

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique  
Université 8Mai 1945 – Guelma  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département d'Electronique et Télécommunications



**Mémoire de Fin d'Etude  
Pour l'Obtention du Diplôme de Master Académique**

Domaine : **Sciences et Techniques**  
Filière : **Télécommunications**  
Spécialité : **Réseau et Télécommunications**

---

---

**Conception et Réalisation des Antennes RFID**

---

---

Présenté par :  
**Ziada Abdennour**

Sous la direction de :  
**Mr. MAHRI Omar**

**Année Universitaire : 2021-2022**

# *Remerciement*

✚ Je remercie tout d'abord Dieu le tout puissant qui j'ai accordé la volonté et le courage pour  
l'accomplissement de ce travail.

✚ J'exprime mes remerciements avec grand plaisir et grand respect à mon cher encadreur: **Mr.**

**Mehri Omar** professeur de l'université 8 MAI 1945 Guelma à celui qui m'a fourni le sujet de cette  
thèse, pour sa disponibilité, sa gentillesse, son soutien et ses encouragements, je ne le remercierai  
jamais assez. Grâce à lui j'ai pu réaliser ce travail.

✚ Je remercie également tous mes professeurs pendant mes cursus universitaire au sein de  
l'université de Guelma pour leur soutien et leur accueil chaleureux et sympathique.

✚ Je remercie également les membres du jury d'avoir accepté d'étudier ce travail.

✚ Et pour toutes les raisons imaginables, je ne remercierai jamais assez les parents pour leur  
dévouement.

✚ Encore un dernier remerciement à toute personne qui a contribué de près ou de loin dans la  
réussite de ce modeste travail.

# *Dédicace*

*Je dédie ce travail :*

*A mes très chers parents qui ont toujours été là pour moi, et qui m'ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. J'espère qu'ils trouveront dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon amour.*

*Mes adorables amies : AYMEN MEROUR, AMINE MADI, MALIK KIRATI, KHAOULA, MANEL, FERIEL, ROMAYSSA Qui sont toujours à mes côtés et n'ont jamais cessé de me soutenir.*

*A mes chers frères : HAFSSI AMMAR, HAZDA, KAMAL, DJABER, HAROUN, AMMAR, YACINE, MAHIOU, MEROUAN, OUSSAMA, PAYZA, DOUDI, MINOU, RAID, SEIF, KARIM, TAHAR, AKREM...*

*A ma adorable famille que dieu la protéger*

*A tous les enseignants pendant les années passées d'études*

*Hommage respectueux*

*En fin à toute ma promotion de Télécommunications Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce Projet soit possible, Je vous dis merci.*

**ZIADA ABDENNOUR**

## RESUME

L'identification par Radio Fréquence (RFID) est une technologie émergente qui promet d'être omniprésente dans un futur proche, elle permet l'identification d'objets en échangeant des données à travers des signaux Radiofréquence tels que la traçabilité, suivi médical de l'état d'une patient, le pilotage de la production, Etc...

Ce projet de fin d'étude vise à concevoir des antennes imprimées pour des applications RFID opérant dans la bande UHF et SHF sur le logiciel CST spécialement les antennes dipôles à base des motifs fractales. Pour cela deux conceptions d'antennes ont été présentées.

Pour les deux antennes fractales nous avons optimisé leur géométrie et leur dimensions avec le logiciel CST afin de déterminer leur paramètres qui influencent le plus leur performances.

Les performances pour les deux antennes ont été également évaluées à travers la représentation du coefficient de réflexion, du diagramme de rayonnement en 2D et 3D et du gain. La validation des résultats pour la deuxième antenne à donner beaucoup de précision entre les résultats mesurées et simulées en termes de coefficient de réflexion.

**Mots clés :** Tag, lecteur, système RFID, antennes RFID, UHF passives, Puces RFID UHF.

## ABSTRACT

Radio Frequency Identification (RFID) is an emerging technology that promises to be ubiquitous in the near future, it allows the identification of objects by exchanging data through Radio Frequency signals such as traceability, medical monitoring of the state of a patient, production management, etc...

This end-of-study project aims to design printed antennas for RFID applications operating in the UHF and SHF band on the CST software, especially bipolar antennas based on fractal patterns. For this, two antenna designs have been presented.

For the two fractal antennas we have optimized their geometry and their dimensions with the CST software in order to determine their parameters which most influence their performance.

The performances for the two antennas were also evaluated through the representation of the reflection coefficient, the radiation pattern in 2D and 3D and the gain. The validation of the results for the second antenna to give a lot of precision between the measured and simulated results in terms of reflection coefficient.

**Keywords:** Tag, reader, RFID system, RFID antennas, passive UHF RFID, UHF RFID chips.

## ملخص

تحديد الترددات الراديوية (RFID) هي تقنية ناشئة تعد بأن تكون موجودة في كل مكان في المستقبل القريب ، فهي تسمح بتحديد الأشياء من خلال تبادل البيانات من خلال إشارات التردد اللاسلكي مثل التتبع والمراقبة الطبية لحالة المريض وإدارة الإنتاج ، إلخ ...

يهدف مشروع نهاية الدراسة هذا إلى تصميم هوائيات مطبوعة لتطبيقات RFID التي تعمل في نطاق UHF و SHF على برنامج CST، وخاصة الهوائيات ثنائية القطب بناءً على أنماط كسورية Fractal. لهذا ، تم تقديم تصميمين للهوائي.

بالنسبة للهوائيين الكسوريين ، قمنا بتحسين هندستهما وأبعادهما باستخدام برنامج CST من أجل تحديد معلمتهما التي تؤثر بشكل كبير على أدائها.

