

République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
المركز الجامعي لعين تموشنت
Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent
Institut de Technologie
Département de Génie Electrique



Projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de Master en :
Filière : Télécommunications
Spécialité : Réseaux de Télécommunications

Thème

**Antenne reconfigurable pour des applications
satellitaires**

Soutenu : le 01/ juillet/2020

Présenté Par :

KHATTAR bouazza ibrahim

BOUBOSSELA abdallah imed

Devant le jury composé de :

BOUTKHIL Malika	MAA	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Présidente
FEROUANI Souheyla	MCA	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Examinatrice
MOULESSEHOUL Wassila	MCB	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Encadrante

Année Universitaire 2019/2020

Résumé

En raison du développement rapide de la technologie de communication sans fil, les antennes reconfigurables sont devenues l'objet de nombreuses recherches à cause de leur flexibilité et capacité de répondre à l'évolution des besoins en termes de fréquence, polarisation et diagramme de rayonnement.

Ce travail est basé sur la conception d'une antenne imprimée à une fréquence de résonance de 10GHZ, la reconfiguration en fréquence de notre antenne était effectué par l'ajout d'une diode varicap pour qu'elle couvre la gamme de fréquence de la bande X (8GHZ-12GHZ).l'antenne conçue est dédié pour des utilisations satellitaires.

L'étude de cette antenne était faite par l'utilisation du simulateur CST microwave studio.

Mots clés : les antennes reconfigurables, fréquence, diagramme de rayonnement, antenne imprimée, diode varicap, bande X.

Abstract

Due to the rapid development of wireless communication technology, reconfigurable antennas have become the subject of many researches because of their flexibility and ability to meet changing needs in terms of frequency, polarization and radiation pattern.

This work was based on designing a printed antenna at a resonant frequency of 10GHZ, the frequency reconfiguration of our antenna was carried out by the addition of a varactor diode so that it covers the frequency range of the X band (8GHZ-12GHZ). the antenna designed is dedicated for satellite uses.

The study of this antenna was made by the CST microwave studio simulator.

Key words: reconfigurable antennas, frequency, radiation pattern, printed antenna, varactor diode, X band.

ملخص

بسبب التطور السريع لتكنولوجيا الاتصالات اللاسلكية ، أصبحت الهوائيات القابلة لإعادة التشكيل موضوعًا لكثير من الأبحاث بسبب مرونتها وقدرتها على تلبية الاحتياجات المتغيرة من حيث التردد والاستقطاب ونمط الإشعاع.

اعتمد هذا العمل على تصميم هوائي مطبوع بتردد 10 جيجا هرتز ، تمت إعادة تشكيل تردد هذا الهوائي عن طريق إضافة صمام ثنائي (فاركتور) بحيث يغطي نطاق التردد 8جيجا هيرتز إلى 12 جيجا هيرتز (المجال اكس) ، هذا الهوائي مخصص للاستعمالات المتعلقة بالأقمار الصناعية .

تم إجراء دراسة هذا الهوائي باستخدام استوديو المحاكاة الرقمي (CST)

الكلمات المفتاحية: هوائيات قابلة لإعادة التشكيل تردد ، مخطط إشعاع ، تردد رنين ، صمام ثنائي ، نطاق إكس، هوائي مطبوع .

Remerciements

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'un projet de fin d'étude mené au niveau de l'institut de technologie Département de Génie Electrique au Centre Universitaire BLHADJ Bouchaib d'Ain Témouchent.

Tout d'abord, nous remercions ALLAH, notre créateur de nous avoir donnée la force, la volonté et le courage afin d'accomplir ce modeste travail.

Nos remerciements les plus sincères vont à Mme MOULESSEHOUL Wassila qui nous a orientées vers un sujet intéressant, accompagnée de conseils avisés pour permettre de trouver la bonne voie dans notre travail de Mémoire.

Nous remercions également Madame BOUTKHIL Malika qui a bien voulu présider le jury de ce mémoire et Madame FEROUANI Souheyla qui nous a fait l'honneur d'examiner le présent travail.

Que tous nos professeurs qui ont contribué à notre formation, trouve ici l'expression de nos sincères et profondes gratitude, et tous ce qui ont contribué de près ou de loin à la concrétisation de ce modeste travail.

J'exprime par ailleurs toute ma sympathie à l'ensemble des étudiants de la promotion Master 2, Réseaux des Télécommunications de l'année universitaire 2019-2020, qui nous ont constamment soutenu et encouragé.

Pour finir, nous remercions nos familles pour leurs patiences, leurs sacrifices et leurs encouragements.

Dédicace

Ma mère

Mon père

Ma petite sœur « Bouchra »

Mes frères « Réda & Walid »

Mes cousines « Lydia & Randa »

Mes chères amis « Ahmed, Imed, Said, Adel, Oussama, Walid
et Amine »

Brahim

Dédicace

Je dédie ce travail à mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leurs amours, tendresse, soutien et leurs prières tout au long de mes études.

A mes chères frères Ismail et Ibrahim et ma sœur Lina pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral.

A mon partenaire khattar Ibrahim, mon ami qui a fait de son maximum pour réussir ce projet.

A mes chers amie Ahmed, Ayoub, Kader, Walid et Said pour leur encouragement et soutien.

A notre encadrante qui nous a dirigés et guidés tout le long de ce travail.

A toutes les personnes qui mon soutenue avec leurs présence et conseil.

A la fin je tiens à remercier toute personne qui a contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.

Imed

Liste des figures

Chapitre I : l'état de l'art sur les antennes imprimées

Figure I.1 Structure d'une antenne.	3
Figure I.2 Représentation du diagramme de rayonnement d'une antenne.	5
Figure I.3 Exemple de différents types de polarisation.	6
Figure I.4 Bande passante et coefficient de réflexion.	7
Figure I.5 Structure d'une antenne imprimée.	8
Figure I.6 Formes d'une antenne patch.	8
Figure I.7 (a) Alimentation centrée et (b) exemples d'images de quelques antennes déjà réalisées.	9
Figure I.8 Le patch couplé capacitivement à la ligne micro ruban (vue de côté et vue de face).	10
Figure I.9 Antenne patch rectangulaire alimentée par la sonde coaxial.	11
Figure I.10: Alimentation couplée par ouverture.	12

Chapitre II : Les antennes reconfigurables

Figure II.1 Illustration de l'agilité fréquentielle.	15
Figure II.2 La reconfiguration de fréquence en utilisant une antenne rectangulaire vue du dessus (A) et du dessous (B).	16
Figure II.3 La reconfiguration du rayonnement en utilisant une antenne filaire à spirale carrée.	17
Figure II.4 Antenne patch à bord commuté en (A) et Antenne PASS de l'UCLA en (B).	18
Figure II.5 Géométrie de l'antenne Meander optimisée vue du dessus en (A) et du dessous en (B).	19
Figure II.6 Exemple sur la reconfiguration géométrique (mécanique) d'antenne.	19
Figure II.7 antenne patch reconfiguré par fente ou ligne commutable.	20
Figure II.8 Diode varicap.	20
Figure II.9 Un circuit équivalent de la diode Pin, (a) état ON (b) état OFF.	21
Figure II.10 Exemples de composants MEMS.	22
Figure II.11 (A) Prototype de l'antenne utilisant un substrat de silicone extensible TC5005. (B) Vue de dessus et vue de dessous.	23

Chapitre III : Conception d'une antenne patch reconfigurable

Figure III.1 Une interface graphique du simulateur CST studio 2014.....	26
Figure III .2 Structure d'un patch rectangulaire simple.....	27
Figure III .3 Coefficients de réflexion S11 obtenus par CST.....	28
Figure III .4 Coefficients de réflexion S11 avec le changement de W, L,Wf.....	29
Figure III.5 Les troncatures insérées sur la ligne d'alimentation.	30
Figure III.6 Le coefficient de réflexion pour différentes longueurs de troncature (Le).....	30
Figure III.7 Le coefficient de réflexion et la bande passante.	30
Figure III.8 patch rectangulaire avec slot.....	31
Figure III.9 Coefficients de réflexion S11 avec le changement de W3, L3.....	31
Figure III.10 Le coefficient de réflexion de l'antenne à 10GHz.	32
Figure III.11 Le diagramme de rayonnement (directivité) pour la fréquence 10 GHz (3D) et polaire.....	33
Figure III.12 Le diagramme de rayonnement (gain).....	33
Figure III.13Antenne rectangulaire avec une diode Varicap.	34
Figure III.14 Paramètre S11 pour C=0.02pF.	35
Figure III.15 Paramètre S11 pour C=0.05pF.	35
Figure III.16 Paramètre S11 pour C=0.2pF.	35
Figure III.17 Paramètre S11 pour C=0.8pF.	36
Figure III.18 Le paramètre S11 pour différentes valeurs de la Capacité.	36

Liste des tableaux

Chapitre I : l'état de l'art sur les antennes imprimées

Tableau I.1 Comparaison entre les différentes méthodes d'alimentation	12
---	----

Chapitre III : Conception d'une antenne patch reconfigurable

Tableau III.1 Les équations paramétriques d'un patch rectangulaire.	27
Tableau III.2 Les dimensions de l'antenne patch rectangulaire propose.	28
Tableau III.3 Les dimensions de l'antenne patch rectangulaire après Etude paramétrique. ...	29
Tableau III.4 Les dimensions de l'antenne patch rectangulaire après l'ajoute de troncature .	31
Tableau III.5 Les dimensions de l'antenne patch rectangulaire obtenir.	32
Tableau III.6 Les résultats de la reconfiguration fréquentielle.	37

Liste des acronymes

ADS: Advanced Design System.

BP: Bande Passante.

CST : Computer simulation technologie.

dB : Le Décibel.

FET: Field Effect Transistor.

HF: Haute frequency.

HFSS: high-frequency structure simulator **GHz:** Gigahertz.

ISM : Industriel, Scientifique et Médical

IE3D: Integral Equation Three-Dimensional.

MMIC: Microwave Monolithic Integrated Circuit.

MEMS: Micro-Electro Mechanical Systems.

nH: Nano Henry.

PIN : Positive Intrinsic Négative.

PF: Pico Farad.

UCLA: University of California at Los Angeles.

UIT : Union Internationale des Télécommunications.

V : Volte.

WIFI : Wireless Fidelity.

2D : 2 Dimensions.

3D : 3 Dimensions.

Sommaire

Résumé	
Remerciement	
Dédicaces	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des acronymes	
Sommaire	
Introduction générale.....	1
Chapitre I : l'état de l'art sur les antennes imprimées	
I.1 Introduction	3
I.2 Les antennes	3
I.2.1 Définition	3
I.2.2 Caractéristiques des antennes	4
I.3 L'Antenne imprimée	7
I.3.1 Définition	7
I.3.2 La technologie des antennes imprimée	8
I.3.3 Alimentation des antennes imprimées	9
I.3.4 Comparaison entre les différentes méthodes d'alimentation	12
I.3.5 Avantages et inconvénients des antennes imprimées	13
I.4 Conclusion.....	13
Chapitre II : Les antennes reconfigurables	
II.1 Introduction	14
II.2 Les antennes reconfigurables	14
II.3 La nécessité de la reconfiguration	14
II.4 Types de reconfiguration	15
II.4.1 La reconfiguration en fréquence	15
II.4.2 La reconfiguration en rayonnement	16
II.4.3 La reconfiguration en polarisation	17
II.4.4 La reconfiguration composée	18

II.5	Techniques de reconfiguration	19
II.5.1	La modification géométrique	19
II.5.2	Fente ou ligne commutable	20
II.5.3	Matériaux Agiles	22
II.6	Avantageset inconvénients des antennes reconfigurables	23
II.7	Conclusion	25
Chapitre III : Conception d'une antenne patch reconfigurable		
III.1	Introduction	25
III.2	La Bande X	25
III.3	Choix de l'outil de simulation	26
III.4	L'antenne patch rectangulaire à 10GHz	26
III.4.1	Simulation du coefficient de réflexion	28
III.4.2	Etude paramétrique de l'antenne	29
III.4.3	Ajout de tronçatures	29
III.4.4	Ajout de slot sur le patch	31
III.4.5	Visualisation des résultats finals	32
III.5	Antenne patch rectangulaire reconfigurable sur la bande X	34
III.5.1	Récapitulatif de résultats	36
III.6	Conclusion	37
Conclusion générale		38
Bibliographie		39

Introduction générale

Introduction générale

La communication est la base d'un bon fonctionnement d'une société, la nécessité de la communication a poussé à un avancement de cette application arrivant à une haute technologie qui est celle de la télécommunication. Cette dernière est partagée entre la communication filaire qui a pour obstacle une limitation de distance et une autre communication radio fréquentiel qui bénéficie d'une mobilité illimitée et qui nécessite l'utilisation des antennes.

L'antenne est un dispositif qui traduit l'énergie électrique à une onde électromagnétique qui va être rayonné dans l'émission et capté à la réception. Cette antenne détient des spécificités comme le diagramme de rayonnement, fréquence de résonance, polarisation, impédance d'entrée ... etc. Ces caractéristiques contribuent à une transmission clinique de l'information. Pour arriver à une connexion fiable et performante à un réseau mobile, des concepteurs ont créé des dispositifs d'antennes imprimées, ces dispositifs sont devenus indispensables dans le domaine des télécommunications grâce à leur faible poids, volume, coûts, simplicité de fabrication et grâce à leur atout essentiel qui est celui de l'implémentation de ces antennes sur tout type de circuit électronique.

La technologie récente exige utilisation de plusieurs applications (fonctionnalités) sur la même antenne ce qui fait appel à la notion de la reconfiguration. Les antennes reconfigurables sont des antennes qui ont la possibilité de s'adapter à des conditions changeantes en ajustant leurs fréquences de fonctionnement, polarisation ou leurs diagrammes de rayonnement.

L'objectif de notre mémoire est de réaliser une antenne reconfigurable pour des applications satellitaire, notre travail est divisé en deux chapitres théoriques et un troisième pratique.

Dans le premier chapitre on présentera un état de l'art des antennes imprimées, nous commencerons par une définition de l'antenne ensuite citer ces caractéristiques, ainsi on parlera de ces composantes puis nous citerons les différentes techniques d'alimentations qui existent.

Le deuxième chapitre est consacré pour les antennes reconfigurables, nous allons inclure dans cette partie la définition de ces antennes suivie d'un aperçu sur la nécessité de la

Introduction générale

reconfiguration, ensuite nous allons citer quelque type de reconfiguration avec diverses techniques, et pour clôturer ce chapitre nous mentionnerons les avantages et les inconvénients des antennes imprimées reconfigurables.

Le troisième chapitre est conçue pour la partie pratique ou on va utiliser le logiciel CST Microwave Studio pour simuler une antenne patch rectangulaire qui rayonne à la fréquence de 10GHz avec une alimentation en micro ruban cette dernière va subir des modifications pour le but d'adapter notre antenne.

En deuxième lieu nous passons à la reconfiguration fréquentiel de notre antenne par la technique d'insertion d'une diode varicap pour que notre antenne couvre l'ensemble des fréquences qui se trouve dans la bande X, enfin nous avons regroupé les résultats finals de la simulation de notre antenne rectangulaire reconfigurable en fréquence, pour qu'elle soit utilisée pour des applications satellitaires.

La fin de ce manuscrit contient une conclusion générale du thème étudié avec la bibliographie utilisé dans ce travail.

Chapitre I :

**l'état de l'art sur les antennes
imprimées**

I.1. Introduction

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 onde électromagnétique et vice versa (à un rôle réciproque).

Notre travail consiste à s'étaler sur les bases de notre intitulé nous allons entamer notre recherche par une définition de l'antenne ensuite citer ces caractéristiques.

L'antenne imprimée est le but de notre recherche, elle sera définie à son tour puis présentée avec ses propres composants, (matériaux conducteurs, définition de substrat) puis nous donnerons les différentes alimentations et de cette antenne.

I.2. Les antennes

I.2.1. Définition

Une antenne est un dispositif qui rayonne un champ électromagnétique dans l'espace en émission et le capte à la réception. Elle convertit l'énergie électrique d'un signal en énergie électromagnétique à l'émission et l'inverse à la réception.

