

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE : TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT : ELECTRONIQUE
N° : 2018 /sysTLC01/87



DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE
FILIERE : GENIE ELECTRIQUE
OPTION : S.T.N

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par : CHAIMA Amel

Intitulé

**Etude et conception d'une antenne
reconfigurable pour les applications WLAN**

Soutenu devant le jury composé de :

Dr. KHEDROUCHE Djamel	Université Mohamed Boudiaf- M'sila Président
Dr. KENANE EL-HADI	Université Mohamed Boudiaf- M'sila Rapporteur
Dr. BENMEDDOUR Fadila	Université Mohamed Boudiaf- M'sila Examineur

Année universitaire : 2017/2018

Remerciements

Ce travail a été effectué au département d'électronique de l'université MOHAMED BOUDIAF de M'sila, dans le cadre des activités de recherche du Laboratoire de Génie Electrique (LGE), sous la direction du Dr.H. KENANE.

Je remercie Allah, le tout puissant, de m'avoir aidé à poursuivre mes études.

J'adresse mes sincères remerciements à Monsieur KENANE, maitre de conférences au département d'électronique de l'université de M'sila, qui a su encadrer ce mémoire tout en me montrant la voie du travail autonome. Je lui exprime ma sincère reconnaissance pour sa disponibilité, ses conseils toujours judicieux et pour ses qualités scientifiques, pédagogiques et humaines.

Je tiens mes remerciements aux membres de jury pour avoir accepté de siéger dans le jury en qualité d'examineurs.

Mes vifs remerciements s'adressent aussi à tout le cadre administratif et pédagogique de département d'électronique et son chef Dr. LADJAL.

Je remercie également la direction d'Algérie Télécom de M'sila pour m'avoir accordé un stage qui m'a permis de finaliser mon mémoire.

Je tiens à remercier chaleureusement, tous les amis et collègues de près ou de loin qui m'ont apporté leurs sollicitudes pour accomplir ce travail.

Dédicace

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance, c'est tout simplement que :

*Je dédie ce travail A ma chère Mère **Rebeiha***

Tu représentes pour moi la source de tendresse et l'exemple de dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager. Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivant le bon chemin dans leur vie et leurs études.

*A mon cher Père **Bachir***

Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as sa consentis pour mon éducation et ma formation le long de ces années.

A mes frères et mes sœurs

Ahmed, Saïda, Nadia

A tous les gens qui m'aiment

*Abderrhman Nouiri, Lamia Messali, Ratiba, Souhila
Mame/Khawi, Roselyne Daquin*

A toute la famille

A tous les étudiant(e)s de ma promotion.

A tous mes enseignants depuis mes premières années d'études.

A tous ceux qui me sens chers et que j'ai omis de citer.

Chaima Amel

Table de matières

Remerciements	I
Dédicace.....	II
Liste des abréviations.....	VI

Introduction générale

Introduction générale.....	2
----------------------------	---

Chapitre I : Les antennes reconfigurables

I.1 Introduction.....	5
I.2 Théorie de base sur les antennes imprimée.....	5
I.2.1 Les paramètres des antennes imprimées.....	5
I.2.2 Les caractéristiques des antennes imprimées	7
I.3 Les antennes reconfigurables.....	11
I.3.1 Définition.....	11
I.3.2 La nécessité de la reconfigurabilité.....	11
I.3.3 Technologie Ultra Large Bande.....	12
I.3.4 Les techniques de reconfigurabilité.....	13
I.3.5 Classification de reconfigurabilité.....	13
I.3.5.1 La reconfiguration en fréquence.....	13
I.3.5.2 La reconfiguration du rayonnement.....	15
I.3.5.3 La reconfiguration en polarisation	16
I.3.5.4 La reconfiguration composée.....	17
I.3.6 Avantages et inconvénients d'une antenne reconfigurables.....	17
I.4 conclusion	18

Chapitre II : Les dispositifs de commutations

II.1 Introduction	20
II.2 Les commutateurs RF.....	20
II.3 Les techniques de commutations d'une antenne reconfigurables.....	22



II.3.1 La technique électrique	23
II.3.2 La technique optique.....	23
II.3.3 La technique physique.....	24
II.3.4 Les techniques basées sur des matériaux intelligents.....	24
II.4 Les dispositifs de commutations.....	25
II.4.1 Les RF.MEMS/NEMS.....	25
II.4.2 Les commutateurs optoélectroniques.....	25
II.4.3 Les diodes VARACTORS.....	26
II.4.4 Les matériaux agiles.....	26
II.4.5 Les diodes PIN.....	27
II.4.5.1 Définition.....	27
II.4.5.2 Les caractéristiques importantes d'une diode PIN.....	28
II.4.5.3 Avantages et inconvénients d'une diode PIN.....	29
II.4.5.4 Les applications de la diode PIN en RF.....	30
II.5 Comparaison entre différents système de commutations.....	30
II.6 Conclusion.....	30

Chapitre III : Etude paramétrique d'une antenne pour les applications WLAN

III.1 Introduction.....	32
III.2 Choix de l'outil de simulation.....	32
III.3 Etude paramétrique d'une antenne patch rectangulaire.....	33
III.3.1 Géométrie de l'antenne.....	33
III.3.2 L'effet d'insertion d'une troncature sur le feeder (<i>inset feed</i>).....	36
III.3.2.1 L'effet de la longueur de troncature (y_0).....	37
III.3.2.2 L'effet de la largeur de troncature (g).....	38
III.3.3 L'effet de slot sur le patch.....	38
III.3.3.1 L'effet de la longueur de slot (W_1).....	39
III.3.3.2 L'effet de la largeur du slot (a).....	40
III.3.4 L'effet du slot sur le plan de masse.....	40

III.3.4.1 L'effet de longueur du slot (W_2).....	41
III.3.4.2 L'effet de de la largeur du slot (W_{slot}).....	41
III.3.5 L'effet des stubs (tiges) dans la ligne d'alimentation.....	42
III.3.5.1 L'effet de l'insertion des stubs (la tige) sur la ligne d'alimentation.....	43
III.3.5.2 L'effet de la position de la tige (X_0).....	44
III.3.5.3 L'effet de la longueur de la tige (L_{st1}).....	45
III.4 Conclusion.....	45

Chapitre IV : L'optimisation d'une antenne reconfigurable

IV.1 Introduction.....	47
IV.2 Méthodes d'optimisation.....	48
IV.2.1 Définition de l'optimisation.....	48
IV.2.2 Algorithme génétiques.....	48
IV.2.3 La méthode quasi-Newton.....	48
IV.3 Conception d'une antenne reconfigurable en fréquence.....	49
IV.3.1 La géométrie de l'antenne proposée.....	50
IV.4 Résultats et simulation.....	51
IV.5 Conclusion.....	59

Conclusion générale

Conclusion générale.....	61
---------------------------------	-----------

Références

Références.....	64
------------------------	-----------

Liste Des Abréviations

Cst : Computer Simulation Technology.

FIT: Finite Integration Technique.

PIN: Positive Intrinsic Negative diode.

WLAN: Wirless Local Area Network.

GSM: Globel System Mobile.

MEMS: Micro Electro Mechanical System.

FET: les transistors à effet de champs.

DR: Diagramme de Rayonnement.

ULCA:

PCM:

EBG: Electron Band Gap.

Introduction

générale

Introduction générale

A cause du besoin de la mobilité dans tous les domaines de la vie quotidienne, cette dernière décennie a connu un développement fulgurant des systèmes de la télécommunication sans fil et mobile. Ces besoins sont traduits par une augmentation dans la consommation des données mobiles comme le montrent ces statistiques données par la compagnie Ericsson [1]. Ces types de télécommunications comprennent l'ensemble des techniques nécessaires à l'acheminement fidèle et fiable que possible de l'information entre deux points, à des grandes distances, avec des coûts raisonnables. Cette évolution remarquable dans tous les réseaux de communication sans fil nécessite l'utilisation de nouvelles technologies pouvant améliorer les performances des échanges de l'information, d'augmenter la couverture, d'améliorer la qualité de service pour les abonnés et, par conséquent, d'augmenter davantage le nombre d'utilisateurs [2].

Bien que, depuis des années, les télécommunications sans fil connaissent une évolution très rapide, elles enregistrent certaines limitations dues à la saturation du spectre radio, provoquant ainsi une dégradation de la qualité de service et une diminution de la capacité du système [3].

Les antennes imprimées sont implémentées dans de nombreux dispositifs électroniques tels que les téléphones portables, les tablettes et des autres à cause de leurs faibles poids, leurs coûts de réalisation et leurs capacités d'intégration aux différentes applications (aéronautique, aérospatiales, militaires...) [4]. Plusieurs techniques sont utilisées pour surmonter les limitations des antennes imprimées classiques. Parmi ces techniques on peut citer les techniques de diversité en utilisant les antennes imprimées reconfigurables [5-10].

Une antenne reconfigurable est une antenne dans laquelle au moins l'une de ses caractéristiques est modifiable après sa fabrication (bande passante, fréquence opérationnelle, diagramme de rayonnement et polarisation). Cette modification est réalisée en appliquant une commande externe, par l'ajout des composants actifs de type électrique (la Diode PIN, Varactors, les RF-MEMS) de type optique comme les photoconducteurs ou de type physique tel que la modification géométrique de la forme de l'antenne [5].

Le terme d'une antenne reconfigurable a été utilisé pour la première fois par Brown dans son article apparu en 1998 [11]. Les antennes reconfigurables sont considérées très

efficaces en termes de leurs performances, leurs flexibilités et leurs utilisations efficace du spectre de fréquence.

Suivant leurs fonctionnalités sur les caractéristiques de l'antenne, on peut classifier les antennes reconfigurables en quatre catégories : la reconfigurabilité en fréquence, du rayonnement, en polarisation ou une combinaison entre deux ou plus de reconfigurations précédentes.

Dans notre étude, on va concevoir des antennes reconfigurables en fréquence dédiées pour les applications WLAN (fréquences 2.45 GHz et 5.8 GHz), en utilisant le simulateur électromagnétique CST Microwave Studio version 2017.

Pour mieux comprendre le contexte de l'étude envisagée, nous dressons, dans le premier chapitre, un état de l'art des antennes reconfigurables ainsi que leurs types (en fréquence, du rayonnement et en polarisation), en faisant ressortir leurs avantages et inconvénients, leurs principes de fonctionnement et les principaux concepts utilisés.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons les classifications et les techniques pour aboutir la reconfigurabilité, ainsi que la présentation des différents dispositifs de commutations tels que les diode PIN.

Le troisième chapitres englobe une étude paramétrique d'une antenne imprimée dédiée à l'application WLAN afin de voir l'effet des différents paramètres physiques et électriques sur les caractéristiques de cette antenne.

Dans le quatrième chapitre, nous procédons à l'optimisation de l'antenne reconfigurable en fréquence afin de commuter entre les deux fréquences WLAN 2.45 GHz et 5.8 GHz.

Enfin, ce document se termine par une conclusion générale.

Chapitre I :

Les antennes reconfigurables

I.1 Introduction

Avec le développement technologique actuel et l'apparition des nouvelles applications sans fil, les ressources fréquentielles disponibles étant limités et les puissances étant réglementés pour des questions de sécurités. Des solutions innovent doivent être mise en place pour augmenter les performances de transmission en termes de débit et d'efficacité ; parmi ces derniers, les antennes reconfigurables font l'objet d'importantes recherches et devient un impératif très important dans des nombreux communications sans fil. Ces antennes peuvent utiliser, plus efficacement, le spectre de radiofréquence. Dans ce chapitre, on va entamer quelques notions de base sur les antennes reconfigurables.

I.2 Théorie de base sur les antennes imprimées

Généralement, l'antenne est un dispositif métallique nécessaire dans tous les systèmes de communications sans fil. Elle permet de transmettre un signal modulé (porteur d'une information) d'un émetteur vers le récepteur via un canal de transmission (guide d'ondes, l'espace libre, ...). L'antenne transforme le signal électrique à une ondes électromagnétique et vice versa (a un rôle réciproque). Plusieurs livres et articles entamaient, avec détaille, la théorie de l'antenne et tous ce qui concerne ses paramètres (technique d'alimentation, les dimensions physiques, matière du substrat (permittivité ϵ_r), ...) et ses caractéristiques (diagramme de rayonnement, polarisation, fréquence opérationnelle, la bande passante, directivité, le coefficient de réflexion, ...) [12-13]

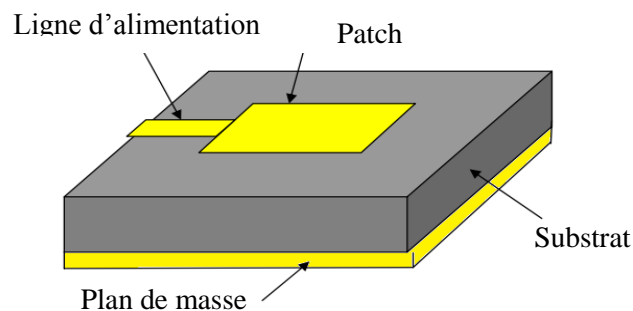


Figure I.1 : Une antenne imprimée avec un patch de forme rectangulaire

I.2.1 Les paramètres des antennes imprimées

Généralement, il existe des paramètres électriques et des autres physiques tels que les dimensions physiques de l'antenne telles que la forme et la taille du patch rayonnant, la taille de la masse et le substrat diélectrique. Pour les paramètres électriques, on peut citer la

technique d'alimentation de l'antenne patch et le diagramme d'élément pour un réseau d'antennes et le déphasage, électrique, entre des éléments du réseau. Dans notre travail, on s'intéresse seulement par un seul élément rayonnant où le paramètre électrique le plus important est la technique d'alimentation.

A. Les techniques d'alimentation

Une antenne patch peut être excitée par plusieurs techniques qui sont catégorisées en deux types avec et sans contact. Dans le premier type, l'antenne est alimentée directement à l'aide d'une connexion comme la ligne micro ruban et le câble coaxial. Dans le deuxième type (sans contact), l'alimentation est assurée par un couplage par fente ou par proximité. Ces deux dernières techniques permettent de transférer la puissance RF entre la ligne micro ruban et le patch rayonnant.

➤ *Alimentation par câble coaxial*

L'alimentation par câble coaxial est très utilisée dans les antennes micro-ondes à cause de sa simplicité de mettre en œuvre et sa facilité d'adaptation d'impédance. Le câble coaxial se compose de deux conducteurs (externe et interne). Le conducteur externe est relié au plan de masse tandis que le conducteur intérieur est relié au patch rayonnant. Mais ce type d'alimentation présente une bande passante étroite et une grande difficulté de le modéliser, surtout pour des substrats épais.

➤ *Alimentation par ligne micro-ruban*

Une ligne d'alimentation micro-ruban est une bande métallique dont sa largeur est très étroite par rapport à celle du patch. Cette technique est facile à fabriquer et facilement adaptée en agissant sur ses dimensions et sa position. De même que l'alimentation par câble, cette méthode présente une bande passante étroite et des rayonnements parasites.

➤ *Alimentation par couplage par proximité*

Dans le couplage par proximité, la ligne micro-ruban peut être placée sur le même substrat avec le patch rayonnant mais avec une distance de discontinuité. Cette technique est facile à modéliser mais difficile à mettre en œuvre. La bande passante dans cette méthode est large par rapport les autres méthodes. Ce couplage est capacitif et présente un rayonnement parasite faible. Pour une grande adaptation, on doit agir sur la distance entre la ligne micro-ruban et le patch.

➤ *Alimentation par couplage de fente ou d'ouverture*

L'alimentation par ouverture est la plus difficile à mettre en œuvre en plus elle présente de même une bande passante étroite. Cependant elle présente des rayonnements parasites faibles. La géométrie est constituée de deux substrats, de permittivités différentes, séparés par un plan de masse sur lequel l'ouverture est faite. Une ligne de transmission est disposée sur le substrat inférieur (permittivité élevée) alors que le patch est disposé sur le substrat supérieur (permittivité faible). Ce patch est alimenté par la ligne micro-ruban à travers l'ouverture du plan de masse. Pour aboutir l'adaptation d'impédance, on doit contrôler la taille de la fente et/ou la taille de la ligne de transmission.

I.2.2 Les caractéristiques des antennes imprimées

Une antenne est un dispositif métallique qui peut convertir une onde électrique venue d'une ligne de transmission à une onde électromagnétique qui se propage dans l'espace libre. L'antenne est un dispositif réciproque (émission /réception). Chaque antenne est caractérisée par plusieurs paramètres importants qui donnent une idée sur le fonctionnement et la performance de rayonnement d'antenne sous étude.

❖ *La fréquence de résonance (f_r)*

Les antennes sont optimisées pour fonctionner à une bande de fréquences particulière et ne sont plus utilisables que sur cette gamme de fréquences centrée sur une fréquence, appelée la fréquence de résonance. En réalité, il existe plusieurs méthodes (approches) d'analyse qui permet de déterminer la liaison entre les caractéristiques d'une antenne patch et ses paramètres physiques. Parmi ces approches, on peut citer le modèle de la ligne de transmission (TLM), la cavité et le modèle full-wave.

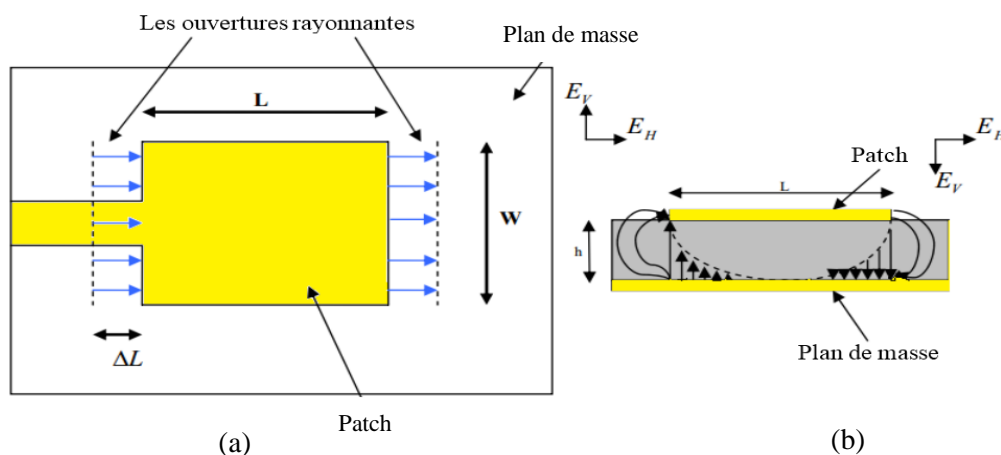


Figure I.2 : Une vue au-dessus d'une antenne imprimée dans (a) et une autre de côté en (b)

En utilisant l'une de ces approches (TLM), on peut déterminer la fréquence de résonance d'une antenne patch rectangulaire pour les différents modes de propagation TM_{mn}

$$f_o = \frac{c}{2\sqrt{\varepsilon_{reff}}} \left[\left(\frac{m}{L}\right)^2 + \left(\frac{n}{W}\right)^2 \right]^{1/2} \quad (I.1)$$

avec m et n sont les indices de modes le long L et W , respectivement.

La permittivité effective est donnée par

$$\varepsilon_{reff} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-1/2} \quad (I.2)$$

où ε_r est la permittivité du substrat, h est la hauteur du substrat et W est la largeur du patch

Pour avoir un rayonnement efficace, la largeur W doit être calculée à partir de l'expression suivante

$$W = \frac{c}{2f_o \sqrt{\frac{\varepsilon_r + 1}{2}}} \quad (I.3)$$

Pratiquement, la longueur du patch va prendre une valeur effective (L_{eff}) suivant le modèle de [14]

$$L_{eff} = L + 2\Delta L \quad (I.4)$$

avec

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\varepsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\varepsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8\right)} \quad (I.5)$$

Pour une fréquence de résonance donné, la longueur effective du patch sera exprimée par

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_o \sqrt{\varepsilon_{reff}}} \quad (I.6)$$

❖ Le coefficient de réflexion (S_{11}) et Le taux d'ondes stationnaires (TOS)

On peut définir le coefficient de réflexion (S_{11}) comme un rapport des amplitudes des ondes (puissance) incidentes sur les ondes (puissance) réfléchies. Ce paramètre indique la qualité d'adaptation de l'antenne. Il est souvent exprimé en décibel (dB).

$$S_{11} = -10 \log \left(\frac{P_{in}}{P_{ref}} \right) (dB) \quad (I.7)$$

De même, le TOS exprime le degré d'adaptation entre la ligne de transmission et l'antenne ce qui permet de réaliser un bon fonctionnement de l'antenne. Mathématiquement, le TOS peut être exprimé par

$$TOS = \frac{V_{Max}}{V_{Min}} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} = \frac{1+S_{11}}{1-S_{11}} \quad (I.8)$$

❖ La bande passante (BW)

La largeur de bande d'une antenne est définie comme une gamme de fréquences pour laquelle le coefficient de réflexion (S_{11}) est inférieur à une valeur donnée (généralement -10 dB).

La bande passante est, généralement, extraite à partir d'un diagramme de son coefficient de réflexion ($S_{11} \leq -10$ dB ou $S_{11} \leq -6$ dB). Souvent, on l'exprime par

Pour les bandes étroites

$$BW_{NB} = \left[\frac{F_H - F_L}{F_C} \right] \times 100 \quad (I.9)$$

et pour les large bandes

$$BW_{WB} = \frac{F_H}{F_L} \quad (I.10)$$

❖ Directivité (D), Gain (G) et Diagramme de rayonnement

La directivité est le rapport entre la puissance rayonnée par une antenne dans une direction donnée (U) et la puissance rayonnée par une antenne isotrope (U_0). Mathématiquement, elle s'exprime par

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{U}{P_{rad}/4\pi} \quad (I.11)$$

Le gain d'une antenne est un paramètre similaire de la directivité, sauf, il introduit les pertes intrinsèques d'une antenne dans le calcul. Les deux paramètres sont exprimés en dBi (décibel relatif à une antenne isotrope).

Le diagramme de rayonnement d'une antenne est la représentation graphique des champs EM existant dans le champ lointain. Ce diagramme peut être tracé en 2D (cartésienne ou polaire) ou en 3D. Le diagramme est caractérisé par un lobe principal (ouverture à mi-puissance), des lobes secondaires (niveau de lobes secondaires), les zéros (ses orientations vers les directions non désirées) et les lobes de périodicités (pour les réseaux d'antennes).

❖ Polarisation

Une antenne rayonne une onde qui, en champ lointain, présente localement les propriétés d'une onde plane. La polarisation de cette onde dans une direction donnée est, par définition, caractérisée par la projection dans le plan orthogonal à la direction de propagation,

de la courbe décrite dans le temps par l'extrémité du vecteur du champ électrique, par convention, de l'onde rayonnée en zone lointaine. Ce paramètre permet de réutiliser la même fréquence en utilisant la diversité en polarisation.