تم أيضاً تقييم أداء الهوائيين من خلال تمثيل معامل الانعكاس ومخطط الإشعاع ثنائي الأبعاد وثلاثي الأبعاد والكسب. التحقق من صحة النتائج للهوائي الثاني لإعطاء قدر كبير من الدقة بين النتائج المقاسة والمحاكاة من حيث معامل الانعكاس.

**كلمات مفتاحية :** بطاقة ، قارئ ، نظام RFID ، هوائيات RFID ، سببي UHF RFID ، رقائق UHF RFID.

# TABLE DES MATIÈRES

TITRES	PAGES
REMERCIEMENT	i
DEDICACE	ii
RESUME	iii
TABLES DES MATIERES	vi
LISTES DES FIGURES	ix
LISTE DES TABLEAUX	xi
LISTE DES ABREVIATIONS	xii
INTRODUCTION GENERALE	1
<b>CHAPITRE I : ETAT DE L'ART DE LA TECHNOLOGIE RFID</b>	
I.1 INTRODUCTION	4
I.2 BREF HISTORIQUE DE LA RFID	4
I.3 LES DIFFERENTS COMPOSANTS D'UN SYSTEME RFID	5
I.3.1 LECTEURS RFID	5
I.3.2 LE TAG RFID (ETIQUETTE)	6
I.4 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN SYSTEME RFID	7
I.5 DIFFERENTS TYPES DES ETIQUETTES	7
I.5.1 ETIQUETTES AVEC PUCE	7
I.5.2 ETIQUETTES SANS PUCE	9
I.6 FREQUENCES DE FONCTIONNEMENTS DU SYSTEME RFID	10
I.7 NORMES DES SYSTEMES RFID	11
I.8 ETAT DE L'ART DES SYSTEMES RFID UHF PASSIFS	12
I.8.1 PROTOCOLE DE COMMUNICATION	13
I.8.2 PROTOCOLE DE TRANSFERT D'ENERGIE	13
I.8.2.1 TRANSFERT D'ENERGIE CONTINU	14
I.8.2.2 TRANSFERT D'ENERGIE SEQUENTIEL	14
I.8.3 ARCHITECTURE D'UN LECTEUR RFID UHF	15
I.8.3.1 L'EMETTEUR	16
I.8.3.2 LE RECEPTEUR	16
I.8.3.3 LE CIRCULATEUR	17
I.8.3.4 EMISSION ET RECEPTION	17
I.8.4 ARCHITECTURE DU TAG RFID UHF PASSIF	18
I.8.4.1 L'ANTENNE	19
I.8.4.2 LE BLOC DE REDRESSEMENT	19
I.8.4.3 LE BLOC DE DEMODULATION	19
I.8.4.4 CIRCUIT LOGIQUE (MEMOIRE)	20
I.8.4.5 LE BLOC DE MODULATION	20
I.9 APPLICATION DE LA TECHNOLOGIE RFID	21
I.10 AVANTAGES ET INCONVENIENTS D'UN SYSTEME RFID	22
I.10.1 AVANTAGES	22
I.10.2 INCONVENIENT	23
I.11 CONCLUSION	24
<b>CHAPITRE II: ETAT DE L'ART DES ANTENNES RFID</b>	
II.1 INTRODUCTION	26
II.2 LES PARAMETRES FONDAMENTAUX DES ANTENNES	26
II.2.1 LES PARAMETRES CIRCUITS	26
II.2.1.1 L'IMPEDANCE	27

II.2.1.2 LE COEFFICIENT DE REFLEXION	27
II.2.1.3 LE RAPPORT D'ONDE STATIONNAIRE	28
II.2.1.4 LE COEFFICIENT DE TRANSMISSION	28
II.2.1.5 LA BANDE PASSANTE	29
II.2.1.6 LE COEFFICIENT DE QUALITE	29
II.2.2 LES PARAMETRES DE RAYONNEMENT	29
II.2.2.1 LE DIAGRAMME DE RAYONNEMENT	29
II.2.2.2 LA DIRECTIVITE	31
II.2.2.3 LE GAIN	31
II.2.2.4 LES REGIONS DU CHAMP ELECTROMAGNETIQUE	31
II.2.2.5 L'EFFICACITE DE RAYONNEMENT	32
II.2.2.6 LA POLARISATION	33
II.3 LES ANTENNES FILAIRES ET IMPRIMEES	35
II.3.1. LES ANTENNES FILAIRES	35
II.3.1.1. LES ANTENNES LONGILIGNES	35
II.3.1.2. LES ANTENNES A BOUCLE	35
II.3.1.3. LES ANTENNES A HELICE	36
II.3.2. LES ANTENNES IMPRIMEES	37
II.3.2.1 LE SUBSTRAT	37
II.3.2.2 LES ELEMENTS RAYONNANTS	38
II.4 LA PUCE DANS LES SYSTEMES RFID	39
II.4.1. LES PUCES RFID UHF	39
II.4.2. DIFFERENTES TYPES DE PACKAGINGS	39
II.4.2.1 PACKAGING DIE	39
II.4.2.2 PACKAGING EN BOITIER STANDARD	40
II.4.2.3 PACKAGING STRAP	40
II.4.2.4 BOUCLE MAGNETIQUE	41
II.5 TECHNIQUE D'ADAPTATION D'IMPEDANCE POUR LES TAGS RFID UHF PASSIF	41
II.5.1 T-MATCH STRUCTURE	41
II.5.2 ADAPTATION AVEC UNE BOUCLE A COUPLAGE INDUCTIF	42
II.5.3 ADAPTATION PAR FENTE (ENCOCHE)	43
II.6 ETAT DE L'ART SUR LES ANTENNES RFID	44
II.7 CONCLUSION	45
<b>CHAPITRE III: CONCEPTION ET SIMULATION D'ANTENNES POUR SYSTEME RFID</b>	
III.1 INTRODUCTION	47
III.2 LA METHODOLOGIE DE CONCEPTION D'ANTENNES DE TAGS RFID PASSIFS	47
III.3 ANTENNE DIPOLE FRACTALE RFID ADAPTEE A 50 $\Omega$	48
III.3.1 FRACTALE DE HILBERT	48
III.3.1.1 ITERATIONS DEUX	48
III.3.1.2 ANTENNE BI-BANDE (2.45 & 5.8GHZ)	49
III.3.1.3 ITERATIONS TROIS	52
III.3.1.4 ANTENNE MONOBANDE (2.45GHZ)	52
III.4 REALISATION	55
III.4 .1 DESCRIPTION DU MATERIEL	55
III.4 .2 LE MODELE REALISÉ	56
III.4 .3 MESURES EXPERIMENTALES	57
III.5 CONCLUSION	58



