

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان  
Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –  
Faculté de TECHNOLOGIE



## MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

**En** : Télécommunications

**Spécialité** : Systèmes des Télécommunications

**Par** : HAOULIA Boumediene et BELHACHEM Yacine Ramzi

### Sujet

Etude et Conception d'antennes Patch pour les applications lecteur RFID en champ proche

Soutenu publiquement, le 13 /06/2023, devant le jury composé de :

M. BENDIMERAD Fathi Tarik	Professeur	Université de Tlemcen	Président
Mme. BENMOSTIFA Naima	M.C. A	Université de Tlemcen	Examinatrice
Mme. GOURARI Fatima Zohra	M.C. B	Université de Tlemcen	Encadreur

Année universitaire : 2022/2023

# Remerciement

*Nos remerciements ALLAH le tout puissant de nous avoir donnés le courage, la volonté et la patience de mener à terme ce présent travail*

*Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre encadrante à Mme **GOURARI Fatima Zohra**, Maître de conférence classe B à l'université de Tlemcen, qui nous a soutenu sans relâche dans ce travail. Nous la remercions pour son encadrement, son aide, ses précieux conseils et sa disponibilité.*

*Nous exprimons nos sincères remerciements à Monsieur **BENDIMERAD Fathi Tarik**, Professeur à l'Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen, qui a accepté avec honneur de présider ce travail. Nous lui témoignons ici toute notre gratitude.*

*Nous souhaitons également exprimer nos sincères remerciements à Mme **BENMOSTIFA Naima**, Maître de conférence de classe A à l'université de Tlemcen, pour avoir accepté d'examiner, d'évaluer et d'enrichir notre travail par ses précieuses propositions*

*. Pour conclure, nous souhaitons exprimer notre profonde gratitude envers tous les enseignants du département de télécommunication de l'Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen .Nous tenons également à rendre hommage à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation, depuis notre parcours scolaire primaire jusqu'à nos études universitaires. Leur dévouement et leur enseignement ont joué un rôle fondamental dans notre développement académique, et nous leur sommes infiniment reconnaissants pour leur soutien inestimable*

# *Dédicaces*

---

*C'est un grand honneur de dédier cette mémoire à mes chers parents, ceux que j'aime par-dessus tout. Ils m'ont constamment encouragé et poussé vers le succès. Je leur suis infiniment reconnaissant pour leur amour inconditionnel et leur soutien inestimable.*

*À mes frères Sidali et Omar et ma sœur Amel, pour l'amour, l'attention et l'aide qu'ils m'ont apportés.*

*À mes chers amis*

*À mes cousins que je les considère comme des frères.*

*À mon binôme Yacine*

*À l'ensemble de ma promotion de Master ST, avec qui j'ai partagé de précieux moments qui resteront à jamais gravés dans ma mémoire.*

**HAOULIA Boumediene**

# *Dédicaces*

---

*Je ne pourrai jamais exprimer suffisamment ma gratitude pour tout ce qu'ils ont fait pour moi. Sans leur soutien inconditionnel, je ne serais pas parvenu là où je suis aujourd'hui. Je tiens également à dédier ce travail à mes chers parents, à mon frère, ma sœur, qui ont toujours été là pour moi. Un remerciement spécial à mon binôme Boumediene, avec qui j'ai partagé d'incroyables moments tout au long de ce parcours. J'adresse également mes remerciements à tous mes amis, qui m'ont soutenu et encouragé.*

**BELHACHEM RAMZI**

# Résumé

La technologie de radio-identification par fréquence (RFID) est couramment utilisée pour automatiser la reconnaissance et la perception des objets en exploitant les propriétés des champs électromagnétiques. Plus spécifiquement, la RFID ultra-haute fréquence (UHF) est une variante de système RFID passive qui opère dans le spectre de fréquences UHF,

Une technologie RFID UHF standard est constitué d'éléments notamment des étiquettes, des lecteurs, des antennes de lecteur, ainsi que de micrologiciels et de logiciels nécessaires au fonctionnement efficace du réseau. Dans le contexte des dispositifs RFID UHF, les antennes utilisées sont généralement de type résonant. Les antennes des étiquettes sont souvent simples et adoptent une configuration en dipôle, tandis que les antennes des lecteurs peuvent être soit des antennes rayonnantes en champ lointain, soit des antennes réactives dans une zone rapprochée. Parmi notre étude de recherche de fin d'études, notre objectif principal est de développer des antennes de taille réduite spécifiquement adaptées aux applications d'étiquettes RFID dans la bande UHF en champ proche.

**Mots clé :** Identification par radio fréquence RFID, tag, CST, champ proche

# Abstract

Radio Frequency Identification (RFID) technology is commonly used to automate the recognition and perception of objects by exploiting the properties of electromagnetic fields. More specifically, ultra-high-frequency (UHF) RFID is a variant of passive RFID system that operates in the UHF frequency spectrum, a standard UHF RFID technology consists of components including tags, readers, reader antennas, as well as firmware and software necessary for the efficient operation of the network. In the context of UHF RFID devices, the antennas used are generally of the resonant type. Tag antennas are often simple and adopt a dipole configuration, while reader antennas can be either far-field radiating or near-field reactive. As part of our final-year research study, our main objective is to develop reduced-size antennas specifically adapted to RFID tag applications in the UHF near-field band.

**Key words:** Radio frequency identification RFID, tag, CST, near field

## ملخص

RFID لتحديد وتتبع الأجسام تلقائياً باستخدام الحقول الكهرومغناطيسية. تعتبر تقنية (RFID) تستخدم تقنية تحديد الهوية بالتردد اللاسلكي النموذجي من RFID UHF يتكون نظام UHF السلبية التي تعمل في نطاق تردد RFID نوعاً من أنظمة (UHF) عالية التردد فائقة عناصر مثل العلامات والقارئ وهوائيات القارئ، بالإضافة إلى البرامج الثابتة والبرامج لضمان عمل الشبكة. عادةً ما تكون الهوائيات هي هوائيات ذات تردد مُتلائم. الهوائيات الخاصة بالعلامات عادة ما تكون بسيطة ومن نوع هوائي RFID UHF المستخدمة في أنظمة القطبية المتعددة الاتجاهات، بينما تكون هوائيات القارئ هوائيات مستوية توجيهية. يمكن أن تكون هوائيات القارئ هوائيات مشعة في المجال البعيد أو هوائيات تفاعلية في المجال القريب. في هذا المشروع التخرج، نقترح تصميم هوائيات صغيرة الحجم ملائمة لتطبيقات في المجال القريب UHF في نطاق RFID علامات.

الكلمات المفتاحية: هوائي، RFID, tag, CST, الحقل القريب

# Table des matières

Résumé.....	I
Table des matières.....	III
Introduction général.....	1
<b>CHAPITRE I GENERALITE SUR LA TECHNOLOGIE RFId.....</b>	<b>1</b>
I.1 Introduction .....	4
I.2 L'histoire de la RFID.....	4
I.3 Principe de fonctionnement d'un système RFID.....	7
I.4 Les différents composants d'un système RFID.....	8
I.4.1 LECTEUR RFID .....	8
I.4.2 Middleware et le système d'information.....	12
I.4.3 L'étiquettes RFID .....	13
I.5 Fréquences de fonctionnement du système RFID.....	17
I.6 Normes et protocoles de RFID .....	18
I.6.1 Normes.....	18
I.6.2 Protocoles [13].....	19
I.7 Le marché mondial de la technologie RFID :.....	20
I.8 Application de la RFID .....	21
I.9 Avantages et inconvénients de la technologie RFID.....	22
I.9.1 Avantage.....	22
I.9.2 Inconvénient .....	23
I.10 Conclusion.....	23
<b>CHAPITRE II Système RFID.....</b>	<b>25</b>
II.1 Introduction.....	26
II.2 Communication PAR ÉTIQUETTE RFID .....	26
II.2.1 Mécanismes de couplage .....	27
II.2.2 Régions de champ électromagnétique .....	28
II.3 Distance de lecture .....	29
II.4 Paramètres fondamentaux des antennes.....	30
II.4.1 Rapport d'ondes stationnaires de tension .....	30
II.4.2 Facteur de qualité.....	31
II.4.3 La fréquence de résonance.....	32

II.4.4 Directivité .....	32
II.4.5 Le gain .....	33
II.4.6 Efficacités de l'antenne .....	33
II.4.7 Bande passante .....	34
II.4.8 Impédance d'entrée.....	35
II.4.9 Diagramme de rayonnement.....	35
II.4.10 Polarisation .....	36
II.5 Le système RFID passif.....	37
II.5.1 Transfert maximum de puissance .....	37
II.5.2 Equation de Friis.....	38
II.6 Conclusion.....	39
<b>CHAPITRE III Conception d'une antenne lecteur RFID en champ proche.....</b>	<b>40</b>
III.1 Introduction.....	41
III.2 Le champ proche en RFID .....	41
III.3 La modélisation d'une communication RFID UHF champ proche .....	43
III.4 La conception des antennes de lecteurs RFID en champ proche. ....	45
III.5 Présentation du logiciel Microwave Studio de CST.....	46
III.6 Modélisation des antennes patch.....	47
III.6.1 Antenne patch rectangulaire .....	47
III.6.2 Antenne patch circulaire .....	48
III.7 Etude et conception des antennes patch .....	50
III.7.1 Antenne patch rectangulaire .....	50
III.7.2 L'ANTENNE CIRCULAIRE.....	54
III.8 Conclusion.....	61
Conclusion Générale.....	63
Bibliographie .....	65
Sigles et abréviations.....	69



# Table des Illustrations

## Liste des Figures

### CHAPITRE I

Figure I.1 : Fonctionnement d'un système RFID.....	8
Figure I.2 : Les composants du système RFID[7].....	8
Figure I.3 : illustration de la relation maître-esclave (Master-Slave).....	9
Figure I.4 : lecteur RFID stationnaire.....	11
Figure I.5 : lecteur RFID mobile.....	11
Figure I.6 : Exemple d'un tag RFID.....	13
Figure I.7 : Exemple d'une étiquette RFID UHF passive.....	15
Figure I.8 : étiquette RFID semi-passive.....	15
Figure I.9 : étiquette RFID active.....	16
Figure I.10 : exemple tag sans puce.....	16

### CHAPITRE II

Figure II.1 : mécanisme de couplage.....	28
Figure II.2 : Les régions de rayonnement au voisinage d'une antenne.....	28
Figure II.3 : Illustration de la distance de lecture entre un lecteur RFID et un tag.....	30
Figure II.4 : Exemple d'une bande passante.....	34
Figure II.5 : L'impédance modèle de circuit RFID.....	35
Figure II.6 : Différent représentation du diagramme de rayonnement.....	36
Figure II.7 : polarisation du champ électromagnétique.....	37

### CHAPITRE III

Figure III.1 : Définition des zones de champs [39].....	42
Figure III.2 : Boucle de conduction par couplage magnétique (à gauche), circuit équivalent pour Une boucle de conduction par couplage magnétique (à droite) [41].....	43
Figure III.3 : Mécanisme de couplage dans les systèmes RFID [6].....	43
Figure III.4 : Méthodologie de conception des antennes RFID [16].....	45
Figure III.5 : Description de logicielle CST.....	46
Figure III.6 : Antenne patch micro ruban rectangulaire.....	47
Figure III.7 : Antenne patch micro ruban circulaire.....	48
Figure III.8 : Géométrie de l'antenne patch rectangulaire.....	50
Figure III.9 : Coefficient de réflexion S11 (dB) de l'antenne patch (effet de sa).....	51
Figure III.10 : Coefficient de réflexion S11 (dB) de l'antenne patch (effet de w).....	51
Figure III.11 : Coefficient de réflexion S11 (dB) de l'antenne patch.....	52
Figure III.12: Diagramme de rayonnement 3-D (gain) a f=2.45GHz.....	53
Figure III.13 : Diagramme de rayonnement 3-D (directivité) a f=2.45GHz.....	53

Figure III.14 : Diagramme de rayonnement en présentation polaire .....	54
Figure III.15 : le rapport d'ondes stationnaire pour l'antenne a 2.45GHz.....	54
Figure III.16 : Géométrie de l'antenne patch circulaire .....	55
Figure III.17 : Coefficient de réflexion S11 (dB) de l'antenne (effet de r).....	56
Figure III.18 : Coefficient de réflexion S11 (dB) de l'antenne (effet de Is).....	56
Figure III.19 : Coefficient de réflexion S11 (dB) de l'antenne (effet de i2) .....	57
Figure III.20 : Coefficient de réflexion S11 (dB) de l'antenne.....	58
Figure III.21 : Diagramme de rayonnement 3-D (directivité) .....	58
Figure III.22 : Diagramme de rayonnement en présentation polaire .....	59
Figure III.23 : le rapport d'ondes stationnaire pour l'antenne (VSWR) de 8.73 MHz.....	60
Figure III.24 : le rapport d'ondes stationnaire pour l'antenne (VSWR) de 2.45GHz .....	60
Figure III.25 : d'antenne (2×1) à réaliser (face supérieure et inférieur) .....	61

## Liste des tableaux

### CHAPITRE I

Table I-1 : Fréquences RFID.....	17
Table I-2 : Comparatif de tous les domaines fréquentiels de la RFID [20].....	18

### CHAPITRE III

Table III-1 : tableau des paramètres de l'antenne patch avec ses valeurs.....	52
Table III-2 : tableau des paramètres géométrique de l'antenne patch avec ses valeurs.....	57

# **I**ntroduction

---

# **G**énéral

## **Introduction général**

Les technologies de l'information ont ouvert la voie à des méthodes d'identification automatique et précise des objets, même en l'absence de visibilité directe. L'une de ces technologies en constante évolution est l'identification par radiofréquence (RFID), qui utilise des signaux RF pour détecter et reconnaître les objets portant des étiquettes microélectroniques avec un identifiant unique fixé à une antenne (étiquette RFID). Lorsqu'un lecteur RFID est à proximité, ces étiquettes renvoient leur code unique [1].

Initialement utilisée pour les systèmes d'identification automatique depuis les années 80, la technologie RFID s'est rapidement répandue dans d'autres applications grand public, grâce à ses nombreux avantages et à la baisse des coûts de fabrication. Aujourd'hui, elle est utilisée pour l'identification des animaux et des objets, la gestion des stocks, la gestion des actifs, le contrôle d'accès sans contact, les systèmes anti-contrefaçon et antivol, les soins de santé, et bien d'autres domaines.

Récemment, la technologie RFID a été étendue pour permettre un certain niveau de suivi et de localisation simultanée. Elle repose sur l'utilisation de puces électroniques connectées à de petites antennes et fonctionne généralement de manière passive, sans source d'énergie propre. Les étiquettes RFID attendent d'être activées par la fréquence radio émise par l'émetteur-récepteur, utilisant l'énergie du signal radio reçu pour réfléchir et répondre à celui-ci. Cette technologie offre une facilité d'utilisation sans intervention humaine.

Pour mieux cerner notre travail, ce mémoire est structuré en trois chapitres. Le premier chapitre propose une introduction générale sur la RFID, présentant les composants du système RFID, les étiquettes et les fréquences qui leur sont allouées, ainsi que les domaines d'application de cette technologie, tout en abordant ses avantages et ses inconvénients.

Le deuxième chapitre se concentre sur les différentes formes de connexions RFID. Nous explorons en détail les principes de fonctionnement des systèmes RFID UHF passifs, ainsi que leurs propriétés, leurs performances et leurs limites. Nous débutons en énumérant les différents paramètres et caractéristiques des antennes utilisées dans la technologie RFID.

Enfin, le troisième chapitre est dédié à la conception d'antennes pour les lecteurs RFID en champ proche. Une configuration d'antenne a été étudiée, simulée, analysée et testée à l'aide du logiciel de

simulation CST. Les résultats des tests de performance de cette antenne pour les applications RFID en champ proche ont été obtenus.

En conclusion, nous terminons ce travail par une synthèse générale récapitulant les principaux résultats obtenus au cours de notre étude.

CHAPITRE

**C**hapitre I

**G**énéralité sur

**L**a technologie **R**FD

## I.1 Introduction

Une nouvelle technologie connue sous l'appellation d'identification par radiofréquence, ou RFID en abrégé, autorise la lecture à distance de données stockées sur des objets, des animaux ou même des personnes. Comme la RFID permet une identification automatique et sans contact, à l'inverse des autres technologies d'identification comme les codes-barres, elle est très performante, adaptable et parfaite pour les activités automatisées.

La RFID est devenue une technologie de plus en plus répandue dans de nombreux secteurs, notamment la gestion de la chaîne d'approvisionnement, la logistique, l'industrie manufacturière, la santé, les transports, la sécurité et même l'agriculture. Cette technologie offre des gains significatifs en termes d'efficacité opérationnelle, permettant une vision en temps réel sans précédent des actifs et des stocks tout au long de la chaîne d'approvisionnement.

Ce chapitre aborde les concepts fondamentaux de la technologie RFID, son historique et son avancement au cours des années, ainsi que ses éléments essentiels, à savoir les lecteurs, les étiquettes et les systèmes de traitement des données. Nous analyserons également les différentes fréquences de fonctionnement de la RFID et les nombreux types d'étiquettes appliqués à la RFID. Enfin, nous examinerons certaines utilisations concrètes du dispositif RFID, ainsi que ses avantages et ses contraintes.

## I.2 L'histoire de la RFID

L'identification par radiofréquence (RFID) existe depuis plus de 80 ans et est devenue l'une des technologies les plus puissantes disponibles pour le suivi des échantillons et la gestion des actifs. Constitués d'un lecteur et d'un transpondeur RFID, les systèmes RFID peuvent comprendre plusieurs étiquettes (antennes associées à une puce) qui peuvent émettre des signaux à ondes longues, soit de manière active, soit en réponse à un signal émis par un émetteur à balayage. Ces étiquettes ont révolutionné le secteur industriel et les laboratoires biomédicaux et ont permis de suivre en temps réel des stocks entiers d'échantillons, sans jamais les retirer du stockage.

### ▪ Technologie de la Seconde Guerre mondiale

La Seconde Guerre mondiale (WWII) est considérée comme la première utilisation d'une technologie similaire à la RFID. Le radar, découvert en 1935 par Sir Robert Alexander Watson-Watt, était utilisé par

l'armée américaine, britannique et allemande. Cependant, les signaux radar utilisés pour détecter les avions en approche ne pouvaient pas dire si l'avion appartenait aux Alliés ou à l'Allemagne [1].

Pour résoudre ce problème, les Allemands demandaient à leurs pilotes de faire rouler leurs avions en rentrant à la base, ce qui modifiait le signal radar et avertissait leurs équipages qu'il s'agissait en fait d'un avion allemand. Les Britanniques ont poussé cette idée un peu plus loin en inventant le système IFF (Identify Friend or Foe), qui consistait en un émetteur installé sur chaque avion qui émettait un signal en réponse au radar [1].

En 1946, Leon Theremin a été l'inspirateur du développement d'un outil d'espionnage soviétique qui utilisait une technologie similaire à la RFID. Theremin a créé un instrument de musique dont on pouvait jouer sans le toucher physiquement, grâce aux ondes de fréquence statiques qu'il générait. L'Union soviétique, qui s'en est inspirée, a dissimulé une antenne activée par des ondes radio dans un sceau de cérémonie remis à l'ambassadeur des États-Unis. Le sceau transmettait ensuite aux Soviétiques les signaux audio provenant de la zone environnante. Comme il ne nécessitait ni piles ni fils, l'appareil est passé inaperçu dans le bureau de l'ambassadeur pendant 7 années complètes [2].

#### ▪ **La RFID dans les années 70**

Un article rédigé par Harry Stockman en 1948 a servi de point de départ à la recherche sur la RFID au cours des deux décennies suivantes. L'article s'intitulait "Communication by Means of Reflected Power". Il défendait l'idée que "... un travail considérable de recherche et de développement doit être effectué avant que les problèmes de base restants dans la communication par puissance réfléchie ne soient résolus, et avant que le champ des applications utiles ne soit exploré [3].

Les années 50 et 60 ont été peuplées d'articles et de présentations scientifiques détaillant l'utilisation de la détection antivol et de surveillance électronique ont vu le jour, qui utilisaient tous la technologie RF. Cependant, la RFID n'a été officiellement brevetée qu'en 1973, dans une revendication historique de Mario W. Cardullo, qui a créé un système d'étiquetage RFID actif utilisant une mémoire réinscriptible. La même année, un système RFID passif a été breveté par Charles Walton, qui a conçu un répondeur passif capable de déverrouiller des portes sans clé - une technologie encore utilisée aujourd'hui dans de nombreuses chambres d'hôtel [1].