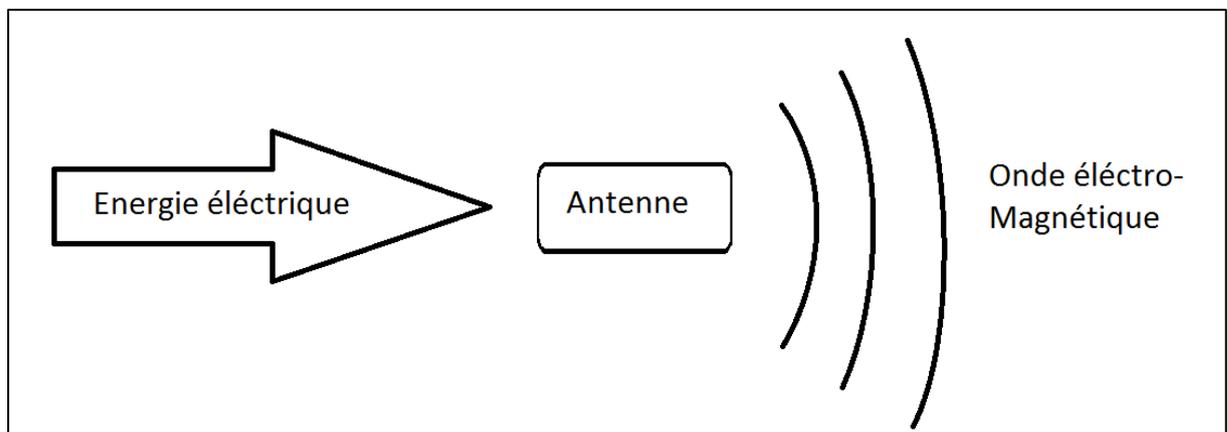


Figure I.1 - Structure d'une antenne.

Il existe plusieurs types d'antennes classées par rapport à leur principe de fonctionnement et leur rôle dans le domaine de la télécommunication :

- Antennes filaires (dipôle, monopôle, Yagi).
- Antennes à fentes (demi ou quart d'onde).
- Antennes à ouverture (cornet).

- Antennes à réflecteurs (paraboles).
- Antennes patches (planaires).

I.2.2. Caractéristiques des antennes

Chaque antenne dispose de caractéristiques qui sont essentielle au bon fonctionnement de l'antenne nous allons citer quelques-unes :

I.2.2.1. Le Coefficient de réflexion

Le coefficient de réflexion d'une antenne représente le rapport de la puissance réfléchi à l'entrée de l'antenne et la puissance émise. L'équation du coefficient de réflexion est exprimée par :

$$S_{11} = \frac{(Z_e(f) - Z_0)}{(Z_e(f) + Z_0)} \quad \text{[I.1]}$$

Avec:

- Z_e est l'impédance d'entrée de l'antenne
- Z_0 est l'impédance caractéristique (Généralement égale à 50 Ω)

Le coefficient de réflexion permet de connaître la qualité d'adaptation d'une antenne. En effet, plus son module tend vers l'infini négatif en dB, plus l'antenne est adaptée. Souvent, la fréquence de résonance d'une antenne est celle où le coefficient de réflexion est minimal[1].

I.2.2.2. L'impédance d'entrée

L'impédance d'entrée de l'antenne est l'impédance vue de la part de la ligne d'alimentation au niveau de l'antenne [2], elle est donnée par:

$$Z_e = Z_0 \frac{(1 + S_{11})}{(1 - S_{11})} \quad \text{[I.2]}$$

I.2.2.3. Le Diagramme de rayonnement

Le diagramme de rayonnement présente les changements de la puissance rayonné par l'antenne dans les différentes directions de l'espace, il indique les directions dans lesquels la puissance rayonnée est maximale. Le diagramme de rayonnement (figure I.2) peut être

représenté soit en distribution 3D qui nous permette une meilleure visualisation du lobe principal et des lobes secondaires, soit en 2D en une représentation polaire ou cartésienne [3].

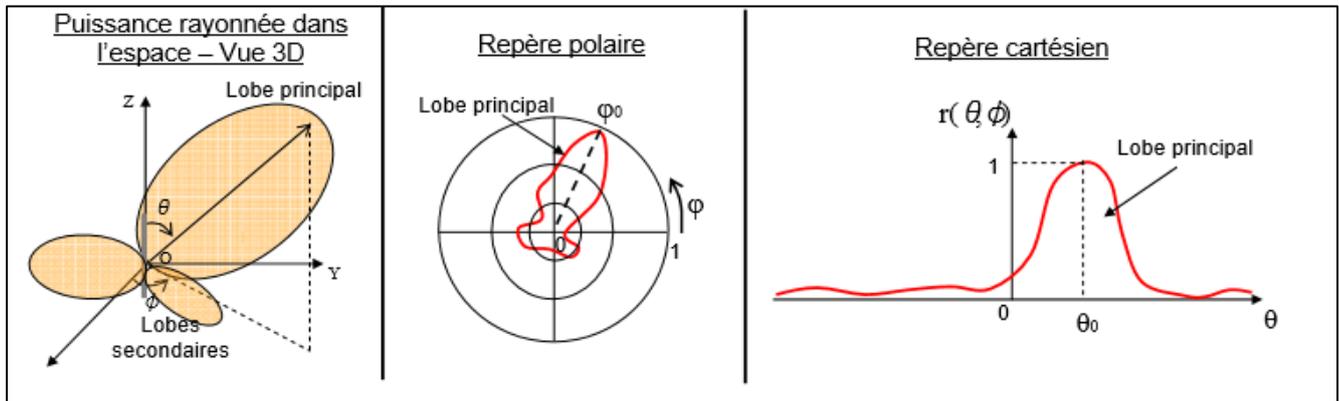


Figure I.2 - Représentation du diagramme de rayonnement d'une antenne [3].

I.2.2.4. La directivité

La directivité d'une antenne dans la direction (θ, ϕ) est le rapport entre la densité de puissance surfacique $U(r, \theta, \phi)$ rayonnée par l'antenne dans cette direction à la distance r et la densité de puissance qui serait rayonnée par une antenne isotrope rayonnant la même puissance totale. La directivité n'a pas d'unité. En général, on l'exprime en décibels :

$$D(\theta, \phi) \text{ dB} = 20 \log D(\theta, \phi)$$

NB: si la directivité est supérieure à 1 (ou 0 dB) dans certaines directions, c'est-à-dire qu'elle rayonne plus que l'antenne isotrope, elle est nécessairement inférieure à 1 dans d'autres directions, puisque la puissance totale rayonnée est la même pour ces deux antennes [3].

$$D(\theta, \phi) = \frac{P(\theta, \phi)}{\frac{P_r}{4\pi}} = 4\pi \frac{P(\theta, \phi)}{P_r} \quad \text{[I.3]}$$

I.2.2.5. Le gain

Le gain représente le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction et la puissance rayonnée par une antenne isotrope sans perte, il est exprimé en dB et présenté par l'équation suivante :

$$G(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{P(\theta, \varphi)}{P_a} \quad \text{[I.4]}$$

Avec:

- P (θ,φ): Puissance rayonné dans une direction.
- Pa: Puissance rayonnée par l'antenne [3].

I.2.2.6. Le rendement

Le rendement d'une antenne ou également appelé efficacité est le rapport entre la puissance totale rayonné et la puissance d'alimentation de cette antenne. Il est exprimé pareillement en fonction du gain et directivité.

$$\eta = \frac{P}{P_a} = \frac{\text{Gain}}{\text{Directivité}} \quad \text{[I.5]}$$

Avec: P: Puissance totale rayonné.

I.2.2.7. La Polarisation

La polarisation d'une antenne est déterminée par celle de l'onde radiée dans une direction donnée, elle est identique à la direction du champ électrique c'est-à-dire à celle des brins rayonnant de l'antenne. Si le plan E (électrique) est parallèle au vecteur E de l'onde émise, on parle de polarisation verticale si le plan E est perpendiculaire au sol, s'il est parallèle au sol on parle de polarisation horizontale. Aussi le vecteur du champ électrique instantané trace dans le temps une figure, la figure est généralement une ellipse. Si le chemin du vecteur de champ électrique suit une ligne l'antenne est dite linéairement polarisée. Si le vecteur de champ électrique tourne selon un cercle on dit a polarisation circulaire [4] [5].

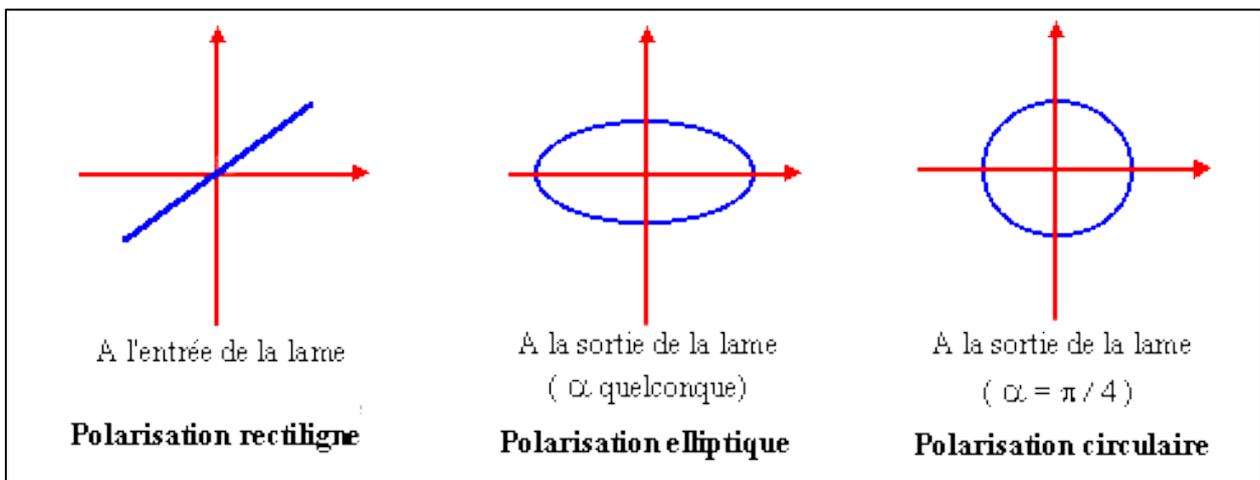


Figure I.3 - Exemple de différents types de polarisation[5].

I.2.2.8. La bande passante

La bande passante d'une antenne (figure I.4) correspond à la bande de fréquence où le transfert d'énergie de l'alimentation vers l'antenne ou de l'antenne vers le récepteur est maximal. Pour optimiser la bande passante, on peut agir directement sur l'antenne afin de modifier son impédance, ou ajouter un élément d'adaptation [6].

$$Bp(\%) = \left[\frac{f^{MAX} - f^{MIN}}{f_c} \right] \cdot 100 \quad [I.6]$$

Avec f_c est la fréquence centrale ou de résonance.

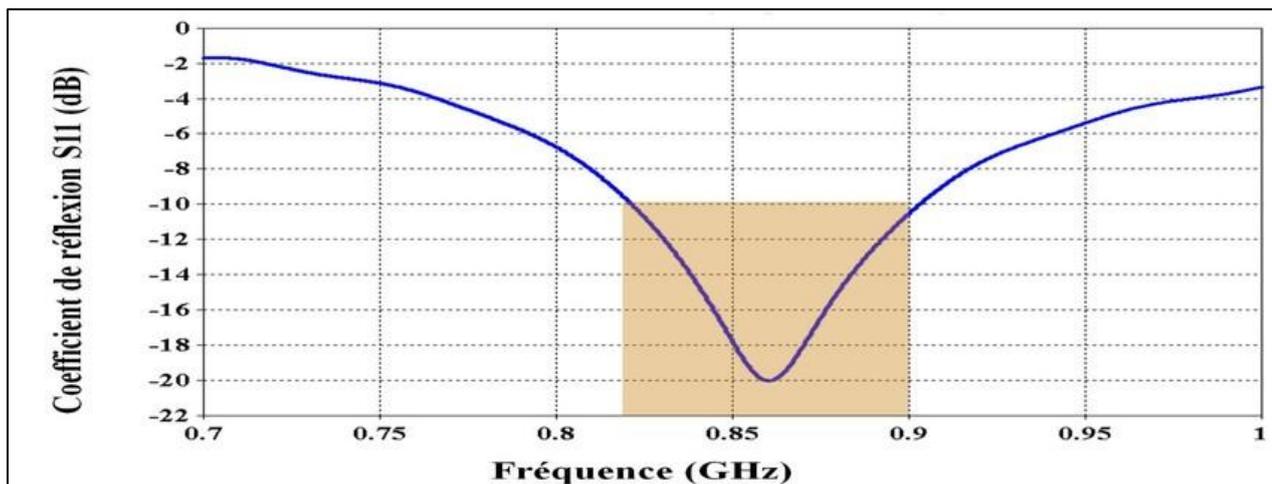


Figure I.4 - Bande passante et coefficient de réflexion[6].

I.3. L'Antenne imprimée

I.3.1. Définition

Une antenne imprimée est constituée d'une métallisation de forme géométrique appropriée (patch), déposée sur une face d'un substrat diélectrique de permittivité ϵ_r tandis que l'autre face est le plus souvent complètement ou partiellement métallisée (plan de masse).

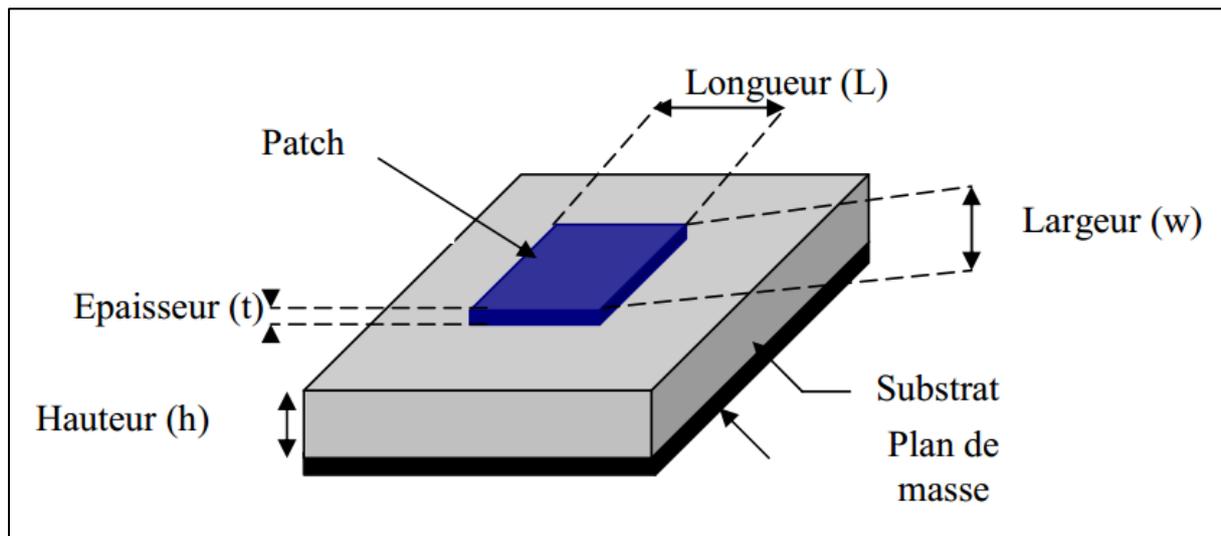


Figure I.5 - Structure d'une antenne imprimée.

I.3.2. La technologie des antennes imprimée

I.3.2.1. Le matériau conducteur

Les matériaux de patches peuvent être classés suivants leur susceptibilité et leurs variations en fonction de différents facteurs physiques. Lors du passage de l'onde dans l'antenne, le conducteur de patch s'échauffe et la chaleur est alors dissipée par effet joule. Pour un métal normal (cuivre), l'impédance de surface est définie comme le rapport de composantes parallèles des champs électrique et magnétique, elle est liée à la conductivité par cette formule

$$Z_S = \frac{E}{H} = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma}} \quad [I.7]$$

L'élément rayonnant peut prendre plusieurs formes (Figure I.6).