CONCLUSION GENERALE	61
REFERENCES	63

## LISTE DES FIGURES

Titres	Pages
<b>Chapitre I: Etat de L'art de la technologie RFID</b>	
<b>Figure I.1</b> : Exemple d'un Lecteur RFID fixe	6
<b>Figure I.2</b> : Exemple d'un Lecteur RFID mobile	6
<b>Figure I.3</b> : Tag RFID	7
<b>Figure I.4</b> : Fonctionnement d'un système RFID	7
<b>Figure I.5</b> : Exemple d'une étiquette RFID UHF passive	8
<b>Figure I.6</b> : RFID UHF avec Etiquette semi-passive	8
<b>Figure I.7</b> : Etiquette RFID active	9
<b>Figure I.8</b> : Exemple tag sans puce	9
<b>Figure I.9</b> : Représentation schématique d'une communication RFID	13
<b>Figure I.10</b> : Principales procédures de communication RFID	14
<b>Figure I.11</b> : Schéma bloc d'un lecteur	16
<b>Figure I.12</b> : Exemple de chaîne d'émission classique	16
<b>Figure I.13</b> : Exemple de chaîne de réception classique	17
<b>Figure I.14</b> : Le circulateur	17
<b>Figure I.15</b> : Emission/réception d'un lecteur RFID UHF, (a) Architecture bi statique, (b) Architecture mono statique	18
<b>Figure I.16</b> : Schéma bloc d'un tag RFID UHF	18
<b>Figure I.17</b> : Circuit redresseur	19
<b>Figure I.18</b> : Détecteur d'enveloppe	20
<b>Figure I.19</b> : Réflexion de l'onde incidente grâce à la technique de modulation de charge	21
<b>Chapitre II: Etat de L'art des antennes RFID</b>	
<b>Figure II.1</b> : Diagramme de rayonnement d'une antenne classique en coordonnées polaires	30
<b>Figure II.2</b> Exemples de diagramme de rayonnement d'antenne	31
<b>Figure II.3</b> : Illustration des régions du champ électromagnétique d'une antenne	32
<b>Figure II.4</b> : Représentation de la rotation dans le temps du vecteur champ électromagnétique d'une onde plane dans le plan xy ( $E_z = 0$ )	34
<b>Figure II.5</b> : Schéma d'une antenne filaire	35
<b>Figure II.6</b> : Schéma d'une antenne à boucle	36
<b>Figure II.7</b> : Schéma d'une antenne à hélice	36
<b>Figure II.8</b> : Géométrie d'une antenne patch de forme arbitraire	38
<b>Figure II.9</b> Différentes formes élémentaires de patch	38
<b>Figure II.10</b> : Puce RFID en packaging Die	40
<b>Figure II.11</b> : Puce RFID en packaging standard de type SOT23	40
<b>Figure II.12</b> : Puce RFID en packaging Strap	40
<b>Figure II.13</b> : Puce RFID en packaging en boucle magnétique	41
<b>Figure II.14</b> : La configuration T-Match et le circuit équivalent	42
<b>Figure II.15</b> : La Configuration à boucle à couplage inductif et son circuit équivalent	42
<b>Figure II.16</b> : La Configuration par fente et son circuit équivalent	44
<b>Chapitre III: Conception et Simulation d'antennes pour système RFID</b>	
<b>Figure III.1</b> : Méthodologie de conception d'antennes de tags RFID passifs	48
<b>Figure III.2</b> : Géométrie de Hilbert à l'itération deux, a) structure de première itération, b) structure de deuxième itération	49

<b>Figure III.3</b> : Structure de l'antenne dipôle fractale à l'itération 2	49
<b>Figure III.4</b> : Coefficient de réflexion de l'antenne dipôle fractale bi-bande (2.45 & 5.8 GHz)	50
<b>Figure III.5</b> : Diagramme de rayonnement 2D&3D dans les deux fréquences 2.45 GHz et 5.8 GHz de l'antenne dipôle fractale bi-bande	51
<b>Figure III.6</b> : Structure de troisième itération de Hilbert	52
<b>Figure III.7</b> : Structure de l'antenne dipôle fractale à l'itération 3	53
<b>Figure III.8</b> : Coefficient de réflexion de l'antenne dipôle fractale mono-bande (2.45 GHz)	53
<b>Figure III.9</b> : Diagrammes de rayonnement de l'antenne dipôle fractale mono-bande à la fréquence 2.45 GHz	54
<b>Figure III.10</b> : Impédance d'entrée de l'antenne dipôle fractale mono-bande (2.45GHz)	55
<b>Figure III.11</b> : La machine ProtoMat E44	56
<b>Figure III.12</b> : (a) antenne dipôle fractale mono-bande simulée, (b) antenne dipôle fractale mono-bande réalisée	57
<b>Figure III.13</b> : Coefficient de réflexion simulé et mesuré de l'antenne dipôle fractale mono-bande (2.45 GHz)	58