Bien qu'il s'agisse des premiers brevets, d'autres systèmes étaient développés en parallèle, notamment par le gouvernement américain. Le département de l'énergie avait besoin de suivre les matières nucléaires, il a donc demandé au laboratoire national de Los Alamos de développer une solution. Commercialisée dans les années 1980, cette solution consistait à placer des transpondeurs dans les camions transportant des substances nucléaires, qui pouvaient être lus immédiatement depuis l'extérieur des portes des installations nucléaires, fournissant l'identification du conducteur et des données relatives à leur cargaison. Des systèmes similaires reposant sur des ondes basse fréquence ont finalement été adaptés par Los Alamos sous forme d'étiquettes RFID passives pour suivre les doses de médicaments administrées au bétail [1].

- **Définition de normes**

En 1999, le centre Auto-ID a été fondé par des scientifiques du Massachusetts Institute of Technology (MIT) afin de normaliser le format des informations codées par RFID. Ce groupe avait déjà créé le code produit électronique (EPC) pour les étiquettes RFID, qui comprenait quatre champs : le numéro de version, le numéro du fabricant, le numéro du produit et le numéro de série. L'idée de l'EPC était de relier l'article étiqueté RFID à une base de données, en utilisant un système de noms d'objets (ONS) similaire à celui du système de noms de domaine (DNS). Le premier test de cette technologie a été effectué sur un four à micro-ondes, dans lequel était installé un lecteur RFID capable de lire les étiquettes RFID apposées sur les plats cuisinés au micro-ondes. Le four lisait les étiquettes, identifiait la base de données via l'ONS et téléchargeait les instructions de cuisson qui permettaient au micro-ondes de cuire les aliments [4].

Les coûts de production des étiquettes RFID étaient élevés à l'époque. Le centre Auto-ID s'est donc attaché à réduire ces coûts pour faire de la RFID une solution d'identification viable pour le commerce de détail et d'autres industries. Deux mesures ont été adoptées : la première consistait à réduire la taille de la puce, et la seconde à trouver un procédé de fabrication permettant d'utiliser des puces de petite taille. Pour réduire la taille de la puce, ils ont minimisé les informations disponibles sur la puce. La plupart des données pertinentes ont donc été stockées dans une base de données, l'étiquette servant de localisateur pour relier l'article à la base de données. Cela a permis de réduire les coûts - moins de matériaux étaient nécessaires pour fabriquer les puces et les étiquettes étaient utilisables pour une gamme plus complète d'applications [4].

L'étape suivante consistait à trouver une méthode de fabrication adaptée à des puces aussi petites. Les conditions nécessaires pour garantir la précision de la manipulation des minuscules puces devaient également être économiques ; or, les robots traditionnels de l'époque n'étaient pas à la hauteur de la tâche. Au lieu de cela, le groupe Auto-ID a collaboré avec Alien Technology pour mettre au point un processus d'écoulement fluide qui utilise les vibrations pour assembler les puces. Cela leur a permis de fabriquer des puces RFID par le biais d'un assemblage parallèle massif, réduisant ainsi considérablement les coûts de fabrication [4].

- **La RFID aujourd'hui**

La RFID est aujourd'hui largement utilisée pour suivre des articles dans presque tous les secteurs, des laboratoires biomédicaux à l'aérospatiale, en passant par l'ingénierie et la logistique. Elle présente de nombreux avantages par rapport aux codes à barres classiques, notamment la possibilité de stocker beaucoup plus d'informations et de lire plusieurs étiquettes simultanément sans avoir à retirer les articles du stockage. Les coûts ont encore été réduits grâce à l'utilisation de nanotubes de carbone pour produire les puces [5]. Au fur et à mesure de son évolution, la technologie RFID finira par devenir moins chère et plus conviviale, ce qui permettra de maintenir les inventaires et les flux de travail à jour et bien gérés.

### **I.3 Principe de fonctionnement d'un système RFID**

Les informations relatives à l'objet sont stockées dans l'étiquette RFID, qui possède un identifiant unique. Les données sont stockées dans une puce électronique, également appelée "chip", qui peut être lue par une antenne. L'antenne reçoit et transmet des signaux radio vers et depuis le lecteur ou interrogateur. Le lecteur, qu'il soit fixe ou mobile, est responsable de la lecture des étiquettes RFID dans sa zone de couverture. Il convertit les ondes radio de l'étiquette en un signal numérique qui peut ensuite être transféré à un ordinateur [6].

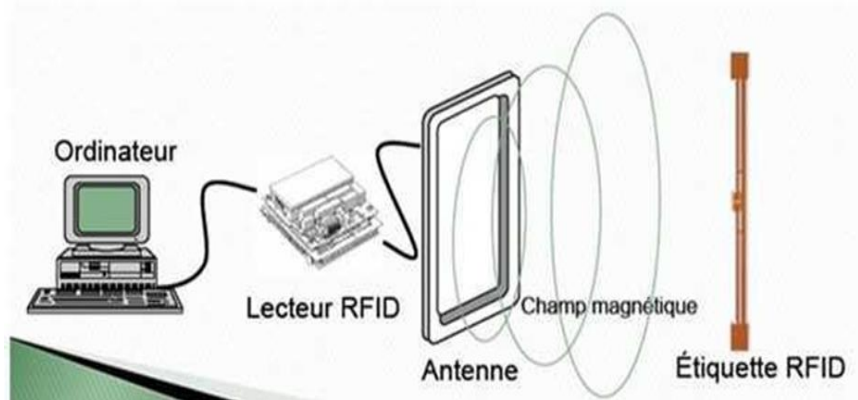


Figure I.1 : Fonctionnement d'un système RFID

### I.4 Les différents composants d'un système RFID

Le système RFID est composé de plusieurs éléments tels que des transpondeurs (tags), des lecteurs et un système d'information (ordinateur) ou un middleware, comme illustré sur la figure.

Le transpondeur est attaché à l'élément à identifier ou à suivre, le lecteur est utilisé pour identifier les éléments, et le système d'informations qui peut également contenir des intergiciels traitent les données pour les rendre utiles. Middleware est essentiellement un pont entre les lecteurs ou un lecteur et le système d'information pour faciliter la communication

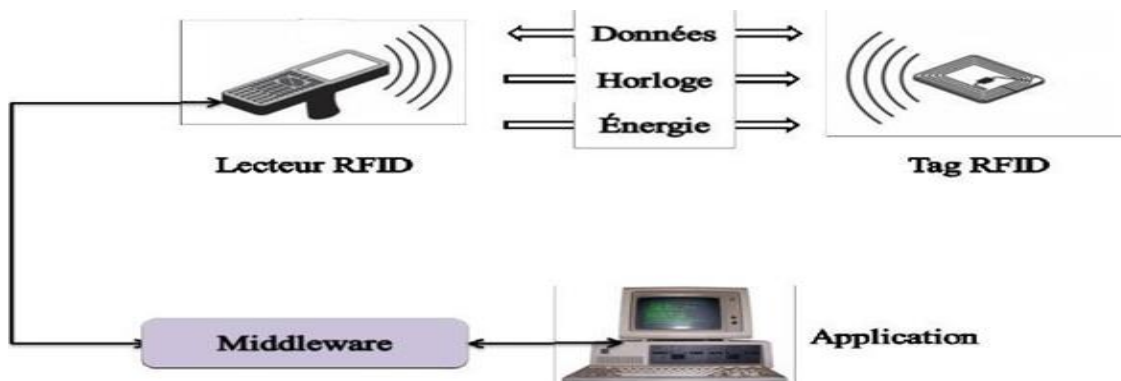
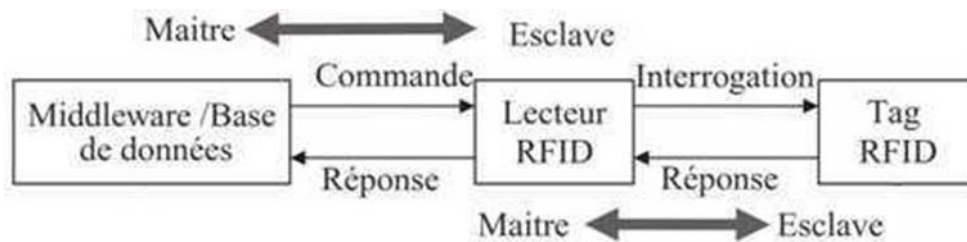


Figure I.2 : Les composants du système RFID[7]

#### I.4.1 LECTEUR RFID

Les systèmes de lecteurs RFID modernes sont constitués d'antennes intelligentes, de processeurs numériques dédiés au traitement de signal, ainsi que de systèmes embarqués, de middleware et de composants réseau. Ces éléments facilitent l'intégration des lecteurs RFID dans les réseaux de données

conformes aux protocoles normalisés de transfert de données [8]. Les lecteurs RFID sont des dispositifs chargés d'interroger les étiquettes RFID. Dans un système RFID, le lecteur utilise des techniques de traitement du signal et de démodulation pour extraire les données à partir du signal de l'étiquette. Une étiquette RFID passive ne peut pas générer de signal sans qu'un signal d'interrogation ne soit envoyé au préalable par le lecteur [9]. Ainsi, le lecteur RFID et les étiquettes RFID sont en relation maître-esclave, où le lecteur agit en tant que maître et les étiquettes en tant qu'esclaves. Cependant, les lecteurs RFID sont également contrôlés par un logiciel appelé middleware, qui gère l'application et traite les données de la RFID, mettant ainsi les lecteurs eux-mêmes dans une position d'esclave [8]. Le schéma bloc présenté dans la Figure illustre la relation hiérarchique entre les composants du système RFID, où le lecteur agit en tant que maître et les étiquettes en tant qu'esclaves.



**Figure I.3 :** illustration de la relation maître-esclave (Master-Slave)

Sur le marché, la qualité des lecteurs RFID est souvent corrélée à leur coût. Les différents types de lecteurs proposent un éventail d'options, allant des modèles simples et peu coûteux à des systèmes plus complexes et plus coûteux, offrant des fonctionnalités avancées. Le choix du système à acquérir dépend des besoins spécifiques de l'utilisateur

#### ▪ Classification des Lecteurs

Les lecteurs RFID sont classés en fonction de leurs capacités de lecture, de leur mobilité, de leur alimentation, de leur interface de communication, des protocoles de codage de données et des protocoles de support du lecteur, entre autres critères [10].

Le choix du lecteur se fait donc selon le besoin mais surtout en se référant aux paramètres de classification suivants :

**L'alimentation** : Selon leur mode d'alimentation, les lecteurs RFID peuvent être classés en de Les lecteurs alimentés par le réseau électrique.

– Les lecteurs alimentés par batterie (BP)

**L'interface de communication** : Une méthode de classification des lecteurs RFID repose sur l'interface de communication qu'ils utilisent. Ainsi, on peut les classer selon les catégories suivantes :

. Les lecteurs série utilisent une liaison de communication série telle que RS-232, RS-485, I2C ou USB pour communiquer avec leur ordinateur hôte.

Les lecteurs réseau sont connectés à l'ordinateur hôte via un réseau filaire ou sans fil, et se comportent comme des dispositifs de réseau standard.

Les lecteurs RFID d'aujourd'hui supportent plusieurs protocoles réseau, tels qu'Ethernet, TCP/IP, UDP/IP, HTTP, LAN, WLAN et autres. Cette caractéristique permet une installation plus facile de plusieurs lecteurs, un suivi et une maintenance plus simples, et un débit de données plus élevé par rapport aux lecteurs série, avec moins d'ordinateurs nécessaires pour la gestion d'un grand nombre de lecteurs [10].

**La Mobilité** : nous distinguons deux types de lecteurs : stationnaires et portables

- **Lecteurs stationnaires (fixes)** : sont conçus pour être montés sur des murs, des portails, des portes ou d'autres objets fixes pour effectuer des lectures de transpondeur efficaces sans nécessiter de déplacement ou de transport. Leur utilisation est principalement orientée vers la capture de données sans fil dans la gestion de la chaîne d'approvisionnement, le suivi des actifs et le contrôle des produits [11].



**Figure I.4 :** lecteur RFID stationnaire

- **Lecteurs portables :** sont conçus pour être utilisés en déplacement par les utilisateurs. Ils intègrent des antennes et ne permettent généralement pas de connecter des antennes supplémentaires. Alimentés par batterie, ils sont légers et ont une portée de lecture plus courte que les lecteurs fixes. Les applications courantes pour les lecteurs portables comprennent le suivi d'animaux d'élevage tels que les porcs, les moutons, les chèvres et les vaches, ainsi que la localisation de produits en magasin et en stockage. [11]



**Figure I.5 :** lecteur RFID mobile

**Spectre de fréquences :** Outre l'utilisation des fréquences porteuses pour la transmission et la réception de données, les lecteurs RFID exploitent également d'autres bandes de fréquences. Généralement, les commandes de balises sont envoyées par les lecteurs sur une certaine bande de fréquence et les réponses

des transpondeurs sont reçues sur une autre bande de fréquence [11]. Ainsi, il est possible de classer les lecteurs en fonction des fréquences de réponse des transpondeurs qu'ils écoutent, telles que :

**Lecteurs à base de réponse en fréquence unique :** Ces types de lecteurs opèrent sur une gamme de fréquences unique, qui peut être courte (< 80 MHz). La même fréquence est utilisée

**Lecteurs à base de réponse en fréquences non-unicues :** Ces lecteurs fonctionnent en émettant des commandes à une fréquence spécifique, ou en fournissant simplement un signal de porteuse à une fréquence donnée, puis en écoutant un multiple entier de cette fréquence de porteuse. Le plus souvent, cela se traduit par la réception de la seconde harmonique ou d'une fréquence de réponse divisée du transpondeur. Deux fréquences radio (RF) sont utilisées pour la communication entre le lecteur et le système RFID, permettant une communication rapide et fiable en duplex intégral [11].

**Protocoles données-encodage :** Outre l'utilisation de multiples fréquences pour la transmission et la réception des données, les lecteurs RFID peuvent également utiliser différents protocoles pour communiquer avec les transpondeurs. Ainsi, il est possible de classer les lecteurs en fonction de leur capacité à utiliser différents protocoles de communication avec les transpondeurs" [11].

#### I.4.2 Middleware et le système d'information

Pour que le système RFID fonctionne de manière optimale, le système d'information et le middleware sont des éléments clés. En effet, sans le système d'information, les données collectées par le lecteur seraient inutiles. Le système d'information est donc chargé de traiter les données collectées par le lecteur à partir des étiquettes et de les rendre exploitables [12]

Le middleware est un composant essentiel du système RFID, qui assure la collecte de données et réduit la redondance des données dans le système d'information. Il joue un rôle important dans la gestion des données en éliminant les données inutiles et en améliorant la qualité des données collectées par le lecteur. La gestion efficace des données est d'une grande importance, car une mauvaise gestion des données peut entraîner une augmentation du trafic de données [13].

Le middleware est un élément essentiel du système RFID car il permet de filtrer les données non désirées, d'explorer les données et de les trier. En plus de la gestion des données, le middleware aide à acheminer les données vers le bon lecteur dans un réseau comprenant plusieurs lecteurs, ce qui facilite grandement le déploiement de lecteurs RFID [13].

### I.4.3 L'étiquettes RFID

Le tag RFID est un dispositif électronique qui se compose d'une puce et d'une antenne, et qui répond aux demandes émises par le lecteur. Les tags RFID peuvent être classés en quatre catégories principales : les actifs et les passifs. Semi-passive, SANS PUCE : Les tags actifs sont dotés d'une batterie qui fournit l'énergie nécessaire, tandis que les tags passifs convertissent le signal reçu en énergie pour transmettre les données.

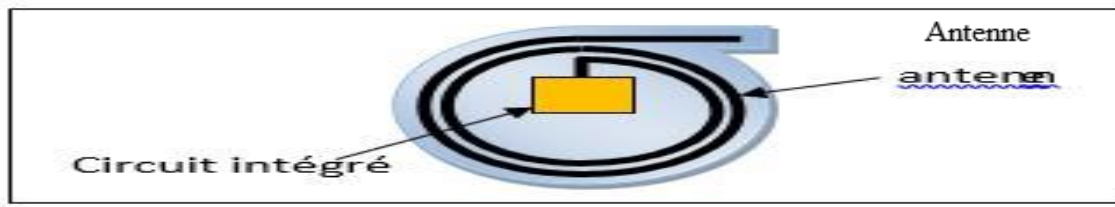


Figure I.6 : Exemple d'un tag RFID

Le standard EPCglobal divise les tags RFID en quatre catégories distinctes [14].

#### 1. Classe 0 et 1 :

- Les étiquettes d'identification passives (avec une portée de 3 mètres)
- Rétrodiffusion (l'interrogeur parle en premier)
  - Coût le plus bas

#### 2. Classe 2 :

- Identité passive et étiquettes de mémoire (portée de 3 mètres)
- Programmable
- Rétrodiffusion (l'interrogeur parle en premier)
- Sécurité

Coût le plus bas

#### 3. Classe 3 :

- Etiquettes passifs à batterie
- Plus de fonctionnalités sur la puce - mémoire, capteurs, etc.



- Rétrodiffusion (l'interro gateur parle en premier)
- 100 mètres de portée
- Coût modéré

4. Classe 4 :

- Étiquettes de batterie actifs (étiquettes transmettent le porteur)
- Transmission active (permet les modes de fonctionnement étiquette parle en premier (tagtalks - first))
- 100 mètres de portée
- Coût élevé

### **L'étiquette passive**

Cette étiquette ne nécessite aucune source d'alimentation intégrée comme une batterie. Au lieu de cela, il reçoit l'alimentation de l'expéditeur.

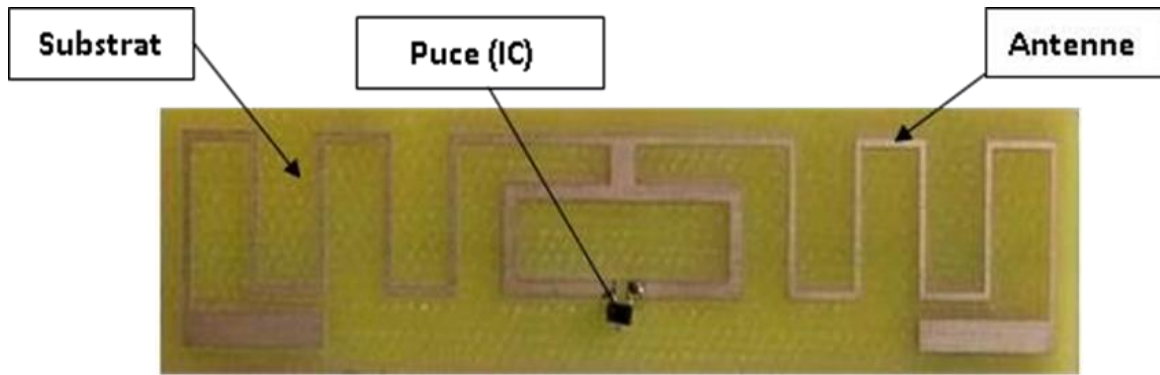
Fournir des données aux lecteurs en reflétant une partie de l'énergie qui passe rapidement.

Les dépanneurs à moindre coût ont généralement des distances géographiques plus petites.

Ces immortels ont besoin d'une grande quantité de force vitale pour les soutenir.

Pour lire le matériel, les lecteurs ont besoin d'une énergie importante [15].

Le figure présent les composants d'une étiquette RFID passive comprennent une antenne en cuivre et une puce qui restent attachées à un support physique (substrat FR4) [16].



**Figure I.7 :** Exemple d'une étiquette RFID UHF passive

### L'étiquette semi-passive

Des fonctions supplémentaires peuvent être ajoutées aux balises passives avec piles. Ceux-ci peuvent être maintenus ou allumés et éteints grâce à la batterie.

L'étiquette dotées de capteurs environnementaux peuvent détecter les changements de température, ainsi que d'autres facteurs environnementaux. Ces balises ont un rayon plus grand que les balises passives. Les tags passifs agissent comme des batteries à un niveau de communication inférieur. Ils ne sont pas utilisés pour envoyer des signaux, mais ils s'attachent passivement au signal. La figure en illustre un exemple [18].