Généralement, il existe trois types de polarisation : linéaire, circulaire et elliptique.

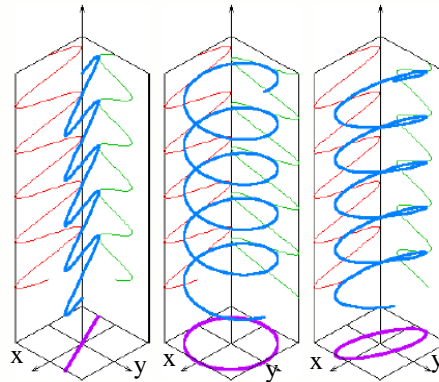


Figure I.3 : L'évolution du champ électrique pour la polarisation linéaire, circulaire et elliptique de gauche à droite, respectivement. Les courbes bleues montrent l'évolution de vecteur champ électrique. Les courbes rouges et vertes montrent les composantes correspondantes selon x et y.

❖ Impédance d'entrée (Z_e)

En émission et conformément à la théorie des circuits linéaires, l'antenne peut être représentée par un dipôle d'impédance d'entrée complexe, "chargeant" la sortie du circuit émetteur, modélisé par une source d'impédance interne Z_s .

Cette impédance peut être écrite comme

$$Z_e = R_e + jX_e \quad (\text{I.12})$$

Où Z_e est l'impédance de l'antenne à ses extrémités.

R_e est la résistance de l'antenne à ses extrémités.

X_e est la réactance de l'antenne à ses extrémités.

La partie réelle de l'impédance d'entrée R_e caractérise la puissance dissipée par l'antenne sous forme de rayonnement et de pertes diverses dans sa structure (effet Joule, onde de surface, hystérésis diélectrique, etc.). La partie imaginaire, X_e de l'impédance d'entrée, d'interprétation plus délicate, représente la puissance stockée dans le champ proche de l'antenne.

I.3 Les antennes reconfigurables

I.3.1 Définition

Une antenne reconfigurable est définie comme un dispositif capable de modifier ses caractéristiques de fonctionnement (fréquence opérationnelle, bande passante, polarisation, diagramme de rayonnement) d'une manière dynamique après sa fabrication. Le changement dans l'un de ses paramètres électriques, optiques, physiques (modification mécanique) ou l'intégration de matériaux commandables (ferrites, cristaux liquides) permet de modifier les caractéristiques de l'antenne, même durant le fonctionnement de l'antenne en temps réel. Ces changements permettent l'antenne de s'adapter au changement de l'environnement et aux contraintes liées aux systèmes de communications [7].

Les antennes reconfigurables deviennent un sujet de recherche actif à cause de la demande croissante de ces types d'antennes surtout dans les télécommunications sans fil (réseaux mobiles), car ils ont une grande flexibilité ce qui permet d'utiliser les ressources fréquentielles d'une manière optimale.

Les antennes patch reconfigurables sont très attractives et sont devenues les meilleurs choix pour les applications sans fil en raison de nombreux avantages de ces antennes imprimées telles que la simplicité, la légèreté, la compatibilité avec leurs facilités de fabrication et d'intégration. Les antennes imprimées sont trouvées dans les petits appareils électroniques comme les téléphones cellulaires, les tablettes et les ordinateurs portables.

I.3.2 La nécessité de la reconfigurabilité

Le développement technologique touche plusieurs domaines surtout les télécommunications sans fil. L'antenne est considérée l'élément principal dans la communication, son rôle est de capter ou de recevoir les ondes électromagnétiques puis les transforme en ondes électriques ou inversement.

Les antennes imprimées sont largement utilisées dans le domaine de communications mobiles (téléphones mobiles, tablettes et des laptops). Ces antennes sont conçues et dédiées pour fonctionner sur une seule gamme de fréquence ce qui montre une grande limitation pour faire la diversité des services (WIFI, WLAN, GSM,...). L'utilisation de plusieurs antennes pour un seul dispositif n'est pas faisable. La solution est présentée dans l'utilisation des antennes capable de changer sa bande d'utilisation suivant le besoin de l'utilisateur. Alors, on parle à la notion de reconfigurabilité.

Les antennes reconfigurables donnent un degré de liberté plus que les antennes patch simple (leurs paramètres et caractéristiques sont fixe et interchangeable), car ces antennes reconfigurable sont la possibilité de régler la fréquence de fonctionnement, de changer le bande d'exploitation elle-même, de filtrer les signaux parasites et d'orienter le lobe principal vers la direction privilégiée ce qui augmente la capacité du réseau (mobile) grâce à la diversité spatiale fournie par ces types d'antennes.

I.3.3 Technologie Ultra Large Bande

Le développement récent des communications Ultra Large Bande a nécessité des antennes avec des caractéristiques spécifiques telles que les antennes reconfigurables qui présentent une grande adaptation à cette technologie. Typiquement, une bande passante de 7.5GHz (de 3,1 GHz jusqu'à 10.5GHz) est désignée comme une plate-forme pour les communications sans fil publiques [15-17]. La technologie UWB permet d'avoir un débit de transmission très élevé avec un minimum d'interférences. Cette technologie présente une densité spectrale de puissance faible ce qui permet la coexistence du Signal UWB et les autres services existants (la bande ULB recouvre des autres systèmes radio). En outre, les signaux ULB sont plus difficiles à détecter (faible densité) que les autres signaux de radiocommunications classiques car ils utilisent une grande largeur de bande et peuvent être produits sous forme de bruit (*noise-like signals*), ce qui améliore la sécurité de cette technologie. Cette technologie possède de nombreux avantages telle que sa robustesse dans environnement bruyant.

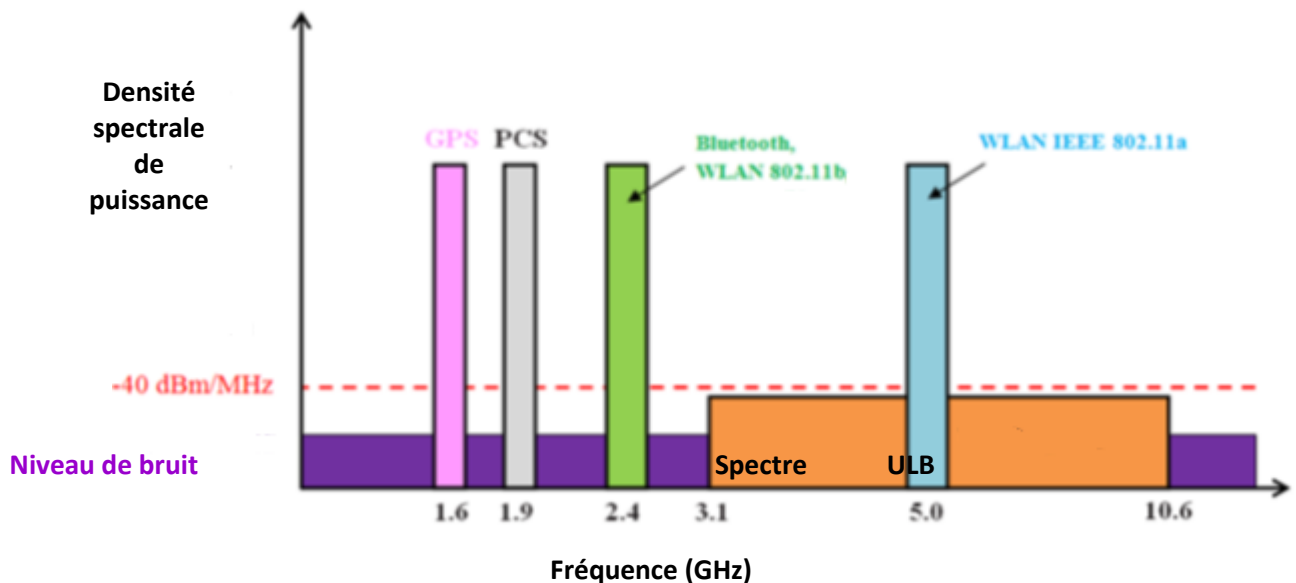


Figure I.4 : La densité spectrale des différentes normes de communications [16]

I.3.4 Les techniques de reconfigurabilité

Une antenne reconfigurable est une antenne dans laquelle au moins l'une de ces caractéristiques est modifiable après sa fabrication (fréquence, polarisation et diagramme de rayonnement). Il existe diverses techniques pour adopter la reconfigurabilité.

Dans ces techniques, on doit modifier les caractéristiques de l'antenne en utilisant des composants actifs tels que, les diodes PIN et les RF-MEMS et les Varactors pour les types électriques. Dans le domaine optique, on doit utiliser des éléments de commutations optiques tels que les photoconducteurs. De même, la reconfigurabilité peut être réalisée par une modification mécanique dans la structure de l'antenne. Ce type est connu par la reconfigurabilité physique. Il y a une autre technique de reconfigurabilité présentée dans l'utilisation des matériaux intelligents tels que les ferrites et les liquides cristaux. Dans notre étude, on s'intéresse par la reconfigurabilité électrique en utilisant les diodes PIN.

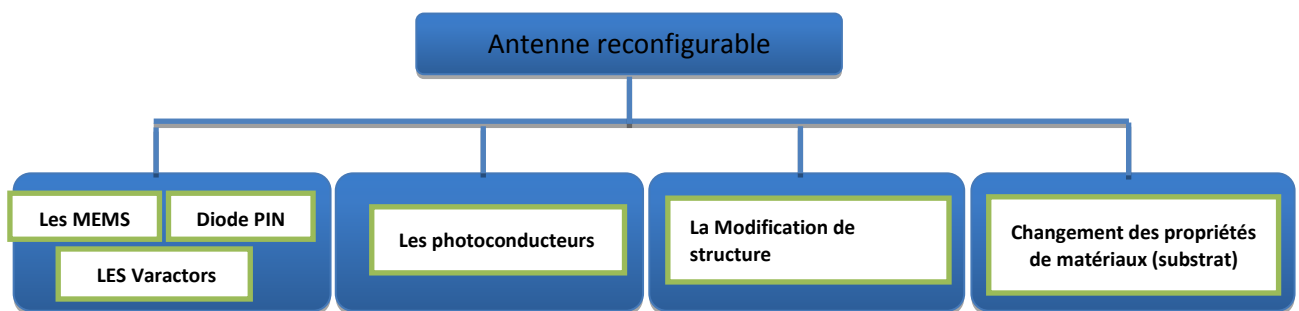


Figure I.5 : Les différentes techniques de reconfigurabilité

I.3.5 Classification de reconfigurabilité

Quelque soit la technique de reconfigurabilité utilisée, on peut les classer suivant leur fonctionnalité sur les caractéristiques de l'antenne (fréquentielle, spatiale (de rayonnement) ou sur la polarisation)

I.3.5.1 La reconfiguration en fréquence

Antennes reconfigurables en fréquence ont attiré beaucoup d'attention en raison de leur capacité de couvrir plusieurs bandes de fréquences afin de réduire considérablement le nombre des antennes nécessaires pour la communication multi-modes. Ces antennes sont appelées aussi les antennes accordables et sont classifiées en deux catégories continue et discrète. Les antennes accordables continues permettent d'assurer le passage entre les bandes et d'offrir la possibilité de varier une ou plusieurs fréquences de résonance de façon continue.

Cependant la deuxième catégorie permet à l'antenne de commuter entre plusieurs bandes de fréquences.

Pour mieux comprendre la reconfigurabilité en fréquence, on prend l'exemple de l'application WIFI (2,4GHz : Norme 802.11b). Ce service comprend plusieurs canaux de fréquences ISM. Une antenne reconfigurable en fréquence pour l'application WIFI, doit être conçue pour recouvrir tous les canaux précédents par commutation. La bande passante instantanée doit être suffisamment grande afin de couvrir chaque canal et l'agilité fréquentielle permet de se déplacer d'un canal à un autre [17].

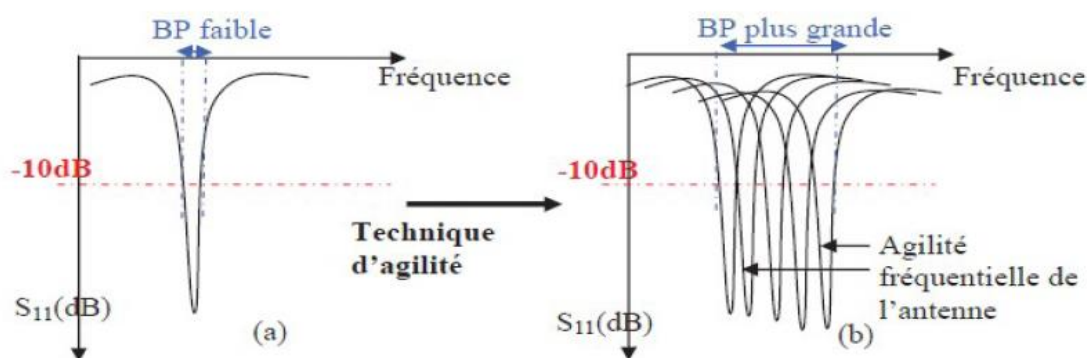


Figure I.6 : Illustration de l'agilité fréquentielle [18]

➤ Principe de la reconfiguration de fréquence

Les antennes reconfigurables en fréquence permettent de régler la fréquence de fonctionnement de façon dynamique, Ils sont particulièrement utiles dans les cas où plusieurs systèmes de communications convergent, parce que les antennes multiples requis peuvent être remplacées par une seule antenne reconfigurable. L'agilité fréquentielle est obtenue en modifiant la longueur de résonance du résonateur. Pour cela, on charge l'antenne par des éléments actifs dont la réactance peut être contrôlée électroniquement (diode varicap), ou par des composants jouant le rôle d'un commutateur (diode PIN, FET ou MEMS). Ces composants actifs exigent des circuits de polarisation (*biasing*) pour faire la commutation (ON-OFF).

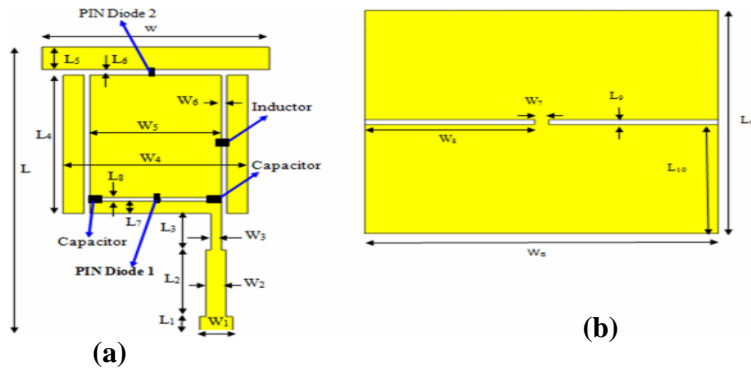


Figure I.7: La reconfigurabilité de fréquence en utilisant une antenne rectangulaire vue du dessus (a) et du dessous (b) [19]

I.3.5.2 La reconfiguration du rayonnement

La reconfigurabilité du rayonnement permet l'antenne d'adapter son diagramme de rayonnement et de maintenir sa fréquence de fonctionnement. Ce type de configuration est utilisé pour orienter le lobe principal vers les directions utiles et annuler les rayonnements dans les directions des interférences, ce qui permet d'améliorer la capacité du système. La reconfigurabilité du rayonnement permet l'antenne de modifier sa forme, sa direction et son gain afin de favoriser les directions privilégiées. Les réseaux d'antennes sont souvent utilisés pour remplir cette tâche [20].

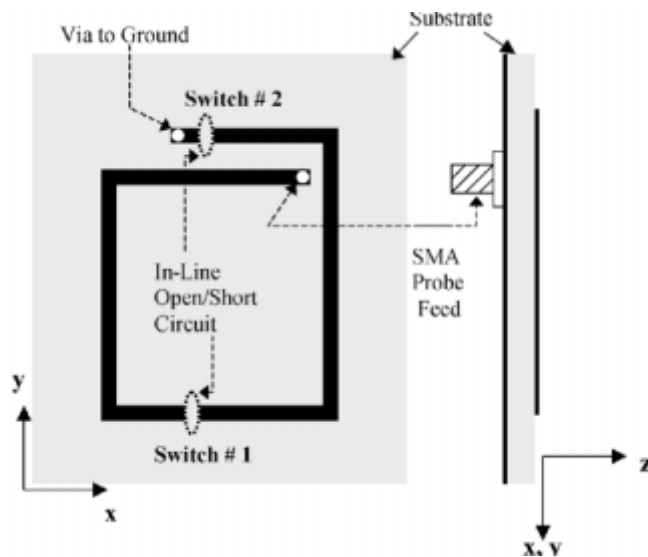


Figure I.8: La reconfigurabilité du rayonnement en utilisant une antenne filaire à spirale carrée [20]

➤ *Principe de reconfiguration*

La géométrie doit présenter plusieurs cheminements de courant reconfigurables, mais ceux-ci doivent être similaires, ce qui a pour but de maintenir la fréquence d'opération tout en modifiant la forme du diagramme de rayonnement [21].

➤ *Mécanismes de reconfiguration*

Principalement, le réglage de diagramme de rayonnement s'appuie sur le couplage mutuel entre l'élément principal et ceci parasite. Par conséquent, les changements dans les diagrammes de rayonnement sont obtenus grâce à des changements dans le couplage entre les éléments, qui, à de leur tour, modifier les courants d'alimentation à la fois sur l'élément principal et les éléments parasites [9].

I.3.5.3 La reconfiguration en polarisation

La reconfiguration en polarisation permet de changer la polarisation d'une antenne (horizontale/verticale, gauche ou droit de la polarisation circulaire, etc.). Ce type de configuration permet d'augmenter la fiabilité et la robustesse de la communication (immunité aux interférences) ainsi que de fournir un degré de liberté supplémentaire (diversité). Afin de maintenir les autres caractéristiques (fréquence, DR), on doit altérer la polarisation de l'antenne en agissant sur la phase et le sens du courant d'alimentation. On peut changer la polarisation de l'antenne en modifiant l'orientation vectorielle du champ E et cela sans altérer ni les fréquences résonantes, ni la forme du diagramme de rayonnement [9].

➤ *Mécanismes de reconfiguration en Polarisation*

Les mécanismes permettant d'atteindre cette reconfiguration sont, en grande partie, les mêmes que celles décrites pour la reconfigurabilité de fréquence et du rayonnement, mais leurs implémentations sont nécessairement différentes.

Un exemple d'antenne reconfigurable est l'antenne patch avec des fentes commutables, ou "PASS" développée par l'UCLA [5]. Par l'insertion d'un commutateur (diode PIN ou FET) au centre de la fente (figure I.8.b), en contrôlant le comportement du courant sur le patch par l'utilisation d'un circuit biaisant qui permet de commuter la diode PIN de l'état On vers l'état OFF et vice versa. On peut atteindre une polarisation différente en utilisant deux fentes orthogonales sur le patch [5].

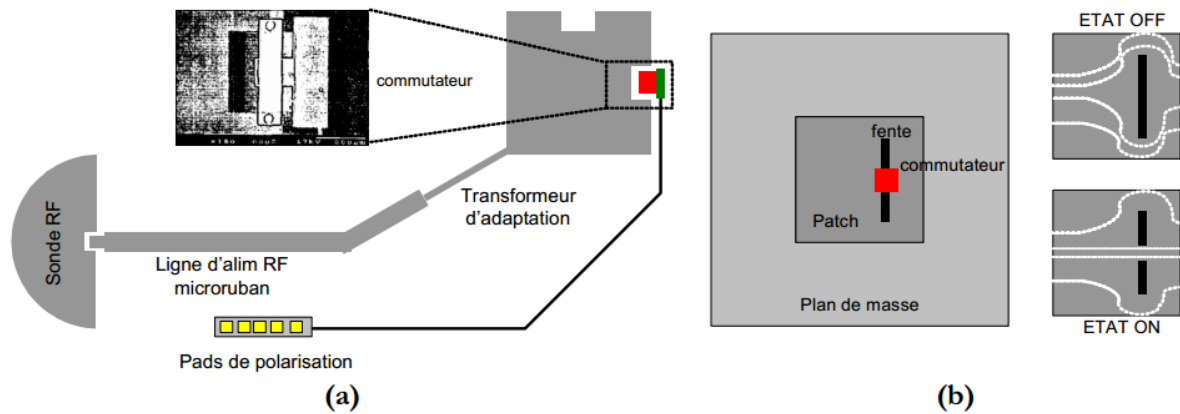


Figure I.9 : Antenne patch à bord commuté en (a) et Antenne PASS de l'UCLA en (b) [5]

I.3.5.4 La reconfiguration composée

Ce type de reconfiguration combine entre deux autres types précédents, par exemple, on peut atteindre une reconfigurabilité en fréquence avec la diversité de polarisation en même temps.

Le principe de fonctionnement d'un composé reconfigurable n'est pas différent de celle d'une simple reconfiguration, bien sûr avec un plus de complexité. On dit que l'antenne est de reconfigurabilité composée si elle a la capacité de contrôler plus de caractéristiques à la fois (la fréquence, la bande passante, diagramme de rayonnement et de polarisation).

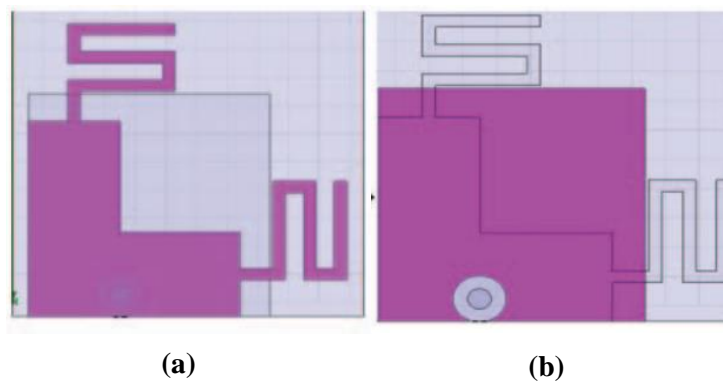


Figure I.10 : Géométrie de l'antenne Meander optimisée vue du dessus en (a) et du dessous en (b) [22]

I.3.6 Avantages et inconvénients d'une antenne reconfigurable

Une antenne reconfigurable, comme tous les autres types d'antennes classiques, a des avantages et des inconvénients

❖ Avantages

Parmi ces avantages, on peut citer

- ✓ La réallocation et la gestion dynamique du spectre
- ✓ Offre la flexibilité et répond aux exigences de plate-forme radio sans fil (des services multiples dans un seul appareil).
- ✓ Réduction du nombre d'antennes dans le système ce qui réduit la taille et le coût de l'appareil.
- ✓ Une bonne isolation entre les différentes normes sans fil et les bandes.
- ✓ La reconfigurabilité de rayonnement permet d'avoir une diversité spatiale.
- ✓ Reconfigurabilité en fréquence est utile à l'appui de nombreuses applications sans fil.
- ✓ Reconfigurabilité en polarisation permet de réduire divers problèmes tels que l'affaiblissement du signal dû à la propagation par trajets multiples, la sensibilité de l'émetteur-récepteur de signaux à l'orientation de l'antenne et la sécurité, etc.