## LISTE DES TABLEAUX

Titres	Pages
<b>Chapitre I: Etat de L'art de la technologie RFID</b>	
<b>Tableau I.1:</b> Bref historique de la RFID	5
<b>Tableau I.2:</b> Fréquences RFID	10
<b>Tableau I.3:</b> Comparatif de tous les domaines fréquentiels de la RFID	11
<b>Tableau I.4 :</b> Normes ISO/IEC régissant le fonctionnement de la RFID	12
<b>Chapitre II: Etat de L'art des antennes RFID</b>	
<b>Tableau II.1 :</b> Exemple de puces RFID-UHF disponible dans le marché	39
<b>Chapitre III: Conception et Simulation d'antennes pour système RFID</b>	
<b>Tableau III.1 :</b> Dimensions optimisées de l'antenne dipôle fractale Bi-Bande	50
<b>Tableau III.2 :</b> Dimensions optimisées de l'antenne dipôle fractale Mono-Bande	53

## LISTE DES ABREVIATIONS

**RFID:** Radio-Frequency Identification.

**LF:** Low Frequency.

**HF:** Haut Frequency.

**UHF:** Ultra haute fréquence (Ultra High Frequency).

**SHF:** Super High Frequency

**ISO:** International Organization for Standardization.

**EPC:** Electronic Product Code GLOBAL.

**RTF:** Reader Talk First.

**TTF:** Tag Talk First.

**TOTAL:** Tag Only Talk After Listening

**ASK:** Amplitude Shift Key.

**PSK:** Phase Shift Keying.

**CST:** Computer Simulation Technology.

**CST MWS:** Computer Simulation Technology Micro Wave Studio.

**dB:** decibels.

**dBi:** decibel isotopic.

**INTRODUCTION**  
**GENERALE**

# Introduction Générale

---

L'identification par radiofréquence (RFID) est une technologie relativement nouvelle, qui a été développée durant la Seconde Guerre mondiale de manière intensive pour les applications de suivi et d'accès comme l'identification des objets dans l'entreposage, le contrôle d'accès, la gestion de la chaîne d'approvisionnement et d'autres processus d'automatisation. La technologie RFID utilise des puces ou tags RFID sans fil peu coûteuses qui stockent des données relatives à l'article, elles sont actuellement identifiées et suivies dans le monde entier. Un lecteur à proximité peut avoir accès à ces données stockées. Contrairement à la bande magnétique correspondante et la technologie des codes à barres, la RFID ne nécessite pas de contact direct ni de ligne de contact visuel. Les antennes du tag et celles du lecteur sont responsables de l'établissement de la communication entre le lecteur et l'étiquette. Raison pour laquelle, leur conception requière de l'attention et de la précision afin d'obtenir une communication cohérente.

L'objectif de notre projet de fin d'étude est de faire une contribution à l'étude et à la conception des antennes pour Tag RFID spécialement deux antennes dipôles à base des motifs fractales l'un d'eux bi-bande et l'autre mono-bande, qui vaut la peine d'aller jusqu'à la réalisation, ainsi que la validation des résultats à donner beaucoup de précision entre les résultats mesurés et simulés en terme de coefficient de réflexion.

Le présent mémoire est structuré en trois chapitres :

Dans le premier chapitre, nous présentons un état de l'art de la technologie RFID où nous rappellerons tout d'abord l'historique de la technologie RFID et les différents composants de système RFID, nous décrivons ensuite les principes de fonctionnement de ces systèmes, ainsi que les différents types des étiquettes (étiquettes avec puce et sans puce). Nous présenterons ensuite les fréquences et les normes des systèmes RFID et aussi nous établissons un état de l'art sur les systèmes RFID UHF passif, nous donnerons ensuite les différents domaines d'application. Nous attirerons l'attention sur les avantages et les inconvénients.

Le deuxième chapitre sera consacré aux paramètres fondamentaux des antennes RFID tels que les paramètres circuit (impédance, Rapport d'Onde Stationnaire, bande passante, ...) et les paramètres de rayonnement (gain, directivité, diagramme de rayonnement, ...). Nous discuterons sur les antennes filaires et imprimées. Puis nous parlerons sur la puce dans les systèmes RFID, ainsi que leurs types de packagings, et nous allons citer les techniques

## Introduction Générale

---

d'adaptation d'impédance pour les tags RFID UHF passif. Avant d'entamer le dernier chapitre, nous parlerons sur un état de l'art sur les antennes RFID.

Le troisième chapitre est consacré à la conception, la simulation et à la réalisation d'antennes dipôles imprimées fractales associées à des tags RFID. Nous allons d'abord définir le logiciel utilisé CST, et la méthodologie de travail. Nous entamerons ensuite la simulation de l'antenne dipôle fractale RFID adaptée à  $50 \Omega$ , en commençant par la conception de l'antenne bi-bande dipôle à base de Hilbert à la deuxième itération. Ensuite nous allons faire la conception de l'antenne mono-bande dipôle à base de Hilbert à la troisième itération. Tous les résultats de simulation sont suivis par des commentaires. Puis nous allons passer à la réalisation pour l'un des deux antennes pour valider nos résultats. Le travail est achevé par une conclusion générale.



**CHAPITRE I :**  
**ETAT DE L'ART DE LA**  
**TECHNOLOGIE RFID**

## **I.1 INTRODUCTION**

L'identification par radiofréquence, mieux connu comme la RFID, est une technologie intelligente qui est très performante, flexible et convient bien pour des opérations automatiques. A la différence d'autres technologies d'identification comme les codes à barres, la RFID est une méthode d'identification automatique qui utilise les ondes radio pour lire les données contenues dans des dispositifs appelés étiquettes ou Tags RFID. La technologie RFID est utilisée principalement pour surveiller, identifier et suivre des objets, des animaux et des personnes à distance en utilisant les ondes radio.