**Figure I.8 :** étiquette RFID semi-passive

### L'étiquette active

Les étiquettes actives envoient un signal jusqu'à 35 mètres qui peut être lu par les lecteurs. Chaque étiquette a une durée de vie de 100 jours [17]

La batterie de ce type d'étiquette leur permette d'émettre signaux RF sensibles aux lecteurs qui activent les capteurs environnementaux embarqués, et il enregistre jusqu'à 10 kbits d'informations dans des

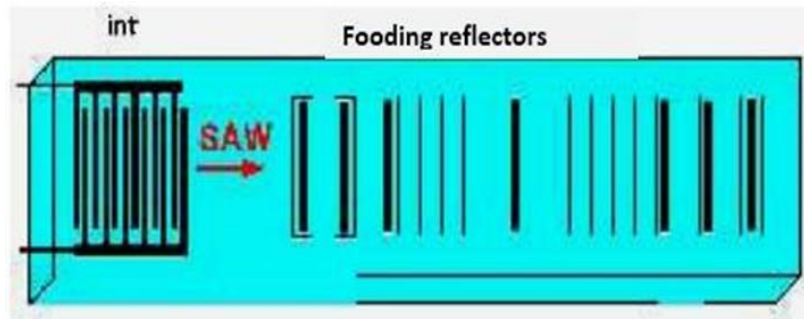
étiquettes [8]. Les étiquettes RFID actives possèdent une plus grande puissance que les étiquettes passives et semi-passives, mais leur coût est également plus élevé. La figure illustre un exemple d'étiquette RFID active.



**Figure I.9 :** étiquette RFID active

### Étiquette sans puce

Les étiquettes qui ne contiennent pas de puces RFID ou de circuits électroniques, mais qui sont capables d'encoder des données en utilisant des propriétés physiques et chimiques de certaines structures et matériaux [12]. Cette méthode de fabrication d'étiquettes sans puce est avantageuse en termes de coûts de production, car le coût des puces et de l'assemblage antenne/puce représente une proportion importante du coût total d'un tag. Actuellement, les seules étiquettes sans puce disponibles sur le marché sont de type SAW (Surface Acoustics Wave) [12].



**Figure I.10 :** exemple tag sans puce

## I.5 Fréquences de fonctionnement du système RFID

La technologie RFID utilise différentes fréquences selon les besoins de l'application et les performances souhaitées. Ainsi, la RFID est divisée en quatre domaines fréquentiels : LF, HF, UHF et SHF. Le choix de la fréquence dépendra donc du type d'application visé. Le tableau ci-dessous résume les fréquences RFID utilisées pour chaque domaine [19].

**Table I-1** : Fréquences RFID

Dénomination	Fréquence RFID
LF : Basses fréquences	125, 134-135 KHz
HF : Hautes fréquences	13.56 MHz
UHF:Ultra-hautes fréquences	433 MHz, 860-960 MHz
SHF : Micro-ondes	2.45 GHz , 5.8 GHz

En fonction de leur fréquence de fonctionnement, les systèmes RFID utilisent deux principes différents.

Dans les bandes LF et HF, le transfert d'énergie se fait par couplage inductif. Dans ce cas, les antennes de la station de base et du tag agissent comme des bobines simples (en champ proche :  $L < \lambda/2\pi$ , où  $L$  est la distance de lecture et  $\lambda$  est la longueur d'onde). Pour communiquer son identifiant, le tag modifie une charge qui affecte l'inductance de la bobine et donc le couplage avec le lecteur.

Le fonctionnement en UHF et SHF est basé sur le principe de rétrodiffusion, ce qui signifie que le tag se trouve dans le champ lointain. Dans ces gammes de fréquence, le tag renvoie le même signal envoyé par la station de base après avoir modulé son amplitude en variant le coefficient de réflexion. Les fréquences UHF et SHF permettent d'obtenir des portées et des débits plus importants que les fréquences LF et HF [19].

Le tableau présente une comparaison des différents domaines fréquentiels utilisés en RFID

**Table I-2** : Comparatif de tous les domaines fréquentiels de la RFID [20]

Fréquences	Low Frequency (LF) 125 KHz 134-135 KHz	High Frequency (HF) 13.56 MHz	Ultra High Frequency (UHF) 433 MHz 860-960 MHz	Super High Frequency SHF 2.45 GHz 5.8 GHz
Principe de fonctionnement	Couplage inductif		Rétrodiffusion	
Taille de tag	Grand	Moyen	Petit	Petit
Caractéristiques	Portée < 0.5m Débit < 1 kbit/s Peu atténuable par l'eau et le métal.	Portée < 1 m Débit=26 kbit/s Peu atténuable par l'eau, beaucoup par le métal.	Portée < 10 m Débit=30kbits/s Importante atténuation en présence de métal et de l'eau.	Portée < 2 m Débit > 100 Kbits/s Importante atténuation en présence de métal et de l'eau.
Quelques domaines d'application	Le suivi des animaux, clé de voiture.	Carte à puce, badge, carte de Transport.	Grande distribution, télépéage.	Suivi des produits, télépéage.

## I.6 Normes et protocoles de RFID

### I.6.1 Normes

Il existe plusieurs normes pour les systèmes RFID qui ont été ou sont en cours de publication. Les normes ISO sont les principales spécifications à considérer. Organisation internationale de normalisation [21]), les spécifications EPC (Electronic Product Code [22]) et ANSI (American National Standards Institute [23]).

La norme ISO active clé est 18000-7 [24] qui est une norme internationale définit l'interface radio des appareils RFID utilisés dans les applications de gestion d'articles. Les paramètres de liaison avant et arrière pour une interface radio RFID active à 433 MHz et le protocole de communication utilisé sont spécifiés dans cette norme.

La norme ISO 18185 Partie 1 [25] La norme ISO 18185 est une norme internationale qui fournit un système d'identification unique pour les scellés électroniques des conteneurs de fret. Elle est utilisée en conjonction avec d'autres parties

Telles que la partie 4 pour la protection des données et la partie 7 pour le protocole de la couche physique.

De plus, les spécifications EPC, établies par EPCGlobal, définissent plusieurs classes d'étiquettes selon leur fonctionnalité.

- ✓ La classe 1 correspond aux balises les plus simples avec un identifiant unique par défaut, tandis que la classe 2 offre plus de mémoire et permet l'authentification.
- ✓ La classe 3 concerne les étiquettes semi-passives et la classe 4 concerne les étiquettes actives, capables de communiquer entre elles

. La spécification UHF de Classe 1 Génération 2, également connue sous le nom de « Gen 2 », est la plus couramment utilisée et a été intégrée aux normes ISO en tant que norme passive 18000-6C. Aux États-Unis, l'ANSI/NCITS 256-2001 est la norme nationale qui vise à encourager la compatibilité et l'interopérabilité des produits pour le marché croissant de la RFID.

### I.6.2 Protocoles [13]

Les protocoles sont des codes ou un ensemble de codes qui permettent la communication entre les étiquettes RFID et les lecteurs. Certains protocoles permettent également aux lecteurs de communiquer avec d'autres lecteurs à proximité. Les protocoles peuvent être classés dans les catégories suivantes :

Les protocoles ouverts sont conçus et définis par des organismes de normalisation tels que l'ISO 18000-6 (A/B), l'ISO 14443 (A/B), entre autres. Ces protocoles sont accessibles à tous les utilisateurs dans le monde entier [13].

Les protocoles exclusifs sont conçus par les fabricants pour leur propre usage, comme le TI Tag-IT de Texas Instrument, l'IntelliTag d'Intermec, etc. En outre, les protocoles mentionnés précédemment peuvent être divisés en sous-sections où plusieurs protocoles peuvent être nécessaires pour interagir avec différents types d'étiquettes [13].

Ces types de protocoles sont mentionnés ci-dessous

Les protocoles d'interface aérienne sont définis par les caractéristiques de la communication entre l'étiquette et le lecteur, telles que la fréquence de fonctionnement, le débit, la modulation ou encore les algorithmes anti-collision .

Les protocoles de contenu de données sont utilisés pour définir la structure de mémoire de la puce RFID, ce qui facilite la localisation de données spécifiques sur l'étiquette

D'esclave [26]. Le schéma bloc présenté dans la Figure illustre la relation hiérarchique entre les composants du système RFID, où le lecteur agit en tant que maître et les étiquettes en tant qu'esclaves.

### **I.7 Le marché mondial de la technologie RFID :**

Selon les données de l'IDTechEx, plus de 2,24 milliards d'étiquettes RFID ont été vendues dans le monde entier en 2007, et le marché de la RFID devrait atteindre environ 26 milliards USD d'ici 2016. Ces chiffres témoignent de l'adoption croissante de la technologie RFID dans de nombreux secteurs, tels que la gestion de la chaîne d'approvisionnement, la logistique et la traçabilité des produits.

Selon un rapport de recherche de Market Research Future publié en janvier 2022, le marché mondial de la technologie RFID devrait croître à un taux de croissance annuel composé (TCAC) d'environ 10,5% entre 2022 et 2027. En 2021, le marché mondial de la technologie RFID était évalué à environ 14,5 milliards de dollars américains, et devrait atteindre une valeur d'environ 26,8 milliards de dollars américains en 2027.

## I.8 Application de la RFID

Pour les applications industrielles, la RFID offre une grande variété d'utilisations, qui peuvent être classées en trois catégories principales : le contrôle d'accès, le suivi et la traçabilité de la production, ainsi que les applications sécurisées. Ci-dessous, chaque domaine sera présenté avec des exemples concrets de leur utilisation dans la vie quotidienne.

### ❖ **MEDICAL :**

La gestion des déchets médicaux depuis la collecte jusqu'à l'incinération peut être assurée grâce à la RFID.

Les tatouages électroniques pour animaux sont une autre application possible de la technologie RFID

### ❖ **SECURITE :**

- Gestion du personnel
- Contrôle d'accès restreint
- Authentification d'objets

### ❖ **AGROALIMENTAIRE :**

- Surveillance de la température des produits alimentaires pour garantir le respect de la chaîne du froid
- Suivi de l'état de fabrication des produits frais pour en assurer la qualité
- Suivi des mouvements et de la santé du bétail pour une meilleure gestion de l'élevage.

### ❖ **INDUSTRIE :**

- Suivi et gestion des vêtements dans les magasins et les hôtels ;
- Gestion des stocks et des processus de blanchisserie industrielle ;
- Suivi et gestion des bouteilles de gaz dans les usines de production et les entrepôts.

### ❖ **LOGISTIQUE :**

- Suivi des bagages dans les aéroports ;
- Suivi des sacs postaux ;
- Suivi et localisation des conteneurs ;



- Identification des produits sur palettes ;
- Contrôle d'accès aux parkings.
- ❖ **VEHICULE :**
  - Gestion de flotte de véhicules ;
  - Authentification de véhicule ;
  - Paiement des carburants ;
  - Dispositifs antivol et anti-démarrage ;
  - Contrôle de l'usure des pneumatiques.
- ❖ **LOISIRS :**
  - Location de films et de vidéos ;
  - Gestion de bibliothèques (suivi des prêts/retours) ;
  - Contrôle d'accès aux remontées mécaniques dans les stations de ski ;
  - Chronométrage pour les compétitions sportives.

## I.9 Avantages et inconvénients de la technologie RFID

### I.9.1 Avantage

Les avantages de la RFID (Identification par Radio Fréquence) sont nombreux, notamment :

**Automatisation des processus :** La RFID permet une automatisation accrue des processus, réduisant ainsi le temps et les coûts associés à la collecte manuelle de données.

**Suivi en temps réel :** La RFID permet un suivi en temps réel des produits et des équipements, ce qui permet une meilleure visibilité et un contrôle accru de la chaîne d'approvisionnement.

**Gestion des stocks améliorée :** La RFID permet une gestion des stocks plus précise et plus efficace, ce qui réduit les coûts associés aux stocks excédentaires ou insuffisants.

**Sécurité :** La RFID permet une traçabilité accrue des produits, ce qui permet de lutter contre le vol et la contrefaçon.

**Meilleure expérience client :** La RFID permet une expérience client améliorée en offrant des processus de paiement rapides et sans contact, ainsi qu'une meilleure gestion des files d'attente.

**Gain de temps et d'efficacité** : La RFID permet de réaliser des tâches plus rapidement et plus efficacement, ce qui permet aux entreprises de gagner du temps et d'améliorer leur rentabilité.

**Précision des données** : La RFID permet une collecte de données plus précise et plus complète que les méthodes manuelles, ce qui améliore la qualité des données utilisées pour la prise de décision.

Ces avantages expliquent en partie la croissance rapide du marché de la RFID dans de nombreux secteurs d'activité.

### I.9.2 Inconvénient

Bien que la technologie RFID présente de nombreux avantages, elle présente également certains inconvénients potentiels, notamment :

**Coût** : Le coût de mise en place d'un système RFID peut être élevé, ce qui peut être un obstacle pour les petites entreprises.

**Confidentialité et sécurité** : Comme les informations stockées sur les étiquettes RFID sont transmises sans fil, elles peuvent être interceptées et lues à distance par des personnes non autorisées. Cela peut poser des problèmes de confidentialité et de sécurité.

**Interférences** : Les signaux radiofréquences utilisés par la technologie RFID peuvent être perturbés par d'autres signaux radio, ce qui peut entraîner des interférences et des pertes de données.

**Durée de vie limitée** : Les étiquettes RFID ont une durée de vie limitée, qui peut varier en fonction de l'utilisation et de l'environnement dans lequel elles sont utilisées.

**Standardisation** : Les normes de la technologie RFID ne sont pas encore standardisées dans tous les secteurs, ce qui peut entraîner une incompatibilité entre les différents systèmes RFID.

Il est important de considérer ces inconvénients potentiels lors de la mise en place d'un système RFID et de mettre en place des mesures de sécurité appropriées pour protéger les données stockées sur les étiquettes RFID.

### I.10 Conclusion

Dans ce premier chapitre, nous avons entamé une présentation générale de la technologie RFID (Identification par Radio-Fréquence) en détaillant son historique et son impact sur le marché des

technologies faibles coûts et fiables. Nous avons également mis en évidence ses multiples applications qui touchent tous les domaines et qui permettent de faciliter le quotidien des citoyens.

Pour assurer une compréhension globale du principe de fonctionnement de la RFID, nous avons présenté en détail les composantes du système RFID, y compris les tags RFID et les lecteurs RFID. Nous avons souligné l'importance de l'antenne, un élément majeur pour le lecteur et le tag, qui permet d'assurer la communication à distance. Nous nous sommes concentrés principalement sur l'antenne du lecteur, qui doit avoir les caractéristiques nécessaires pour garantir des transmissions sur de plus longues distances et sur la totalité de la bande UHF RFID allouée [860-960] MHz. Pour y parvenir, il est nécessaire de concevoir une antenne large bande et à haut gain.

Dans le prochain chapitre, nous nous intéresserons plus en détail aux antennes RFID, en étudiant leurs caractéristiques, leur conception et leur fonctionnement. Nous examinerons également les différents types d'antennes et les facteurs à prendre en compte pour optimiser les performances des antennes RFID. Cette étude approfondie des antennes RFID nous permettra de mieux comprendre l'importance de ces composants essentiels dans la communication RFID et leur rôle crucial dans l'efficacité et la fiabilité des systèmes RFID.

# Chapitre II

---

# Systeme **RFID**

CHAPITRE

## II.1 Introduction

De nombreux domaines ont intégré l'utilisation de la technologie RFID UHF passive pour suivre et gérer leurs produits, équipements, stocks et actifs. Les étiquettes RFID UHF passives sont une solution efficace et fiable pour le suivi des actifs en raison de leurs nombreux avantages, tels que la portée de lecture étendue, la possibilité de lire plusieurs étiquettes simultanément et la précision des données. De plus, ces étiquettes sont peu coûteuses et légères car elles sont alimentées par l'énergie radiofréquence émise lors de l'interaction avec le lecteur RFID, ce qui les rend autonomes en énergie. Cette technologie est largement utilisée dans divers secteurs tels que la logistique, la vente au détail, la fabrication, le contrôle d'accès et les soins de santé pour améliorer la gestion des stocks, réduire les pertes, accroître l'efficacité opérationnelle et garantir un suivi précis des actifs.

La communication implique principalement la transmission d'informations, c'est-à-dire l'envoi et la réception de données d'un endroit à un autre. Dans le domaine des hautes fréquences (HF), cette transmission se fait en utilisant des ondes HF pour transférer de l'énergie, incluant des informations codées. Les lecteurs RFID utilisent les techniques de couplage et de rétrodiffusion pour communiquer.

Ce chapitre se concentre sur les diverses formes de connexions RFID. Nous explorons les principes de fonctionnement des systèmes RFID UHF passifs, ainsi que leurs propriétés, leurs performances et leurs limites. Nous commençons par énumérer les divers paramètres et caractéristiques des antennes employées dans la technologie RFID.

## II.2 Communication PAR ÉTIQUETTE RFID

La communication par étiquette RFID est influencée à la fois par le rayonnement électromagnétique et le choix du mécanisme de couplage. Le rayonnement électromagnétique peut altérer la portée et la stabilité de la communication, en fonction des obstacles physiques et des interférences environnementales. Parallèlement, le mécanisme de couplage, qu'il soit inductif ou de rétrodiffusion, joue un rôle crucial dans la transmission des données entre le lecteur et l'étiquette. Il est donc essentiel de comprendre comment ces facteurs interagissent afin d'assurer une communication fiable et efficace entre les dispositifs RFID.

## II.2.1 Mécanismes de couplage

La technologie RFID fonctionne physiquement sur la base d'interactions électromagnétiques entre le lecteur et l'étiquette. Les systèmes à champ proche et à champ lointain sont les deux principaux types de systèmes RFID actuellement disponibles sur le marché. Les systèmes à champ proche utilisent le couplage inductif (magnétique) entre l'étiquette du transpondeur et l'énergie réactive circulant autour de l'antenne du lecteur, tandis que les systèmes à champ lointain utilisent le couplage entre l'énergie réelle contenue dans les ondes électromagnétiques se propageant dans l'espace. Cela permet d'éviter le plagiat tout en préservant les éléments essentiels du texte original [28].

### ➤ Couplage par champ proche :

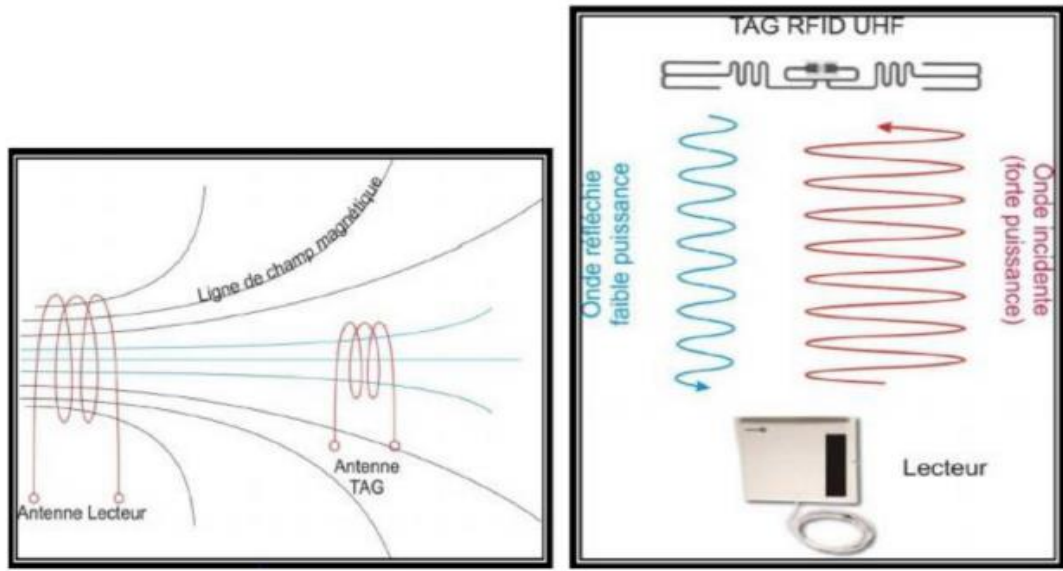
Les systèmes RFID à couplage en champ proche sont fréquemment utilisés dans les fréquences BF et HF, avec une plage de lecture de quelques centimètres seulement à 1,5 mètre [28]. Des boucles inductives, telles que celles que l'on trouve dans les enroulements des transformateurs, sont généralement utilisées dans les antennes de ces systèmes. Ce champ proche est principalement magnétique et inductif, ce qui le rend parfait pour les applications à courte portée telles que les cartes à puce sans contact et les étiquettes conventionnelles, entre autres. Dans les applications nécessitant une communication intime où les interactions magnétiques et inductives sont cruciales, les techniques de couplage en champ proche sont donc appropriées.

### ➤ Couplage par champ lointain :

Le couplage en champ lointain est une méthode applicable aux systèmes RFID UHF et hyperfréquences, offrant une plage de lecture potentiellement plus longue [28].

Grâce à ce mode d'interaction, il devient possible de communiquer sur des distances de 10 mètres ou plus [29]. Dans la région de champ éloigné, le champ électromagnétique EM est de nature radioactive. Ce type de couplage permet à l'antenne d'une étiquette de capter l'énergie électromagnétique sous forme de différence de potentiel. Cependant, une partie de l'énergie incidente sur l'antenne d'une étiquette est renvoyée en raison d'une inadéquation d'impédance entre l'antenne et le circuit de charge [30].

