permittivité ϵ et la perméabilité μ sont reliés à l'indice réfraction par la relation suivante [5] :

$$n = \sqrt{\epsilon_r \mu_r} \quad (\text{II-1})$$

Grâce à l'indice de réfraction on peut ordonner les matériaux suivant une nouvelle classification, elle est basée sur les différentes valeurs de la permittivité ϵ et de la perméabilité μ . Il existe quatre combinaisons possibles de couple (ϵ, μ) : (+, +), (+,-), (-, +), (-, -), elles sont illustrées dans le diagramme $(\epsilon-\mu)$ [5].

II-4- Classification des Méta-matériaux

Il existe quatre catégories de matériaux, selon le signe de leur permittivité et perméabilité, comme indiqué dans la figure 32.

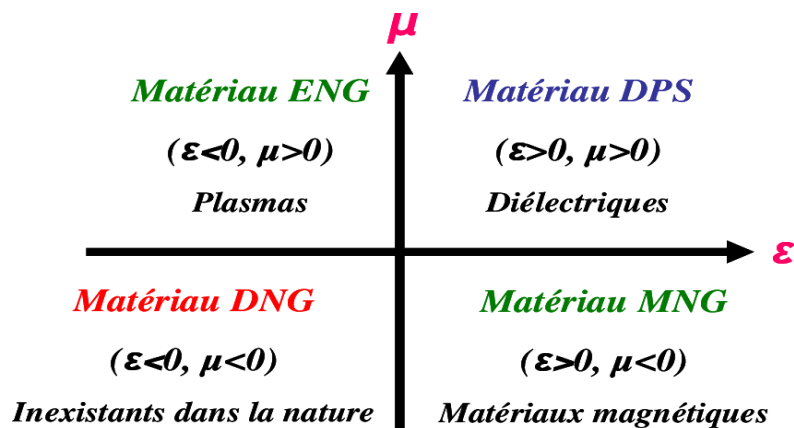


Figure II-4: Classement des matériaux en fonction du signe de leur permittivité ϵ et perméabilité μ .

II-4-1- Les Matériaux doublement positifs (DPS) ($\epsilon > 0$ et $\mu > 0$)

Il s'agit des matériaux à double positivité ou DPS (Double Positive) matériels : l'onde électromagnétique est propagatrice. Cette classe représente les matériaux classiques comme les diélectriques [5].

II-4-2- Les Matériaux doublement négatifs (DNG) ($\epsilon < 0$ et $\mu < 0$)

Pour obtenir un milieu présentant à la fois une permittivité, et une perméabilité négative, une structure composite alternant les RAF (Résonateur en Anneau Fendu) et les fils conducteurs a été proposée [6].

Ce milieu présentait alors un indice de réfraction négatif au voisinage de la fréquence de résonance des Résonateur en Anneau Fendu. La démonstration expérimentale d'un tel matériau a été réalisée pour la première fois par Smith et al dans [7]. Des mesures en transmission ont été effectuées sur le réseau de fils métalliques, le RAF, puis sur la structure périodique formée par l'association des deux réseaux. Leurs mesures ont montré l'existence d'une bande de fréquence où la permittivité effective et la perméabilité sont tous deux négatifs [6].

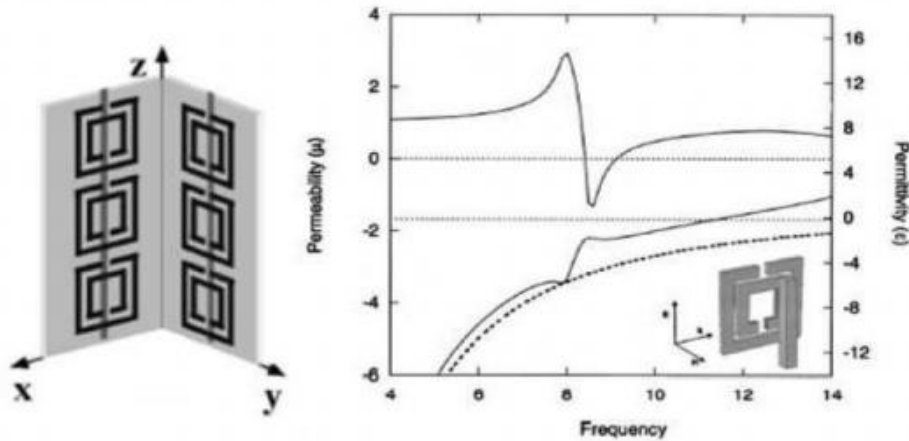


Figure II-5:(a) cellule DNG-"SRR+Tige",(b) perméabilité et permittivité de la cellule "SRR+Tige".[8]

II-4-3-Les matériaux à perméabilité négative (MNG) ($\epsilon > 0$ et $\mu < 0$)

L'onde est évanescente suivant z^{\rightarrow} , la puissance active est nulle et la puissance réactive est suivante z^{\rightarrow} . **SRR** (Swiss-Roll) est une structure artificielle à résonance magnétique sans avoir recours à un matériau magnétique, chaque rouleau suisse individuel est composé d'un cylindre de rayon $R = 8$ mm sur lequel est enroulée une spirale conductrice isolée de N tours et de longueur 200 mm. L'espacement entre deux tours consécutifs est noté par d_c . Sans contact électrique entre les couches. Quand un champ magnétique alternatif est appliqué selon l'axe du cylindre, un courant est induit dans le conducteur. La capacité créée complétée donc le circuit résonant et circuler le courant. La structure avait un résonant dans le domaine des radiofréquences, car l'amplitude générée était significative. L'inégalité $\lambda \gg R$ étant respectée, le milieu constitué d'un réseau de rouleaux suisses pouvait donc être considéré comme un milieu homogène [6].

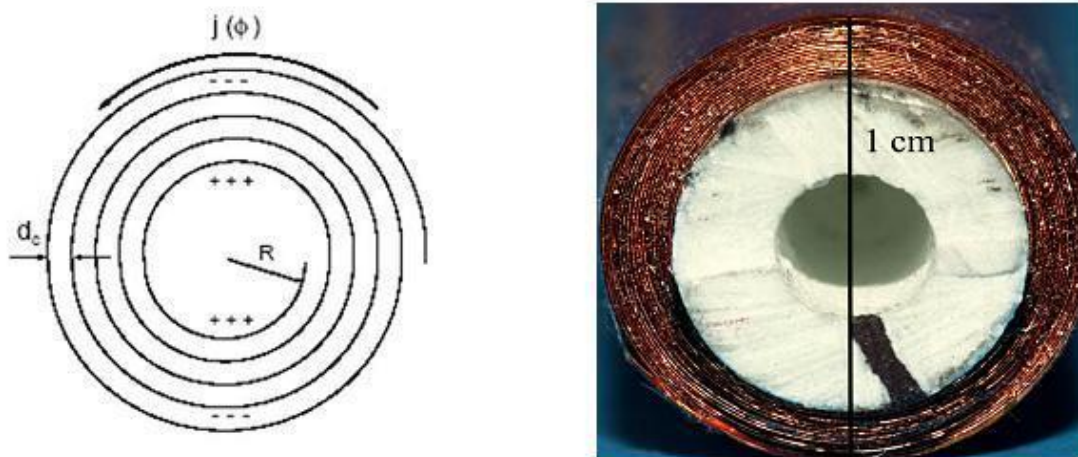


Figure II-6:La structure rouleau de suisse.

Chapitre II : Présentation des Métamatériaux

- La relation de la perméabilité effective est donnée donc par : [6]

$$\mu_{eff} = 1 - \frac{F}{1 + \frac{2\sigma_i}{\omega R \mu_0 (N-1)} - \frac{dC_0^2}{2\pi^2 \omega^2 R^3 (N-1)}} \quad (\text{II-2})$$

C_0 : vitesse de la lumière dans le vide.

ω : pulsation angulaire.

σ : feuille spirale à une conductivité.

ϵ : permittivité d'un l'isolant entre les couches conductrices.

μ_0 : La perméabilité du vide.

F : taux de remplissage de matériau qui magnétiquement actif.

- La perméabilité effective peut donc s'écrire sous la forme suivante : [5]

$$\mu_{eff} = 1 - \frac{F\omega^2}{\omega^2 - \omega_0^2 + i\gamma\omega} \quad (\text{II-3})$$

- La pulsation de résonance est donnée par :

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{dC_0}{2\pi^2 R^2 (N-1)}} \quad (\text{II-4})$$

- L'amortissement de la résonance est donné par le facteur :

$$\tau = \frac{2\sigma}{\omega R \mu_0 (N-1)} \quad (\text{II-5})$$

II-4-4-Les matériaux à permittivité négative (ENG) ($\epsilon < 0$ $\mu > 0$)

La structure avec un $\epsilon < 0$ décrit par Pendry se compose d'une matrice carrée des fils métalliques parallèles infiniment minces et longs incorporés dans le milieu diélectrique [9].

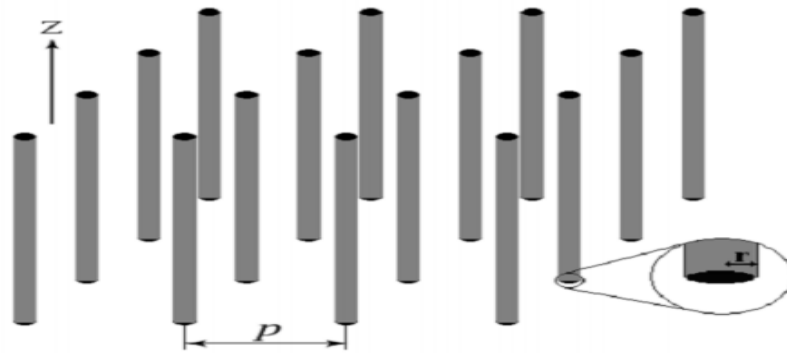


Figure II-7: Métamatériaux ENG formé par un réseau de tige métallique [9].

Cette structure a une taille moyenne de p cellule beaucoup plus petite que la longueur d'onde guidée ($P \ll \lambda_g$), c'est une structure effectivement homogène. Si l'excitation de \vec{E} champ électrique est parallèle à l'axe des fils, on aura un courant induit le long de ces fils, en plus des moments dipolaires équivalents sont générés.

$$\epsilon_{eff} = 1 - \frac{\omega_{pe}^2}{\omega^2 + i\omega\omega_c} \quad (\text{II-6})$$

ω_{pe} : La pulsation du plasma électrique.

ω_c : La pulsation de collision.

Sachant que la fréquence plasma électrique s'écrit sous la forme suivante :

$$\omega_{pe}^2 = \frac{pe^2}{\epsilon_0 m_{eff}} \quad (\text{II-7})$$

p : La densité des électrons.

e : La charge des électrons.

m_{eff} : La masse effective des électrons.

III-5-Extraction de paramètres effectifs

La procédure classique pour effectuer l'extraction des paramètres effectifs est connue sous le nom de méthode de Nicolson-Ross-Weir (NRW) qui est largement utilisée dans la caractérisation des matériaux [10] [11]. Cette méthode est basée sur l'inversion des formules de Fresnel des coefficients de réflexion et transmission d'un matériau d'épaisseur d (figure II-8). Elle a été appliquée initialement pour les méta matériaux isotropes en incidence normale [11] [13], elle s'est élargie ensuite pour les méta-matériaux bianisotropiques, et en incidence optique [13].

Dans un premier temps, l'impédance d'onde et l'indice de réfraction sont calculés, la permittivité et la perméabilité effectives sont ensuite déduites.

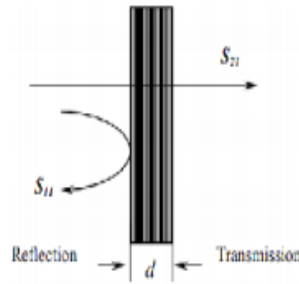


Figure II-8 : Coefficients de réflexion et de transmission à travers un matériau homogène.

Théorie de la méthode

La méthode d'inversion est basée sur l'idée de modéliser le méta-matériau illuminé par une onde plane incidente par un matériau homogène isotrope d'épaisseur d . Elle consiste à calculer la permittivité effective et la perméabilité effective à partir des coefficients de réflexion et de transmission. Ces deux coefficients sont obtenus à partir des simulations numériques. Cette méthode d'inversion peut aussi être appliquée pour la caractérisation expérimentale de méta-matériaux quand les différents coefficients de la matrice S sont connus. Les coefficients de transmission et de réflexion des ondes électromagnétique à travers un matériau homogène d'épaisseur d sont donnés en termes d'indice de réfraction n et d'impédance z du matériau par les relations suivantes [14]

$$t'^{-1} = [\cos(nkd) - \frac{i}{2} \left(z + \frac{1}{z} \right) \sin(nkd)] \quad (\text{II-8})$$

$$\frac{T}{t'} = -\frac{1}{2} i \left(z - \frac{1}{z} \right) \sin(nkd) \quad (\text{II-9})$$

Avec $t' = t \exp(jkd)$ est le coefficient de transmission normalisé. d est l'épaisseur du matériau, k représente le vecteur d'onde dans le vide de l'onde plane incidente.

À une fréquence donnée, n'importe quel matériau présente généralement un indice de réfraction n , que le matériau soit continu ou non. Tandis qu'il n'est généralement pas possible d'attribuer une impédance z à un matériau non-continu, sauf dans le cas où la longueur d'onde dans le matériau est largement supérieure aux différentes dimensions des éléments constituant le milieu. Dans notre cas, cette condition de grande longueur d'onde est respectée car nous travaillons avec des dimensions géométriques très faibles devant la longueur d'onde.

