

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République algérienne démocratique et populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche  
scientifique  
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب  
Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib  
Faculté des Sciences et de Technologie  
Département génie électrique



Projet de Fin d'Etudes  
Pour l'obtention du diplôme de Master en :  
Domaine : Sciences et Technologie  
Filière : Télécommunication  
Spécialité : Réseaux et Télécommunications  
Thème

## Réalisation d'un réseau d'antenne patch pour application RFID

### Présenté Par :

- 1) Melle Hachemi kaoutar
- 2) Melle Yamani kouthar

### Devant le jury composé de :

Dr DEBBAL Mohammed	MCA	UAT.B.B (Ain Temouchent )	Président
Dr MOULESSEHOUL Wassila	MCB	UAT.B.B (Ain Temouchent )	Examinatrice
Dr SLIMANE Zohra	MCA	UAT.B.B (Ain Temouchent )	Encadrante
Dr RABAH Mohammed Amin	MRA	CDS (Oran)	Co-Encadrant

*Année Universitaire 2020/2021*



## *REMERCIEMENT*

*Avant tout On remercie Allah le Tout Puissant de nous avoir donné la santé, le courage et la volonté d'entamer et d'achever ce modeste travail.*

*Nous tenons à remercier très sincèrement notre encadreur Madame **slimani zohra**, pour l'intérêt constant qu'elle a apporté à ce travail et pour ses contributions à l'amélioration de la qualité de ce rapport. Son encadrement et ses remarques toujours pertinentes, qui nous ont permis de finaliser ce travail.*

*Notre remerciement s'adressent également à notre co-encadreur de recherche, Monsieur **Rabah Mohammed Amin** pour avoir co-dirigé ce travail, pour son soutien, sa clairvoyance, sa confiance, sa disponibilité, ses précieux conseils et directives tout au long de la réalisation de ce travail et ses compétences nous ont été d'une aide inestimable.*

*Nous tenons à remercier sincèrement les membres du jury qui nous font le grand honneur d'évaluer ce travail :*

*A **DEBBAL Mohammed**. Qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de ce travail, qu'elle trouve ici l'expression de nos profonde gratitude.*

*Nous sommes honorés également de compter parmi les membres du jury **MOULESSEHOUL Wassila** d'avoir acceptée d'examiner ce travail, l'occasion nous a offerte pour lui témoigner toute nos gratitudes.*

*Nos remerciements s'adressent également à tous nos professeurs pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles.*

*En fin nous remercie tous nos amis pour leurs encouragements et pour l'ambiance agréable tout au long de ce travail grâce à qui nous avons passé d'excellents moments.*

*A toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*



## *DEDICACE*

*Du fond du cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers :*

*A mon très chère père **Mohammed** et ma très chère mère **kheira**, vous êtes pour moi une source de vie car sans vos sacrifices, votre tendresse et votre affection je ne pourrais arriver jusqu'au bout, je me réjouis de cette amour filiale que **ALLAH** vous garde afin que votre regard puisse suivre ma destinée.*

*Mes très chères sœur **Fatima** et **Nersine** et sur tout ma petite princece **Khadidja** qui ont été toujours présents pour moi.*

*A ma chère camarade **HACHEMI KAOUTAR**, je veux remercier pour votre présence et collaboration ainsi que votre gentillesse...*

*A tous ma famille*

*A tout qui aurait voulu partager ma joie et ma succès spécialement mes proche amis **Mebkhouti Bouchra**, **Benchrife yasmine**, **Fatima**, **Nawal**, **Naziha** et ces enfants **Anfel**, **Rayan** et la petite princesse **Loujayne**.*

*A tout qui aurait voulu guider, courager et conseiller au cours de mon chemin universitaire*

*En fin j'espère que nous pouvons donner un peu d'information sur les réseaux d'antennes de lecteur SHF RFID pour aider la génération suivante.*

*Yamani Koutther*



## *DEDICACE*

*Je dédie ce travail à la mémoire de mon père qui m'a toujours poussé et motivé dans mes études je ne t'oublierais jamais, merci pour tout l'amour que tu m'as donné depuis mon enfance. Je n'aurais pu rêver meilleur père, je t'aime très fort Abi, tu es mon plus grand repère, il apprécie cet humble geste comme preuve de reconnaissance de la part d'une fille qui a toujours prié pour le salut de son âme. Puisse Dieu, le tout puissant, l'avoir en son vaste Paradis!*

*À ma très chère mère, aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être, je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours .puisse dieu, le très haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie.*

*À mes sœurs du cœur :*

*Bouchera*

*Soumia et son mari Sid Ahmed et notre petite princesse Sirine.*

*À mon oncle Mohamed et sa famille.*

*À mon oncle Madani et mes chers cousins Nourddine et Hamada et Sofiane.*

*À ma binôme Kouther et sa famille.*

*À mes amies et collègues, mes meilleures amies Sanae et Wafaa et tous ceux qui m'ont aidé.*

*Hachemi Kaoutar*

## Résumé

Ce travail porte sur la conception, simulation et réalisation un réseau d'antenne patch pour lecteur RFID SHF plus performant par rapport une antenne patch traditionnel, ces antennes doivent rayonner de façon unidirectionnelle avec un gain suffisant ( $3\text{dBi} < \text{Gain} < 6\text{dBi}$ ). En utilisant substrat de type FR4 «  $\epsilon_r = 4.3$ , épaisseur =1.6mm » Nous présentons dans cette étude, le coefficient de réflexion, le diagramme de rayonnement, le gain et la distance de lecteur .la réalisation et la mesure de ce réseau on permet la validation de leur bon fonctionnement. Des tests en détection de tags en utilisant ce réseau d'antennes ont affiché une portée de lecteur supérieure à 2 m.

**Mots-clés :** Antenne imprimée, RFID, Lecteur, SHF, Réseaux d'antennes patch, CST.

## Abstract

This work deals with the design, simulation and realization of a patch antenna array for SHF RFID reader with better performance compared to a traditional patch antenna, these antennas must radiate unidirectionally with sufficient gain ( $3\text{dBi} < \text{Gain} < 6\text{dBi}$ ). Using FR4 type substrate " $\epsilon_r = 4.3$ , thickness =1.6mm" we present in this study, the reflection coefficient, the radiation pattern, the gain and the reader distance. Tests in tag detection using this antenna array have shown a reader range of more than 2 m.

**Keywords:** patch antenna, RFID, Reader, SHF, Patch antenna arrays, CST.

## ملخص

يتعلق هذا العمل بتصميم, محاكاة وتنفيذ شبكات هوائي التصحيح لقارئ (RFID SHF) أكثر كفاءة مقارنة بهوائي التصحيح التقليدي, يجب أن تشع هذه الهوائيات بشكل أحادي الاتجاه مع كسب كافٍ ( $\text{Gain} > 3\text{dBi} < 6\text{dBi}$ ). باستخدام ركيزة من النوع " $\epsilon_r = 4.3$  FR4 ، السماكة = 1.6 مم" نقدم في هذه الدراسة معامل الانعكاس ومخطط الإشعاع الكسب. وقد سمح انجاز وقياس هذين الهوائيين بالتحقق من حسن سير عملها. و أظهرت اختبارات الكشف عن العلامات باستخدام هذين الهوائيين مدى قارئة اكبر من 2 م.

**الكلمات المفتاحية:** هوائي التصحيح ، RFID ، القارئ ، SHF ، مجموعة الهوائيات المطبوع.

## Liste des acronymes

**2D** : Deux Dimensions

**3D** : Trois Dimensions

**BF** : Base Frequency

**CST** : Computer Simulation Technology.

**dB** : déciBel

**EPC** : Electronic Product Code

**FDTD** : Finite Difference Time Domain

**FIT** : Finit Intégration Technique

**FR4** : Flame Resistant 4

**GHz** : Giga Hertz

**GSM** : Global System for Mobile communications

**HF** : Haute Frequence

**HFSS** : High Frequency Simulation Software

**HPBW** :Half Power Beam Wide

**ISO** : International Organization For Standardization

**LF** : Low Frequency

**MIMO** : Multiple-Input Multiple-Output

**NTIC** : Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication

**PEC** :Perfect Electric Conductor

**ROS** : Rapport d'Onde Stationnaire

**SHF** : Super High Frequency

**TLM** : Transmission Line Matrix Method

**TTF** :Tag Talk First

**UID** : IDentifiant Unique

**UHF** : Ultra High Frequencies

**VSWR** : Voltage Standing Wave Ration

## Sommaire

Liste des acronymes .....	II
Liste Des Figures .....	VI
Liste des tableaux .....	IX
Introduction général.....	1
Chapitre I: Généralité sur les antennes	
I.1. Introduction .....	4
I.2. Historique des antennes .....	4
I.3. Définition .....	5
I.3.1. Antenne d'émission.....	5
I.3.2. Antenne de réception.....	5
I.3.3. Réciprocité.....	5
I.4. Zone de rayonnement d'une antenne .....	6
I.5. Caractéristiques électriques .....	7
I.5.1. Coefficient de réflexion et Adaptation d'une antenne .....	7
I.5.2 Directivité .....	8
I.5.3 Gain en puissance et rendement.....	9
I.5.4 Le VSWR (Voltage Standing Wave Ratio).....	10
I.5.5 Diagramme de rayonnement.....	10
I.5.6. Lobe principal, lobes secondaires et angle d'ouverture .....	11
I.5.7. La Polarisation .....	12
I.5.8. La Bande Passante .....	12
I.6. Les types d'antennes.....	13
I.6.1. Les antennes filaires.....	14
a. Antennes dipôles .....	14
b. L'antenne Yagi.....	14
I.6.2. Les antennes à fentes.....	15
I.6.3. Les antennes patchs.....	15
I.6.4. Les antennes à ouverture (cornet).....	16
I.6.5. Les antennes à réflecteurs.....	16
I.7. Les antennes imprimées .....	17
I.7.1. Définition et structure d'une antenne imprimée .....	17
I.7.2. Mécanisme de radiation.....	19

I.7.3. Les techniques d'excitation d'une antenne microbande .....	20
I.7.3.2. Alimentation par couplage (sans contact) .....	22
I.7.3.2.1. Alimentation par ouverture (fente).....	22
I.7.4 Techniques d'adaptation des antennes imprimées.....	24
I.7.4.1 Adaptation par ligne quart d'onde .....	24
I.7.4.2 Adaptation par stub .....	24
I.7.4.3 Adaptation avec encoche .....	25
I.7.5 Méthodes d'analyse .....	25
I.7.5.1 Méthodes approximatives (analytiques).....	26
I.7.5.1.1 Le modèle de la ligne de transmission .....	26
I.7.5.1.2 Le modèle de la cavité.....	28
I.7.5.2 Méthodes numériques.....	29
I.7.5.2.1 Méthodes des éléments finis .....	29
I.7.5.2.2 Méthodes des différences finies .....	29
I.7.5.2.3 La méthode de la matrice des lignes de transmission TLM .....	29
I.7.5.2.4 La méthode des moments .....	29
I.8 Conclusion.....	30
<b>Chapitre II: La technologie RFID</b>	
II.1. Introduction.....	32
II.2. Historique.....	32
II.3. Définition de la technologie RFID .....	34
II.4. Le principe de fonctionnement d'un système RFID .....	35
II.4.1. Un lecteur (ou scanner) .....	35
II.4.2. Une étiquette.....	35
II.4.3. Une antenne.....	36
II.4.4. Le logiciel RFID .....	36
II.4.4.1. Protocole TTF (Tag Talk First) .....	37
II.4.4.2. Protocole RTF (Reader Talk First) .....	37
II.5. Les composants de système RFID.....	37
II.5.1. Le Lecteur .....	38
II.5.1.1. Les types de lecteur RFID .....	39
II.5.1.2. Les tags (les étiquettes) .....	41
II.6. Principales caractéristiques d'un système RFID.....	43

II.7. Les domaines d'application de la RFID .....	44
II.7.1. Logistique.....	44
II.7.2. Le paiement .....	45
II.7.3. Commercial .....	45
II.7.4. La santé .....	46
II.8. Les avantages et les inconvénients de système RFID .....	47
II.8.1. Les avantages.....	47
II.8.2. Inconvénients.....	47
II.9. Conclusion .....	48
Chapitre III: Résultats expérimentaux	
III.1. Introduction.....	50
III.2. Définition du logiciel CST STUDIO SUITE.....	50
III.3. Spécification technique .....	51
III.4. Antenne patch carrée pour RFID SHF .....	51
III.5. La nouvelle structure d'antenne patch .....	56
III.6. Simulation d'un réseau de deux antennes imprimées .....	60
• Le coefficient de réflexion.....	61
• Rapport d'onde stationnaire (VSWR) .....	61
• Diagramme de rayonnement en directivité.....	62
III.7. Comparaison des différentes structures d'antennes .....	64
III.8 Résultats expérimentaux.....	64
III.8.1 Antenne patch carré .....	65
III.8.1.1 Mesure des coefficients de réflexions et rapport d'onde stationnaire .....	65
III.8.2 La nouvelle structure d'antenne .....	67
III.8.2.1 mesure de coefficient de réflexion et rapport d'onde stationnaire .....	67
III.8.3 Le réseaux d'antenne (2×1) .....	69
III.8.3.1 mesure de coefficient de réflexion et rapport d'onde stationnaire .....	69
III.9 Conclusion .....	71
Conclusion général.....	73
Bibliographie.....	74
Annexe.....	78

## Liste Des Figures

### Chapitre I : généralité sur les antennes

Figure I 1 : Historique des radiocommunications.....	16
Figure I-2 : Antenne en émission et en réception .....	17
Figure I-3 : Zone de rayonnement d'une antenne.....	18
Figure I.4: Diagramme en trois dimensions .....	23
Figure I.6: Diagramme en coordonnées cartésiennes (échelle logarithmique) .....	23
Figure I.7 : Ouverture mi-puissance. ....	24
Figure I-8 : Les différentes polarisations d'une antenne.....	24
Figure I-9 : Les types des antennes.....	26
Figure I-10: Antenne dipolaire .....	26
Figure I-14: Antenne patch.....	28
Figure I-15: Antenne cornet .....	28
Figure I-16 : Schéma illustrant l'antenne parabolique.....	29
Figure I-17 : Structure d'une antenne patch rectangulaire .....	30
Figure I-18 : Différentes forme d'élément rayonnant.....	31
Figure I-19 : Trajectoires des rayons dans une antenne patch.....	32
Figure I.20: Alimentation par ligne micro-ruban. ....	33
Figure I.21 : Alimentation par câble coaxiale. ....	34
Figure I.22: Alimentation couplée par ouverture. ....	35
Figure I.23 : Alimentation couplée par proximité. ....	36
Figure I.2: Adaptation par ligne quart d'onde .....	36
Figure I.25 : stub en circuit ouvert.....	36
Figure I.26 : Patch rectangulaire.....	37
Figure I.28 : Patch adapté par encoches de longueur.....	37
Figure I.29 : Modèle de la ligne de transmission.....	39
Figure I.30 : Modèle de la cavité.....	40

### Chapitre II : La technologie RFID

Figure II-1 : Historique RFID.....	43
Figure II-2 : Illustration d'un système RFID.....	44
Figure II-3 : Lecteurs RFID.....	45
Figure II-4 : étiquette RFID.....	45
Figure II-5 : Antenne de lecteur RFID.....	46
Figure II-6 : Logicielle RFID .....	46
Figure II-7 : Schéma général d'un système d'identification par radiofréquence .....	47
Figure II.8 : Relation maitre-esclave dans la communication RFI.....	48
Figure II-9 : Lecteur Mobile.....	50
Figure II-10 : Schéma de fonctionnement d'étiquette active .....	51
Figure II-11 : Etiquette semi-passif .....	52
Figure II-12 : Relation maitre-esclave dans la communication RFID.....	52

Figure II-13 : Schéma de fonctionnement d'étiquette actif et semi-passif .....	53
Figure II-14 : Schéma présente les catégories des fréquences .....	54
Figure II-15 : La RFID permet de faciliter la logistique .....	55
Figure II-16 : Dispositif de paiement Pidion BIP-1300.....	55
Figure II-17 : Domaine commercial .....	56
Figure II-18 : Les technologies RFID pour la gestion des patients au sein de l'hôpital.....	57
Chapitre III : Résultats expérimentaux	
Figure III-1 : Description de logicielle CST .....	59
Figure III-3 : Coefficient de réflexion de l'antenne patch alimentée par une ligne micro ruban.....	61
Figure III.6 : Taux d'ondes stationnaires en fonction de la fréquence.....	63
Figure III.7: Variation de gain en fonction de la fréquence .....	64
Figure III.8 : Diagramme de rayonnement 3D en directivité de l'antenne patch de forme carrée et polaire.....	64
Figure III.9 : Géométrie de nouvelle structure d'antenne .....	65
Figure III.10 : Coefficient de réflexion de nouvelle antenne patch.....	67
Figure III.12 : Variation de gain en fonction de la fréquence .....	68
Figure III.14 : Diagramme de rayonnement 3D en directivité et polaire de nouvelle antenne patch .....	68
Figure III. 15 : La distance de lecture RFID .....	69
Figure III.16 : Réseau de deux antennes patch.....	69
Figure III.17: Coefficient de réflexion du réseau linéaire de deux patches .....	70
Figure III.18 : Taux d'onde stationnaire du réseau linéaire de deux patches. ....	71
Figure III.19: Le diagramme de rayonnement 3D de réseau linéaire de 2 patches et polaire	71
Figure III.20 : Variation de gain en fonction de la fréquence .....	72
Figure III-21 : La distance de lecture RFID de deux patches imprimés.....	72
Figure III.22 : Antenne patch avec encoche à réaliser (face supérieur et inférieur).....	74
Figure III.23 : Antenne patch avec encoche test .....	74
Figure III.24 : coefficient de réflexion mesuré de l'antenne avec encoche .....	75
Figure III.25 : le rapport d'onde stationnaire de l'antenne avec encoche .....	75
Figure III.26: Comparaison VSWR mesuré de l'antenne avec encoche.....	76
Figure III.27 : Comparaison de coefficient de réflexion simulé et mesuré d'antenne patch avec encoche .....	76
Figure III.28: antenne patch nouvelle structure à réaliser (face supérieure et inférieur) ....	76
Figure III.29: Antenne patch nouvelle structure test .....	77
Figure III.30 : coefficient de réflexion mesuré de l'antenne nouvelle structure .....	77
Figure III.31 : le rapport d'onde stationnaire de l'antenne nouvelle structure.....	77
Figure III.32: Comparaison de coefficient de réflexion simulé et mesuré d'antenne patch nouvelle structure.....	78
Figure III.33: Comparaison de VSWR simulé et mesuré d'antenne patch nouvelle structure .....	78
Figure III.34: réseaux d'antenne (2×1) à réaliser (face supérieure et inférieur) .....	78
Figure III.35 : coefficient de réflexion mesuré d'un réseau d'antenne (2× 1) .....	79

Figure III.36 : le rapport d'onde stationnaire mesuré d'un réseau d'antenne (2× 1).....	79
Figure III.37: Comparaison de VSWR simulé et mesuré réseaux d'antenne (2×1) .....	79
Figure III.38: Comparaison de coefficient de réflexion simulé et mesuré réseaux d'antenne (2×1).....	80

## Liste des tableaux

### Chapitre I : généralité sur les antennes

Tableau I-1 : paramètre des antennes avec leur notation et unité.....	14
Tableau I-2 : Représentation la classification des antennes.....	19

### Chapitre II : la technologie RFID

Tableau II-1 : Caractéristiques des bandes de fréquence RFID.....	49
---	----

### Chapitre III: résultats expérimentaux

Tableau III-1 : Cahier de charge.....	55
Tableau III-2 : Dimensions de l'antenne patch carré.....	56
Tableau III-3 : Les dimensions d'antennes patch avec encoche.....	57
Tableau III-4 : Les dimensions d'antennes patch nouvelle structure.....	62
Tableau III-5: Les résultats pour les différentes structures d'antennes.....	70

---

# *Introduction Générale*

## Introduction Générale

---

Le domaine des télécommunications a connu un progrès technologique au cours des dernières années grâce à la forte demande de la population et de l'industrie. Parmi les applications dans ce domaine qui ont attiré plus d'attentions sont les antennes. Elles sont des éléments indispensables pour assurer une opération d'émission ou de réception des ondes électromagnétiques dans l'atmosphère terrestre ou dans l'espace. Elles sont présentes dans tous les systèmes de communication sans fil.

Aujourd'hui les antennes planaires connaissent un grand intérêt chez les chercheurs à cause de leurs nombreuses applications. En effet, les domaines d'utilisation privilégiés des antennes patches sont les communications en hautes fréquences tels que les communications spatiales, les systèmes militaires et commerciaux, la navigation aérienne ou terrestre, les réseaux informatiques sans fil et la téléphonie mobile. [1]

Actuellement les NTIC (Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication) sont devenues au fil du temps une composante essentielle de notre vie quotidienne. Smartphone, bracelet et lunettes connectées... Un futur sans communication ou sans échange des données est inenvisageable autant dans le secteur privé qu'industriel. Identification, traçage, archivage ou encore stockage de données sont devenus indispensables.[27]

La RFID pour <<Radio Frequency Identification>> vient remplacer des technologies en apportant des solutions efficaces dans différents domaines, elle permet de tracer les produits et les animaux, d'identifier des personnes, de sécuriser des lieux ... Les caractéristiques de cette technologie sont : la lecture distante et même sans ligne de vue directe, la rapidité, l'unicité des ID des tags [27].

L'objectif de ce mémoire est d'étudier et caractériser une antenne imprimée « patch ». La caractérisation de l'antenne se poursuit également par la détermination de ses paramètres hyperfréquences (fréquence de résonance, bande passante, diagramme de rayonnement et gain), destinée pour une application RFID permettant d'émettre ou de recevoir dans la fréquence de résonance 2.45 GHz (bande SHF), à l'aide d'un logiciel de simulation électromagnétique CST microwave studio (CST MWS).

## Introduction Générale

---

Pour atteindre cet objectif, le présent travail est scindé en trois chapitres :

Le premier chapitre présente généralité sur les antennes. Nous décrivons le principe de fonctionnement des antennes basé sur les types et caractéristiques des antennes en général. Ensuite, on a détaillé les antennes imprimées, on a donné une petite description : quelques techniques d'alimentations ainsi que son mécanisme de base.

Dans le deuxième chapitre nous allons focaliser sur le contexte général de la technologie RFID où nous rappellerons l'histoire de la technologie RFID et les définitions les concernant. Par la suite, nous allons décrire les composants de ce système et le principe de fonctionnement, ainsi que la distance de lecture, la fréquence d'utilisation et principale caractéristique des RFID et nous finissons par les domaines d'utilisations des RFID.

Le troisième chapitre traite de la conception d'une antenne imprimée puis un réseau d'antenne patch en utilisant l'environnement de conception CST MICROWAVE STUDIO et nous exposons les résultats numériques obtenus, concernant l'influence des paramètres de la structure au réseau d'antennes patchs, toutes les simulations sont suivies par des discussions, en conclure le chapitre par la réalisation des antennes et les mesures des trois antennes. La validation expérimentale est réalisée par mesure de coefficient de réflexion et le VSWR à l'entrée des antennes à l'aide d'un analyseur de réseau, après une comparaison entre les résultats des simulations et réalisation des antennes.

---

# *Chapitre I : Généralité sur les antennes*

# Chapitre I : Généralités sur les antennes

## I.1. Introduction

Le but de ce chapitre est de comprendre le principe de fonctionnement des antennes en particulier les antennes imprimées, il est structuré en deux parties : la première revient sur des bases théoriques sur le fonctionnement des antennes et la seconde partie sur les antennes imprimées (Patch).

## I.2. Historique des antennes

Le mot antenne est d'origine latine (antenna) et servait à désigner la vergue du gréement Des navires romains. Une telle dénomination convenait donc particulièrement bien aux structures filaires rayonnantes déployées par les pionniers de la radiotélégraphie dès la fin du XIXe siècle.

Par la suite, les structures ont évolué et se sont beaucoup diversifiées pour tenir compte tout à la fois de la découverte de nouveaux modes de propagation terrestre et des progrès technologiques constants en direction des fréquences élevées. [1]

La (figure I.1) dresse un rapide historique des découvertes et inventions liées aux radiocommunications et aux antennes.

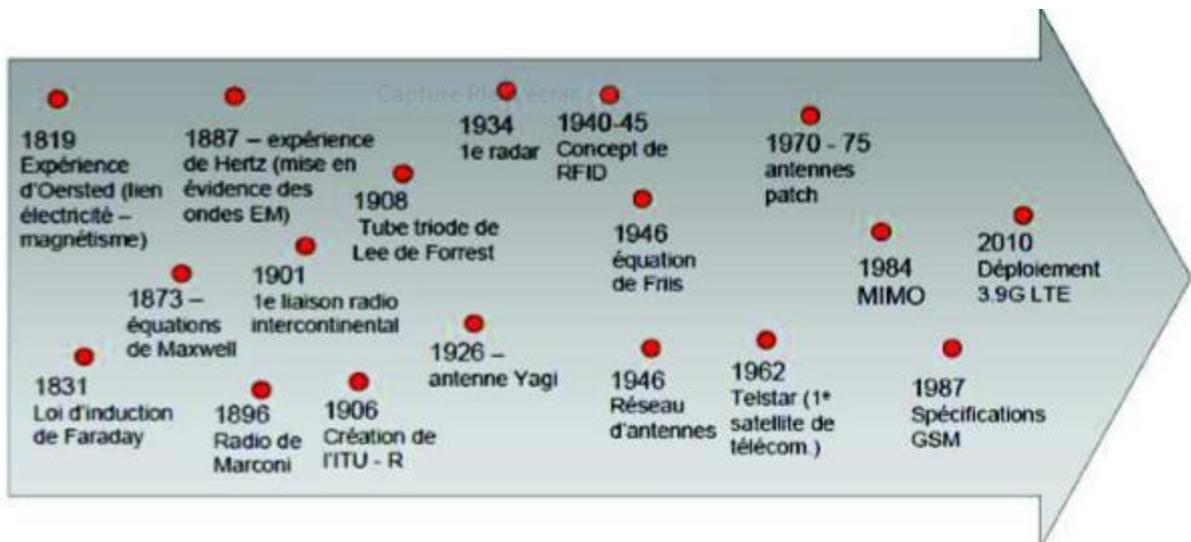


Figure I-1 : Historique des radiocommunications[1]

### I.3. Définition

Une antenne est un transducteur entre la ligne de transmission connectée à un générateur et le milieu où l'onde rayonne. Ainsi on peut définir une antenne en émission ou en réception selon son mode de fonctionnement.