Les antennes patch ou imprimées sont généralement l'option privilégiée parmi les différentes topologies d'antennes pour les applications RFID UHF en champ lointain, en particulier dans la chaîne d'approvisionnement, les produits pharmaceutiques, les soins de santé et d'autres secteurs.



a) Couplage champ proche HF et LF.

b) Couplage champ lointain UHF et SHF.

Figure II.1 : mécanisme de couplage

### II.2.2 Régions de champ électromagnétique

La répartition du champ électromagnétique émis par une antenne peut être subdivisée en plusieurs régions, comme visualisé dans la Figure II.2. La variable "a" désigne la plus grande dimension de l'antenne. Les frontières entre ces régions distinctes sont définies par des sphères de rayon R1 et R2, comme illustré dans la Figure II.2 [31].

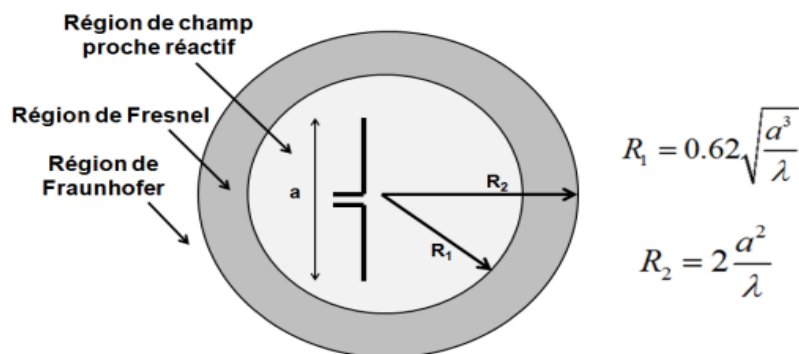


Figure II.2 : Les régions de rayonnement au voisinage d'une antenne

**La région de champ proche réactif** : est la zone immédiatement entourant une antenne, où le champ réactif prédomine. Pour une petite antenne, cette région est généralement considérée comme une sphère ayant un rayon égal à  $\lambda/2\pi$ .

**La région de Fresnel** : également appelée région de champ proche radiatif, se situe entre la région de champ proche et la région de Fraunhofer. Cette région peut ne pas exister si les dimensions de l'antenne sont petites par rapport à la longueur d'onde. Dans cette région, la distribution du champ électromagnétique dépend de la distance par rapport à l'antenne.

**La région de Fraunhofer** : ou région de champ lointain, est définie comme la région où l'onde électromagnétique générée par l'antenne se forme. Dans cette région, la distribution du champ rayonné et le diagramme de rayonnement sont indépendants de la distance par rapport à l'antenne

### II.3 Distance de lecture

Les performances d'un capteur RFID sont influencées par de multiples variables environnementales qui impactent les caractéristiques de l'antenne du tag, incluant son gain et son coefficient de transmission. De plus, la distance de lecture constitue une mesure unifiée qui regroupe plusieurs paramètres essentiels associés aux performances à la fois du tag et du lecteur. Cette mesure est dérivée d'une équation bien connue dans le domaine de la RFID, connue sous le nom d'équation de Friis [32].

$$r_{max} = \frac{\gamma}{4\pi} \sqrt{\frac{EIRP G_r \tau}{P_{th}}} \quad (\text{II. 1})$$

$$EIRP = P_t \cdot G_t \quad (\text{II. 2})$$

$r_{max}$  : la distance théorique de lecture

EIRP : puissance isotrope rayonnée équivalente.

$G_e$  : le gain de l'antenne d'émission

$G_r$  : le gain de l'antenne de réception

$P_t$  : la puissance collectée sur l'antenne de réception

$\lambda$  : Longueur d'onde

$\tau$  : coefficient de transmission

L'efficacité d'une antenne évalue sa capacité à convertir efficacement la puissance électrique en rayonnement utile.

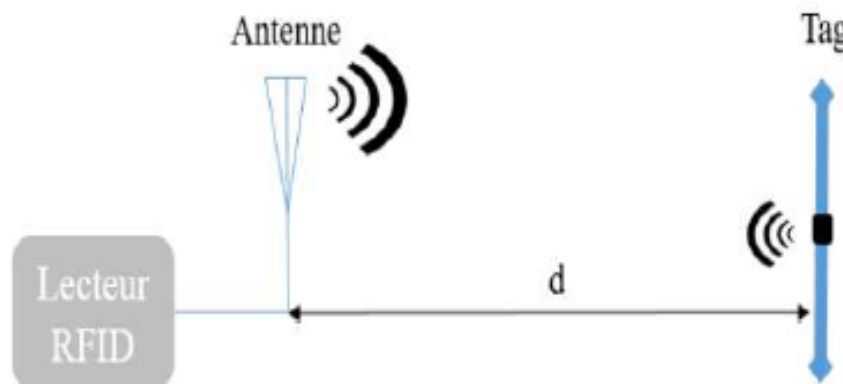


On distingue deux types d'efficacité : l'efficacité de rayonnement et l'efficacité totale.

L'efficacité de rayonnement tient compte des pertes ohmiques et diéle la portée ou la distance de lecture d'un système RFID est influencée par la configuration de ses composants et les paramètres suivants [31] [35] :

- a. La fréquence de fonctionnement et les performances de l'antenne utilisée.
- b. La polarisation adoptée par l'antenne.
- c. La répartition du courant dans le système.
- d. La sensibilité du récepteur utilisé.
- e. Les méthodes utilisées pour la modulation et la démodulation des signaux.
- f. Le nombre de bits de données à transmettre et l'algorithme d'anticollision appliqué.
- g. Les caractéristiques de l'environnement dans lequel le système est déployé.

Ces facteurs interagissent pour déterminer la portée effective du système RFID, qui peut varier en fonction de la configuration spécifique et des conditions dans lesquelles le système est utilisé. Critiques de l'antenne, mesurant ainsi la proportion de puissance.



**Figure II.3 :** Illustration de la distance de lecture entre un lecteur RFID et un tag

## II.4 Paramètres fondamentaux des antennes

### II.4.1 Rapport d'ondes stationnaires de tension

La stationnarité d'une antenne se réfère à sa capacité à s'adapter efficacement à l'impédance du système de transmission auquel elle est connectée, tel qu'un câble coaxial. Cette adaptabilité est mesurée par le rapport d'onde stationnaire (ROS), également connu sous le nom de Standing Wave Ratio en anglais (SWR). Le ROS est quantifié à l'aide d'un rapport numérique, généralement exprimé sous forme de valeur décimale ou de fraction.

Lorsqu'il n'y a pas d'adaptation entre l'impédance de la ligne de transmission et celle de l'antenne, cela entraîne des réflexions des ondes vers la source. Ce phénomène crée des interférences avec les ondes incidentes, ce qui donne lieu à des ondes stationnaires. Ces ondes stationnaires sont caractérisées par le Rapport d'Ondes Stationnaires (ROS) ou le VSWR (Voltage Standing Wave Ratio), qui est défini par la relation suivante [33].

$$VSWR = \frac{1 + |S_{11}|}{1 - |S_{11}|} \quad (\text{II. 3})$$

Le ROS est toujours égal ou supérieur à 1, et une valeur maximale couramment acceptée pour assurer la sécurité du matériel est de 2. Cela correspond à un paramètre de -10 dB ou moins.

#### II.4.2 Facteur de qualité

Le facteur de qualité d'une antenne, connu sous le nom de Q d'une antenne, est une mesure de son rendement lors de la transmission ou de la réception de signaux. Il reflète la capacité de l'antenne à minimiser les pertes d'énergie et à maintenir la pureté du signal [31].

Le Q d'une antenne est généralement déterminé en prenant en compte sa bande passante et ses pertes. Un facteur de qualité élevé est associé à une faible perte d'énergie, ce qui indique une meilleure efficacité de l'antenne.

Le calcul du facteur de qualité Q est basé sur le rapport entre l'énergie stockée dans l'antenne et l'énergie dissipée par les pertes. Il dépend de divers éléments tels que la conception de l'antenne, les matériaux utilisés, la fréquence de fonctionnement et les pertes diélectriques ou de réflexion. [31].

Une antenne présentant un facteur de qualité élevé sera généralement plus performante en termes de transmission ou de réception des signaux. Cependant, il convient de prendre en considération les exigences spécifiques de l'application et du système dans lequel l'antenne sera utilisée.

Il peut être calculé à l'aide de la formule suivante :

$$Q = 2\pi \frac{\text{energie stockee}}{\text{energie dissipee}} \quad (\text{II. 4})$$

### II.4.3 La fréquence de résonance

La fréquence de résonance de l'antenne de lecture RFID, également appelée fréquence de résonance d'interrogation, varie en fonction du type de RFID utilisé. Chaque type de RFID possède une fréquence spécifique pour la communication entre l'antenne de lecture et les tags RFID. Par exemple, les antennes de lecture RFID basse fréquence (LF) ont généralement une fréquence de résonance comprise entre 125 kHz et 134 kHz, tandis que les antennes de lecture RFID haute fréquence (HF) ont une fréquence de résonance d'environ 13,56 MHz. Quant aux antennes de lecture RFID ultra-haute fréquence (UHF), elles ont une fréquence de résonance typique située entre 860 MHz et 960 MHz. Il est crucial de choisir une antenne de lecture RFID dont la fréquence de résonance correspond à celle des tags RFID utilisés pour garantir une communication efficace.

### II.4.4 Directivité

La directivité d'une antenne est une propriété qui détermine sa capacité à concentrer l'énergie électromagnétique dans une direction privilégiée. Elle est représentée par un diagramme de rayonnement qui illustre la réponse en amplitude de l'antenne dans différentes directions. Cette caractéristique permet à l'antenne d'émettre ou de recevoir des signaux de manière plus efficace dans une direction spécifique. La directivité est influencée par divers facteurs, tels que la conception physique de l'antenne, sa forme, sa longueur, son orientation et l'utilisation d'éléments réflecteurs ou directeurs. Différents types d'antennes, tels que les antennes directionnelles.

La directivité d'une antenne, notée  $D(\theta, \varphi)$ , est un paramètre qui quantifie la concentration du rayonnement dans une direction spécifique par rapport à l'intensité moyenne du rayonnement dans toutes les directions. Pour une antenne isotrope, qui rayonne uniformément dans toutes les directions, la directivité est égale à 1. Lorsqu'on décrit une antenne, sa directivité est souvent exprimée en termes de directivité maximale, qui correspond à la direction dans laquelle l'antenne émet l'intensité de rayonnement maximale. Cette directivité maximale peut être calculée à l'aide d'une formule spécifique :

$$D(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{\text{intensité de puissance rayonnée dans la direction } (\theta, \varphi)}{\text{puissance rayonnée totale}} \quad (\text{II. 5})$$

### II.4.5 Le gain

Le gain d'une antenne dans une direction donnée, désigné par  $G(\theta, \varphi)$ , est défini comme le rapport entre l'intensité de puissance rayonnée par l'antenne dans cette direction et l'intensité de puissance qui serait captée par une antenne isotrope idéale et sans pertes. Conformément à la définition de l'IEEE, le gain de l'antenne exclut les pertes dues à la désadaptation ou aux pertes d'insertion [33].

$$G(\theta, \varphi) = \frac{\text{intensité de puissance rayonnée dans la direction } (\theta, \varphi)}{\text{puissance totale acceptée}} \quad (\text{II. 6})$$

### II.4.6 Efficacités de l'antenne

L'efficacité totale d'une antenne, notée  $e_0$ , tient compte des pertes à l'entrée de l'antenne et des pertes associées aux conducteurs. Elle est déterminée en comparant la puissance rayonnée ( $P_r$ ) à la puissance d'alimentation ( $P_a$ ) de l'antenne. Les pertes peuvent être dues à une mauvaise adaptation de l'antenne, ainsi qu'aux caractéristiques des matériaux utilisés, tels que les conducteurs et les diélectriques. En résumé, l'efficacité totale est une mesure de l'efficacité globale de l'antenne, qui peut être calculée à l'aide de formule suivante [34] :

$$e_0 = \frac{P_r}{P_a} = e_r e_c e_d \quad (\text{II. 7})$$

Le terme  $e_r$  représente l'efficacité de réflexion causée par une mauvaise adaptation à l'entrée de l'antenne, et cette efficacité est exprimée par :

$$e_r = 1 - S_{11}^2 = \left(1 - \left|\frac{Z_a - Z_0}{Z_a + Z_0}\right|^2\right) \quad (\text{II. 8})$$

Les termes  $e_c$  et  $e_d$  correspondent aux efficacités qui tiennent compte des pertes associées respectivement aux conducteurs et aux diélectriques d'une antenne. Ces deux quantités sont généralement obtenues par des mesures expérimentales et, étant indiscernables, elles sont combinées pour obtenir l'efficacité globale du conducteur-diélectrique, notée  $e_{cd}$  ou efficacité de rayonnement. Les pertes diélectriques sont généralement négligeables par rapport aux pertes dans les conducteurs.

L'efficacité du conducteur-diélectrique est déterminée en divisant la puissance rayonnée par la somme de la puissance rayonnée et de la puissance associée aux pertes. [34]

$$e_{cd} = \frac{P_r}{P_r + P_p} \quad (\text{II. 9})$$

Une efficacité élevée permet de maximiser la portée, la qualité et la stabilité des communications sans fil.

L'efficacité d'une antenne joue un rôle clé dans la fiabilité et les performances globales des systèmes de communication.

### II.4.7 Bande passante

La bande passante d'une antenne détermine la plage de fréquences à l'intérieur de laquelle le rayonnement de l'antenne satisfait aux spécifications requises [36]

La largeur de bande d'une antenne correspond à la plage de fréquences allant de la fréquence minimale  $f_{min}$  à la fréquence maximale  $f_{max}$ . Ce paramètre est généralement exprimé en pourcentage (%) et est calculé selon la méthode suivante :

$$Bw = \frac{\Delta f}{f} \cdot 100 \quad (\text{II. 10})$$

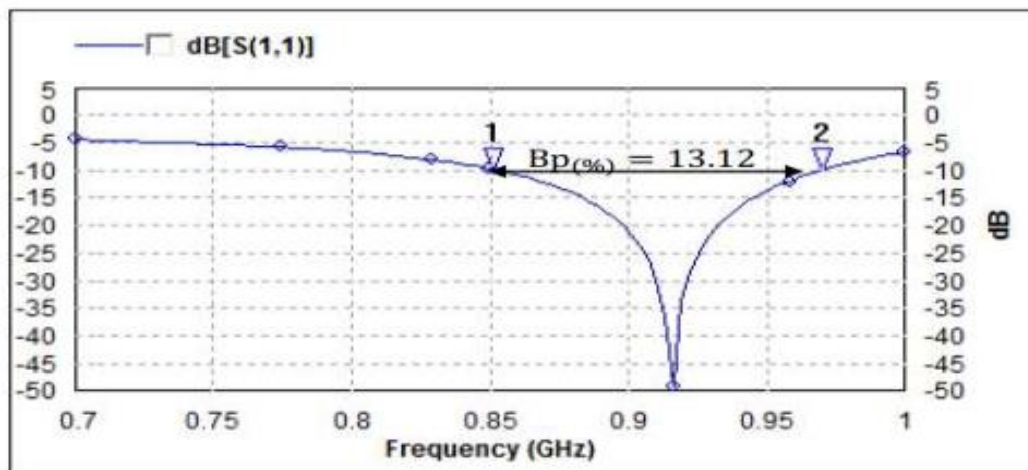


Figure II.4 : Exemple d'une bande passante

En ce qui concerne la RFID, la bande passante est étroitement liée aux critères de performance requis pour une étiquette RFID. Le niveau de puissance transmis acceptable, noté  $T$ , est déterminé en fonction de la distance de lecture souhaitée dans un certain contexte d'utilisation.

### II.4.8 Impédance d'entrée

Une antenne fonctionne comme un circuit résonant dont la fréquence de résonance centrale est déterminée par les valeurs de l'inductance ( $L$ ) et de la capacité ( $C$ ). Ces valeurs sont généralement déterminées par la structure de l'antenne, ses dimensions et son environnement. L'antenne est connectée à d'autres éléments dans un système via une ligne de transmission, qui a généralement une impédance de 50 ou 75 ohms. La réponse en fréquence de l'antenne est caractérisée par la variation de son impédance d'entrée complexe en fonction de la fréquence [37].

$$Z_{in}[W] = R[W] + jX[W] \quad (II.11)$$

La résistance d'antenne  $R[W]$  et la réactance d'antenne  $X[W]$  sont des paramètres qui décrivent les caractéristiques électriques d'une antenne.

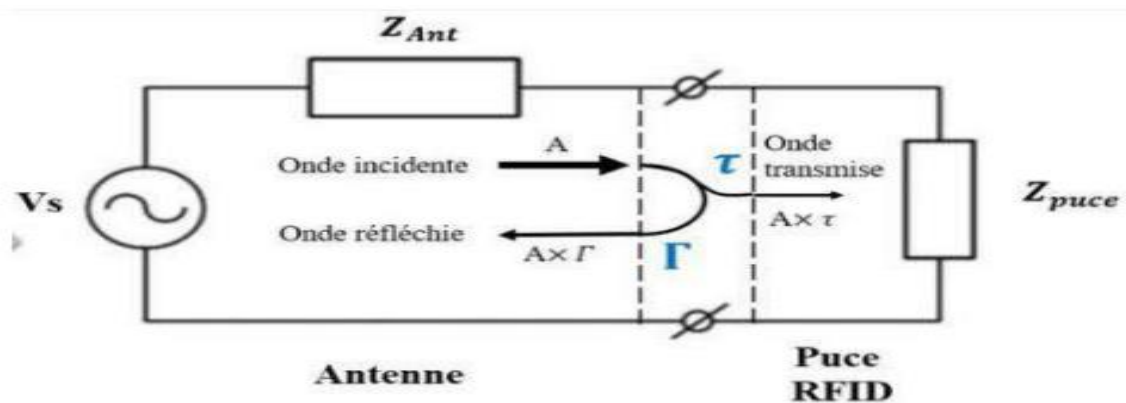
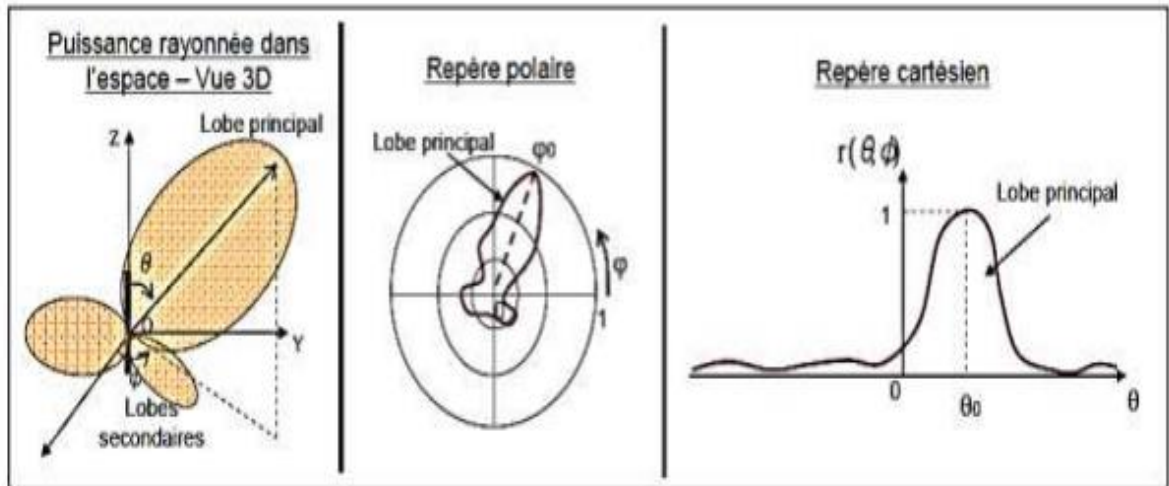


Figure II.5 : L'impédance modèle de circuit RFID

### II.4.9 Diagramme de rayonnement

Le diagramme de rayonnement d'une antenne est une représentation graphique de la façon dont elle émet des ondes dans l'espace. Il est déterminé dans la zone distante de l'antenne et présente une variation en fonction des coordonnées directionnelles ( $\theta$ ,  $\phi$ ). Ce diagramme peut être représenté sous différentes formes, telles que des coordonnées cartésiennes, polaires ou en trois dimensions [21].