Les équations (II-8) et (II-9) sont inversés, et les relations de z et n sont données par :

$$z = \pm \sqrt{\frac{(1+r)^2 - t'^2}{(1-r)^2 - t'^2}} \quad (\text{II-10})$$

$$\cos(nkd) = \left[\frac{1}{2t'} \mathbf{1} - (r^2 - t'^2) \right] \quad (\text{II-11})$$

Chapitre II : Présentation des Métamatériaux

Le choix du signe devant la racine carré de z est donné par la condition de passivité du milieu qui exige que la partie réelle de l'impédance soit positive $\text{Re}(z) > 0$.

Vu que l'indice de réfraction n est complexe, ses parties réelle et imaginaire sont données par

$$\text{Im} = \pm \text{Im} \left[\cos^{-1} \left(\frac{1}{2t'} [1 - (r^2 - t'^2)] \right) \right] \quad (\text{II-12})$$
$$\text{Re} = \pm \text{Re} \frac{1}{kd} \left[\cos^{-1} \left(\frac{1}{2t'} [1 - (r^2 - t'^2)] \right) \right] \quad (\text{II-13})$$

Où m un entier.

Grâce à l'argument physique qui, avec la convention $\exp(-j\omega t)$ se résume à $\text{Im}(n) > 0$, pour que l'amplitude de l'onde décroît à l'intérieur de la structure, on peut lever l'ambiguïté sur le signe de l'équation (). En revanche, Le choix de l'entier μ est plus subtil et peut mener à des ambiguïtés dues au choix de la branche à retenir de la fonction arc cos prise dans le plan complexe. Ces ambiguïtés peuvent conduire à l'attribution d'un indice négatif quel que soit le matériau. Quand l'épaisseur du matériau d est grande, ces branches peuvent se trouver arbitrairement l'une près de l'autre, ce qui rend le choix de la branche correcte difficile dans le cas des matériaux dispersifs. Pour cette raison des meilleurs résultats sont obtenus pour un matériau qui possède une petite épaisseur comme généralement connu pour l'analyse des matériaux continus [14].

La permittivité ϵ et la perméabilité μ peuvent être exprimées à partir des relations suivantes :

$$\epsilon = n/z$$

$$\mu = nz$$

Ces deux relations permettent de donner une interprétation directe du matériau. Les paramètres n et z , et donc, ϵ et μ sont des fonctions complexes dispersives qui dépendent de la fréquence et doivent satisfaire certaines conditions basées sur la causalité.

II-6-Applications des méta-matériaux

Le concept de méta-matériau est de proposer des applications qui permettraient d'utiliser les méta-matériaux dans des dispositifs microondes réels qui auraient alors des performances meilleures que les dispositifs micro-ondes employant des matériaux conventionnels.

II-6-1-Cape d'invisibilité

La fabrication de la première cape d'invisibilité en micro-onde a été développée par John Pendry en 2006. Il a proposé un méta-matériau dont les champs électromagnétiques peuvent être contrôlés et manipulés. Cette cape d'invisibilité détourne les ondes centimétriques ou micro-ondes, cette propriété résulte de la présence de mini circuits de taille inférieure à la longueur d'onde et de l'architecture en anneaux concentriques [15].



Figure II-9: Cape d'invisibilité de J. Pendry [10].

II-6-2- Lentilles parfaites

L'avènement des méta-matériaux a relancé l'idée de super lentilles pouvant permettre de résoudre des détails inférieurs à la longueur d'onde et donc observer, grâce à un rayonnement électromagnétique visible, des objets nanométriques. L'idée développée théoriquement par Pendry [1] est de focaliser le champ lointain, de transporter et d'amplifier la partie évanescente du champ en utilisant une lentille plane d'indice de réfraction égale à -1.

La résolution des lentilles d'indice négatif ne serait donc plus limitée par la longueur d'onde et elles permettraient d'observer des détails inaccessibles. Pour cette raison, Pendry donne à ces matériaux le nom de « lentilles Parfaites ».

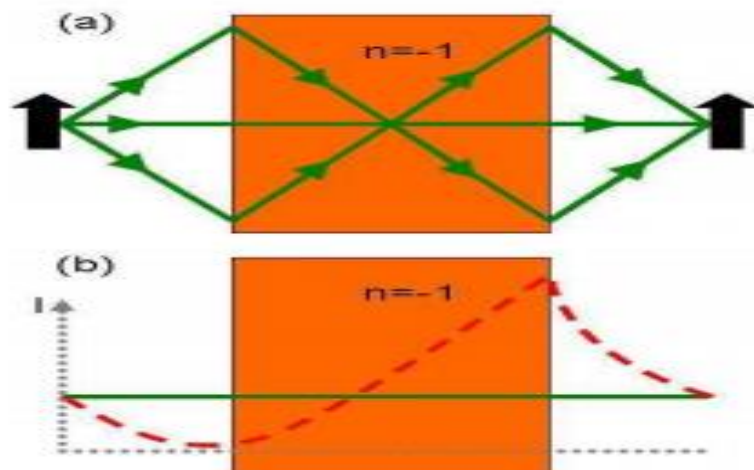


Figure II-10:(a) Lentille parfaite de Pendry d'indice de réfraction négatif. (b) Lentille parfaite de Smith d'indice de réfraction négatif [1].

II-6-3-Miniaturisation

La miniaturisation d'une antenne résulte d'une action de réduction de la taille de l'antenne afin de satisfaire des critères surfacique et volumique.

Chapitre II : Présentation des Métamatériaux

La miniaturisation d'une antenne est basée sur les courants qui circulent sur cette antenne, C'est en jouant sur ces courants, ou plus précisément sur le trajet, la vitesse ou la réflexion de ces courants qu'une antenne va pouvoir être miniaturisée [16].

II-6-4- Applications liées aux antennes

Les antennes constituent un maillon très important du segment radiofréquence. Depuis l'apparition pratique des Méta-matériaux en 2001, les chercheurs ont proposé des structures d'antennes basées sur des motifs Méta-matériaux et ceci dans le but d'améliorer ou de rendre configurable les performances par exemple: la taille, la fréquence de résonance, la bande passante, le gain, la polarisation et les diagrammes de rayonnement [17].

La figure III-11 montre un méta-matériau placé en dessus d'une antenne patch :

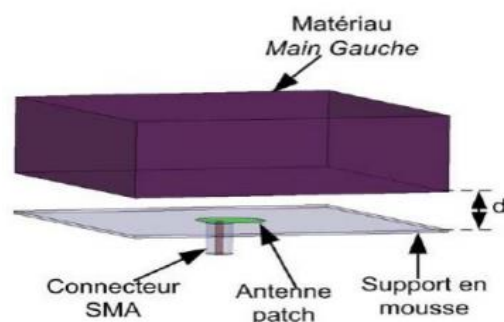


Figure II-11: Schéma du dispositif où le méta-matériau Main.

II-7-Conclusion

Nous avons abordé dans ce chapitre des généralités sur les méta-matériaux, leurs caractéristiques de permittivité et de perméabilité négative qui les distinguent des matériaux ordinaires disponibles dans la nature. Enfin nous avons décrit l'approche qui permet le calcul des paramètres effectifs des éléments qui constituent le MMT. Dans le chapitre suivant, nous allons-nous intéresser à l'application des méta-matériaux pour la miniaturisation d'une antenne patch. Les structures seront conçues et simulées en utilisant le logiciel de conception CST-MWS.

Chapitre II : Présentation des Métamatériaux

Références bibliographiques

- [1]- Christophe COUTANT, « Synthèse, assemblage et caractérisation de matériaux plasmoniques pour une application aux métamatériaux », Thèse de doctorat, Université de BORDEAUX, le 16 Décembre 2014.
- [2]- V. G. Veselago, “The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ϵ and μ ,” Sov. Phys. USPEKHI, vol. 10, no. 4, pp. 509–513, 1968.
- [3]- C. F. Bohren and J. Huffman, Absorption and Scattering of Light by Small Particles. Wiley-VCH, 1983.
- [4]-Hafedh Ben IBRAHIM GAHA, Analyse et Conception des Antennes Fractales Applications aux Télécommunications Large Bande, thèse de doctorat DE L’INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE TOULOUSE (FRANCE) ET DE DOCTEUR DE L’ECOLE NATIONALE D’INGENIEURS DE TUNIS DE L’UNIVERSITE TUNIS ELMANAR (TUNISIE), Juillet 2007.
- [5]- Sidhoumimane.SebbaneNadjima Ikram, « Miniaturisation d'une Antenne Micro-ruban par l'utilisation des Méta-matériaux », mémoire de fin d'étude, université de Tlemcen, le 30/09/2020.
- [6]- BERRIAH AMIN.BELGUIDOUM DJABER, « Etude et développement de prototypes d'antennes souples à base de Métamatériaux », mémoire de fin d'étude, université de Tlemcen, le 15 juin 2016.
- [7]- Mélusine Pigeon, « Etude et réalisation d'antennes ultra-compactes à base des métamatériaux Application à la réalisation d'une antenne GNSS miniature », thèse doctorat de l'Université de TOULOUSE, 28 novembre 2011.
- [8]- Hicham LALJ, « Conception et caractérisation de filtres et systèmes antennaires reconfigurables chargés par des résonateurs Métamatériauxsub-longueurs d'onde » thèse doctorat, INSA de Rennes 2014.
- [9]- DjerdaAsma.Hamdani Imane, « Conception d'antennes planaires à base de métamateriaux et son application pour la 5ème generation-5G », mémoire de fin d'étude, université de Tlencen, le 22 Septembre 2020.
- [10]-A. M. Nicolson et G. F. Ross, « Measurement of the intrinsic properties of materials by time domain techniques ». IEEE Trans. Instr. Measurements, vol. 19, pages 377–382, 1970.
- [11]-W. B. Weir, « Automatic measurement of complex dielectric constant and permeability at microwave frequencies ». Proceedings of the IEEE, vol. 62, pages 33–36, 1974.
- [12]-D. R. Smith, D. C. Vier, N. Kroll, and S. Schultz, « Determination of effective permittivity and permeability of metamaterials from reflection and transmission coefficients », Physical Review B, vol. 65, no. 19,2002.

Chapitre II : Présentation des Métamatériaux

[13]- X. Chen, T. M. Grzegorzcyk, « Robust method to retrieve the constitutive effective parameters of metamaterials ».Phys. Rev. E 70, 016608, 2004.

[14]- D. R. Smith, D. C. Vier, N. Kroll, and S. Schultz, « Determination of effective permittivity and permeability of metamaterials from reflection and transmission coefficients », Physical Review B, vol. 65, no. 19,2002.

[15]- M.DJERROUD.Tarik, « Métamatériaux, applications aux antennes pour la téléphonie mobile », mémoire de fin d'étude, université Abderrahmane MIRA-Béjaïa, 2013.

[16]- Mélusine Pigeon, « Etude et réalisation d'antennes ultra-compactes à base des métamatériaux Application à la réalisation d'une antenne GNSS miniature », thèse doctorat de l'Université de TOULOUSE, 28 novembre 2011.

[17]-]- DahmaniSabra.KouadriKawther, « Etude et conception des antennes planaires ULB à base de métamatériaux », Mémoire de fin d'étude, Université de 8Mai 1945 – Guelma, Juillet 2019.

Chapitre III : Conception et Simulation de l'antenne patch miniature

III-1-Introduction

Le système d'identification automatique réfère au processus d'identification et le tapage des objets. Parmi les technologies qui l'utilise, on peut citer le code bar, la RFID (Radio Frequency IDentification), procédures biométrique, identification de la voix, empreinte, les cartes intelligentes mais les techniques d'identification les plus utilisés sont le code bar et la RFID.

Nous abordons dans la première partie dans ce chapitre une définition générale sur l'identification électronique, ainsi qu'une présentation de ces différents types. Par la suite, une brève description du fonctionnement de ce système, et enfin leurs avantages et leurs inconvénients.

Dans la seconde partie nous présentons les différentes structures des antennes pour la RFID conçues et simulées sous environnement CST MICROWAVE STUDIO. Les dimensions sont calculées à partir de formules empiriques afin d'avoir la fréquence d'opération désirée. Par la suite, il est envisageable de modifier certains paramètres de l'antenne dans le but de répondre aux exigences de l'application en question, à savoir, le gain, la bande passante, l'impédance d'entrée de l'antenne, etc...

III-2-La technologie RFID

La RFID (Radio Frequency Identification) est une technologie d'identification automatique qui utilise le rayonnement radiofréquence. Elle sert à identifier des objets porteurs d'étiquettes lorsqu'ils passent à proximité d'un lecteur. Elles peuvent également être modifiées suite à une commande particulière [1].

La technologie RFID a la particularité de fonctionner à distance, sur le principe suivant : un lecteur émet un signal radio et reçoit en retour les réponses des étiquettes - ou tags - qui se trouvent dans son champ d'action [2].

Un système RFID est composé de deux entités qui communiquent entre elles [3] :

- Un tag ou étiquette intelligente (aussi appelé transpondeur), associé à l'élément à identifier. Il est capable de répondre à une demande venant d'un lecteur.
- Une station de base ou lecteur RFID qui a pour mission d'identifier le tag. Le lecteur envoie une onde électromagnétique en direction de l'élément à identifier. En retour, il reçoit l'information renvoyée par le tag.