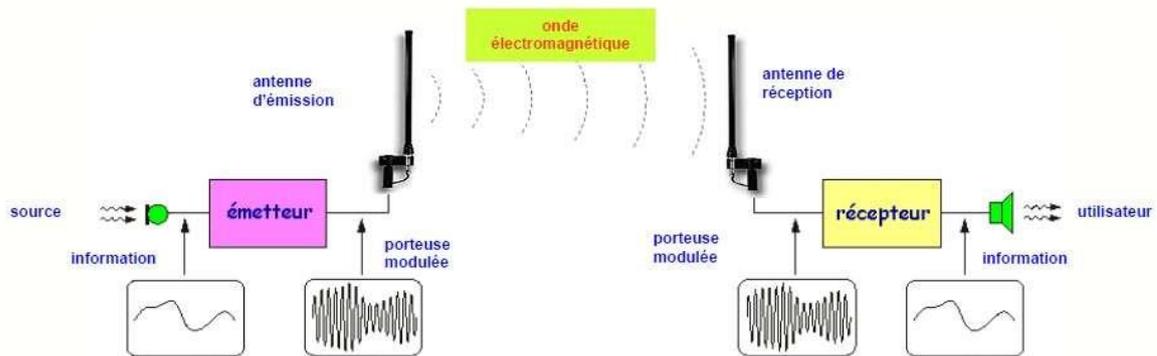


Figure I-2 : Antenne en émission et en réception [2]

#### I.3.1. Antenne d'émission

Afin d'assurer la propagation dans l'air, il est nécessaire qu'un dispositif génère une onde rayonnée.

Le rôle de l'antenne d'émission est de transformer la puissance électromagnétique guidée, issue d'un générateur en une puissance rayonnée. Dans ce sens, c'est un transducteur. [2]

#### I.3.2. Antenne de réception

De façon inverse, la puissance rayonnée peut être captée par une antenne de réception. Dans ce sens,

L'antenne apparaît comme un capteur et un transformateur de puissance rayonnée en puissance électromagnétique guidée. Elle joue le même rôle qu'un télescope qui capte la lumière issue des étoiles et la transforme. [2]

#### I.3.3. Réciprocité

Dans la plupart des cas, une antenne peut être utilisée en réception ou en émission avec les mêmes propriétés rayonnantes. On dit que son fonctionnement est réciproque.

Ceci est une conséquence du théorème de réciprocité. Dans quelques cas exceptionnels pour lesquels les antennes comportent des matériaux non linéaires ou bien anisotropes, elles ne sont pas réciproques.

## Chapitre I : Généralités sur les antennes

Du fait de la réciprocité des antennes, il ne sera pratiquement jamais fait de différence entre le rayonnement en émission ou en réception. Les qualités qui seront annoncées pour une antenne le seront dans les deux modes de fonctionnement, sans que cela soit précisé dans la plupart des cas. [2]

### I.4. Zone de rayonnement d'une antenne

On distingue pour chaque type d'antenne trois zones de rayonnement :

- Zone de Rayleigh (ou zone de champ proche)
- Zones de Fresnel
- Zones de Fraunhofer (ou zone de champ lointain)

Comme le montre la (figure I.3).

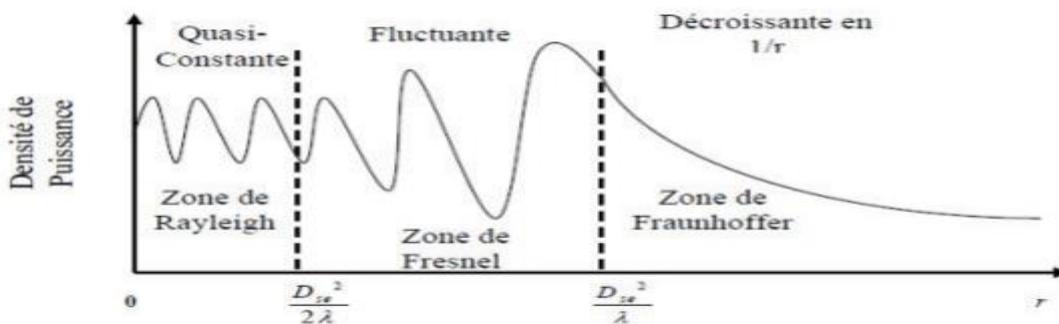


Figure I-3 : Zone de rayonnement d'une antenne [2]

Où :  $r$  : correspond à la distance entre le point de référence et la frontière entre les champs proche et lointain (en mètres).

$D$  : le diamètre de la surface équivalente de l'antenne (en mètres).

$\lambda$  : Correspond à la longueur d'onde (en mètres).

#### ➤ Zone de Rayleigh

Dans cette zone de champ proche (ou zone de Rayleigh), il y a échange d'énergie réactive entre l'antenne et le milieu extérieur.

A courte distance (par rapport à la longueur d'onde),  $r < D^2 / 2\lambda$  la densité de puissance est Quasi constante.[3]

#### ➤ Zone de Fresnel

## Chapitre I : Généralités sur les antennes

Dans une seconde zone  $D^2/2\lambda < r < 2D^2/\lambda$  la densité de puissance est fluctuante.

### ➤ Zone de Fraunhofer

Dans la zone du champ lointain (ou de Fraunhofer), à grande distance (par rapport à la Longueur d'onde), les champs sont rayonnés sous la forme d'onde (quasiment) plane.

Si  $r$  est la distance à l'antenne, dans cette zone  $r > 2D^2/\lambda$  la densité de puissance décroît en  $1/r^2$ .

### I.5. Caractéristiques électriques

Une antenne peut être caractérisée par différents paramètres : sa résistance, son impédance, sa fréquence, sa directivité, son gain, son diagramme de rayonnement, sa largeur de faisceau, sa polarisation, sa surface effective.[1]

Le (tableau I.1) illustre quelques paramètres des antennes avec leur notation et unité.

Paramètres	Notion	Unité
Puissance fournie à l'antenne	$P_F$	[W/m <sup>2</sup> ]
Puissance émise	$P_E$	[W]
Puissance reçue	$P_R$	[W]
Directivité de l'antenne	$D(\theta, \varphi)$	dB
Gain directif de l'antenne	$G(\theta, \varphi)$	dB
Gain de l'antenne	$G_0$	dB

Tableau I-1 : paramètre des antennes avec leur notation et unité

#### I.5.1. Coefficient de réflexion et Adaptation d'une antenne

Le rôle d'une antenne est de transférer l'énergie électrique d'un signal en énergie électromagnétique avec un minimum de pertes de puissance.

## Chapitre I : Généralités sur les antennes

---

Pour qu'une antenne fonctionne efficacement, on doit s'intéresser au coefficient de réflexion du signal lorsqu'il arrive à l'entrée de l'antenne. Le coefficient de réflexion permet de connaître la qualité d'adaptation d'une antenne, il est défini comme étant le rapport de la puissance réfléchie par l'antenne  $P_r$  et la puissance émise par le générateur et qui est transportée par la ligne de transmission jusqu'à l'antenne  $P_i$  :

$$|S_{11}|^2 = \frac{P_r}{P_i} \quad (\text{I.1})$$

Plus son module tend vers l'infini, plus l'antenne est adaptée. D'après la théorie des lignes de transmission, le coefficient de réflexion peut s'exprimer comme :

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

$Z_e$  : L'impédance d'entrée d'antenne

$Z_0$  : L'impédance de caractéristique de la ligne

$|S_{11}|^2$  est exprimé en décibel (dB) :

$$|S_{11}|_{dB} = 20 \log |S_{11}| \quad [\text{25}] \quad (\text{I.3})$$

### I.5.2 Directivité

La directivité (parfois appelée gain directionnel) d'une antenne est définie comme le rapport de la densité de puissance surfacique  $P(r, \theta, \phi)$  rayonnée par l'antenne et la densité de puissance surfacique  $P_{iso}$  rayonnée par l'antenne isotrope.

L'antenne isotrope est une antenne fictive émettant la même puissance dans toutes les

Directions [4]

$$D(\theta, \varphi) = \frac{p(r, \theta, \varphi)}{p_{iso}} \quad (\text{I.4})$$

Qui peut aussi s'écrire :

$$D(\theta, \varphi) = \frac{4\pi r^2 P(r, \theta, \varphi)}{P_r} \quad (\text{I.5})$$

$P_r$  étant la puissance totale rayonnée par l'antenne et  $r$  la distance.

## Chapitre I : Généralités sur les antennes

---

La directivité indique dans quelles directions la densité de puissance est meilleure ou moins bonne que celle de l'antenne isotrope.

### I.5.3 Gain en puissance et rendement

Le gain se définit de la même manière que la directivité mais en tenant compte des pertes,

C'est-à-dire en remplaçant la puissance rayonnée par la puissance fournie  $P_F$  à l'antenne :

$$G(\theta, \varphi) = \frac{4\pi r^2 P(r, \theta, \varphi)}{P_F} \quad (\text{I.6})$$

Le rendement d'une antenne est défini ainsi :

$$\eta = \frac{G(r, \theta, \varphi) P_F}{D(r, \theta, \varphi) P_F} (< 1) \quad (\text{I.7})$$

Le gain en puissance dépend de la fréquence du signal émis. Il est très faible aux basses fréquences mais atteint des valeurs de 75% à 95% pour des fréquences supérieures à 1 MHz. On utilise surtout le gain maximal

$$G = \max [G. (\theta, \varphi)] \quad (\text{I.8})$$

Les plus grands gains sont obtenus avec des antennes paraboliques (20 à 60 dB) [5]

#### ➤ Remarque

Une antenne est un élément strictement passif qui n'amplifie pas le signal. Son gain, par définition, représente la concentration de puissance dans une direction privilégiée par rapport à une antenne isotrope sans pertes.

On déduit la densité de puissance maximale d'une antenne par rapport à la puissance fournie  $P_F$ .

$$P(r, \theta, \phi) = G \frac{P_F}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \quad (\text{W/m}^2) \quad (\text{I.9})$$

De fait, le gain en puissance d'une antenne est un paramètre plus intéressant que sa directivité ; en effet, comme le rendement  $\eta$  est inclus, on peut calculer la densité de puissance en introduisant directement la valeur de la puissance fournie  $P_F$  [5]

### I.5.4 Le VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)

Dans les notes d'application d'antennes, l'adaptation de l'antenne est souvent caractérisée par le rapport d'onde stationnaire (ROS) ou Voltage Standing Wave Ratio (VSWR). Lorsqu'il y a désadaptation, la réflexion d'une partie de l'onde incidente et l'addition avec l'onde incidente conduit à l'apparition d'une onde stationnaire dans la ligne qui relie l'antenne à la source (ou au récepteur). [7]

$$\text{Le VSWR est donné par : } VSWR = \frac{1+|S_{11}|}{1-|S_{11}|} \quad (\text{I.10})$$

$$\text{Avec } : S_{11} = \frac{V_r}{V_i} = \frac{Z_{an}-Z_c}{Z_{an}+Z_c} \quad (\text{I.11})$$

$V_r$  : Amplitude de l'onde réfléchie.

$V_i$  : Amplitude de l'onde incidente.

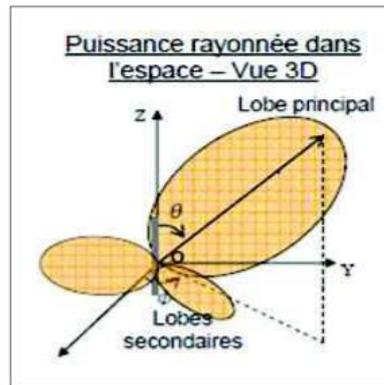
Le VSWR minimal correspondant à une bonne adaptation. Une bonne conception d'antenne doit avoir une impédance de 50  $\Omega$  à 75  $\Omega$ .

### I.5.5 Diagramme de rayonnement

C'est la représentation du rapport des gains en puissance  $\text{Max } G(\theta, \phi) / G_{\text{MAX}}$ . Parfois, c'est tout simplement la représentation du gain  $G(\theta, \phi)$  lui-même. On utilise aussi le diagramme champ en remplaçant le gain par le champ électrique. [1]

Différents types de représentation des diagrammes sont utilisées :

- Représentation en trois dimensions qui donne une idée de la répartition de la puissance rayonnée dans l'espace (figure I.4).
- Représentation en coordonnées polaires dans des plans choisis, (figure I.5)
- Représentation en coordonnées cartésiennes (échelle linéaire)
- Représentation en coordonnées cartésiennes (échelle logarithmique) : cette échelle est habituellement souhaitable parce qu'une échelle logarithmique peut accentuer les détails des parties du diagramme qui ont des valeurs très basses. (Figure I.6)



Figure(I.4) : Diagramme en trois dimensions [ 1]

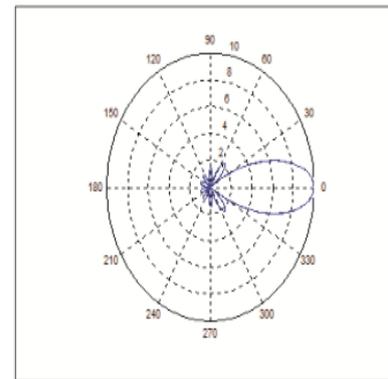
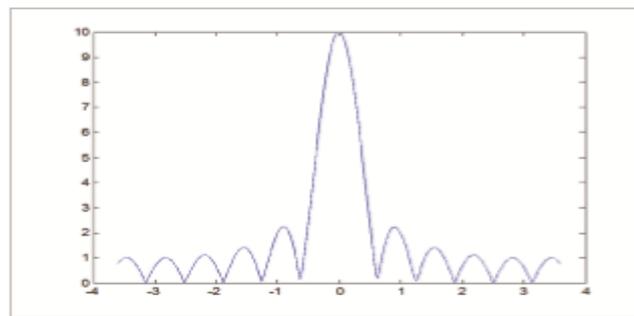


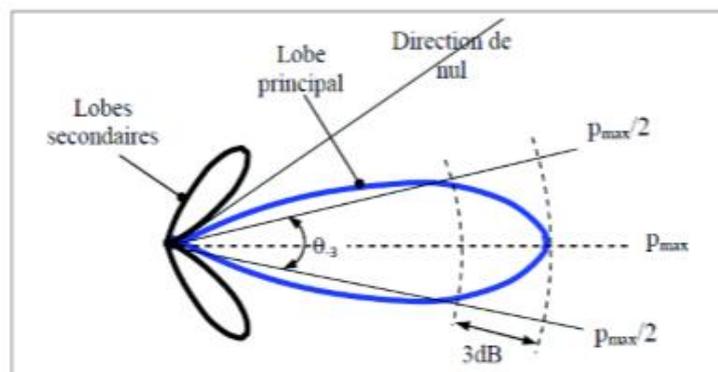
Figure (I.5) : Diagramme en coordonnées polaires [1]



Figure(I.6) : Diagramme en coordonnées cartésiennes (échelle logarithmique) [1]

## I.5.6. Lobe principal, lobes secondaires et angle d'ouverture

Généralement dans un plan donné, le diagramme de rayonnement d'une antenne directive comprend un lobe principal et des lobes secondaires qui sont indésirables. La plus grande partie de la puissance rayonnée est contenue dans un cône d'ouverture HPBW (Half Power Beam Wide) défini à mi-puissance, ce qui correspond à une chute de 3 dB par rapport à la puissance maximale ou à un champ max divisé par 2 (**figure I.7**) [1]



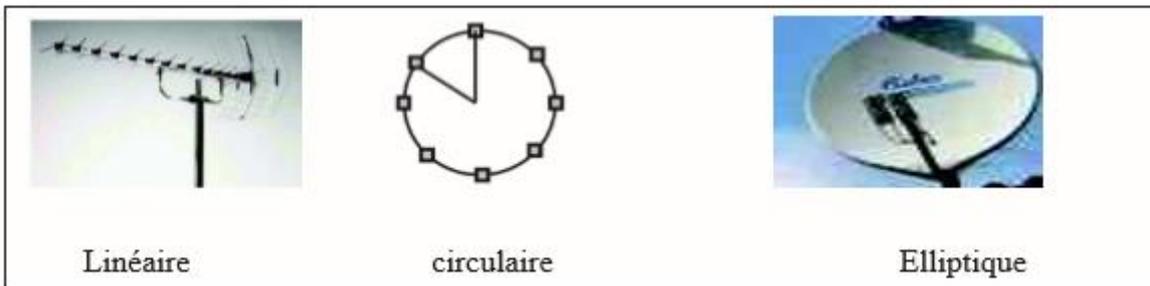
Figure(I.7) : Ouverture mi-puissance.[1]

### I.5.7. La Polarisation

La polarisation d'une antenne dans une direction donnée est définie comme « la polarisation de l'onde transmise (rayonnée) par l'antenne, c'est-à-dire de la direction du champ électrique émis par l'onde. Quand la direction n'est pas énoncée, la polarisation est prise pour être la polarisation dans la direction du gain maximum. » dans la pratique, la polarisation de l'énergie rayonnée varie avec la direction de l'antenne, de sorte que les différentes parties du diagramme puissent avoir différentes polarisations [6].

Les antennes peuvent émettre des ondes à polarisation (**Figure I.8**)

- ✓ Linéaire : le champ électrique conserve une direction constante. Dans ce cas on a deux types de polarisations : la polarisation verticale et horizontale.
- ✓ Elliptique : l'extrémité du champ électrique décrit une ellipse lors de sa propagation.



**Figure I-8 : Les différentes polarisations d'une antenne [6]**

### I.5.8. La Bande Passante

La bande passante de l'antenne correspond à l'intervalle de fréquence d'utilisation de l'antenne en émission ou en réception avec une efficacité de 50% et plus. On obtient une large bande passante lorsque le gain de l'antenne est important. C'est un paramètre exprimé en pourcentage (%) et qui est donné par :

$$B (\%) = 100 * \frac{F_s - F_i}{F_c} \quad (\text{I.12})$$

(Typiquement  $B = 10$  à  $20\%$ ) où :

$F_c$  est la fréquence centrale d'utilisation pour laquelle l'antenne est conçue,

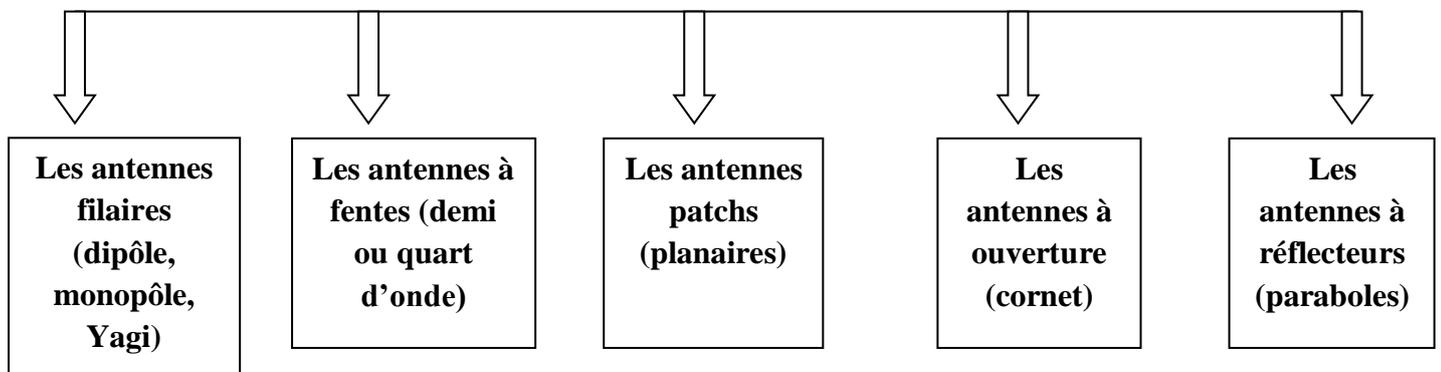
$F_s$  et  $F_i$  les fréquences limites supérieures et inférieures. [13]

## I.6. Les types d'antennes

Selon la Forme géométrique	Selon le Gain	Selon la Forme de faisceau	Selon la Largeur de bande
<b>Antennes filaires :</b> <b>Dipôles, boucle, spirale</b>  <b>Antennes d'ouverture :</b> <b>Cornet, fente</b>  <b>Antennes imprimées :</b> patch, dipôles imprimé, spirale	Gain élevé : planaire  Gain moyen : cornet  Gain faible : dipôle, boucle, fente, patch	Omnidirectionnelle : dipôle  Faisceau d'étroit : planaire  Faisceau large : antenne réseau	Bande large : spirale  Bande étroite : patch, fente

**Tableau I-2 : Représentation la classification des antennes**

On va voir les grandes familles d'antennes à l'origine de l'ensemble des structures rayonnantes : [25]



**Figure I-9 : Les types des antennes.**

## Chapitre I : Généralités sur les antennes

---

### I.6.1. Les antennes filaires

Les antennes filaires sont les antennes les plus courantes car elles sont les plus simples et les moins onéreuses on les voit partout sur les toits les avions les voitures. Etc., Parmi ces antennes : [25]

#### a. Antennes dipôles

Le dipôle est l'antenne de référence est constituée de deux 2 tiges cylindriques de diamètre fin, très courts et relie chacun à deux fils parallèles et très proches constituant une ligne bifilaire. Relier à un générateur alternatif en émission, à la réception cette ligne branchée sur le récepteur. [7][2]

Ces antennes du type filaire ont de nombreuses applications. Citons rapidement les antennes pour réception radio, les antennes de talkie- walkie, etc.

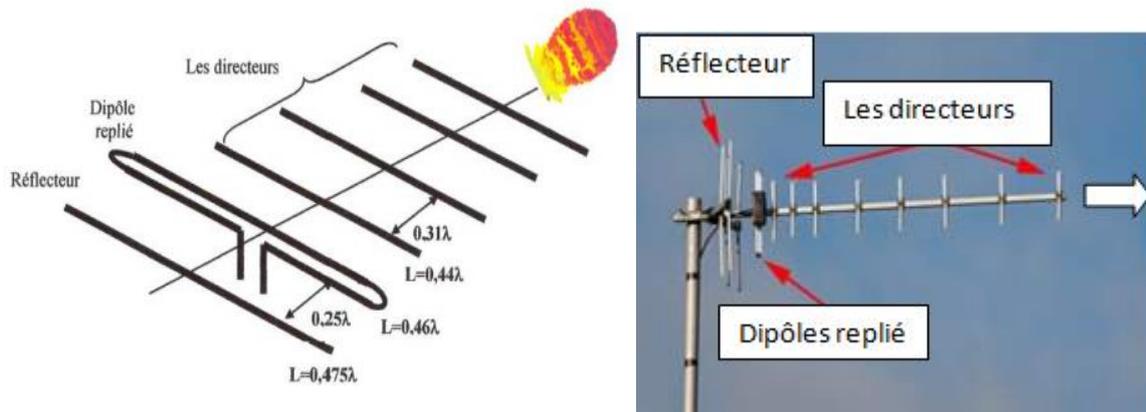


Figure I-10 : Antenne dipolaire [2]

#### b. L'antenne Yagi

Le dipôle est souvent utilisé en association avec des brins purement passifs qui permet de rendre le diagramme plus directif :

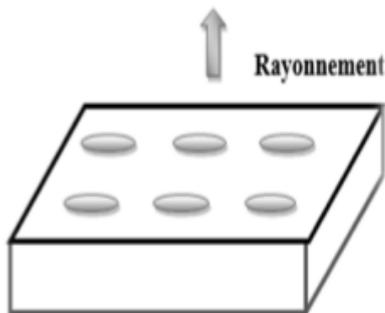
- Un brin réflecteur légèrement plus long que le brin actif ou une surface réflectrice
- Plusieurs brins directeurs un peu plus courts. [9]



Figure(I.11) : L'antenne Yagi [9]

### I.6.2. Les antennes à fentes

Le guide d'onde est le dispositif souvent utilisé dans la transmission de ce type d'antenne, ce dernier est très utilisé dans les avions ou les vaisseaux spatiaux car ils peuvent être facilement montés sur leurs surfaces. [2]



Figure(I.12) : Réseau de fentes [2]

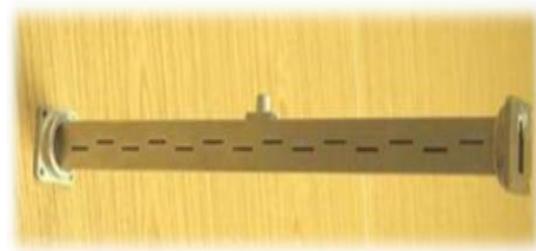


figure (I.13) : Réseau de fentes réel[2]

### I.6.3. Les antennes patches

L'antenne imprimée, appelée aussi antenne patch est un type récent d'antenne constituée d'un diélectrique, possédant un plan de masse métallique sur une face. Sur l'autre face, une gravure métallique permet de supporter des courants de surface. L'avantage de l'antenne de patch est que les gravures des parties métalliques peuvent prendre des formes très variées en fonction de des objectifs fixés pour la répartition du rayonnement dans l'espace. Aussi le faible coût de fabrication. [2][7]

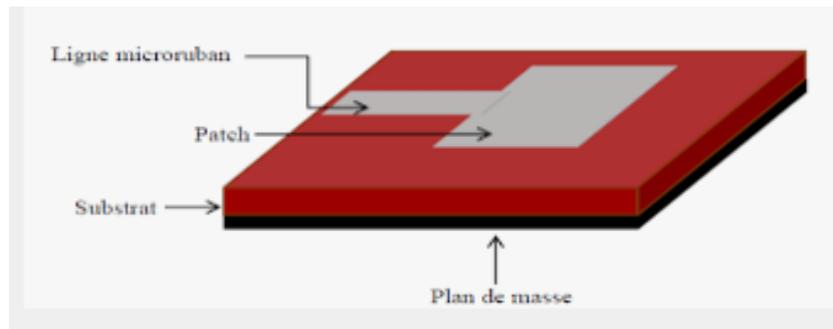


Figure I-14: Antenne patch [7]

### I.6.4. Les antennes à ouverture (cornet)

Le guide d'onde rectangulaire est un dispositif très utilisé pour la propagation d'ondes guidées son utilisation est très répandue en hyperfréquence car il offre une qualité de transmission excellente en lui ajoutant un cornet la directivité du guide peut être considérablement augmentée. [25]

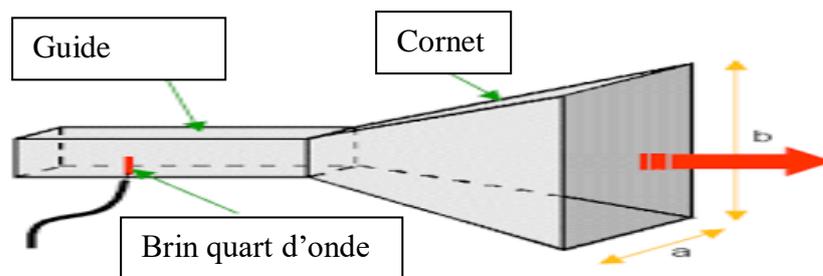


Figure I-15: Antenne cornet [25]

### I.6.5. Les antennes à réflecteurs

Le besoin de la communication à très grande distance augmente l'exigence d'élaborer des nouvelles formes d'antenne capables de transmettre et de recevoir des signaux à travers des millions de km.