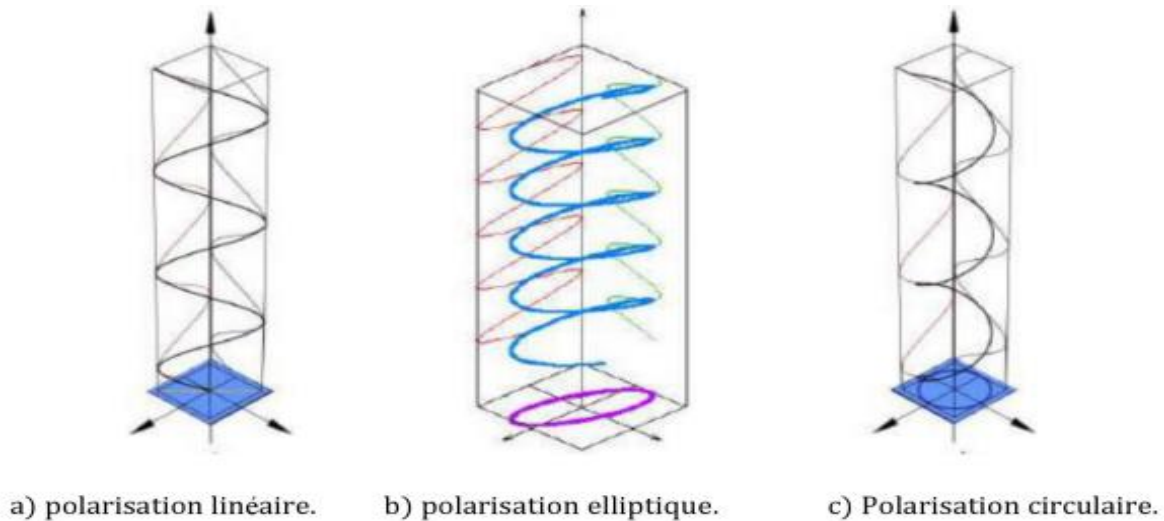


**Figure II.6 :** Différentes représentations du diagramme de rayonnement

Le diagramme de rayonnement est habituellement défini par la présence d'un lobe principal ainsi que de lobes de rayonnement secondaires.

#### II.4.10 Polarisation

La polarisation d'une antenne se réfère à l'orientation du champ électrique de l'onde radio émise ou reçue par l'antenne. Elle peut être linéaire, circulaire ou elliptique, selon la manière dont le champ électrique se propage dans l'espace. La polarisation de l'antenne est choisie en fonction des besoins spécifiques du système de communication, et des facteurs tels que l'orientation de l'antenne, la configuration du réseau et les obstacles environnants peuvent influencer cette polarisation. Assurer une correspondance adéquate de la polarisation entre l'antenne émettrice et l'antenne réceptrice est crucial pour assurer une transmission efficace du signal.



**Figure II.7 :** polarisation du champ électromagnétique

## II.5 Le système RFID passif

### II.5.1 Transfert maximum de puissance

Le transfert optimal de puissance dans un système RFID passif se produit lorsque l'antenne du lecteur RFID (émetteur) est correctement accordée et alignée avec l'antenne de l'étiquette RFID (récepteur). Pour maximiser l'efficacité du transfert d'énergie, il est important de prendre en compte plusieurs facteurs.

Tout d'abord, il est essentiel de s'assurer que le lecteur RFID et l'étiquette RFID fonctionnent à la même fréquence. Cela permet d'obtenir un couplage électromagnétique plus fort entre les antennes. Ensuite, réduire la distance entre les antennes permet d'augmenter le couplage magnétique, mais il est important de respecter les limites spécifiées par le système RFID pour garantir un fonctionnement optimal.

L'orientation et l'alignement précis de l'antenne du lecteur RFID avec celle de l'étiquette RFID sont également cruciaux. Un bon alignement améliore le couplage électromagnétique et favorise ainsi un transfert de puissance efficace.

La puissance de sortie du lecteur RFID peut également être augmentée dans les limites spécifiées par le système RFID pour améliorer le transfert de puissance. De plus, l'utilisation d'antennes avec un gain approprié permet de concentrer davantage l'énergie dans la direction souhaitée.



Il est important de noter que le transfert de puissance dans un système RFID passif est déterminé par les caractéristiques spécifiques du système et doit se conformer aux normes et aux spécifications du fabricant. Il est donc essentiel de suivre les directives du système RFID et de consulter les spécifications fournies par le fabricant pour obtenir des informations précises sur les performances et les limitations du système.

### II.5.2 Equation de Friis

L'équation de Friis est une équation utilisée pour estimer la puissance du signal reçue dans un système de communication sans fil. Elle tient compte des pertes de propagation du signal ainsi que des gains des antennes d'émission et de réception. L'équation de Friis est formulée de la manière suivante [38] :

$$P_r = P_t * G_t * G_r * \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \quad (\text{II.12})$$

L'équation donnée permet de calculer la puissance reçue ( $P_r$ ) dans un système de communication sans fil. Cette puissance dépend de la puissance transmise ( $P_t$ ), des gains respectifs des antennes d'émission ( $G_t$ ) et de réception ( $G_r$ ), de la longueur d'onde du signal ( $\lambda$ ) et de la distance ( $d$ ) entre les antennes d'émission et de réception.

Le terme  $\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2$  dans l'équation de Friis correspond au facteur de propagation qui traduit l'affaiblissement du signal sur la distance parcourue.

Il est important de noter que l'équation de Friis repose sur certaines hypothèses simplificatrices, telles que l'absence d'obstacles, une propagation en champ libre et l'absence d'interférences. Dans des environnements réels, il peut être nécessaire de prendre en compte d'autres facteurs tels que les pertes supplémentaires liées à la propagation, les effets du multipath, les interférences, ainsi que les caractéristiques spécifiques du système de communication utilisé [38].

## **II.6 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous explorons divers aspects des systèmes RFID UHF, en mettant l'accent sur les différents types de couplage et les paramètres fondamentaux des antennes. Une attention particulière est portée aux paramètres clés des systèmes RFID passifs, tels que le diagramme de rayonnement, le gain et la directivité.

La seconde partie du chapitre se concentre spécifiquement sur les systèmes RFID UHF passifs.

# **C**hapitre III

## **C**onception d'une antenne

### **L**ecteur RFID en champ proche

CHAPITRE III

### III.1 Introduction

La présence de la technologie RFID est désormais généralisée dans la vie de tous les jours. Cette technologie utilise la bande de fréquence ISM pour l'identification des individus et fonctionne dans la plage de fréquences UHF qui s'étend de 866 MHz à 869 MHz. Pour les applications en champ proche, la distance de lecture peut aller jusqu'à 10 cm. Les antennes des lecteurs RFID ont été conçues pour répondre aux exigences des différentes applications en CP.

Le premier objectif de ce chapitre est de concevoir des antennes pour les lecteurs RFID en champ proche. Toutefois, avant cela, nous allons effectuer une brève étude théorique sur la distribution des champs électromagnétiques dans les zones de champ proche.

Ensuite, nous avons procédé à une simulation à l'aide du logiciel CST Microwave Studio. À cet effet, nous allons présenter la procédure de mesure ainsi que les résultats obtenus. Comme à l'accoutumée, nous conclurons ce chapitre par une synthèse des résultats.

### III.2 Le champ proche en RFID

Les systèmes de couplage inductif sont largement utilisés dans la plupart des applications de la RFID UHF en champ proche, car ils utilisent un champ magnétique pour alimenter l'étiquette RFID. Le couplage inductif est considéré plus stable que le couplage capacitif et est peu affecté par les liquides ou les métaux [39].

En champ proche, le champ électromagnétique se trouve dans la zone proche de l'antenne où il varie fortement d'un point à un autre et ne présente donc pas les caractéristiques d'une onde plane [39]. Dans cette zone, le champ magnétique est prédominant en raison de la faible présence de composants électroniques. La distance est définie par la relation [40] :

$$d_{\text{champ proche}} = \frac{\lambda}{2\pi} \quad (\text{III. 1})$$

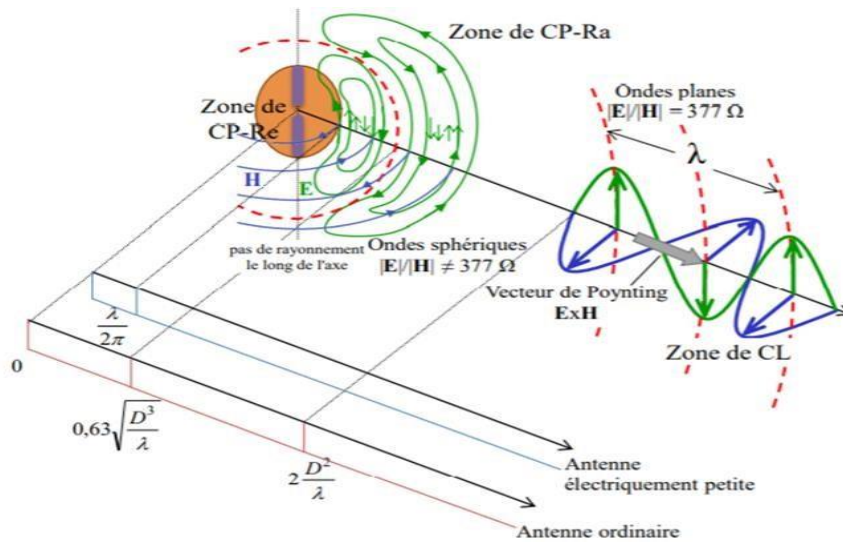


Figure III.1 : Définition des zones de champs [39]

Les systèmes RFID en champ proche fonctionnent par couplage magnétique ou inductif à des fréquences comprises entre 125 et 148 kHz, ainsi qu'à 13,56 MHz pour des applications à courte portée (jusqu'à 0,5 m). Les balises HF utilisent une antenne magnétique sous la forme d'une bobine inductive ayant une inductance L. Cette dernière fait office d'antenne et est connectée à une puce contenant l'information, ainsi qu'à un condensateur C qui résonne le circuit LC à la fréquence souhaitée. Lorsque le circuit entre en résonance LC, la fréquence de résonance du système RFID est donnée par l'équation suivante :

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (\text{III. 2})$$

Le couplage inductif dans un système RFID repose sur une boucle conductrice L1 parcourue par un courant variable dans le temps, qui sert d'antenne émettrice pour le lecteur (Figure II.6). La boucle L2 représente l'antenne de l'étiquette, où R2 est la résistance de la bobine d'antenne de l'étiquette et RL est la résistance de charge [41].

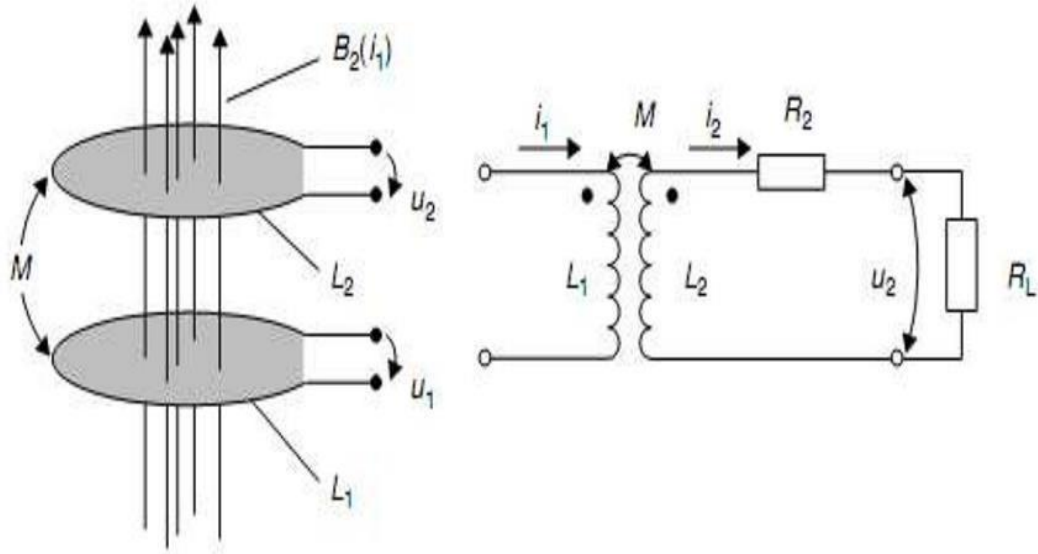


Figure III.2 : Boucle de conduction par couplage magnétique (à gauche), circuit équivalent pour Une boucle de conduction par couplage magnétique (à droite) [41]

### III.3 La modélisation d'une communication RFID UHF champ proche

Il est possible de modéliser une communication RFID UHF en champ proche en utilisant le schéma électrique équivalent présenté sur la Figure.

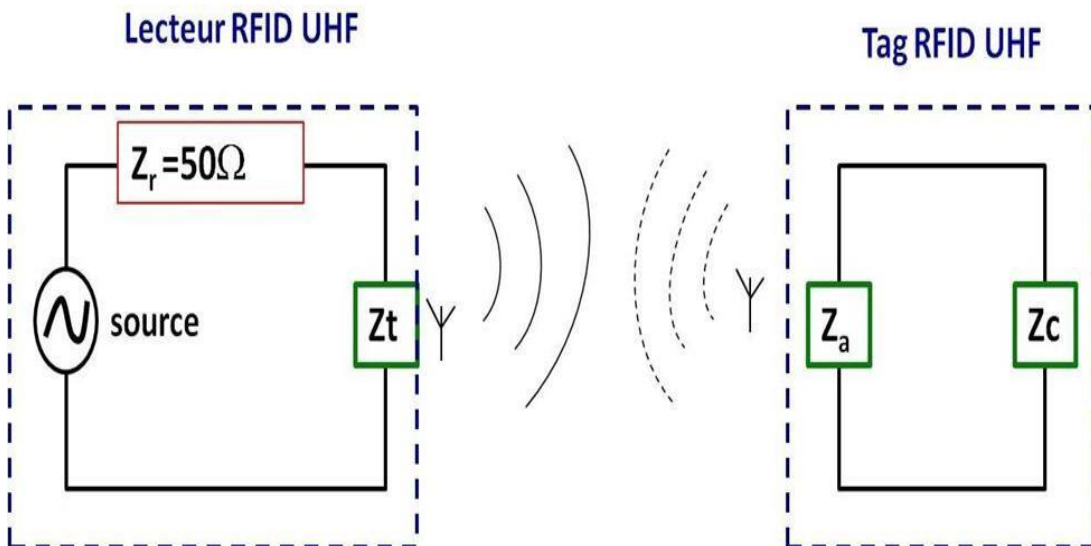


Figure III.3 : Mécanisme de couplage dans les systèmes RFID [6]

En figue.III.3,  $Z_r$  est l'impédance de la source ( $50 \Omega$ ),  $Z_t$  est l'impédance de l'antenne du lecteur,  $Z_a$  est l'impédance de l'antenne de l'étiquette et  $Z_c$  est l'impédance de la puce. La puissance reçue par le tag RFID est obtenue à l'aide de l'expression générale suivante [42] :

$$P_{\text{tag}} = P_{\text{Lecteur}} * \rho * C * \tau \quad (\text{III. 3})$$

Où

$P_{\text{Lecteur}}$  est la puissance émise par le lecteur RFID,  $C$ 'est le coefficient de couplage,  $\rho$  est le coefficient de transmission entre le lecteur et son antenne, et le coefficient de transmission entre la puce et son antenne. Ces différentes grandeurs s'expriment comme suit, en fonction de l'impédance des composants du système [42].

$$\rho = \frac{4R_r R_t}{|Z_r + Z_t|^2}, \quad \tau = \frac{4R_c R_a}{|Z_c + Z_a|^2}$$

$$Z_r = R_r + jX_r \quad Z_t = R_t + jX_t \quad Z_c = R_c + jX_c \quad Z_a = R_a + jX_a$$

Dans le cas d'une antenne cadre, si l'on considère que le tag est suffisamment petit pour ne pas interférer avec le champ magnétique généré par l'antenne du lecteur, on peut définir le coefficient de couplage  $C$  comme suit [39] :

$$C \cong f^2 * N^2 * S^2 * B^2 * a \quad (\text{III. 4})$$

Avec :

**f** : la fréquence de fonctionnement,

**N** : le nombre de spires pour l'antenne tag,

**S** : la section du tag (antenne boucle),

**B** : le champ magnétique produit par l'antenne lecteur  $a$  : les pertes d'alignement entre l'antenne de l'étiquette et du lecteur

L'application cible prend en compte à la fois la portée et la surface de lecture pour couvrir une zone spatiale spécifique. Ainsi, les lectures doivent se situer dans une plage restreinte, généralement pas plus grande que la zone de champ proche sur une surface d'espace limitée appelée région de lecture.

### III.4 La conception des antennes de lecteurs RFID en champ proche.

Au cours de la phase de conception de l'antenne, l'utilisation de logiciels de simulation électromagnétique est indispensable. Dans cet article, nous avons opté pour l'utilisation du logiciel CST Microwave Studio pour sa capacité à effectuer une analyse 3D des problèmes électromagnétiques, ce qui s'est avéré particulièrement utile pour l'analyse des distributions de champs électromagnétiques. La méthode de conception utilisée est présentée sur la Figure.

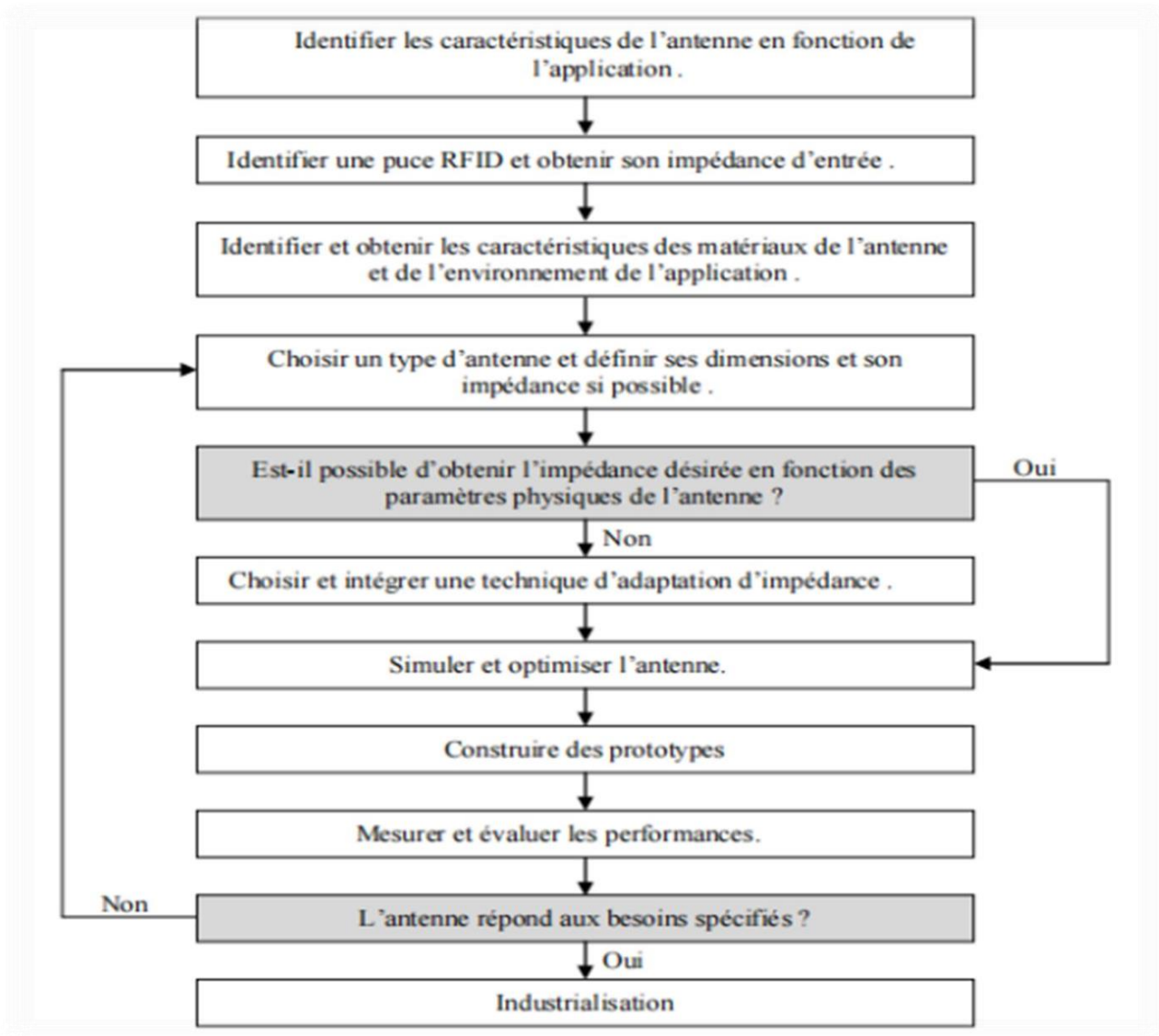


Figure III.4 : Méthodologie de conception des antennes RFID [16]



### III.5 Présentation du logiciel Microwave Studio de CST

Le logiciel Microwave Studio CST est un outil spécialisé destiné à la conception électromagnétique de composants haute fréquence allant des lignes de transmission et des filtres aux antennes. Basé sur la solution des équations de Maxwell, le logiciel utilise la technique Finite Integral (FIT) et est considéré comme une méthode efficace FDTD (Finite Difference Time Domain).