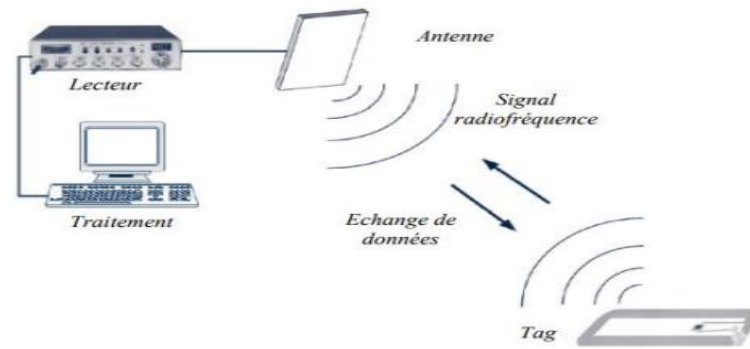


Figure III-1: fonctionnement d'un tag RFID.

III-2-3-Les types des systèmes RFID

Les différents systèmes RFID se distinguent par la fréquence des ondes radio, les moyens utilisés pour alimenter les étiquettes et par les protocoles de communication entre l'étiquette et le lecteur. On détermine par suite les différents types de système RFID :

III-2-3-1-Les systèmes à couplages inductifs (BF et HF)

Cette famille de RFID comprend les systèmes Basse Fréquence (BF) et Haute Fréquence (HF) :

- Les étiquettes des systèmes BF utilisent des antennes magnétiques qui sont constituées d'une bobine inductive d'inductance L jouant le rôle d'antenne, d'une capacité C permettant de faire résonner le circuit LC à la fréquence de travail et d'une puce électronique contenant l'identifiant du tag [1].

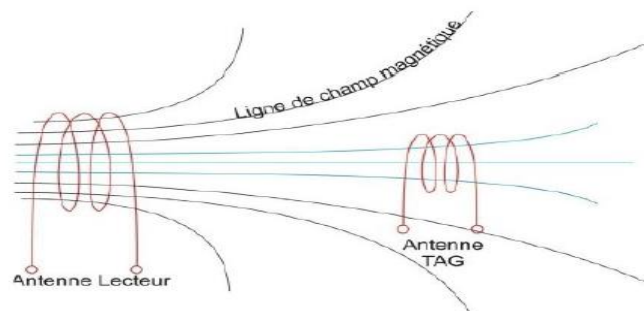


Figure III-2:système couplages inductifs (BF et HF).

- Les systèmes RFID en bande HF quant à eux, intéressent particulièrement les industriels parce qu'ils offrent une bande pénétration du signal à travers les obstacles avec une portée atteignant le mètre, ce qui leur a permis d'être répandus que les systèmes BF [3].

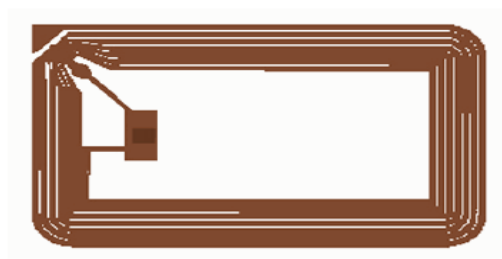


Figure III-3:une étiquette ou Tag HF.

III-2-3-2-Les systèmes Ultra Large Bande (ULB)

Un intérêt croissant est apporté à l'Ultra Large Bande (ULB) en radio identification parce qu'elle facilite l'obtention d'une très grande précision de positionnement irréalisable avec la bande conventionnée à cause de son étroitesse [1].

Le tableau présente le classement fait selon la fréquence, les distances de lecteur, les débits de transfert des données, leurs potentialité de pénétration des tissus ainsi que leurs couts [1].

Type	Fréquence	Distance	Données	Pénétration	Couts
BF	125 KHz	+	+	++++	++++
HF	13.56 MHz	++	++	+++	++
UHF	860-960 MHz	+++	+++	++	++
Micro-ondes	2.45 GHz	++	++++	+	++++
ULB	3.1-10.6 GHz	+	+++	+	+++

Tableau III- 1:Comparaison des différents systèmes RFID.

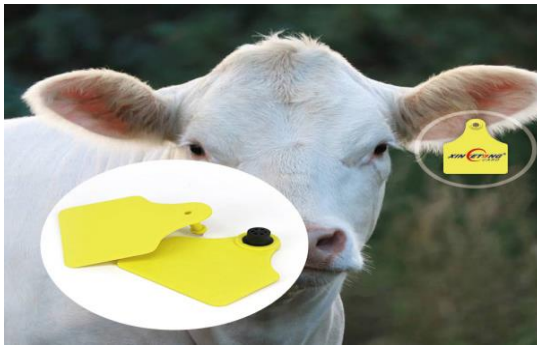
III-2-4-Applications

La technologie RFID est utilisée depuis longtemps et à large échelle, notamment dans les secteurs de la logistique, la protection contre le vol ou encore l'identification des animaux. Pendant longtemps, le prix des étiquettes RFID, leur encombrement ainsi que le manque de normalisation ont limité leur développement, Voici quelques applications possibles avec les puces RFID ainsi que quelques images illustrant différents exemples d'utilisation de la technologie RFID dans la figure III-4: [3]

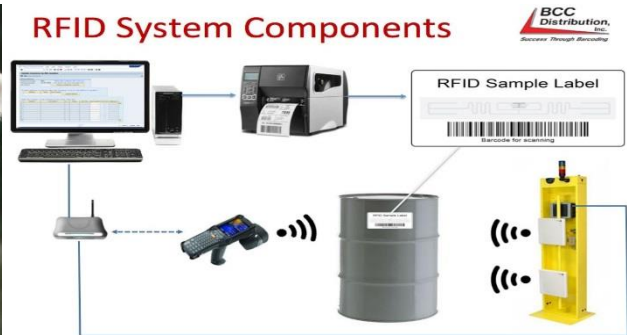
- Traçabilité d'objets tels que les livres (bibliothèque, librairie...).
- Traçabilité d'objets en zone de douanes
- Traçabilité des bagages en zone aéroportuaire
- Marquage des produits dans les grandes surfaces (lutte contre le vol)
- Contrôle d'accès à partir de badges
- Titre de transport
- Gestion de parc de location de véhicules (autolib, vélib...)
- Identification des animaux (chat, chien, vache....).

Chapitre III : Conception et Simulation de l'antenne patch miniature

- Contrôle des performances des athlètes dans des compétitions de masses (marathon) où il est impossible du fait de la densité de faire un contrôle individuel.
- Des puces sous-cutanées sont implantées aussi chez l'être humain: accès à des sites hautement sécurisés.
- Dans le domaine médical comme le contrôle et la surveillance des patients.



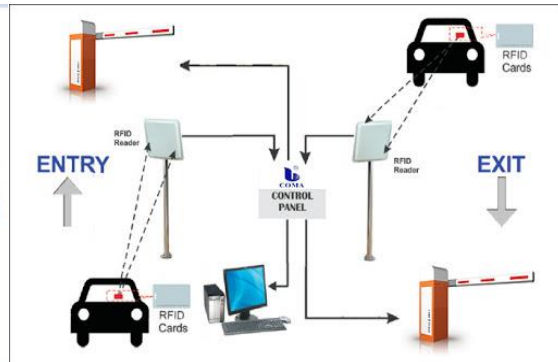
Identifier les animaux, suivis alimentation, vaccination, production laitière...



Code à Barres



Badge cantine



Contrôler l'accès de véhicule



Système de présence scolaire



RFID anti-métal tag

Figure III-4: Exemples d'application de la technologie RFID.

III-2-5-Avantages et inconvénients

L'une des premières applications connues de la technologie RFID remonte à la seconde guerre mondiale où elle servait comme système d'identification des avions de combats ami ou ennemi.

III-2-5-1-Avantages

L'intérêt pour cette technologie a resurgi plusieurs décennies après, en vue de remplacer les codes-barres optiques, dans le secteur de la logistique et ce, pour automatiser les traitements : [2]

- Inventaire.
- Contrôle d'expédition.
- Contrôle de réception.
- Suivi industriel en chaîne de montage.

III-2-5-2- Inconvénients

Les inconvénients de la technologie RFID consistent principalement en problèmes de confidentialité, d'imperfections techniques et de coût de la technologie, nous avons cité quelques inconvénients : [4]

- La sensibilité aux ondes électromagnétiques parasites.
- Les interrogations sur l'impact de la radio fréquence sur la santé.

III-3- Conception et simulation

La structure que nous proposons est une antenne micro-ruban, alimentée par une ligne micro-ruban pour servir l'application RFID. Nous allons pouvoir montrer, grâce à cette étude, l'effet de la miniaturisation en utilisant les MMTs sur les performances de cette antenne.

III-3-1- Outil de simulation

CST MICROWAVE STUDIO est un outil spécialisé pour la simulation et la conception électromagnétique trois dimensions (3D) des composants hautes fréquences. Il simplifie le processus de saisie de la structure et la définition des équipements en fournissant une interface graphique de modélisation puissante et solide. Après la modélisation du composant, une procédure de maillage automatique peut être appliquée avant que le moteur de simulation ne soit lancé [5].

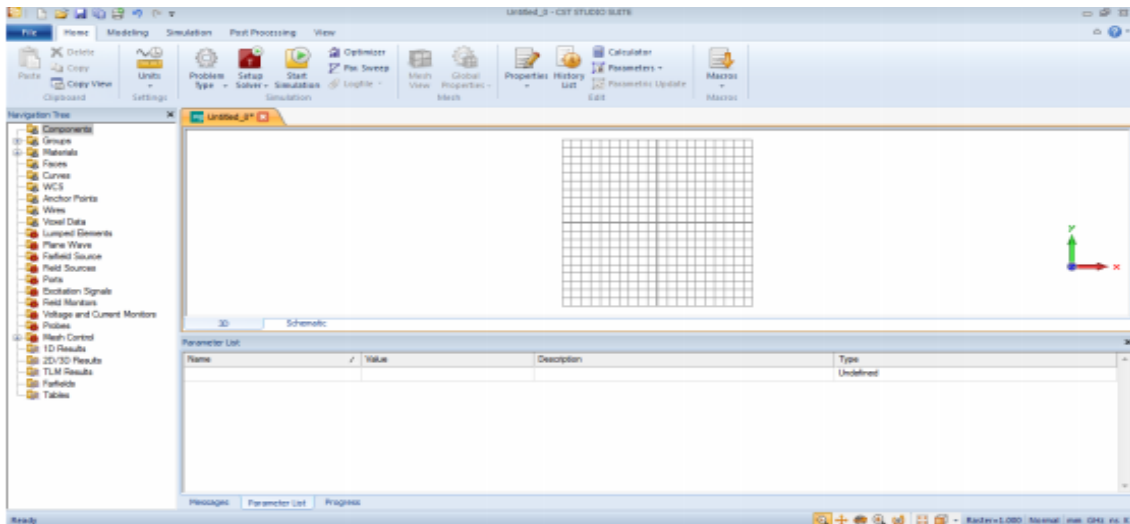


Figure III-5: Outil de simulation CST.

III-3-2- Conception de base de l'antenne

Dans ce paragraphe on se propose d'étudier une antenne patch de forme rectangulaire fonctionnant à 2.45 GHz avec une polarisation rectiligne. L'antenne réalisée devrait répondre aux différents critères, rassemblés dans le cahier de charge suivant :

- La permittivité relative du substrat $\epsilon_r=4.3$, $\text{tg}\delta =0.0025$ et de type FR4.
- La hauteur du substrat diélectrique $h=1.6\text{mm}$.
- La fréquence de résonance $f_r=2.45\text{GHz}$.
- L'impédance d'entrée $Z_{in}=50\Omega$.

La structure de base (figure III-6) se compose d'un substrat diélectrique. La ligne d'alimentation et le plan de masse sont imprimés ci-dessous et au-dessus de ce substrat, respectivement. Le tableau suivant indique les différents paramètres de l'antenne patch initiale

Les paramètres	Les dimensions (mm)
Wg	47.6
Lg	99.82
Wp	38
Lp	29
La	61.22

Tableau III-2: Les paramètres de l'antenne patch initiale.

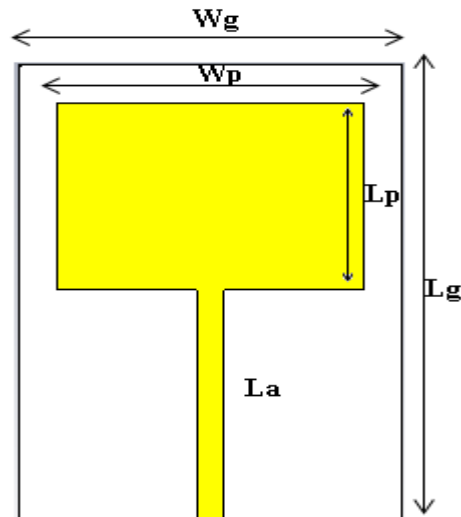


Figure III-6: Antenne patch rectangulaire initiale.

➤ Coefficient de réflexion :

La figure (III-7) illustre le module du coefficient de réflexion S_{11} sur un intervalle qui s'étale de 0 à 3.5 GHz. Nous remarquons que le coefficient de réflexion présente une valeur de -6.56 dB à la fréquence de résonance 2.37 GHz.