❖ Inconvénients

Bien que les antennes reconfigurables aient beaucoup d'avantages, elles ont aussi des méfaits. Parmi ces méfaits, on peut citer [12]

- Plus chers que les antennes classiques (introduire des composants actifs)
- Consommation énergétique élevée (composants actifs à polariser en continu)
- Difficultés de conception et de simulation à cause de l'intégration des composants actifs dans l'antenne (le besoin d'utiliser des packages, circuit de polarisation)
- Une efficacité réduite

I.4 Conclusion

On a abordé dans ce chapitre des initiations de base sur les antennes imprimées et les antennes reconfigurables et leur nécessité dans le domaine des télécommunications ainsi on apprend les paramètres et les caractéristiques qui affectent sur le comportement de l'antenne. De même, on a cité les différents types de reconfigurabilité puis les avantages et inconvénients de ces antennes reconfigurables. Pour avoir la reconfiguration, on doit ajouter des composants actifs (diode PIN), ce qui exige de les voir en détail dans le chapitre suivant.

Chapitre II :

Les dispositifs de commutations pour les antennes reconfigurables

II.1 Introduction

Avec le développement technologique actuel et l'apparition des nouvelles ressources spectrales ce qui augmente le nombre de services et les besoins de communications sans fil (réseaux cellulaires). Cette augmentation demande des appareils de grande capacité de répondre aux besoins de l'environnement et de système. Le grand nombre de services avait poussé les inventeurs de trouver un nouveau dispositif qui peut englober ces différents services. Ces dispositifs sont appareillés par des antennes patch aptes de fonctionner sur plusieurs fréquences (multi bandes) afin de couvrir les différents services telles que WLAN, GSM, Bluetooth, etc. Ces antennes sont connues par les antennes reconfigurables. Ces antennes peuvent changer, après la fabrication, ses caractéristiques opérationnelles telles que leurs fréquences opérationnelles et leurs diagrammes de rayonnement en variant l'un des paramètres de ces antennes, en utilisant des commutateurs électroniques, mécanique ou optique. Généralement, pour avoir la reconfigurabilité de ces antennes, on doit utiliser des commutateurs RF telles que les MEMS, les diodes PIN, les Varactors, les diodes Schottky ou les photo-conducteurs.

Dans ce chapitre, on va voir une comparaison entre les différents dispositifs de commutations utilisés pour adopter la reconfigurabilité des antennes. Dans notre travail, on va étudier et concevoir une antenne reconfigurable en utilisant la diode PIN. Cette antenne peut fonctionner facilement à plusieurs bandes de fréquences suivant l'état de diodes PIN (ON, OFF).

II.2 Les commutateurs RF

Il existe deux grandes catégories de commutateurs, des commutateurs mécaniques et des autres à base de semi-conducteurs. Les commutateurs mécaniques sont lents, lourd et encombrant, mais ne consomment pas d'énergie dans les états de repos. Ces commutateurs se présentent sous forme d'un guide d'ondes et fonctionnent en général jusqu'à 40GHz. Dans ce type de dispositifs, les pertes d'insertion sont exceptionnellement très faibles (0.4dB) mais l'isolation est très élevée (60dB). L'inconvénient majeur de ces commutateurs présenté dans le temps de commutation très long. C'est pourquoi, aujourd'hui les commutateurs à base de semi-conducteurs sont plus souvent utilisés.

Les commutateurs RF sont appartenent à la deuxième catégorie et sont utilisés pour faire la reconfigurabilité. Ils peuvent être utilisés pour déconnecter des parties de l'antenne les unes des autres ou pour créer différents chemins pour altérer la circulation du courant sur l'antenne. Ces commutateurs RF ont des avantages en termes de leurs très faibles pertes d'insertion sur une bande de 40GHz et plus, leur bonne isolation, leur vitesse de commutation, et leur consommation de puissance nulle. Tout simplement, un commutateur RF est un interrupteur qui sert à ouvrir ou fermer, en utilisant une tension de commande, le chemin du courant qui circule sur la surface d'une antenne (patch ou masse).

Les commutateurs peuvent être modélisés par différents niveaux de complexité, en fonction de la précision nécessaire et des ressources de calcul disponible. Au niveau de base, l'interrupteur peut être modélisé simplement par une languette métallique pour pouvoir commuter entre les deux états des diodes ON et OFF, c.-à-d. remplacer la diode par la présence ou l'absence du morceau de métal. Ces commutateurs sont utilisés pour acheminer les signaux vers le canal voulu, on les trouve beaucoup plus dans les systèmes d'antennes en diversité.



Figure II.1 : Une commutation en utilisant une poutre métallique [23]

Trois dispositifs sont couramment utilisés en commutations micro-onde : les MEMS, les transistors à effet de champs (FET) et les diodes PIN.

Le commutateur MEMS est de l'acronyme de *Micro Electro mechanical Systems* pour les Radiofréquences. Ce commutateur se présente sous la forme d'une membrane de plusieurs centaines de micromètres de long suspendue à quelques micromètres du substrat. Il assure une consommation d'énergie faible avec une excellente linéarité (pas de distorsion) sur une gamme de fréquences allant jusqu'à 40 GHz et plus, mais la commutation est un peu lente.

Actuellement, des dispositifs plus fiables comme les diodes PIN et les FET sont très utilisés. Ces dispositifs se modélisent, tout simplement, au premier ordre comme des

résistances à l'état passant et des capacités à l'état bloqué. Ces deux dispositifs présentent des bonnes performances en termes d'isolation, d'insertion et de rapidité de commutations. La différence entre les deux technologies se fait au niveau de la puissance consommée, où la diode PIN consomme plus que le FET, mais elle peut commuter une puissance très supérieure.

Les commutateurs RF ont plusieurs caractéristiques telles que [24]

- La bande passante : Le commutateur dans ce cas est considéré comme un filtre, car il va conserver une bande et éliminer des autres (filtre passe-bas ou passe-bande).
- Les pertes d'insertion et d'isolement : C'est le rapport de puissance d'entrée et de sortie en présence et absence du commutateur (ON et OFF)
- La vitesse de commutation : Elle est définie par deux temps de commutations : le temps de mise en conduction T_{ON} (du courant inverse vers le courant direct) et le temps de blocage.

Les commutateurs peuvent être utilisés dans reconfiguration des réseaux d'antennes patch (Figure II.2).

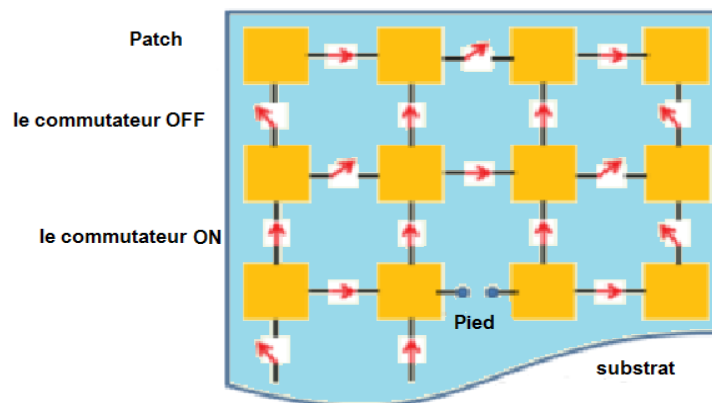


Figure II.2 : Un réseau d'antennes reconfigurable [24]

II.3 Les techniques de commutation d'une antenne reconfigurable

Les antennes reconfigurables utilisent les commutateurs RF pour adopter la reconfigurabilité. Ces commutateurs vont influencer sur la distribution du courant sur la surface de l'antenne, ce qui permet de contrôler et diriger le diagramme de rayonnement, de varier la fréquence de résonance et des autres. Parmi ces commutateurs, on peut mentionner les diodes PIN, les commutateurs MEMS, les VARACTORS et les photoconducteurs.

Ces commutateurs sont de divers types (électrique, optique et physique) comme nous le montrons dans la Figure II.3. Il y a des paramètres essentiels pour choisir un commutateur RF : les caractéristiques d'impédance, la polarisation de l'interrupteur et les conditions d'activations. [25]

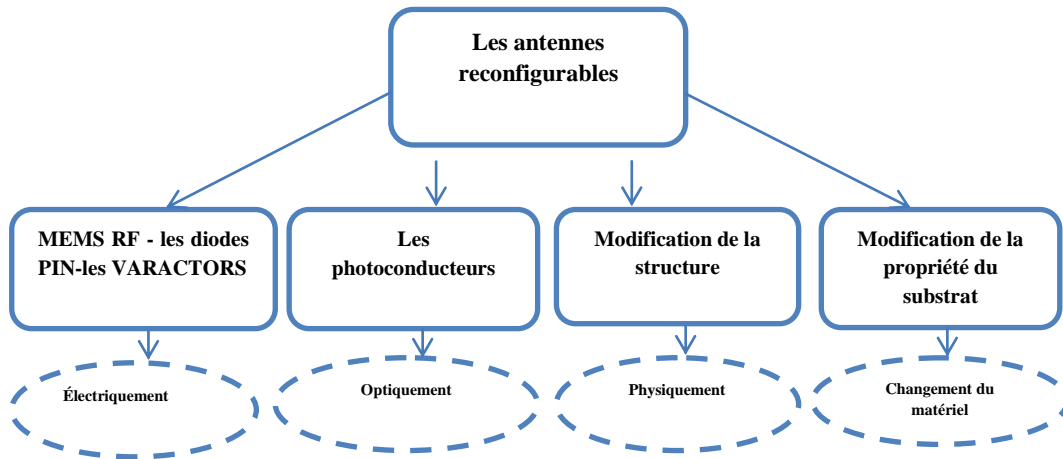


Figure II.3 : Les techniques de reconfigurabilité

II.3.1 La technique électrique

Cette technique est très utilisée dans la conception des antennes reconfigurables imprimées surtout dans les téléphones mobiles et les laptops à cause de sa facilité de fabrication et d'intégration. Cette technique modifie la distribution du courant surfacique sur le patch rayonnant ou sur la masse en utilisant les composants actifs comme des commutateurs (les diodes PIN, dispositifs MEMS ou Varactors). Ces dispositifs présentent une bonne isolation avec faibles pertes d'insertion.

II.3.2 La technique optique

Le commutateur optique est considéré parmi les meilleurs commutateurs à cause de sa simplicité d'intégration. Le commutateur optique est un interrupteur photoconducteur (silicone) commandé par une étincelante de lumière. En éclairant ces éléments de silicone avec une lumière de longueur d'onde appropriée, leurs propriétés physiques peuvent être modifiées d'un semi-conducteur à un métal, ce qui permet de modifier la structure de l'antenne rayonnante.

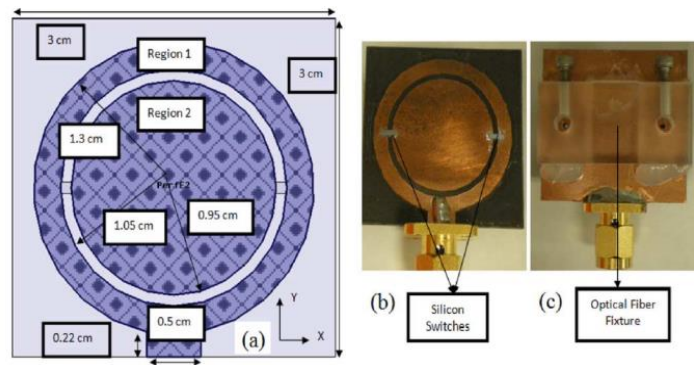


Figure II.4 : Une antenne reconfigurable par photo conducteur : (a) dimension de l'antenne (b) vue au dessus (c) vue au dessous [26]

II.3.3 La technique Physique

Une antenne peut être reconfigurée en modifiant, mécaniquement, la structure rayonnante (Figure II.4). Le réglage de l'antenne est obtenu par une modification structurale de l'élément rayonnant. L'importance de cette technique est qu'elle n'est pas s'appuyer sur les mécanismes de commutation électrique. Elle peut réduire les lignes complexes en utilisant une partie de rotation mécanique (moteur de rotation). L'inconvénient majeur de cette technique de commutation est la nécessité d'une structure volumineuse ce qui augmente la difficulté de la mettre en œuvre dans les petits périphériques.

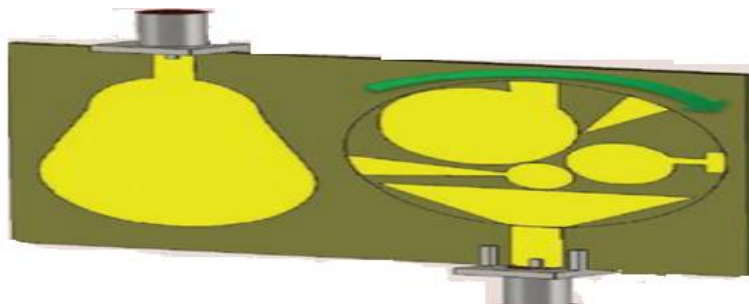


Figure II.5 : La reconfigurabilité géométrique (mécanique) d'une antenne imprimée [7]

II.3.4 La technique basée sur des matériaux intelligents

Les antennes reconfigurables sont également réalisées en utilisant des matériaux intelligents. Ces matériaux permettent de changer les caractéristiques du substrat. Parmi ces matériaux intelligents, on peut citer les matériaux à transition tel que les dioxydes de vanadium et les matériaux à changement de phase tel que les PCM et des autres matériaux intelligents tels que les ferroélectriques et les cristaux liquides [27-28].

II.4 Les dispositifs de commutations

Dans les dernières décennies, la reconfigurabilité est devenue une technique très utilisée dans le monde de communications sans fil pour améliorer les performances des différents systèmes et donner un plus de degré de liberté. Cette reconfigurabilité sera faite après la fabrication d'une antenne où ses caractéristiques peuvent être changées en insérant des composants RF sur la surface rayonnante. Dans cette partie, on va voir quelques composants de commutation très utilisés dans la reconfigurabilité.

II.4.1 Les RF-MEMS/NEMS

Un RF-MEMS est un micro/nano système comprenant un ou plusieurs éléments mécaniques, utilise l'électricité comme une source d'énergie. On peut les considérés comme une version miniature d'un interrupteur mécanique standard. Selon leur conception, les MEMS peuvent servir pour diverses fonctions. A cause de leur grand isolement et sa faible perte d'insertion, les commutateurs RF-MEMS montrent des excellentes caractéristiques de commutation sur une très large gamme de fréquences. Cependant, ils ont besoin d'une haute tension d'activation, ils ne consomment qu'une faible puissance où les pertes sont très faibles. Le MEMS présente plusieurs avantages tels que sa haute vitesse de commutation (capable de se configurer en 100 μ s pour MEMS et 50 ns pour les NEMS). De même, il présente quelques inconvénients restent en premier lieu la tension élevée qu'ils nécessitent et en second lieu, le coût relativement élevé de leur fabrication.

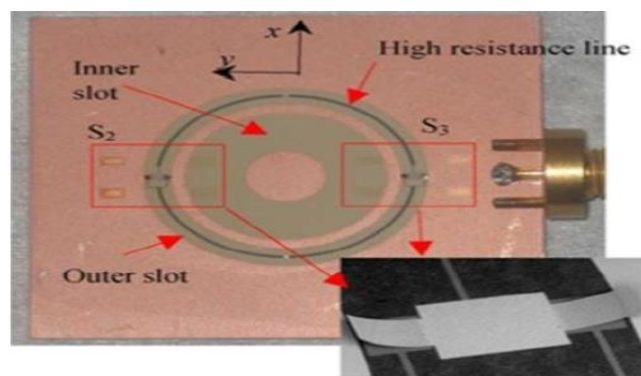


Figure II.6 : Un interstice (gap) annulaire intégré avec deux actionneurs MEMS à bras double [20]

II.4.2 Les Commutateurs optoélectroniques

Dans les commutateurs optoélectroniques, la reconfigurabilité est aboutisse en utilisant une source de lumière comme la fibre ou un éclairage direct. Ces commutateurs ont beaucoup

d'avantages tels que ses faibles pertes, sa légèreté, son immunité contre les bruit, l'isolement du circuit [28]. Malgré tous ces avantages, Ces commutateurs optiques exigent un mécanisme d'activation très complexe.

II.4.3 Les Diodes Varactors

Une diode varicap (de l'anglais : variable capacity), aussi nommée varactor (acronyme de variable reactor) est une diode qui se comporte comme un condensateur dont la valeur de la capacité varie avec la tension inverse appliquée à ses Bornes.

Une diode varactor peut être modélisée par le circuit équivalent suivant

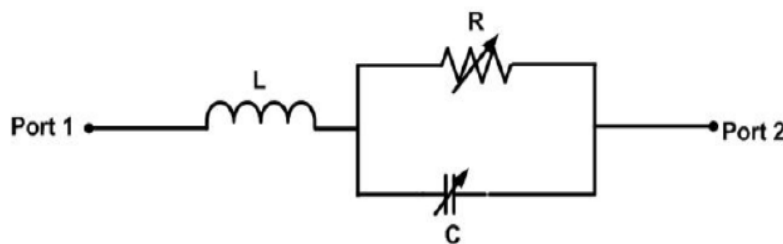


Figure II.7 : Un circuit équivalent de la diode Varactor

Ces diodes présentent une facilité d'intégration et une grande agilité continue, mais les pertes introduites par ce composant sont parfois importantes et les tensions de polarisation peuvent atteindre 30V. De même, ces diodes ont une faible gamme dynamique, circuits de polarisation complexes sont nécessaires [24]. De plus, cette complexité est augmentée avec le nombre des diodes varicap nécessaires pour rendre l'antenne reconfigurable. Les diodes varactor sont largement utilisées dans les applications de communication.

II.4.4 Matériaux Agiles

Les matériaux dits agiles ou encore intelligents sont utilisés, généralement, Comme un substrat dont ses propriétés électromagnétiques (permittivité et/ou perméabilité) peuvent être modifiées via une commande externe (par l'application d'un champ électrique et/ou magnétique) ce qui assure l'agilité des antennes. Quelques études ont été réalisées en utilisant des propriétés de matériaux différents notamment les matériaux ferroélectriques, ferromagnétiques et les cristaux liquides. Ces matériaux ont propriété pour modifier leur permittivité électrique relative perméabilité magnétique. En fait, un cristal liquide est un matériau non linéaire dont le constant diélectrique peut être modifié avec différents niveaux de tension, en modifiant l'orientation des molécules de ce cristal liquide. Il offre l'avantage

d'être simple et facilement intégrable. Néanmoins, rendre ces matériaux agiles n'est pas une tâche facile. En plus, une grande tension doit être appliquée sur les matériaux pour faire l'agilité, les pertes sont assez importantes et le temps de réponse est élevé [20].

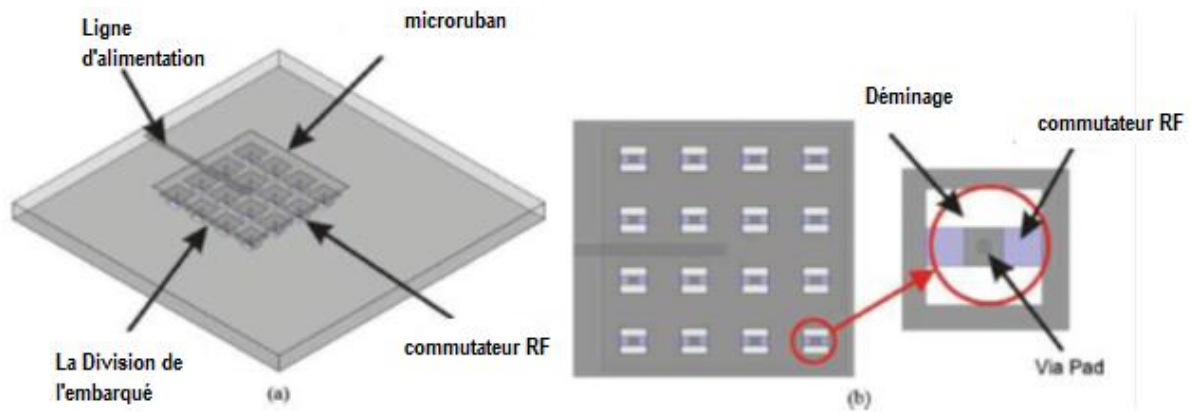


Figure II.7: Antenne patch reconfigurable en fréquence sur substrat EBG [20]

II.4.5 Les Diodes PIN

Depuis nombreuses décennies, la diode PIN est un composant incontournable et largement utilisé dans les circuits RF tel que les commutateurs, les atténuateurs...etc. La diode PIN est utilisée dans un grand nombre d'applications allant de la bande UHF aux fréquences micro-ondes. Elle fonctionne comme une résistance variable, aux hyperfréquences, en contrôlant principalement son courant de polarisation directe. Dans les applications de commutations et d'atténuation, la diode doit idéalement piloter le niveau du signal RF sans introduire des distorsions sur la forme du signal.

Dans le présent travail, une diode PIN est utilisée comme un commutateur pour atteindre à une antenne reconfigurable. Pour mieux comprendre le principe de fonctionnement des diodes PIN, on va voir quelques notions de base concernant ce dispositif de commutation.

II.4.5.1 Définition

Une diode PIN (*Positive Intrinsic Negative diode*) est un dispositif semi-conducteur constitué d'une région non dopée (dite région intrinsèque I) intercalée entre deux autres régions dopées de type N et P.

La Figure II.8 montre un simple circuit équivalent d'un commutateur PIN qui peut être activé ou désactivé. Dans l'état ON, le commutateur peut être représenté comme une

résistance et une inductance. Un condensateur en parallèle avec une résistance, le tous en série avec une inductance, dans l'état OFF.