Les méthodes numériques FIT permettent une discrétisation spatiale efficace et une description directe des composants 3D d'un système. En tant que tels, ils sont applicables à un large éventail de problèmes électromagnétiques, du calcul de champ statique aux applications haute fréquence dans le domaine temporel et fréquentiel.

Lorsque l'on aborde les équations de Maxwell par des méthodes numériques, un domaine de calcul doit d'abord être établi. Cela implique de subdiviser l'espace en cellules parallélépipédiques de base, ce qui entraîne une discrétisation volumétrique, chaque cellule de maillage étant de forme cubique. Une fois les composants modélisés, une procédure de maillage automatique peut alors être appliquée pour préparer l'activation du moteur de simulation.

L'outil Time Solver remplace les dérivées partielles par des différentiels. Cet outil d'analyse Temporelle est très avantageux en termes de temps de calcul.

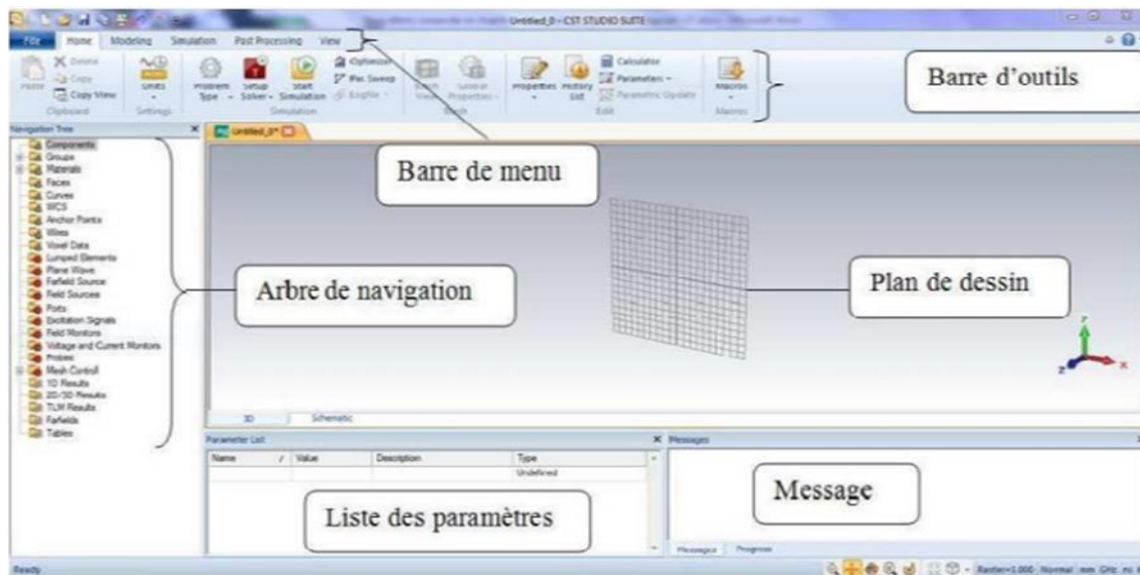
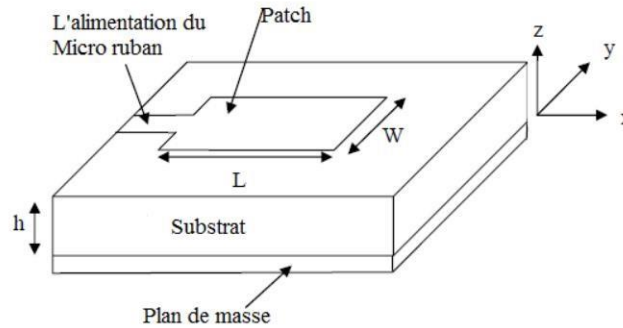


Figure III.5 : Description de logicielle CST

## III.6 Modélisation des antennes patch

### III.6.1 Antenne patch rectangulaire

Parmi toutes les formes d'antenne, il est indéniable que l'élément rectangulaire est le plus facile à comprendre lorsqu'il s'agit de saisir les mécanismes de rayonnement des antennes microstrip.



**Figure III.6 :** Antenne patch micro ruban rectangulaire

D'après Huang, Boyle et Balanis [43] [44] la fréquence de résonance d'une antenne patch rectangulaire en mode TM<sub>010</sub> est exprimée par :

$$f_r = \frac{c}{2L_{\text{eff}}\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} \quad (\text{III. 5})$$

Balanis fournit l'expression de la constante diélectrique effective  $\epsilon_{\text{reff}}$  comme suit :

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ 1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{III. 6})$$

Où

$\epsilon_r$  = constante diélectrique du substrat.

$h$  = hauteur du substrat diélectrique.

$w$  = largeur du patch.

Les dimensions du patch ont été étendues de chaque côté sur toute sa longueur par une distance supplémentaire

$$\Delta L = \frac{0.412h(\epsilon_{\text{eff}} + 0.3) \left( \frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{\text{eff}} - 0.258) \left( \frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (\text{III. 7})$$

Pour une fréquence de résonance  $f_r$  donnée, la longueur effective est calculée selon l'expression suivante :

$$L_{\text{eff}} = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} \quad (\text{III. 8})$$

La longueur du patch  $L$  est donnée par l'équation suivante :

$$L = L_{\text{eff}} - 2\Delta L$$

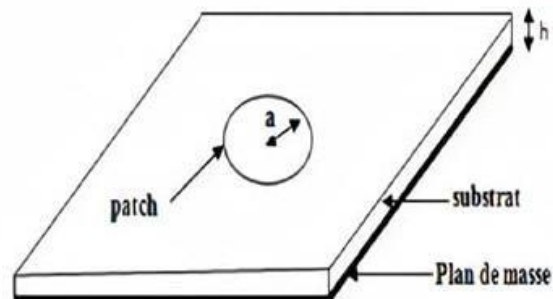
Les équations suivantes permettent de déterminer la longueur du substrat  $L_g$  et la largeur du substrat  $W_g$  :

$$L_g = L + 6h$$

$$W_g = W + 6h$$

### III.6.2 Antenne patch circulaire

Les patches de forme circulaire sont très répandus dans la pratique en raison de leur indéniable facilité d'utilisation.



**Figure III.7 :** Antenne patch micro ruban circulaire

La relation suivante permet de déterminer le rayon de l'antenne de forme circulaire des patches [45] :

$$a = \frac{F}{\left\{1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r F} \left[ \ln\left(\frac{\pi F}{2h}\right) + 1.7726 \right] \right\}^{1/2}}$$

D'où :

$$F = \frac{8.791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{III. 9})$$

Avec

$h$  : l'épaisseur du substrat.

$\epsilon_r$ : permittivité relative.

$f_r$ : fréquence de résonance.

Généralement la longueur de la ligne d'alimentation est de l'ordre de la demi-longueur d'onde.

$$L_L = \frac{\lambda}{2} = \frac{c}{2F} \quad (\text{III. 10})$$

Avec :  $C$  : c'est la vitesse de la lumière.

$\lambda$  : la longueur d'onde.

La relation suivante permet d'exprimer la largeur de l'antenne :

$$W_G = 2 \times a + 6 \times h$$

Où :

$a$  : le rayon du patch.

$h$  : l'épaisseur.

L'équation qui définit la longueur de l'antenne est la suivante :

$$L_G = 2 \times a + L_L + 6 \times h$$

$a$  : le rayon du patch.

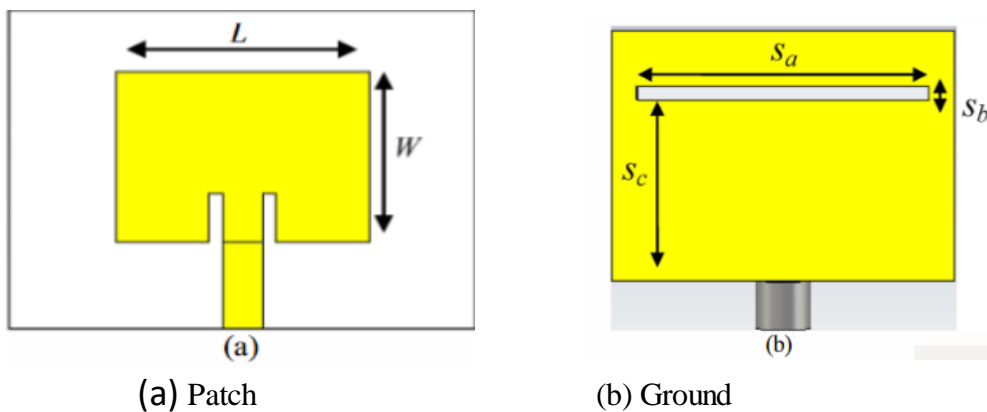
$h$  : l'épaisseur.

$L_L$ :la longueur de la ligne d'alimentation.

### III.7 Etude et conception des antennes patch

#### III.7.1 Antenne patch rectangulaire

Nous pouvons représenter l'antenne patch à 2.45GHz, c'est une antenne patch microstrip compacte pour les applications RFID, L'antenne est conçue pour fonctionner à 2,40-2,45 GHz en utilisant le logiciel Computer Simulation Technology (CST), L'antenne proposée est conçue et fabriquée à l'aide d'un substrat FR4 avec la spécification de conception constante diélectrique ( $\epsilon_r$ ) de 4,3 et des épaisseurs ( $d$ ) de 1,6 mm, Afin de minimiser la taille de l'antenne de patch de microstrip, l'antenne proposée contient une fente au substrat FR-4. la taille globale de l'antenne d'environ 35 x 26 x 1,6 mm La simulation et l'optimisation présenté ont produit de bons résultats qui conviennent aux applications RFID.



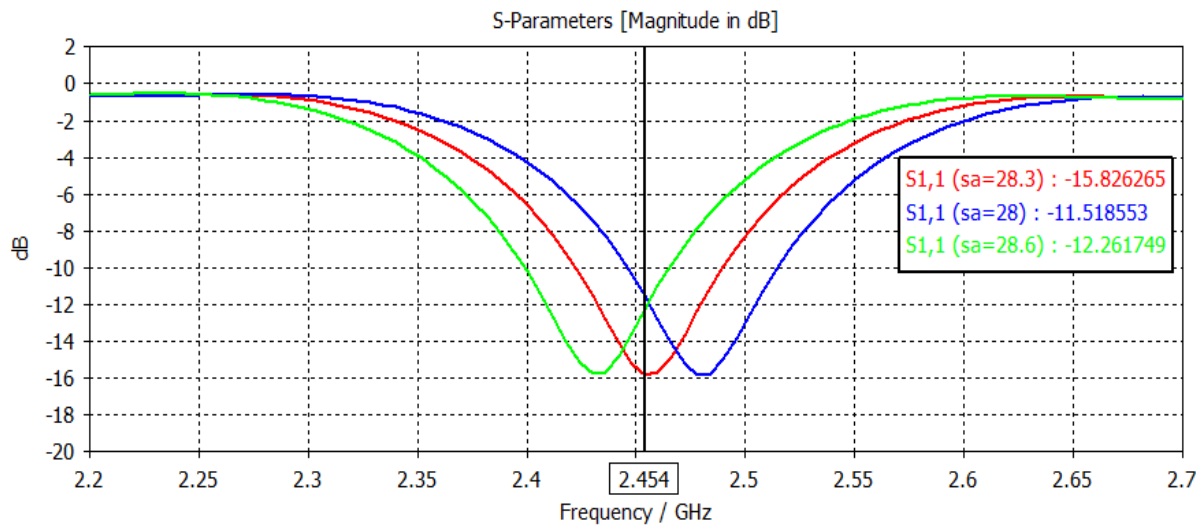
**Figure III.8** : Géométrie de l'antenne patch rectangulaire

#### ➤ Etude paramétrique

Cette antenne a plusieurs paramètres clé : La taille de slot à l'arrière de l'antenne " $S_a$ " La largeur de patch " $W$ ", Ces paramètres influencent la fréquence de fonctionnement l'antenne on fixe les valeurs nominales des paramètres pour avoir une bonne adaptation.

#### ➤ Effet de la taille de slot à l'arrière de l'antenne " $S_a$ "

La présence du slot peut déplacer la fréquence de résonance de l'antenne vers une valeur plus élevée ou plus basse, en fonction de sa taille.

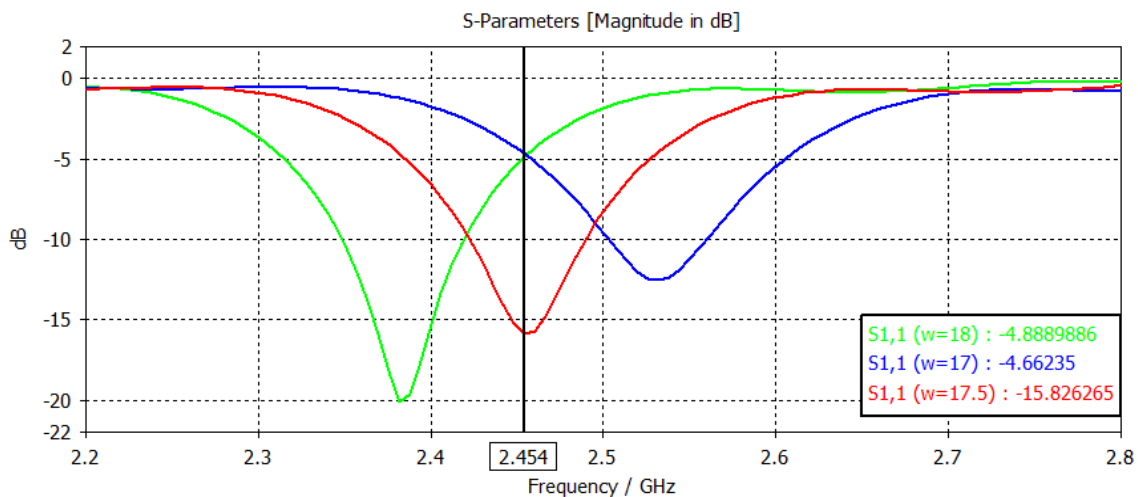


**Figure III.9 :** Coefficient de réflexion S11 (dB) de l'antenne patch (effet de sa)

Comme nous pouvons le voir sur la Figure III-9, la fréquence varie remarquablement quand nous augmentons la taille de slot " $S_a$ ",

➤ Effet de La largeur de patch " $W$ "

La largeur d'un patch " $W$ " rectangulaire d'une antenne peut également avoir un impact sur la fréquence de fonctionnement de l'antenne. Dans les antennes à patch rectangulaire, la largeur du patch est l'une des dimensions qui contribue à définir la fréquence de résonance.



**Figure III.10 :** Coefficient de réflexion S11 (dB) de l'antenne patch (effet de w)

Comme nous pouvons le voir sur Figure III-10, la fréquence de fonctionnement de l'antenne varie lorsque la largeur "W" augmente de 17 à 18 .

Finalement, les paramètres géométriques de cette antenne après optimisation en (mm)

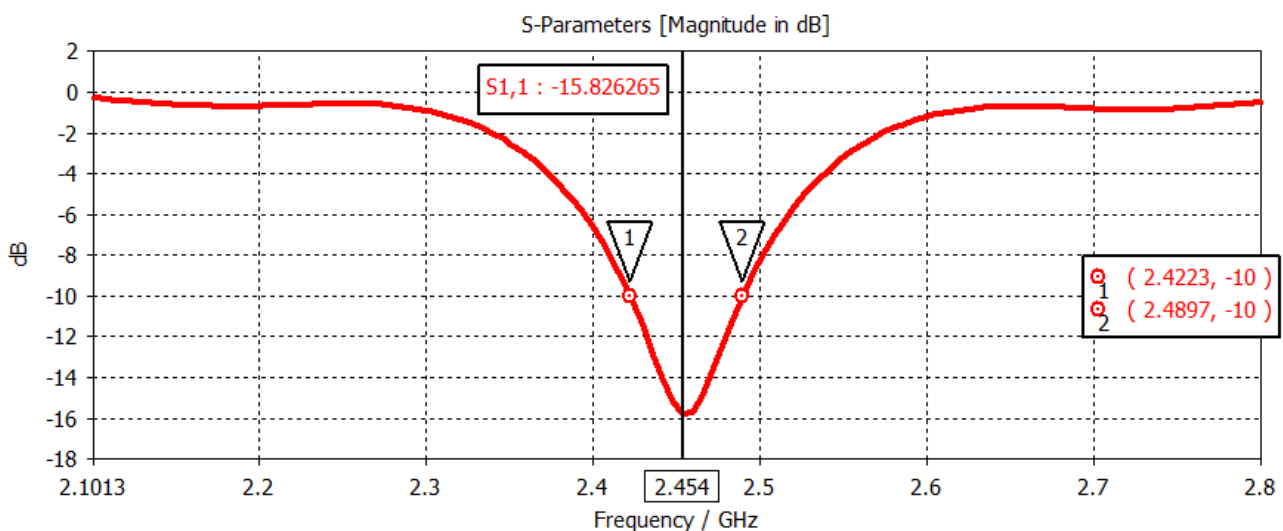
Sont résumés dans le tableau

**Table III-1** : tableau des paramètres de l'antenne patch avec ses valeurs

paramètres	L	W	$S_a$	$S_b$	$S_c$	$W_g$	$L_g$
Valeur(mm)	22.5	17.5	28.5	2.3	20	26	35

Pour l'antenne proposée, et à partir des résultats précédents, il peut être que les paramètres de slot " $S_a$ " et la largeur "W" influence fortement la fréquence de fonctionnement de l'antenne patch, la présence d'un slot peut décaler la fréquence de résonance de l'antenne vers des valeurs plus élevées ou plus basses, Même chose pour la largeur de patch , La relation entre la largeur de l'antenne et la fréquence de fonctionnement est inverse, à mesure que la taille des antennes diminue, la Fréquence de fonctionnement de l'antenne sera augmentée .

Pour l'antenne propose, la combinaison de ces deux paramètres géométriques permet d'avoir une bonne adaptation, le trace du module du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence est représenté dans la figure III-11, nous avons atteint une bonne adaptation  $S_{11} \approx -15$  dB a la fréquence de fonctionnement (2.45 GHz).