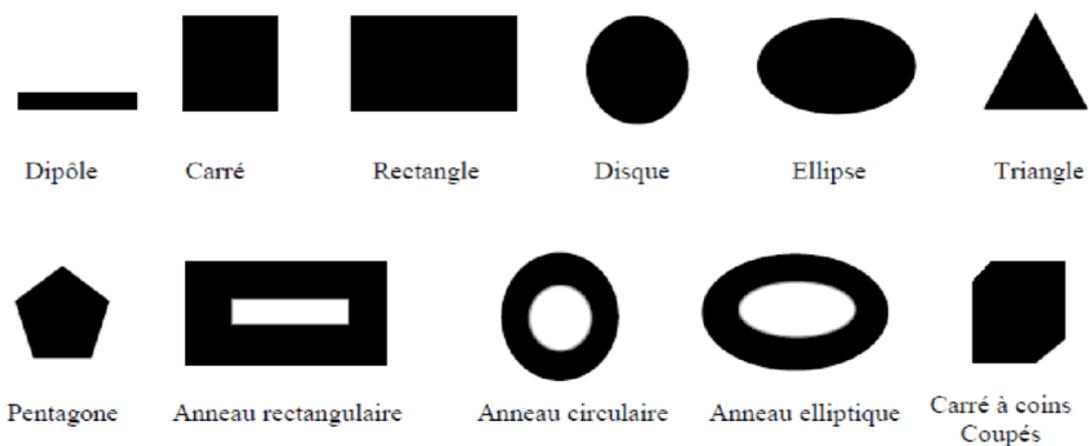


Figure I.6 - Formes d'une antenne patch.

I.3.2.2. Le Substrat

Les substrats exploités dans la conception des antennes patchs sont nombreux. Leurs permittivités relatives varient de 2.2 à 12 ($2.2 < \epsilon_r < 12$).

Parfois, il est préférable d'utiliser des substrats diélectriques de grande épaisseur et de faible permittivité ($\epsilon_r < 3$) et une faible perte diélectriques ($\tan \delta < 10^{-3}$) dans le but d'avoir une grande efficacité et une large bande passante. Mais dans ce cas les pertes par ondes de surface augmentent et l'antenne devient encombrante. Au contraire, l'utilisation de minces substrats de permittivités élevées est conseillée pour les circuits micro-ondes parce qu'elle minimise les ondes de surfaces, les radiations non désirées et le volume de l'antenne. Toutefois, l'efficacité et la bande passante diminuent [7].

I.3.3. Alimentation des antennes imprimées

L'alimentation de l'antenne dépend de la manière dont celle-ci est intégrée dans le dispositif. Dans la suite, nous allons voir les différentes techniques d'alimentation:

I.3.3.1. Par une ligne micro ruban

Une ligne micro-ruban (généralement de 50Ω) est connectée directement au bord du patch rayonnant (Figure I.7 a). Le point de jonction se trouve au niveau de l'axe de symétrie du patch. Voici quelques réalisations (Figure I.7 b):

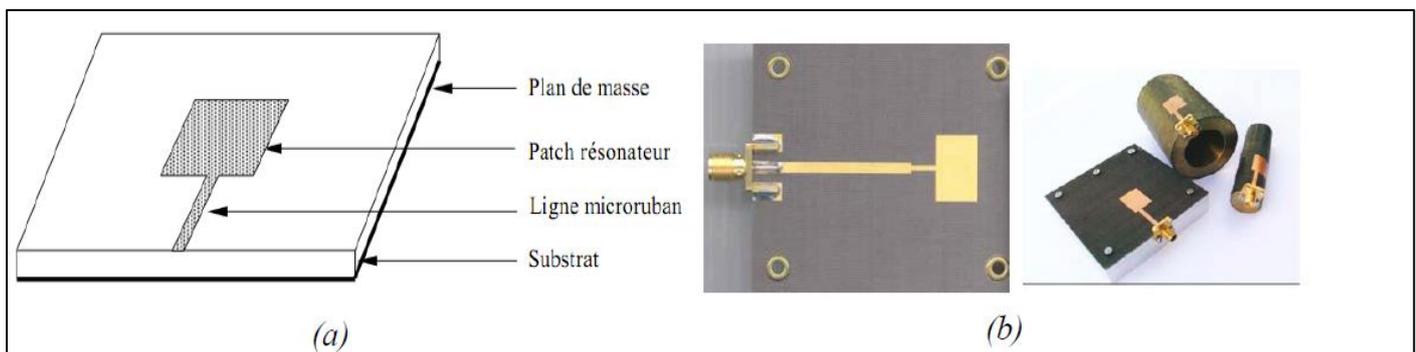


Figure I.7 - (a) Alimentation centrée et (b) exemples d'images de quelques antennes déjà réalisées[8].

Les principaux inconvénients de cette structure sont :

- Les couplages parasites dus au rayonnement de la ligne de transmission qui diminuent les performances de l'antenne au-delà de quelques GHz.
- La nécessité d'un transformateur d'impédance pour obtenir l'adaptation entre la ligne d'alimentation et le patch.
- La ligne micro-ruban et l'élément rayonnant doivent accomplir des rôles inverses. En effet, le rôle de la ligne est d'acheminer l'onde vers l'antenne sans qu'il y ait des pertes par rayonnement, par contre le patch a pour rôle de rayonner ces ondes.

Il faut donc trouver un compromis entre le patch et la ligne d'alimentation pour améliorer au mieux les performances de l'antenne [8].

I.3.3.2. Couplée par proximité

Dans certaines conceptions, on utilise une alimentation par couplage électromagnétique (Figure I.8). Deux substrats diélectriques sont employés de façon que la ligne d'alimentation soit insérée entre eux et le patch soit sur le substrat supérieur.

L'avantage principal de cette technique d'alimentation est l'élimination du faux rayonnement d'alimentation et l'obtention d'une bande passante plus large et ce par l'augmentation globale de l'épaisseur de l'antenne.

Parmi les inconvénients de cette méthode d'alimentation, c'est la complexité de fabrication à cause des deux couches diélectriques nécessitant un alignement approprié, ainsi que la difficulté d'intégration de dispositifs actifs [9].

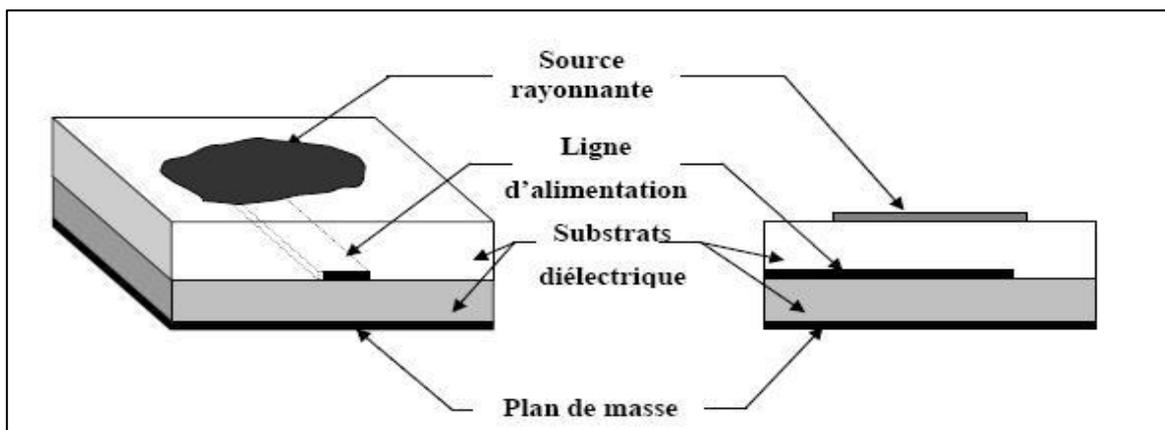


Figure I.8 - Le patch couplé capacitivement à la ligne micro ruban (vue de côté et vue de face) [9].

I.3.3.3. Par une sonde coaxiale

Le conducteur central du câble coaxial est soudé sur l'élément rayonnant après avoir traversé le plan de masse et le diélectrique. Le conducteur extérieur est quant à lui soudé au plan de masse.

Cette méthode a l'avantage de positionner l'alimentation sous le patch et d'utiliser une ligne non rayonnante (coaxial), ce qui diminue fortement les rayons parasites [10].

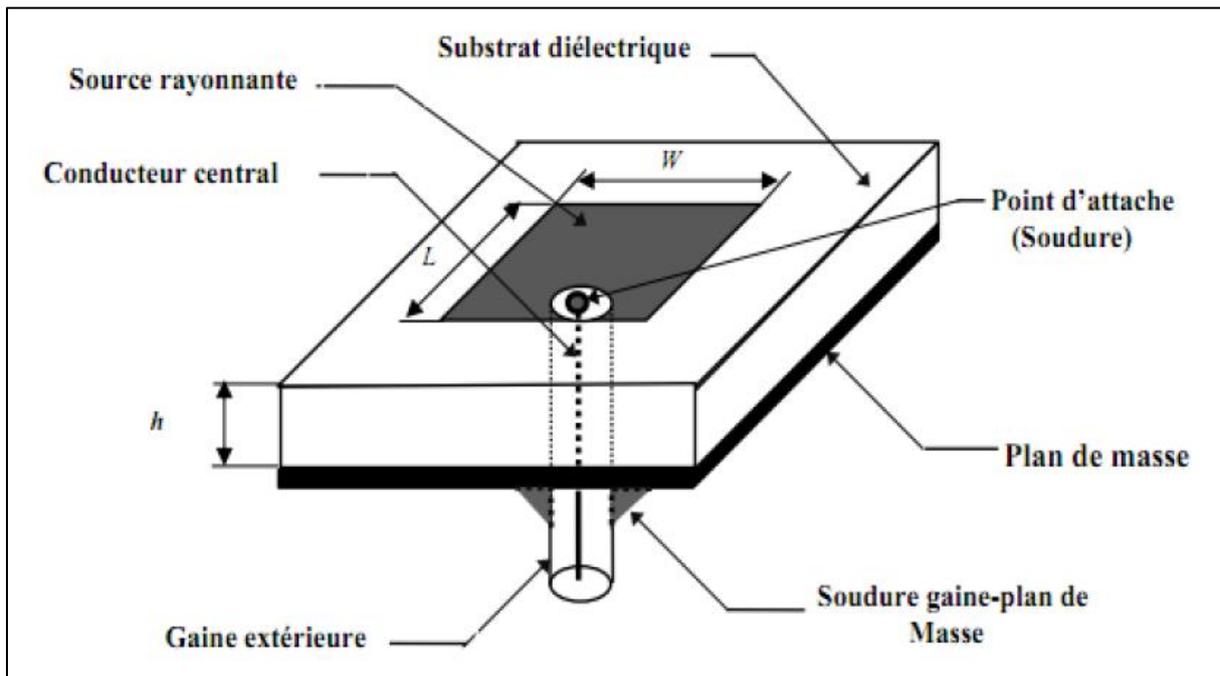


Figure I.9-Antenne patch rectangulaire alimentée par la sonde coaxial[10].

I.3.3.4. Par ouverture

Dans ce type d'alimentation, le patch de rayonnement et la ligne d'alimentation du micro ruban sont séparés en plan de masse comme indiqué sur la (Figure I.10). La jonction entre le patch et la ligne d'alimentation est faite par une ouverture ou une fente dans le plan de masse. Généralement, les matériaux à permittivité élevée sont employés pour le substrat inférieur par contre les matériaux à faible constante diélectrique sont utilisés pour le substrat supérieur dans le but d'optimiser le rayonnement du patch.

Ce type d'alimentation est difficile à concevoir à cause des couches multiples, qui augmentent l'épaisseur d'antenne. Cependant elle offre l'élargissement de bande passante [8].

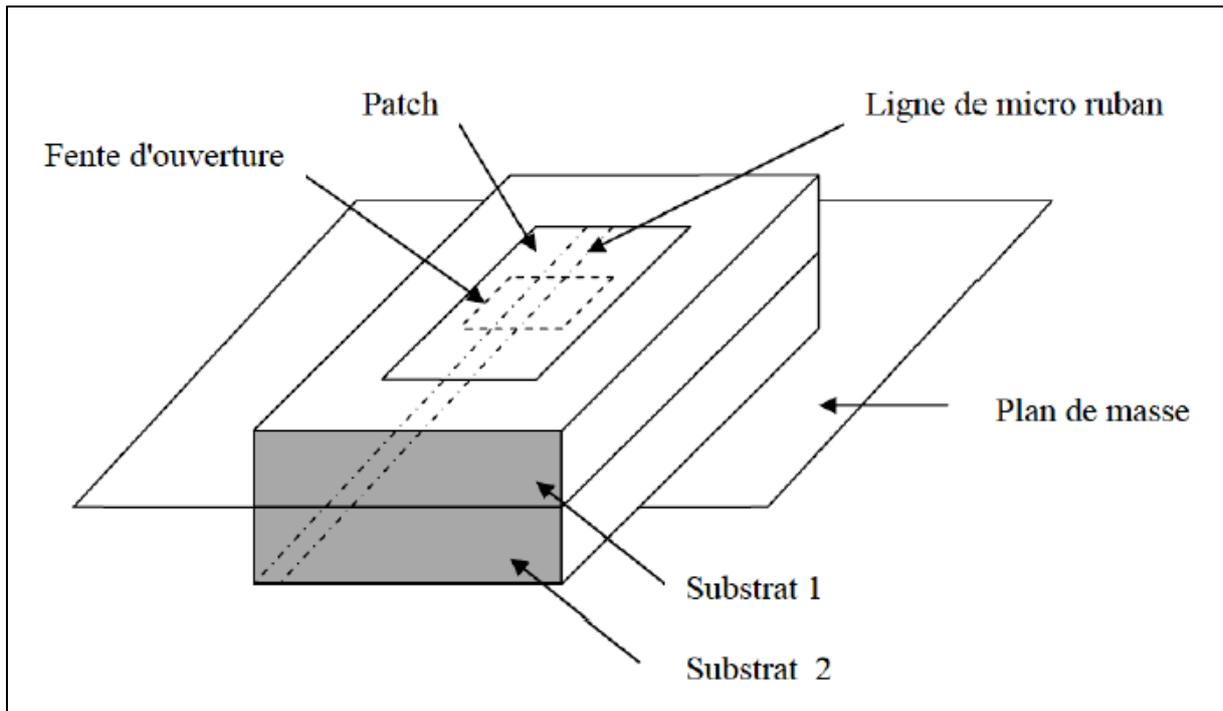


Figure I.10- Alimentation couplée par ouverture[8].

I.3.4. Comparaison entre les différentes méthodes d'alimentation

Le tableau suivant fait la comparaison entre différentes techniques d'alimentation.

Caractéristiques	Alimentation par la ligne micro ruban	Alimentation coaxial	Alimentation couplée par ouverture	Alimentation couplée par proximité
Rayonnement parasite	Plus	Plus	Moins	Minimum
Fiabilité	Meilleur	Pauvre à cause de soudure	Bon	Bon
Facilite de fabrication	Facile	Soudure et forage requis	Alignement requis	Alignement requis
Adaptation d'impédance	Facile	Facile	Facile	Facile
Bande passante	2-5%	2-5%	2-5%	13%

Tableau I.1 - Comparaison entre les différentes méthodes d'alimentation [9].

I.3.5. Avantages et inconvénients des antennes imprimées

L'utilisation des antennes patchs est indispensable, leurs applications couvrent un large domaine de fréquence, leur configuration et dimensions favorisent leurs intégrations sur des nombreux équipements. Parmi les avantages de ces antennes, on peut citer:

- Faible cout de fabrication et possibilité de production en masse.
- Faible poids et volume réduit, encombrement réduit, donc possibilité d'être intégrées dans des systèmes mobiles;
- Possibilité de fabriquer les antennes multi bande, et polarisation.
- Polarisation linéaire et circulaire pour les télécommunications.
- Profil plat et compatible avec les circuits hybrides et MMIC (Microwave Monolithic Integrated Circuit) ;
- Réseaux d'alimentation et d'adaptation fabriqués simultanément avec l'antenne.

Cependant les antennes micro-ruban ont également des inconvénients suivants :

- Bande passante réduite souvent associée avec les problèmes de tolérance géométrique et physique.
- Un faible gain, la plupart rayonnent uniquement dans un demi-plan.
- Supportent uniquement des faibles puissances.
- Rayonnement parasite à cause du réseau d'alimentation.
- Circuit d'alimentation difficile à réaliser.