Ce premier chapitre est organisé comme suit. Nous introduirons quelques notions sur la technologie RFID, ainsi que son historique et son évolution au fil du temps. Les différents constituants d'un système RFID seront décrites à savoir le lecteur, les tags et système de traitement de données, nous donnons aussi les principes de fonctionnement, et quelques applications. Ensuite, les différents types de tags ainsi que les fréquences de fonctionnement de la technologie RFID seront détaillées, et nous allons parler sur l'état de l'art des systèmes RFID UHF passif, ainsi que quelques applications de la technologie RFID. Nous terminerons par les différents avantages et inconvénients de la technologie RFID.

## **I.2 BREF HISTORIQUE DE LA RFID**

La technologie de la communication passive souvent utilisée dans la RFID a été présentée pour la première fois dans l'ouvrage de Henry Stockman « La communication par les moyens du pouvoir réfléchi » en 1948 [1]. Identifier un ami ou un ennemi (IFF) est l'une des premières applications du système d'identification par radiofréquence qui a été développé par la Royal Air Force britannique pendant la Seconde Guerre mondiale. Le tableau I.1. Dresse un historique rapide de l'évolution de la RFID.

1920	La genèse de la technologie RFID selon une approche d'échafaudage basée sur le principe de fonctionnement a été largement contestée selon diverses sources.
1948	Les études d'Harry Stockman ont donné lieu aux premiers articles scientifiques sur la RFID.
1960	Les premiers exemples d'identification par radio fréquences (RFID) ont été développés et brevetés où le premier tag fait son apparition.
1972	Les Tags basés sur un circuit résonateur LC ont conduit à la première grande implémentation commerciale de la RFID par Schlage Lock Company (USA) dans les années [2].
1980	Avant les années 80 les systèmes RFID restent donc une technologie confidentielle, à usage militaire pour le contrôle d'accès aux sites sensibles, notamment dans le nucléaire. Et dans les années 80, les développements technologiques ont permis l'apparition du tag passif qui s'affranchit de source d'énergie embarquée sur l'étiquette, réduisant de ce fait son coût et sa maintenance.
1990	Le début de la normalisation pour une interopérabilité des équipements RFID [2]. IBM, Philips, TI, Tagsys, Motorola produisent des tags RFID pour les bandes 915 MHz et 2.4 GHz. La diode Schottky CMOS permet la fabrication de la puce RFID.
2000	Un « boom » des applications grâce la miniaturisation de la technologie quelques années. La taille des étiquettes RFID dépend uniquement des dimensions des antennes des tags. Les fabricants des produits RFID (lecteurs, tags et puces) deviennent nombreux partout dans le monde.
2004	La mise en place du standard EPC pour la RFID UHF sous la norme ISO 18000-6C [2, 3,4].
2007	Première conférence internationale, IEEE exclusivement sur la thématique RFID.
2010	La conférence IEEE RFID-TA fait son apparition de même que la RFID sans puce intègre le marché. Du point de vue de la régulation, la RFID gagne des nouvelles bandes de fréquence et profite de quelques milliwatts supplémentaires autorisés sur certaines fréquences.

**Tableau I.1:**Bref historique de la RFID [2].

### **I.3 LES DIFFERENTS COMPOSANTS D'UN SYSTEME RFID**

Un système RFID se compose toujours de deux composants: le tag et le lecteur.

#### **I.3.1 LECTEURS RFID**

Le lecteur RFID est un ensemble d'équipements fixes ou mobiles, constitué essentiellement d'une antenne et d'un module RF. Dès lors que le tag se retrouve dans la zone d'action du lecteur, une énergie est fournie au tag pour qu'il puisse fonctionner. Il envoie des commandes spécifiques et reçoit en retour des informations contenues dans la puce. Dans un autre cas de figure le lecteur peut lire et écrire, ainsi les informations reçues sont envoyées vers un autre dispositif qui va se charger du traitement des données (ordinateur). Les

fréquences utilisées sont variables et dépendent du type d'application. On distingue deux types de lecteurs :

**a) Lecteur fixe**

Il est monté de manière fixe, sous forme de bornes ou bien de portiques. Un exemple d'un Lecteur RFID fixe est illustré par la figure I.1.



**Figure I.1 :** Exemple d'un Lecteur RFID fixe.

**b) Lecteur mobile**

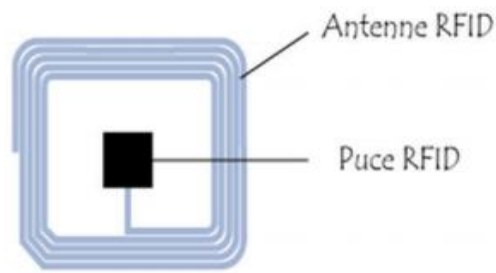
Prend l'apparence d'un flasher. Dans ce cas c'est le lecteur qui se déplace donc plus besoin de déplacer le tag. Un exemple d'un Lecteur RFID mobile est illustré par la figure I.2.