**Figure III.11** : Coefficient de réflexion S<sub>11</sub> (dB) de l'antenne patch

La représentation de diagramme de rayonnement en 3D pour cette conception est représentée sur la Figure III-12 la valeur absolue de gain de cette antenne est de 1.467 dB a la fréquence 2.45 GHz

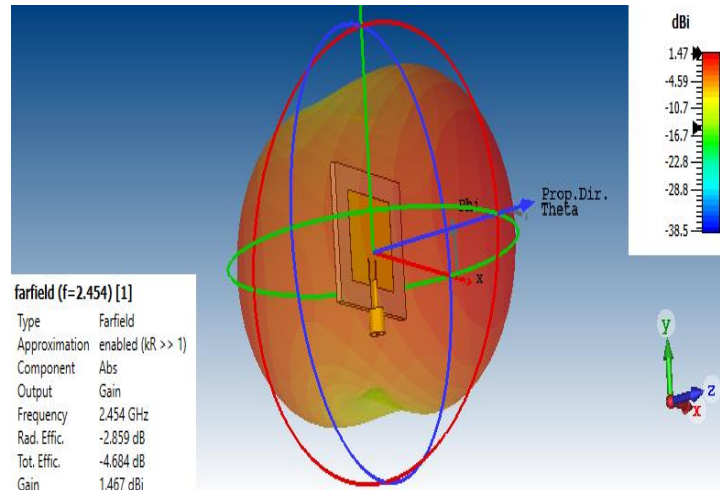


Figure III.12: Diagramme de rayonnement 3-D (gain) a f=2.45GHz

La représentation de diagramme de rayonnement en 3D pour cette conception est représentée sur la Figure III- 13 la valeur absolue de directivité de cette antenne est de 4.452 dB a la fréquence 2.45 GHz

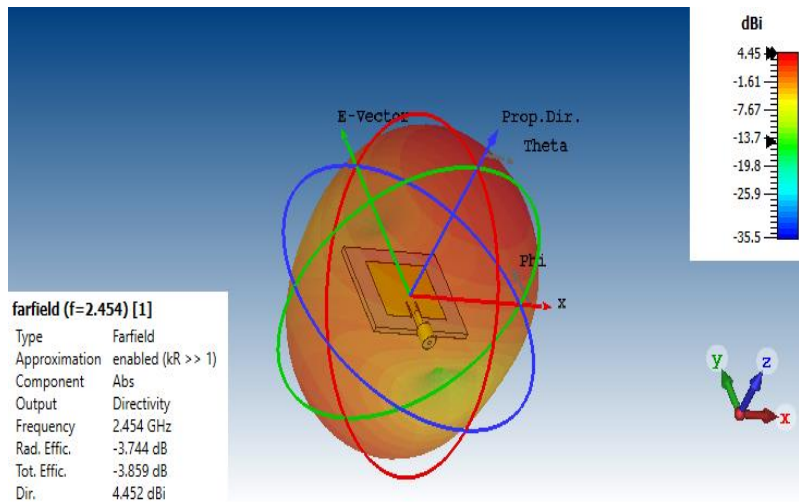


Figure III.13 : Diagramme de rayonnement 3-D (directivité) a f=2.45GHz



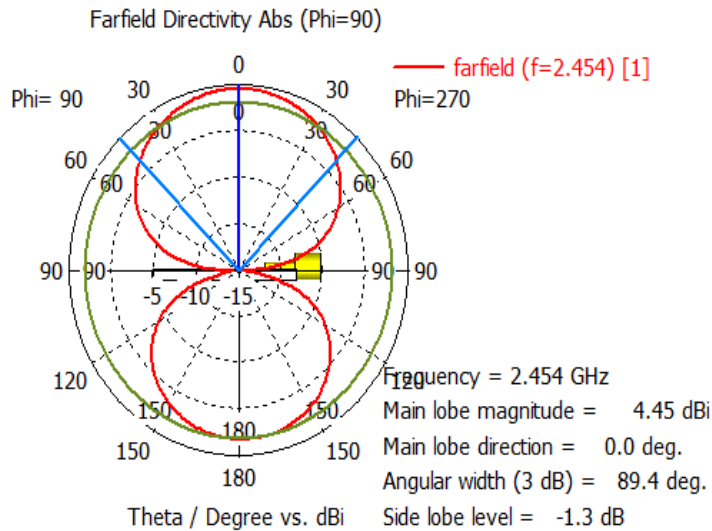


Figure III.14 : Diagramme de rayonnement en présentation polaire

Le VSWR nous donne une bonne qualité d'adaptation nous avons relevé un  $VSWR < 2$  Pour la fréquence de résonance 2.45 GHz comme l'indique la figure III.15.

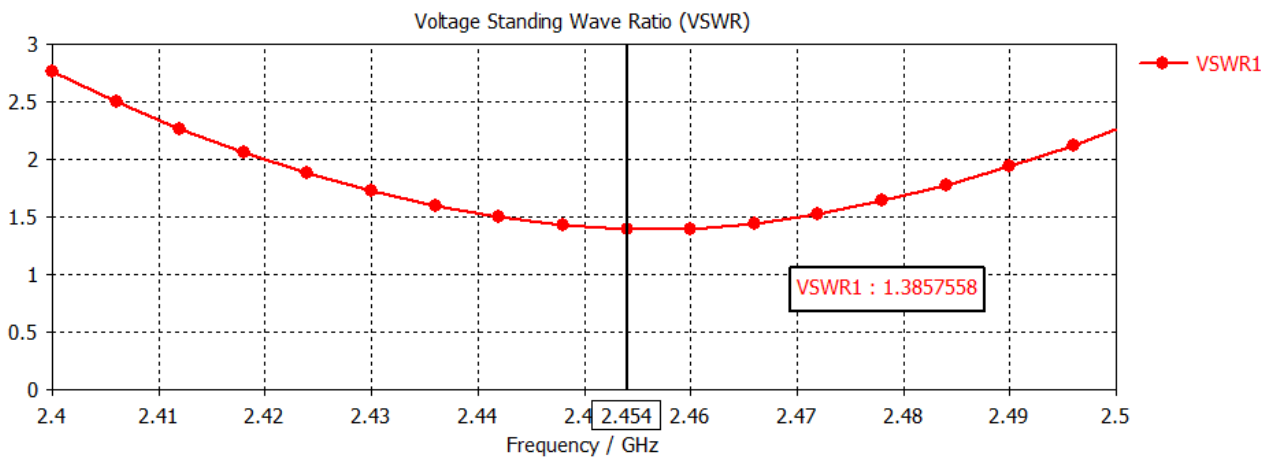


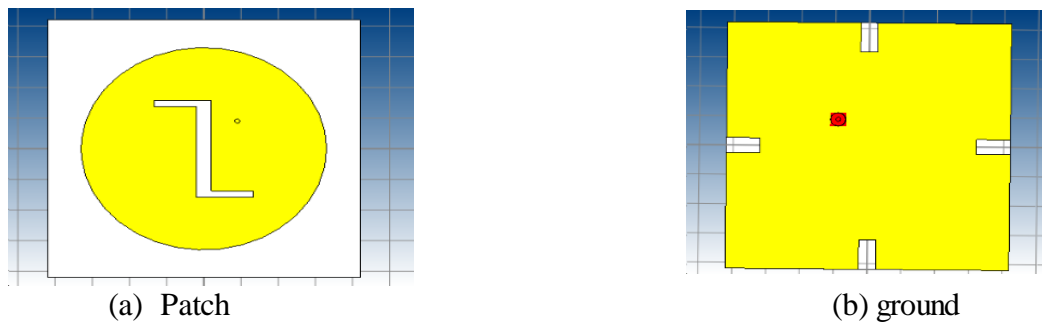
Figure III.15 : le rapport d'ondes stationnaire pour l'antenne a 2.45GHz

Un VSWR inférieur à 2 indique une correspondance d'impédance satisfaisante et un transfert de puissance efficace entre la source et la charge. C'est généralement souhaitable dans les systèmes de communication afin de minimiser les réflexions de signal et d'optimiser la qualité et l'efficacité du signal

### III.7.2 L'antenne patch circulaire

Une antenne patch circulaire rentable et simple, capable d'une fonctionnalité bi-bande et d'une polarisation circulaire à des fréquences appropriées, est présentée dans cette étude. L'antenne est équipée de fentes sur son patch (Z shape) ainsi que sur son plan de masse. La bande UHF-RFID à

[860-960]MHz et la fréquence SHF à 2,45 GHz sont les bandes de fréquences de fonctionnement pour cette antenne particulière. L'antenne a un seul port, ce qui la rend très facile à concevoir et à produire. De plus, cette antenne est abordable. Si vous utilisez des lecteurs RFID pour transmettre des données à des centres de données 2,45 GHz et vous connecter avec des balises 915 MHz (UHF-RFID), L'antenne proposée est conçue et fabriquée à l'aide d'un substrat FR4 avec la spécification de conception constante diélectrique ( $\epsilon_r$ ) de 4,3 et des épaisseurs (d) de 1,6 mm, la taille globale de l'antenne d'environ 84x 84 mm La simulation et l'optimisation présentée ont produit de bons résultats qui conviennent aux applications RFID.



**Figure III.16** : Géométrie de l'antenne patch circulaire

### ➤ Etude paramétrique

Cette antenne contient certains paramètres clé : le rayonne de patch " $r$ " et longueur de fonte de plan de masse " $ls$ " et la longueur de la fonte " $i2$ " de patch , L'adaptation efficace de l'antenne dépend de certains paramètres qui influencent sa fréquence de fonctionnement. Pour assurer une bonne adaptation, il est nécessaire de déterminer les valeurs nominales appropriées de ces paramètres

#### ➤ Effet de le rayonne " $r$ "

La fréquence de fonctionnement d'une antenne peut être influencée par la distance de rayonnement d'un patch circulaire de rayon " $r$ ". Dans le contexte des antennes à patch circulaire, la largeur du patch joue un rôle essentiel dans la détermination de la fréquence de résonance

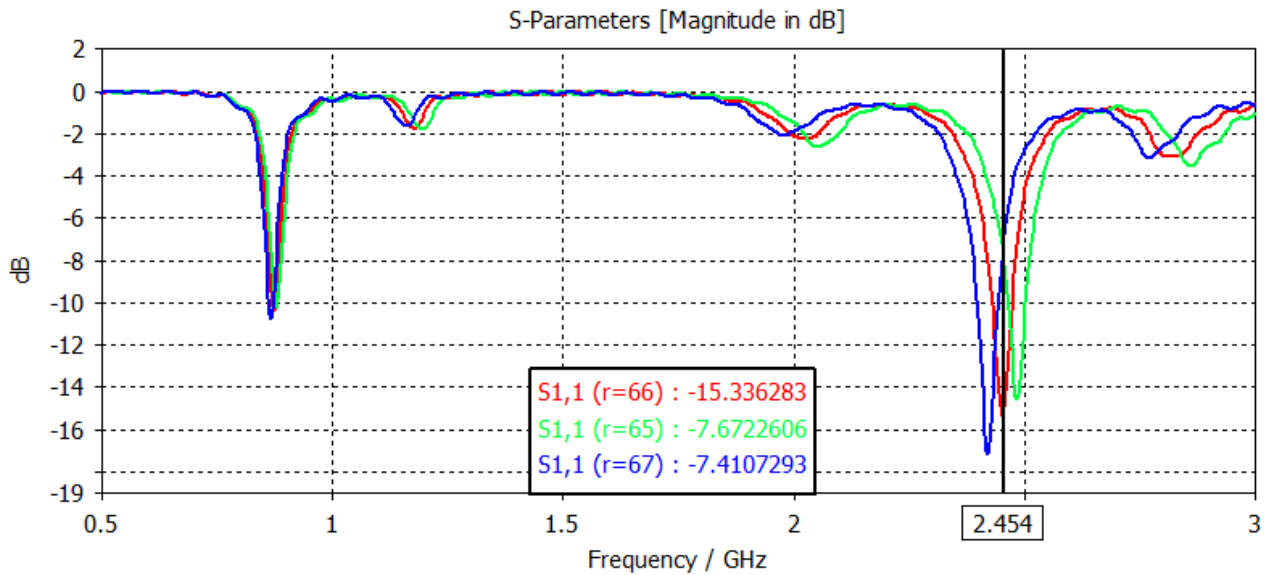


Figure III.17 : Coefficient de réflexion S11 (dB) de l'antenne (effet de r)

La Figure III-17 met en évidence une variation significative de la fréquence lorsqu'on augmente de le rayonne "r"

➤ Effet de la longueur de fonte à l'arrière de patch "ls"

Il est observé que pour une taille de slot de  $ls=18$ , aucune résonance proche de 873 MHz n'est obtenue. Les longueurs correspondant à  $ls=10$  présentent des caractéristiques à double bande, tandis que pour  $ls=6$ , on observe toujours un mode parasite supplémentaire près de 2,448 GHz. Par conséquent,  $ls=10$  est choisi car il parvient à réduire partiellement les modes parasites tout en conservant les caractéristiques S11 requises dans les plages de fréquence nécessaires (873MHz et 2.45Ghz)

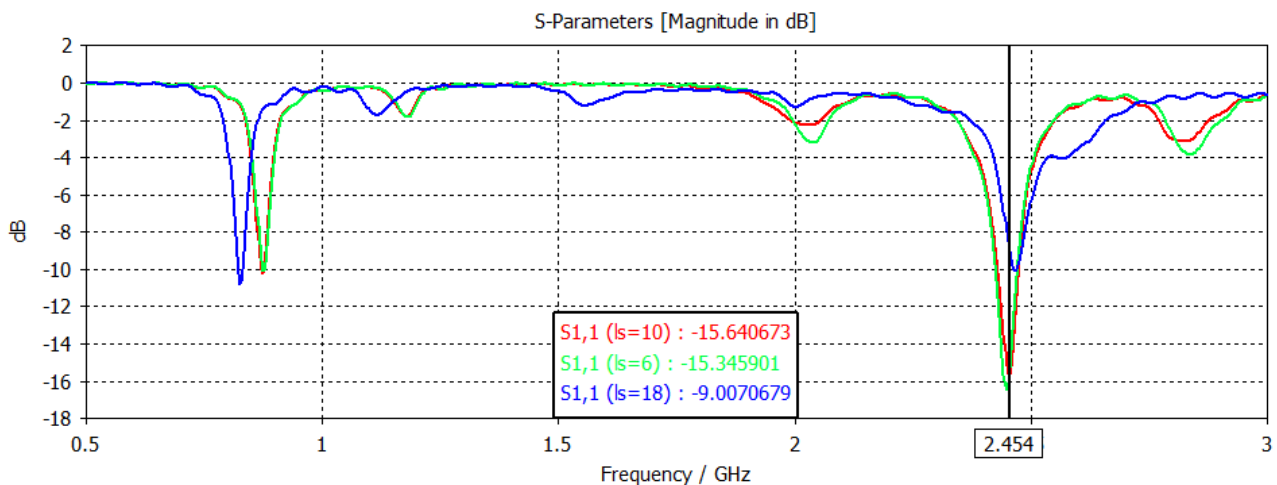


Figure III.18 : Coefficient de réflexion S11 (dB) de l'antenne (effet de Is)

➤ la longueur de la fente "i2" de patch

Comme indiqué dans la figure, les fentes sur l'antenne patch jouent un rôle important dans les opérations bi-bandes ainsi que dans la polarisation circulaire. La variation de longueur de fente est présentée.

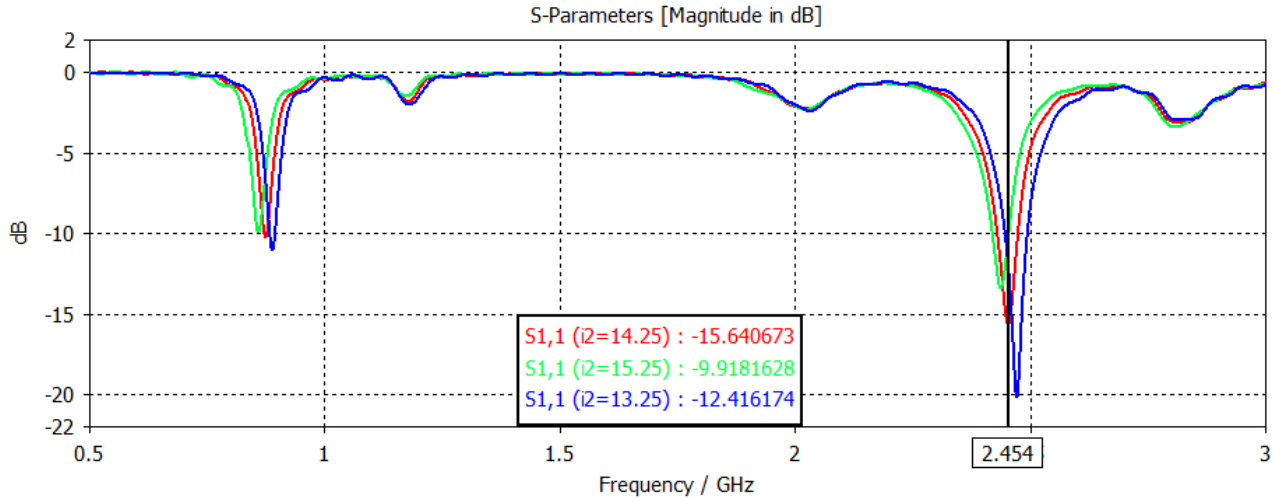


Figure III.19 : Coefficient de réflexion S11 (dB) de l'antenne (effet de i2)

Lorsque la longueur de la fente horizontale (l2) est réglée à 15,25 mm, l'antenne patch présente une mauvaise correspondance d'impédance aux fréquences de 873 MHz et 2,45 GHz. Cependant, on observe que la valeur optimale pour l2 est de 14,25mm. Cela confirme la justification de la décision initiale de choisir l2=14,25 mm dans la conception initiale

Les paramètres géométriques optimisés de cette antenne, exprimés en millimètres (mm), sont récapitulés dans le tableau suivant

Table III-2 : tableau des paramètres géométrique de l'antenne patch avec ses valeurs

Paramètres	$L_1$	$L_2$	c	r	w	$I_1$	$w_s$	$I_s$	$r_c$	x	y	$r_i$
Valeur(mm)	82	84	0.035	66	4	14.75	5	10	4.7	9	9	1.4

Pour l'antenne proposée, et à partir des résultats précédents, il peut être que les paramètres de rayonne "r" la longueur de fente à l'arrière de patch "ls" et la longueur de la fente "i2" de patch influence fortement la fréquence de fonctionnement de l'antenne patch, la présence d'un slot peut décaler la fréquence de résonance de l'antenne vers des valeurs plus élevées ou plus basses, les fentes aident à exciter un mode près de 2,45 GHz, ce qui permet des applications bi-bandes de l'antenne et Pour réduire l'effet des fentes sont découpées sur le plan de masse .

L'utilisation de ces trois paramètres géométriques pour l'antenne proposée permet d'obtenir une adaptation appropriée. Le graphique représente l'amplitude du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence, et nous avons réussi à obtenir une bonne adaptation avec un S11 d'environ -10.35 dB à la fréquence de fonctionnement de 873MHz. et environ 15 dB à la fréquence 2.45 GHz.

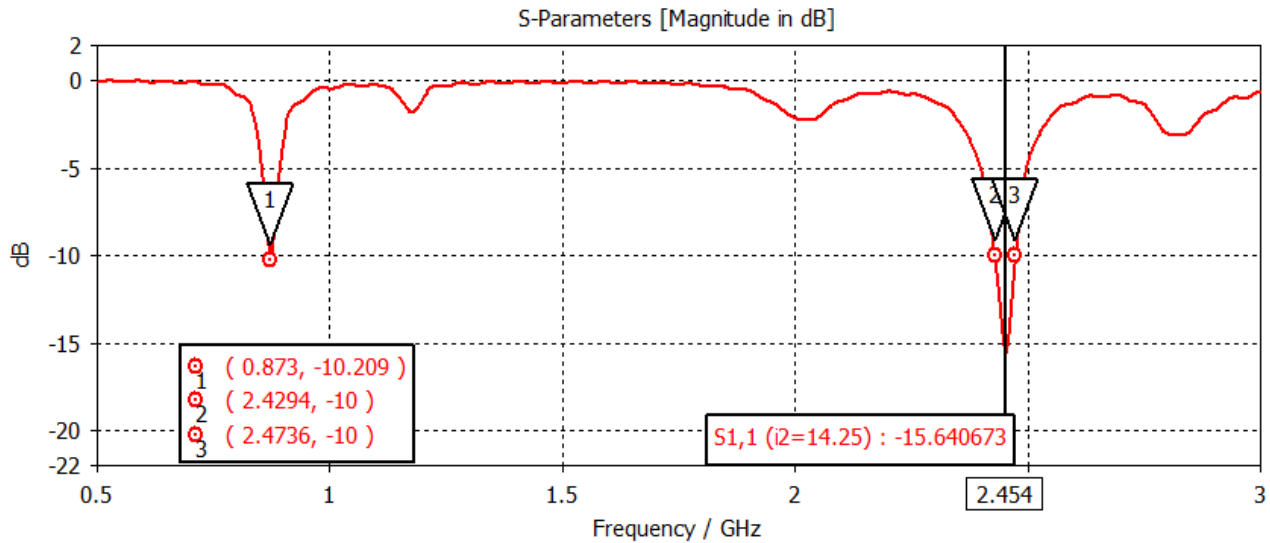
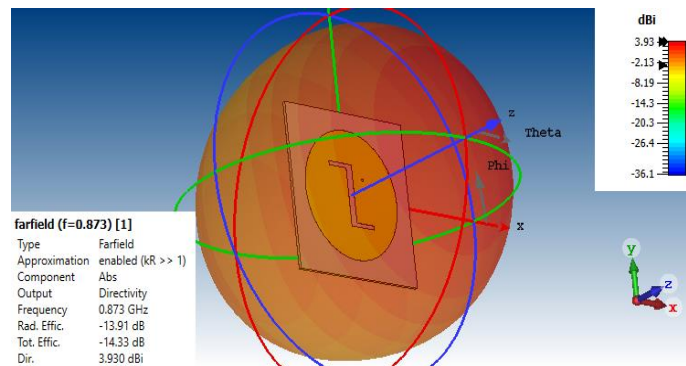