Une forme nommée réflecteur parabolique constituée de la source d'émission à une partie métallique réfléchissante, reconnaissable par leur forme, parabolique à l'arrière et conique à l'avant du fait de la forme du radôme qui protège la source, placée au foyer. Cette forme répondue à ces besoins et considérée comme une des meilleures antennes directives est donc très utilisée au-delà de 1 GHz.

- L'onde se réfléchit sur la parabole et se concentre au foyer
- L'embouchure du guide d'onde est placée au voisinage du foyer
- Le diamètre du réflecteur parabolique est  $D$ . [2]

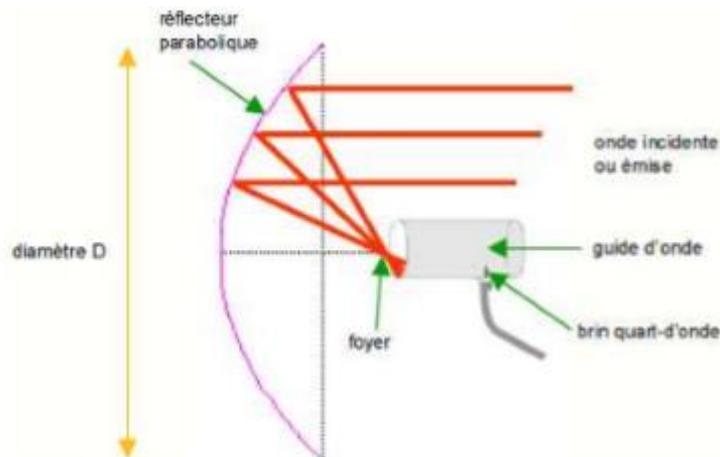


Figure I-16 : Schéma illustrant l'antenne parabolique [2]

### I.7. Les antennes imprimées

Avec développement technologique actuel, les contrôles et les commandes à distance, ont fait apparaître la nécessité croissante de réaliser des dispositifs micro-ondes peu coûteux et peu encombrants, faisant appel à une technologie simple et économique. Les systèmes microondes à structure micro ruban ont été à l'origine du développement des antennes imprimées (antennes plaques ou antennes patch) vu que sont des antennes très populaires de nos jours et très utilisées. Par rapport à sa taille réduite et son pouvoir d'adaptation aux surfaces planes et non plane.

#### I.7.1. Définition et structure d'une antenne imprimée

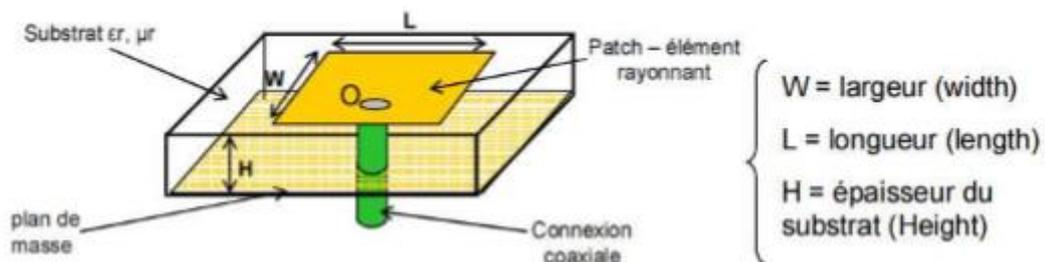
Une antenne à éléments rayonnants imprimés, communément appelée antenne patch est une ligne micro-ruban (microstrip) de forme particulière. Elle effectue ainsi deux fonctions fondamentales qui définissent le principe d'antenne de manière générale, il s'agit bien du rayonnement (émission) et de la réception d'une onde électromagnétique. Elle se compose de : [10]

- **Le plan de masse (ground plane) :** est une surface conductrice (cuivre) recouvrant la partie inférieure du substrat. Elle permet de faire rayonner la partie supérieure.
- **Un substrat diélectrique (diélectrique substrat) :** composé d'un matériau isolant, d'épaisseur généralement faible devant la longueur d'onde et de permittivité relative ( $2,2 < \epsilon_r < 12$ ). Il est utilisé pour augmenter la puissance rayonnée par l'antenne et réduire les pertes par effet de joule et amélioré la bande passante de l'antenne

## Chapitre I : Généralités sur les antennes

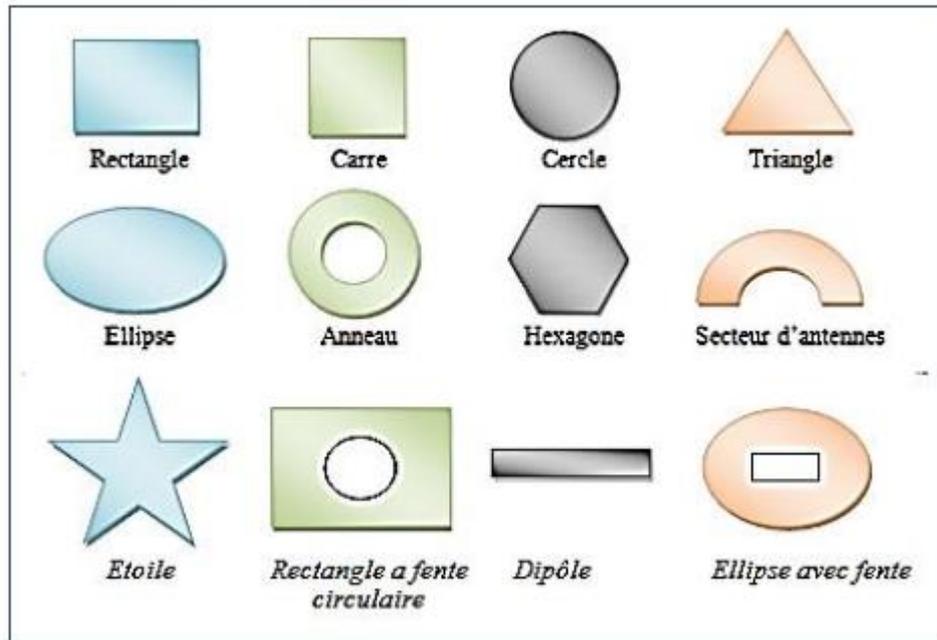
Parfois, il est préférable d'utiliser des substrats diélectriques d'épaisseur importante et de faible permittivité pour avoir une grande efficacité et une large bande passante.

• **L'élément rayonnant (patch) :** est une partie métallique de forme et de taille à définir selon l'application, à géométrie variable (circulaire, rectangulaire, triangulaire ... etc.). Il doit être relié au reste du circuit par une ligne de transmission qui doit être adaptée l'impédance à l'antenne et au reste du circuit afin d'éviter le phénomène de réflexion. Dans la pratique, le rectangle et le disque représentent les formes de l'élément rayonnant les plus utilisées. Il est constitué d'une partie conductrice qui va rayonner. La forme et les dimensions conditionnent la fréquence de fonctionnement de l'antenne. [11]



**Figure I-17 : Structure d'une antenne patch rectangulaire [11]**

L'élément rayonnant de l'antenne patch peut prendre plusieurs formes qui peuvent être rectangulaire, carrée circulaire ou simplement un dipôle de dimension d'ordre de demi longueur d'onde ( $\lambda/2$ ). Les formes suivantes sont les plus courantes car elles présentent une grande facilité d'analyse et de fabrication, mais également un diagramme de rayonnement très intéressant.



**Figure I-18 : Différentes formes d'élément rayonnant [11]**

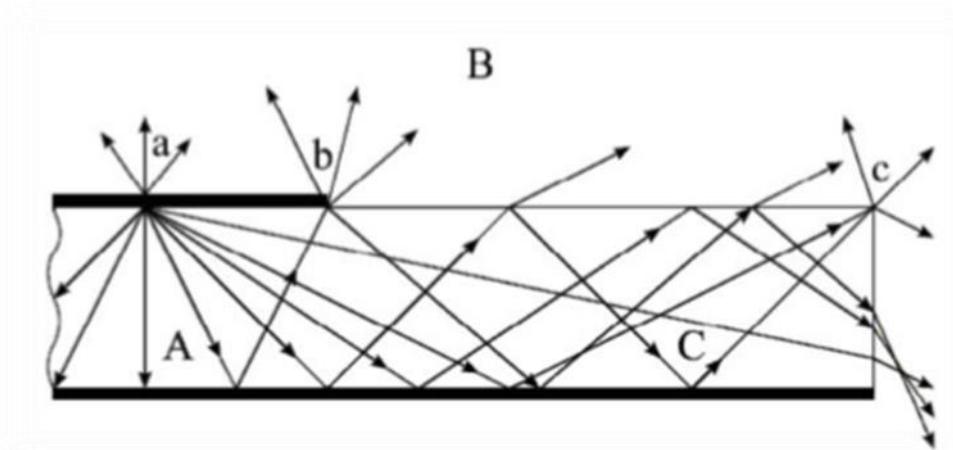
Parmi toutes les formes des éléments rayonnant, le rectangle est le plus facile à appréhender pour la compréhension des mécanismes de rayonnement des antennes patch

Les antennes imprimées possèdent comme on a déjà souligné une facilité d'intégration et elles sont largement utilisées, leurs applications couvrent un large domaine de fréquence (100 MHz à 100GHz).

- ✓ Faible poids, masse, épaisseur, et volume.
- ✓ Possibilité d'être intégrées dans des appareils électroniques transportable.
- ✓ Faible cout et facilité de fabrication.
- ✓ Capables d'émettre à deux ou trois fréquences.
- ✓ Simples, robustes, et moins encombrantes et adaptables aux surfaces planes et non
- ✓ Planes. [26] [16]

### **I.7.2. Mécanisme de radiation**

Pour comprendre comment fonctionne une antenne patch, considérons la coupe donnée sur la figure (I.19). Au point **a** du conducteur supérieur, on considère une source ponctuelle (densité de courant de surface) qui rayonne dans toutes les directions, une partie du signal émis est réfléchi par le plan de masse, puis par le conducteur supérieur et ainsi de suite. Certains des rayons aboutissent sur l'arrête du conducteur (point **b**) qui les diffracte. [12]



**Figure I-19 : Trajectoires des rayons dans une antenne patch [12]**

Cette figure peut être divisée en trois régions distinctes :

**Région A :** Dans le substrat, entre les deux plans conducteurs, les rayons sont les plus concentrés. Le champ électromagnétique s'accumule dans cette région de l'espace. Cette propriété est très utile pour la propagation du signal le long d'une ligne micro-ruban.

**Région B :** Dans l'air, au-dessus du substrat, le signal se disperse librement dans l'espace et contribue au rayonnement de l'antenne. Comme les courants de surface circulent surtout sur la face inférieure du conducteur supérieur (côté diélectrique), le rayonnement est surtout émis par le voisinage immédiat des arêtes. Certains modèles simplifiés mettent à profit cette constatation : ils considèrent le rayonnement d'un ensemble de fentes fictives situées sur le pourtour de l'antenne.

**Région C :** Certains rayons atteignent les surfaces de séparation avec une incidence rasante et restent piégés à l'intérieur du diélectrique. Il s'agit du mécanisme de la réflexion totale dont font usage les fibres optiques. Une onde de surface est alors guidée par le bord du diélectrique, ne contribuant pas directement au rayonnement de l'antenne. Toutefois, quand cette onde atteint le bord du substrat (point c), elle est diffractée et génère un rayonnement parasite. Dans le cas d'une antenne en réseau, l'onde de surface crée un couplage entre les éléments du réseau. Le diagramme de rayonnement de l'antenne peut être perturbé par la présence d'onde de surface, notamment au niveau de lobes secondaires.

### **I.7.3. Les techniques d'excitation d'une antenne microbande**

L'excitation est un point très important en étudiant des antennes imprimées. En effet, l'énergie est fournie à l'élément rayonnant d'une manière où on peut influencer directement

## Chapitre I : Généralités sur les antennes

---

sur son rayonnement et modifier ses performances. L'alimentation de l'antenne dépend de la manière dont l'antenne est intégrée dans le dispositif. Les méthodes d'alimentation des antennes microbandes peuvent être classées en deux catégories :

Les alimentations par contact (par sonde ou ligne micro ruban).

Les alimentations par proximité (couplage électromagnétique par ligne ou fente). [11]

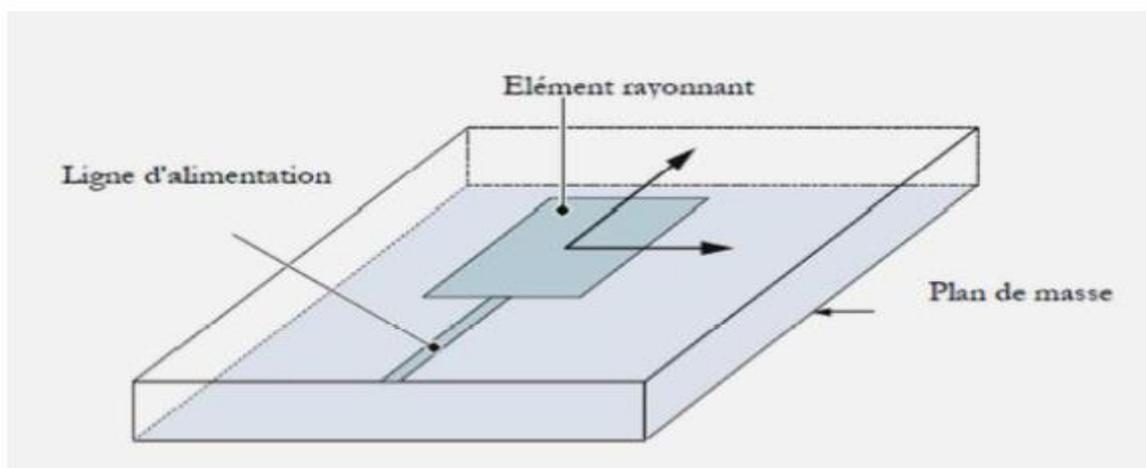
### I.7.3.1 Alimentation directe (avec contact)

Dans cette technique d'alimentation avec contact, On peut distinguer deux types.

#### I.7.3.1.1. Alimentation par ligne micro-ruban

Cette technique consiste à placer une ligne micro-ruban (généralement de 50 Ohms) en contact avec l'élément rayonnant « **Figure (I.20)** ». La longueur de la ligne est considérée plus petite que les dimensions du patch. Ce principe assez simple à réaliser fournit la possibilité de fabriquer une structure planaire sur un substrat diélectrique.

Cet avantage est l'origine d'une large utilisation d'une alimentation micro-ruban dans les réseaux d'antennes imprimées de différentes formes. [14]



**Figure (I.20) : Alimentation par ligne micro-ruban [14]**

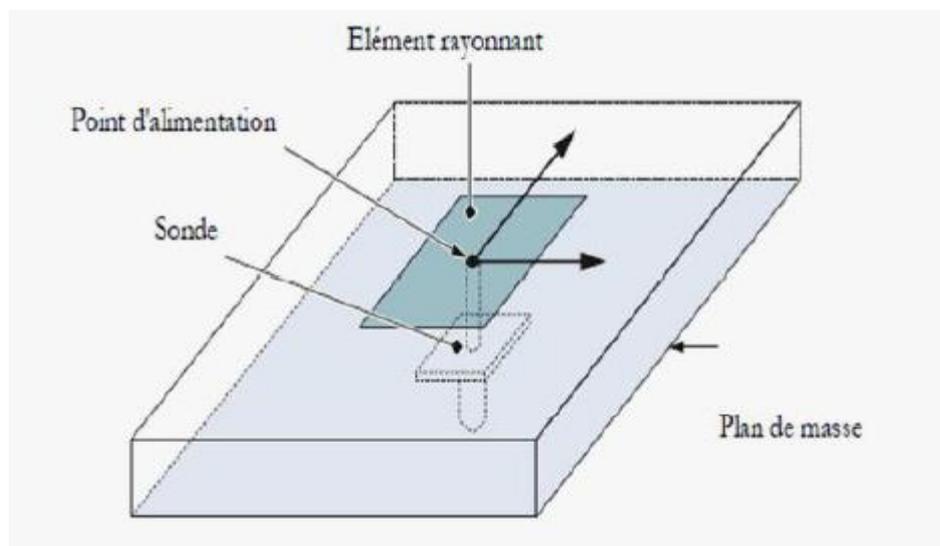
#### I.7.3.1.2. Alimentation par câble coaxiale

L'alimentation avec câble coaxiale ou alimentation par sonde est une technique très utilisée pour alimenter les antennes micro rubans « **Figure (I.21)** ». Dans ce cas, le

## Chapitre I : Généralités sur les antennes

conducteur intérieur du connecteur coaxial traverse le diélectrique et est soudé au patch, alors que le conducteur externe est relié au plan de masse.

L'avantage principal de ce type d'alimentation est qu'elle peut être appliquée à n'importe quel endroit choisi à l'intérieur du patch, avec une facilité de fabrication. Cependant, cette méthode présente des inconvénients au niveau du diagramme de rayonnement. En effet, la connexion génère un pic de courant localisé au niveau de l'élément rayonnant qui peut induire une dissymétrie dans le diagramme de rayonnement. De plus, des pertes apparaissent avec le perçage du plan de masse, du diélectrique ainsi que de l'élément rayonnant. [15]

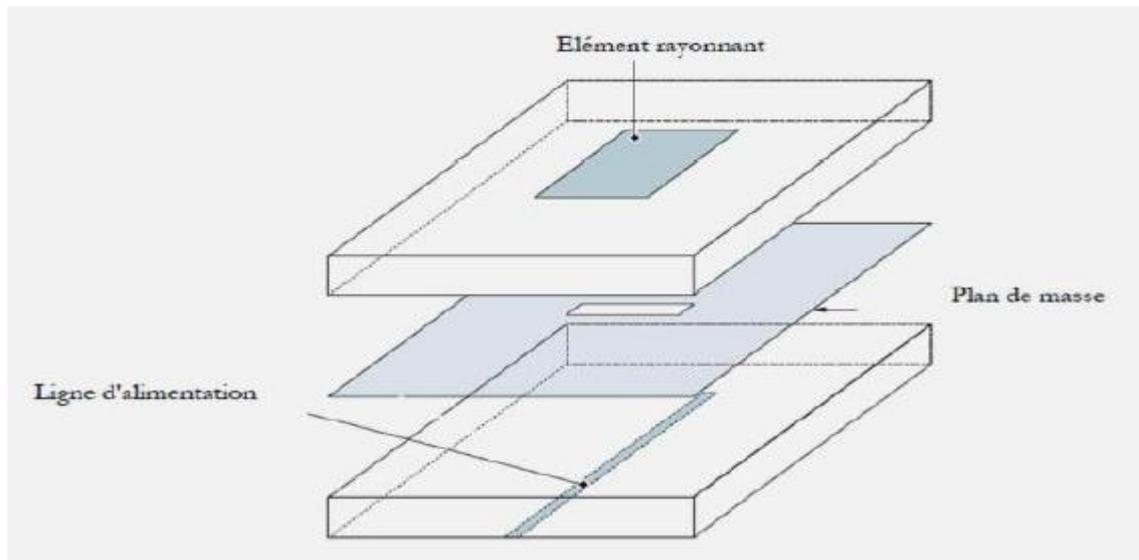


**Figure (I.21) : Alimentation par câble coaxiale [15]**

### I.7.3.2. Alimentation par couplage (sans contact)

#### I.7.3.2.1. Alimentation par ouverture (fente)

Dans ce type d'alimentation, le patch de rayonnement et la ligne d'alimentation du micro ruban sont séparés en plan de masse comme indique « **la figure (I.22)** ». La jonction entre le patch et la ligne d'alimentation est faite par une ouverture ou une fente dans le plan de masse. Le plan de masse isole la ligne d'alimentation de l'élément rayonnant et limite l'interférence de l'élément parasite sur le diagramme de rayonnement et offre une plus grande pureté de polarisation [17]. 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 [11].



**Figure (I.22) : Alimentation couplée par ouverture [15]**

### I.7.3.2.2. Alimentation Par Proximité

Ce type d'alimentation est représenté sur **la figure (I.23)**, deux substrats d'électriques sont employés tels que la ligne d'alimentation est entre les deux substrats et le patch de rayonnement est sur le substrat supérieur [11].

La meilleure bande passante pouvant atteindre 13% est réalisable en utilisant l'alimentation par couplage de proximité illustrée par **la figure (I.23)**.

L'avantage de cette technique d'alimentation réside dans l'affaiblissement du rayonnement parasite et la facilité du couplage, ce dernier peut être optimisé par l'ajustement des dimensions de la ligne. Cependant elle est très difficile à mettre en œuvre [18].

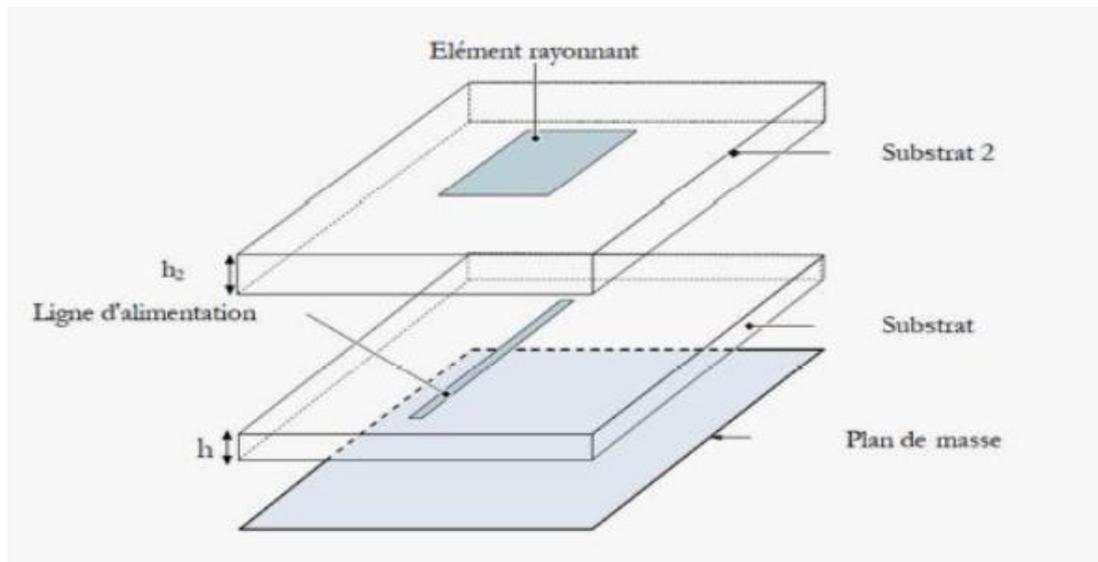


Figure (I.23) : Alimentation couplée par proximité [15]

### I.7.4 Techniques d'adaptation des antennes imprimées

Chaque système qui transforme l'énergie sur une ligne de transmission a besoin d'adaptation ; la ligne transforme l'impédance de charge en une autre valeur d'impédance au droit de la source. Ce que voit la source dépend donc de l'impédance de charge, de la longueur électrique de la ligne et de son impédance caractéristique [8].

**I.7.4.1 Adaptation par ligne quart d'onde :** dans la construction de circuits hyperfréquences, on recherche souvent l'adaptation, c'est à dire à se ramener à une impédance différente (qui est souvent l'impédance caractéristique) de celle obtenue en fin de circuit [8].

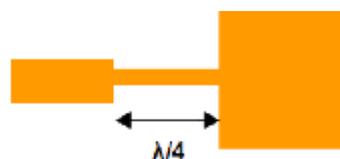


Figure (I.24) : Adaptation par ligne quart d'onde [8]

**I.7.4.2 Adaptation par stub :** une autre façon de procéder pour arriver à l'adaptation d'une charge quelconque consiste à utiliser un stub. Grâce à un stub en un circuit ouvert (open stub) ou en court-circuit (short stub). La solution retenue est généralement celle présentant le plus faible encombrement. Le raisonnement peut se faire en impédance mais

## Chapitre I : Généralités sur les antennes

il est plus facile de travailler dès le départ en admittance pour faire la somme des impédances parallèles ramenées [8]

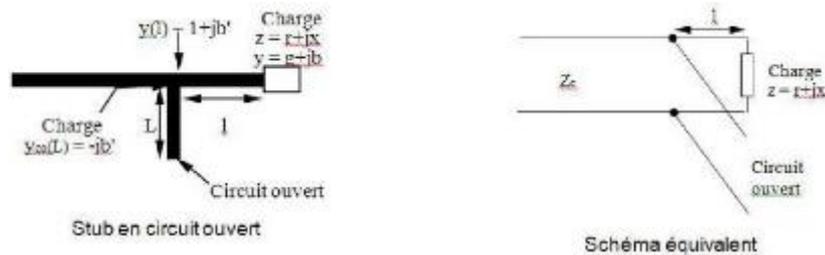


Figure (I.25) : stub en circuit ouvert [8].

**I.7.4.3 Adaptation avec encoche :** Pour adapter l'antenne, on utilise des encoches, il suffit de modifier la géométrie du patch Les dimensions des encoches [8].