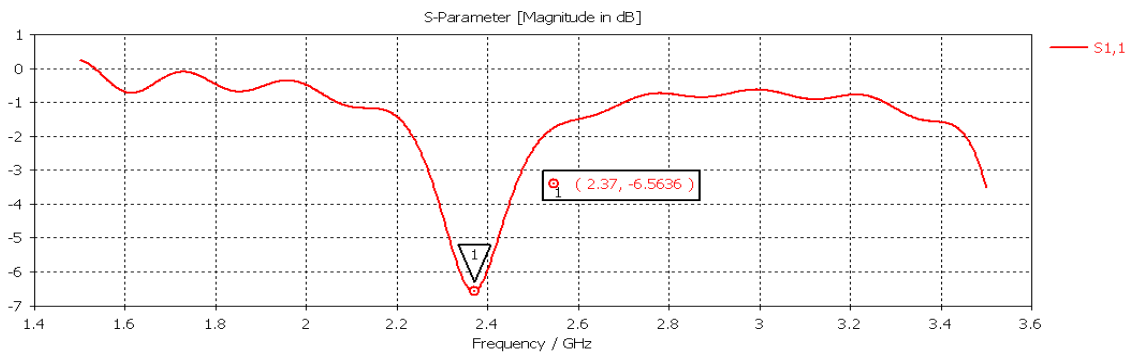


Figure III-7: Coefficient de réflexion de l'antenne patch en fonction de la fréquence.

➤ Rapport d'onde stationnaire VSWR :

La figure (III-8) représente le rapport d'onde stationnaire VSWR en fonction de la fréquence d'une valeur de 2.77 dB

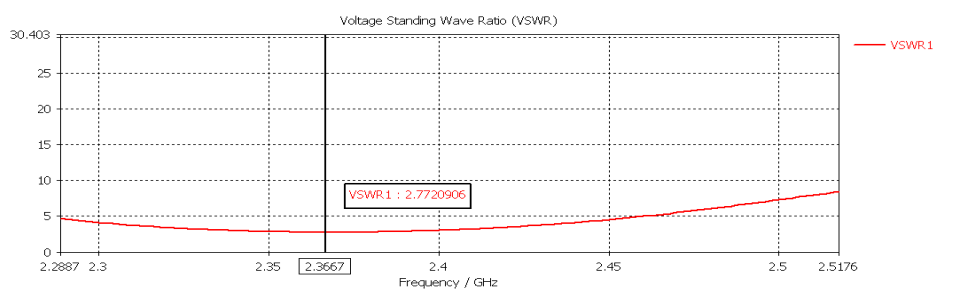


Figure III-8: le rapport d'onde stationnaire VSWR.

➤ La distance de lecture :

La distance de lecture est un des facteurs les plus importants pour évaluer la performance de la conception de l'antenne d'un tag. Cette distance, connue également sous le nom de « Readrange ». Sur la figure III.9, on présente la distance de lecture qui est de 1.46 m.

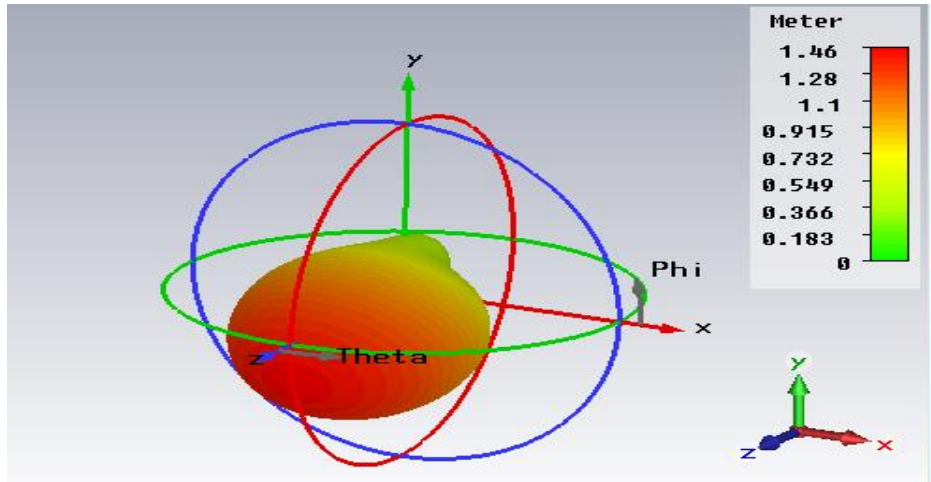


Figure III-9 : La distance de lecture

Nous avons constaté que la fréquence de cette antenne est inférieure à 2.45 GHz. On peut dire que l'antenne présente une mauvaise adaptation, pour cela nous allons utiliser la technique d'adaptation par les encoches insérées au niveau de la ligne micro ruban. Les paramètres de l'antenne patch rectangulaire avec encoches sont illustrés sur le tableau suivant.

Les paramètres	Les dimensions (mm)
Wg	47.6
Lg	99.82
Wp	38
Lp	28.25
La	61.22
Fi	10

Tableau III-3 : Paramètres de l'antenne patch avec encoche.

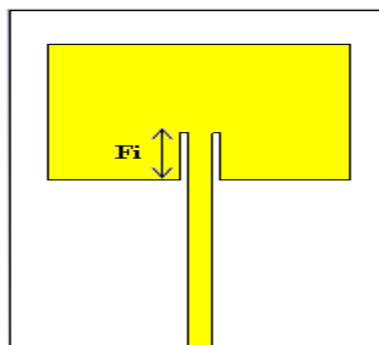


Figure III-10: Antenne patch rectangulaire avec encoches.

Chapitre III : Conception et Simulation de l'antenne patch miniature

Une étude paramétrique a été menée sur les paramètres de l'antenne à savoir la longueur du patch et la longueur des encoches. Les résultats de simulation pour le coefficient de réflexion sont donnés sur la figure suivante :

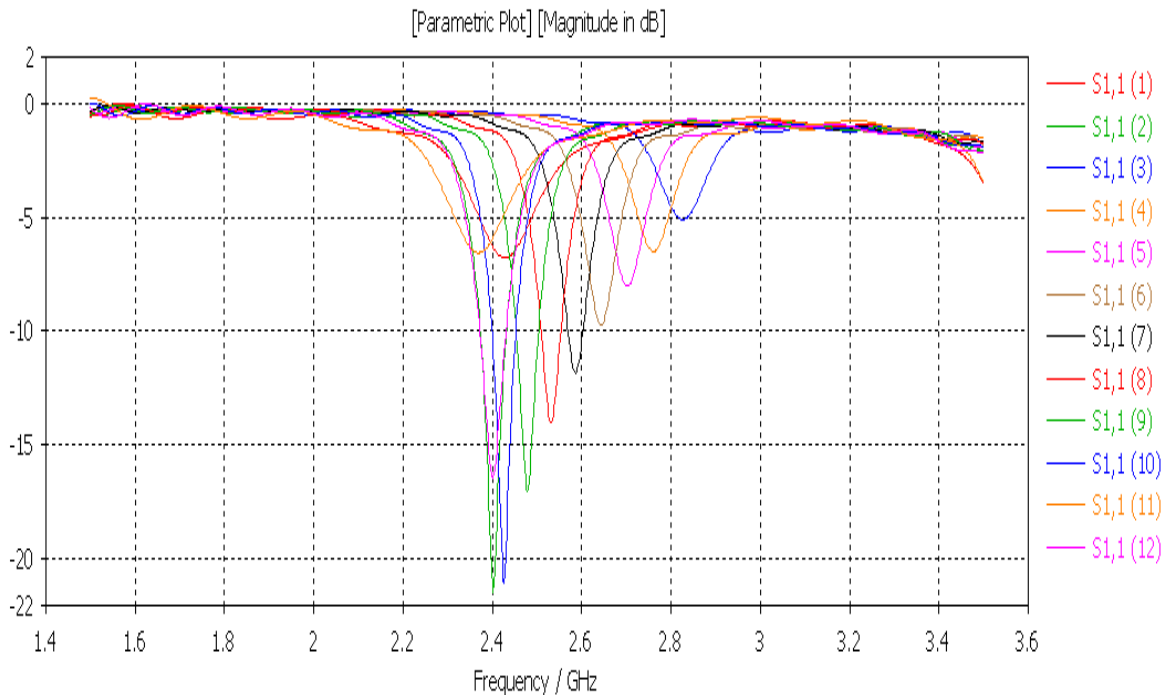


Figure III-11: Résultats de l'étude paramétrique.

➤ Coefficient de réflexion :

Le coefficient de réflexion présente une bonne adaptation, elle est de l'ordre de -38.07 à la fréquence de fonctionnement $f=2.45\text{GHz}$.

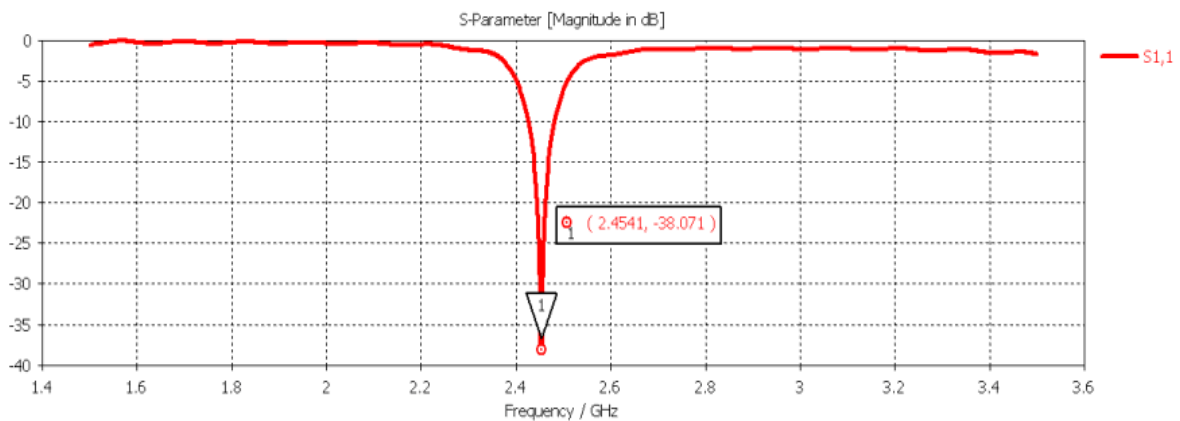


Figure III-12: Coefficient réflexion de l'antenne patch en fonction de la fréquence.

➤ Rapport d'onde stationnaire VSWR :

La courbe du rapport d'onde stationnaire simulé et montré sur la figure (III-13) est comprise entre 1 et 2, ce qui montre une bonne adaptation d'impédance entre l'antenne et la ligne d'alimentation.

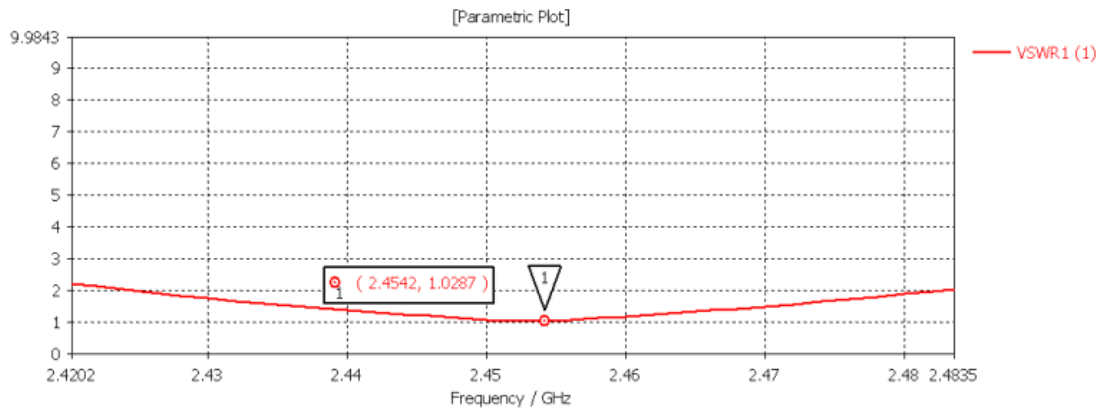


Figure III-13: Rapport d'onde stationnaire (VSWR).

➤ Le gain :

Sur la figure (III-14) nous implantons le gain de cette antenne pour une fréquence de résonance de $f=2.45$ GHz qui a pour valeur de 3.5dB.

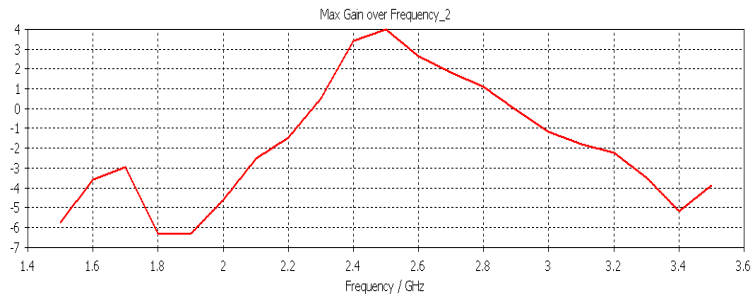
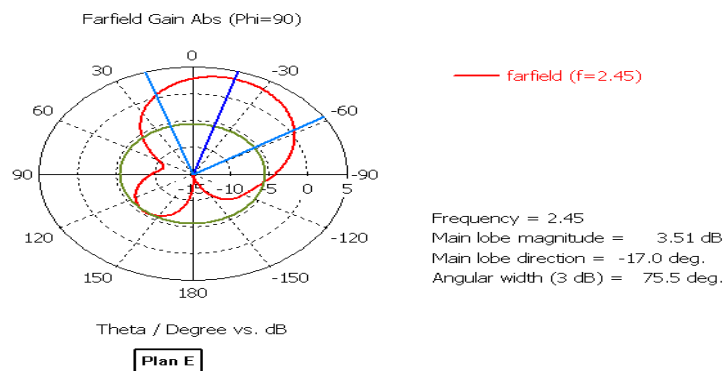


Figure III-14: le gain en fonction de la fréquence.