**Figure I.2 :** Exemple d'un Lecteur RFID mobile.

### **I.3.2 LE TAG RFID (ETIQUETTE)**

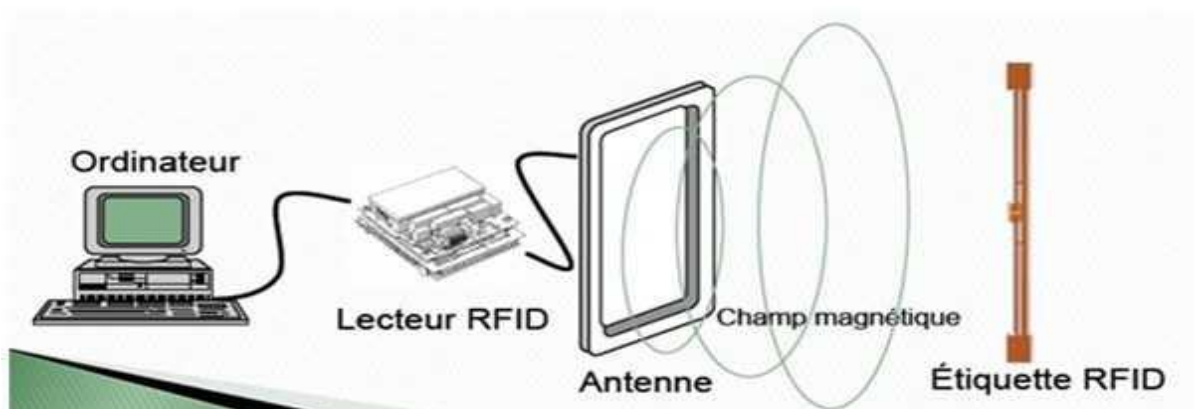
Aussi appelé transpondeur, associé à l'élément à identifier. Il est capable de répondre à une demande venant d'un lecteur. Il est muni d'une puce contenant les informations et d'une antenne pour permettre les échanges d'informations [5]. Un exemple d'un tag RFID est illustré par la figure I.3.



**Figure I.3 :** Tag RFID.

## **I.4 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN SYSTEME RFID**

L'étiquette contient toutes les données relatives à l'objet qui l'identifie de façon unique. Les données, stockées dans une puce électronique «chip», peuvent être lues grâce à une antenne qui reçoit et transmet des signaux radio vers et depuis le lecteur ou interrogateur. Le lecteur, fixe ou mobile, est le dispositif qui est en charge de la lecture des étiquettes RFID situées dans son champ de lecture et capable de convertir les ondes radio de l'étiquette en un signal numérique qui peut être transféré à un ordinateur [6]. La figure I.4. présente le fonctionnement général d'un système RFID.



**Figure I.4 :** Fonctionnement d'un système RFID.

## **I.5 DIFFERENTS TYPES DES ETIQUETTES**

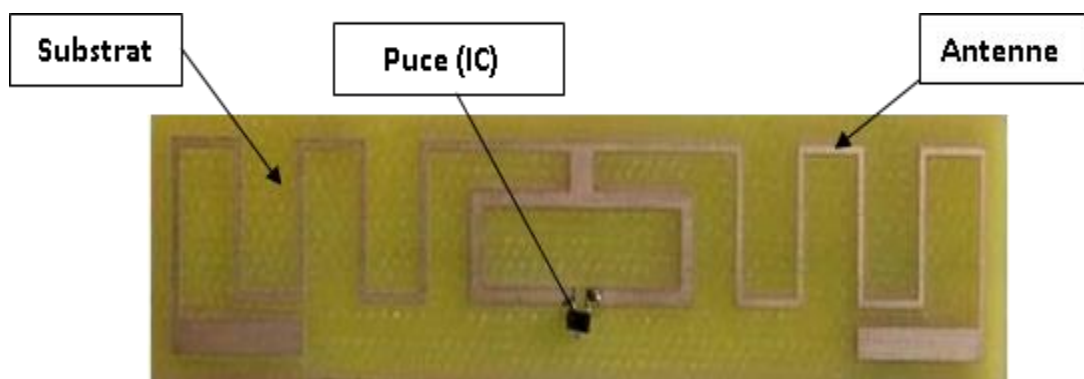
### **I.5.1 ETIQUETTES AVEC PUCE**

Les étiquettes RFID peuvent être classées en trois grandes catégories : les étiquettes passives, les étiquettes semi-passives (ou semi-actives) et les étiquettes actives [7].

**a) étiquette passive**

Cette étiquette n'a aucune source d'énergie intégrée, telle qu'une batterie. Elle transmet alors l'information au lecteur par rétrodiffuser (retourner) une partie de l'énergie propagée à courte distance qu'elle reçoit. Ces étiquettes à moindre coût sont généralement plus petites et possèdent une durée de vie quasi-illimitée. En contrepartie, elles nécessitent une quantité d'énergie non négligeable de la part du lecteur pour pouvoir fonctionner [8].

Nous présentons sur la figure I.5 les composants d'une Etiquette RFID passive (substrat FR4, antenne en cuivre, puce (chip)). La puce et l'antenne constituent l'étiquette RFID et sont fixés ensemble sur un support physique (substrat) [9].



**Figure I.5 :** Exemple d'une étiquette RFID UHF passive.

**b) étiquette semi-passive**

Une étiquette semi-passive peut être équipée de batterie pour maintenir la mémoire dans l'étiquette ou pour assurer des fonctions supplémentaires [7]. Ces étiquettes peuvent inclure des capteurs leur permettant de détecter les variations environnementales comme la température. De telles étiquettes ont un rayon considérablement plus long que les étiquettes passives. La batterie n'est pas utilisée pour émettre des signaux mais pour agir comme des étiquettes passives au niveau communication. Un exemple d'une étiquette semi passive est montré sur la figure I.6 [10].