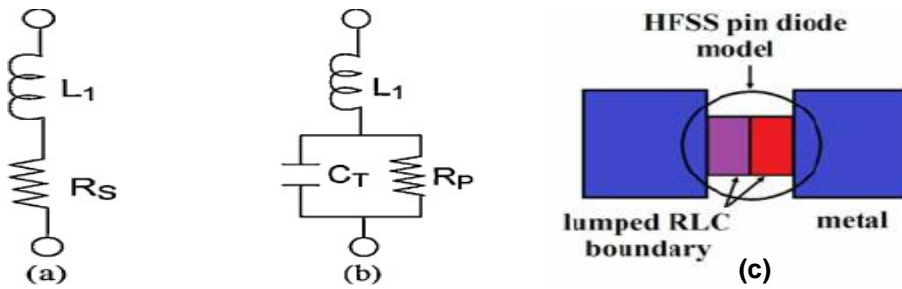


Figure II.8 : Le circuit équivalent de la diode PIN : (a) l'état ON (b) l'état OFF (c) modèle de la diode [29]

II.4.5.2 Caractéristiques importantes d'une diode PIN

La diode PIN est un dispositif semi-conducteur qui présente plusieurs caractéristiques importantes telles que

- Une diode PIN fonctionne comme une résistance variable en RF. La valeur de la résistance varie, de 1 Ω à 10 k Ω (OFF), en fonction de la quantité de courant qui s'écoule à travers elle.
- La diode a une région I légèrement dopée, ce qui permet d'avoir une longue durée de vie, une tension de claquage élevée, vitesse de commutation élevée.
- Au contraire à la diode varactor qu'est contrôlée en tension, la diode PIN est contrôlée par un courant de commande.
- Lorsque le courant de commande est varié alternativement, la diode PIN peut être utilisée pour la modulation d'amplitude d'un signal RF.
- La valeur du temps de recouvrement T_R peut être calculée, à partir du courant direct I_F , du courant inverse initial I_R , et de la durée de vie des porteurs τ , de la manière suivante

$$T_R = \tau \cdot \ln \left(1 + \frac{I_F}{I_R} \right) \quad (\text{II.1})$$

Le point limitant dans les applications de commutation est le temps de recouvrement qui est nettement supérieur au temps de mise en conduction, il vaut généralement plusieurs microsecondes pour une diode silicium. Le temps de recouvrement est principalement conditionné par la durée de vie des porteurs dans la zone intrinsèque.

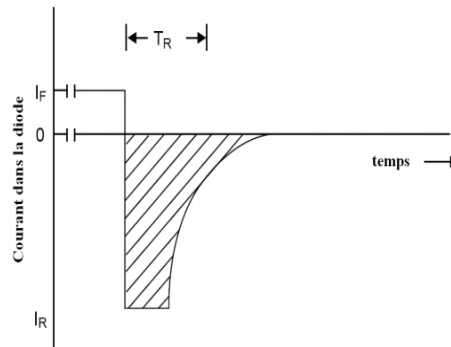


Figure II.9 : Le courant dans la diode lors de la phase de recouvrement [30]

II.4.5.3 Avantages et inconvénients d'une diode PIN

Comme tous les autres commutateurs, la diode PIN présente plusieurs avantages et inconvénients

a) Avantages

- ✓ Les diodes PIN ont une tension de claquage élevée : la largeur de la zone intrinsèque est plus épaisse. Ainsi, elle est adaptée pour la protection des circuits d'un courant important.
- ✓ Les diodes PIN ont une capacité de faible valeur et une faible résistance à l'état passant en RF: la largeur de la couche intrinsèque est grande en raison de la capacité de la diode qui est faible.
- ✓ La diode PIN est utilisée en Photon détection; en raison de la grande largeur de la couche intrinsèque, les photons frappant la surface seront plus ce qui augmente de leur tour la génération de la paire électron-trou.
- ✓ La diode PIN est Multifonctionnelle : Elle peut aussi être utilisée comme un atténuateur commandé dans un étage HF, ou comme élément de commutation pour router des signaux HF.
- ✓ Les diodes PIN peuvent supporter des puissances très élevées et consomment peu de puissance de contrôle.

b) inconvénients

L'inconvénient majeur de la diode PIN présenté dans le temps de recouvrement de la diode PIN (passage de l'état passant à l'état bloqué)

- ❖ La diode PIN a des pertes de puissance due au temps de recouvrement inverse.

II.4.5.4 Les applications de la diode PIN en RF

La diode PIN est très utilisée dans les applications de commutation. Elle permet d'obtenir un court-circuit idéal dans l'état ON et également un bon circuit ouvert dans l'état OFF. Dans les systèmes radars modernes, la diode PIN est largement utilisée pour la fonction de limitations de puissance afin de protéger les chaînes de réceptions. De même, Les diodes PIN sont largement utilisées dans les circuits d'atténuation pour le contrôle du niveau et de la phase des signaux hyperfréquences (contrôle automatique de gain (AGC) et de contrôle de puissance).

II.5 Comparaison entre différents systèmes de Commutation

Une comparaison entre les différents commutateurs les plus couramment utilisés dans le domaine RF et micro-ondes tels que les RF-MEMS, les diodes PIN et les commutateurs optiques en termes des différentes caractéristiques électriques (voir le tableau suivant).

Tableau II.1 : Comparaison du différent système de commutation [31]

Les propriétés électriques	Les MEMS	Diode PIN	Commutateur optique
Voltage [V]	20-100	3-5	1.8-1.9
Courant [mA]	0	3-20	0-87
Energie de consommation [mW]	0.05-0.1	5-100	0-50
Vitesse de commutation	1-200 μs	1-100 ns	3-9 μs
Isolation [1-10GHz]	Très haute	Haute	Haute
Pertes d'insertion { 1-10GHz}[dB]	0.05-0.2	0.3-1.2	0.5-1.5

II.6 Conclusion

Dans ce chapitre, on a vu les différents composants de commutation en RF. Ces commutateurs sont largement utilisés pour faire la reconfiguration des antennes imprimée. De même, on vu les diverses techniques de reconfiguration en utilisant les RF-MEMS, les diodes Varactors, les diodes PIN. Dans notre étude, on s'intéresse beaucoup par la commutation en utilisant la diode PIN à cause de sa vitesse de commutation rapide, sa fiabilité et des autres avantages intéressante.

Chapitre III :

Etude paramétrique d'une antenne reconfigurable pour l'application WLAN

III.1 Introduction

L'évolution et le développement technologique fait un changement radical dans le domaine d'électroniques surtout dans les télécommunications sans fil, où cette évolution récente offre une nouvelle perspective et des moyens sophistiqués telle que les antennes reconfigurables et leurs importances dans l'amélioration de la vie quotidienne.

Dans ce chapitre, on va faire une étude paramétrique qui tient compte l'influence des différents paramètres géométriques (dimensions) et physiques (substrat, ...) pour améliorer l'adaptation de l'antenne reconfigurable. Pour voir l'effet de ces paramètres sur les caractéristiques de l'antenne conçue (fréquence opérationnelle, diagramme de rayonnement et la bande passante), une étude paramétrique sera faite.

III.2 Choix de l'outil de simulation

Il existe plusieurs simulateurs électromagnétiques consacrés pour la conception des composants micro-ondes (les antennes imprimées, les filtres HF,...). Parmi ces simulateurs, on peut citer par exemples le HFSS, ADS Momentum, IE3D, FEKO et CST MICROWAVE STUDIO. Dans notre étude, on va utiliser le CST studio pour un simple raison, c'est que pas possible de maîtriser tous ces outils dans un bref délai, en plus cet outil permet nous de concevoir l'antenne en 3D au contraire à des autres outils tels que le ADS. Le simulateur CST est un outil spécialisé pour la simulation et la conception électromagnétique en trois dimensions (3D) des composantes hautes fréquences en basant sur la résolution des équations de Maxwell en utilisant la méthode d'intégration finie.

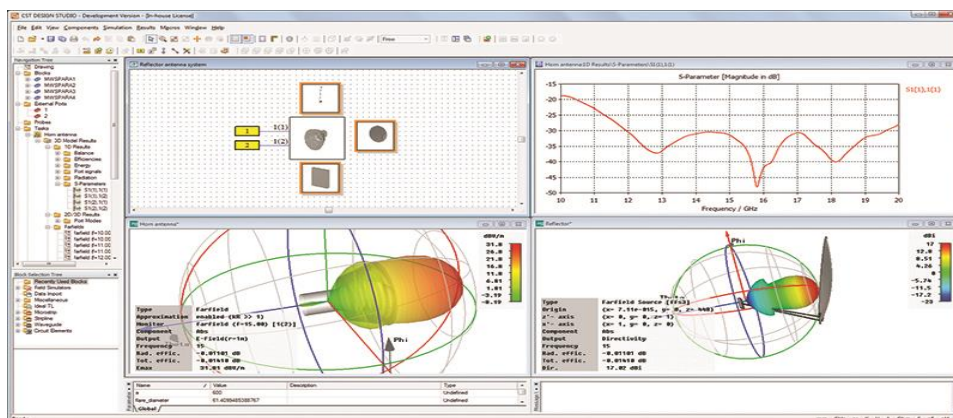


Figure III.1: Une interface graphique du simulateur CST studio 2017

De point de vue modélisation, la constante diélectrique effective est exprimée par

$$\epsilon_{eff} = \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right) + \left(\frac{\epsilon_r - 1}{2} \right) \left(1 + 10 \frac{h}{W} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (\text{III.1})$$

Pour avoir une adaptation d'impédance, on doit utiliser le calculateur d'impédance du CST pour le modèle correspond aux antennes alimentées par une ligne d'alimentation. Ce calculateur est basé sur les équations de synthèse de Wheeler [32]. Alors, pour avoir une impédance d'entrée de 50Ω , on doit utiliser une largeur de feeder W_f de 3 mm pour un hauteur du substrat $h=1.6$ mm (voir Figure III.2).

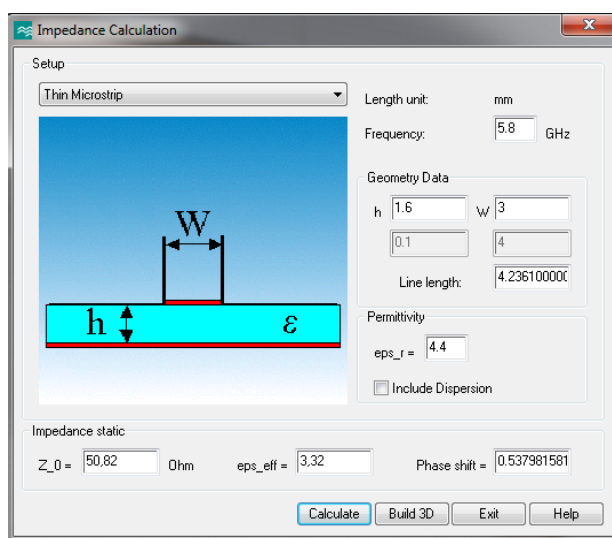


Figure III.2 : Détermination de Z_0 pour w et ϵ_e donnée en utilisant le logiciel CST

III.3 Etude paramétrique d'une antenne patch rectangulaire

Durant l'étude paramétrique, on doit varier un seul paramètre où les autres paramètres doivent être fixés, ce qui permet de faire une isolation de dépendance entre les paramètres physiques, puis on va observer l'effet de la variation de ce paramètre sur les caractéristiques de l'antenne conçue telles que la fréquence de résonance, le diagramme de rayonnement et le coefficient de réflexion. En effet, on souhaite développer une antenne opérationnelle sur une bande WLAN (2.4 GHz ou 5.8 GHz).

III.3.1 Géométrie de l'antenne

Initialement, on choisit une antenne patch de forme rectangulaire avec un plan de masse complet. L'antenne proposée est conçue sur un substrat de bas cout (FR4) d'une dimension de $21 \times 24 \text{ mm}^2$ (longueur \times largeur) qui a une permittivité relative $\epsilon_r = 4.3$, avec une perte par $\tan \delta$ de

0.025 et une épaisseur de substrat de $h=1,6$ mm, l'épaisseur de cuivre t est 0.035 mm, et les dimensions de plane de masse sont $41*44\text{mm}^2$ (longueur×largeur). Le patch est relié directement à la ligne d'alimentation d'une impédance caractéristique $Z=50\Omega$, comme elle est illustrée dans la Figure III.3.

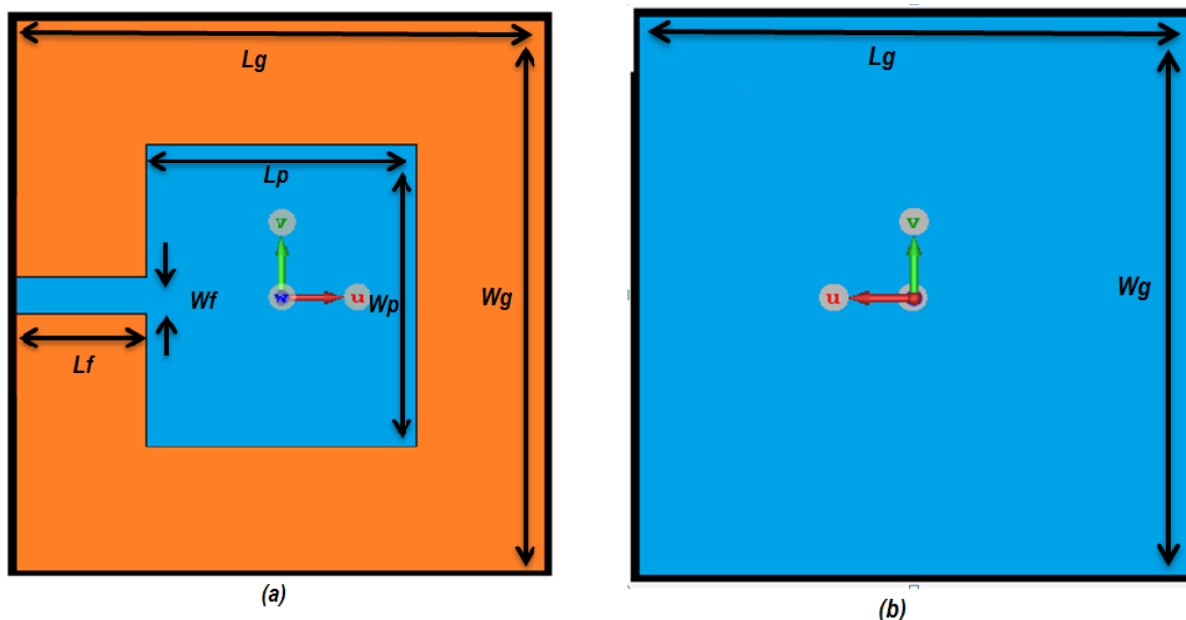


Figure III.3 : Géométrie de l'antenne patch rectangulaire (a) : vue dessus (b) : vue dessous

Les dimensions adoptées lors de cette antenne de départ sont tabulées dans le Tableau III.1

Tableau III.1 : Les dimensions de l'antenne patch rectangulaire proposée en mm

L_g	W_g	L_p	W_p	L_f	W_f
41	44	21	24	10	2.96

Cette première structure simulée avec les dimensions citées au dessus ne conduit pas à des performances intéressantes (voir Figure III.4). Afin d'améliorer les caractéristiques de cette antenne patch, une solution fiable présentée dans une étude paramétrique des différents paramètres précédentes.

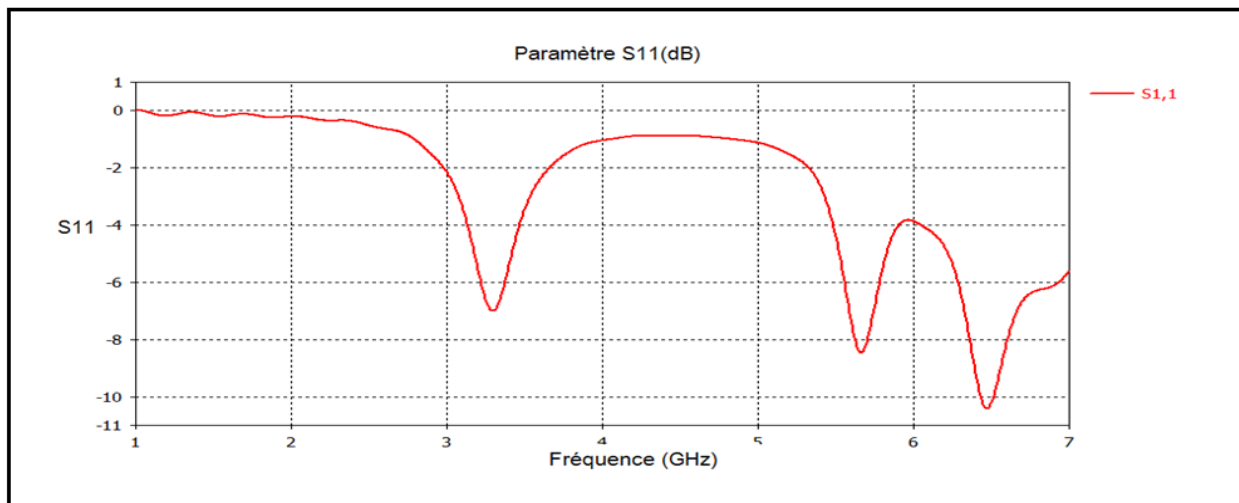


Figure III.4 : Coefficient de réflexion S11 pour l’antenne avec les dimensions citées en Tableau III.1

Après la simulation, le coefficient de réflexion obtenu présente une adaptation modeste sur la fréquence 6.5 GHz qui ne tombe pas dans la gamme de fréquence désirée. L’objectif est d’obtenir un module du coefficient de réflexion inférieur à -10 dB dans la bande correspondant à une application WLAN (5.8 GHz par exemple).

Généralement, la distribution du courant surfacique peut être prise à une fréquence où le coefficient de réflexion est minimal (fréquence de résonance). Par exemple, suivant la Figure III.4, la prise sera faite à la fréquence 6.5 GHz, 5.8 GHz et même sur la fréquence 3.2 GHz.

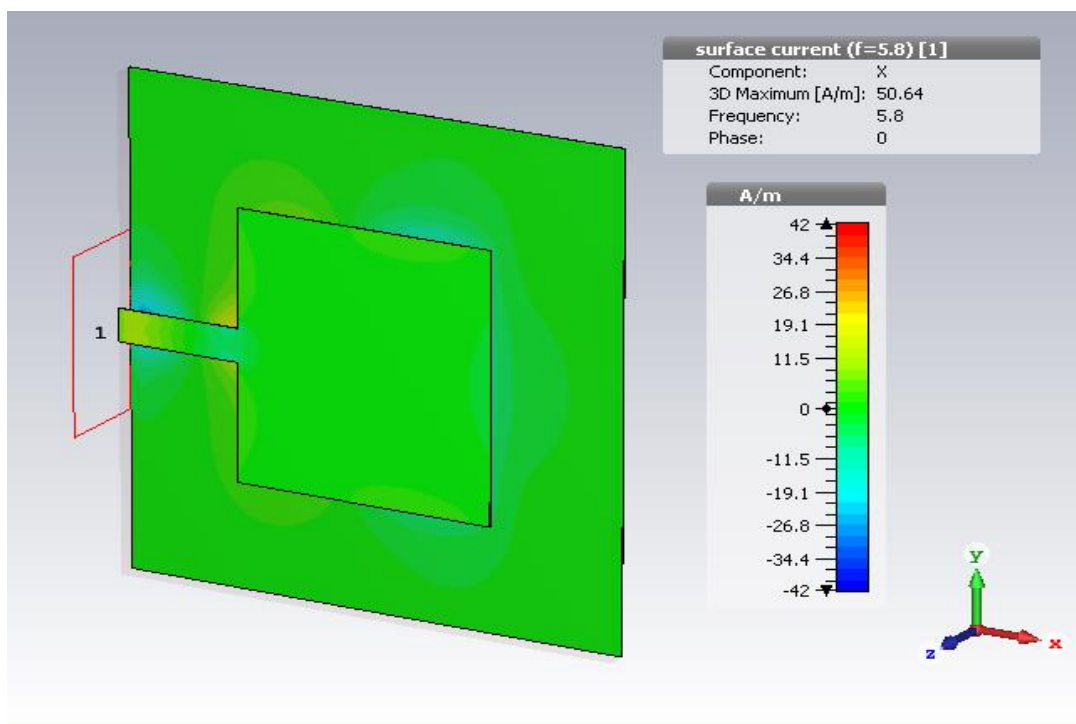


Figure III.5: La distribution du courant surfacique sur l’antenne à la fréquence 5.8GHz

Cette distribution permet de donner une idée sur l'écoulement du courant sur la surface rayonnante afin de découvrir les modes d'excitation.

A cause de la limitation présentée dans cette première structure, des modifications seront vues sur le patch rayonnant et la masse (création des fentes), sur la ligne d'alimentation (insertion des troncatures (*cut feeding*), l'ajout des tiges (*stub*) résonantes). En plus, on peut modifier les dimensions des différentes surfaces elles même. Toutes ces modifications ont pour but d'améliorer les performances de l'antenne étudiée.

III.3.2 L'effet d'insertion d'une troncature sur le feeder (*inset feed*)

L'impédance d'entrée d'une antenne patch rectangulaire, à la résonance, peut être modélisée par une résistance d'entrée comme celle indiquée dans l'équation suivante

$$Z_e = R_e = \frac{1}{2(G_1 - G_{21})} \quad (\text{III.2})$$

avec G_1 est la conductance propre alors que G_{21} est la conductance mutuelle (très petite devant G_1).