➤ Le diagramme de rayonnement :

La figure (III-15) représente le diagramme de rayonnement en 2D. Nous remarquons que l'antenne présente un rayonnement quasi-omnidirectionnel sur le plan E et le plan H.



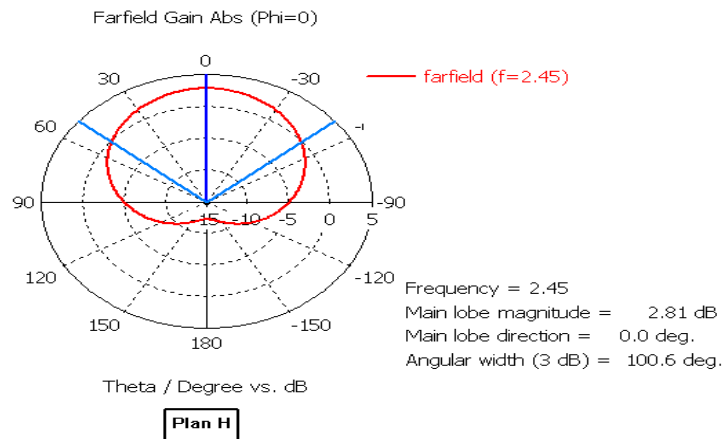


Figure III-15:Le diagramme de rayonnement en 2D.

La figure (III-16) donne la directivité et le gain de cette antenne pour une fréquence centrale $f=2.45\text{GHz}$ dans le plan de 90° .

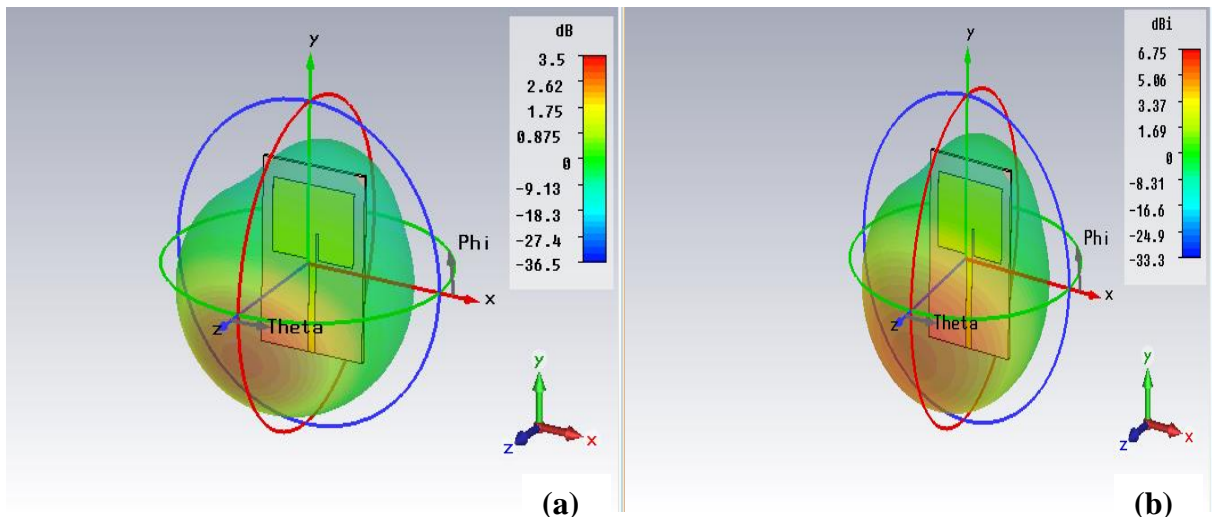


Figure III-16:Le diagramme de rayonnement en 3D en (a) : le gain (b) : la directivité.

➤ La distance de lecture :

Cette figure (III-17) montre la distance de la lecture à la fréquence de résonnance de système RFID, pour une distance de 1.95 mètre et on peut observer que cette valeur est supérieure que la valeur de l'antenne initiale.

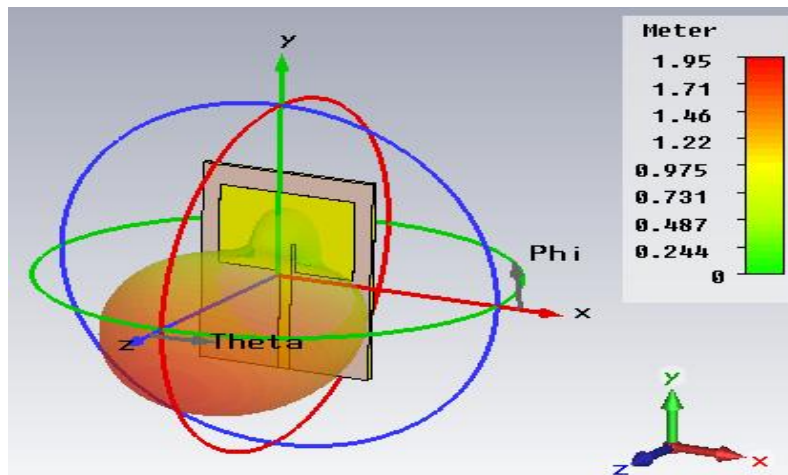


Figure III-17: Distance du lecteur e à la fréquence de résonance.

III-3-2-1-Interprétation des résultats de simulation

L'étude précédente nous a permis de mettre en pratique la fidélité des formules analytiques de dimensionnement de l'antenne patch, qui sont utiles pour un premier dimensionnement. La simulation électromagnétique avec le logiciel CST MICROWAVE STUDIO est une méthode performante permettant d'obtenir les dimensions optimales, on remarque que :

- La fréquence de résonance d'une antenne patch rectangulaire est inversement proportionnelle à sa longueur et à sa largeur.
- L'adaptation de l'antenne patch rectangulaire est très sensible à la largeur de l'antenne.
- L'adaptation par encoche améliore considérablement les caractéristiques électriques. En revanche, le gain de l'antenne et sa bande passante sont faibles ce qui ne répond pas au cahier des charges pour certaines applications.

III-3-3- Processus de miniaturisation

Actuellement, les méta-matériaux sont largement utilisés dans la conception des antennes, en particuliers des antennes micro rubans. Des matériaux artificiels composés de réseaux périodiques de résonateurs à anneaux fendus (à un seul anneau ou à anneaux multiples) sont actuellement utilisés pour miniaturiser la structure de l'antenne et pour améliorer ses performances.

III-3-3-1 Conception et simulation de la cellule SRR (Split Ring Resonator)

La figure III-18 montre une configuration typique du RAF circulaire introduit par Pendry qui constitue l'élément de base pour la fabrication des MNG. Ce résonateur est constitué de deux anneaux métalliques imbriqués l'un dans l'autre d'une façon opposée, dont le principe de fonctionnement repose sur le phénomène de résonance électromagnétique des inclusions qui créent la polarisation artificielle. Il s'agit de l'inductance de l'anneau, ainsi que la composante capacitive apportée par la capacitance entre les deux anneaux.

Chapitre III : Conception et Simulation de l'antenne patch miniature

Son comportement peut être modélisé par un circuit résonant du type LC avec une fréquence de résonance $\omega = 2\pi f = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, comme illustré sur la figure 1 [6], où L est l'inductance de l'anneau, et C est la capacité créée entre les anneaux. Il est à noter que la méthode de l'inductance et de la capacité équivalente est présentée dans les références [7] [8].

Le but principal dans la conception du RAF est d'avoir une réponse magnétique négative dans une bande étroite de fréquence. Pour ce faire, nous étudions la cellule unitaire présentée sur la figure III-18, et qui est dimensionnée pour un opère de 2.45 GHz. Les deux anneaux métalliques en cuivre ont une épaisseur de 0.5mm, et sont disposés sur une face d'un substrat diélectrique FR4 qui présente une permittivité relative de 4.3, des pertes tangentielles de l'ordre de 0.0025.

Les paramètres de conception proposés pour la cellule unitaire sont les suivantes :

La largeur $W1=7\text{mm}$.

La métallisation $a=0.5\text{mm}$

La distance entre les deux anneaux $b=0.5\text{mm}$.

La distance entre les fontes $c=0.5\text{mm}$

La hauteur du substrat $h_s=1.6\text{mm}$.

Les matériaux utilisés:

Pour le SSR : cuivre (cooper)

Pour le substrat : FR-4

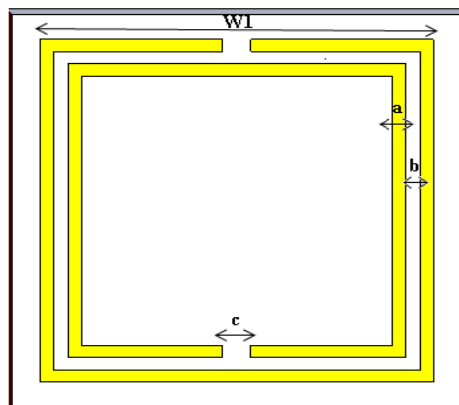


Figure III-18:Représentation de la cellule unitaire SRR.

Les résultats de simulation de la cellule SRR sont présentés sur la figure suivante après optimisation des paramètres de la cellule SRR.

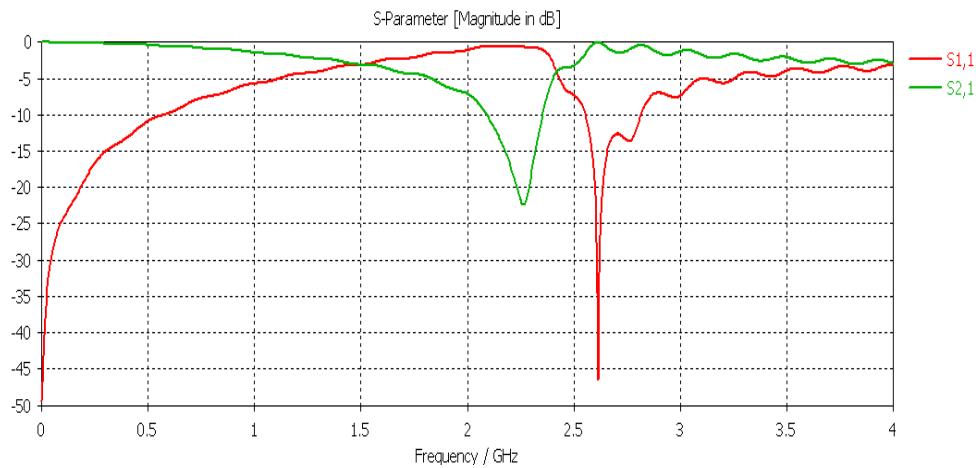


Figure III-19: Représentation des paramètres (S) de la cellule unitaire.

La figure (III-20), représente les coefficients de réflexion (S11) et de transmission (S21) en dB. Nous observons que le coefficient de transmission (S21) résonne à la fréquence 2.40 GHz avec un niveau de transmission de l'ordre -22.38 dB. Par ailleurs, on remarque que la partie réelle de la perméabilité est négative dans une bande étroite de fréquence située entre [2.38 GHz ; 2.7GHz].

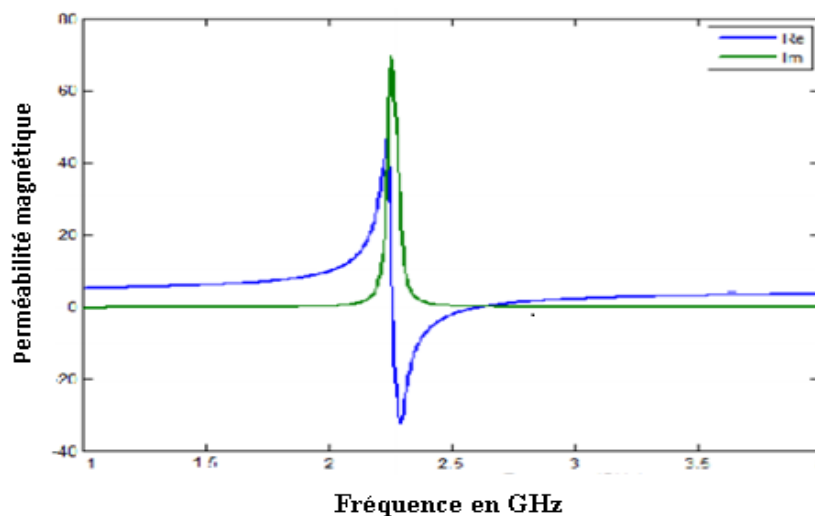


Figure III-20 : la perméabilité en fonction de la fréquence.

La même géométrie de la structure de l'antenne présentée dans la section précédente est adoptée dans ce cas. Cependant, le seul changement est effectué sur l'élément rayonnant comme le montre la figure (III-21) ci-dessous

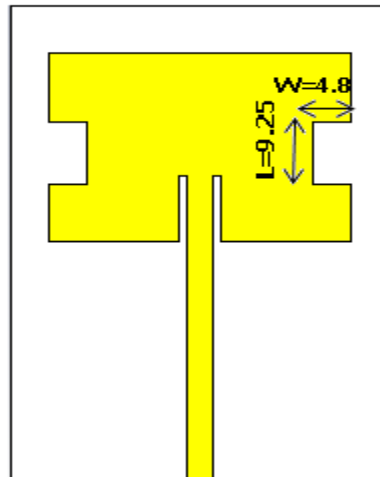


Figure III-21 : La nouvelle structure de l'antenne patch.