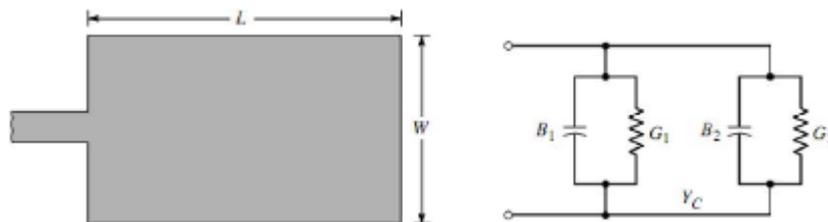


Figure (I.26) : Patch rectangulaire [8]. Figure (I.27) : L'équivalence en circuit [8].

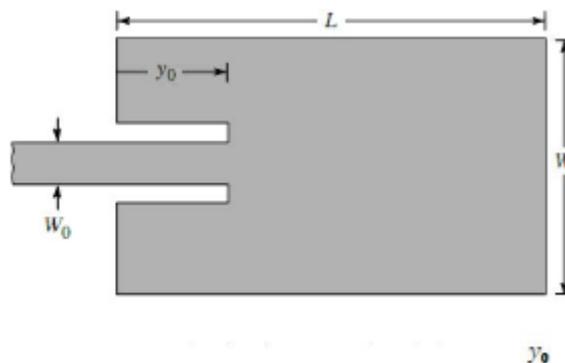


Figure (I.28) : Patch adapté par encoches de longueur [8]

### I.7.5 Méthodes d'analyse

Plusieurs méthodes sont utilisées pour l'analyse des antennes micro-ruban. La plupart de ces méthodes peuvent être classés dans une des deux catégories : méthodes approximatives et méthodes rigoureuses (Full-wave) [19] [20].

Les méthodes approximatives sont basées sur des hypothèses simplificatrices donc elles ont des limitations et elles fournissent des solutions moins précises. Elles sont

## Chapitre I : Généralités sur les antennes

---

généralement utilisées pour la modélisation des antennes à élément unique à cause de la difficulté rencontrée dans la modélisation du couplage entre les différents éléments. Cependant, elles offrent un bon aperçu physique avec un temps de calcul généralement très petit. Les méthodes rigoureuses tiennent compte de tous les mécanismes importants de l'onde et s'appuient énormément sur l'utilisation d'algorithmes numériques efficaces. Lorsqu'elles sont appliquées convenablement, les méthodes rigoureuses sont très précises et peuvent être employées pour la modélisation d'une variété d'antennes y compris les antennes réseaux. Ces méthodes ont tendance à être plus complexes et fournissent moins d'aperçu physique. Souvent, elles nécessitent plus de calculs et donc un temps de calculs élevé [19] [21].

### I.7.5.1 Méthodes approximatives (analytiques)

Les méthodes approximatives prennent en compte au départ la nature des phénomènes physiques, ce qui permet d'effectuer des approximations, permettant la modélisation du modèle en question. Parmi ces méthodes, on cite :

- Le modèle de la ligne de transmission ;
- Le modèle de la cavité.

#### I.7.5.1.1 Le modèle de la ligne de transmission

Le modèle de la ligne de transmission est considéré comme le plus simple. Ce modèle exploite l'analogie qui existe entre un patch d'une antenne imprimée et un tronçon d'une ligne de transmission ayant deux bords rayonnants. Ce modèle prend en compte au départ la nature des phénomènes physiques, ce qui permet d'effectuer des approximations, permettant la modélisation du modèle. Dans le modèle de la ligne de transmission, l'inconnu à déterminer est la constante de propagation. Les pertes par rayonnement sont incluses dans le coefficient d'atténuation de la constante de propagation. Cependant, cette technique ne rend pas compte des effets des modes d'ordre supérieur [17].

La fréquence de résonance pour le mode  $T_{m0}$  peut être évalué à :

$$f_{rm} = \frac{mc}{2(L+\Delta L)\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (I.13)$$

Avec :

## Chapitre I : Généralités sur les antennes

$$\Delta L = 0.412t \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{W}{t} + 0.264\right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{W}{t} + 0.8\right)} \quad (\text{I.14})$$

**C** : vitesse de la lumière

**m** : indice du mode

**L** : longueur du patch

Le mode dominant est le mode  $T_{10}$

$\epsilon_{\text{eff}}$  est la constante diélectrique effective. Elle représente la constante diélectrique, homogène et fictive, de la structure réelle air-substrat comme il est illustré sur « la figure (I.29) ».

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 10 \frac{t}{w}\right) - \alpha\beta \quad (\text{I.15})$$

Avec :

$$\alpha = 1 + \frac{1}{49} \text{Log} \frac{\left(\frac{W}{t}\right)^4 + \left(\frac{1W}{52T}\right)^2}{\left(\frac{W}{t}\right)^4 + 0.432} + \frac{1}{18.7} \log \left[1 + \left(\frac{1W}{18.1t}\right)^3\right]$$

$$0.564 \left(\frac{\epsilon_{reff} - 0.9}{\epsilon_{reff} + 0.3}\right)^{0.053}$$

Dans d'autres littératures, l'équation (I.15) s'écrit :

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 10 \frac{t}{w}\right)^{-1/2}$$

Ou

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{t}{w}\right)^{-1/2}$$

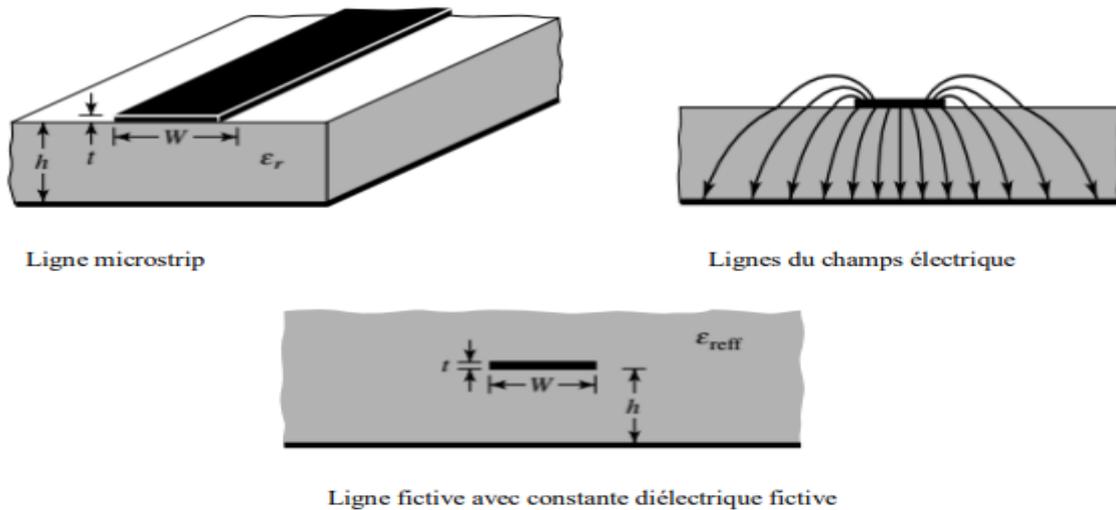


Figure (I.29) : Modèle de la ligne de transmission [17]

### I.7.5.1.2 Le modèle de la cavité

La structure imprimée peut être assimilée à une cavité fermée par deux murs électriques en bas par un plan de masse en  $z = 0$ , en haut par une plaque conductrice en  $z = h$ , et par des murs magnétiques verticaux. Une longueur et une largeur effective sont introduites pour prendre en compte les débordements des champs sur les bords de l'antenne. Pour l'excitation, on prend pour modèle un courant électrique  $J$  parallèle à l'axe  $oz$  « Figure (I.30) » et répartie uniformément.

Pour calculer le champ interne à la cavité, on utilise la méthode dite de raccord de mode. Elle consiste à diviser la cavité en deux régions I et II dépourvues de sources et ensuite à résoudre l'équation de Helmholtz (sans second membre) dans chaque région. Les champs lointains sont donnés par le rayonnement des ouvertures verticales et la puissance totale rayonnée est obtenue en intégrant le champ lointain dans tout le demi-espace supérieur [19].

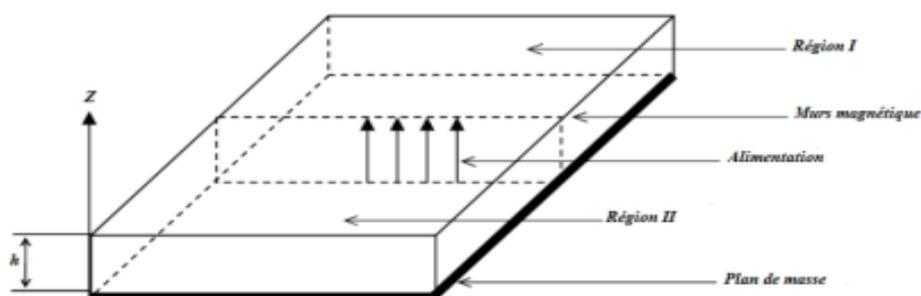


Figure (I.30) : Modèle de la cavité [19]

### I.7.5.2 Méthodes numériques

#### I.7.5.2.1 Méthodes des éléments finis

La méthode des éléments finis basée sur la résolution des équations de Maxwell et sur la description géométrique de la structure sous forme d'un maillage. Elle consiste à diviser l'espace en petits éléments homogènes mais de taille pratiquement très variable, ce qui constitue l'un des points forts de cette méthode. Cette méthode permet de calculer, en chaque point des éléments divisant l'espace, les champs électriques qui minimisent la fonction d'énergie [22]. La méthode des éléments finis est implémentée dans quelques codes commerciaux tels que le fameux logiciel HFSS d'Ansoft [21].

#### I.7.5.2.2 Méthodes des différences finies

Elle notée F.D.T.D. Elle permet de calculer à chaque instant discret de l'espace, les composantes du champ électromagnétique dans chaque cellule élémentaire du volume tridimensionnel. On applique la transformée de Fourier à la réponse temporelle pour obtenir la réponse fréquentielle du système [23].

La méthode des différences finies a été implémentée dans des logiciels commerciaux tels que Fidelity de Zeland [21].

#### I.7.5.2.3 La méthode de la matrice des lignes de transmission TLM

La méthode de la matrice des lignes de transmission TLM permet de discrétiser les champs et les courants de la structure étudiée en petits éléments, chacun de ces éléments est considéré comme un ensemble de ligne de transmission et les calculs s'effectuent directement dans le domaine temporel [23].

#### I.7.5.2.4 La méthode des moments

L'utilisation de la méthode des moments dans les problèmes électromagnétiques a été développée pour la première fois par Newman, est une manière de résolution d'équations intégrales qui permet de réduire celles-ci en un système d'équations linéaires appliqués aux structures planaires ou quasi-planaires sur les structures 2D [24].

### I.8 Conclusion

La maîtrise de la théorie des antennes est plus que nécessaire, notre objectif de ce chapitre est de comprendre le principe de fonctionnement des antennes basées sur les types et caractéristiques des antennes en général. Ensuite, on a détaillé les antennes imprimées, on a donné une petite description : quelques techniques d'alimentation ainsi que son mécanisme de base.

Après ce bref aperçu sur les bases des antennes imprimées, le chapitre suivant sera consacré à la technique RFID.

---

*Chapitre II : la technologie  
RFID*

### II.1. Introduction

L'identification par ondes Radio Fréquences, connue sous l'acronyme RFID (Radio Frequency Identification), est une technologie intelligente, performante, flexible et convient à des opérations de lecture automatiques. Actuellement, la technologie d'identification par radiofréquence (RFID) est de plus en plus présente dans notre vie quotidienne. Les systèmes RFID sont principalement utilisés pour identifier les objets et/ou suivre leurs déplacements.

L'objectif de ce chapitre est de présenter la technologie RFID. Dans la première section, une présentation de fonctionnement des systèmes RFID. La seconde section aborde les différents composants de l'identification par onde radio. La troisième section développe les caractéristiques et les applications de la RFID. Enfin la dernière section présente les avantages et les inconvénients de système RFID.

### II.2. Historique

L'origine de la technologie de RFID (Radio Frequency Identification) est largement controversée selon différentes sources. La technologie RFID selon l'approche échaudée sur base du principe de fonctionnement, a vu le jour vers les années 1920. Et en 1945 un ingénieur russe Léon Theremin mis au point un dispositif passif d'écoute à fréquence radio et non une étiquette d'identification. Nous pouvons échelonner l'évolution de la technologie RFID comme suit [27]:

> **Vers les années 40** : La technologie du système RFID avait été utilisée pour la reconnaissance des avions. Les radars étaient le système de lecture qui avait pour rôle d'envoyer un signal questionnant les étiquettes des transpondeurs placés sur les avions afin de distinguer les alliés des ennemis. Et on peut considérer que le système IFF (Identity : Friend or Foe) fût la première forme d'utilisation de la technologie RFID. [27]

> **Au cours des années**, la technologie a pris de l'ampleur, et en particulier vers les années 70 où elle fut une technologie protégée et à l'usage principalement militaire. Les états développés utilisaient cette technologie pour la sécurité et la protection de sites stratégiques et sensibles (secteurs nucléaires et armements lourds). Cependant vers la fin des années 70 cette technologie fut utilisée par le secteur privé et la première application commerciale fut la traçabilité (identification) du bétail dans le continent européen. [27]

## Chapitre II : La Technologie RFID

---

> **Durant les années 80**, l'évolution technologique avec l'invention des microsystèmes utilisant les circuits intégrés conduisit à l'usage des étiquettes passives. Et on remarquera à cette époque une grande diversité de types des étiquettes. [27]

> **Le début des années 90** fut l'époque de la problématique de la standardisation et de la normalisation des équipements de systèmes de la technologie RFID (étiquettes et lecteurs). [27]

> **Au 2000** : C'est un « boom » des applications. Grâce la miniaturisation de la technologie.

> **Au 2004** : La mise en place du standard EPC pour la RFID UHF sous la norme ISO 18000 6C

> **Au 2007** : Première conférence internationale, IEEE exclusivement sur la thématique RFID.

> **Au 2010** : La conférence IEEE RFID-TA fait son apparition de même que la RFID sans puce intègre le marché. Du point de vue de la régulation, la RFID gagne des nouvelles bandes de fréquence et profite de quelques milliwatts supplémentaires autorisés sur certaines fréquences. [34]

Depuis lors, la technologie RFID est utilisée dans plusieurs domaines d'applications, en passant par l'identification, la traçabilité et l'analyse de données. Pour identifier ou suivre de produits, l'on pourra utiliser d'autres technologies notamment le code à barres, les cartes intelligentes. [27]

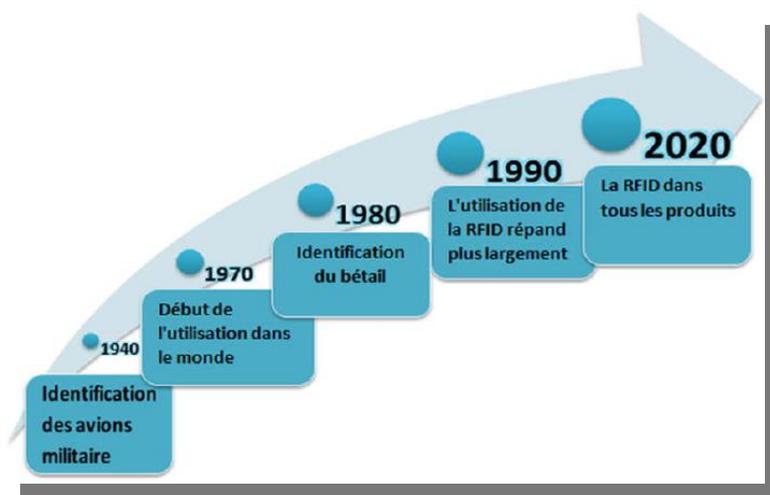


Figure II-1 : Historique RFID [27]

### II.3. Définition de la technologie RFID

La technologie RFID (Radio Frequency Identification) est en plein développement. Le terme RFID englobe toutes les technologies qui utilisent les ondes radio pour identifier automatiquement des objets ou des personnes. Equipée d'un émetteur fixe ou mobile, d'un récepteur sous forme d'antenne et d'une puce (une ou plusieurs) appelée tag. Ce type de communication par onde radio permet de faire un sondage quasi instantané de plusieurs puces. Ainsi on a accès à une identification d'un objet, de son suivi, de ces caractéristiques et on peut même suivre son cheminement. On les retrouve dans :

- Suivi des colis.
- Identification d'animaux.
- Gestion d'une bibliothèque.

Cette technologie fait face à plusieurs contraintes dont le coût, la gestion de la lecture simultanée, et la lecture à travers différentes matières de différentes épaisseurs. [28]

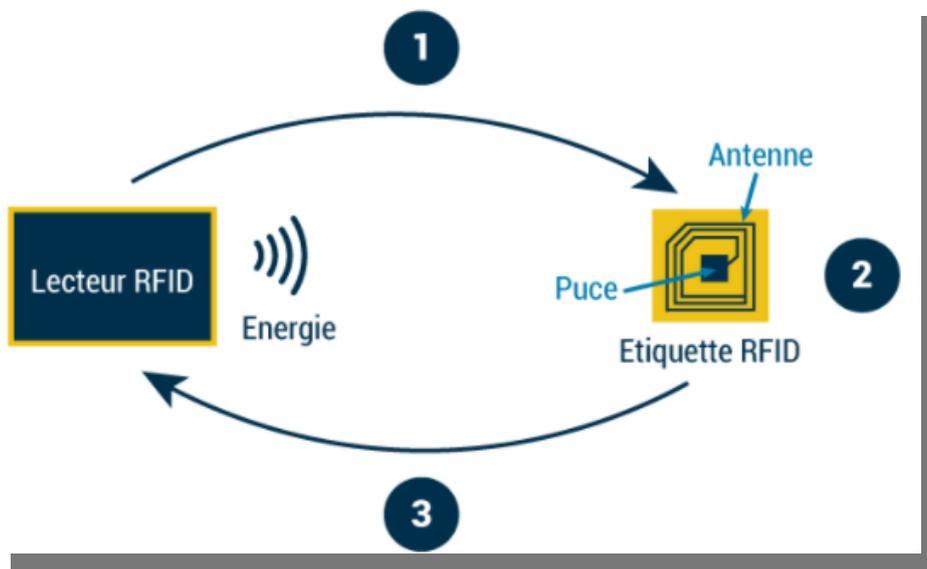


Figure II-2 : Illustration d'un système RFID [28]

### II.4. Le principe de fonctionnement d'un système RFID

Dans tous les systèmes RFID on trouve les éléments suivants :

#### II.4.1. Un lecteur (ou scanner)

Qui envoie une onde électromagnétique porteuse d'un signal selon une fréquence donnée vers un ou plusieurs tags situés sur des objets à identifier ou à contrôler. En retour, le lecteur reçoit l'information renvoyé par ces objets après un dialogue s'est établi selon un protocole de communications prédéfinies et les données sont échangées.[29]

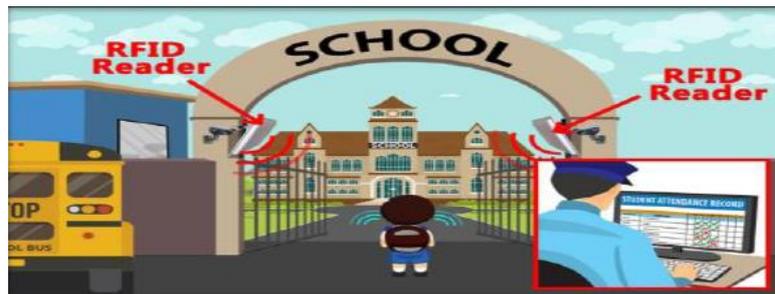


Figure II-3 : Lecteurs RFID [29]

#### II.4.2. Une étiquette

(Ou tag). Contient l'identité à transmettre en fixé sur ces objets, qui réagit à la réception du signal envoyé par lecteur en envoyant vers ce dernier l'information demandée pour la transmission. Se fait via une modulation d'amplitude ou de phase sur la fréquence porteuse.[29]



Figure II-4 : étiquette RFID [29]

### II.4.3. Une antenne

Qui est généralement intégrée au lecteur RFID et à l'étiquette RFID. Elle permet d'activer les tags afin de recevoir des données et d'en transmettre les informations. [28]



**Figure II-5 : Antenne de lecteur RFID [28]**

### II.4.4. Le logiciel RFID

Ou middleware RFID, est le cerveau de la chaîne RFID. Il permet de transformer les données brutes émises par la puce RFID en informations compréhensibles, il est bien sûr géré par un ordinateur. [28]



**Figure II-6 : Logicielle RFID [28]**

La communication dans le système RFID s'effectue entre les antennes qui sont les éléments responsables de l'échange de données associé à un transfert d'énergie entre le lecteur et l'étiquette par des ondes RF. La communication s'établit dès que le premier interlocuteur réagit. On distingue deux protocoles de communication [30]:

## Chapitre II : La Technologie RFID

### II.4.4.1. Protocole TTF (Tag Talk First)

Dans ce mode, le tag est alimenté et dès qu'il arrive dans le champ d'un lecteur annonce sa présence. La communication est engagée lorsque le lecteur répond.

### II.4.4.2. Protocole RTF (Reader Talk First)

Pour ce protocole, le lecteur interroge constamment son environnement afin de détecter la présence de nouveaux arrivants. Une requête est propagée régulièrement et, lorsqu'un transpondeur entre dans le champ et est capable de répondre, il renvoie une réponse annonçant sa présence.

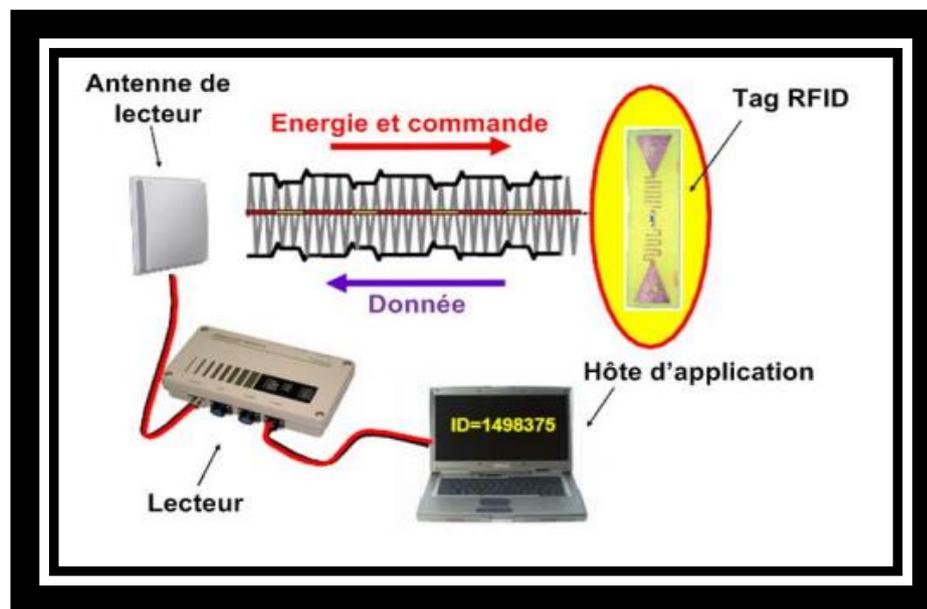


Figure II-7 : Schéma général d'un système d'identification par radiofréquence [30]

## II.5. Les composants de système RFID

Un système RFID se compose principalement d'un lecteur, d'un ou plusieurs tags et d'un logiciel d'application. Le lecteur agit généralement en maître par rapport au tag ; si le tag est dans la zone de lecture du lecteur, ce dernier l'active en lui envoyant une onde électromagnétique puis entame la communication et l'échange des données. Le lecteur est relié à un hôte d'application qui récupère l'information pour le logiciel d'application. Un lecteur RFID est donc chargé de l'interface avec le système global relatif l'application et de la gestion de l'identification des tags qui se présentent à lui. Le tag est, quand à lui, constitué d'une antenne et d'une puce électronique miniature. [31]

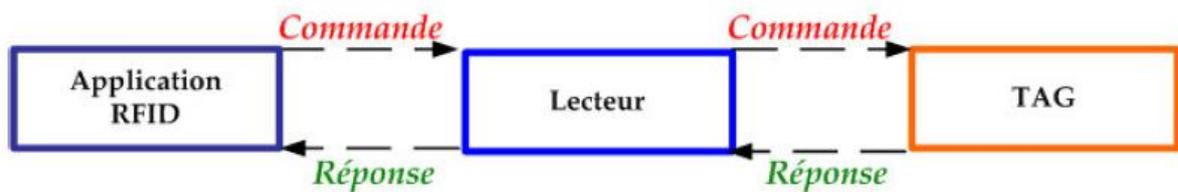


Figure II.8 : Relation maître-esclave dans la communication RFI [31]

### II.5.1. Le Lecteur

Le lecteur/enregistreur est constitué d'un circuit qui émet une énergie électromagnétique à travers une antenne, et d'une électronique qui reçoit et décode les informations envoyées par le transpondeur et les envoie au dispositif de collecte des données. Non contents de lire les étiquettes RFID, il est à même d'écrire leur contenu. Le lecteur RFID est l'élément responsable de la lecture des étiquettes radiofréquence et de la transmission des informations qu'elles contiennent (code EPC ou autre, informations d'état, clé cryptographique...) vers le niveau suivant du système (middleware). Cette communication entre le lecteur et l'étiquette s'effectue en quatre temps :

- 1) Le lecteur transmet par radio l'énergie nécessaire à l'activation du tag ;
- 2) Il lance alors une requête interrogeant les étiquettes à proximité ;
- 3) Il écoute les réponses et élimine les doublons ou les collisions entre réponses ;
- 4) Enfin, il transmet les résultats obtenus aux applications concernées.