Cette résistance d'entrée peut être changée en insérant une troncature (*inset feed*) de longueur y_0 et une largeur g comme celle montrée dans la Figure III.7. Cette technique est très efficace pour altérer l'impédance d'entrée. Mathématiquement, cette modification est donnée par

$$R_e(y = y_0) = R_e(y = 0) \cos^2\left(\frac{\pi}{L_p} y_0\right) \quad (\text{III.3})$$

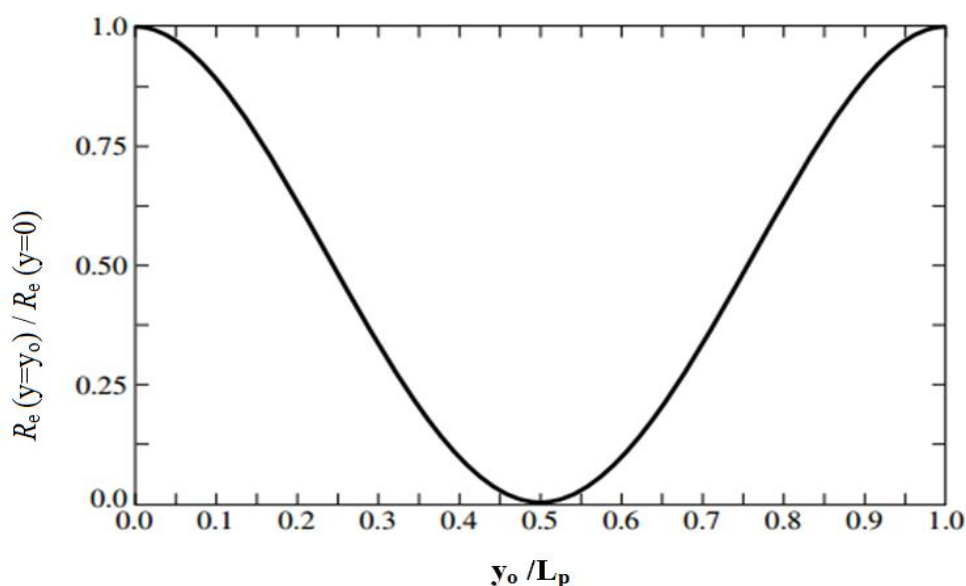


Figure III.6 : Variation de la résistance d'entrée normalisée en fonction de y_0/L_p

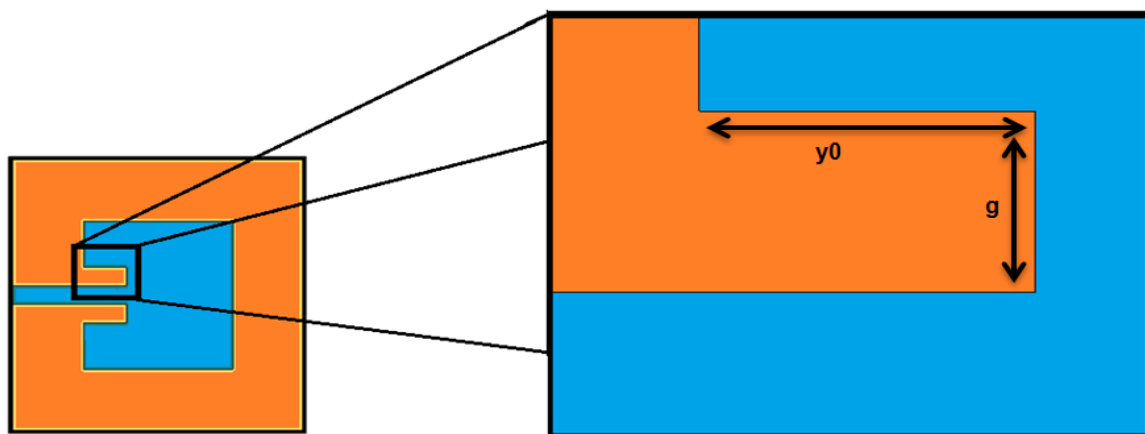


Figure III.7 : Les dimensions de la troncature insérée sur la ligne d'alimentation (feeder)

III.3.2.1 L'effet de la longueur de troncature (y_0)

Dans cette étude, on suppose que la largeur de troncature g est fixée à 3 mm, alors que la longueur de la troncature (y_0) sera variée de 2mm jusqu'à 6 mm par un pas de 1 mm. Les autres paramètres sont fixes. Dans la Figure III.8, les résultats de simulation sont présentés en termes de coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence.

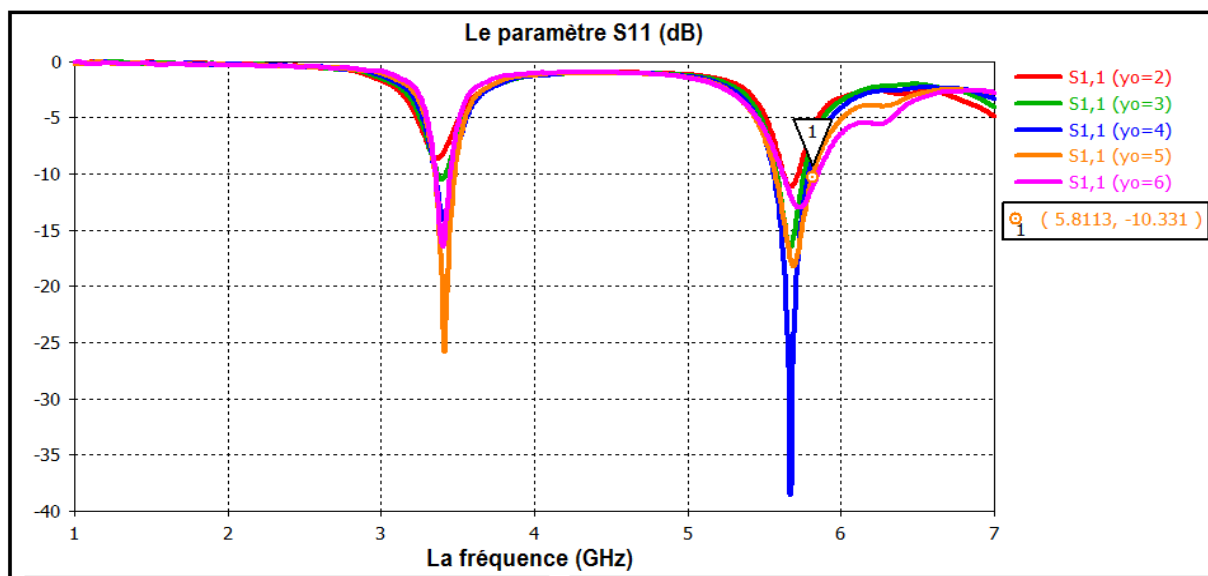


Figure III.8 : Le coefficient de réflexion pour différentes longueurs de troncature y_0

On voit que la variation dans la longueur y_0 n'affecte pas sur la fréquence de résonance, mais elle affecte sur l'adaptation. Cette adaptation atteinte sa valeur maximale (-38dB) pour $y_0=4$ mm à la fréquence 5.8 GHz. Mais à la fréquence 3.5 GHz, elle atteinte sa valeur max pour $y_0= 5$ mm.

III.3.2.2 L'effet de la largeur de troncature (g)

Dans cette partie, On fixe la longueur de troncature à $y_0=5$ mm puis, on va variée la largeur de la troncature g de 1 mm jusqu'à 6 mm par un pas de 1.25 mm, les autres paramètres sont fixes.

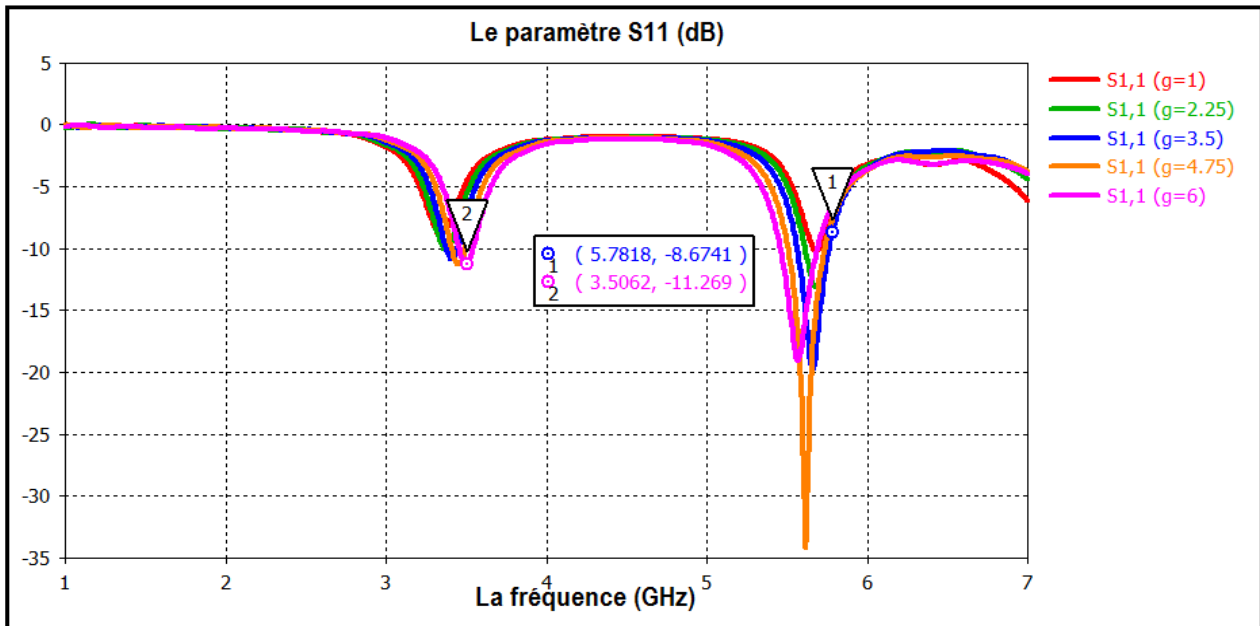


Figure III.9 : Le coefficient de réflexion pour différentes largeurs de troncature g

De même que celle précédente, la variation de la largeur de troncature n'affecte que l'adaptation sur les fréquences de résonances ($f=3.5$ GHz et $f=5.8$ GHz). Une meilleure adaptation est enregistrée pour une largeur $g=4.75$ mm.

III.3.3 L'effet de slot sur le patch

Maintenant, on va créer un trou (slot) sur le patch rayonnant afin d'améliorer les performances d'une antenne patch conventionnelle telles que l'augmentation dans la bande passante ou de créer des nouvelles fréquences de résonances.

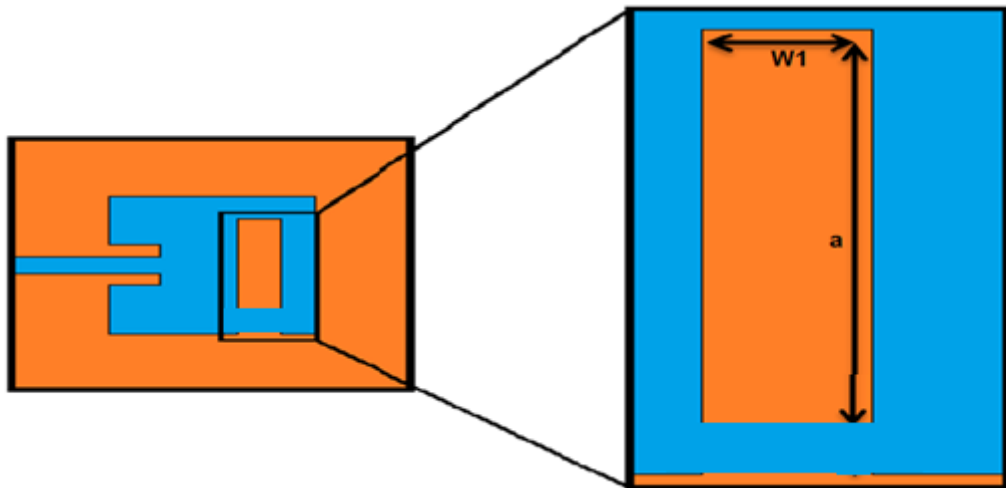


Figure III.10 : Les dimensions du trou créé sur le patch rectangulaire

III.3.3.1 L'effet de la largeur de slot (W1)

Dans ce cas, on va varier la largeur du slot ($W1$) de 3 mm jusqu'à 6 mm par un pas de 0.75 mm, les autres paramètres sont fixes. La longueur du slot a est fixé à 2.3mm.

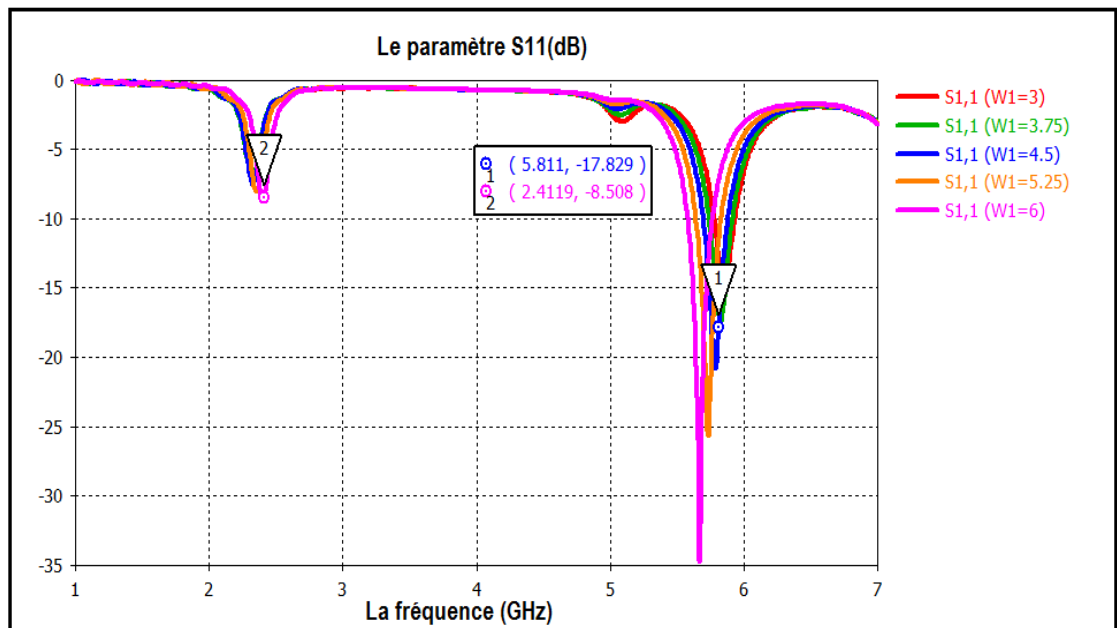


Figure III.11: Evolution du coefficient de réflexion en fréquences pour différentes largeurs du slot $W1$

Les différentes courbes du coefficient $S11$ présentées dans la Figure III.11 montrent que l'insertion d'un trou sur le patch rayonnant peut affecter sur l'adaptation de l'antenne et de même elle peut créer des nouvelles résonances (autour de la fréquence 5GHz) en plus d'un petit décalage dans les deux fréquences de résonances (2.5 GHz et 6.5 GHz).

III.3.3.2 L'effet de la longueur du slot (a)

Dans cette étude, La largeur du slot est fixé maintenant à $W_1=4.5\text{mm}$, puis on va varier la longueur du slot (a) de 1mm jusqu'à 4 mm par un pas de 0.75mm, les autres paramètres sont fixes.

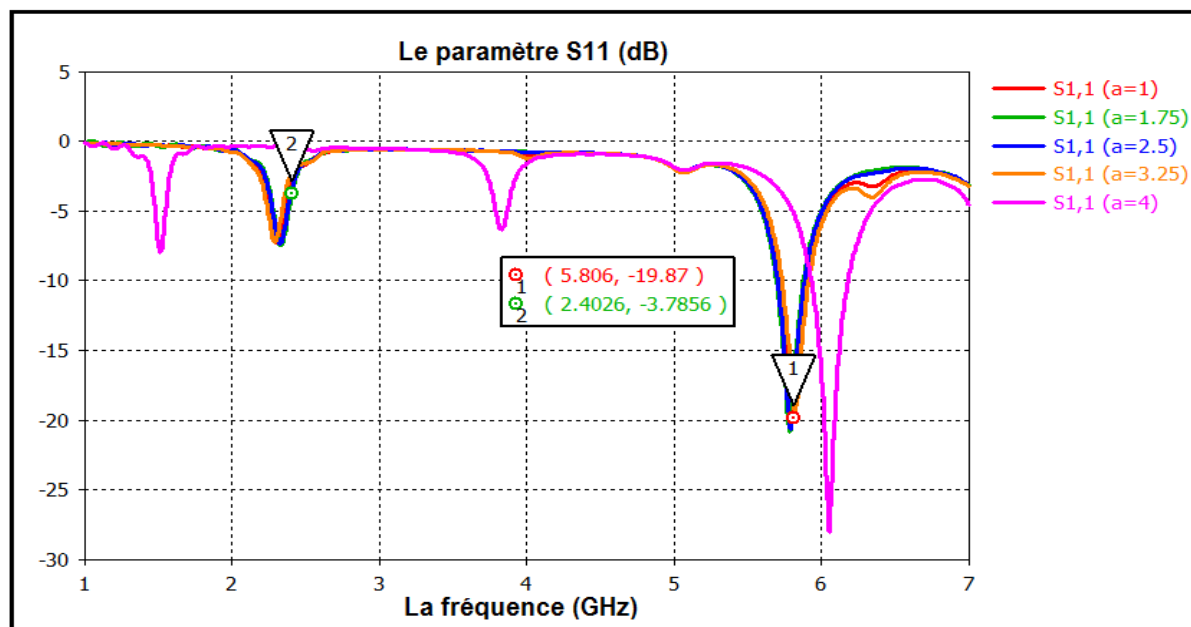


Figure III.12 : Evolution du coefficient de réflexion en fonction de fréquence pour différentes longueurs du slot a

De même que la variation de la longueur, le changement dans la largeur du slot créé affecte largement sur la naissance des nouvelles fréquences de résonance (multi-modes) et sur le décalage de ces fréquences (Figure III.12) ce qui permet d'avoir des antennes multi bandes.

III.3.4 L'effet du slot sur le plan de masse

Plusieurs travaux investissent sur des antennes avec des plans de masse partiels ou avec des slots. Cette méthode permet de augmenter la bande passante de l'antenne, d'améliorer l'adaptation et de réduire le coefficient de réflexion. Dans notre cas, on va insérer un slot de forme rectangulaire sur le plan de masse (voir Figure III.13)

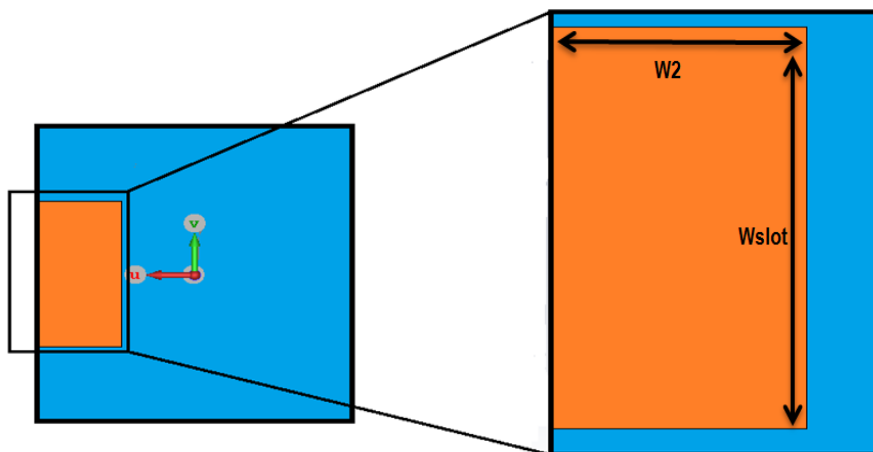


Figure III.13 : Les dimensions de slot sur le plan de masse

III.3.4.1 L'effet de la largeur du slot ($W2$)

Dans cette cas, on va varier la largeur du slot ($W2$) de 10mm jusqu'à 15mm par un pas de 1.25 mm. Alors que les autres paramètres sont fixes (la longueur du slot est initialisée par 22mm)

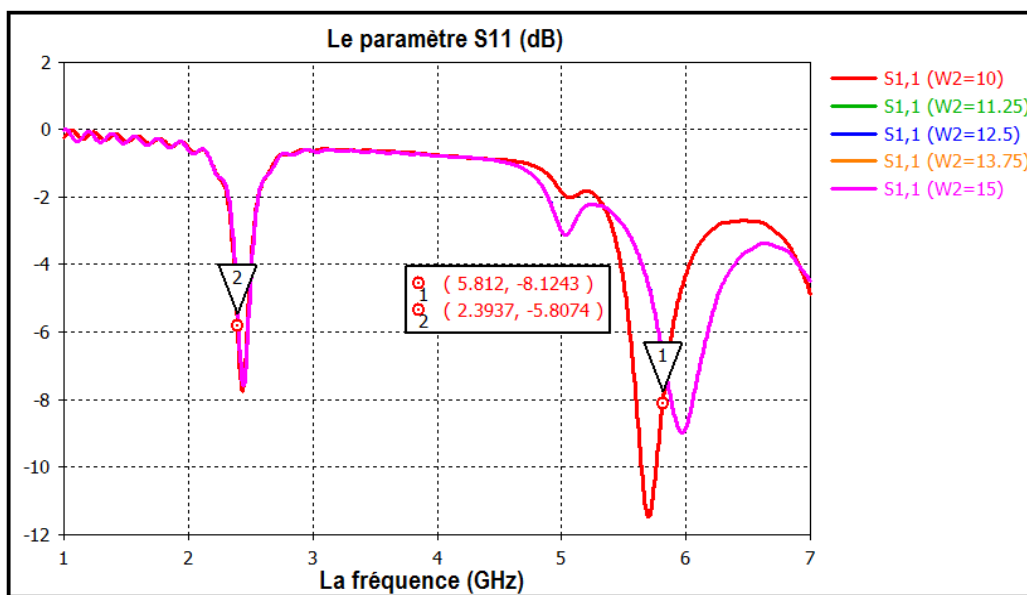


Figure III.14 : Le coefficient de réflexion pour différentes largeurs de slot ($W2$)

III.3.4.2 L'effet de la longueur du slot (Wslot)

Dans cette partie, la variation de la longueur du slot (Wslot) sera faite dans la gamme 15mm jusqu'à 30mm avec un pas de 5 mm. Les autres paramètres sont fixes. De même, la largeur de slot est fixée à 10mm.

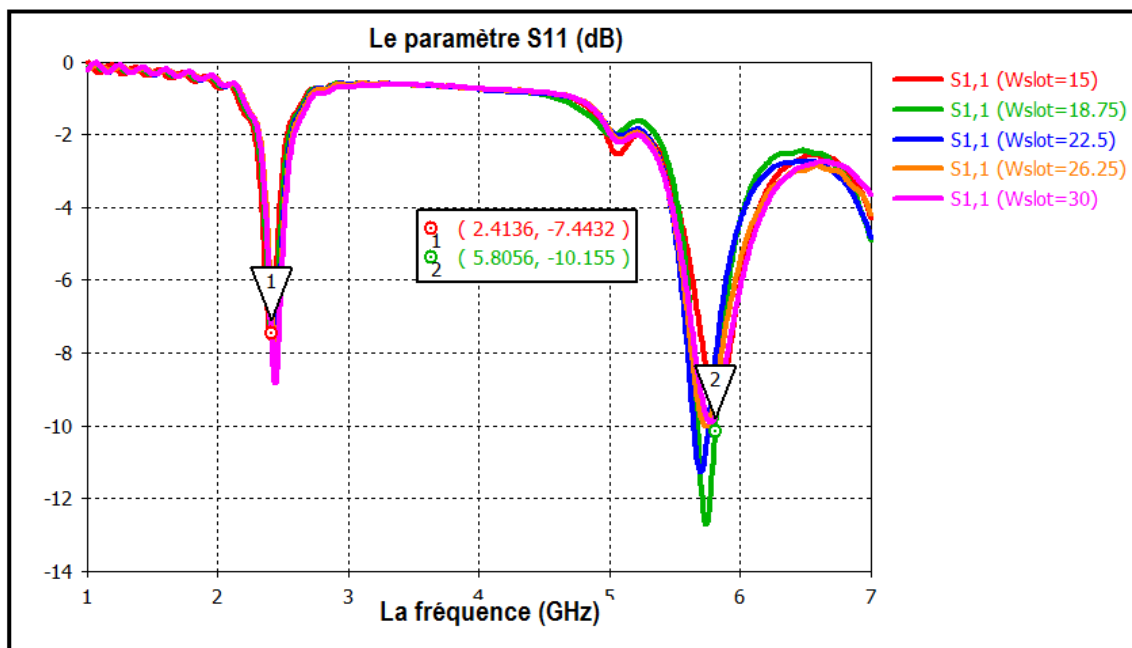


Figure III.15 : Le coefficient de réflexion pour différentes longueurs de slot (Wslot)

A partir des courbes du coefficient de réflexion présentées dans les deux figures (Figure III.14 & Figure III.15), on voit que ces deux paramètres affectent légèrement sur l'adaptation de l'antenne et de même sur le changement de la fréquence de résonance.