➤ Coefficient de réflexion :

La figure (III-22) présente le résultat de simulation du coefficient S_{11} qui est de l'ordre de -17.27 dB pour une fréquence de résonance de 2.20 GHz. On remarque un léger décalage de la fréquence de résonance vers la gauche ce qui permet de réduire les dimensions de l'antenne.

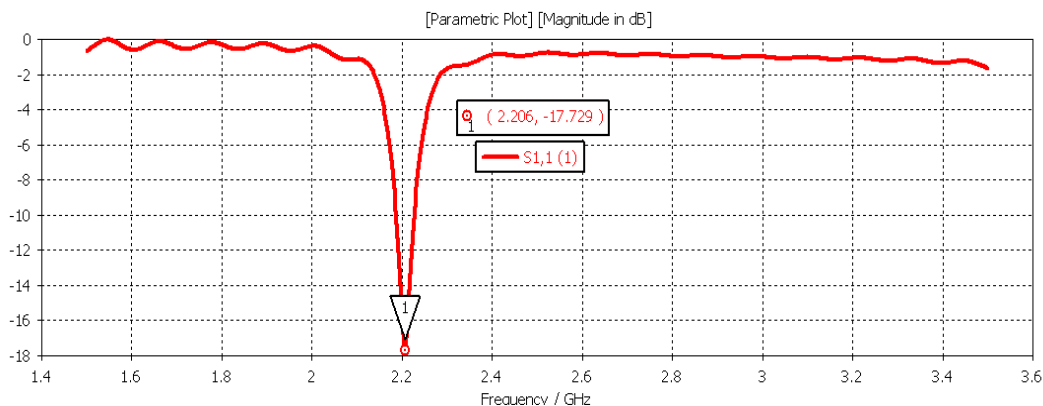


Figure III-22: Le coefficient de réflexion en fonction de la fréquence.

Pour plus de miniaturisation on va insérer au niveau du plan de masse un réseau des cellules SRR constituée par deux, quatre et huit cellules respectivement.

III-3-3-2 Antenne miniature associée aux cellules SRR

Afin d'atteindre la miniaturisation de l'antenne, nous avons étudié la même structure d'antenne, avec un plan de masse chargé par un réseau constitué de deux, quatre, puis par huit résonateurs à anneaux fendus de forme carrée comme ceux étudiés dans la section précédente. La gravure du réseau de SRRs au niveau du plan de masse de la structure pour les trois cas de figure est illustrée à la figure III.23.

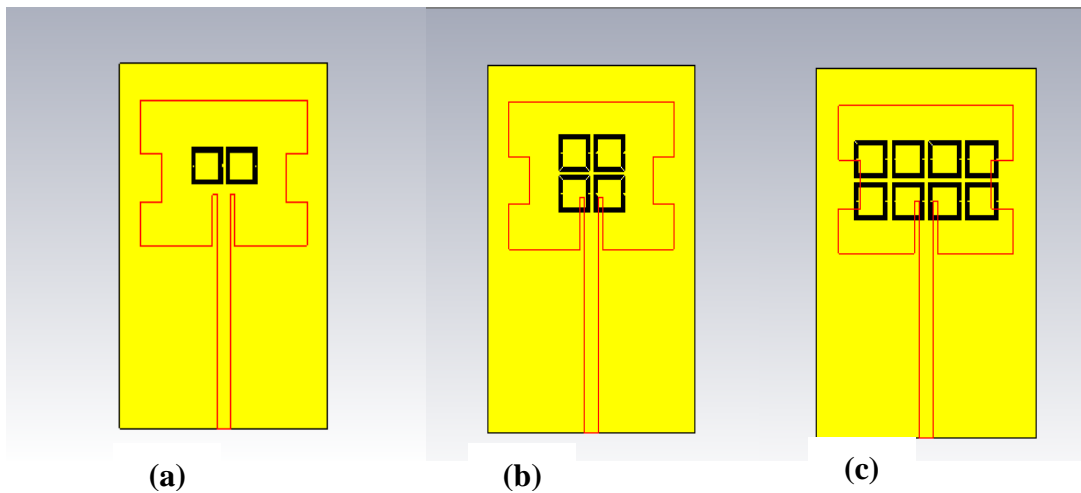


Figure III-23 : Structure d'antenne chargée par un réseau de SRR sur le plan de masse : (a) antenne à 2cellules (b) antenne à 4cellules et (c) antenne à 8 cellule.

III-3-3-3 Résultats et discussion

➤ Coefficient de réflexion

Les coefficients de réflexion pour les trois cas de figures en fonction de la fréquence sont représentés par la figure III.24. A partir de ces courbes, on peut observer que l'intégration du réseau de SRR à 8 cellules conduit à déplacer la fréquence de résonance de 2.45 GHz à 1.83 GHz réalisant ainsi une réduction de la taille de l'antenne initiale. Les nouvelles dimensions de l'antenne sont résumées dans le tableau ci-dessous. Soit une réduction de surface de **70 %** obtenue, en comparaison avec la taille initiale de l'antenne. La structure de l'antenne miniature est illustrée sur la figure III.25. En comparant les deux structures, il est clair que la surface occupée par le réseau du SRR est nettement inférieure à celle de l'antenne initiale. Cela montre l'importance de la technique de miniaturisation adoptée.

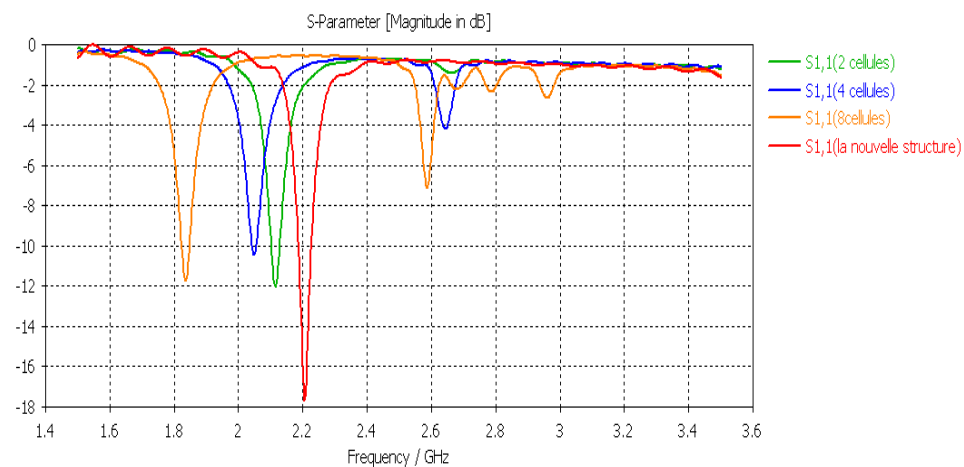


Figure III-24: Coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence pour les trois configurations du plan de masse (a), (b) et (c).

Les paramètres	Les dimensions (mm)
Wg	34.6
Lg	54.6
Wp	25
Lp	15
La	30
Fi	1

Tableau III-4 : Les dimensions de l'antenne miniature.

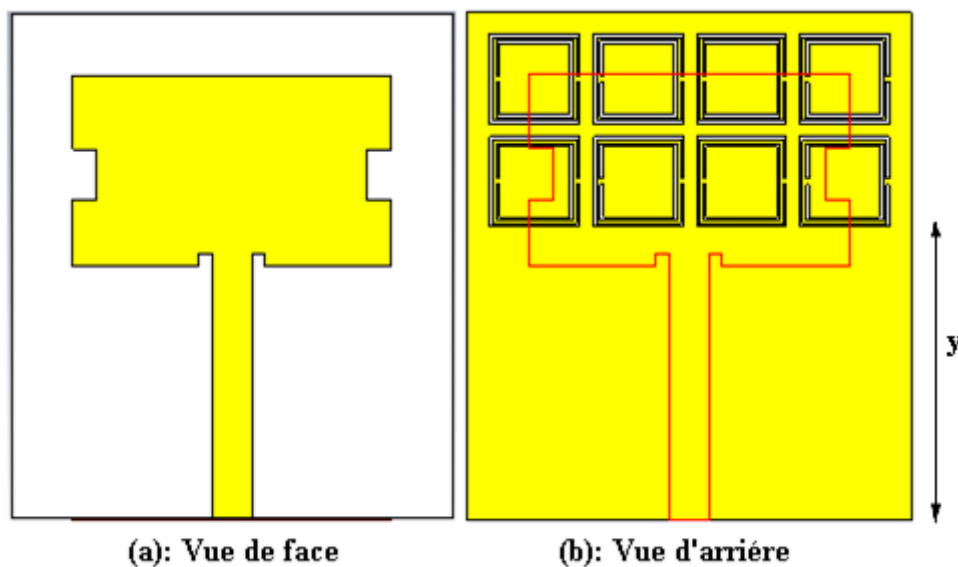


Figure III-25 : La structure d'antenne miniature.

Afin d'analyser l'effet de la position des cellules SRR sur la structure de l'antenne miniature, une étude paramétrique a été faite pour montrer le meilleur résultat d'optimisation. La réponse fréquentielle du coefficient de réflexion pour différentes positions des SRR est représentée sur la figure III.26. Nous pouvons constater que pour une position $y=23.2$ mm par rapport au réseau de SRRs, nous obtenons une adaptation à la fréquence désirée.

Une résonance à 2.45 GHz est observée avec un niveau du coefficient de réflexion de -11.6 dB. La bande passante autour de cette résonance est de 22 MHz seulement.

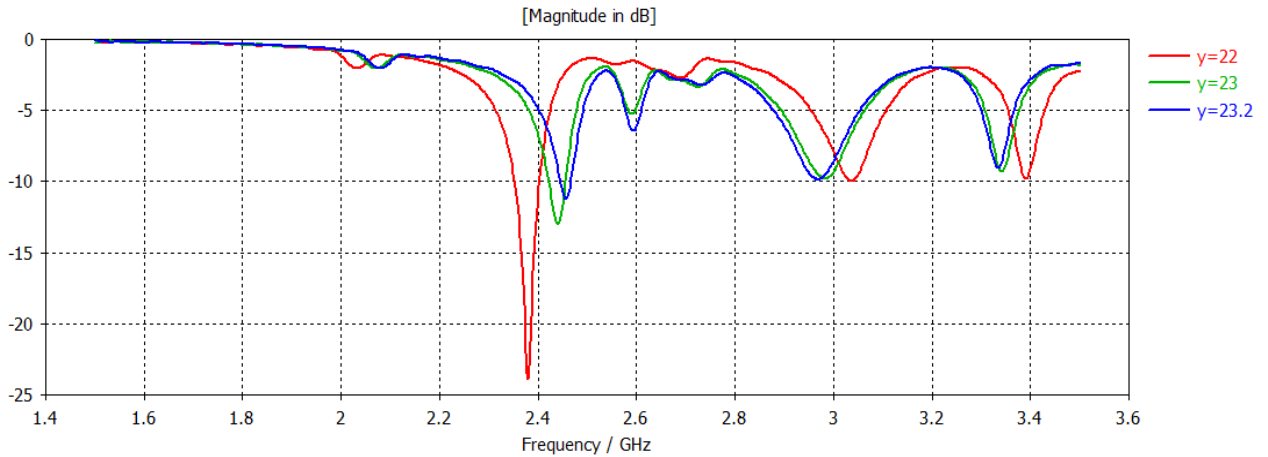


Figure III-26 : Coefficient de réflexion S11 de l'antenne miniaturisée.

➤ Rapport d'onde stationnaire VSWR :

La courbe du rapport d'onde stationnaire simulée et illustrée sur la figure III-27. Elle est comprise entre 1 et 2, ce qui montre une bonne adaptation d'impédance entre l'antenne et la ligne de transmission.

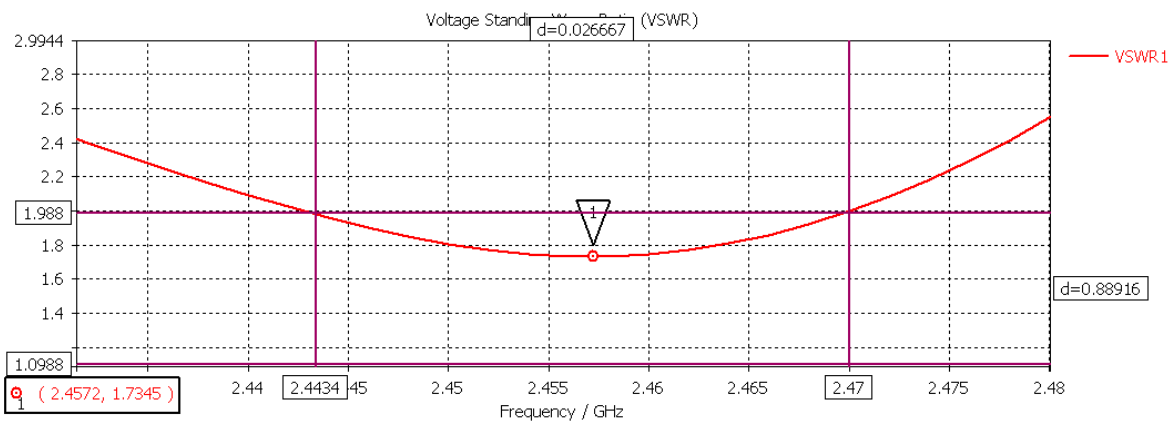


Figure III-27 : Rapport d'onde stationnaire (VSWR) de l'antenne miniaturisée.