**Figure I.6 :** RFID UHF avec Etiquette semi-passive.

**c) étiquette active**

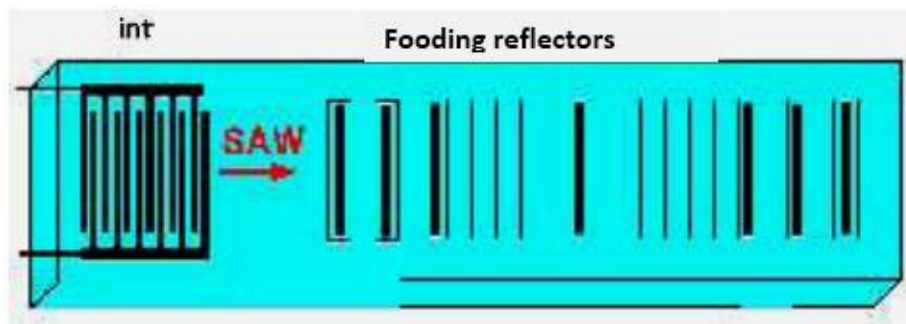
Les étiquettes actives transmettent un signal à un lecteur et peuvent être lues à partir de 100 pieds (35 mètres) ou plus [11]. La batterie de ce type d'étiquettes leur permet d'émettre un signal RF en réponse au lecteur, d'actionner les capteurs environnementaux intégrés et d'enregistrer des informations dans l'étiquette allant jusqu'à 10 kbits [8]. Les étiquettes actives sont plus puissantes que les étiquettes passives et semi-passives. Cependant, elles sont également plus chères que les étiquettes passives et semi-passives. Un exemple d'une étiquette RFID active est montré par la figure I.7.



**Figure I.7 :** Etiquette RFID active.

**I.5.2 ETIQUETTES SANS PUCE**

Ce sont des étiquettes qui ne contiennent pas des puces RFID ni aucun autre circuit électronique, elles exploitent des propriétés physiques et chimiques de certaines structures et matériaux pour encoder les données [12]. Ce type d'étiquette sans puce permet d'avoir des coûts de fabrication très bas, cela est dû au fait que le coût de puce et d'assemblage antenne/puce, représentent une proportion considérable sur le coût total d'un tag. Actuellement, il n'existe sur le marché que les étiquettes sans puce de type SAW (Surface Acoustics Wave) [12]. Un exemple d'un tag sans puce est montré par la figure I.8.



**Figure I.8 :** Exemple tag sans puce.

## I.6 FREQUENCES DE FONCTIONNEMENTS DU SYSTEME RFID

La RFID s'est vue attribuer quatre domaines fréquentiels LF, HF, UHF et SHF dépend du type d'application visée et les performances recherchées. Le Tableau I.2 résume les fréquences RFID [13].

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

**Tableau I.2:** Fréquences RFID.

Selon la fréquence de fonctionnement, la RFID fonctionne selon deux principes différents :

- ❖ Pour les bandes LF et HF, le transfert d'énergie se fait par couplage inductif. Les antennes de la station de base et du tag se comportent alors comme de simples bobines (en champ proche :  $L < \lambda/2\pi$ ), L est la distance de lecture et  $\lambda$  c'est la longueur d'onde. Pour communiquer son identifiant, le tag fait varier une charge influant sur l'inductance de la bobine et donc sur le couplage avec le lecteur [13].
- ❖ Le fonctionnement en UHF et SHF repose sur le principe de rétrodiffusion, le tag se trouve donc dans le champ lointain. Le même signal envoyé par la station de base est renvoyé par le tag après modulation d'amplitude par variation du coefficient de réflexion [13]. Ces gammes de fréquence permettent d'avoir des portées et débits plus importants.

La comparaison de tous les domaines fréquentiels de la RFID est représentée dans le tableau I.3.



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.

**Tableau I.3:** Comparatif de tous les domaines fréquentiels de la RFID [14].

## I.7 NORMES DES SYSTEMES RFID

L'interopérabilité des équipements RFID (lecteurs et tags) exige une normalisation quant à leur mode de fonctionnement. Pour une fréquence d'utilisation donnée, n'importe quel tag doit être lu par n'importe quel lecteur. C'est la définition du protocole de communication

de l'interface-air. L'ISO (International Organisation for Standardization) et l'IEC (International Electrotechnical Commission) [15] sont des organismes qui établissent des standards d'opérations pour différentes technologies. Ils travaillent ensemble notamment pour toutes standardisations concernant les technologies de l'information.

L'ISO/IEC a rédigé des normes relatives à l'identification et la gestion des objets ou équipements dans la série des protocoles d'interface ISO 18000 conçus pour des opérations de logistique. Ces normes couvrent toute la gamme des fréquences utilisées dans le monde en matière de RFID. Les différentes normes sont regroupées dans le Tableau I.4. Il est à noter que la norme ISO/IEC 18000-5, pour un fonctionnement à 5,8 GHz a été abandonnée faute de consensus.

<b>Normes</b>	<b>Objectif</b>
<b>ISO/IEC18000-1</b>	Architecture générale et paramètres à normaliser.
<b>ISO/IEC 18000-2</b>	Paramètres pour les communications par interface air jusqu'à 125 KHz.
<b>ISO/IEC 18000-3</b>	Paramètres pour les communications par interface air à 13,56 MHz.
<b>ISO/IEC 18000-4</b>	Paramètres pour les communications par interface air à 2,45 GHz.
<b>ISO/IEC 18000-6</b>	Paramètres pour les communications par interface air entre 0,86-0,96 GHz.
<b>ISO/IEC 18000-7</b>	Paramètres pour les communications par interface air à 0,433 GHz.