La communication entre le lecteur et l'étiquette s'effectue via les antennes qui équipent l'un et l'autre, ces éléments étant responsables du rayonnement radiofréquence. En distingué quatre modalités de lecture :

- **Lecture de proximité** : entre 10 et 25 cm ;
- **Lecture de voisinage** : jusqu'à 1 mètre ;
- **Lecture à moyenne distance** : de 1 à 9 mètres ;
- **Lecture longue portée** : jusqu'à plusieurs centaines de mètres. [35]

## Chapitre II : La Technologie RFID

---

La distance de lecture d'un système RFID dépend de la configuration des composants du système et les paramètres suivants est donnée par la formule [39]:

$$d_{max} = \frac{c}{4\pi f} \sqrt{\frac{EIRP \cdot r \cdot G_{tag}}{pth}} \quad (II.1)$$

Où

***G<sub>tag</sub>*** : est le gain de l'antenne du tag

***EIRP*** : puissance isotrope rayonnée équivalente.

***pth*** : sensibilité de la puce,  $\Gamma$  est le coefficient de transmission

$$\Gamma = \frac{4RPa}{|Z_p + Z_a|^2} \leq 1 \quad (II.2)$$

Le principe d'identification repose sur le fait que chaque transpondeur possède son identifiant unique UID (Unique ID) fréquemment un code sur 32 bits et qui est stocké dans le tag à lecture seule. Une communication RFID est basée sur le principe de relation maître-esclave, c'est-à-dire qu'un logiciel de l'application RFID commande le lecteur pour que lui sera le maître et le tag joue le rôle d'esclave. [35]

### II.5.1.1. Les types de lecteur RFID

#### II.5.1.1.1. Lecteur fixe

Le lecteur RFID fixe est implanté dans des systèmes de portique à travers lesquels les tags transitent. Pour pouvoir détecter les tags, l'antenne du lecteur doit respecter un cahier des charges : un rayonnement directif avec de faibles lobes secondaires afin de ne pas détecter des tags à proximité de la zone de lecture et un gain suffisamment élevé pour pouvoir détecter les tags à une distance raisonnable.[35]

#### Les caractéristiques :

Sous forme de portique ou borne notamment en caisse de supermarché en contrôle d'accès à la bibliothèque

● **Distance de lecture :**

● **Proximité :** 25 cm

## Chapitre II : La Technologie RFID

---

- **Voisinage** : jusqu'à 1 m
- **Moyenne distance** : jusqu'à 9 m
- **Longue portée** : centaine mètre
- **Fréquence** :

Base fréquence (BF) : 125 KHZ

Haute fréquence (HF) : 13.59 MHZ

Très haute fréquence (UHF) : 868 MHZ

### II.5.1.1.2. Lecteur mobile

Prend l'apparence d'un flasher, il doit être peu encombrant pour être maniés par un utilisateur, Il est composé d'une antenne et d'un système d'exploitation qui permet d'identifier les tags. [35]



Figure II-9 : Lecteur Mobile [35]

#### Les caractéristiques

Flasher portatif pour lire les étiquettes manuellement.

Les étiquettes besoin d'être déplacé

#### ● **Distance de lecture**

Quelque centimètre à quelques mètres

## Chapitre II : La Technologie RFID

---

### ●Fréquence

Base fréquence (BF) : 125 KHZ

Haute fréquence (HF) : 13.56 MHZ

Très haute fréquence (UHF) : 868 MHZ

#### II.5.1.2. Les tags (les étiquettes) :

Le Tag RFID se compose d'un circuit intégré, appelé puce RFID, connecté à une antenne et assemblés dans un boîtier compact et robuste. Le boîtier est structuré de façon à permettre au Tag RFID d'être attaché à l'objet à suivre. On distingue plusieurs catégories des tags.

Les Tags RFID à puce se divisent en trois catégories : actif, semi-actif et passif. [32]

##### II.5.1.2.1. Les Tags actifs

Contiennent une batterie interne et ne dépendent pas du signal du Lecteur pour générer une réponse. La source d'alimentation est utilisée pour faire fonctionner la puce et à diffuser un signal vers un Lecteur. En conséquence, le Tag actif peut être lu à des grandes distances, avec des distances de lecture allant jusqu'à 100 mètres. Les Tags actifs peuvent être soit en lecture seule ou en lecture/écriture, permettant ainsi la modification de données par le Lecteur. Les Tags actifs permettent une plus grande compacité de stockage qui peut atteindre 8Ko. [32]

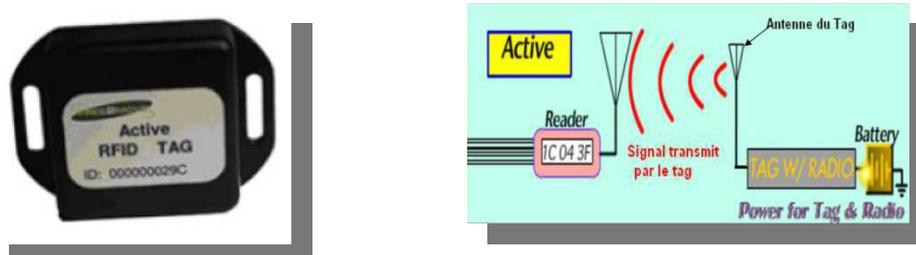


Figure II-10 : Schéma de fonctionnement d'étiquette active [32]

##### II.5.1.2.2. Les Tags semi-actif

Sont utilisés pour le suivi des marchandises de grande valeur qui doivent être captés sur de longues distances, comme les chemins de fer, ils ont coûté plus cher que les Tags passifs.

## Chapitre II : La Technologie RFID

Les Tags RFID passifs sont similaires aux Tags semi-actifs mais n'ont pas de batterie. Ils sont alimentés par le Lecteur, qui envoie des ondes électromagnétiques induisant un courant dans l'antenne du Tag. [32]



Figure II-11 : Etiquette semi-actif [32]

### II.5.1.2.3. Les Tags Passifs

C'est le type de tag le plus utilisé sur le marché, il ne dispose pas de leur propre source d'énergie. Toute l'énergie nécessaire à leur fonctionnement est fournie par le lecteur. Il utilise le principe de modulation par rétro-réflexion pour transmettre leurs données aux lecteurs. Le tag passif permet d'obtenir des coûts unitaires bien plus bas. Les distances de lecture sont bien plus courtes : de 3 à 10 mètres en fonction de la puissance de transmission du lecteur RFID, Il ne possède ni batterie, ni transmetteur radiofréquence et ne génère donc pas d'onde radiofréquence.[29]



Figure II-12 : Relation maître-esclave dans la communication RFID [29]

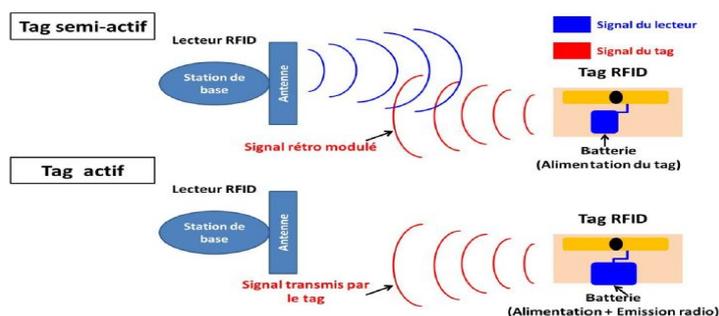


Figure II-13 : Schéma de fonctionnement d'étiquette actif et semi-passif [29]

### II.6. Principales caractéristiques d'un système RFID

Quelles que soient les fréquences de fonctionnement utilisées, la couche de communication de la RFID appelée « interface air », c'est-à-dire les caractéristiques de communication physique entre les éléments du dispositif RFID. Les applications RFID, aujourd'hui principalement situées dans quatre bandes de fréquences distinctes sont en conséquence extrêmement variées. Chaque bande de fréquence procure des avantages et des inconvénients, en termes de portée, de principe de fonctionnement, de technologie utilisée, d'interférences dresse les principales caractéristiques des bandes de fréquence RFID. [33]

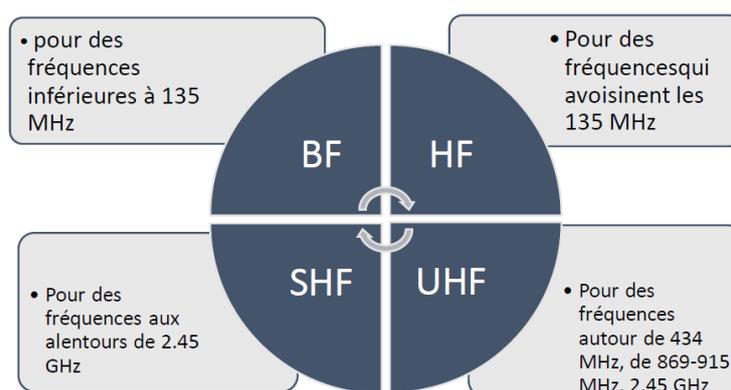
Fréquences	125 kHz (Bande LF)	13,56 MHz (Bande HF)	433 MHz et 860 MHz à 960 MHz (Bande UHF)	2,45 GHz et 5,8 GHz (Bande SHF)
Distance de Communication	Portée faible (<1m)	Portée moyenne (Quelques Mètres)	Portée longue (une Dizaine de mètres  Entre 860 et 960 MHz et jusqu'à 100 M en 433 MHz	Portée longue (Jusqu'à 10m)
Vitesse Théorique De transfert De données	Portée longue (Jusqu'à 10m)	Vitesse de communication  Bonne (<100 Kbit/s)	Vitesse de communication  Élevée (<200 Kbit/s)	Vitesse de communication  Élevée (<200 Kbit/s)

## Chapitre II : La Technologie RFID

<b>Emission</b>	Perturbée par Les masses Métalliques. Peu sensible Au milieu Humide.	Perturbée par Les masses Métalliques. Atténuée En milieu Humide.	Atténuée par les Masses métalliques. Atténuée en milieu Humide.	Atténuée par Les masses Métalliques. Perturbée en Milieu humide.
-----------------	---	---	--	--

**Tableau II-1 : Caractéristiques des bandes de fréquence RFID**

Ont distinguée quatre catégories d'utilisation des fréquences on représentante dans le schéma suivants :



**Figure II-14 : Schéma présente les catégories des fréquences**

### II.7. Les domaines d'application de la RFID

La RFID est actuellement une technologie en plein essor et qui se développe dans des domaines de plus en plus variés ; Sécurité, transport, logistique, fidélisation client, paiement, santé, etc..... On va citer quelques exemples d'applications d'identification sans contact déjà existantes utilisant des tags.

#### II.7.1. Logistique

C'est l'un des secteurs d'activités principales de la technologie RFID. Les codes à barres ont été remplacés par les tags. C'est en repérant plusieurs tags en temps réels que la RFID était employée dans les grands conteneurs. On peut la trouver aussi dans différentes applications comme les médicaments et les marchands. [36]



Figure II-15 : La RFID permet de faciliter la logistique [36]

### II.7.2. Le paiement

Les cartes de crédit et de débit qui permettent d'effectuer des paiements sans contact avec le terminal de paiement, utilisent la RFID. [36]



Figure II-16 : Dispositif de paiement Pidion BIP-1300 [36]

### II.7.3. Commercial

Les étiquettes ayant recours à la technologie RFID peuvent être utilisées pour permettre le paiement sans contact aux points de vente ; par exemple, les articles possédant une technologie RFID sont automatiquement lus à la sortie du magasin pour paiement et éviter la fraude.

- Des étiquettes RFID lavables peuvent être incorporées dans les vêtements (wearable computing) afin de prévenir ou détecter les contrefaçons de marques spécifiques et de prouver l'authenticité d'un produit. [37]

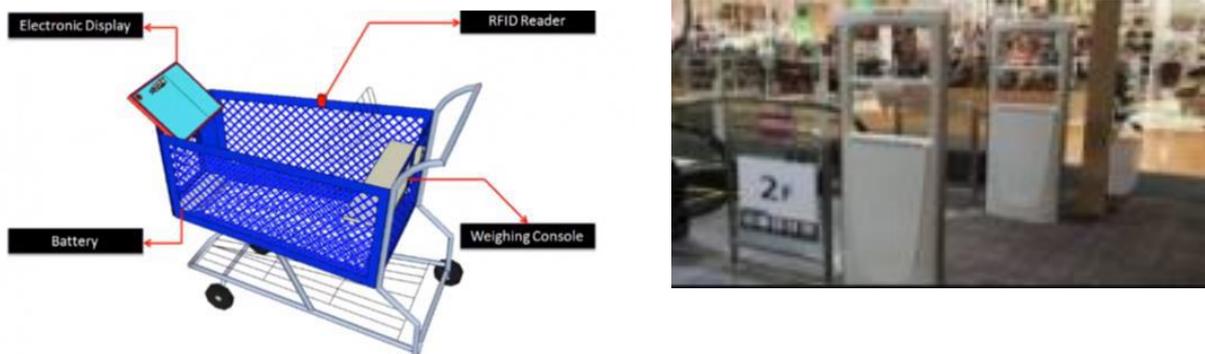


Figure II-17 : Domaine commercial [37]

### II.7.4. La santé

Dans le domaine de la santé, la localisation des patients et le suivi des processus de soins trouvent une synergie toute particulière grâce aux applications rendues possibles par la RFID. La société Versus Technologie a intégré des tags RFID dans ses solutions logicielles de suivi des plannings et de la logistique à destination des cliniques et des hôpitaux. Personnel comme patients sont ainsi équipés de tags qui permettent à la fois de les situer précisément dans l'établissement, et de vérifier que les parcours de soins sont correctement effectués. [31]



Figure II-18 : Les technologies RFID pour la gestion des patients au sein de l'hôpital [31]

Le contrôle et la surveillance des patients peuvent également s'effectuer par le biais de puces RFID attachées ou implantées dans le corps humain de manière sous cutanée. C'est ce qu'a proposé la société Ver chip, qui implante chez des patients volontaires des puces en vue d'assurer leur suivi médical ou lors de leur hospitalisation. Cependant, cette

technologie d'implantation a été décriée pour son potentiel de surveillance de l'individu, et l'intrus vite de son concept. Il est à noter que des sociétés comme Nonatec proposent ce type de produit pour des animaux domestiques ou d'élevage.[31]

### II.8. Les avantages et les inconvénients de système RFID

#### II.8.1. Les avantages

La RFID se trouve parmi les techniques d'identification automatique (ou Auto-ID-Automatic IDentification) les plus utilisées dans plusieurs domaines. Cette technologie RFID présente plusieurs avantages comme [29] :

- Possibilité de modification de données
- Grand volume de données
- Vitesse de marquage
- Protection des contenus
- Les étiquettes RFID peuvent avoir une durée de vie de dizaines d'années

#### II.8.2. Inconvénients

Il est bien entendu que la technologie du système RFID présente d'énormes avantages rendant son utilisation la plus attrayante. On se retrouve avec des multitudes d'applications rendant l'usage de la technologie illimité, cependant d'autre part la technologie présente des inconvénients. Pour tout déploiement de la technologie RFID, il sera plus indiqué d'examiner de plus près les avantages et les inconvénients par rapport à l'application concernée. Dans les lignes qui suivent nous présentons les grands risques et inconvénients que la technologie du système RFID peut présenter [29] :

- Cout très élevé.
- Perturbation par l'environnement physique.
- Perturbation induite par les étiquettes entre elle.
- Sensibilité aux ondes électromagnétiques parasites.
- Absence d'un standard unique.
- Crainte concernant la protection de la vie.

### II.9. Conclusion

Ce chapitre a été consacré à une vue d'ensemble de la technologie RFID. Cette technologie permet de recueillir des informations sans pour autant avoir le tag en visuel, de modifier ces données, d'exécuter plusieurs lectures... Tant d'avantages qu'elle apporte en comparaison aux autres technologies telles que le code barre. Cette technologie apporte tant d'avantage et elle n'a jamais cessé de croître, Cette étude nous a permis de tracer un cadre à suivre pour mener à terme l'objectif de ce mémoire. Le point central est de simulation et réalisation d'un réseau d'antennes patch pour les applications RFID Dans le chapitre prochain et à partir d'une application RFID nous allons faire la simulation et la réalisation d'un réseau d'antenne patch et l'adapter aux applications récentes.

---

# *Chapitre III : résultats expérimentaux*

### III.1. Introduction

Après avoir détaillé tout ce qui est théorique sur le concept des antennes imprimées, nous allons appliquer ces informations pour concevoir une antenne imprimée à 2.45GHz sous le logiciel de conception CST Microwave Studio, les dimensions de cette antenne sont calculées théoriquement (annexe). Ce chapitre est organisé comme suit. Après la présentation du cahier des charges requis plusieurs configurations à base de patch carrée classique ont été proposées et simulées. Par la suite nous allons essayer à partir de la nouvelle structure de voir l'effet du couplage entre deux éléments de patches afin de répondre aux exigences de l'application en question à savoir Le gain, le S11, VSWR, le diagramme de rayonnement et la distance de lecture RFID , en fini par la réalisation des antennes (photographies des antennes ) , ensuit la validation expérimentale des antennes consiste à la mesure de coefficient de réflexion et le VSWR en conclure le chapitre par la comparaison entre les résultats qui ont trouve dans la simulation et la réalisation.

### III.2. Définition du logiciel CST STUDIO SUITE

En 1992, la société Allemande CST STUDIO a été fondée. Après de nombreuses recherches, la première version de CST Microwave studio fut apparue en 1998. Cette dernière a pour but la conception magnétique. Elle permet l'analyse rapide et précise des dispositifs à haute fréquence tel que : les antennes, les filtres ...etc. CST Micriwave studio est un outil spécialisé pour la simulation en 3D des composants à haute fréquence basé sur la résolution des équations de MAXWELL suivant la technique des intégrales finies (FIT, Finit Intégration Technique). Comme tous les simulateurs 3D, l'avantage de cet outil est la possibilité de traiter toutes sortes de structures homogènes quelle que soit la technologie utilisée. Simulation de l'antenne patch : Dans notre travail, on s'intéresse la simulation d'une antenne patch alimentée par une ligne micro ruban. [38]

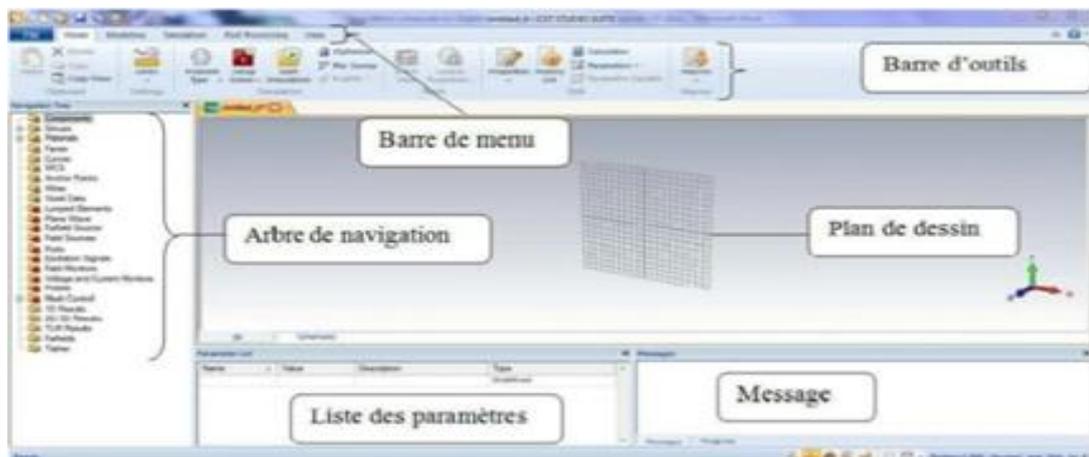


Figure III-1 : Description de logicielle CST[ 38]

### III.3. Spécification technique

Les antennes à concevoir dans ce projet doivent être en technologie imprimées et doivent

Satisfaire les spécifications techniques résumées dans le tableau suivant :

Performance	Spécification
Adaptation	$ S_{11}  < -10$ dB
Diagramme de rayonnement	Unidirectionnel
Gain	$3\text{dBi} < \text{Gain} < 6\text{dBi}$
Taille	La plus compacte possible

Tableau III-1 : Cahier de charge

### III.4. Antenne patch carrée pour RFID SHF

Dans cette partie on s'intéressera à la conception d'une antenne imprimée de type patch carrée travaillant à la fréquence centrale de la bande RFID SHF 2.45GHz. Le substrat utilisé est le FR4 ( $\epsilon_r=4.3$ ,  $h=1.6\text{mm}$ ). Dans un premier temps, les dimensions analytiques de l'antenne ont été calculées à partir des équations de l'annexe. Le tableau suivant représente les dimensions d'antenne patch d'une ligne micro ruban correspondante à une

Impédance d'entrée du patch  $50\Omega$ ,

Noms	Valeurs (mm)	Application
Longueur du plan de masse	69.41	Lg
Largeur du plan de masse	47.2	Wg
Longueur du substrat	69.41	Lg
Largeur du substrat	47.2	Wg
Longueur du patch	29.17	L

## Chapitre III : Résultats expérimentaux

Largeur du patch	37.6	W
Hauteur du substrat	1.6	H
Epaisseur du patch	0.035	T
Largeur de la ligne	3.14	W1
Longueur de la ligne	30	L1

Tableau III-2 : Dimensions de l'antenne patch carré

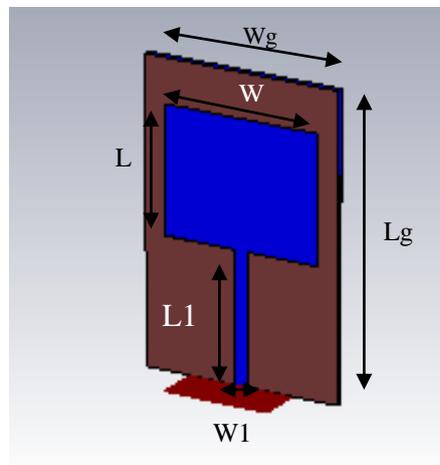


Figure III.1 : Géométrie d'antenne patch carrée

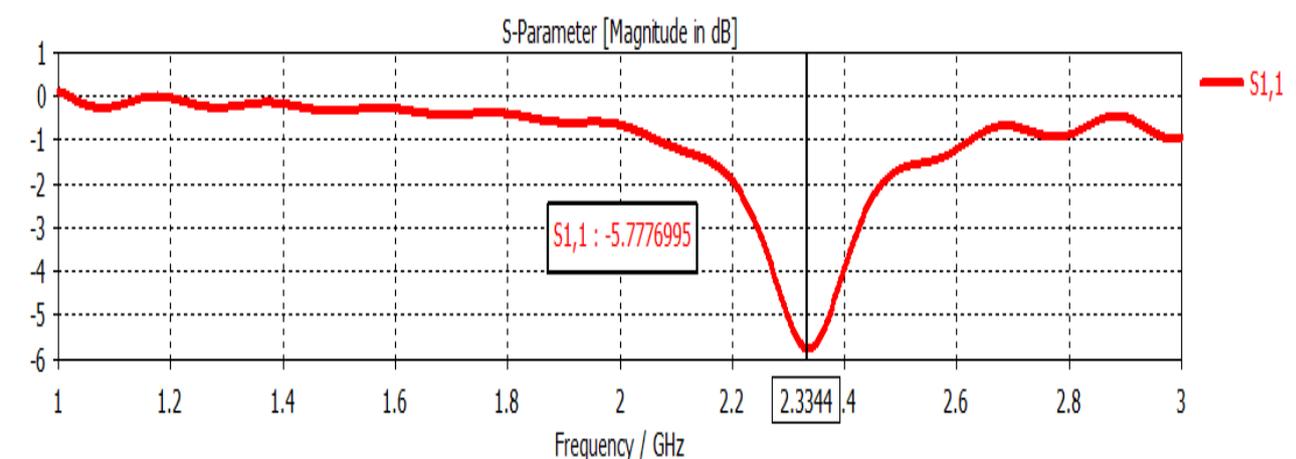


Figure III-3 : Coefficient de réflexion de l'antenne patch alimentée par une ligne micro ruban

## Chapitre III : Résultats expérimentaux

La figure montre que l'antenne n'est pas adaptée car la valeur de coefficient de réflexion est supérieur à -10 dB, pour adapté l'antenne patch on va utiliser les technique d'adaptation (les encoches).

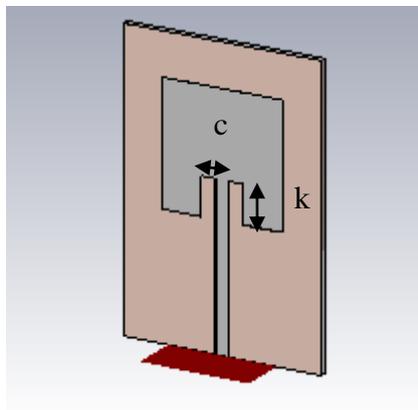
Pour adapter l'antenne patch en va utiliser les techniques d'adaptation (les encoches).