➤ Diagramme de rayonnement :

Les résultats simulés des diagrammes de rayonnement en 2D et en 3D à la fréquence de résonance de 2,45 GHz sont calculés dans les deux plans principaux (plan E et H), comme le montrent les figures III-28 et III-29, respectivement. A partir de ces figures, on constate que l'antenne proposée présente un diagramme de rayonnement bidirectionnel dans le plan E et un comportement quasi omnidirectionnel dans le plan H. Le gain maximal de cette antenne au plan E est de 0.89 dB.

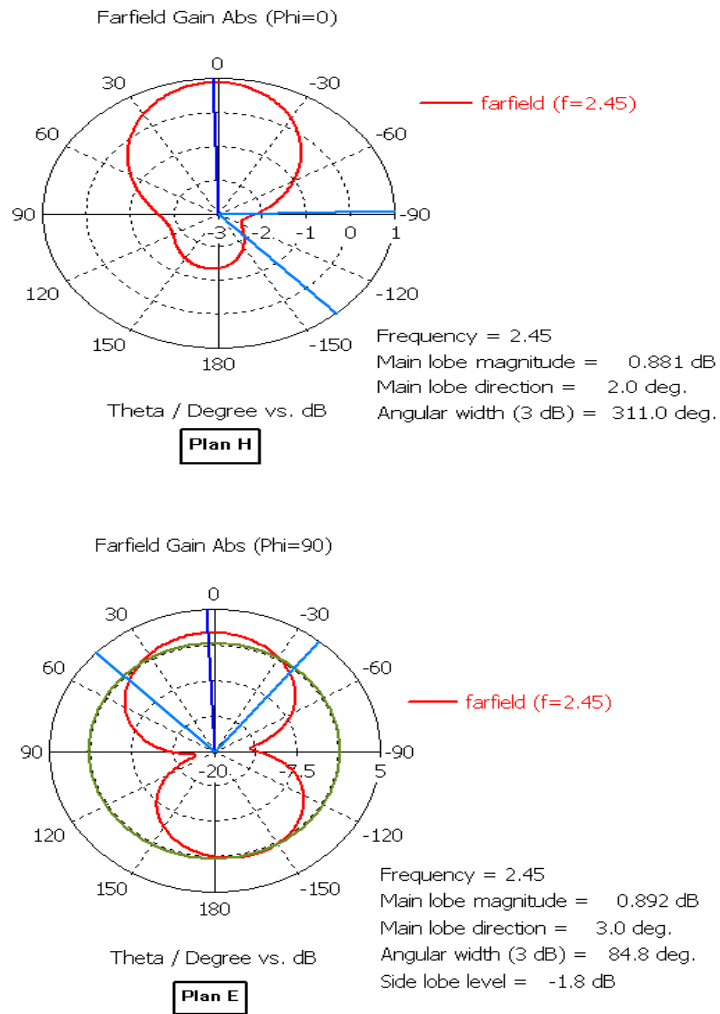


Figure III-28:Le diagramme de rayonnement en 2D.

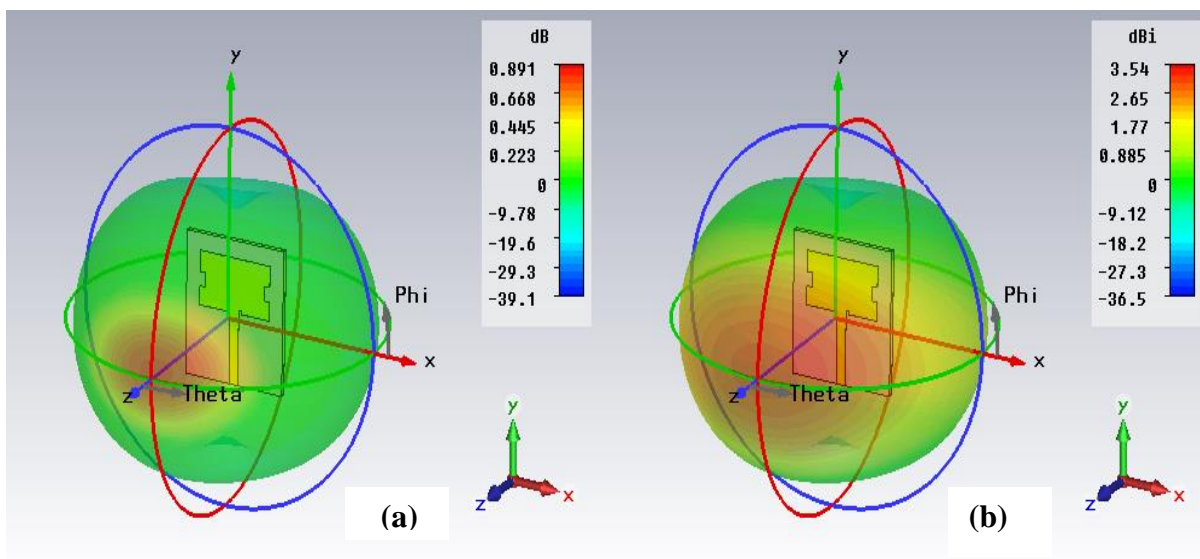


Figure III-29:Les diagrammes de rayonnement en 3D de l'antenne miniaturisée en (a) : le gain (b) : la directivité.

➤ La distance de lecture :

Cette figure (III-30) montre la distance de la lecture à la fréquence de résonance de système RFID, pour une distance de 1.64 mètre et on peut observer que cette valeur est supérieure que la valeur de l'antenne initiale.

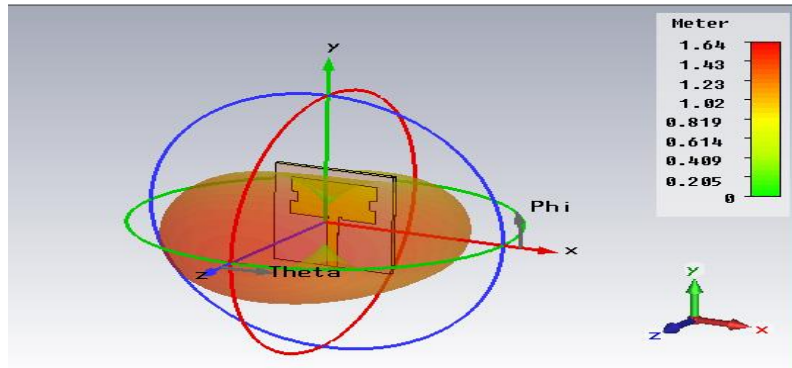


Figure III-30 : Distance de la lecture

On remarque que l'antenne miniature présente une adaptation et un gain relativement faible, donc pour une meilleure adaptation et un meilleur gain, une marche d'escalier est appliquée entre la ligne d'alimentation et l'antenne, telle que le présente la figure III.31.

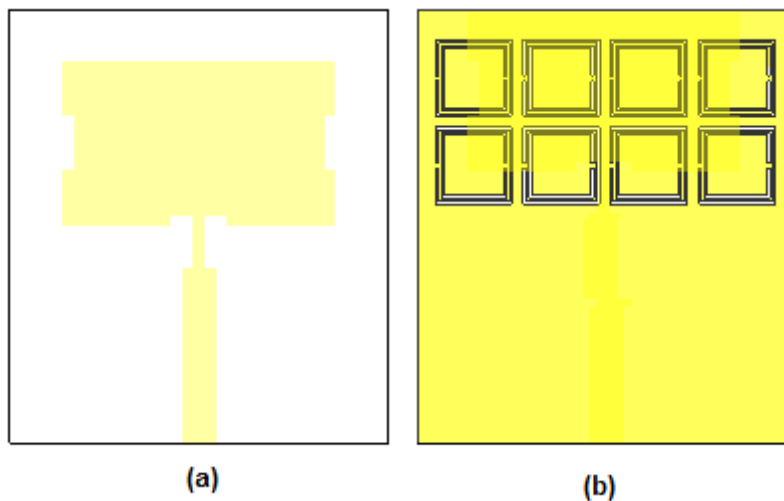


Figure III.31 : Configuration de l'antenne patch miniature modifiée.

L'analyse numérique, de cette antenne dans sa nouvelle configuration, est donnée dans la figure III.32 en termes de coefficient de réflexion S_{11} . À partir de la courbe, on constate qu'une résonance à 2.45 GHz est observée avec un niveau du coefficient de réflexion de -35.8 dB. La bande passante autour de cette résonance a été légèrement améliorée. Elle est de 47 MHz. Le gain de cette antenne est de 1.18 dB dans le plan E comme illustré sur la figure III.33.

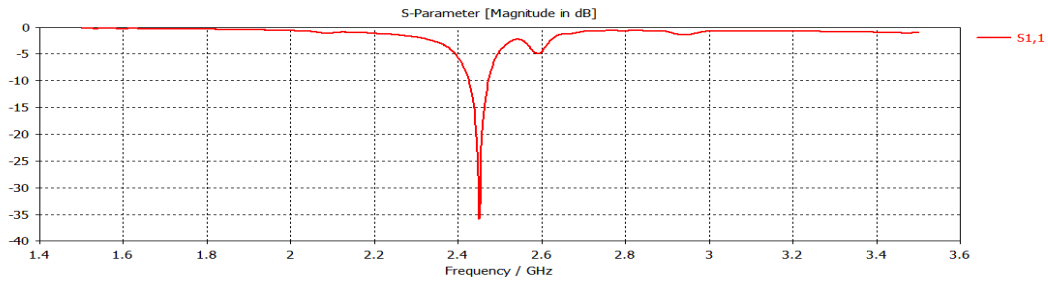


Figure III-32: Coefficient de réflexion de l'antenne miniature modifiée.

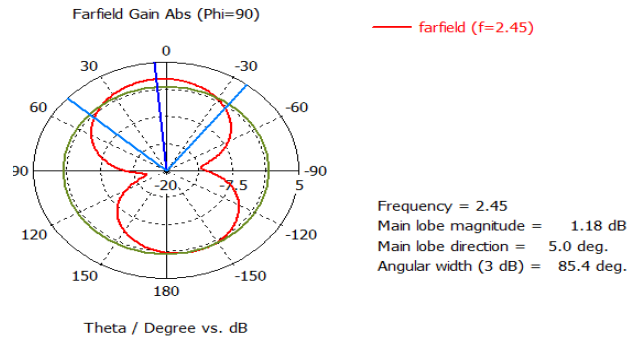


Figure III. 33 : Rayonnement de l'antenne miniature modifiée au niveau du plan E

➤ La distance de lecture :

Cette figure (III-34) montre la distance de la lecture à la fréquence de résonance de système RFID, pour une distance de 1.76 mètre et on peut observer que cette valeur est supérieure que la valeur de l'antenne initiale.

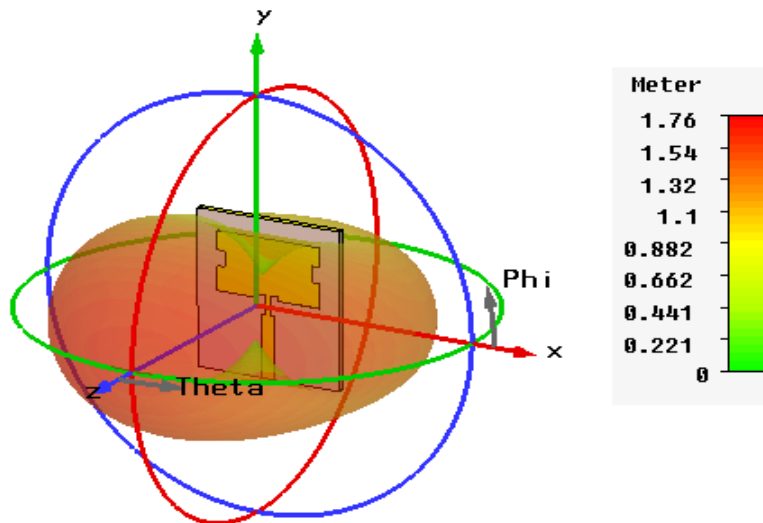


Figure III-34 : Distance de la lecture

Chapitre III : Conception et Simulation de l'antenne patch miniature

Les performances des deux antennes initiale et miniature modifiée en termes d'adaptation, de directivité, de gain et de bande passantes sont résumées dans le tableau III-5, où on remarque que le gain de l'antenne et sa bande passante sont toujours faibles. Nous allons essayer d'améliorer cette configuration pour un meilleur gain et une meilleure bande passante.

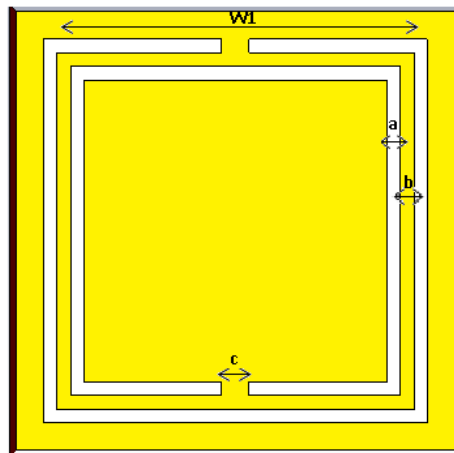
Paramètres	Antenne patch initiale	Antenne patch miniature modifiée
dimensions (mm ³)	28.25x38x1.6	15 x25x1.6
S ₁₁ (dB)	-38.07	-35.8
Gain (dB)	3.5	1.18
Bande passante(MHz)	55	47

Tableau III-5: Tableau comparatif entre l'antenne initiale et l'antenne miniature modifiée.