I.4. Conclusion

Dans le domaine de la télécommunication il existe plusieurs techniques de réalisation et fabrication des antennes chacune d'elles possèdent des caractéristiques, dans notre chapitre on a traité le sujet des antennes imprimées d'une manière générale pour ensuite ajouter une option qui nous permettra d'atteindre l'objectif global de notre recherche intitulé antenne imprimé reconfigurable.

Chapitre II :

Les antennes reconfigurables

II.1 Introduction

Maintenant que nous avons fait une description sur les antennes imprimées et leurs caractéristiques, nous allons passer à la notion de reconfiguration de ces antennes pour bénéficier d'une étude complète qui nous servira à les mettre en valeur par la suite.

Nous allons initier notre chapitre avec une définition des antennes reconfigurables suivie d'un aperçu sur la nécessité de la reconfiguration, par la suite nous allons citer quelque type de reconfiguration avec divers techniques, et pour conclure nous parlerons des avantages et des inconvénients des antennes imprimées reconfigurables.

II.2. Les antennes reconfigurables

Les antennes reconfigurables deviennent un sujet de recherche actif à cause de la demande croissante de ces types d'antennes dans le domaine des télécommunications.

Une antenne reconfigurable est considérée comme un dispositif pouvant modifier ses caractéristiques de fonctionnement (fréquence opérationnelle, bande passante, polarisation, diagramme de rayonnement) d'une manière dynamique. Afin de modifier les caractéristiques de l'antenne durant son fonctionnement un changement est primordial dans l'un de ses paramètres électriques, optiques, physiques (modification mécanique) ou l'intégration de matériaux agiles (ferrites, cristaux liquides), même. Ces changements permettent à l'antenne de s'adapter au changement de l'environnement et aux contraintes liées aux systèmes de communications [11].

II.3. La nécessité de la reconfiguration

Les antennes imprimées sont conçues et dédiées pour fonctionner sur une seule gamme de fréquence ce qui dévoile une grande limitation pour faire la diversité de ses services, l'utilisation de plusieurs antennes pour un seul dispositif n'est pas faisable. C'est à ce moment qu'intervient la nécessité des antennes capable de changer leur bande d'utilisation suivant le besoin de l'utilisateur. Autrement dit des antennes reconfigurables.

Les antennes reconfigurables donnent un degré de liberté plus que les antennes patch simple, car ces antennes ont la possibilité de régler la fréquence de fonctionnement, de changer la bande d'exploitation elle-même, de filtrer les signaux parasites et d'orienter le lobe principal vers la direction privilégiée.

II.4. Types de reconfiguration

Le classement des antennes reconfigurables se base sur des critères, selon la fonctionnalité on distingue trois grandes catégories :

- Antennes agiles en fréquence.
- Antennes agiles en polarisation.
- Antennes agiles en diagramme de rayonnement.

La combinaison de deux fonctionnalités ou plus reste possible (hybride).

II.4.1 La reconfiguration en fréquence

Les antennes reconfigurables en fréquence ont la capacité de couvrir plusieurs bandes de fréquences pour but de réduire considérablement le nombre des antennes nécessaires pour la communication multimodes. Ces antennes sont appelées aussi les antennes accordables, elles 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 reconfiguration 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 [12].

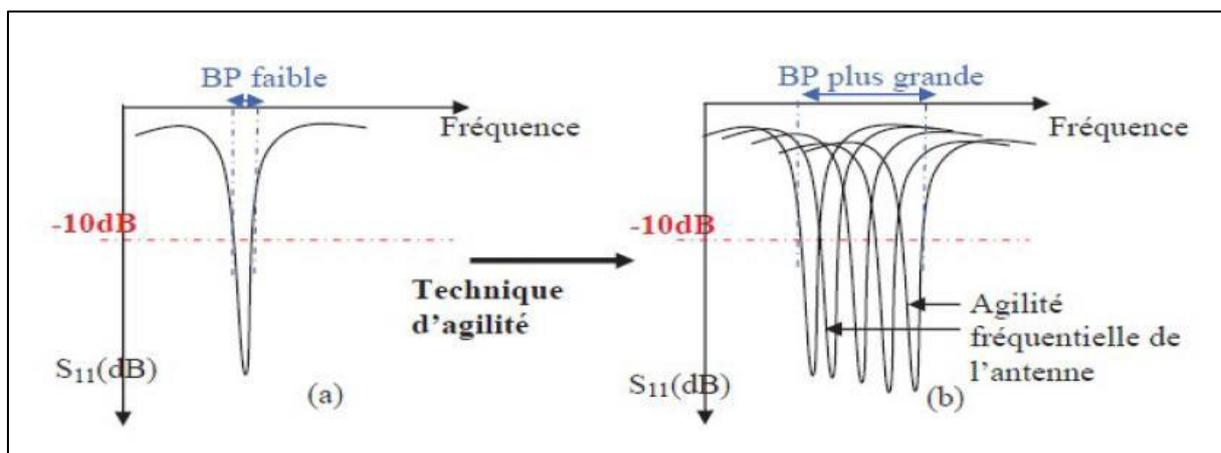


Figure II.1- Illustration de l'agilité fréquentielle [13].

Principe de la reconfiguration en fréquence

Les antennes reconfigurables en fréquence permettent de régler la fréquence de fonctionnement de façon dynamique, leur utilité est perçue 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)[14].

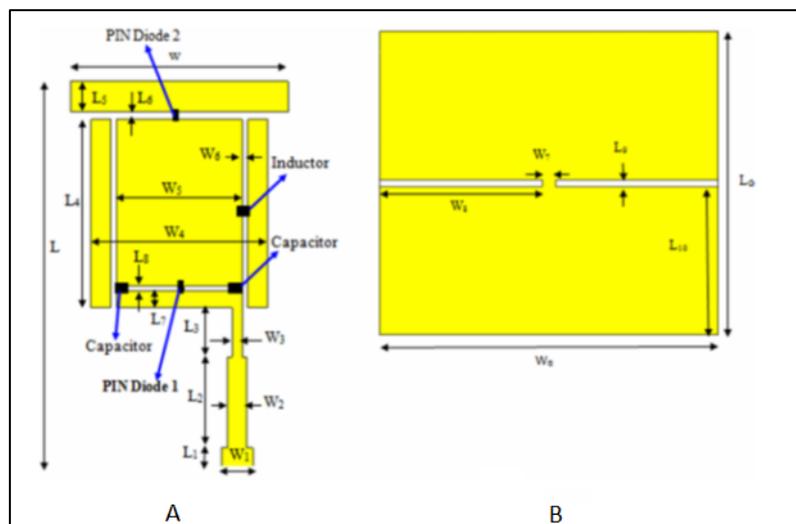


Figure II.2-La reconfiguration de fréquence en utilisant une antenne rectangulaire vue du dessus (A) et du dessous (B)[14].

II.4.2. La reconfiguration en rayonnement

La reconfiguration en rayonnement permet à 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, améliorant ainsi la capacité du système.

La reconfiguration du rayonnement permet à 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 [15].

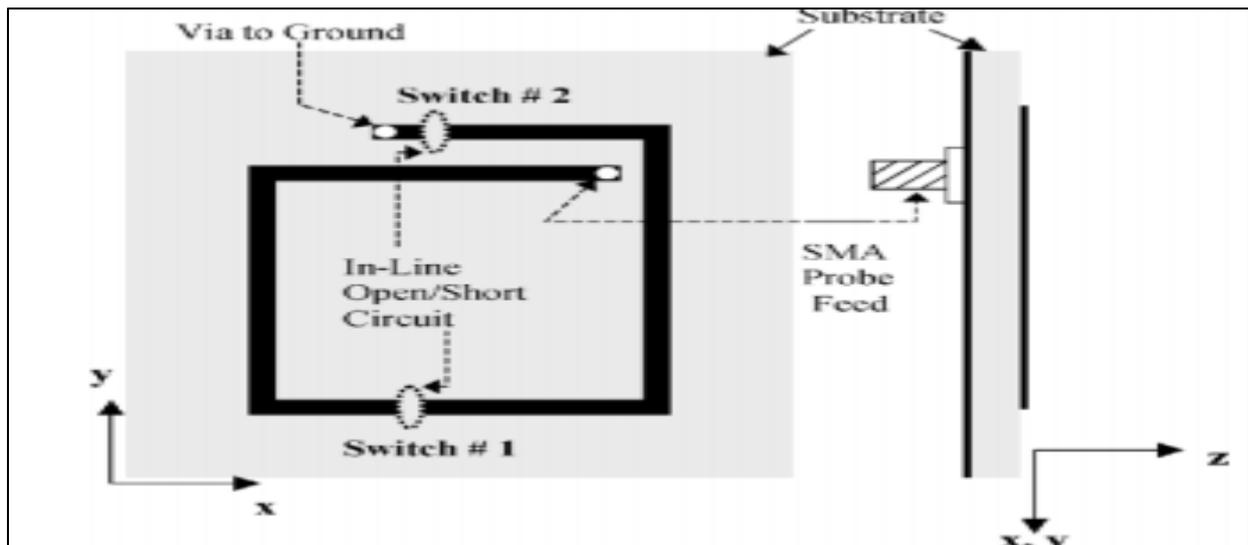


Figure II.3 - La reconfiguration du rayonnement en utilisant une antenne filaire à spirale carrée[17].

Principe de la reconfiguration en rayonnement:

La structure physique doit présenter plusieurs cheminements de courant reconfigurables, mais ceux-ci doivent être similaires, afin de maintenir la fréquence d'opération tout en modifiant la forme du diagramme de rayonnement.

Principalement, le réglage du diagramme de rayonnement s'appuie sur le couplage mutuel entre l'élément principal et ceci parasite. Par conséquent, des changements dans le couplage entre les éléments a produit des changements dans les diagrammes de rayonnement et a permis de modifier les courants d'alimentation à la fois sur l'élément principal et les éléments parasites [16].

II.4.3. La reconfiguration en polarisation

La reconfiguration en polarisation autorise le changement de cette dernière d'une antenne (horizontale/verticale, gauche ou droite de la polarisation circulaire, etc.). Ce type de configuration augmente la fiabilité et la robustesse de la communication (immunité aux interférences) ainsi que d'apporter un degré de liberté supplémentaire (diversité). Afin de maintenir les autres caractéristiques comme la fréquence, on doit altérer la polarisation de l'antenne en agissant sur la phase et le sens du courant d'alimentation. Le changement de la polarisation de l'antenne est réalisable grâce à une modification de l'orientation vectorielle du champ E et cela sans altérer ni les fréquences résonantes, ni la forme du diagramme de rayonnement [17].

Principes de reconfiguration en Polarisation

Les principes de reconfigurations en polarisation sont semblables à celle en fréquence et de rayonnements cependant leurs implémentations sont essentiellement différentes.

Un exemple d'antenne reconfigurable est l'antenne patch avec des fentes commutables, ou "PASS" développée par l'UCLA [18]. 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 (biaising) 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 [18].

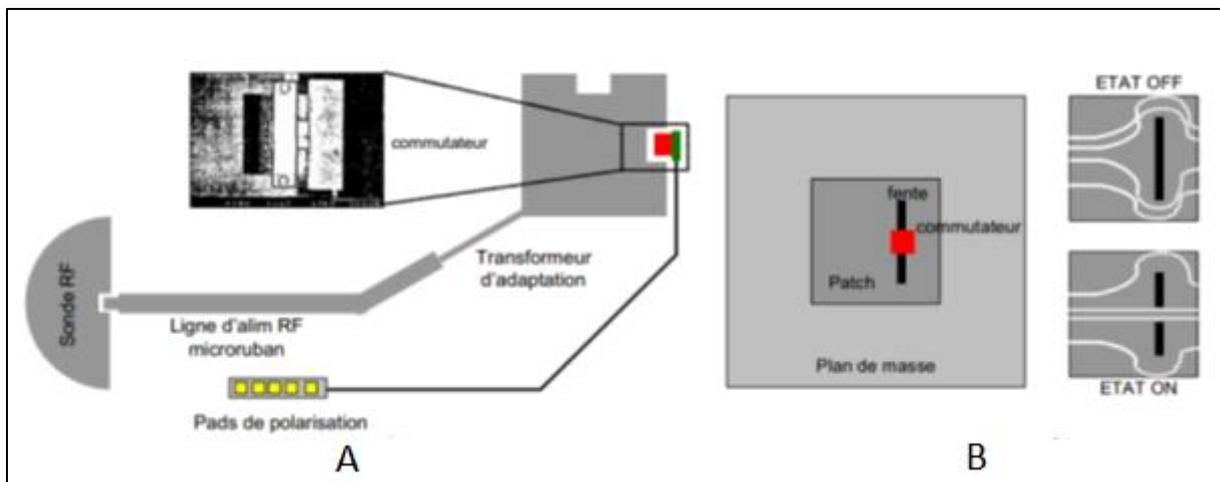


Figure II.4 - Antenne patch à bord commuté en (A) et Antenne PASS de l'UCLA en (B).[18]

II.4.4. La reconfiguration composée

Ce type de reconfiguration combine entre les deux autres types précédents, par exemple, on peut atteindre une reconfiguration 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, avec un plus de complexité. On dit que l'antenne est de reconfiguration 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).

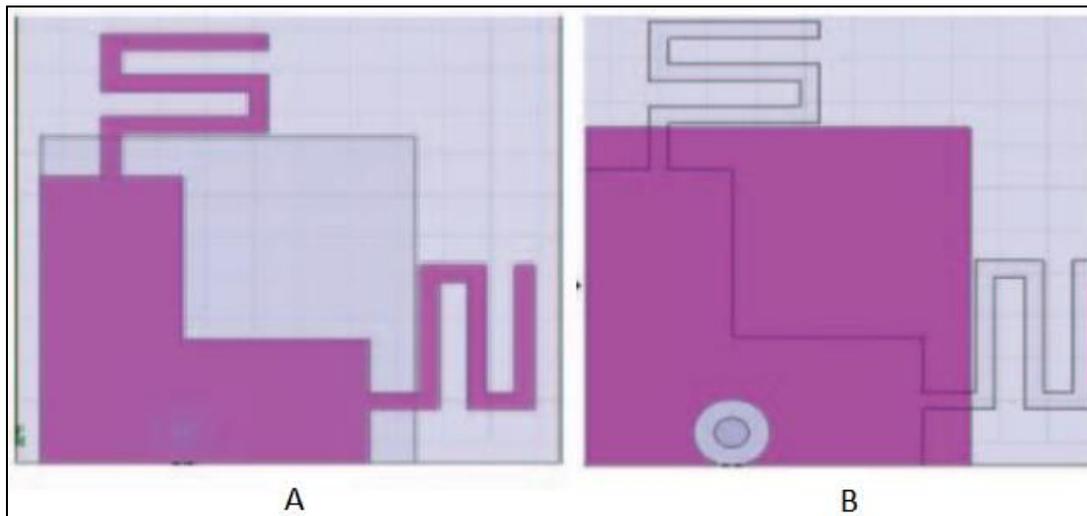


Figure II.5- Géométrie de l'antenne Meander optimisée vue du dessus en (A) et du dessous en (B).[19]

II.5. Techniques de reconfiguration

Après avoir cité les différents types de reconfiguration des antennes, on passe directement aux techniques qui nous permettent de réaliser ces dernières d'une manière fiable et efficace, commençant par :

II.5.1. La modification géométrique

De nombreuses antennes reconfigurables utilisent la modification géométrique. Le principe de fonctionnement est basé sur la modification de la longueur électrique de l'élément rayonnant. Cette technique peut être appliquée à différentes formes d'antennes (dipôles, patch, fractales...). Ce type d'antennes comporte des motifs avec des tailles différentes [20].