Les démenions Résumées dans le tableau suivant :

Noms	Valeurs (mm)	Application
La longueur de l'encoche	9	K
La largeur de l'encoche	3.5	C
La largeur de patch	28.75	W

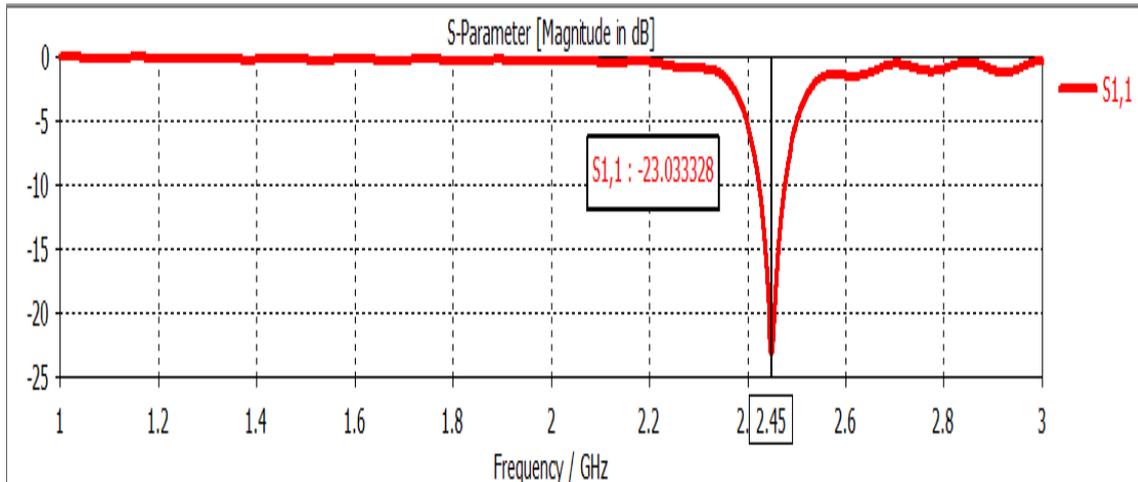
**Tableau III-3 : Les dimensions d'antennes patch avec encoche**

En représentes le géométrique d'antenne avec encoche comme suit :

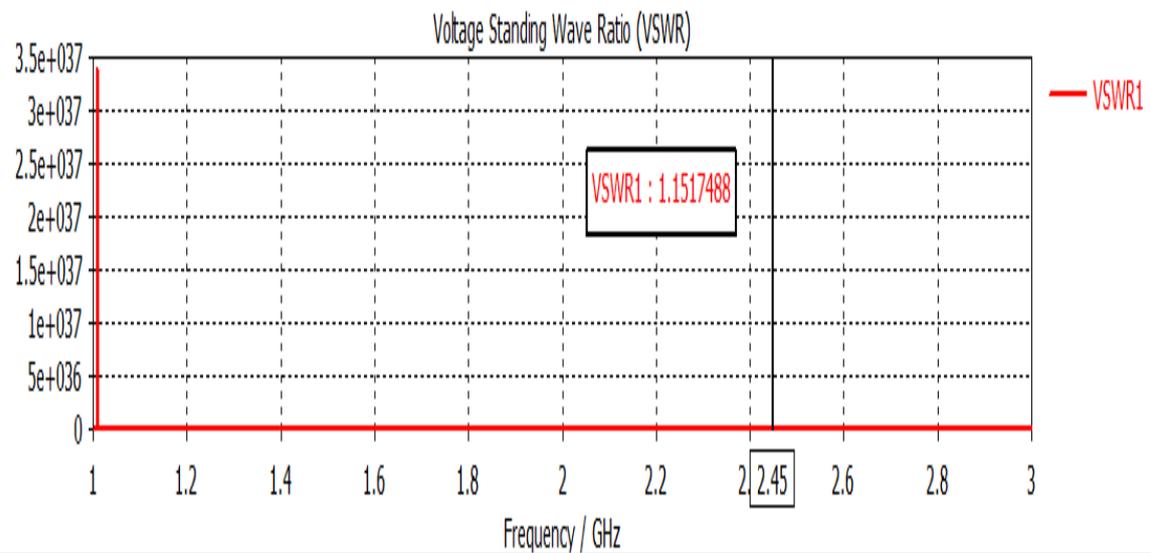


**Figure III.4:Géométrie d'antenne patch carrée avec encoches**

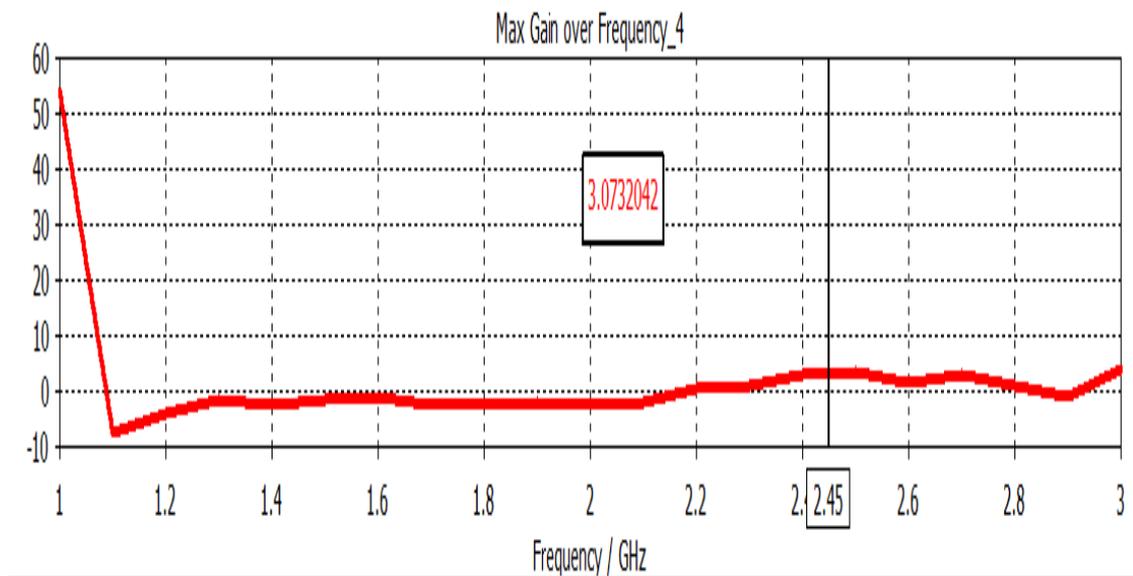
Dans cette partie, nous présentons les résultats de simulation obtenus en termes de coefficient de réflexion de rapport d'ondes stationnaires, diagramme de rayonnement autour d'une fréquence de résonance de 2.45GHz. Ces résultats sont représentés respectivement sur les figures suivantes :



**Figure III.5 : Coefficient de réflexion de l'antenne patch avec encoche alimentée par une ligne micro ruban**

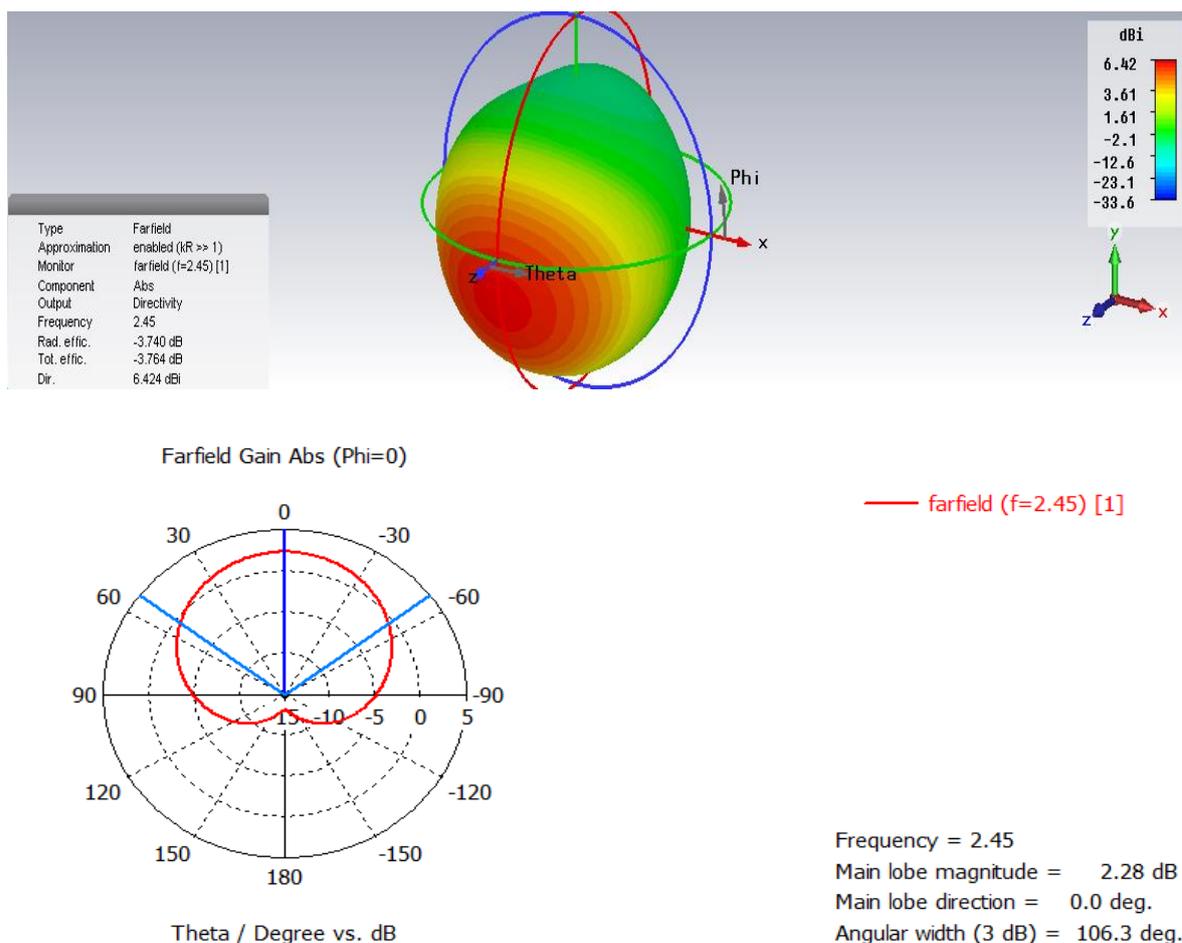


**Figure III.6 : Taux d'ondes stationnaires en fonction de la fréquence**



**Figure III.7: Variation de gain en fonction de la fréquence**

Le diagramme de rayonnement est illustré ci-dessous :



**Figure III.8 : Diagramme de rayonnement 3D en directivité de l'antenne patch de forme carrée et polaire**

## Chapitre III : Résultats expérimentaux

D'après les résultats précédents, la fréquence est centrée à 2.45GHz avec une bonne adaptation  $|S_{11}| = -23.03$  dB. Le VSWR est inférieure à 2, ce qui montre une adaptation d'impédance entre l'antenne et la ligne de transmission. Nous constatons que la directivité et le gain de l'antenne patch de forme carrée sont atteints des valeurs maximales de 6.42dB et 3.07 dBi pour une fréquence de résonance de 2.45GHz. Ce résultat est acceptable pour assurer le bon fonctionnement de cette antenne.

### III.5. La nouvelle structure d'antenne patch

La nouvelle structure d'antenne patch est composée d'un patch de forme hexagone sur un substrat de type FR-4 (lossy), de permittivité relative de 4.3 d'épaisseur de 1.6mm, une ligne microruban ayant un port d'alimentation de 50 Ohm.

Application	Paramètres (mm)
La côté de patch ( $w_c$ )	9.75
La côté de patch ( $w_b$ )	10.25
La largeur ( $w_k$ )	13
La Longueur de l'encoche ( $k$ )	11.75
La Largeur de l'encoche ( $c$ )	2.72

Tableau III-4 : Les dimensions d'antennes patch nouvelle structure

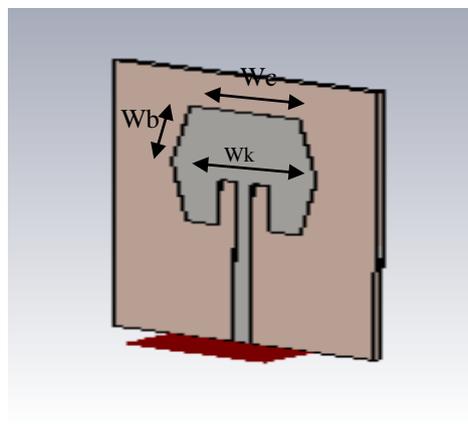
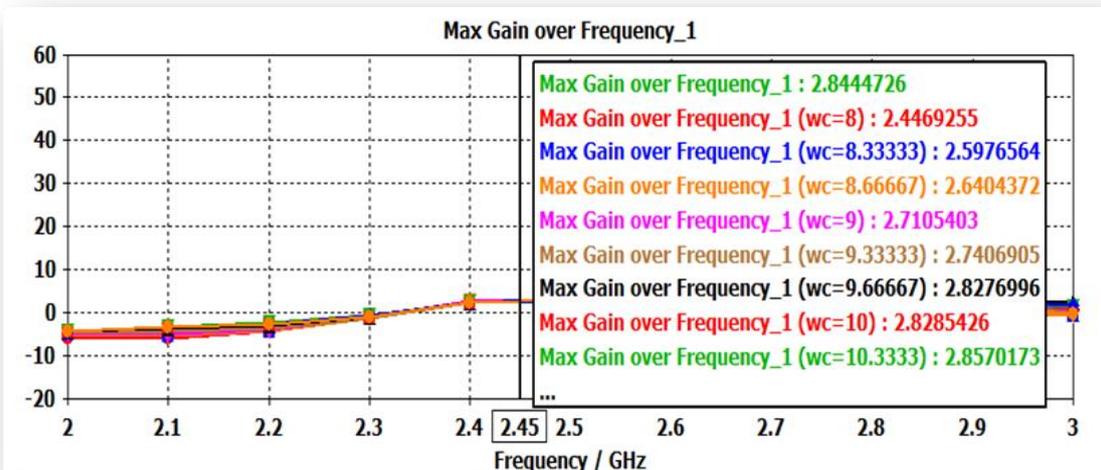
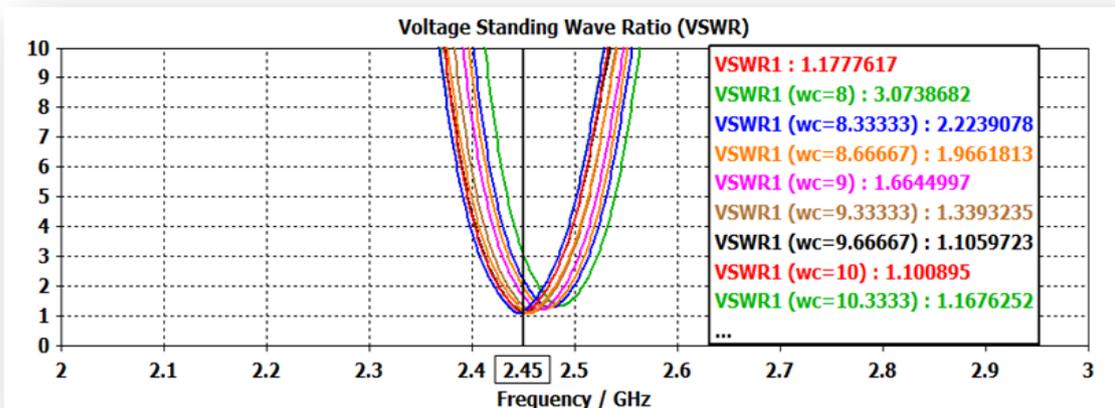
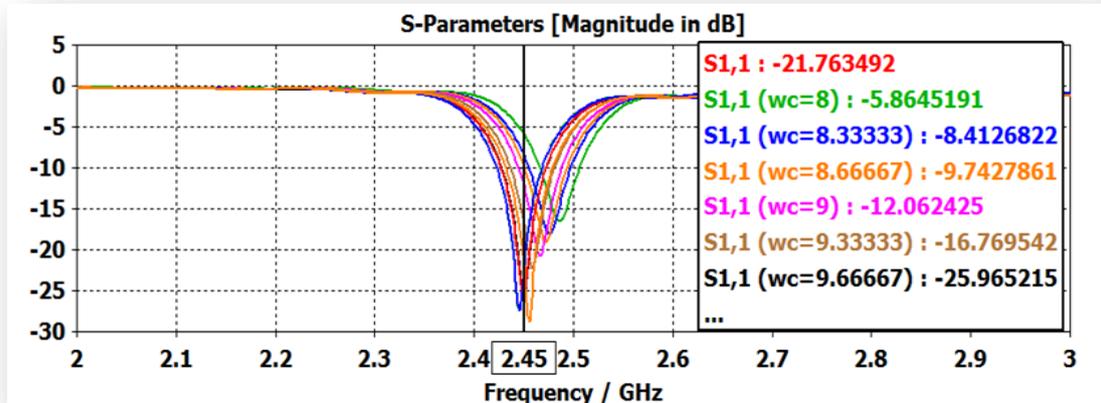


Figure III.9 : Géométrie de nouvelle structure d'antenne

## Chapitre III : Résultats expérimentaux

Pour adapter l'antenne sur la fréquence de résonance en effet étude paramétrique, en trouvent les résultats suivants :



## Chapitre III : Résultats expérimentaux

On remarque que les dimensions de l'antenne patch affectent sur l'adaptation de l'antenne.

Dans cette partie on représente les résultats de la simulation de nouvelle structure d'antenne patch :

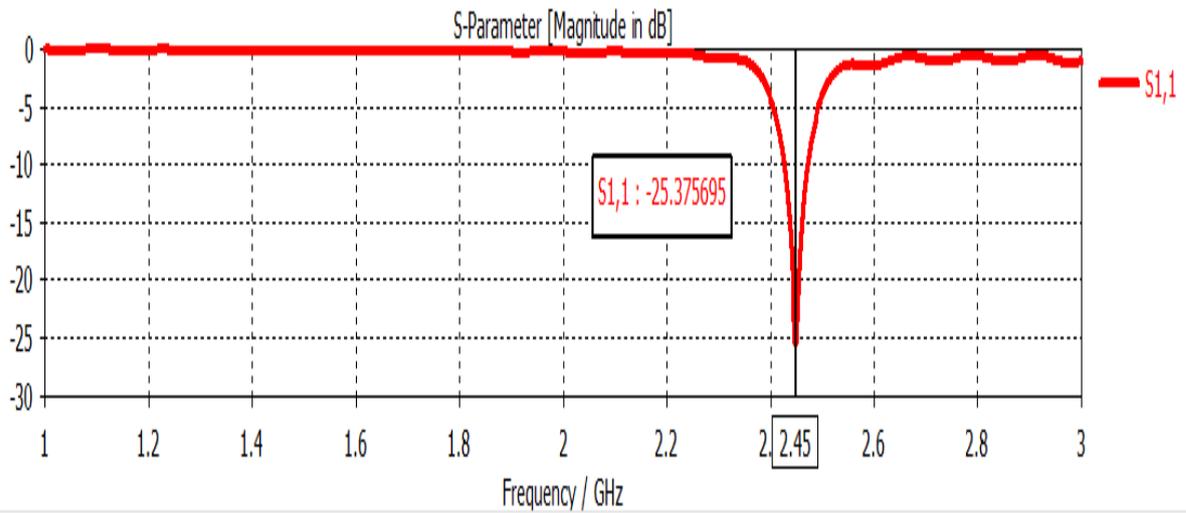


Figure III.10 : Coefficient de réflexion de nouvelle antenne patch

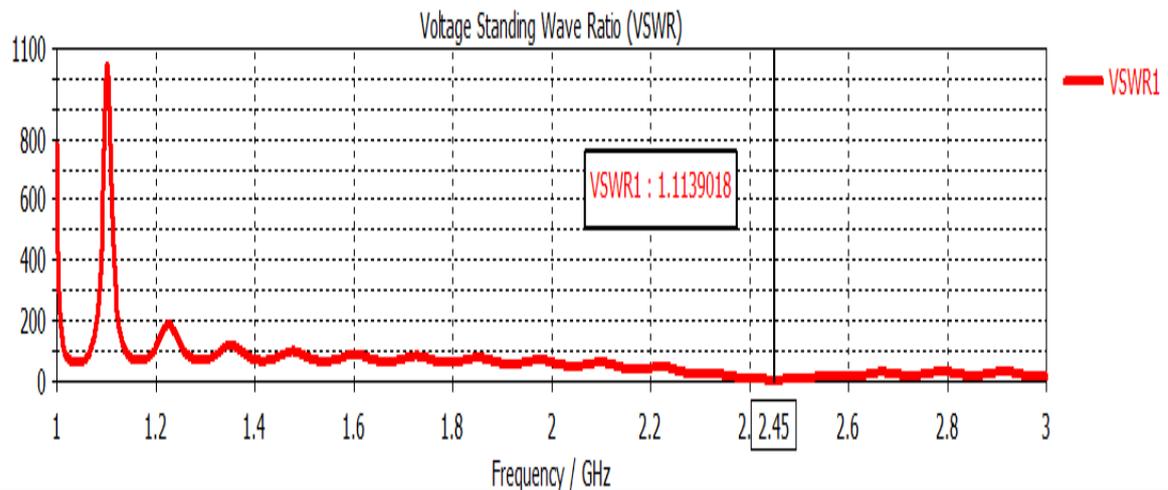


Figure III.11 : Taux d'ondes stationnaires en fonction de la fréquence

## Chapitre III : Résultats expérimentaux

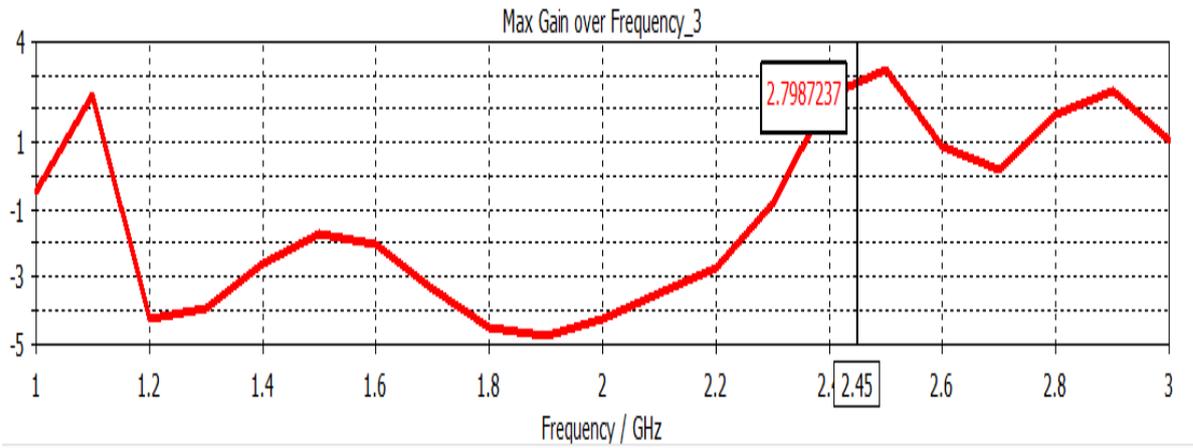


Figure III.12 : Variation de gain en fonction de la fréquence

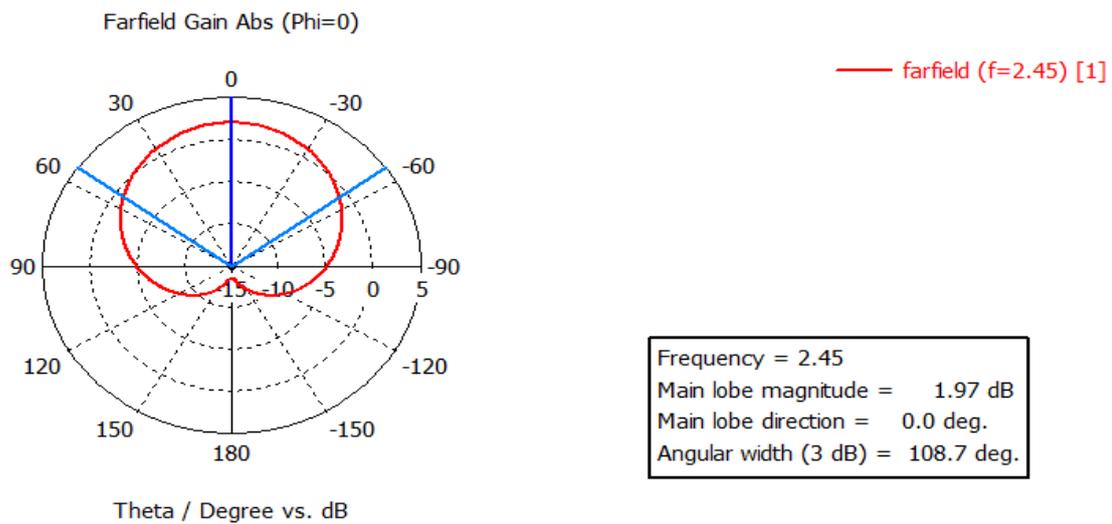
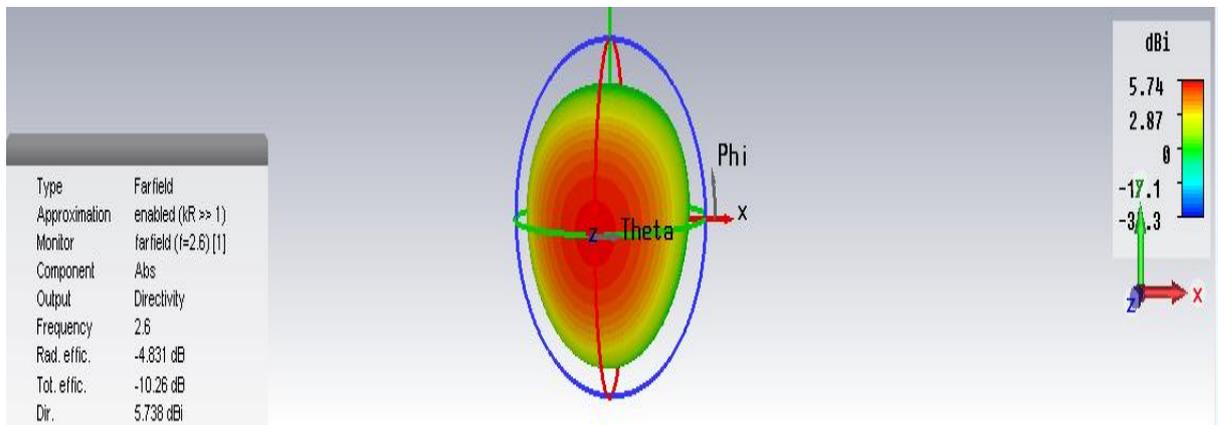
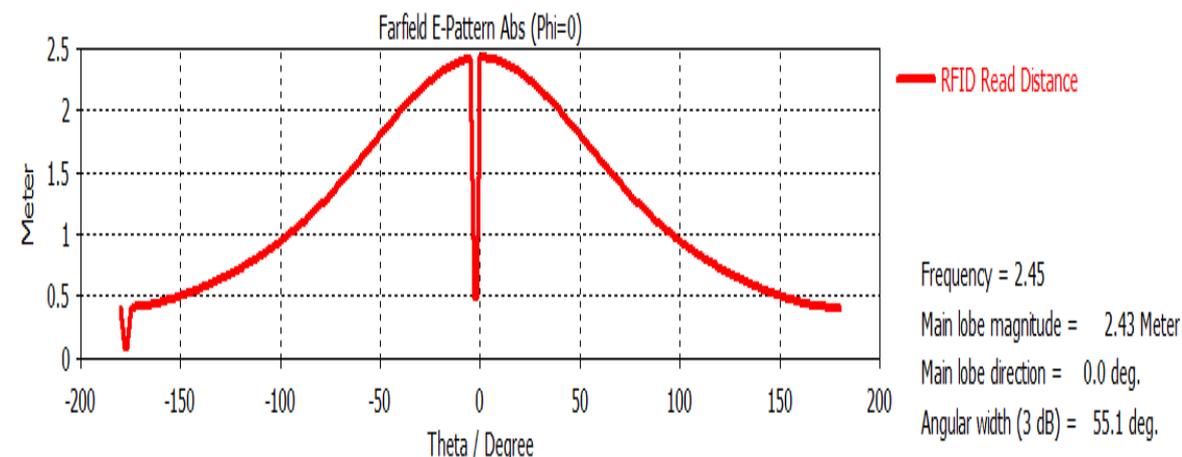


Figure III.14 : Diagramme de rayonnement 3D en directivité et polaire de nouvelle antenne patch

Ensuite en représente la distance de lecture RFID par la figure suivante :

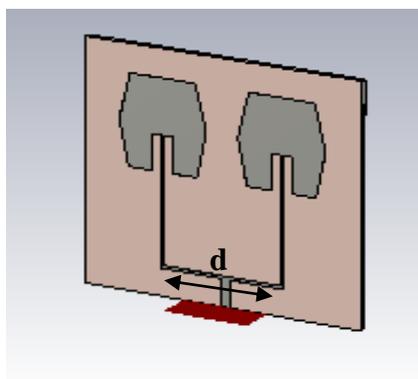


**Figure III. 15 : La distance de lecture RFID**

L'analyse de ce résultat, indique que la fréquence est centrée a 2.45GHz avec une bonne adaptation  $|S_{11}| = -25\text{dB}$ . Le lobe de rayonnement contenant le maximum d'énergie et de direction maximal de rayonnement, la directivité égale à 5.74 dBi, et le gain égale à 2.79 dB. la lecture RFID est 2.43 mètres.