III.3.5 Effet des stubs (tiges) dans la ligne d'alimentation

Pour voir l'effet de la tige sur l'adaptation de l'antenne, on va faire une comparaison entre une antenne sans stub et une autre avec stub pour différentes longueurs et positions. Le stub est ajouté sur la ligne d'alimentation.

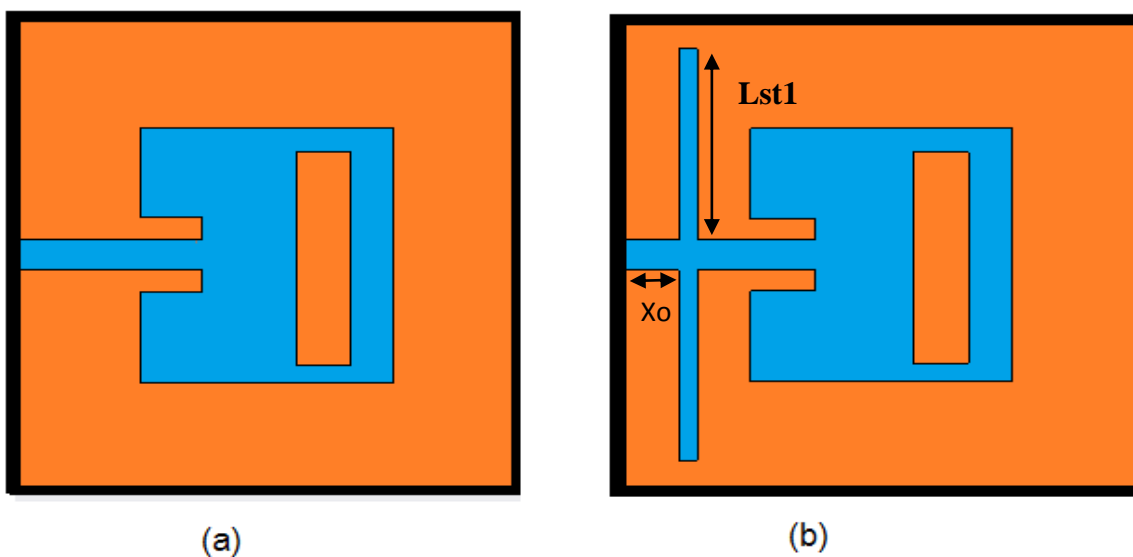


Figure III.16 : Une antenne patch : (a) sans stub ;(b) avec stub

III.3.5.1 L'effet de l'insertion des stubs (la tige) sur la ligne d'alimentation

a- Sans stub

L'évolution du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence est montrée dans la Figure III.17 pour une antenne sans stub et dans la Figure III.18 pour une antenne avec un stub sur la ligne d'alimentation.

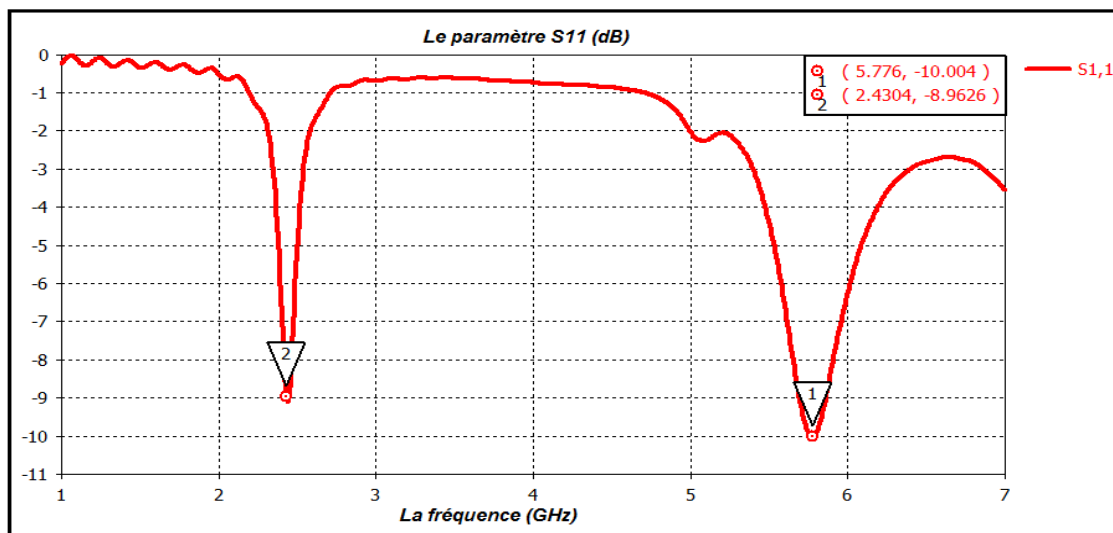


Figure III.17 : Evolution du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence pour une antenne sans stub

b- Avec stub

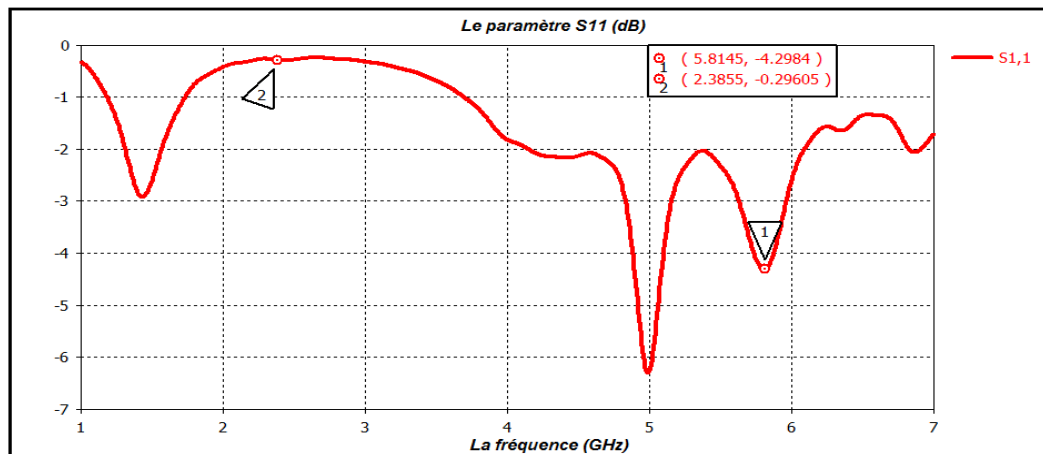


Figure III.18 : Le coefficient de réflexion d'un patch sans stub

On voit que l'ajout de la tige (stub) sur la ligne d'alimentation affecte fortement sur l'évolution du coefficient de réflexion ce qui exige une étude prudente des dimensions de la tige et même sa position sur la ligne d'alimentation.

III.3.5.1 L'effet de la position de la tige (X_o)

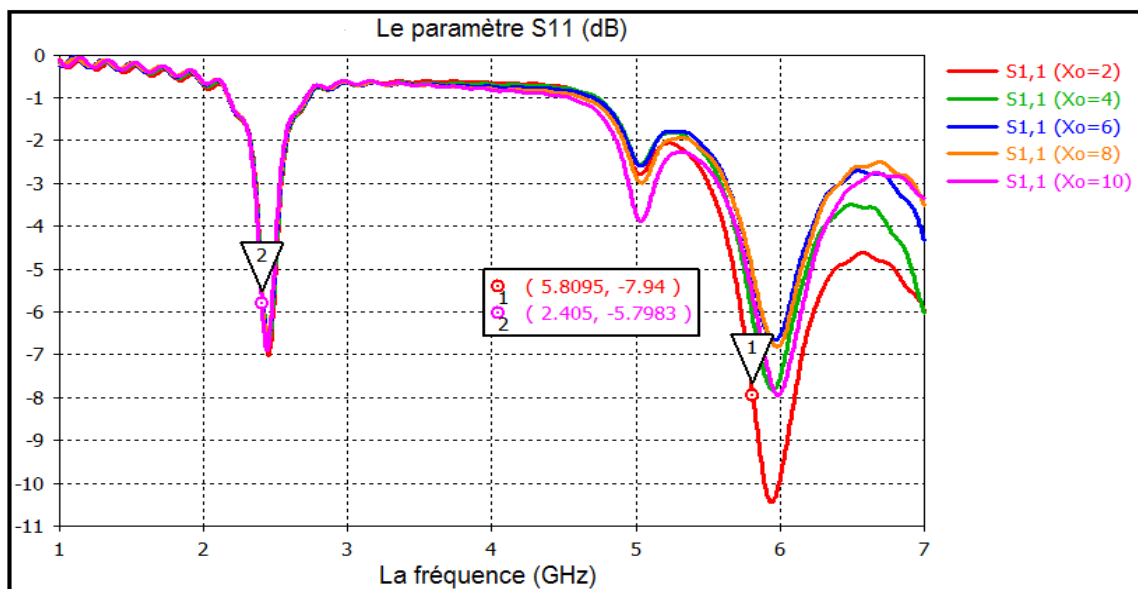


Figure III.19 : Le coefficient de réflexion pour différents positions de tige

Pour une longueur de tige fixe, la position de la tige (stub) peut investir sur l'adaptation de l'antenne et de même sur la bande passante (voir Figure III.19).

III.3.5.2 L'effet de la longueur de la tige (Lst1)

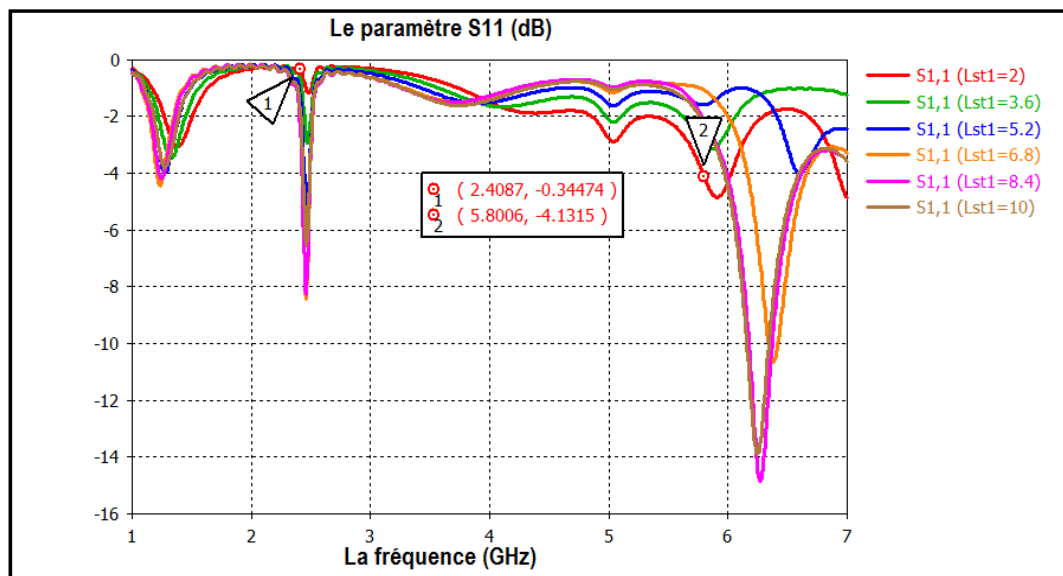


Figure III.20 : Le coefficient de réflexion pour différentes longueur de la tige

Comme nous le montrons dans la Figure III.20, l'adaptation de l'antenne sur les fréquences de résonances est proportionnelle avec la longueur de la tige mais dans certaines limites. De même, des autres fréquences de résonances peuvent être apparaitre durant l'augmentation de la longueur de la tige.

III.4 Conclusion

Dans ce chapitre, on a fait une étude paramétrique d'une antenne imprimée de forme rectangulaire en utilisant le simulateur CST. Le but de cette étude est de voir l'effet de chaque paramètre (dimension du patch rayonnant, création des trous, l'ajout des stubs) sur les caractéristiques et les performances de l'antenne telles que le coefficient de réflexion, l'adaptation, la fréquence de résonance et la bande passante.

Chapitre IV :

L'optimisation d'une antenne reconfigurable

IV.1 Introduction

Dans le chapitre précédent, on a fait une étude paramétrique approfondie qui nous permet d'aboutir aux valeurs des différentes dimensions de l'antenne correspondante aux applications WLAN. Pour voir l'effet de la reconfigurabilité sur la fréquence opérationnelle de l'antenne, des diodes seront disposées dans la structure du patch afin de changer la fréquence de résonance en jouant sur l'état de ces diodes de commutation. Dans ce chapitre, les antennes reconfigurables sont dédiées pour les applications des réseaux locaux sans fil (WLAN) suivant la norme 802.11. Les résultats obtenus doivent être optimisés selon les besoins de fonctionnement.

Les antennes reconfigurables sont amenées à modifier leurs caractéristiques (fréquence opérationnelle, diagramme de rayonnement, polarisation) d'une manière dynamique en utilisant des composants actifs (diode PIN,...). Cependant, cette reconfiguration est limitée par la complexité des composants actifs, la mise en œuvre des circuits d'activation, et la difficulté de la conception. Il n'existe pas une méthode précise permettant d'obtenir une configuration des antennes. Afin de réaliser la reconfigurabilité, on va commencer d'une antenne simple et unique (antenne existante) puis, on va ajouter des composants actifs et des structures résonantes (des fentes ou de lignes de en court-circuit, etc.). Ces ajouts entraînent évidemment des modifications sur la distribution du courant surfacique ce qui alter de leur tour sur les caractéristiques de rayonnement de l'antenne.

Notre objectif est de concevoir une antenne qui peut fonctionner sur une bande WLAN (à une fréquence de 2.45 GHz). Après la reconfiguration, cette même antenne peut fonctionner sur une autre bande WLAN (à une fréquence 5.8 GHz). Pour aboutir à cet objectif, on doit optimiser les paramètres de cette antenne. Malgré que l'optimisation n'est pas un sujet récent, mais elle est très utilisée dans de très nombreux domaines. Par exemple, en électronique l'optimisation est utilisée pour miniaturiser la taille des circuits et de faire une combinaison optimale entre les différentes caractéristiques (antenne reconfigurables, antenne multi-bandes) et les paramètres de l'antenne conçue.

IV.2 Méthodes d'optimisation

IV.2.1 Définition de l'optimisation

L'optimisation est le processus qui consiste à minimiser ou à maximiser une fonction objective ou de cout. Dans le cas d'une antenne micro ruban, l'optimisation consiste à approximer d'une manière précise un de ces paramètres tel que la fréquence de résonance, l'impédance d'entrée ou le coefficient de réflexion S11. Parmi ces méthodes d'optimisation, on peut citer les méthodes stochastiques telles que les algorithmes génétiques, l'essaim particulier (PSO) et des autres analytiques telles que la méthode de Newton [33].

IV.2.2 Algorithmes génétiques

Les algorithmes génétiques (GA) sont inspirés du concept de sélection naturelle élaboré par Charles Darwin. Son principe est de simuler l'évolution d'une population d'individus, à laquelle on applique ; itérativement, différents opérateurs génétiques (sélection, croisement et mutation). Si la sélection s'opère à partir d'une fonction d'adaptation, alors la population tend à s'améliorer.

Les algorithmes génétiques (GA) présente de nombreux avantages par rapport aux méthodes d'optimisation classique [34]

- ✓ Elle optimise les variables réelles et binaires.
- ✓ Elle ne nécessite pas le calcul des dérivées d'une fonction de cout (semi aléatoire).
- ✓ Capable d'obtenir un minimum global sans rester piégée dans un minimum local.
- ✓ Elle peut aboutir à une liste de solutions.

L'inconvénient majeur réside dans le temps de convergence qui est très lent.

IV.2.3 La méthode quasi Newton

La méthode quasi-Newton est basée sur la méthode de Newton pour trouver les points stationnaires d'une fonction donnée, où le gradient est nul. Son principe consiste de généraliser la formule itérative de Newton. La méthode de Newton nécessite le calcul des dérivées $f''(x_n)$. C'est un inconvénient dans la pratique où l'on ne dispose pas toujours d'expression analytique pour la fonction f .

IV.3 Conception d'une antenne reconfigurable en fréquence

On va concevoir une antenne, reconfigurable en fréquence, en utilisant des diodes PIN bien sûr après une étude paramétrique et l'optimisation. On doit chercher le bon ajustement de ces paramètres pour accéder à la bonne fréquence de résonance choisie. Pour une antenne patch, le but est d'optimiser quelques paramètres de l'antenne afin d'avoir des caractéristiques voulues en termes de fréquence de résonance souhaitée et d'adaptation. Cette antenne reconfigurable peut rayonner sur l'une des deux bandes 2.4GHz ou 5.8GHz. Ces deux bandes sont dédiées pour les applications WLAN. Pour réaliser l'optimisation en utilisant le simulateur CST Microwave studio, on doit passer par les étapes suivantes

Premièrement, en cliquant sur l'icône *Optimizer* dans le menu de simulation, puis on va cocher (choisir) les paramètres à optimiser.

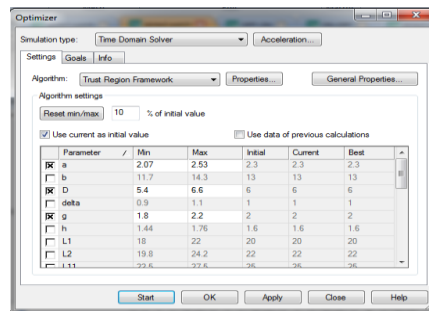


Figure IV.1 : Le choix des paramètres à optimiser

Deuxièmement, on va définir l'objectif (le goal). Dans notre cas, Le coefficient de réflexion S11 doit être inférieur à -10 dB dans la gamme WLAN 1 (autour de 2.45 GHz). De même pour la bande WLAN 2 (autour de 5.8 GHz).

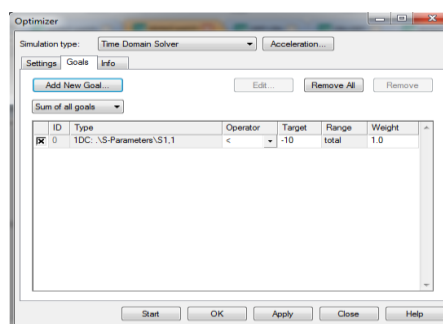


Figure IV.2 : La définition de l'objectif (Goal)

IV. 3.1 La géométrie de l'antenne proposée

Après l'optimisation, La structure finale de l'antenne conçue pour commuter entre les deux bandes WLAN en utilisant les diodes PIN. Cette structure est montrée dans la figure suivante

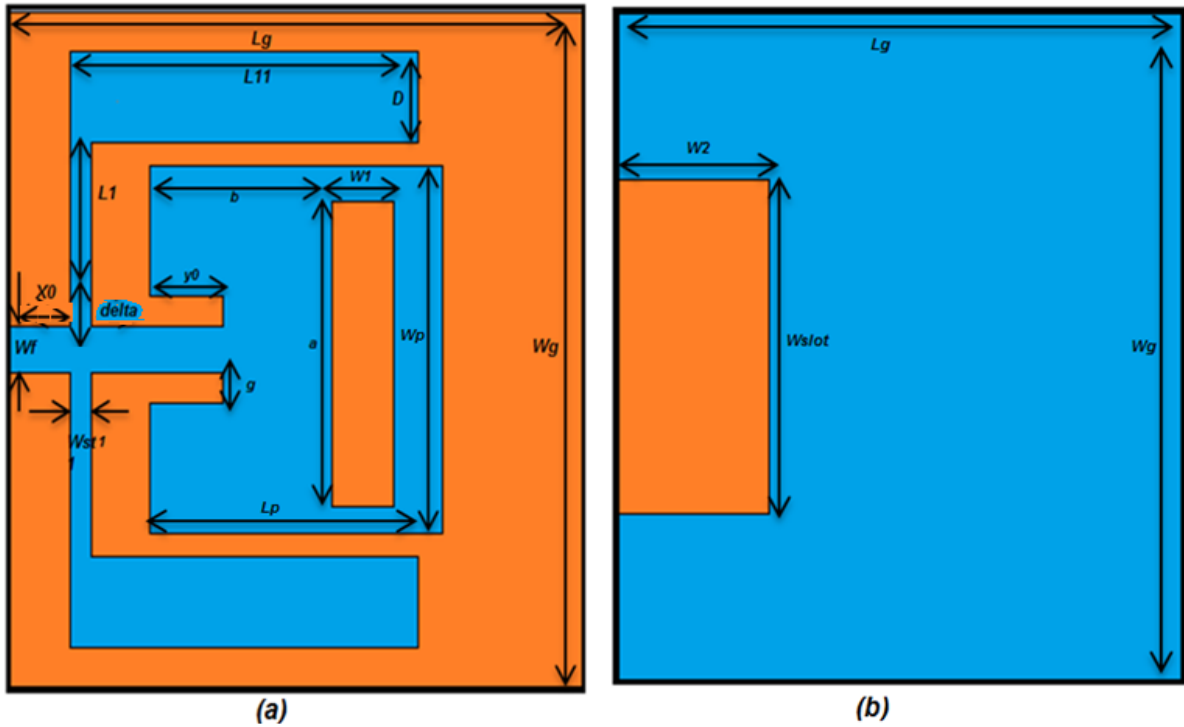


Figure IV.3 : La géométrie de l'antenne conçue : (a) vue dessus et (b) vue dessous

Les paramètres optimaux sont illustrés dans le tableau suivant

Tableau IV.1 : Les dimensions optimales de l'antenne reconfigurable

Le paramètre	La valeur (mm)	La description
Lg	41	La longueur du plan de masse / substrat
Wg	44	La largeur du plan de masse / substrat
Lf	10	La longueur de la ligne d'alimentation
Wf	2.96	la largeur de la ligne d'alimentation
Lp	21	La longueur du patch
Wp	24	La largeur du patch
y0	5.2	La longueur de la troncature (<i>cut feed</i>)
g	2	La largeur de la troncature (<i>cut feed</i>)
W1	4.5	La longueur du slot sur le patch
a	2.3	La largeur du slot sur le patch
Wst1	1.5	La longueur du stub
Lst1	5	La largeur du stub
delta	1	La distance entre la ligne et le stub (sans diode)
L11	25	La longueur de stub 11/22
D	6	La largeur de stub11/22
X0	5	La position du stub
L2	22	La longueur de slot sur le plan de masse
Wslot	22	La largeur de slot sur le plan de masse

Pour rendre l'antenne reconfigurable en fréquence, On va placer des diodes PIN, qui vont prendre deux états (ON, OFF), dans la structure.