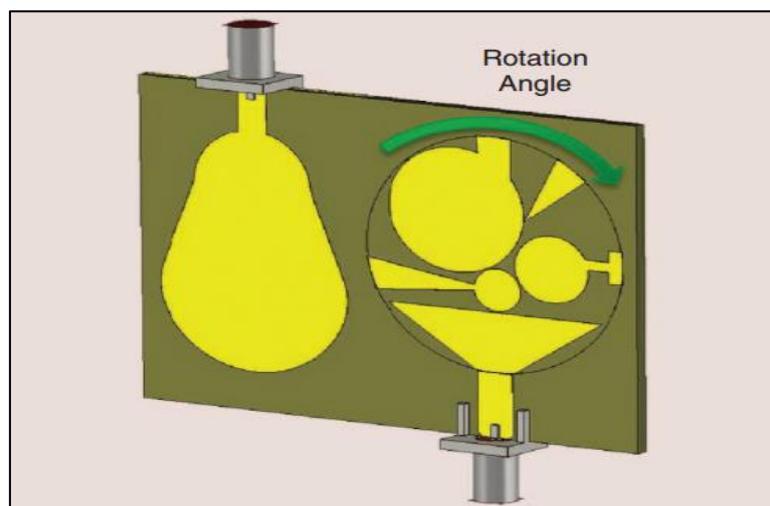


Figure II.6- Exemple sur la reconfiguration géométrique (mécanique) d'antenne[20].

II.5.2. Fente ou ligne commutable

Les fentes et les lignes commutables sont également très utilisées pour rendre une antenne reconfigurable (reconfigurées électriquement). En effet l'ajout des fentes ou des lignes chargées par des composants (diode PIN, diode Varactors, MEMS...etc.) permettent de modifier le trajet des courants surfaciques ainsi que la longueur électrique de l'antenne[20].

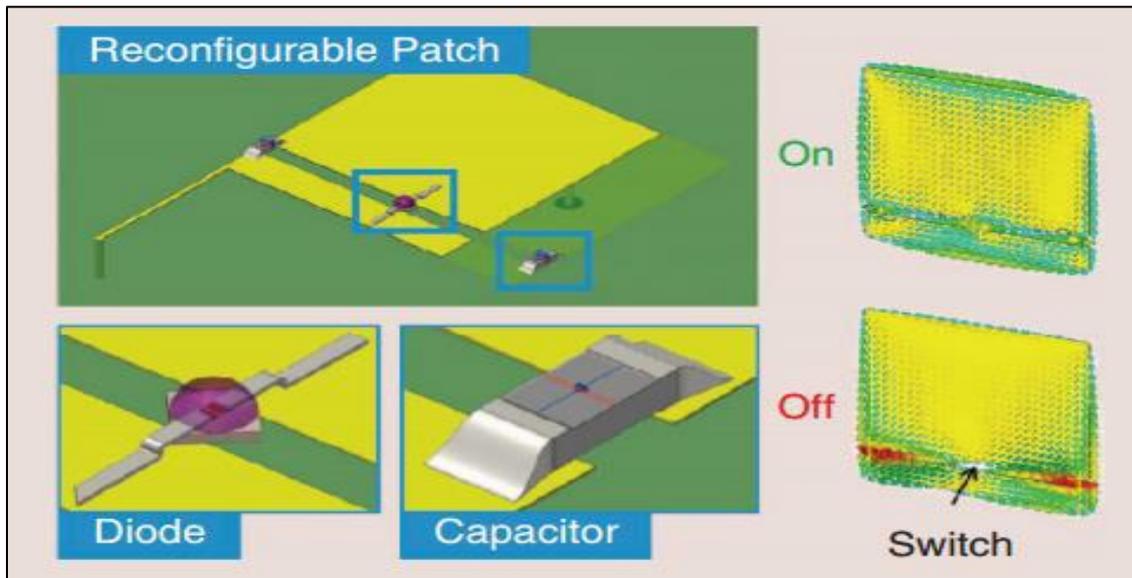


Figure II.7- antenne patch reconfiguré par fente ou ligne commutable[20].

II.5.2.1 Diode varicap

Une diode varicap (de l'anglais : variable capacity), ou encore diode à capacité variable est une diode qui se comporte comme un condensateur dont la variété de la valeur de la capacité est compatible avec la tension inverse appliquée à ses bornes (Figure II.8), lors du changement de la tension de polarisation, la valeur de la capacité change. Bien que les diodes varicap présentent une certaine facilité d'intégration et une grande agilité continue, les pertes introduites par ce composant sont parfois importantes et les tensions de polarisation peuvent atteindre 30V. De plus, la complexité du circuit de polarisation augmente avec le nombre de diodes varicap qui produit l'agilité nécessaires pour rendre l'antenne reconfigurable [21].

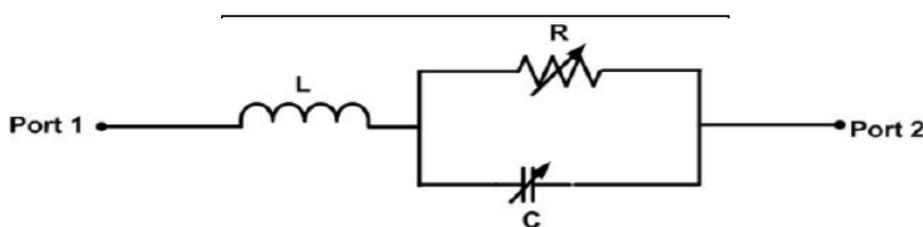


Figure II.8: Diode varicap.

II.5.2.2. Diode PIN

Une diode PIN joue le rôle d'un interrupteur. Lorsqu'elle est polarisée en inverse elle est non passante (état OFF), mais une polarisation dans le sens direct la rend passante (état ON). Yang et Rahmat Sami ont présenté dans [22], une antenne micro ruban sur laquelle est taillée une fente verticale et sur laquelle une diode PIN est ajoutée (Figure II.9).

Lorsque la diode est à l'état ON, le courant horizontal principal ne change pas beaucoup comparé au cas sans la fente. Par contre, lorsque la diode est OFF, le courant horizontal est forcé de faire un détour autour de la fente et de parcourir ainsi un trajet plus long. Lorsque la diode est à l'état ON, le gain peut être diminué. Cela est dû aux pertes introduites par la diode [23].

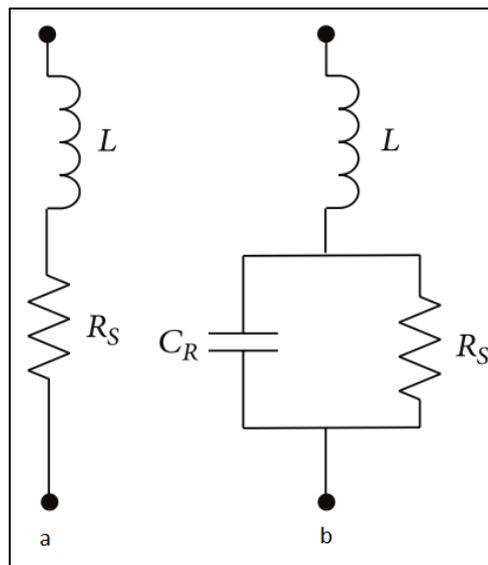


Figure II.9 -Un circuit équivalent de la diode Pin, (a) état ON (b) état OFF[23].

Il est important de souligner que les diodes PIN nécessitent une tension de polarisation faible, qu'elles sont fiables et peu chères. Elles demandent tout de même des courants à l'état ON assez importants, ce qui les rend gourmandes en puissance.

II.5.2.3. MEMS (Système Micro électromécanique)

Un MEMS est un microsystème comprenant un ou plusieurs éléments mécaniques, qui utilise l'électricité comme source d'énergie, en vue d'une réalisation de fonction de capteur et/ou d'actionneur; en partie assurée par la forme même de la structure., les MEMS peuvent être

utilisés pour diverses fonctions en fonction de leur conception (Figure II.10). Typiquement, ils ont la capacité de remplacer dans les structures antennaires des capacités ou des interrupteurs au même titre que les diodes varicap ou PIN. Ils ont cependant besoin d'une très haute tension d'activation, mais comme ils ne consomment quasiment pas de courant, les pertes sont très faibles. Leurs soucis restent en premier lieu la tension élevée qu'ils nécessitent (parfois jusqu'à 60V) et en second lieu, le coût relativement élevé de leur fabrication.

Cependant, les performances des MEMS ne cessent de s'améliorer. En effet, des interrupteurs MEMS avec des tensions d'actuation de 6V ont par exemple vu le jour [24].

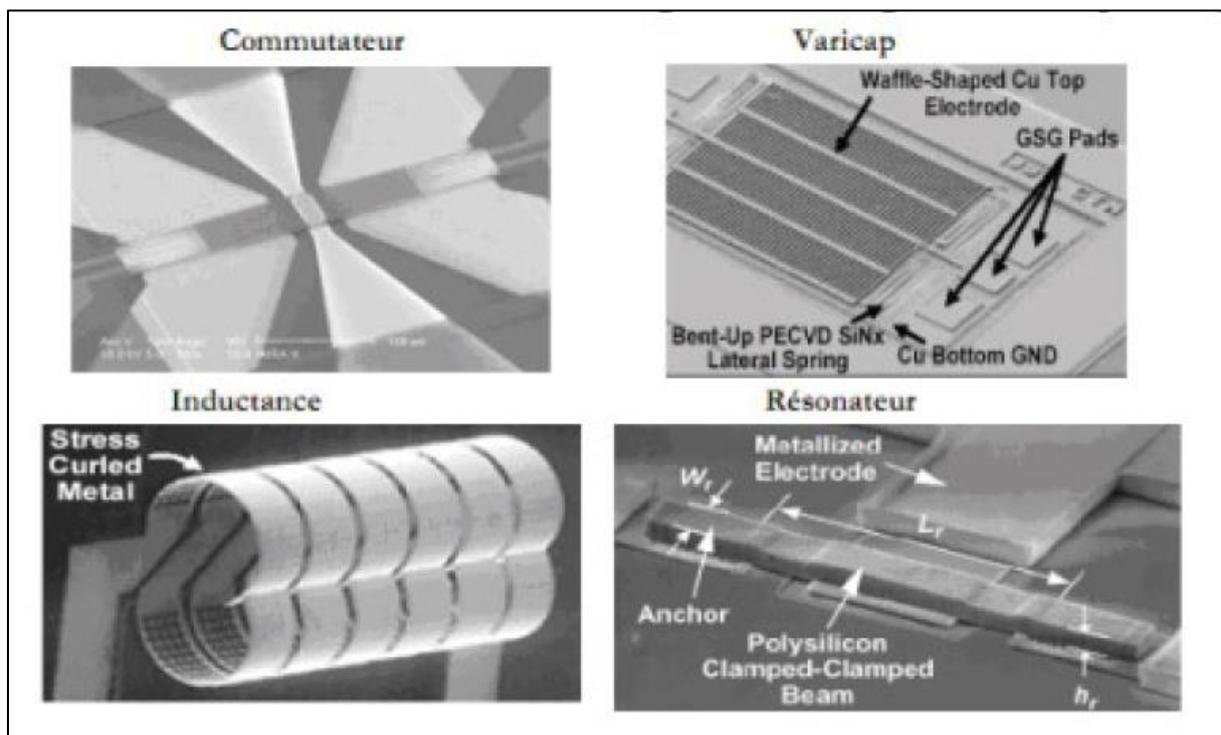


Figure II.10 - Exemples de composants MEMS[24].

II.5.3. Matériaux Agiles

Les matériaux dits « agiles » ou encore « intelligents » sont utilisés le plus souvent comme substrat dont les propriétés électromagnétiques (permittivité et/ou perméabilité) sont susceptibles d'être modifiées via une commande externe (par l'application d'un champ électrique et/ou magnétique) assurant ainsi l'agilité des antennes. Quelques études ont été réalisées utilisant des propriétés de matériaux différents notamment les matériaux ferroélectriques, ferromagnétiques et les cristaux liquides. Ils offrent l'avantage d'être peu encombrants et de plus en plus facilement intégrables. Néanmoins, rendre ces matériaux agiles n'est pas une tâche facile ; la commande est difficilement intégrable, de grandes

tensions doivent être appliquées sur les matériaux, les dispositifs d'alimentation sont complexes, les pertes sont assez importantes et les temps de réponse sont élevés.

Un exemple d'une antenne reconfigurable en fréquence est représenté sur la (Figure II.11) avec l'utilisation d'un un substrat de silicone extensible TC5005 [25].

Le patch extensible est fabriqué par l'injection d'un alliage de métal liquide dans un réservoir Galinstan carré fabriqué dans le substrat en élastomère de silicone. La longueur électrique de l'antenne patch varie en fonction de l'étirement. Un réglage de fréquence de 1.3 à 3 GHz et une efficacité maximale de rayonnement mesurée de 80 % sont obtenus [21].

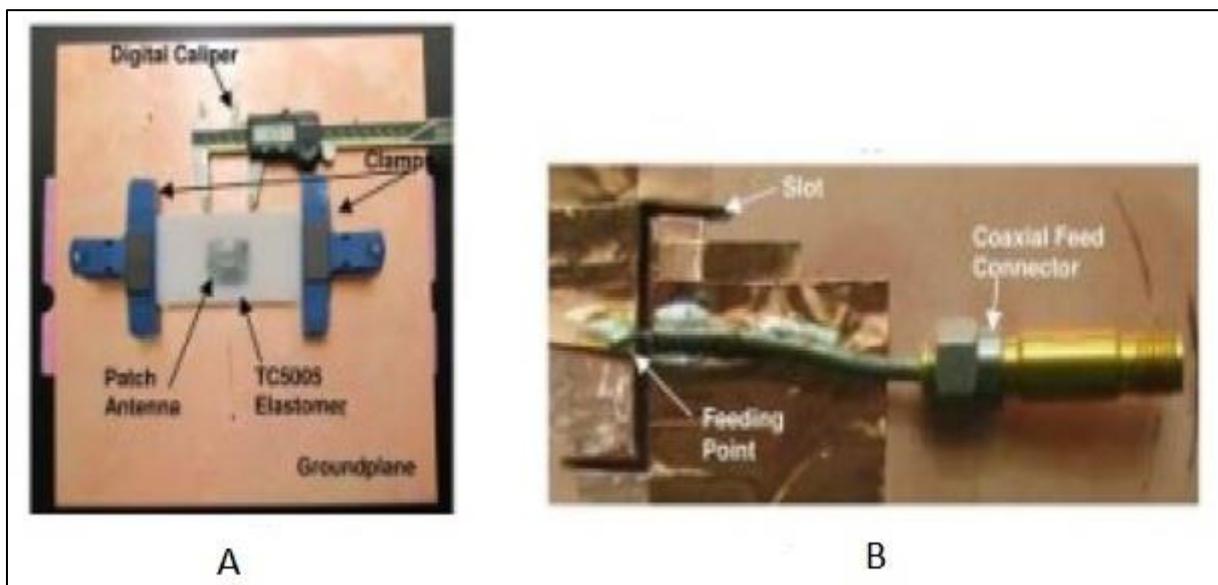


Figure II.11 - (A) Prototype de l'antenne utilisant un substrat de silicone extensible TC5005. (B) Vue de dessus et vue de dessous[25].

II.6. Avantages et inconvénients des antennes reconfigurables

- Les Avantages :

-L'objectif principal des antennes reconfigurables réside dans leurs capacités à produire des fonctionnalités et des degrés de liberté supplémentaires aux systèmes de communication et de télédétection.

- Des antennes reconfigurables peuvent changer la bande d'opération, de filtrer les interférences ou encore d'accorder la fréquence de résonance pour tenir compte d'un nouvel environnement.
- Les antennes reconfigurables peuvent être privilégiées dans les domaines où infrastructures et matériels sont destinés à être opérationnels pendant une longue durée.
- Une antenne reconfigurable présente de nombreux avantages sur un système composé de plusieurs éléments à fonction unique : potentiellement elle va permettre un gain de volume, de poids, frais de maintenance, voire de durabilité en s'adaptant à de nouveaux standards.
- la visée des antennes reconfigurables consiste non seulement à obtenir le niveau de fonctionnalités nécessaire, mais aussi à intégrer ces fonctionnalités dans des systèmes complets efficaces, raisonnablement complexes et peu coûteux.