### III.6. Simulation d'un réseau de deux antennes imprimées

Dans la suite de ce chapitre nous allons nous intéresser au réseau linéaire de deux (2x1) antennes patch. En utilisant les mêmes dimensions citées précédemment et un espacement de  $d = 0.6 \text{ mm}$  (entre  $0.4\lambda$  et  $0.9\lambda$ ) entre les deux patches, un réseau d'antenne à deux patches hexagones est conçu. Nous optant par la méthode d'alimentation par le biais d'un réseau d'alimentation sous forme d'une jonction T (diviseur de puissance) excité par une source  $50\Omega$  Et les lignes des antennes par une source  $100\Omega$  le but de cette étude est de voir amélioré le gain.



**Figure III.16 : Réseau de deux antennes patch**

## Chapitre III : Résultats expérimentaux

Le réseau (2x1) est alimenté par une ligne microruban. L'impédance caractéristique ( $Z_0$ ) de la ligne microruban connectée à une source de  $50 \Omega$  (port d'entrée) est  $Z_0$ . Ligne microruban connectée à une source de  $50 \Omega$  (port d'entrée) se divise à la jonction en T en deux lignes microstrip. deux lignes microruban. L'impédance caractéristique des deux lignes microstrip est donnée comme suit [40] :

$$Z_0 = nZ_s \quad (\text{III.1})$$

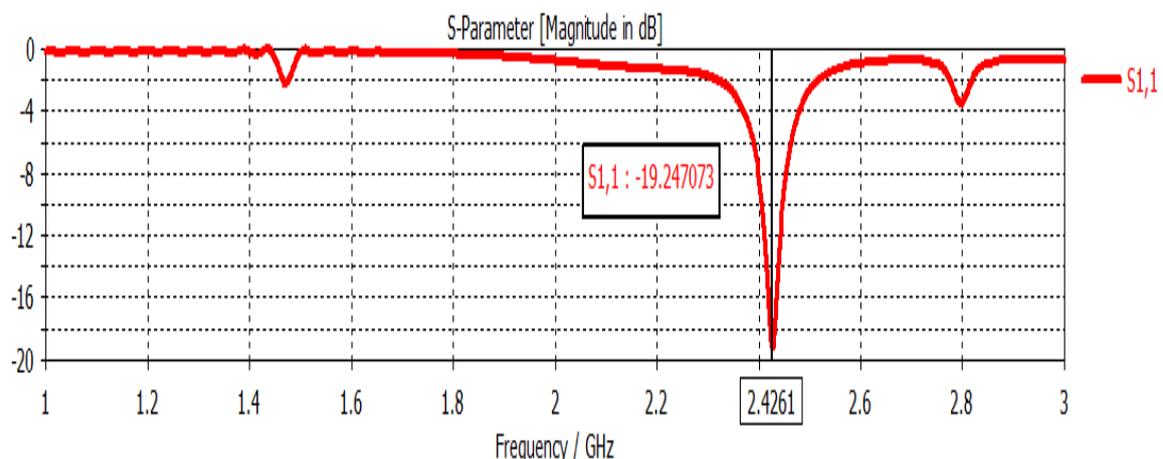
où le facteur  $n$  est le nombre de lignes de transmission microstrip émanant d'un noeud relié à un générateur de source. générateur. L'impédance caractéristique ( $Z_1$ ) des deux lignes microstrip est donnée par (III.1) comme [42] :

$$Z_1 = 2(50) = 100 \Omega$$

Les résultats trouvent après simulation sont :

- **Le coefficient de réflexion**

Le résultat obtenu pour le coefficient de réflexion de la structure des réseaux d'antennes dans la bande [1-3 GHz] est représenté dans la figure suivante :



**Figure III.17: Coefficient de réflexion du réseau linéaire de deux patch**

Ces résultats montrent que ce réseau d'antenne représente une bonne adaptation dans la bande [1GHz \_ 3GHz], elle est parfaitement adaptée à la fréquence désirée de 2.4261 GHz avec un coefficient de réflexion intéressants de -19.13 dB.

- **Rapport d'onde stationnaire (VSWR)**

La figure représente le VSWR de réseaux d'antenne. D'après la figure, on constate que le taux d'ondes stationnaires est inférieur à 2 dans toute la gamme de fréquence de réseau

## Chapitre III : Résultats expérimentaux

antenne étudiée ce qui indique une bonne adaptation d'impédance entre le réseau et la ligne d'alimentation,  $VSWR=1.24$ .

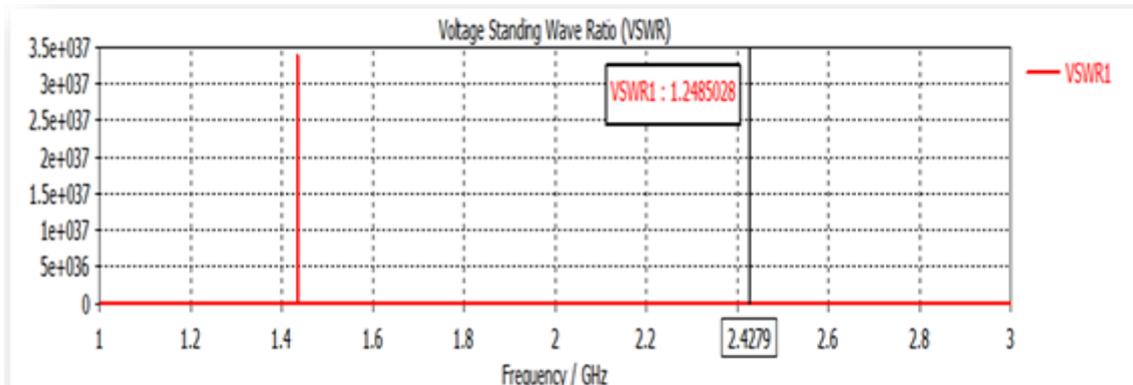


Figure III.18 : Taux d'onde stationnaire du réseau linéaire de deux patches.

- Diagramme de rayonnement en directivité

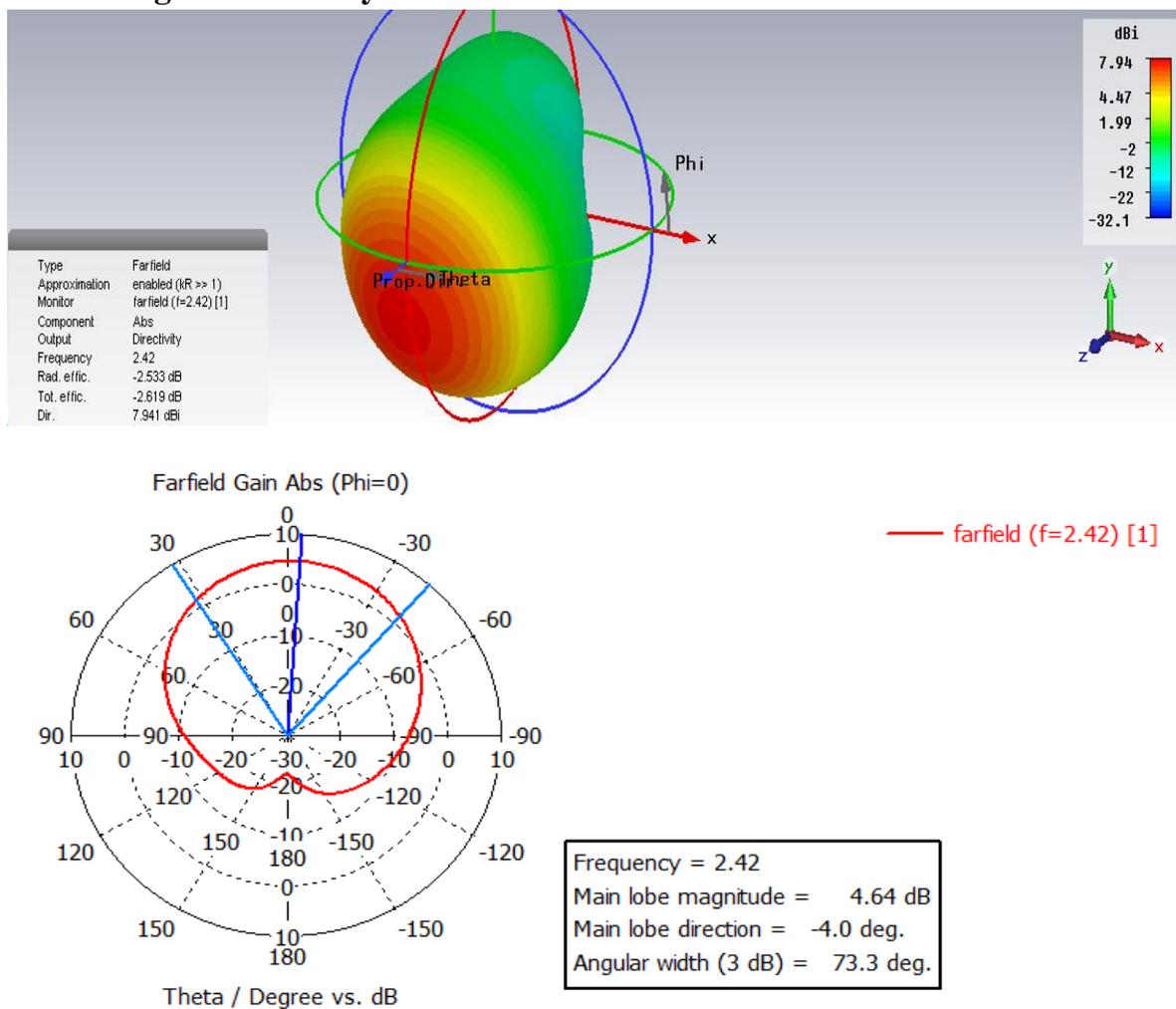
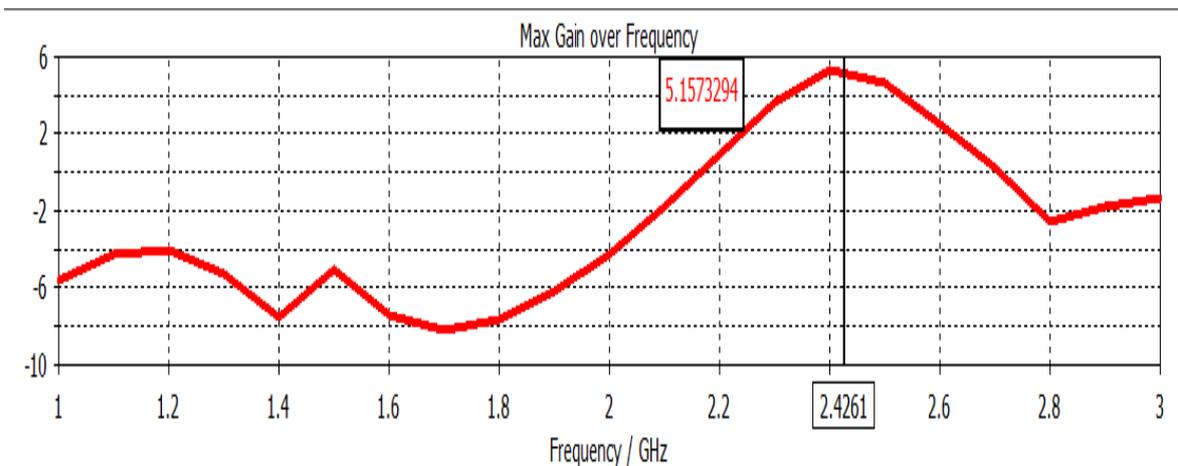


Figure III.19: Le diagramme de rayonnement 3D de réseau linéaire de 2 patches et polaire

## Chapitre III : Résultats expérimentaux

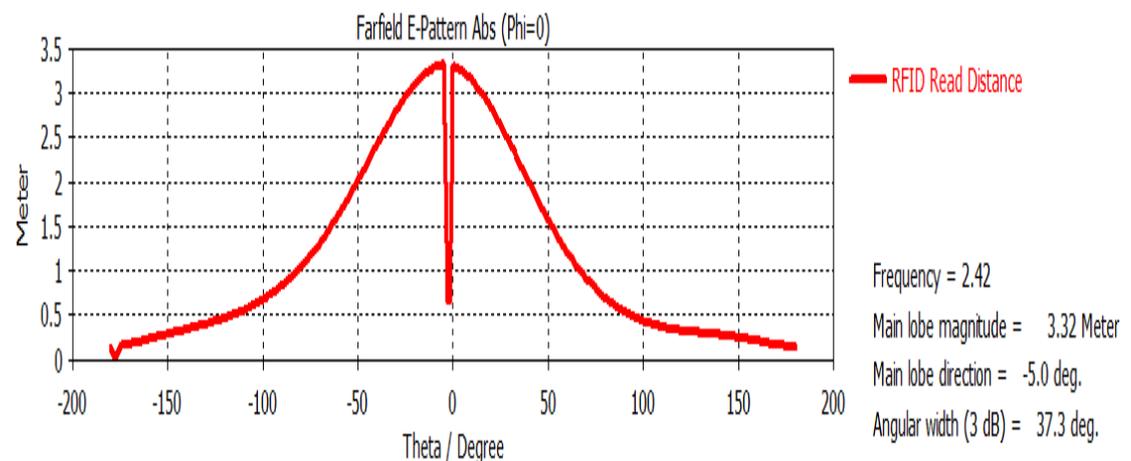
La directivité, et sur le plan polar on peut voir l'angle d'ouverture de cette antenne :

- La valeur du gain est 5.1433542dB
- La directivité de cette antenne est 7.94 dBi
- L'angle d'ouverture est 75.8 deg.



**Figure III.20 : Variation de gain en fonction de la fréquence**

La figure suivant représente la distance de lecture RFID :



**Figure III-21 : La distance de lecture RFID de deux patches imprimés**

### III.7. Comparaison des différentes structures d'antennes

	S11 (dB)	VSWR (dB)	Gain (dB)	Directivité (dBi)
Antenne patch simple	-5.7719	3.12	3.40 dB	7.51 dBi
Antenne patch avec les encoches	-23.033672	1.1517423	3.0733062	6.42 dBi
Antenne patch nouveau désigne	-25.411604	1.1133416	2.7987178	5.74 dBi
Réseau deus patch en parallèle	-25.411604	1.2485028	5.1433542	7.94 dBi

Tableau III-4 : Les résultats pour les différentes structures d'antennes.

Pour valider les résultats de nos simulation, nous allons comparer la performance d'une antenne patch simple et antenne patch avec les encoches, nouvelle structure d'une antenne et d'un réseau à deux éléments rayonnants, les résultats dans la fréquence de résonance le S11, VSWR, Gain, Directivité, des trois structures, on remarque que : Le gain pour un réseau de deux alimentations est amélioré par rapport à une antenne à un seul élément, et la même chose pour la directivité. On remarque aussi la distance de lecture de réseaux (2×1) et plus que la distance de lecture de l'antenne nouvelle structure.

### III.8 Résultats expérimentaux

Après réalisation des circuits imprimés (face supérieures et inferieurs) par l'entreprise ALMITECH située à Kouba à Alger, nous avons procéder au montage de rois antennes. Pour cela, on a soudé l es connecteurs de type SMA aux endroits d'excitation des antennes.

Le mesures de coefficient de réflexion de l'antennes réalisées ont été effectuées en utilisant l'analyseur de réseau Agilent technologie de type PNA Network Analyzer n5222a

## Chapitre III : Résultats expérimentaux

disponible au laboratoire de d'Instrumentation et de Métrologie-AIT dans le département d'Assemblage , Intégration et test dans le centre du développement des satellites (Oran) .Ce dispositif à deux ports permet de mesure dans la bande 10 MHz jusqu'à 26.5 GHz, la calibration entre 2 et 3 GHz. L'antenne a été caractérisée en connectant avec un câble coaxial de type SMA. Les figures suivantes représentent respectivement les photographies, les résultats et les comparaisons de l'antenne patch avec encoches, nouvelle structure et réseaux (2× 1).

### III.8.1 Antenne patch carré :



Figure III.22 : Antenne patch avec encoche à réaliser (face supérieur et inférieur)

#### III.8.1.1 Mesure des coefficients de réflexions et rapport d'onde stationnaire

La configuration de mesure de l'antenne patch avec encoche montre dans la figure suivante :

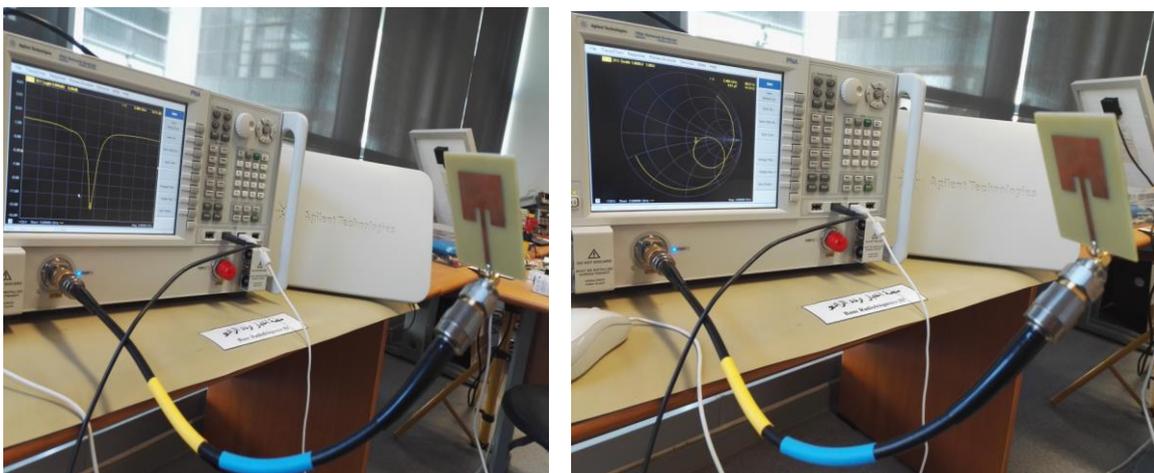


Figure III.23 : Antenne patch avec encoche test

Après le test on a trouvé les résultats suivants :

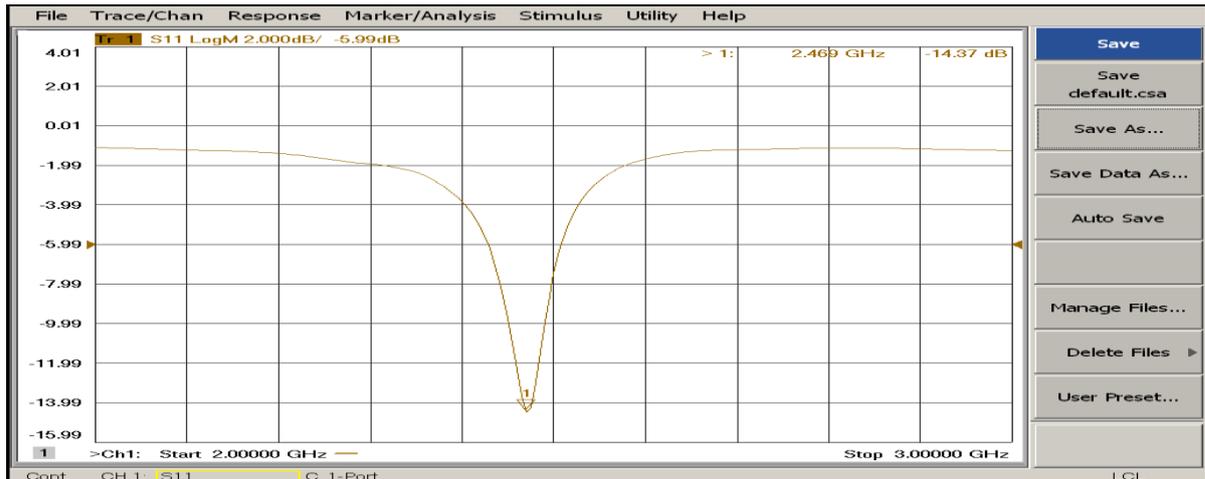


Figure III.24 : coefficient de réflexion mesuré de l'antenne avec encoche

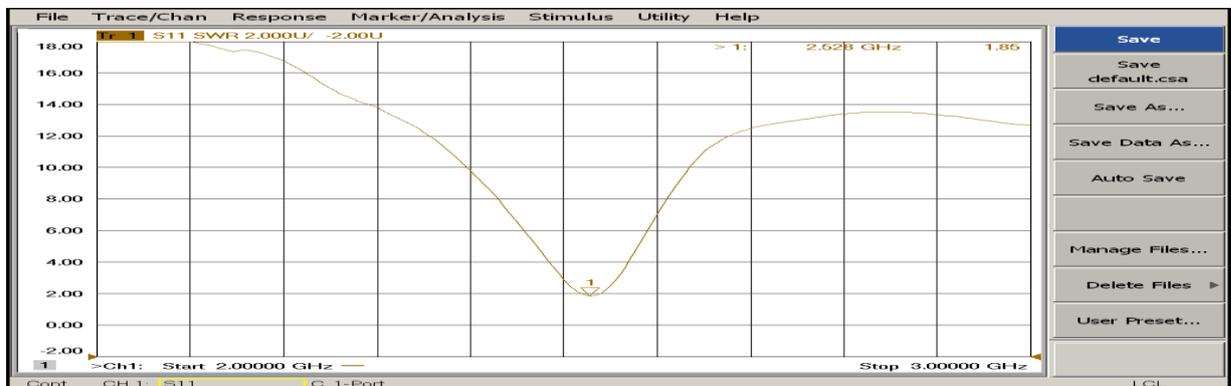


Figure III.25 : le rapport d'onde stationnaire de l'antenne avec encoche

Après avoir exportés les résultats de l'analyseur, nous avons confrontés avec les résultats de simulation électromagnétique. La comparaison simulation / mesure pour l'antenne patch avec encoche est donnée par les figure suivants :

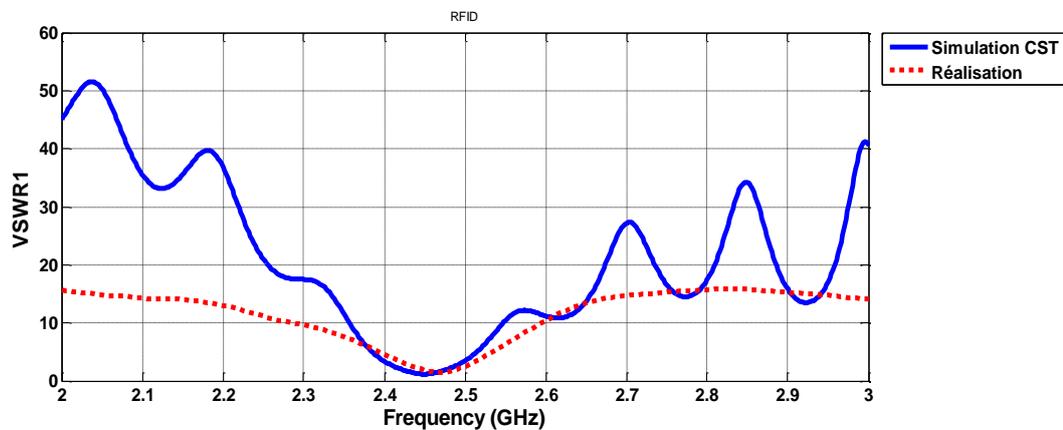


Figure III.26: Comparaison VSWR mesuré de l'antenne avec encoche

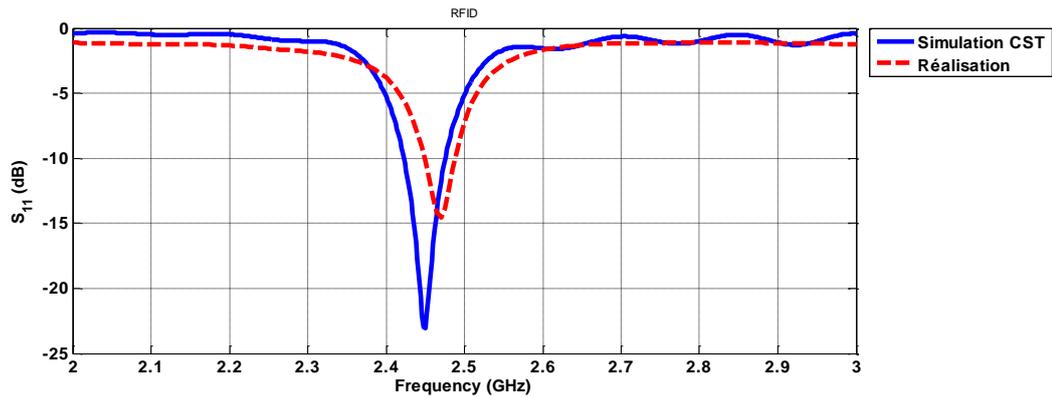


Figure III.27 : Comparaison de coefficient de réflexion simulé et mesuré d'antenne patch avec encoche

### III.8.2 La nouvelle structure d'antenne



Figure III.28: antenne patch nouvelle structure à réaliser (face supérieure et inférieure)