❖ Modélisation de la diode PIN

Comme vous connaissez, la diode PIN a deux états ON et OFF. Pour simplifier notre tâche, on va utiliser un morceau de métal pour modéliser l'état ON alors que l'état OFF est modéliser par une discontinuité (sans métal).

IV.4 Résultats de simulation

Pour faire la simulation, on va proposer l'utilisation des deux diodes ce qui permet d'avoir quatre cas possibles (ON-ON, OFF-OFF, OFF-ON, ON-OFF)

Les deux diodes (ses modèles) sont insérées entre la ligne d'alimentation et le stub dans les deux côtés pour altérer sur la distribution du courant surfacique (qui va affecter sur l'adaptation de l'antenne) dans le patch rayonnant.

❖ Etat 1 : OFF-OFF

Dans ce cas, les diodes sont modélisées par des discontinuités (sans métal) à la structure de l'antenne, donc l'espace entre la ligne d'alimentation et le stub considérée comme une fente qui va influencer sur l'adaptation de l'antenne.

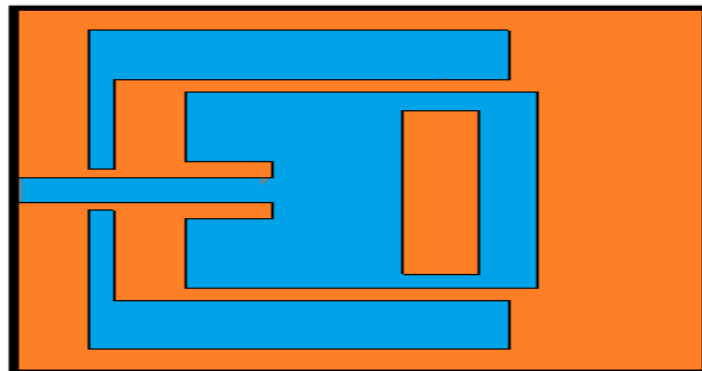


Figure IV.4 : La structure de l'antenne correspondante à l'état OFF-OFF

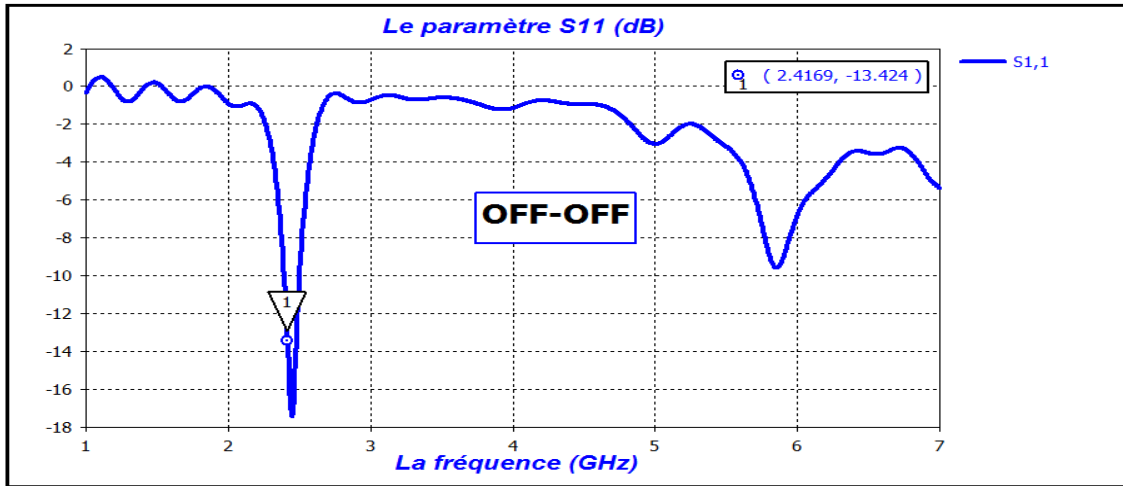


Figure IV.5 : L'évolution du coefficient de réflexion pour l'état OFF-OFF

Cette reconfiguration permet d'avoir une résonance sur fréquence 2.4 GHz qui est correspondante à la gamme WLAN 1 avec une bande passante allant de 2.41 GHz à 2.53 GHz à -10dB et allant de 2.33 à 2.55 GHz à -6dB. Pour la fréquence 5.8 GHz, ce modèle présente une adaptation insuffisante (S11 autour de -8 dB).

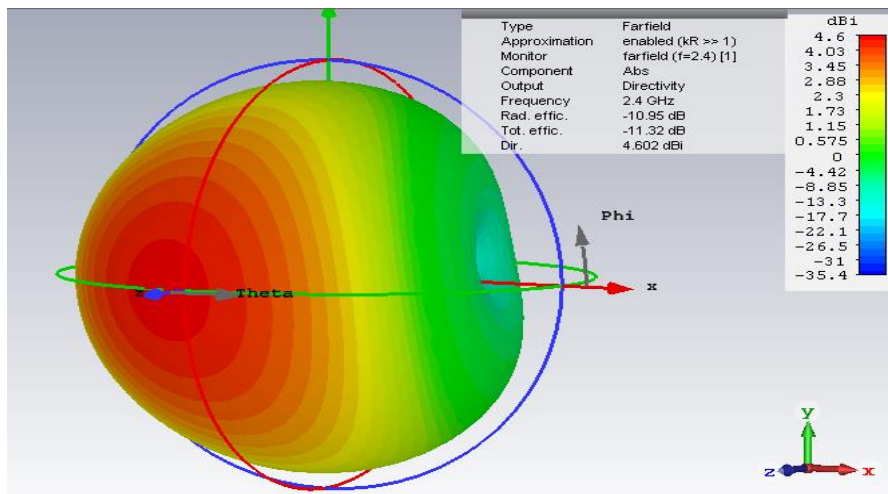


Figure IV.6 : Le diagramme de rayonnement pour la fréquence 2.4GHz (3D)

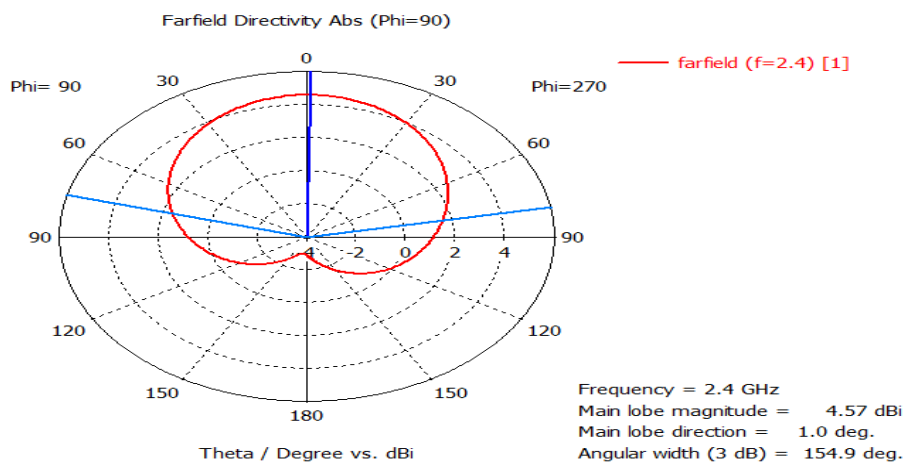


Figure IV.7 : Le diagramme de rayonnement pour la fréquence 2.4GHz au plan phi=90° (2D)

A la fréquence $f = 2,4$ GHz, nous présentons le diagramme de rayonnement normalisé en champ lointain en 3D. Le gain réalisé total maximums est de l'ordre de 4.57 dBi à $f = 2,4$ GHz. De même, on a représenté ces diagrammes de rayonnement en 2D dans les deux plan $\phi = 90^\circ$ et $\phi = 270^\circ$ comme nous le montrons dans la Figure IV.8.

❖ Etat 2 : ON-ON

Dans ce cas, on va ajouter les deux diodes (métal) pour relier le stub avec la ligne d'alimentation, dans ce cas la structure de l'antenne sera changée, aussi la distribution du courant surfacique sur le patch (Figure IV.9)

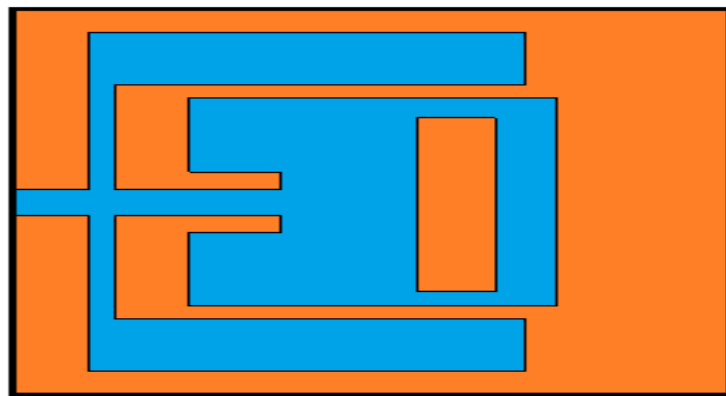


Figure IV.8 : La structure de l'antenne correspondante à l'état ON-ON

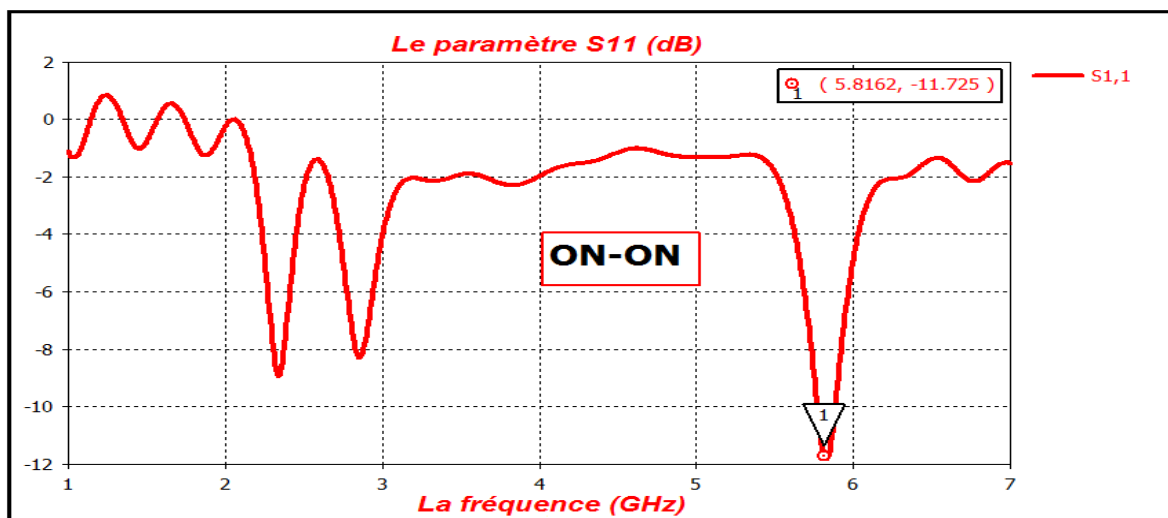


Figure IV.9 : L'évolution du coefficient de réflexion correspondant à l'état ON-ON

Cette reconfiguration permet d'avoir une résonance sur fréquence 5.81GHz qui correspondante à la gamme WLAN 2 avec une bande passante allant de 5.72GHz jusqu'à 5.94 GHz à $S_{11} \leq -10$ dB et allant de 5.67 jusqu'à 5.98GHz à $S_{11} \leq -6$ dB. Pour la fréquence 2.4 GHz, ce modèle présente une adaptation insuffisante (S_{11} autour de -8 dB).

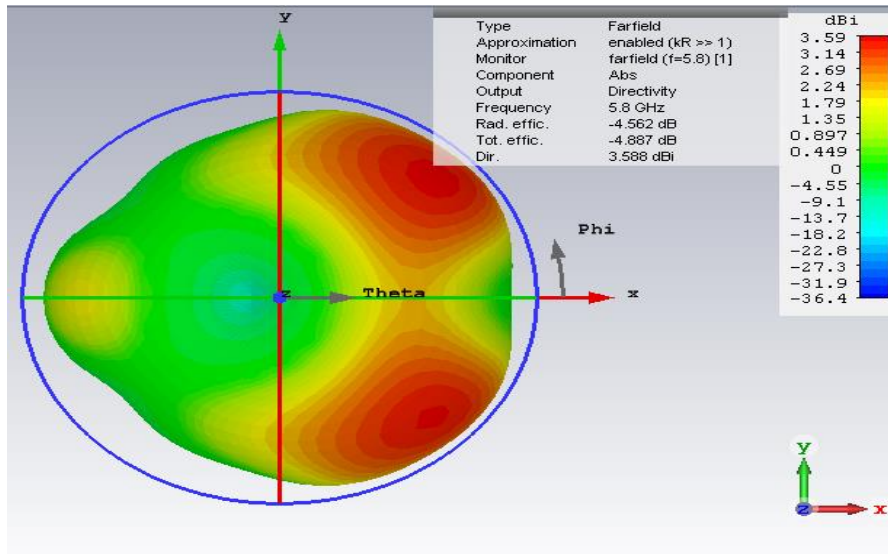


Figure IV.10 : Le diagramme de rayonnement correspondant à la fréquence 5.8 GHz (3D)

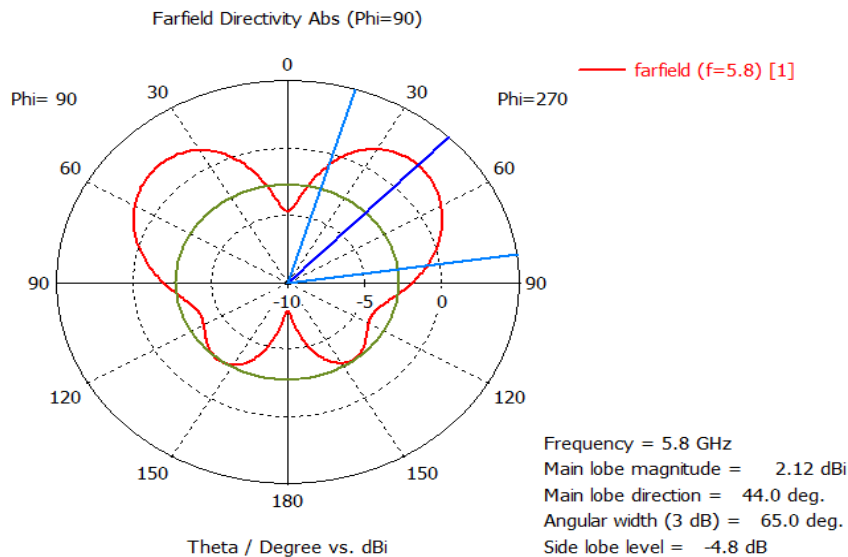


Figure IV.11 : Le diagramme de rayonnement correspondant à la fréquence 5.8 GHz au plan $\phi=90^\circ$ (2D)

A la fréquence $f= 5.8$ GHz, nous présentons le diagramme de rayonnement normalisé en champ lointain en 3D. Le gain réalisé total maximums est de l'ordre 2.12 dBi à $f = 5.8$ GHz. De même, on a représenté ces diagrammes de rayonnement en 2D dans les deux plan $\phi=90^\circ$ et $\phi=270^\circ$ comme nous les montrons dans la Figure IV.12 pour la fréquence $f=5.8$ GHz.

❖ **Etat 3 : OFF-ON**

Dans cette version de l'antenne, on va ajouter une seule diode sur l'un des deux côtés pour relier la ligne d'alimentation avec le stub. Le deuxième coté est considéré comme une fente (Figure IV.12).

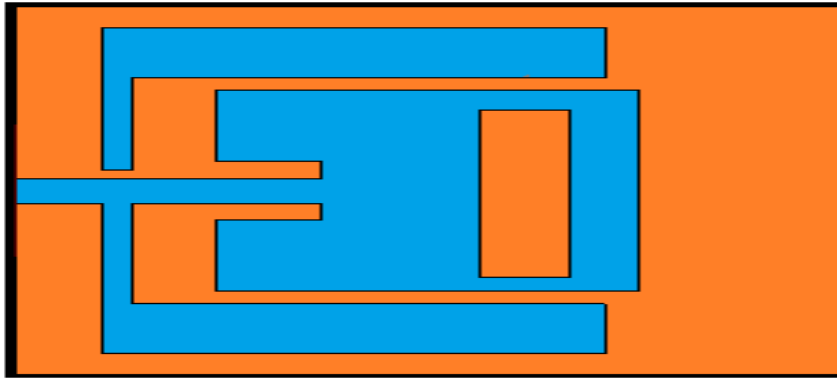


Figure IV.12 : La structure de l'antenne correspondante à l'état OFF-ON

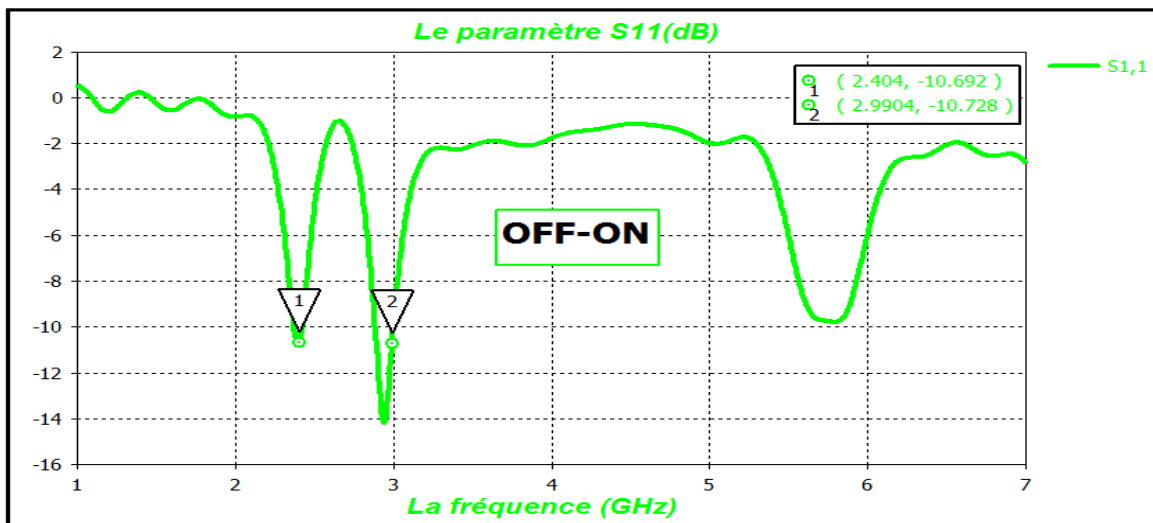


Figure IV.13 : Le coefficient de réflexion de l'antenne présentée dans la Figure IV. 12

Cette reconfiguration possède deux fréquences de résonances, une sur 2.4GHz avec une adaptation de -10dB et une autre sur la fréquence 2.9 GHz avec une adaptation de -14dB. Pour la fréquence 5.8 GHz, ce modèle présente une adaptation insuffisante (S11 autour de -9 dB).

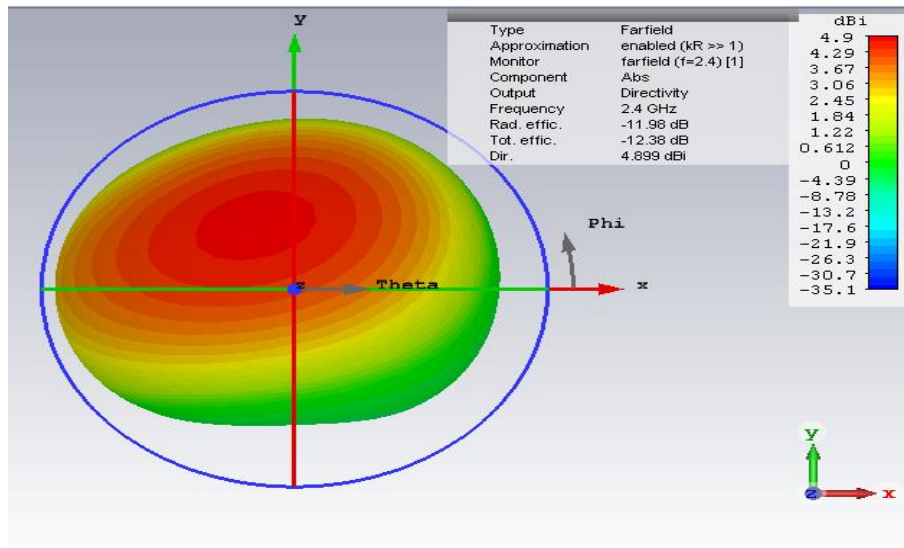


Figure IV.14 : Le diagramme de rayonnement de l'antenne présentée dans Figure IV.12 à la fréquence 2.4GHz (3D)

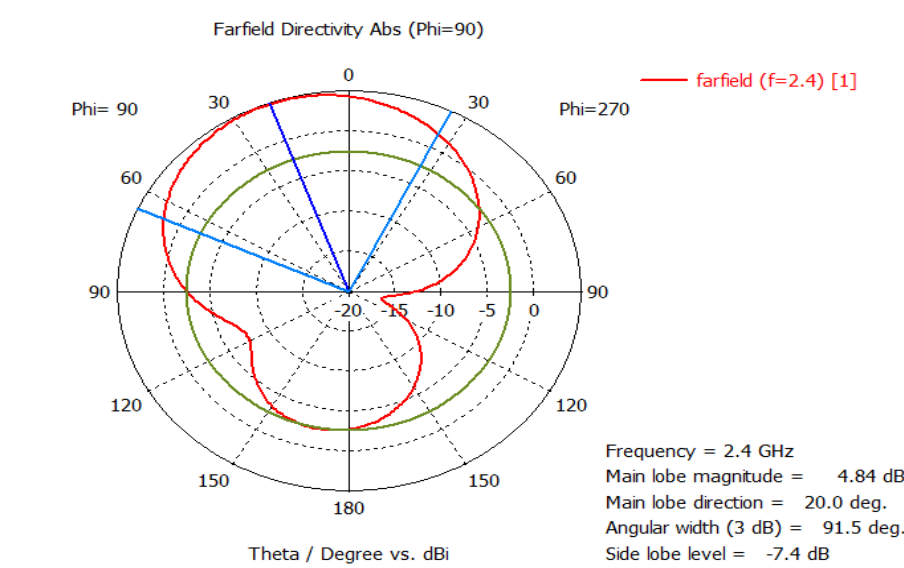


Figure IV.15 : le diagramme de rayonnement de l'antenne présentée dans Figure IV.12 à la fréquence 5.8 GHz au plan phi=90° (2D)

A cette fréquence, nous présentons le diagramme de rayonnement normalisé en champ lointain en 3D. Le gain réalisé total maximums est de l'ordre 4.84 dBi à $f = 2.41$ GHz. De même, on a représenté ces diagrammes de rayonnement en 2D dans les deux plan $\phi=90^\circ$ et $\theta=270$ comme nous les montre dans la Figure IV.15 pour la fréquence $f=2.4$ GHz.