- **Les inconvénients**

- Quelle que soit la technologie d'antennes reconfigurable, elle introduit des pertes, qui ont un impact direct sur le gain et l'efficacité radiative et augmentent généralement avec la fréquence.
- Le coût des antennes reconfigurable plus élevé que celui d'antennes classiques ce surcoût est directement lié à l'ajout de composants actifs sur l'antenne, parfois de haute performance, mais il peut aussi résulter d'une industrialisation plus complexe (structure plus compliquée, composants à souder sur l'antenne) ou de procédé de fabrication intrinsèquement plus dispendieux (gravure de composants semi-conducteurs ou MEMS directement sur l'antenne).
- Enfin, le principal défaut des antennes reconfigurable est leur complexité, génératrice de nombreux problèmes. Le premier est lié à la complexité de l'antenne, due notamment aux structures de polarisation, qui se traduit par une fragilité matérielle (et un surcoût qu'on a évoqué plus haut). Par ailleurs, cette complexité géométrique, et principalement l'intégration de composants actifs dans une structure rayonnante, entraînent des difficultés conceptuelles et de simulation, notamment au niveau des calculs électromagnétiques, et Consommation énergétique.

II.7. Conclusion

Voilà que la partie théorique de cette recherche est terminée nous avons constaté que ces informations sont essentielles pour une mise en œuvre sur la partie pratique en choisissant une des techniques que nous avons vues précédemment pour concevoir une antenne imprimée reconfigurable destinée à des applications satellitaires.

Chapitre III :

**Conception d'une antenne patch
reconfigurable**

III.1. Introduction

La technologie des satellites se développe rapidement et les applications de cette technique augmentent constamment. Non seulement les satellites peuvent être utilisés pour les communications radio, mais ils sont également utilisés pour l'astronomie, les prévisions météorologiques, la radiodiffusion, la cartographie et bien d'autres applications. Dans ce chapitre nous allons appliquer quelques notions théoriques citées dans les deux premiers chapitres pour la conception d'une antenne imprimée reconfigurable dans la bande de fréquences X conçus à des applications satellitaires, en définissant la bande de fréquences (bande X) et en présentant l'outil de simulation utilisé qui est le CST microwave studio. Par la suite, notre travail va être divisé en deux parties:

La première partie est la conception d'une antenne patch rectangulaire dans la bande X: nous allons calculer les dimensions de cette antenne, la simuler et l'adapter à la fréquence de 10 GHz, après nous présentons les résultats finaux de l'antenne en termes de coefficient de réflexion, bande passante et diagramme de rayonnement en gain et directivité.

La deuxième partie de ce chapitre est consacré pour la reconfiguration fréquentiel de l'antenne simulée avec l'insertion d'une diode varicap. Nous allons représenter les résultats de l'agilité fréquentiel pour avoir à la fin une antenne patch reconfigurable dans la bande X. Notre chapitre va être finalisé par une conclusion

III.2. La Bande X

La bande X est une plage de fréquences de [8 à 12 GHz]. Avec une longueur d'onde entre [2.5 cm à 3.75 cm], elle est également utilisée pour les communications par satellite et terrestres, par exemple La gamme de fréquences de 8,175 à 8,215 GHz est généralement utilisée par les satellites météorologiques pour surveiller les conditions météorologiques, le UIT (union internationale des télécommunications) a alloué la plage [10 à 10,5 GHz] pour les opérations radioamateur et de [10,45 à 10,5 GHz] pour les opérations par satellite amateur.

De plus cette bande est souvent utilisée pour les applications radar car elle a une courte longueur d'onde qui permet une imagerie de plus haute résolution pour l'identification et la discrimination des cibles, non seulement dans le côté militaire mais aussi pour les applications radar civiles et gouvernementales, y compris la surveillance météorologique, le contrôle du trafic aérien, le contrôle du trafic maritime, le suivi de la défense et la détection de la vitesse des véhicules [26].

III.3. 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 MWS studio pour une simple raison, c'est que nous ne pouvons pas maîtriser tous ces outils dans un bref délai, en plus cet outil permet de concevoir l'antenne en 3D au contraire 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.

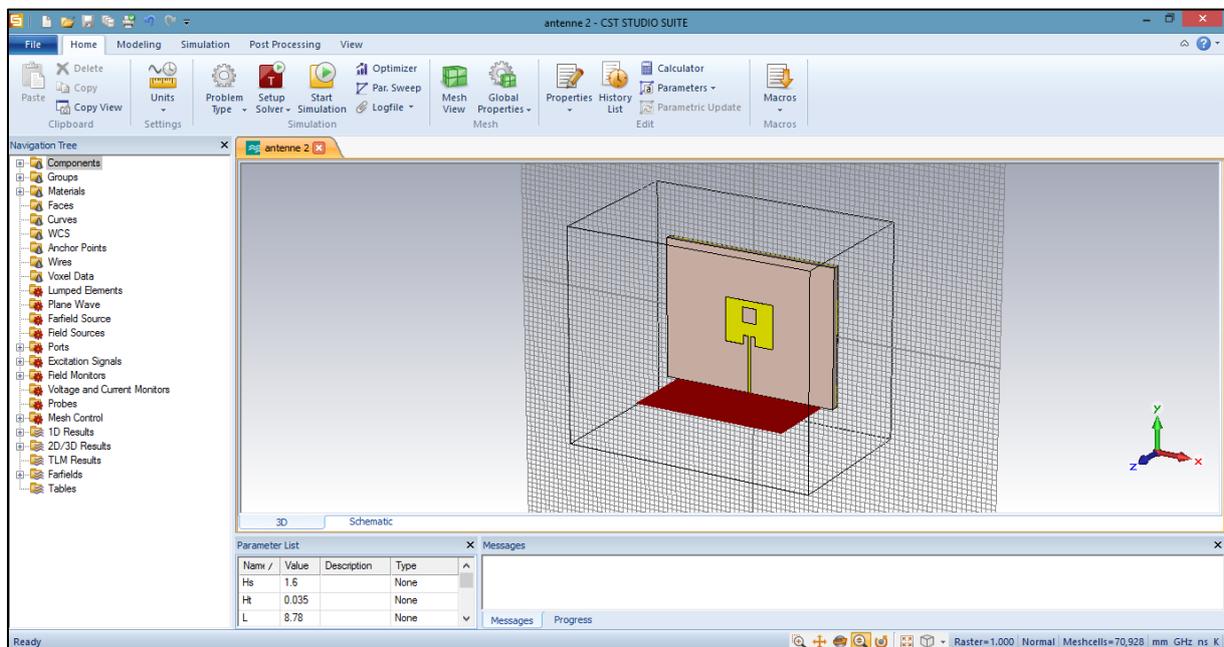


Figure III.1- Une interface graphique du simulateur CST studio 2014.

III.4. L'antenne patch rectangulaire à 10GHz

L'antenne patch choisie est d'une forme rectangulaire présentée sur la figure III.2, elle se constitue d'un patch rectangulaire ($W \times L$), gravé sur un substrat ($W_g \times L_g$) de type Rogers RT5880 qui a une permittivité relative $\epsilon_r = 2.2$ avec une épaisseur $H_s = 1.6$ mm.

Le plan de masse ($W_g \times L_g$) est de la même matière que le patch (copper) avec la même épaisseur 0.035 mm.

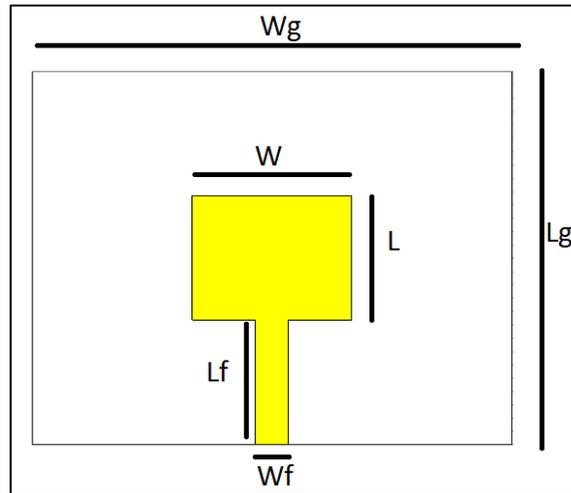


Figure III .2 - Structure d'un patch rectangulaire simple.

Le calcul des dimensions de l'antenne rectangulaire se fait à partir des équations montrées sur le tableau suivant:

Paramètre d'antenne	Equations
Longueur réelle du patch (L)	$L = L_{eff} - 2\Delta L$
Longueur effective (L_{eff})	$L_{eff} = \frac{c}{2f\sqrt{\epsilon_{reff}}}$
L'extension de la longueur (ΔL)	$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3)\left(\frac{w}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{reff} - 258)\left(\frac{w}{h} - 0.8\right)}$
Constante diélectrique (ε_{reff})	$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{w}\right)^{-1/2}$
Largeur du patch (W)	$w = \frac{c}{2f \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}}$
Longueur du substrat (L_g)	$L_g = L * 2$
Largeur du substrat (W_g)	$W_g = w * 2$
L'impédance d'entrés (Z_C)	$Z_C = \frac{119.9}{\sqrt{2(\epsilon_r + 1)}} \left[\ln\left(4 \frac{h}{w_f} + \sqrt{16 \left(\frac{h}{w_f}\right)^2 + 2}\right) - \frac{1}{2} \left(\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1}\right) \left(\ln \frac{\pi}{2} + \frac{1}{\epsilon_r} \ln \frac{4}{h}\right) \right]$

Tableau III.1 -Les équations paramétriques d'un patch rectangulaire [27].

Chapitre III : Conception d'une antenne patch reconfigurable

Les résultats des calculs sont mentionnés dans le Tableau III.2 :

Wg	Lg	W	L	Lf	Wf	Ht	Hs
35.58 mm	27.93 mm	11.86 mm	9.31 mm	9.31 mm	2.408 mm	0.035 mm	1.6 mm

Tableau III.2 - Les dimensions de l'antenne patch rectangulaire propose.

III.4.1. Simulation du coefficient de réflexion

Nous allons représenter le coefficient de réflexion, qui va nous permettre de visualiser le niveau d'adaptation et la bande passante à la fréquence de résonance pour cette antenne :

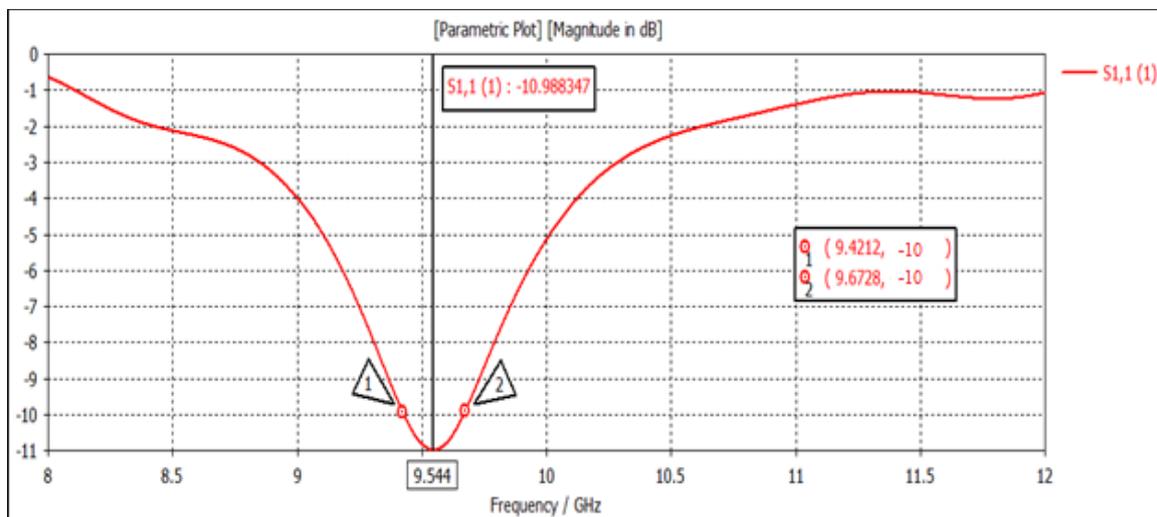


Figure III .3 - Coefficients de réflexion S11 obtenus par CST.

Après simulation nous obtenons un coefficient de réflexion de -10.988 dB à la fréquence de 9.544 GHz, et une bande fréquence de **BP**=2.62%

$$\mathbf{BP} = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{F_c} * 100$$

Cette structure simulée avec les dimensions citées au-dessus ne conduit pas à des performances intéressantes, nous allons essayer d'adapter notre antenne à la fréquence de 10GHz.

III.4.2. Etude paramétrique de l'antenne :

Dans cette étude, on va faire une variation de 0.5 mm dans la longueur L et la largeur W du patch ainsi dans la largeur de la ligne W_f , les autres paramètres sont fixes.

Les résultats de simulation sont présentés en termes de coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence:

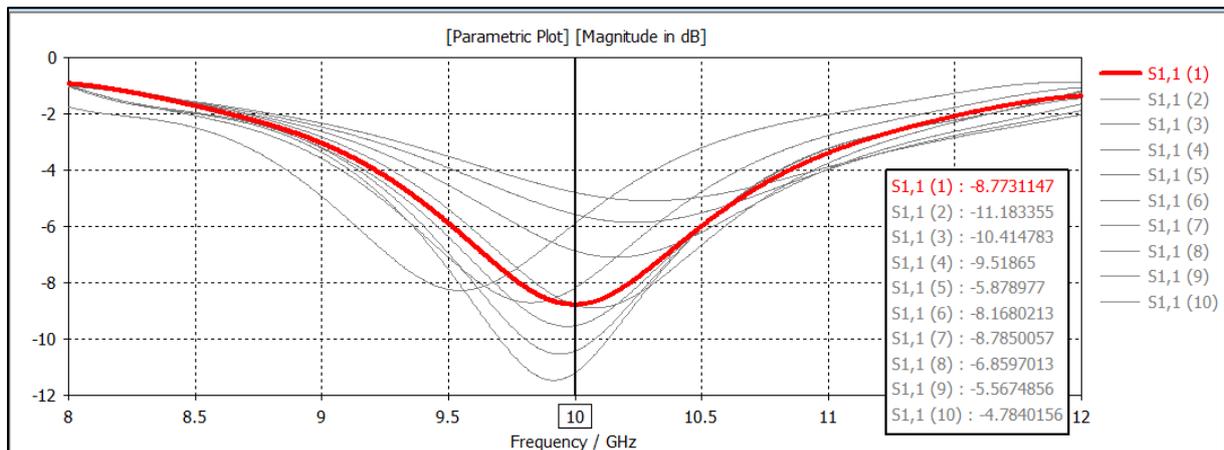


Figure III .4 - Coefficients de réflexion S_{11} avec le changement de W, L, W_f .

Lorsqu'on varie les paramètres (W, L, W_f) la fréquence s'adapte à notre but désiré 10 GHz par conséquent le $S_{11} > -10$ donc ce résultats doit t'être amélioré.

Pour cela, nous avons effectué plusieurs changements ont passant par différentes étapes pour atteindre les résultats souhaités.

Les nouvelles dimensions de l'antenne rectangulaire :

W_g (mm)	L_g (mm)	W (mm)	L (mm)	L_f (mm)	W_f (mm)	H_t (mm)	H_s (mm)
35.58	27.93	10	9.31	8.78	1	0.035	1.6

Tableau III.3 : Les dimensions de l'antenne patch rectangulaire après Etude paramétrique.

III.4.3. Ajout de tronçatures

Dans cette étude, nous allons ajouter des tronçatures sur le patch comme montré sur la figure III.5, on suppose que la largeur des tronçatures (W_e) est fixée à 1 mm, et la longueur (L_e) de 1 mm, après nous allons faire une variation de 0.2 mm sur (L_e), les autres paramètres sont fixes.

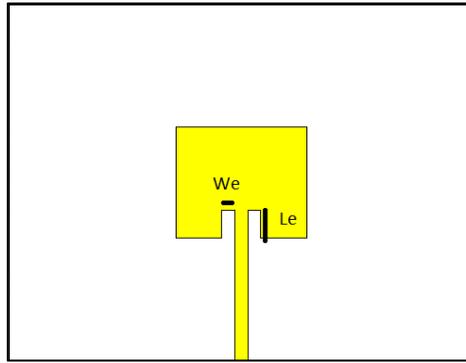


Figure III.5 -Les troncatures insérées sur la ligne d'alimentation.