#### III.8.2.1 mesure de coefficient de réflexion et rapport d'onde stationnaire



Figure III.29: Antenne patch nouvelle structure test

## Chapitre III : Résultats expérimentaux

Après le test on a trouvé les résultats suivants :

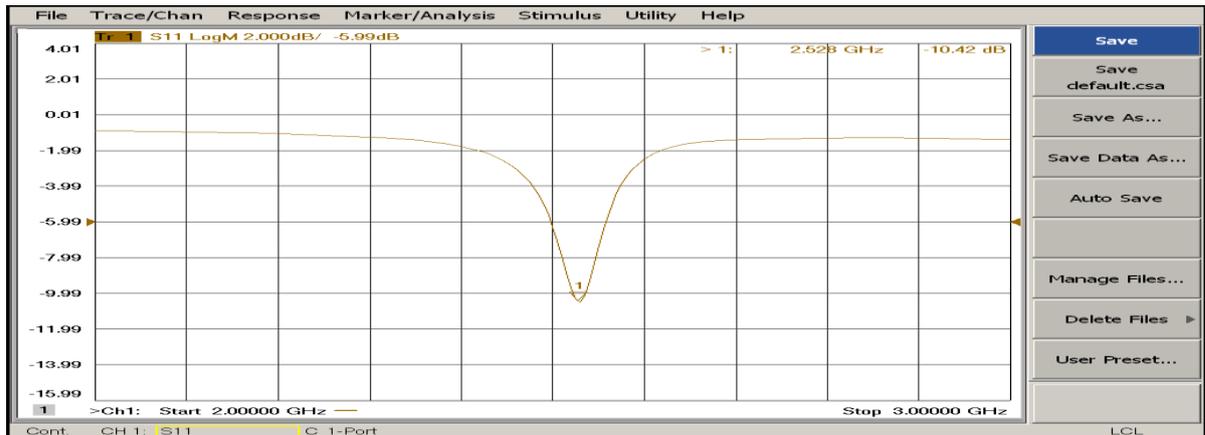


Figure III.30 : coefficient de réflexion mesuré de l'antenne nouvelle structure

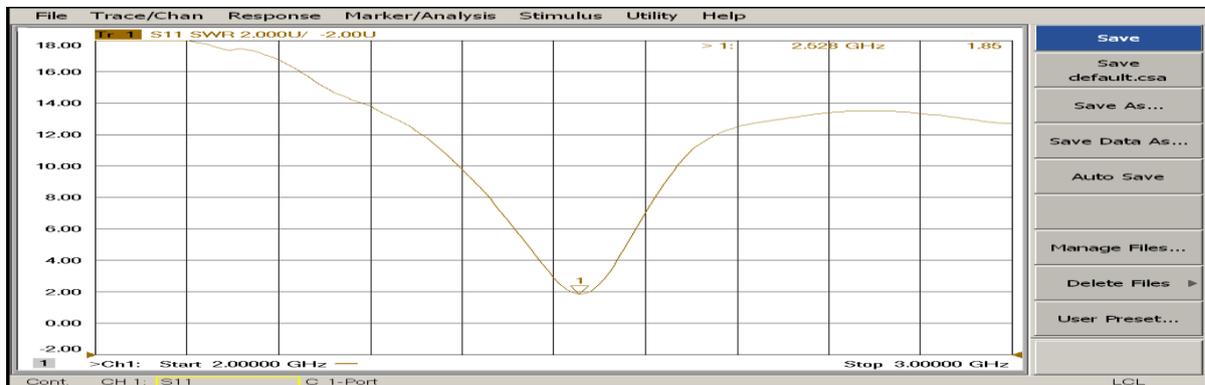


Figure III.31 : le rapport d'onde stationnaire de l'antenne nouvelle structure

Après avoir exportés les résultats de l'analyseur, nous avons confrontés avec les résultats de simulation électromagnétique. La comparaison simulation / mesure pour l'antenne patch nouvelle structure est donnée par les figure suivants :

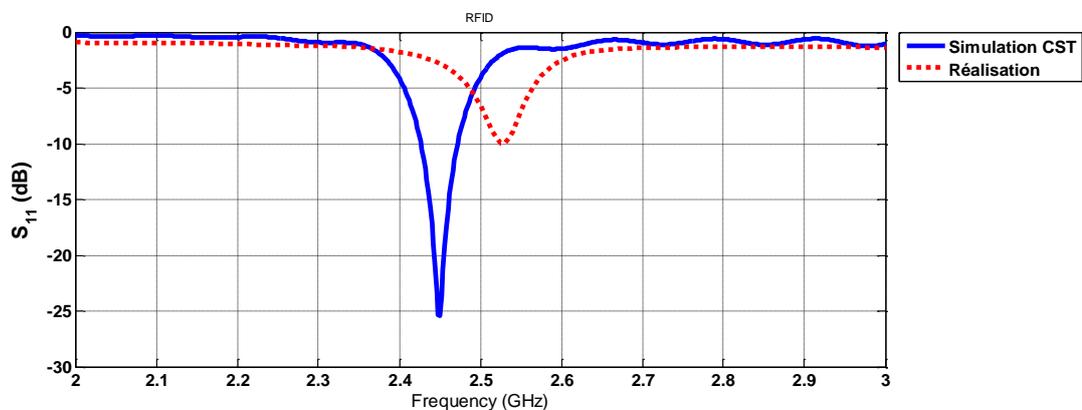


Figure III.32: Comparaison de coefficient de réflexion simulé et mesuré d'antenne patch nouvelle structure

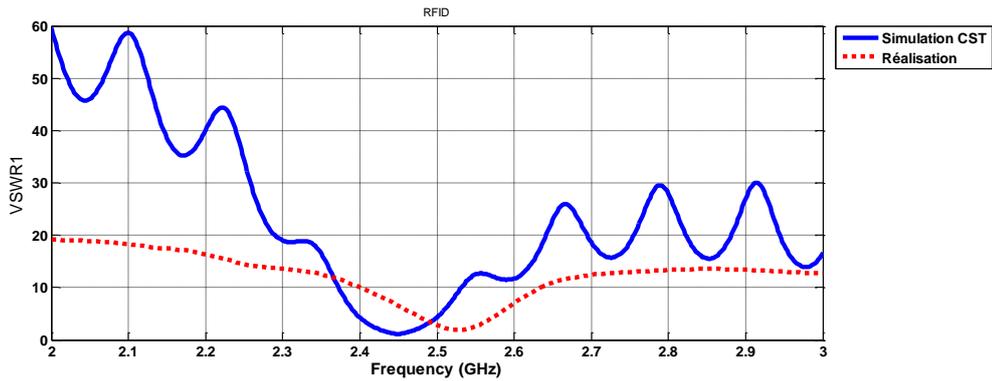


Figure III.33: Comparaison de VSWR simulé et mesuré d'antenne patch nouvelle structure

### III.8.3 Le réseaux d'antenne (2×1)



Figure III.34: réseaux d'antenne (2×1) à réaliser (face supérieure et inférieure)

#### III.8.3.1 mesure de coefficient de réflexion et rapport d'onde stationnaire

Après le test on a trouvé les résultats suivants :

## Chapitre III : Résultats expérimentaux

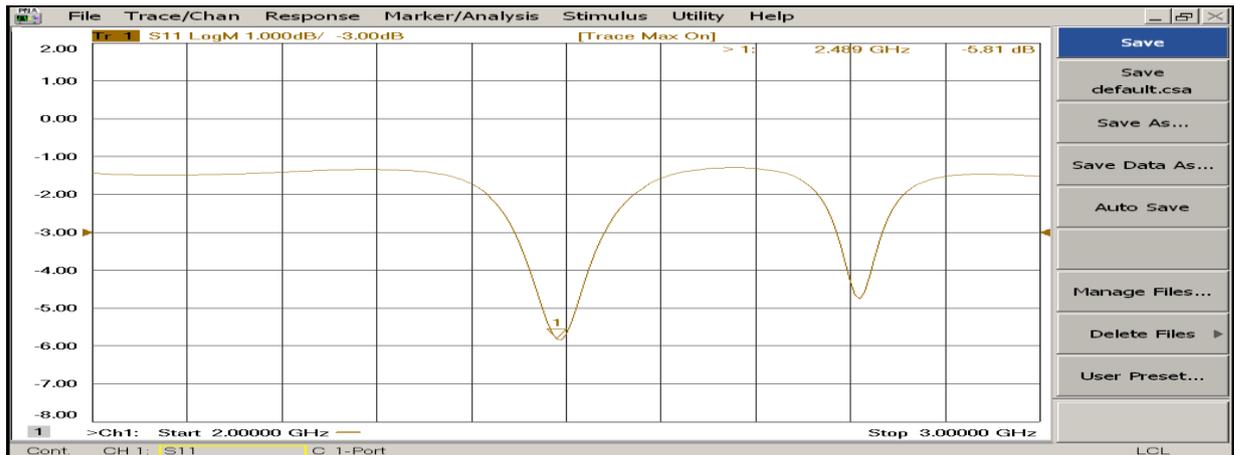


Figure III.35 : coefficient de réflexion mesuré d'un réseau d'antenne ( $2 \times 1$ )

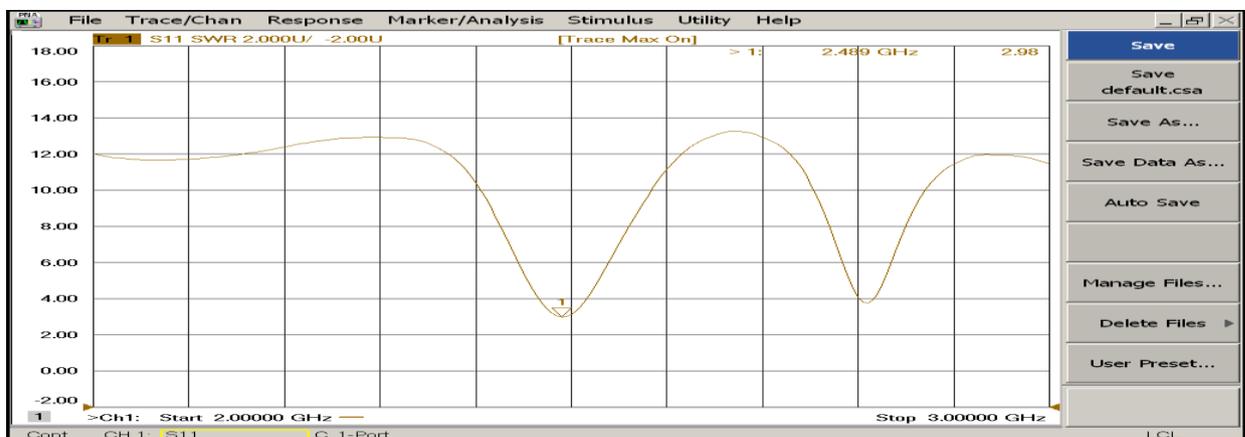


Figure III.36 : le rapport d'onde stationnaire mesuré d'un réseau d'antenne ( $2 \times 1$ )

Après avoir exportés les résultats de l'analyseur, nous avons confrontés avec les résultats de simulation électromagnétique. La comparaison simulation / mesure le réseau d'antenne ( $2 \times 1$ ) est donnée par les figure suivants :

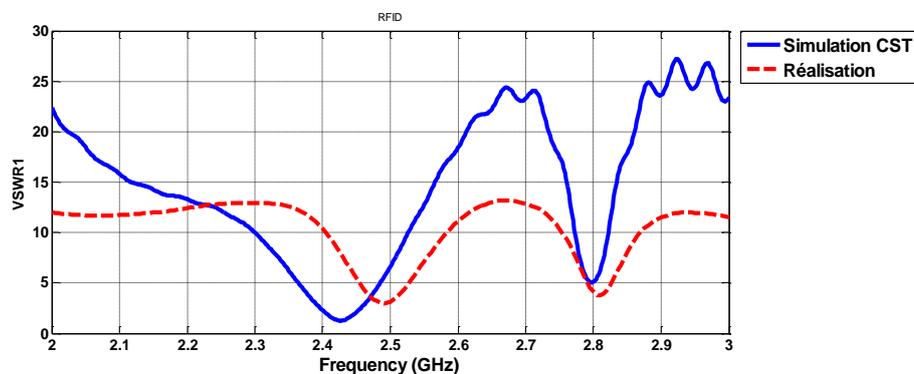
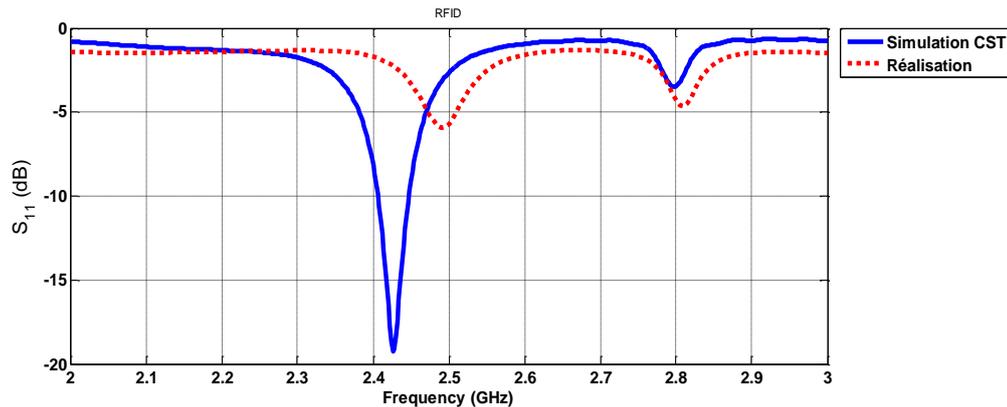


Figure III.37: Comparaison de VSWR simulé et mesuré réseaux d'antenne ( $2 \times 1$ )



**Figure III.38: Comparaison de coefficient de réflexion simulé et mesuré réseaux d'antenne (2x1)**

A partir des figures III (26, 27, 32, 33,37, 38), il est à noter un léger décalage fréquentiel des bandes passantes et cela pour les trois antennes. Pour la première antenne (avec les encoches) et nouvelle structure d'antenne un très bon accord entre simulation et mesure a été enregistré et les bandes passantes mesurée et simulée son presque les même. Cependant, pour la troisième antenne (réseau), il' a un décalage entre simulation et mesure, ces écarts prouvent être attribués aux défauts de fabrication et/ou incertitudes de mesure. Malgré ces écarts, les résultats obtenus en mesure pour les trois antennes respectent bien les spécifications fixées dans nôtres cahier des charges.

### III.9 Conclusion

Dans ce chapitre nous nous sommes intéressés à la simulation électromagnétique à la conception d'antennes imprimées et des réseaux d'antennes avec une nouvelle structure pour les systèmes RFID SHF. En effet, après avoir exposé le cahier des charges, deux antennes patch, imprimées directement sur FR4, avec une ligne microruban ont été dimensionnées et simulées. Des études paramétriques ont été également effectuées pour la nouvelle structure d'antenne. Nous avons reporté les résultats en termes de coefficient de réflexions et de diagramme de rayonnement, le gain et la distance de lecture par simulation sous CST. Après, nous avons simulé un réseau d'antenne composé de deux éléments et le gain obtenu était respectivement de 5.14 dBi, ce gain est amélioré en augmentant la taille du réseau de 1 éléments à 2 éléments, en plus nous intéressées à la réalisation des trois antennes et la validation expérimentale des antennes pour lecteur RFID SHF utilisé les analyseurs réseaux le coefficient de réflexion et le rapport d'onde stationnaire, enfin en a comparé les résultats.

---

# *Conclusion Général*

## Conclusion Général

---

L'identification par radiofréquence est aujourd'hui utilisée dans de nombreux domaines, elle est basée sur l'utilisation des ondes radioélectriques pour lire à distance les données inscrites dans un transpondeur RFID communément appelé étiquette ou tag RFID.

Dans ce travail, nous avons fait la conception d'une antenne patch avec une nouvelle structure et plus performante. Ensuite nous s'intéresse sur la conception d'un réseau d'antennes patch pour les applications de lecteur RFID à la fréquence de travail qui est de 2.45 GHz.

Après la présentation de généralités sur les antennes, nous avons mis l'accent sur les antennes imprimées (patch) et exposé quelques techniques d'alimentations ainsi que son mécanisme de base. Ensuite, les systèmes RFID ont été introduits en détaillant leur principe de fonctionnement, leurs constituants ainsi que leurs fréquences de fonctionnement.

L'étape de conception des antennes pour lecteur RFID SHF a débuté par la présentation du cahier des charges et de l'outil de simulation électromagnétique utilisé.

Du à leur faible bande passante et gain, les antennes patch rectangulaire classiques ne permettent pas satisfaire le cahier des charges fixé. Afin de palier a cet inconvénient, nous avons fait une nouvelle structure d'antenne patch forme hexagone puis un réseau de deux éléments. Nous avons reporté les résultats en termes de coefficient de réflexion, de diagramme de rayonnement et la distance de lecture RFID de cette antenne obtenus par simulation sous CST, le but de cette étude est de voir amélioré le gain.

Les résultats du trois essai à la fréquence de résonnance son plus performante. Ainsi ont été fabriquées et validées expérimentalement à l'aide d'un analyseur réseau les tests de ces antennes on conclure par la comparaison des résultats.

Finalement, Les résultats obtenus sont satisfaisants et laissent penser à des travaux d'optimisation futurs.

## Bibliographie

---

- [1] A. Boyer, Cours d'antennes « Réseau et Télécom » Toulouse, édition Octobre 2011
- [2] Odile Picon et coll ; « Les antennes Théorie, conception et applications »; Dudo, Paris,2009, ISBN 978-2-10-054245-1.
- [3] A.Benmostef, Q.nekbil « Etude des antennes intelligente », institut de télécommunication Oran, édition juin 2004.
- [4] M. Meguelati, Cours d'antennes, 4eme années ingénieur, édition 2001
- [5] N. Nora, « Etude et simulation de diagramme de rayonnement de l'antenne intelligente», Thèse de doctorat, université de Blida, édition 2007
- [6] W. SAMATI « optimisation d'un réseau d'antenne » thèse d'ingénieur, université de Blida, édition 2010.
- [7] A. Boyer, "Institut national des sciences appliquées de Toulouse 5," p. 79, 2011, Support de cours enonce de travaux dirigés, [Online]. Available : alexandre.boyer@insa-toulouse.fr
- [8] Fouad Benamrane, « Conception d'une antenne patch microstrip », Université Sidi Mohamed Ben Abdellah (Fès) MAROC - Master télécoms hyperfréquence 2011.
- [9] livre «Les antennes : Fondamentaux/roger-charles houzé » Paris,2006
- [10] Melhi souhila, «Antenne de téléphonie mobile, caractérisation et optimisation», mémoire de master, Université de Abderrahmane Mira -Bejaia 2016.
- [11] Leila chouitti, «contribution à l'étude d'antenne imprimées rectangulaires doubles bandes et multi-bandes tenant compte de l'effet de couplage», Thèse magistère, Institut d'électronique, Université de Constantine, 2009
- [12] Zied Harouni. « Conception et caractérisation d'une Rectenna à double polarisation circulaire à 2.45 GHz» Université Paris-Est, 2011. Français. NNT : 2011PEST1026.tel-00682898.
- [13] MEKAOUI keltoum, «Optimisation d'un réseau d'antennes (ILS) par l'algorithme d'abeilles » mémoire de master, Université de M'Hamed Bougara Boumerdes, 2015/2016.

## Bibliographie

---

[14]] L. I. Basilio, M. A. Khayat, J. Williams, S. A. Long, «The dependence of the input impedance on feed position of probe and microstrip line fed patch antennas», IEEE transactions Antennas Propagat, Vol. 49, pp. 45-47, Janvier 2001.

[15] A. Boufrioua, «Contribution à l'analyse d'une antenne microbande circulaire par la méthode spectrale et le modèle de la cavité», thèse de magistère, Institut d'électronique, Université de Constantine. 2000.

[16] D.M. POZAR «Microstrip Antennas», IEEE, Vol.80 N° 1, pp .79-91, January 1992.

[17] M. Belhadri, «Influence de la supraconductivité à haute température de transition sur la résonance d'une plaque rectangulaire réalisée sur un substrat à anisotropie de type électrique et magnétique», mémoire de Magister, Université de Ouargla, 2013.

[18]] Constantine A. Balanis, « Antenna theory analysis and design», A John Wiley & Sons, INC Publication, Third Edition. Hoboken, New Jersey 2005.

[19] M. Boualem, « Etude du fonctionnement en mode bi fréquence des patches microbandes empilés et excentrés», mémoire de Magister, Université de Ouargla.2013

[20] M. Titaouine, « Analyse des antennes microrubans de forme arbitraire par la méthode des moments et le modèle généralisé de la cavité», Thèse de Doctorat, Université de Sétif, Sept.2007.

[21] F. Chebbara, « Etude des caractéristiques de résonance et de rayonnement des antennes microbandes réalisées avec des matériaux ayant une anisotropie de type électrique et magnétique», Thèse de doctorat, université de Batna, juin 2011.

[22] Ch. Zebiri, «EFFET De l'anisotropie Tensorielle sur les paramètres Des structures planaires Contribution à une réalisation d'un résonateur microruban», thèse de doctorat Université de Constantine.2011.

[23] Y. Tighilt, « Identification des antennes microrubans multicouches par la méthode spectrale et les réseaux de neurones, thèse de doctorat en électronique», Université de Sétif, juin 2011.

[24] By Irfan Ali Tunio, Yann Mahe, Tchanguiz Razban-Haghighi, and Bruno Froppier Progress In Electromagnetics Research C, Vol. 107, 157-171, 2021

## Bibliographie

---

[25] N. Khelkhal, «Réseaux d'antenne patch pour les applications RFID», mémoire de master réseau et télécom, Université de Belhadj Bouchaib Ain temouchent 2020.

[26] I. J. Bahl and P. Bhartia, « Microstript Antenna», Dedham, Artech House, 1980.

[27] p. Ilunga « Technologie RFID » mémoire fin d'étude 2007 Faculté des sciences et de génie université Laval Québec.

[28] B. Yahiaoui, A. Sfaïhi, and A. Mekhmoukh, «Technologie RFID Étude et application» Université Abderrahmane mira Bejaia, 2015.

[29] O. Bilal et D. Abdelhalim« Etude et conception d'un système d'accès sécurise par la technologie RFID» mémoire fin d'étude université Guelma 2019.

[30] C. Lalouche and S. Boutoumi, « Conception d'une antenne RFID large bande à hautgain» Université Abderrahmane Mira-Bejaia, 2019.

[31] S.Teddjini et M. « Dang Développement de capteur sans fil basées sur les tags RFID UHF passifs pour la détection de la qualité des aliments» thèse de doctorat 27 septembre 2013.

[32] M. Dhaoudi « conception et optimisation des antennes RFID» thèse de doctorat université de Tunis 2014.

[33] B. Mouloud S. Hocine« Implémentation d'un transpondeur RFID UHF sur circuit intégré »Mémoire de fin d'étude Option Microélectronique, Microsystèmes et Conception de Circuits université Blida 2016/2017.

[34] F. Daout, S. Jacquet, and X. Durocher, «Conception, Simulation, Réalisation et mesure d'une antenne imprimée rectangulaire 2.4 GHz thèse de doctorat 2015

[35] Delphine Bechevet, « Contribution au développement de tag RFID UHF et microondes sur matériaux plastiques », Institut National Polytechnique de GRENOBLE, 9 décembre 2005.

[36] I. Gammoudi «Application des antennes RFID à base de liquide crystal polymère dans un environnement souterrain» thèse de doctoract université du Québec en Abitibi-Témiscamingue aout 2017

## Bibliographie

---

[37] A. Ghiotto, «Conception d'antennes de tags RFID UHF, application à la réalisation par jet de matière »Thèse de doctoract 26 novembre 2008.

[38] Belgacem Nassima, «Conception des antennes PIFA mono-bande et multi-bande GSM, DCS, PCS, UMTS et WIFI »Mémoire de fin d'étude de master académique Université de Tlemcen, 2013

[39] B. Youssef, B. Bassim Sendague, and O. R. Joao Gabriel, « Projet RFID»2011.

[40] Akaninyene B, Gabriel A. Igwue , « Design and Simulation of Rectangular Microstrip Antenna Arrays for Improved Gain Performance» International Journal of Networks and Communications 2019, 9(2): 73-81

## Annexe : calculs des dimensions théoriques

Antenne patch est constituée d'un élément rayonnant de forme carrée de longueur L et largeur W, imprimé sur un substrat d'une épaisseur h et de permittivité  $\epsilon_r$ . Le tableau suivant représente les équations utilisées pour le calcul de notre antenne carrée à une fréquence de 2.45GHz.

Paramètre d'antenne	Equations	
Longueur du patch (L)	$L = l_{eff} - 2\Delta l$	
Longueur effective (Leff)	$L_{eff} = \frac{c}{2fr\sqrt{\epsilon_{reff}}}$	
L'extension de la longueur ( $\Delta L$ )	$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_r + 0.3)\left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_r - 0.259)\left(\frac{W}{h} + 0.8\right)}$	
Constante diélectrique ( $\epsilon_{reff}$ )	$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ 1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{-1/2}$	
Largeur du patch (W)	$W = \frac{c}{2fr} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}}$	
Longueur du substrat (Lg)	$L_g = l + l_1 + 6 * h$	
Largeur du substrat (Wg)	$W_g = w + 6 * h$	
L'impédance caractéristique de la ligne microruban	$Z_C = \frac{119.9}{\sqrt{2(\epsilon_r + 1)}} \left[ \ln \left( 4 \frac{h}{wf} + \sqrt{16 \left( \left( \frac{h}{wf} \right)^2 + 2 \right) - \frac{1}{2} \left( \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \right) \left( \ln \frac{\pi}{2} + \frac{1}{\epsilon_r} \ln \frac{4}{h} \right)} \right] \right]$	
La largeur de la ligne	simple	$L_1 = \frac{\lambda}{2} = \frac{\lambda_0}{2\sqrt{\epsilon_{reff}}}$

## Annexe : calculs des dimensions théoriques

---

**Tableau A.1** : paramètres de l'antenne patch carre

- C : la vitesse de la lumière  $c=3*10^8$  m/s
- Fr : fréquence de résonance
- $\epsilon_r$  : permittivité du substrat
- h : l'épaisseur du substrat