III-3-4-Etudes paramétriques et discussion

Afin d'analyser l'effet des paramètres de la cellule SRR déjà prédimentionnée sur les performances de l'antenne miniature, une étude paramétrique se fait en agissant sur certains paramètres de la cellule donnée sur la figure III-35 pour montrer le meilleur résultat d'optimisation. Les paramètres essentiels qui vont être modifiés afin d'étudier leurs effet sur le coefficient de réflexion sont la largeur des ouvertures des anneaux (c), la largeur des fentes entre les deux anneaux.

Le logiciel CST a été utilisé pour étudier l'effet des paramètres sur les performances de l'antenne miniature.



FigureIII-35 : Géométrie de la cellule SRR complémentaire.

III-3-4-1-Effet de l'espaceur entre les deux cellules

La figure III.36 présente l'effet de l'espaceur d entre les deux cellules SRR sur le coefficient de réflexion, en gardant sa longueur constante ($w_1 = 7$ mm). Les autres valeurs de la cellule sont maintenues constantes.

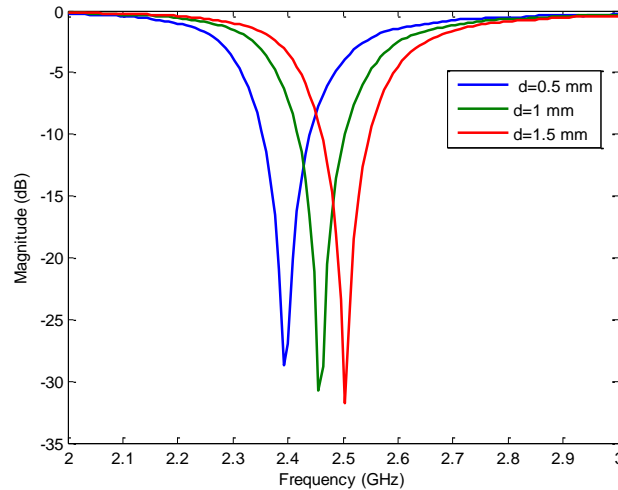


Figure III-36 : Effet de l'espaceur d sur le coefficient de réflexion de l'antenne miniature.

D'après les courbes de cette figure, on remarque une augmentation de la fréquence de résonance lorsque l'espaceur d devient plus grand. Ceci s'explique par une diminution de l'inductance mutuelle et de la capacité entre les CSRR lors de l'élargissement de l'espaceur d avec une largeur de bande passante qui est maintenue constante pour les différentes valeurs de d .

III-3-4-2-Variation de l'ouverture des anneaux (c)

Dans ce paragraphe, on étudie l'influence de la largeur des ouvertures des anneaux (c) sur le coefficient de réflexion de l'antenne. En maintenant ces paramètres constants, seule la largeur de la fente varie. L'étude est réalisée pour des largeurs ($c = 0.2, 0.5,$ et 1 mm).

Sur la figure III-37, on présente le module du coefficient de réflexion de l'antenne miniature pour les différentes valeurs de c . On remarque que l'augmentation de la largeur des fentes c s'accompagne par une élévation de la fréquence de résonance ; lorsque la taille de l'ouverture du SRR augmente, la capacité au sein de la structure diminue et par conséquent, la fréquence de résonance augmente.

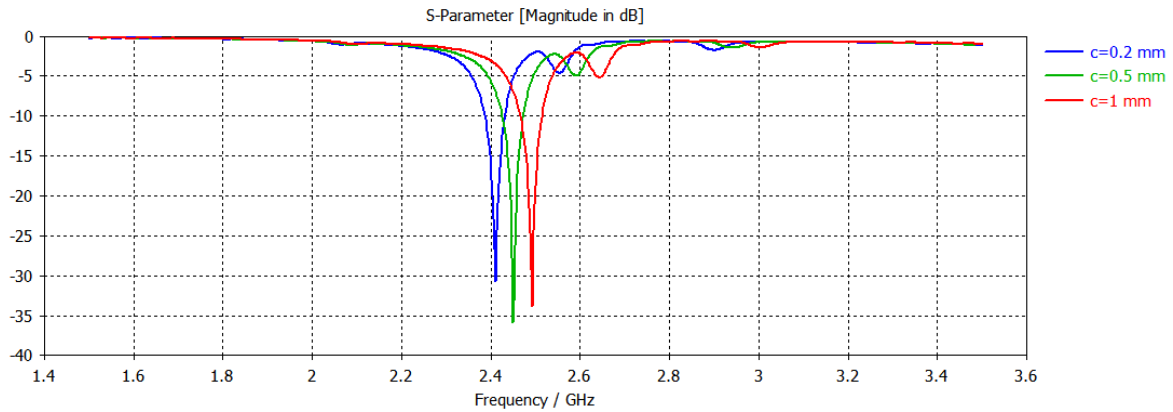


Figure III-37 : Module de S_{11} pour différentes valeurs de c .

III-3-4-3-Variation de la longueur extérieure de l'anneau (w_1)

Nous présentons ici, une étude de l'influence de la longueur w_1 du côté extérieur de l'anneau sur le coefficient de réflexion. L'étude est réalisée pour des rongeures de 6.5, 7, et 7.5 mm comme illustré sur la figure III-38. On remarque d'après le graphe que la fréquence de résonance diminue avec l'augmentation du côté extérieur de l'anneau. Ce dernier affecte la capacité mutuelle du système. Comme la longueur augmente, la capacité au sein de la structure augmente ce qui mène à une diminution de la fréquence de résonance.

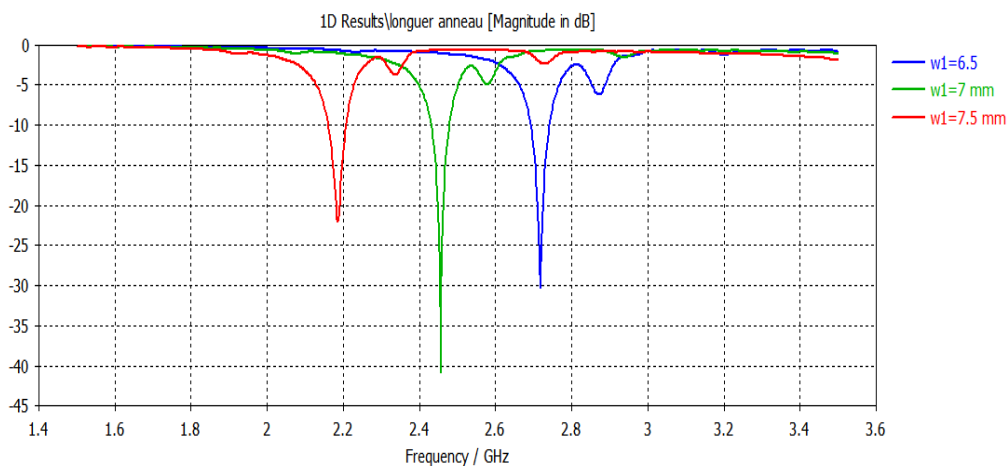


Figure III-38 : Module de S_{11} pour différentes valeurs de W_1 .

III-3-4-4-Variation de l'espacement entre les deux anneaux (b)

La figure III-39 présente le module du coefficient de réflexion simulé sous pour les différentes valeurs de b . On remarque que la fréquence de résonance varie proportionnellement avec l'espacement. Lorsque ce dernier augmente, la capacité au sein de la structure diminue. Cette baisse de capacité va donc augmenter la fréquence de résonance.

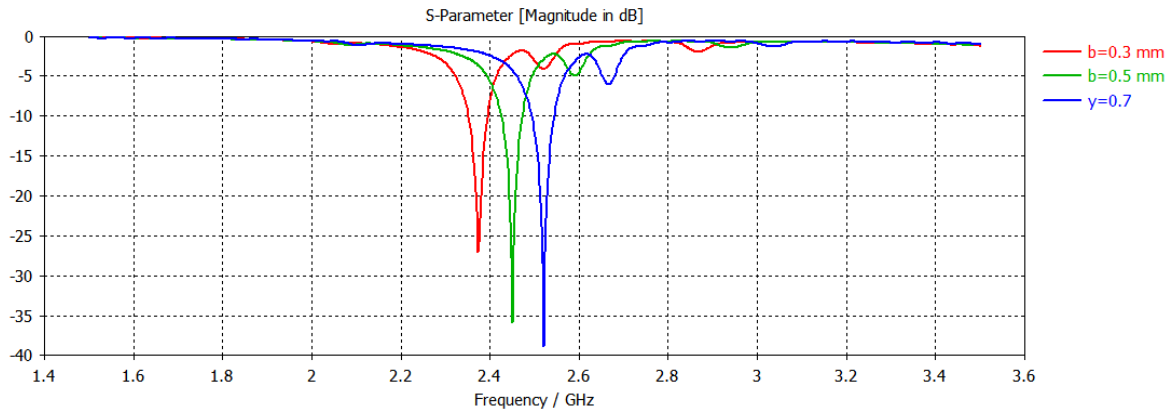


Figure III-39 : Module de S11 pour différentes valeurs de b

III-3-5-Conclusion :

Dans ce chapitre, une nouvelle antenne à cellules SRR miniaturisée a été étudiée numériquement et analysée en utilisant le simulateur électromagnétique CST Mws. L'utilisation d'un plan de masse chargé avec un réseau de 8 cellules permet de réaliser cette miniaturisation. Avec cette technique, la réduction de l'antenne atteint 70%.

Les résultats obtenus montrent que la conception proposée pour a une fréquence de résonance de 2,45 GHz offre une bande passante comprise entre 2,42 GHz et 2,47 GHz, et un gain de 1.16 dB. Avec ces caractéristiques de rayonnement, l'antenne proposée peut être une candidate appropriée pour les systèmes RFID. Il est souhaitable de fournir une étude expérimentale pour valider nos résultats de simulations.

Références bibliographiques :

- [1]-Marouf.F, « Etude et Conception d'antennes imprimées pour identification radio fréquence RFID UHF », These de doctorat, université de Tlemcen, 2013.
- [2]- Mr. ROUABEH Nouredine, « Modélisation et simulation des antennes RFID à base de métamatériaux », mémoire de fin d'étude, Université Ziane Achour de Djelfa, 24/05/2014.
- [3]- Doudid .Anes, Chikh.Oussama, « Conception et simulation de tags RFID », mémoire de fin d'étude, université de Tlemcen, le 19/09 / 2018.
- [4]- HAMOUME.Syia, MERABET.Fatma, « Système de détection d'intrusion dans les systèmes RFID », mémoire de fin d'étude, université de MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU, 2015.
- [5]- BOUHAFS A. ICHOU A, « Etude et conception d'un réseau d'antenne pour des applications 5G », mémoire de fin d'étude, université de Tlemcen, le 21 / 06 / 2020.
- [6]-J.D.Baena, J.Bonache, « Equivalent-circuit models for split-ring resonators and complementary split-ring resonators coupled to planar transmission lines”, IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 53, no 4, pp. 1554-1461, 2005.
- [7]-F.Bilotti, A. Toscano, L. Vegni, K. Aydin, B. B. Alici, and E. Ozbay, « Equivalent circuit models for the design of metamaterials based on artificial magnetic inclusions”, IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 55, no. 12, pp. 2865-2873, 2007.
- [8]-R. Aydin, I. Bulu, K. Medina, and R. Raffi-El-Idrissi, “Role of bianistroy in negative permeability and left-handed metamaterials”, Physical Review B, vol. 65, no. 144440, 2002.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Conclusion générale

L'objectif de ce mémoire était d'étudier l'impact des méta-matériaux sur les caractéristiques d'une antenne patch. Pour commencer nous avons étudié dans le premier chapitre un état de l'art des différentes antennes avec leurs caractéristiques ainsi que leurs différents types en particulier les antennes planaires. On a abordé à la fin leurs avantages et inconvénient.

Dans le deuxième chapitre nous avons exposé des généralités sur les méta-matériaux. C'est des matériaux artificiels qui présentent une permittivité et une perméabilité simultanément négatives qui correspondent à un indice de réfraction négatif. Cela peut être réalisé à partir d'un motif SRR qui présente une polarisabilité magnétique, possédant des valeurs négatives autour de la fréquence de résonance. Cette fréquence est très étroite correspond à un phénomène de dispersion négatif. A la fin, nous avons exposé les différentes applications des méta-matériaux qui existent dans plusieurs domaines.

Dans le troisième chapitre nous avons conçu une antenne patch destinée pour les applications RFID. Nous avons donné dans un premier temps une définition sur cette technologie, ensuite une conception d'antenne patch à base de méta-matériaux à été faite. L'exploitation des propriétés électromagnétiques exceptionnelles et peu communes des MMTs permet la miniaturisation et l'amélioration des performances d'une antenne micro-ruban de forme rectangulaire en termes de gain et de bande passante. La combinaison de cette antenne avec un réseau de résonateurs de type CSRRs de forme carrée s'est révélée être une technique innovante et très efficace. Le comportement de l'antenne en méta-matériaux est analysé et ses diagrammes de rayonnement sont obtenus par simulation sous le logiciel CST. Les résultats obtenus en simulation sont satisfaisants et ont montré une nette amélioration dans les performances de l'antenne.