Dans cette étape le S_{11} atteint sa valeur maximale (-19.10 dB) avec $(L_e)=1.8$ mm à la fréquence 10.176 GHz. (avec un petit changement de $W_f=0.5$).

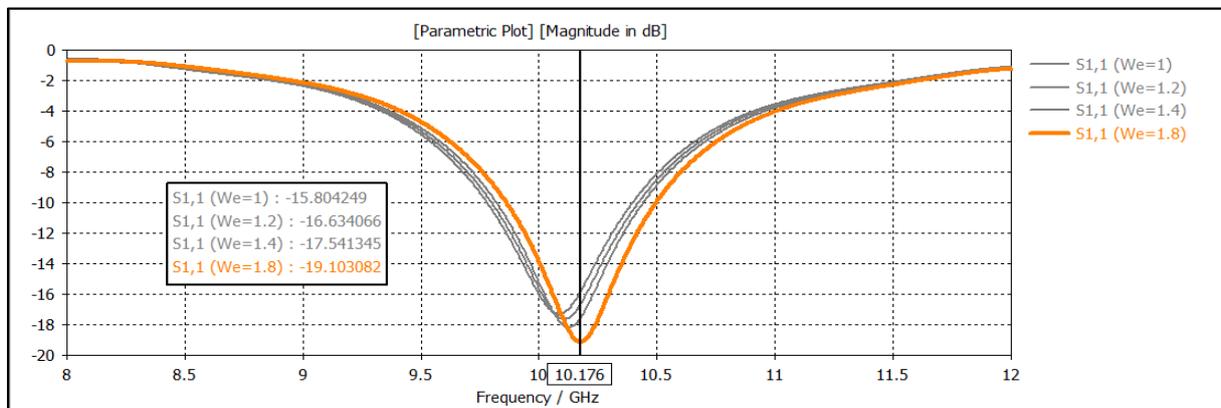


Figure III.6 - Le coefficient de réflexion pour différentes longueurs de troncature (L_e).

Cette antenne (**Figure III.6**) présente un coefficient de réflexion de -19.10 dB à la fréquence 10.176 GHz. Et de bande fréquence $BP=6.01\%$.

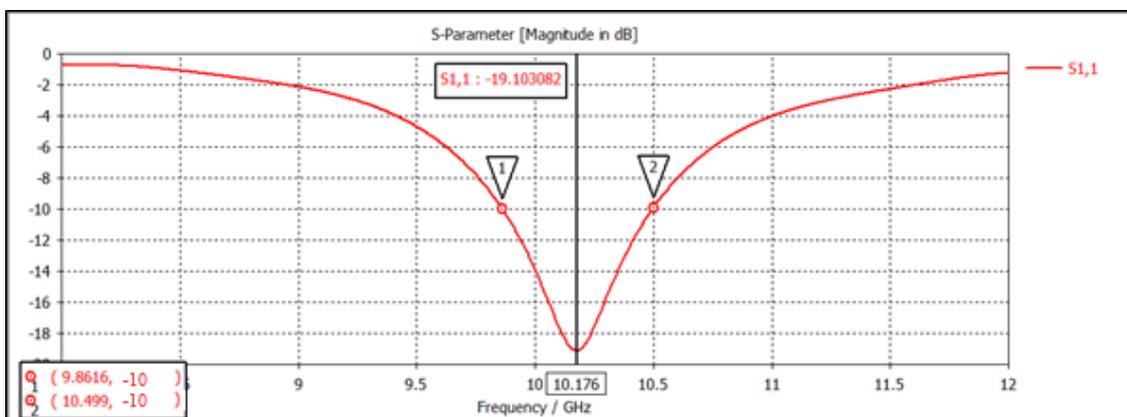


Figure III.7 - Le coefficient de réflexion et la bande passante.

Les dimensions de l'antenne deviennent :

Wg(mm)	Lg(mm)	W(mm)	L(mm)	Lf(mm)	Wf(mm)	We(mm)	Le(mm)
35.58	27.93	10	9.31	8.78	0.5	1	1.8

Tableau III.4- Les dimensions de l'antenne patch rectangulaire après l'ajoute de troncatures.

III.4.4. Ajout de slot sur le patch

Maintenant, on va créer un trou (slot) sur le patch rayonnant afin d'améliorer les performances de notre antenne telle que l'augmentation de la bande passante avec une très bonne précision de la fréquence de résonance.

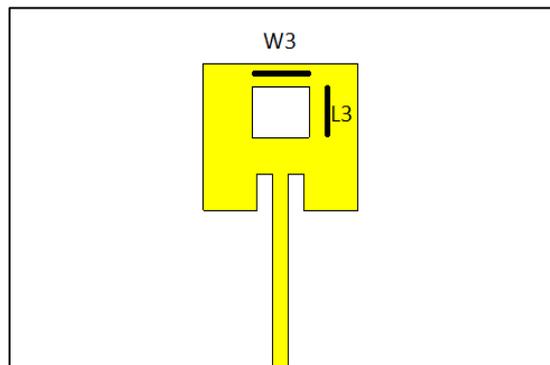


Figure III.8 - patch rectangulaire avec slot.

Le slot créé a une largeur ($W3=4\text{mm}$) et d'une longueur ($L3=3\text{ mm}$), là aussi nous allons faire une étude paramétriques sur la variation de la largeur par un pas de 0.2 mm descendente.

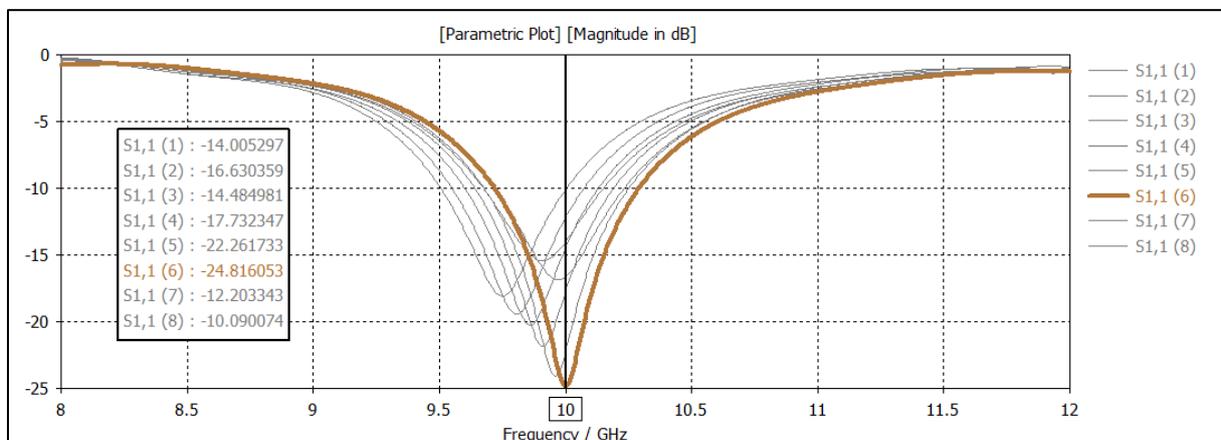


Figure III.9 -Coefficients de réflexion S11 avec le changement de W3, L3.

Chapitre III : Conception d'une antenne patch reconfigurable

Une simulation (**Figure III.9**) a donné un coefficient de réflexion de -24.81 dB pour une fréquence de 10 GHz.

III.4.5. Visualisation des résultats finals :

Le tableau suivant (Tableau III.5) représente les dimensions de l'antenne finale:

Wg	Lg	W	L	Lf	Wf	We	Le	W3	L3
35.58 mm	27.93 mm	10 mm	9.31 mm	8.78 mm	0.5 mm	1 mm	1.8 mm	3 mm	3 mm

Tableau III.5- Les dimensions de l'antenne patch rectangulaire obtenir.

- **Coefficient de réflexion S11 :**

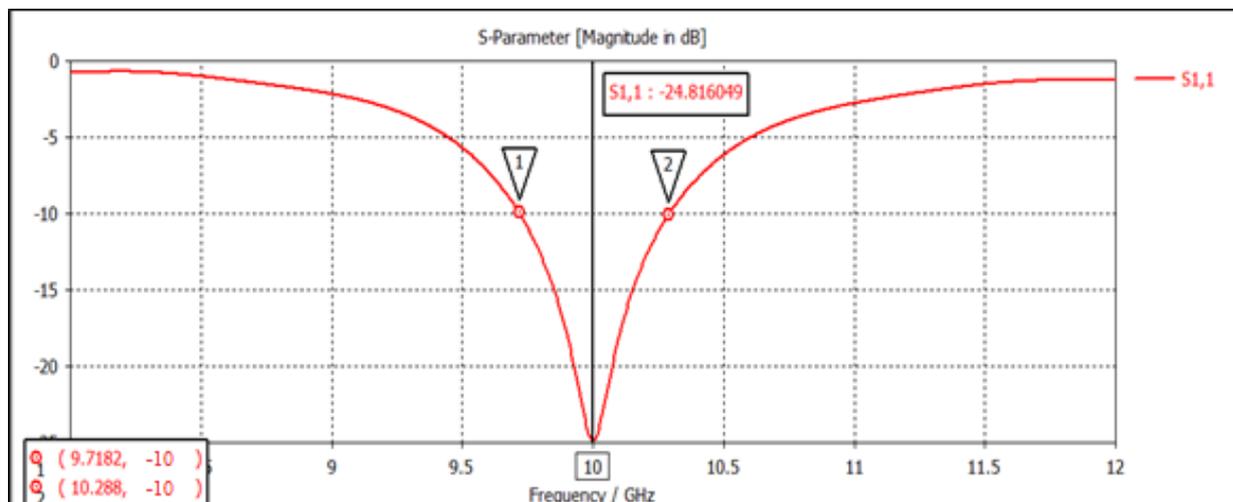


Figure III.10 : Le coefficient de réflexion de l'antenne à 10GHz.

La Figure III.10 montre que l'antenne est bien adaptée à la fréquence de 10GHz avec un coefficient de réflexion **S11**=-24.81 dB et une bande passante de **BP**=5.7%.

- **Le diagramme de rayonnement :**

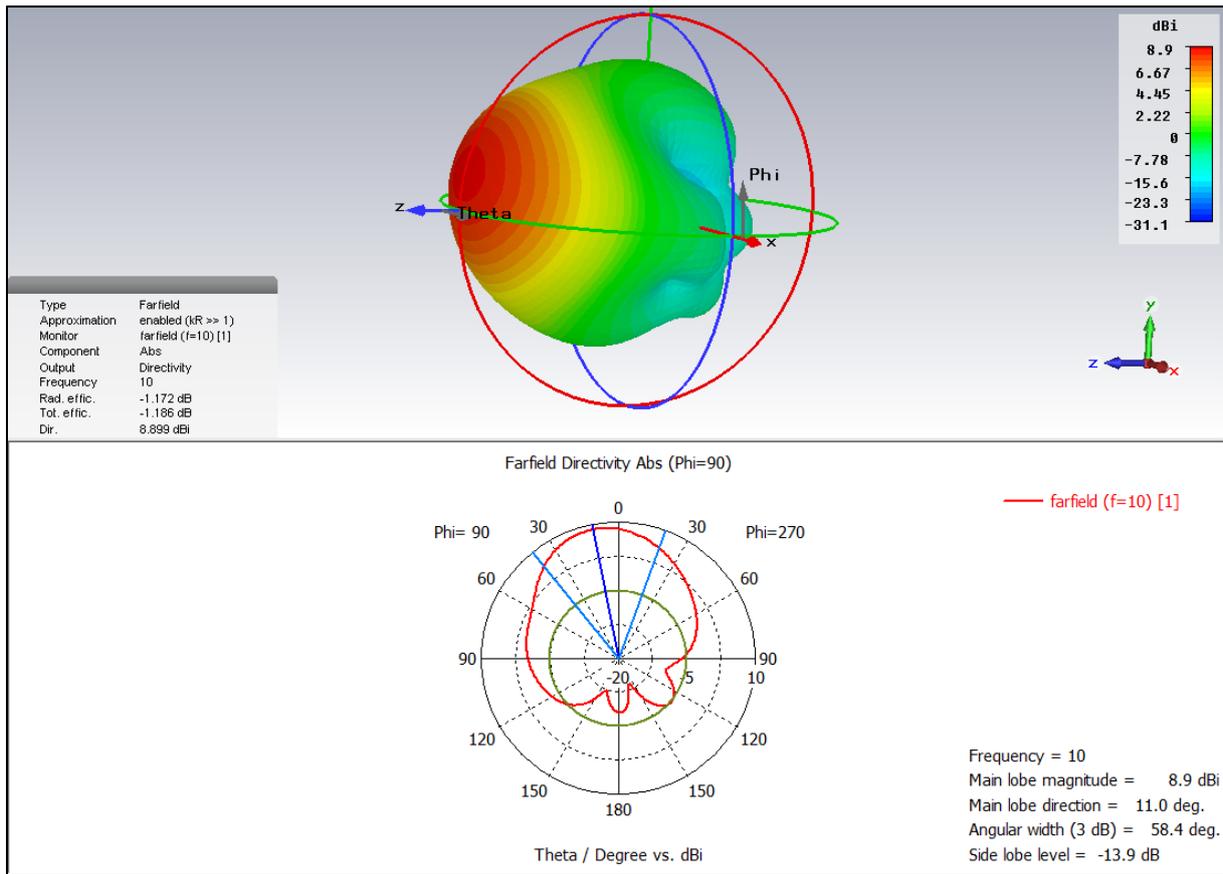


Figure III.11: Le diagramme de rayonnement (directivité) pour la fréquence 10 GHz (3D) et polaire.

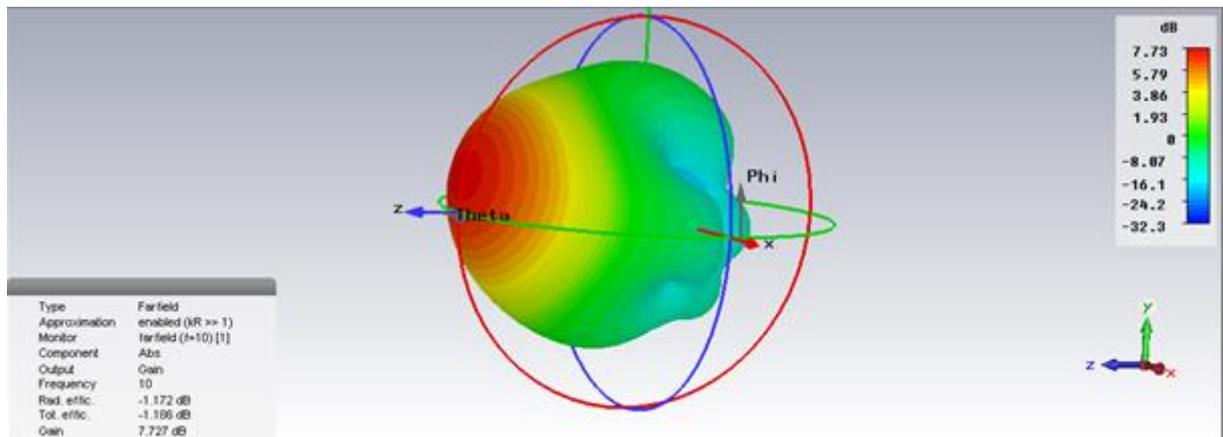


Figure III.12: Le diagramme de rayonnement (gain).

La représentation 3D de cette antenne a montré que la directivité est égale à 8.89dB avec un angle d'ouverture de 58.4 degrés à 3dB dans la représentation polaire, avec un gain égal à 7.72dB.

III.5. Antenne patch rectangulaire reconfigurable sur la bande X :

Les tendances récentes des systèmes de communication sans fil montrent que la demande des antennes qui fonctionnent dans plusieurs fréquences s'est considérablement augmentée, ces antennes reconfigurables on réduit l'utilisation du matériel complexe et le coût du système.

C'est pour cela on a choisi de réaliser une antenne patch à une reconfiguration fréquentielle (déjà expliqué dans le deuxième chapitre), avec l'utilisation d'une diode Varicap qui a une capacité variable pour obtenir plusieurs fréquences dans la bande X (8 GHZ-12 GHZ).