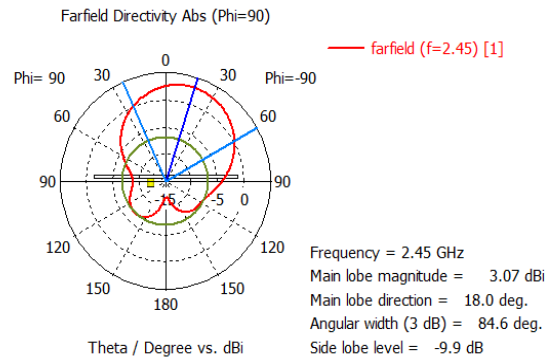
Figure III.20 : Coefficient de réflexion S11 (dB) de l'antenne

La Figure III-21 représente le diagramme de rayonnement en 3D de cette conception d'antenne. À la fréquence de 873 MHz, la directivité de cette antenne, exprimée en valeur absolue, est de 3,930 dB. et à la fréquence de 2.45GHz s'exprime en valeur absolue

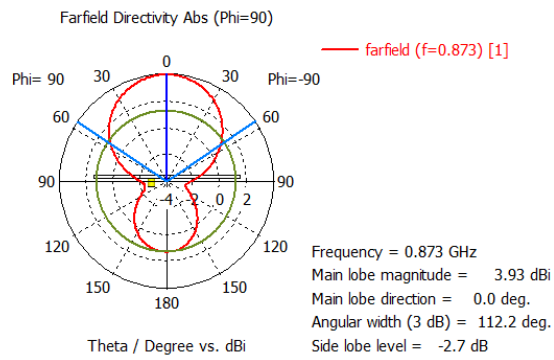


(a)

Figure III.21 : Diagramme de rayonnement 3-D (directivité)



(a)



(b)

Figure III.22 : Diagramme de rayonnement en présentation polaire

Le VSWR nous donne une bonne qualité d'adaptation nous avons relevé un  $VSWR < 2$

Pour la fréquence de résonance 0.873 GHz et 2.45GHz comme l'indique la figure III.23

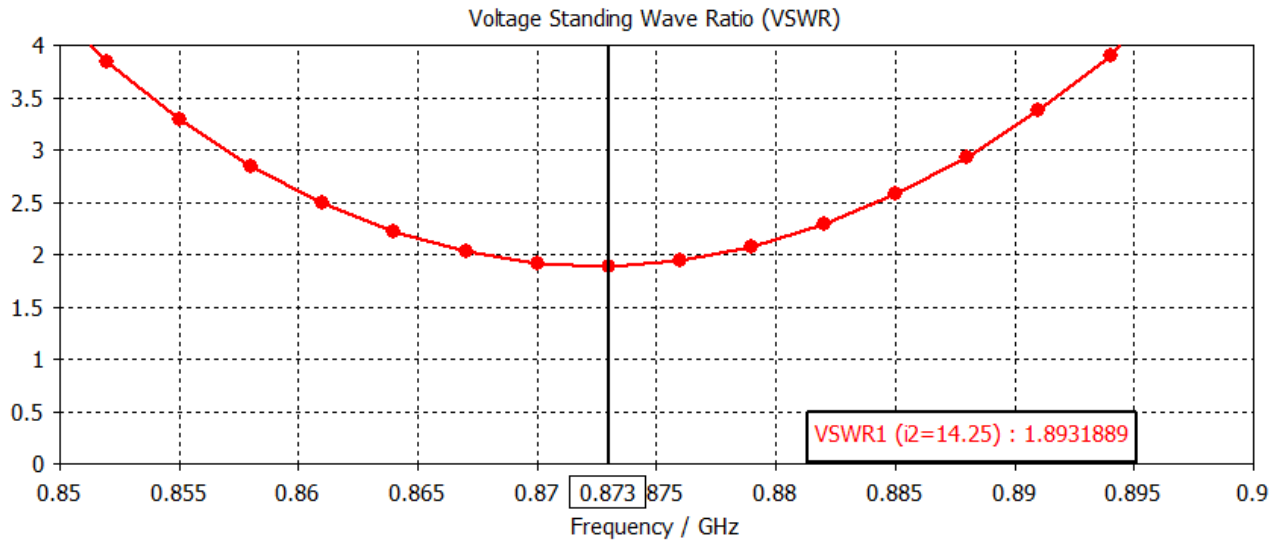


Figure III.23 : le rapport d'ondes stationnaire pour l'antenne (VSWR) de 8.73 MHz

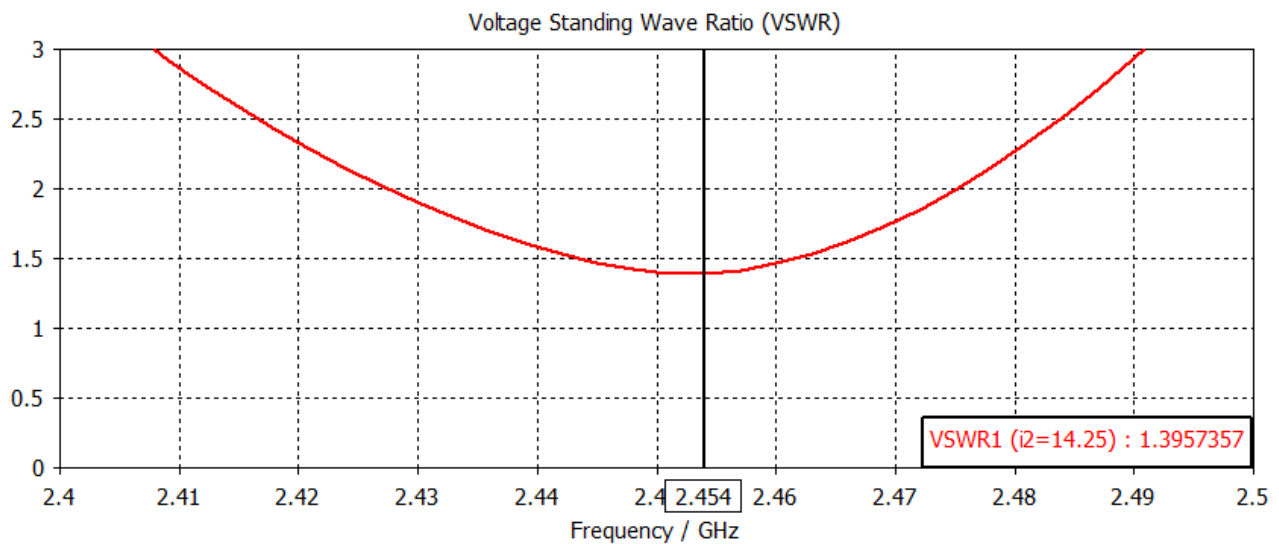
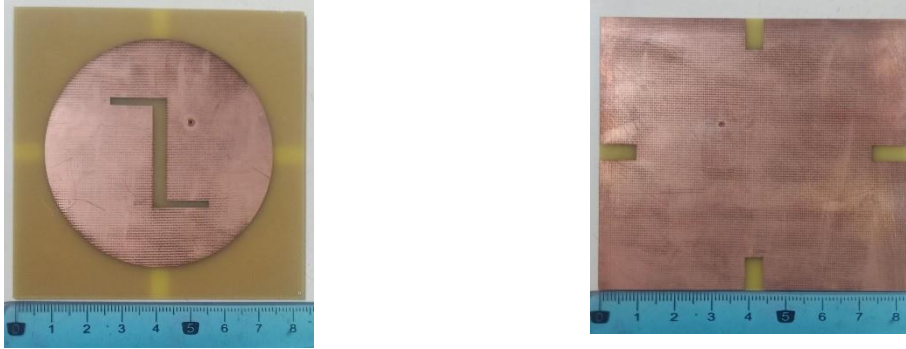


Figure III.24 : le rapport d'ondes stationnaire pour l'antenne (VSWR) de 2.45GHz

Un rapport d'onde stationnaire (VSWR) inférieur à 2 est un indicateur d'une bonne correspondance d'impédance et d'un transfert de puissance efficace entre la source et la charge. Dans les systèmes de communication, cela est généralement considéré comme souhaitable car cela permet de minimiser les réflexions du signal et d'optimiser la qualité et l'efficacité de la transmission du signal.



**Figure III.25 :** d'antenne (2×1) à réaliser (face supérieure et inférieure)

### III.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé la conception, la simulation et l'optimisation de deux types d'antennes patch adaptées aux technologies RFID SH et UHF. Une antenne patch rectangulaire a été étudiée pour la technologie RFID SH, tandis qu'une antenne patch circulaire bi-bande a été développée pour les fréquences UHF et SH.

En utilisant une approche méthodique et des outils de simulation avancés, nous avons pu améliorer les performances de ces antennes en termes de gain, de directivité, de bande passante et d'efficacité de rayonnement. Les antennes patch rectangulaires destinées à la technologie RFID SH offrent une solution compacte et efficace pour les systèmes à courte portée, tandis que les antennes patch circulaires bi-bande permettent une compatibilité avec les fréquences UHF et SH, offrant une plus grande flexibilité d'utilisation.

La conception précise et l'optimisation de ces antennes ont été essentielles pour maximiser les performances de communication dans les technologies RFID SH et UHF. Ces antennes offrent des avantages significatifs en termes de portée, de sensibilité de lecture et de fiabilité des transmissions.

Les antennes patch rectangulaires et circulaires bi-bande représentent des solutions efficaces respectivement pour les systèmes RFID SH et UHF. Elles peuvent être utilisées dans diverses applications RFID, garantissant des performances optimales en termes de communication sans fil



**C**onclusion

**G**énéral

## **Conclusion Générale**

L'identification par radiofréquence (RFID) est une technologie qui utilise les ondes radio identifiez passivement les objets marqués. il est utilisé dans de nombreuses applications Commercial et industriel, suivi des articles dans la chaîne d'approvisionnement ,Gardez une trace des articles empruntés à la bibliothèque.

Ce mémoire sur l'étude et la conception d'antennes patch pour les applications lecteur RFID en champ proche a permis de fournir une vision approfondie et complète de la technologie RFID et de ses applications spécifiques.

Le premier chapitre a présenté les généralités sur la technologie RFID, en couvrant différents aspects tels que l'histoire de la RFID, le principe de fonctionnement d'un système RFID, les composants essentiels d'un système RFID, les fréquences de fonctionnement, les normes et protocoles, ainsi que les avantages et inconvénients de cette technologie. Cela a permis d'établir une base solide pour la compréhension du sujet.

Le deuxième chapitre s'est concentré sur le système RFID UHF, en mettant en évidence la communication par étiquette RFID, les paramètres fondamentaux des antennes et le fonctionnement du système RFID UHF passif. Ces éléments ont permis d'approfondir la compréhension des spécificités du système RFID UHF et de son intégration dans les applications de champ proche.

Le troisième chapitre a abordé la conception d'une antenne lecteur RFID en champ proche, en présentant les résultats de conception et de simulation d'une antenne patch rectangulaire et d'une antenne circulaire. Ces résultats ont démontré l'efficacité et la performance de ces antennes dans les applications de lecteur RFID en champ proche, offrant ainsi des solutions concrètes pour la conception d'antennes optimisées.

En conclusion, ce mémoire a contribué à l'avancement de la technologie RFID en fournissant des connaissances approfondies sur son fonctionnement, ses applications spécifiques et la conception d'antennes patch adaptées aux lecteurs RFID en champ proche. Les résultats obtenus ouvrent de nouvelles perspectives pour l'amélioration des performances des systèmes RFID, permettant une meilleure gestion des stocks, une traçabilité des produits plus efficace et des avancées logistiques.

# Bibliographie

# Bibliographie

- [1] Aristote Iziri « Etude portant sur la technologie RFID », Mémoire Online Université de Kinshasa - Graduat 2018.
- [2] Roberti M. The History of RFID Technology. RFID Journal. <https://www.rfidjournal.com/articles/view?1338>. Published 2005.
- [3] <https://www.paragon-id.com/en/inspiration/history-radio-frequency-identification-technology>. Paragon ID. <https://www.paragon-id.com/en/inspiration/history-radio-frequency-identification-technology>.
- [4] History of RFID. Global Venture. <https://www.globalventurelabels.com/history-of-rfid/>.
- [5] Wehr J. A History of the EPC. SecureIDNews. <https://www.secureidnews.com/news-item/a-history-of-the-epc/>. Published 2005.
- [6] Crepaldi P, Pimenta T. Introductory Chapter: RFID: A Successful History. In: Radio Frequency Identification. IntechOpen; 2017:1-5. doi :10.5772/intechopen.69602
- [7] Mondher Dhaouadi, « Conception et optimisation des antennes RFID UHF en vue d'améliorer la fiabilité des systèmes RFID », thèse de doctorat, Ecole Supérieure des Communications de Tunis, 2014.
- [8] J. Hanson, "An introduction to RFID development. DevX.Com Online Report," 2006
- [9] Anthony ghiotto conception d'antennes de tags rfid uhf, application a la realisation par jet de matiere le 26 Novembre 2008.
- [10] Tania Martin Le b.a.-ba de la RFID origines, Technologie et Applications Publication périodique de Smals Janvier 2014.
- [11] C. Toumazou, F.J Lidgey, D.G. Haigh. Analog IC design : the current mode approach
- [12] Nemaï Chandra Karmakar. Handbook of Smart Antennas for RFID Systems. John WileySons, 2010
- [13] K. Finkensteller, "RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification," 2003.

- [14] GOURARI FATIMA ZOHRA « Etude et Conception d'antennes RFID UHF- modèle électrique et miniaturisation » THESE DOCTORAT. Université Aboubakr Belkaïd — Tlemcen Faculté de TECHNOLOGIE 2018
- [15] EPCglobal Inc. EPC radio frequency identification protocols class 1 99 generation 2 UHF RFID protocol for communications at 860 MHz- 960 MHz. Standard Specification version 1.2.0, October , 2008.
- [16] Pattabhiraman Krishna and D Husalc, RFID infrastructure.IEEE Communications Magazine, 45(9), 2007
- [17] Daniel Dobkin, “RF in RFID: Passive RFID UHF in Practice”, Newnes, 2008.
- [18] A Ruhanen, M Hanhikorpi, F Bertuccelli, A Colonna, W Malik, D Ranasinghe, S L
- [19] Stevan Preradovic, “ Chipless RFID System for Barcode Replacement”
- [20] D. PARET, RFID en ultra et Super hautes fréquences : UHF-SHF.
- [21] Judith M. Myerson, « RFID in the Supply Chain: A Guide to Selection and Implementation ».
- [22] Intemafional Standards Organzation, "ISO/IEC FDIS 18000-7:2004(e)," Standard Specification, 2004.
- [23] "EPC Radio-Frequency Identity Protocols: Class-I Generation-2 UHF RFID Protocol for Communications at 860 MHz - 960 MHz," Version 1.0.9 ed, EPCglobal, Inc, January2005.
- [24] Amencan National Standards I nstitute, "ANSI NCI TS 236:2001," Standard Specification, 2002.
- [25] International Standards Organization, "I SO/IEC FDI S 18185- 1:2006,' Standard Specification, 2006
- [26] J. Landt, "The history of RFD," IEEE Potentials, vol. 24, pp. 8-11, Oct.-Nov 2005.
- [27] Packaging Digest, “HF versus UHF technologies, Part Two”, available at <http://www.packagingdigest.com/articles/200503/36.php>
- [28] P. Adamcova and Z. Tobes, "UHF RFID Technology and its Applications", 17th International ConferenceRadioelektronika, Apr. 2007, pp. 1–5.
- [29] H. Lehpamer. «RFID Design Principles». Norwood, MA ARTECH HOUSE, INC 2008
- [29] J-P HAUET. «L'IDENTIFICATION PAR RADIOFREQUENCE (RFID) TECHNIQUES ET PERSPECTIVES», <https://www.researchgate.net>

- [30]. A Wani, G. Mushtaq, « A Survey on NFC (Near Field Communication) and FFC (Far Field Communication) With Respect To RFID (Radio Frequency Identification) for Next Generation Network Infrastructure », International Journal of Engineering and Advanced Technology (EAT), April 2016
- [31] Constantine A. Balanis, “Antenna theory: Analysis and Design”, 2nd edition, John Wiley & Sons, 1996
- [32] Rao K V S, Nikitin P V, and Lam S F, “Antenna design for UHF RFID tags: A review and a practical application,” IEEE Trans. Antennas Propag., 53(12), p 3870–3876, 2005.
- [33] M AMMARI, Z. MADJI, « Conception d'un TAG UHF-RFID à Haut Gain », Mémoire Master, Université Abderrahmane MIRA- Bejaia, 2017.
- [33] Dipole|RFID, Antennes RFID, <https://www.dipolerfid.fr/Antennes-RFID>, visité le 06/05/2022
- [34] M Ziada, Abdenour, « Conception et Réalisation des Antennes RFID » Mémoire Master, Université Université 8Mai 1945 – Guelma
- [35] Klaus Finkenzeller, “RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification”, 2nd edition, John Wiley & Sons, 2003
- [36] R.E. MUNSON «ConformalMicrostripantennas and MicrostripPhasedArrays" IEEE Transaction on Antennas and Propagation, vol. AP 22, p. 74-78 (1974).
- [37] Trong Dus Nguyen , « conception d'antenne intelligente reconfigurable pour la radio cognitive », thèse de doctorat, Université de Grenoble, 2006.
- [38] S. DRABOWITCH, A. PAPIERNIK, I.D GRIFFITHS. J. ENCINAS and B.L. SMITH, «Models Antennas» 2nd edition, Springer PO. Box 17, 3300 AA Dordrecht, The Netherlands
- [39] Biblio mosta-université « Conception et réalisation d'une antenne lecteur pour les systèmes RFID UHF champ proche »
- [40]A.C.DeSouza « Conception d'antennes et méthode de caractérisation des systèmes RFID UHF en champ proche et en champ lointain », Université Grenoble Alpes, 2015

- [41] M.DHAOUADI « Conception et optimisation des antennes RFID UHF en vue d'améliorer la fiabilité des systèmes RFID », thèse de doctorat Université de Savoie), Grenoble, France, 2014
- [42]. M.DAIKI, « Contribution au développement d'antennes lecteur champ proche pour les systèmes RFID UHF passifs », thèse de doctorat, École Doctorale EEATS, 2015
- [43] Walid DEGHEFEL et Rami MERZOUGUI, « Etude et conception d'une antenne patch ultra large bande ULB à bande rejetée », Mémoire de master en électronique, 2017
- [44] Soumia BOUSAHA, « Contribution à l'étude et à la modélisation des antennes imprimées rectangulaires Applications aux systèmes de communication»,Mémoire de master en télécommunications, 2012
- [45] Ghouti BENAZZOUZ, Ikram BENSENANE, « Conception et réalisation d'une antenne miniature pour l'application LTE », Mémoire de master en télécommunications, Université de Tlemcen, Juillet 2019

# Sigles et abréviations

## **A**

ANSI                      American National Standards Institute

Auto-ID                  Automatic Identification

---

## **D**

DNS                      Domain Name System

---

## **E**

EIRP                     Effective Isotropic Radiated Power

EPC                      Electronic Product Code

---

## **F**

FDTD                    Finite-Difference Time-Domain Method

FEM                      Finite Element Method

---

## **H**

HF                        Haut Frequency

---



## **I**

IC	Circuit Integre
ICL	Inductively Coupled-Loop
IDTechEx	Market <b>R</b> esearch, <b>S</b> couting and <b>E</b> vents on Emerging Technologies
IFF	Identification friend or foe
ISM	Industrial, <b>S</b> cientific and <b>M</b> edical Radio
ISO	International <b>O</b> rganization for <b>S</b> tandardization

---

## **L**

LF	Low <b>F</b> requency
----	-----------------------

---

## **M**

MIT	Massachusetts <b>I</b> nstitute of <b>T</b> echnology
MoM	<b>M</b> ethod <b>O</b> f <b>M</b> oments

---

## **N**

NFC	Near- <b>F</b> ield <b>C</b> ommunication
-----	---

---

## **P**

PTC	<b>P</b> ower <b>T</b> ransmission <b>C</b> oefficient
-----	--

---

## **R**

RCS            **R**adar **C**ross **S**ection  
RF             **R**adio **F**requency  
RFID          **R**adio **f**requency **i**dentification

---

## **S**

SAW **S**urface **A**coustic **W**ave  
SSI **S**hunt-**S**eries **I**nductance

---

## **T**

TCAC        **T**raffic **C**ollision **A**voidance **C**ourse  
TI-RFID     **T**exas **I**nstruments **R**adio **F**requency **I**dentification **S**ystems

---

## **U**

UHF            **U**ltra **H**aut **F**requency  
UPC            **U**niversal **P**roduct **C**ode

---

## **V**

VSWR        **V**oltage **S**tanding **W**ave **R**atio

---

## **W**

WW II        **W**orld **W**ar **T**wo