❖ **Etat 4 : ON-OFF**

De même que l'état précédent, on va insérer une seule diode sur l'un des deux cotés ce qui permet de relier la ligne d'alimentation avec le stub sur un seul coté, le deuxième coté est considéré comme une fente (Figure IV.16).

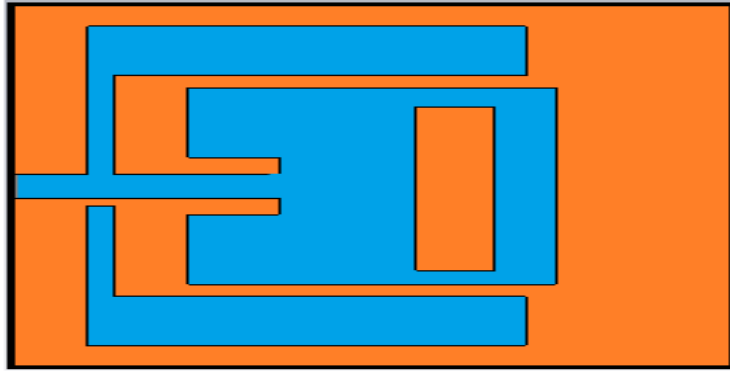


Figure IV.16 : La structure de l'antenne à l'état ON-OFF

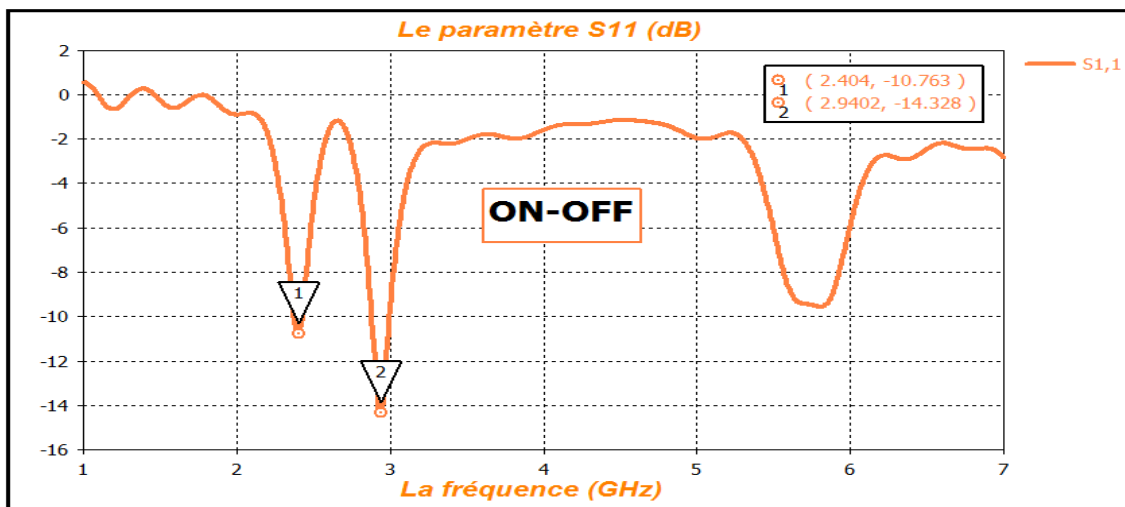


Figure IV.17: Le coefficient de réflexion de l'antenne présentée dans Figure IV.16

Cette reconfiguration permet d'avoir deux fréquences de résonance, une à 2.94 GHz avec une adaptation -14 dB et une autre à 2.4 GHz avec une adaptation de -10 dB. Pour la fréquence 5.8 GHz, cette version de l'antenne présente une adaptation insuffisante (S_{11} autour de -9 dB).

La reconfiguration utilisée dans ce cas en comparaison avec l'état précédente (ON-OFF et OFF-ON) est une reconfiguration en polarisation tout en maintient la fréquence de résonance, car la reconfiguration affecte la polarisation de l'antenne.

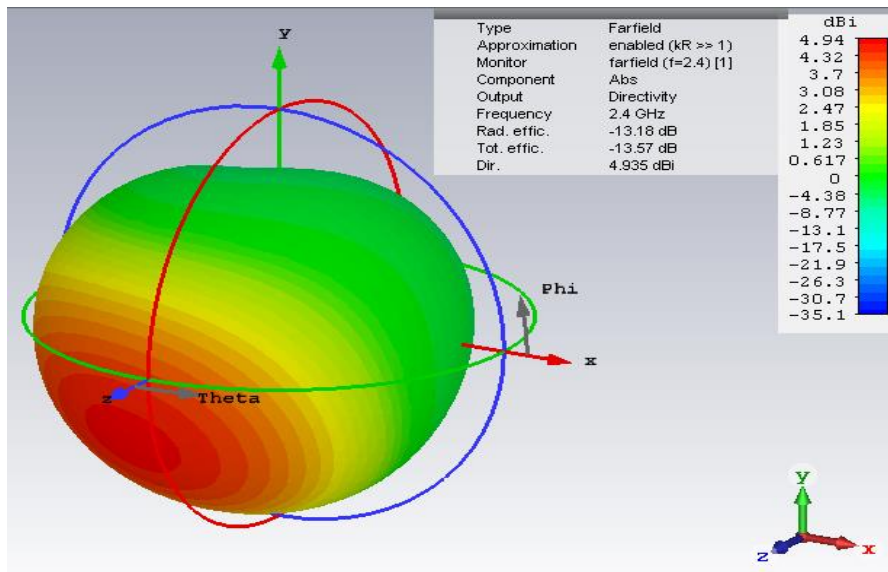


Figure IV.18 : Le diagramme de rayonnement de l'antenne présentée dans Figure IV.16 à la fréquence 2.4GHz (3D)

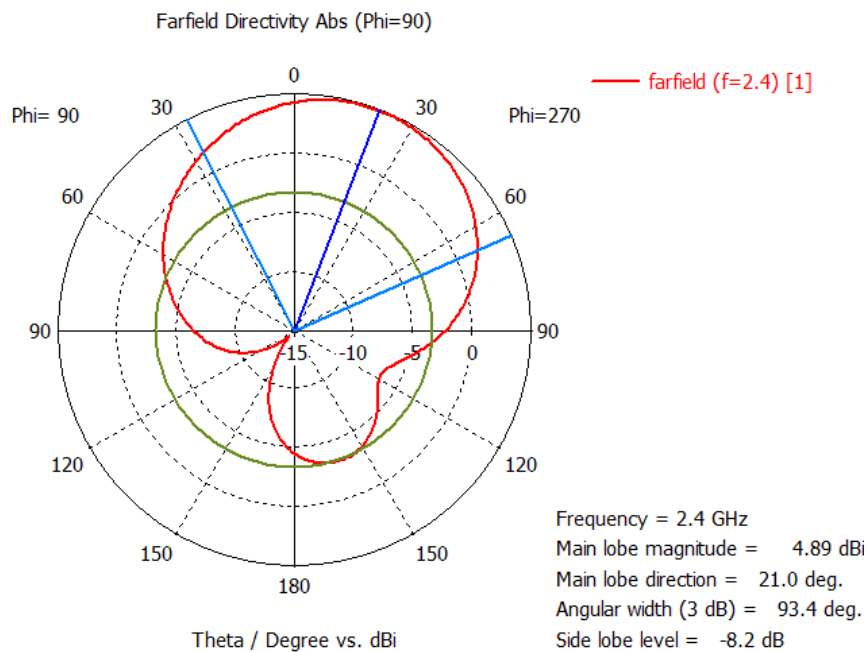


Figure IV.19 : Le diagramme de rayonnement de l'antenne présentée dans Figure IV.16 à la fréquence 2.4 GHz au plan phi=90° (2D)

A cette fréquence, nous présentons le diagramme de rayonnement normalisé en champ lointain en 3D. Le gain réalisé total maximums est de l'ordre 4.84 dBi à $f = 2.41$ GHz. De même, on a représenté ces diagrammes de rayonnement en 2D dans les deux plan $\phi=90^\circ$ et $\theta=270$ comme nous les montre dans les figures IV.16 à la fréquence $f=2.4$ GHz.

La figure suivante résume les quatre courbes correspondantes aux différents cas possibles.

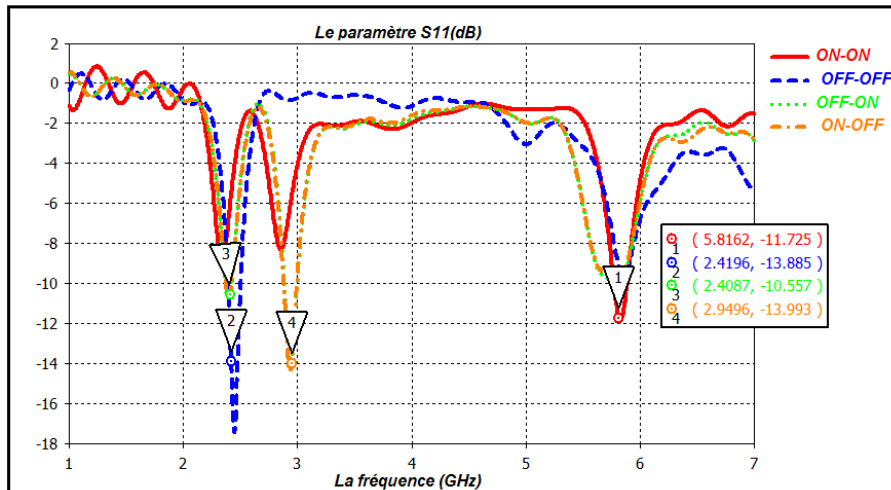


Figure IV.20 : Le coefficient de réflexion en fonction de la fréquence pour les différents cas possibles

Le tableau IV.2 suivant résume les résultats de différents cas possibles

Tableau IV.2: Les résultats de différents cas possibles

	La fréquence de résonance (GHz)	Le coefficient de réflexion (dB)	La bande passante (GHz)
ON-ON	5.82	-11.828	[5.7722-5.9063]
OFF-OFF	2.42	-15.628	[2.4025-2.5114]
OFF-ON	2.37	-10.29	[2.3521-2.4021]
ON-OFF	2.92	-14.80	[2.8811-2.9991]

Ce tableau permet nous de voir que la reconfigurabilité est bien vérifiée avec une bonne adaptation de l'antenne et une bande passante étroite dans les applications WLAN

On voit que l'effet de reconfigurabilité permet nous de switcher entre les différents fréquences sans changer l'antenne, si on désire passer par différents services de l'application WLAN on peut facilement grâce à les antennes reconfigurables.

IV.5 conclusion

Dans ce chapitre, on a fait la conception d'une antenne reconfigurable en fréquence. L'antenne proposée est atteinte après une étude paramétrique approfondie puis une optimisation qui nous permet d'ajuster quelques paramètres afin d'aboutir à notre guise. La reconfigurabilité est réalisée en utilisant des composants actifs présentés dans la diode PIN qui était modélisée par un simple morceau métallique pour l'état passante et une discontinuité pour l'état bloquée. L'antenne reconfigurable peut commuter entre deux bandes de fréquences (2.4 et 5.8 GHz). Ces deux bandes sont dédiées aux applications WLAN.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans ce mémoire, nous avons étudié le problème de conception des antennes reconfigurables qui ont reçu beaucoup d'attention ces décennies en particulier dans le domaine des télécommunications. En effet, ces antennes reconfigurables offrent la possibilité de faire la commutation entre ses fonctionnalités en utilisant des composants actifs telles que les diodes PIN.

L'objectif de notre travail était la conception d'une antenne reconfigurable en fréquence qui permet de commuter entre deux bandes (2.4GHz et 5.8GHz) dédiées aux applications WLAN. Pour atteindre cet objectif, une étude paramétrique était faite en utilisant le simulateur électromagnétique en 3D CST studio 2017 dans le domaine temporel. Ce simulateur full-wave est basé sur la résolution de l'équation de Maxwell en utilisant la méthode d'intégration finie. Ce logiciel permet de modéliser les diodes PIN (packages) dans les deux états ON/OFF sous l'interface design studio.

Au cours de ce travail, nous avons développé une antenne reconfigurable à partir d'une antenne patch rectangulaire simple en utilisant une étude paramétrique approfondie qui nous a permis d'avoir une grande idée sur l'effet de chaque paramètre sur les caractéristiques des antennes telles que le coefficient de réflexion, la fréquence de résonance et la bande passante. L'ajout des tiges (stubs) avec des trous (slots) sur le patch rayonnant influence sur l'adaptation à la fréquence de résonance et de même sur le décalage de cette fréquence elle-même.

En effet, l'utilisation des diodes PIN (ses modèles métalliques) permet de commuter la fréquence de résonance d'une bande WLAN 1 à une autre bande WLAN 2 ce qui permet de garder la forme globale de cette antenne tout en ayant la possibilité de s'adapter facilement à un environnement évolutif en basculant entre différentes normes.

La conception d'une antenne reconfigurable avec des composants actifs (diode PIN, RF MEMS, ...) a plusieurs contraintes pratiques résultant de l'insertion de ces composants commandables sur un environnement électromagnétique. Pour cela, on insère des structures résonantes (fentes, des stubs) sur la structure classique ce qui permet d'avoir des autres fonctionnalités (résonances) plus que la fonctionnalité fondamentale tous en ajustant ces nouvelles structures ajoutées. Une autre grande difficulté des antennes reconfigurables est la nécessité des circuits de commande pour piloter les composants actifs intégrés.

La résolution de ces difficultés et des autres méritent d'être prise en considération comme des perspectives et travaux au futur.

Références

Références

- [1] B. Büchel, “Case Study - Ericsson Hewlett-Packard Telecommunications,” *Development of Joint Ventures*, pp. 63–75, 1997.
- [2] S. Gregory and Z. Guo, “The Architecture of Mobile Agent in Wireless Environment,” *Macau IT Congress*, 2001.
- [3] H. A. Wheeler, “Fundamental Limitations of Small Antennas,” *Proceedings of the IRE*, vol. 35, no. 12, pp. 1479–1484, Dec. 1947
- [4] H. Legay, et al., “Effet d’un trou métallisé sur les caractéristiques de rayonnement d’une antenne plaque micro-ruban alimentée par une ligne coaxiale à travers le plan de masse,” *Ann. Télécommun.*, vol. 46, no.7-8, 1991.
- [5] L. Petit, “Antennes Reconfigurables A Base De MEMS RF” *Micro et nanotechnologies / Microélectronique*. Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 2007.
- [6] J. T. Bernhard, “Reconfigurable antennas and apertures: State-of-the-art and future outlook,” *Proceedings of SPIE Conference on Smart Electronics, MEMS, BioMEMS, and Nanotechnology*, vol. 5055, pp. 1–9, 2003.
- [7] C. G. Christodoulou, et al., “Reconfigurable Antennas for Wireless and Space Applications,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 100, no. 7, pp. 2250–2261, Jul. 2012.
- [8] N. Haider, et al., “Recent Developments in Reconfigurable and Multiband Antenna Technology,” *International Journal of Antennas and Propagation*, vol. 2013, pp. 1–14, 2013.
- [9] J. T. Bernhard, “*Reconfigurable Antennas*”. San Rafael, CA: Morgan and Claypool, 2007.
- [10] G. C. Christodoulou, et al., “Reconfigurable antennas for wireless and space applications,” *Proc. IEEE*, vol. 100, no. 7, pp. 2250–2261, 2012.
- [11] H. T. Friis, C. B. Feldman, and W. M. Sharpless, “The Determination of the Direction of Arrival of Short Radio Waves,” *Proceedings of the Institute of Radio Engineers*, 22, 1, pp. 47-78, Jan. 1934.
- [12] D. M. Pozar, “Microstrip Antenna Aperture Coupled to a Microstrip Line” *Elect Letters*, vol. 21, pp. 49-50, Jan.1985.
- [13] C. A. Balanis, “*Antenna Theory Analysis and Design*”, Second Edition. United States of America. John Wiley& Sons, 1997.
- [14] E. O. Hammerstad, “Equations for Microstrip Circuit Design,” *5th European Microwave Conference*, Oct. 1975.
- [15] L. E. Miller, “Why UWB? A Review of Ultra-wide band Technology”, National Institute of Standards and Technology, MA, Tech. Rep., April 2003.

- [16] FCC, “First report and order, revision of part 15 of the commission's rules regarding ultra-wideband transmission systems FCC,” 2002.
- [17] B. Allen, et al., “Ultra-Wideband Antennas and Propagation for Communications, Radar and Imaging” London, UK: Wiley, 2006.
- [18] Y. Zemmam, A. Foukia, “ Etude et conception d’antennes reconfigurables par association d’éléments actifs,” mémoire de Master, *Département d’électronique*, Université de Tlemcen, 2017.
- [19] Y. I. Abdulraheem et al., “Design of frequency reconfigurable multiband compact antenna using two PIN diodes for WLAN/WiMAX applications,” *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, vol. 11, no. 8, pp. 1098–1105, Jun. 2017.
- [20] T. Duc Nguyen, “Conception d’antenne intelligente reconfigurable pour la radio cognitive”, Université Grenoble Alpes, 2012.
- [21] S. Loizeau and A. Sibille, “Reconfigurable ultra-wide band monopole antenna with a continuously tunable band notch,” *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, vol. 8, no. 5, pp. 346–350, Apr. 2014.
- [22] R. S. Kadam and A. V. Kulkarni, “Polarization and frequency reconfiguration using meander antenna,” *International Conference on Industrial Instrumentation and Control (ICIC)*, India, May 2015.
- [23] <http://www.airmems.com/index.php/rf-mems-technologie.html>: Site web, date de visite: Mai 2018
- [24] R. L. Haupt and M. Lanagan, “Reconfigurable Antennas,” *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 55, no. 1, pp. 49–61, Feb. 2013.
- [25] Mohammad A. Matin, “Spectrum Access and Management for Cognitive Radio” Springer Science, Singapore, 2017.
- [26] Y. Tawk et al., “Optically Pumped Frequency Reconfigurable Antenna Design,” *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 9, pp. 280–283, 2010.
- [27] A. Gaebler, et al., “Liquid crystal-reconfigurable antenna concepts for space applications at microwave and millimeter waves,” *Int. J. Antennas Propag.*, vol. 2009, pp. 1-7, 2009.
- [28] A. Andy, et al., “An Optically-Switched Frequency Reconfigurable Antenna for Cognitive Radio Applications,” *10th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, Apr. 2016.
- [29] E. Nasrabadi and P. Rezaei, “A novel design of reconfigurable monopole antenna with switchable triple band-rejection for UWB applications,” *International Journal of Microwave and Wireless Technologies*, vol. 8, no. 08, pp. 1223–1229, Apr. 2015.

- [30] I. Ben Trad, “Antennes Agiles pour les Télécommunications Multistandards,” Thèse de Doctorat, Université de Rennes, 2014.
- [31] S. Sharma, “Integrated Reconfigurable Antennas For Cognitive Radio Application,” these de doctorat, université de Kurukshetra, 2017.
- [32] D. M. Pozar, “Microwave Engineering,” *4th ed.*, John Wiley & Sons Inc., 2012
- [33] M. Pastorino and A. Randazzo, “Microwave imaging of dielectric targets by using the inexact-Newton method: A short review,” *IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications (CAMA)*, Nov. 2014.
- [34] R. Haupt, and D. Werner, “Genetic Algorithms in Electromagnetics,” *IEEE press*, 2007.

Résumé

Généralement, une antenne a des caractéristiques fixes après sa conception et sa réalisation. Cette limitation ne marche pas avec le progrès technologique fulgurant surtout avec l'apparition de nouvelles applications à différentes fréquences. Par le désir croissant d'intégrer ces applications dans un seul appareil, les antennes doivent avoir des caractéristiques flexibles pour répondre aux besoins de l'environnement. Ces antennes sont connues par des antennes reconfigurables. Dans ce travail, une antenne reconfigurable en fréquence a été conçue. Cette antenne commute entre deux fréquences d'applications WLAN (5,8 et 2,4 GHz), tout en conservant à la fois la polarisation et le diagramme de rayonnement. Basé sur l'insertion d'éléments actifs tels que les diodes PIN, le processus de reconfiguration était effectué. La forme finale de l'antenne proposée est obtenue après une étude paramétrique stricte, en utilisant CST studio 2017.

Mots clés : antenne reconfigurable - diode PIN - CST studio - simulation.

Abstract

Generally, an antenna has fixed characteristics after its design and realization. This feature is not in line with the huge technological progress represented by the appearance of new applications at different frequencies. By the increasing desire to integrate these applications into a single device, the antennas must have flexible characteristics to meet environment demands. These antennas are known by reconfigurable antennas. In this work, a frequency configurable antenna was designed. This antenna switches between two frequencies of WLAN applications (5.8 and 2.4 GHz), while maintaining both polarization and radiation pattern. Based on the insertion of active elements such as PIN diodes, the reconfiguration process will be done. The final form of the proposed antenna is achieved after a hard parametric study, using CST studio 2017.

Key words: reconfigurable antenna - PIN diode - studio CST- simulation.

ملخص:

الأصل في الهوائيات أنها ذات خصائص ثابتة بعد التصنيع. و هذه الميزة لا تتماشى مع التقدم التكنولوجي الهائل المتمثل أساسا في ظهور تطبيقات جديدة على ترددات مختلفة , و مع تزايد الرغبة الجامحة في دمج هذه التطبيقات في أداة واحدة بحجم راحة اليد مما يحتم على إيجاد هوائيات ذات خصائص مرنة و تلبي حاجيات المحيط أنيا و هذه الهوائيات القابلة للتشكيل . في هذا العمل المقدم, قمنا بتصميم هوائي قابل للتشكيل ذو خاصية تبديل الترددات (مع الحفاظ على ثبوت كل من الاستقطاب و نمط الإشعاع). هذا الهوائي يعتمد على إضافة العناصر النشطة كالصمام الثنائي PIN في عملية إعادة التشكيل. كما قمنا بدراسة تأثير مختلف الأبعاد الهندسية على خصائص الهوائي مما سهل لنا عملية تصميم هوائي باستعمال CST studio 2017 , يقوم بالتبديل بين ترددين مختلفين على تطبيق WLAN (5.8 و 2.4 جيجا هرتز)