La diode utilisée à une résistance de 0.07ohm et une inductance de 0.2nH avec une capacité qui se varie entre [0.02pF-0.8pF]

La diode est placée au milieu de la fente comme illustré sur la figure III.13:

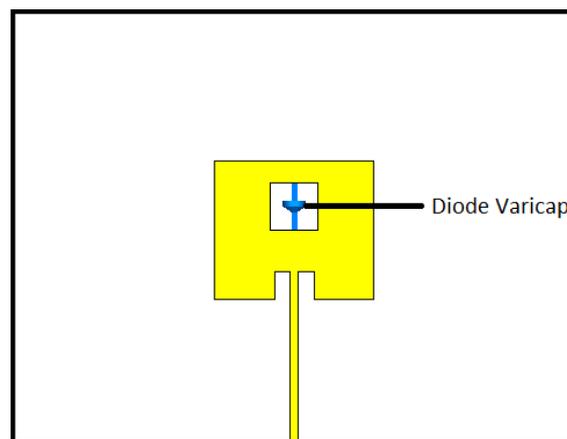


Figure III.13:Antenne rectangulaire avec une diode Varicap.

Après l'insertion de la diode on va commencer la simulation des différentes valeurs de la capacité, on a choisi quelques valeurs dans l'intervalle [0.02pF-0.8Pf] pour visualiser les fréquences de résonance et le coefficient de réflexion à chaque changement de capacité.

- **C1=0.02 pF :**

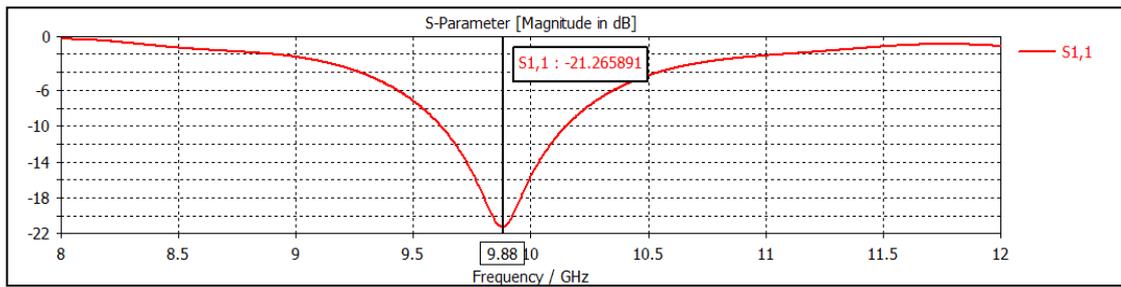


Figure III.14: Paramètre S11 pour C=0.02pF.

Le résultat de cette simulation a donné un coefficient de réflexion qui égale à -21.26 dB à une fréquence de 9.88GHz, l'antenne rayonne de [9.61GHz-10.15GHz].

- **C= 0.05PF**

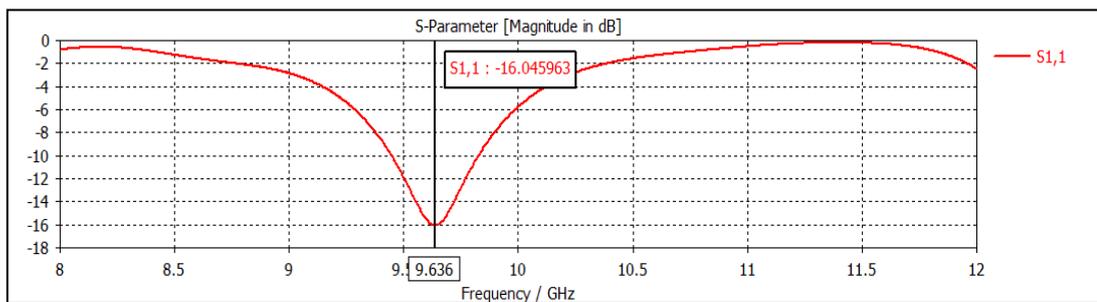


Figure III.15: Paramètre S11 pour C=0.05pF.

- **C=0.2PF**

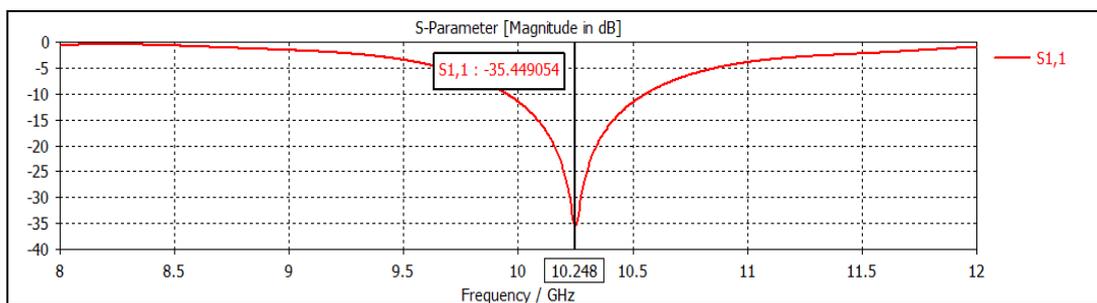


Figure III.16: Paramètre S11 pour C=0.2pF.

- **C=0.8pF**

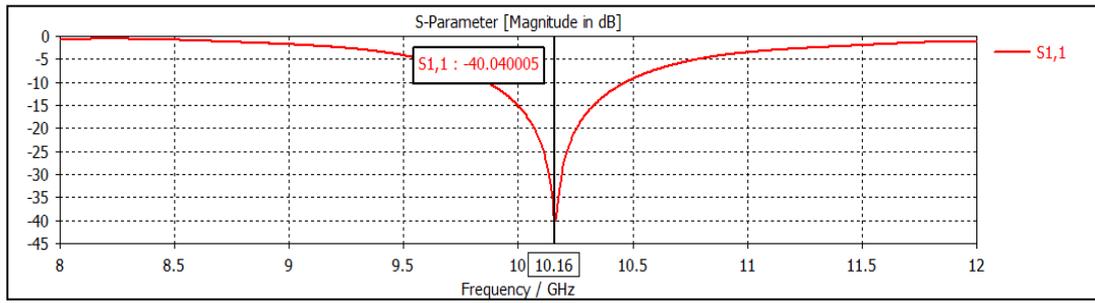


Figure III.17: Paramètre S11 pour C=0.8pF.

III.5.1. Récapitulatif de résultats:

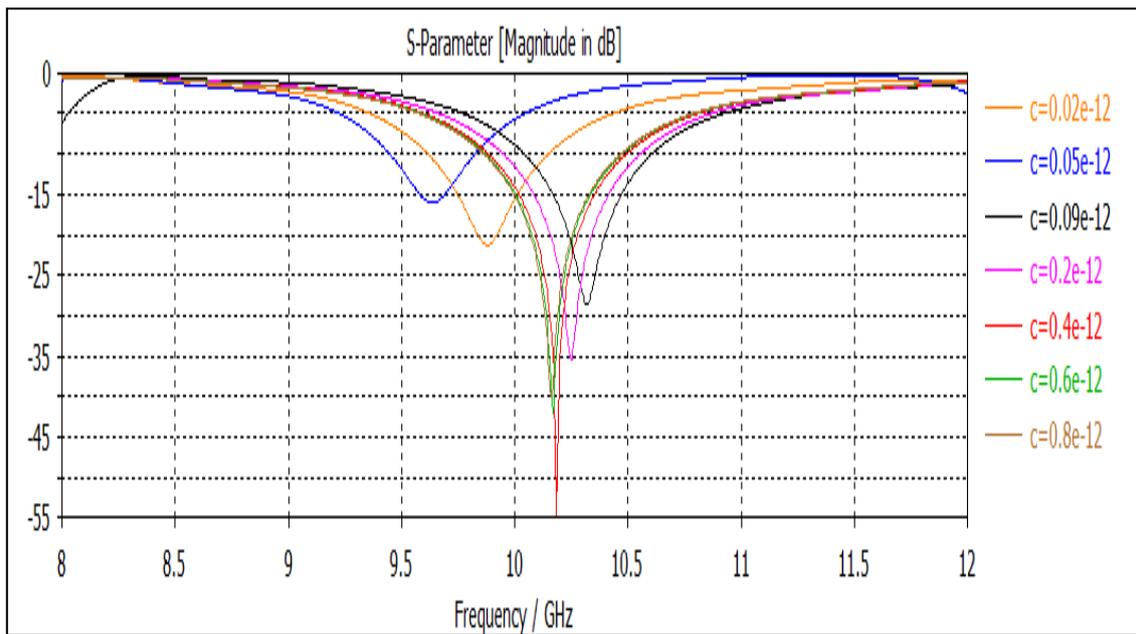


Figure III.18: Le paramètre S11 pour différentes valeurs de la Capacité.

Nous remarquons bien qu'à chaque fois que nous varions la valeur de la capacité, la fréquence de résonance change, donc nous avons obtenu une reconfiguration de la fréquence.

Capacité (pF)	Fréquences (GHz)	Coefficient de réflexion (dB)	Bande passante (GHz)
0.02	9.88	-21.26	[9.61GHz-10.15GHz]
0.05	9.43	-13.97	[9.32GHz- 9.61GHz]
0.2	10.24	-35.44	[9.94 GHz-10.55 GHz]
0.4	10.18	-54.72	[9.84GHz-10.48GHz]
0.8	10.16	-40.04	[9.86GHz-10.48GHz]

Tableau III.6:Les résultats de la reconfiguration fréquentielle.

Ce tableau nous permet de confirmer que notre antenne est reconfigurable avec une grande variété de fréquences sur la bande X, on remarque aussi que nous avons réussi à obtenir une seule antenne avec plusieurs fréquences de résonances. Même la bande passante est suffisante pour couvrir une grande plage de fréquence, ce qui signifie une utilisation de nombreuses applications dédiées à cette bande de fréquence.

III.6. Conclusion :

Ce chapitre a été consacré à la simulation d'une antenne imprimé reconfigurable, cette antenne a subi plusieurs modifications pour qu'elle soit adapté à une fréquence de 10GHz en premier lieu, après on a introduit la notion de la reconfiguration fréquentiel par l'insertion d'une diode Varicap qui nous a aidé à atteindre notre objectif qui est une antenne imprimée reconfigurable pour des utilisations satellitaire sur la bande X.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Le développement dans le domaine des systèmes de communication sans fil moderne a suscité une forte demande des antennes reconfigurables, un intérêt croissant s'est installé dont la mesure où elle présente un apport en nouvelle solution.

Une antenne reconfigurable en fréquence est sans doute l'option la plus pratique pour commuter son fonctionnement à la fréquence souhaitée, au lieu d'utiliser un certain nombre d'antennes fonctionnant à différentes fréquences pour la transmission ou la réception du signal on utilise une technique avec des performances améliorées, fonctionnant en multifréquence dans une seule antenne cela réduit l'espace et les coûts des antennes utilisé.

Au cours de ce travail nous avons développé nos recherches théoriques pour arriver à un but visé qui est celui de concevoir une antenne reconfigurables ,nous avons développé une antenne reconfigurable à partir d'une antenne patch rectangulaire simple alimenté par une ligne micro ruban après avoir calculé les paramètres de cette antenne, une fois l'exécution faite sur le logiciel CST microwave studio nous avons élaboré une étude paramétrique sur les différents paramètres de l'antenne pour atteindre un coefficient de réflexion inférieure à (-10dB) à une fréquence bien précise (10GHz) , cela nous a pas empêcher de rendre notre antenne plus performante en ajoutant des tronçatures et des fentes .

En effet l'utilisation d'une diode varicap permet la commutation de fréquence de cette antenne tout en variant la valeur de la capacité de cette diode d'une manière dynamique, ce qui nous permet d'obtenir plusieurs fréquences de résonance dans la bande X (8GHz-12GHz), cela signifie que notre antenne fonctionne pour plusieurs applications approprié à cette bande (utilisation satellitaire).

Bibliographie

Bibliographie

- [1] :S. Tebache « Méthode De Caractérisation Hyperfréquence Des Antennes Imprimées » Magister, Faculté des Sciences Et De La Technologie, Université Mohamed Khider, Biskra 2013.
- [2] :C. Hamid « Conception D'un Nouveau System D'antenne Réseau Conforme En Onde Millimétrique » Maitrise En Ingénierie, Université De Québec A Chicoutimi. Mai 2012.
- [3] :A. Boyer « Antennes, Support De Cours Enonce De Travaux Diriges» Institut National Des Sciences Appliquées De Toulouse.
- [4] : MELIHI Souhila et FENGAL Tine-hinane « Thème Antenne de Téléphonie mobile caractérisation et optimisation », Master, 2016Université ABDERRAHMANE MIRA-Bejaia Faculté.
- [5] : CHOUTI Leila « Contribution à l'étude d'antennes imprimées rectangulaires double Bande et multi bandes tenant compte de l'effet de couplage » UNIVERSITE MENTOURICONSTANTINE Session 2009
- [6]: R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl, and A. Ittipiboon, "Micro strip Antenna Design Handbook", Artech House, Inc., Norwood, 2001.
- [7] : Thèse d'Institut Supérieur des Etudes Technologiques en Communications de Tunis (2001-2002) « Étude, Conception et réalisation d'un réseau d'antennes PATCHS ».
- [8]: C. A. Balanis," Antenna Theory—Analysis and Design," 2eme edition, John Wiley & Sons, 1997.
- [9] : Mr IRANKUNDA Germain & Mr UFITEYEZU Emmanuel « Etude et Conception d'une antenne patch Rectangulaire pour les Réseaux Personnels Sans fils _WPAN à 60 GHz. » Université des Sciences et de la Technologies HouariBoumediene 2010-2011.
- [10] : D. Rakesh et al. / International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)Systematic evaluation of square patch antenna performance based on permittivity of thematerial, march 2011).
- [11] 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.
- [12] B. Allen, et al., "Ultra-Wide band Antennas and Propagation for Communications, Radar and Imaging" London, UK: Wiley, 2006.
- [13] 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.

Bibliographie

- [14] 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
- [15] T. Duc Nguyen, „Conception d'antenne intelligente reconfigurable pour la radio cognitive", Université Grenoble Alpes, 2012.
- [16] 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.
- [17] J. T. Bernhard, "Reconfigurable Antennas". San Rafael, CA: Morgan and Claypool, 2007.
- [18] L. Petit, "Antennes Reconfigurables A Base De MEMS RF " Micro et nanotechnologies / Microélectronique. Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 2007.
- [19] 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.
- [20] M. Rutschlin et V. Sokol, « Reconfigurable Antenna Simulation: Design of Reconfigurable Antennas with Electromagnetic Simulation », IEEE Microw. Mag., vol. 14, no 7, p. 92-101, nov. 2013.
- [21] Ben Trad, "Antennes Agiles pour les Télécommunications Multistandards, " Thèse soutenue publiquement le 29.10.2014, Université de Rennes.
- [22] F. Yang and Y. Rahmat-Samii, "Patch antennas with switchable slots (PASS) in wireless communications: Concepts, designs, and applications, IEEE Antennas Propagat. Mag., vol. 47, pp. 13–29, Feb. 2005.
- [23] S. SUFYAR, "Contribution à l'étude d'Antennes Miniatures Reconfigurables en 54 Fréquence par Association d'éléments actifs " , 14 Décembre 2011,
- [24] Yuan, Y. Damgaci, H. Mopidevi and B.A. Cetiner, "RF-NIMEMS Integrated Reconfigurable Antenna for Public Safety Applications, EUCAP 2011.
- [25] S. JalaliMazlouman, X. J. Jiang, A. Mahanfar, C. Menon and Rodney G. Vaughan, "A Reconfigurable Patch Antenna Using Liquid Metal Embedded in a Silicone Substrate," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 59, No. 12, pp. 4406-4412, December 2011.
- [26]:site web "everythingRF.com" date de visite Avril 2020
https://www.everythingrf.com/community/xband?fbclid=IwAR1mWlQNMUjNCptsHdo29ohKr00nkbV_B--4h8W0R0IVR6XHqvKpJ7kViI

Bibliographie

[27] Doctorat de l'université de Grenoble présenté par SARAH SUFYAR intitulé « contritions à l'étude d'antenne miniature reconfigurable en fréquence par association d'élément actifs » se tenu le 14 décembre 2011.