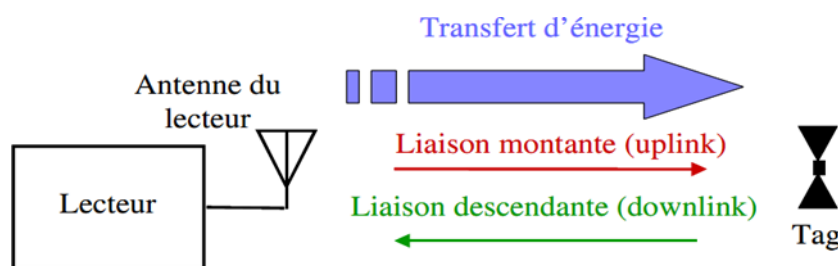
**Tableau I.4** : Normes ISO/IEC régissant le fonctionnement de la RFID [15].

## **I.8 ETAT DE L'ART DES SYSTEMES RFID UHF PASSIFS**

Nous avons vu les intérêts de la technologie RFID UHF passive comparativement aux autres technologies de radio-identification. Nous allons maintenant nous consacrer à la présentation des procédures de communication et des architectures relatives à cette technologie.

## I.8.1 PROTOCOLE DE COMMUNICATION

Lors d'une communication, un signal est émis sans modulation du lecteur vers le tag appelée liaison montante (up Link), et la réponse du tag vers le lecteur est appelée liaison descendante (down Link). Dès lors que le tag se trouve à proximité du lecteur la puce sera alimentée. Dans la liaison montante, la communication, proprement dite, peut débuter et ainsi le tag peut commencer à transmettre ou bien attendre une requête du lecteur et répondre par la suite [16]. La Figure I.9 illustre le principe d'une communication RFID.



**Figure I.9 :** Représentation schématique d'une communication RFID

On peut donc différencier deux types de protocoles qui sont : le TTF et RTF.

### *a)- PROTOCOLE TTF (TAG TALK FIRST)*

Dans ce type, dès que la puce est alimentée la communication est entamée par le tag, ainsi la liaison montante n'existe pas, seule la liaison descendante est présente, mais lorsqu'un nombre important de tags annoncent leur présence ceci peut créer un conflit. Pour remédier au problème, il existe une autre variante du protocole TTF qui est le TOTAL (Tag Only Talk After Listening) [16].

### *b)- PROTOCOLE RTF (READER TALK FIRST)*

Le lecteur engage la communication en envoyant des requêtes, quand le tag se trouve dans le champ d'action ce dernier transmet alors son identifiant, il est mis en place dans la majorité des systèmes RFID. Dans ce cas l'identification simultanée de tous les objets peut s'avérer difficile [16].

## I.8.2 PROTOCOLE DE TRANSFERT D'ENERGIE

On peut classer les systèmes RFID suivant plusieurs caractéristiques, l'une d'elle est le transfert d'énergie, d'en il en existe deux types : continu et séquentiel [17].

**I.8.2.1 Transfert d'énergie continu**

L'énergie est transmise continuellement et sans interruption durant tout l'intervalle de communication, les données peuvent être transférées simultanément ou bien en alternance. Ces deux modes sont appelés FDX (Full-Duplex) et HDX (Half-Duplex) [17].

**a)- Mode FDX**

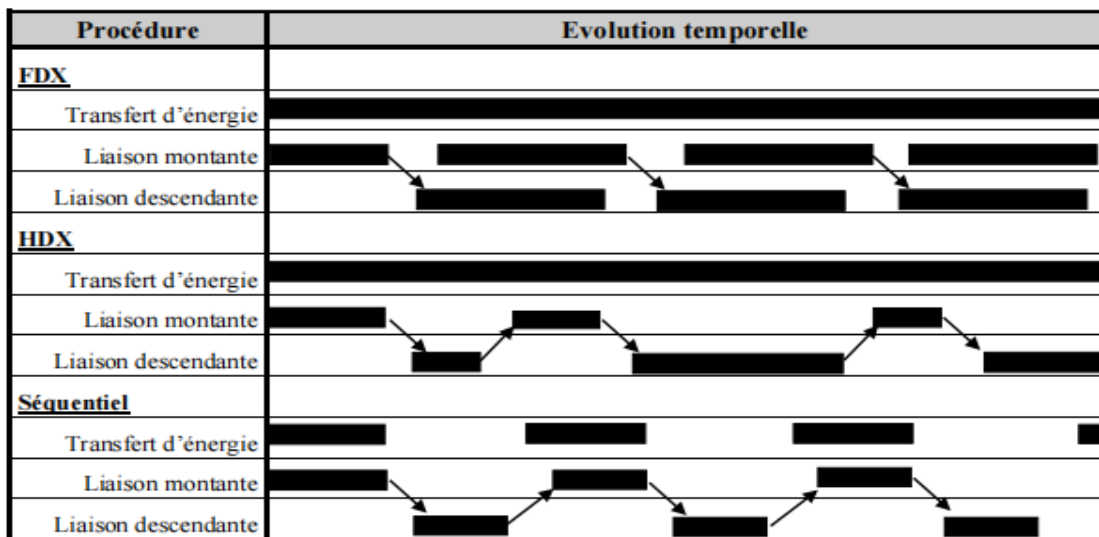
La transmission d'énergie est toujours continue, l'échange de données est simultanée entre le lecteur et le Tag. Ces deux éléments jouent à la fois le rôle d'émetteur et récepteur. Pour pouvoir différencier entre les liaisons montante et descendante, il faut donc deux modulations, en général la puce RFID crée une sous porteuse pour réaliser un décalage fréquentiel [17].

**b) Mode HDX**

Le transfert d'énergie est continu, mais dans ce cas l'échange de données se fait en alternance, ce qui implique que la modulation aussi. Le tag et le lecteur prennent le rôle d'émetteur et récepteur chacun à leur tour, ce type est d'une grande simplicité par rapport au précédent, mais il reste la question du stockage externe d'énergie qui engendre un coût élevé de fabrication [17].

**I.8.2.2 Transfert d'énergie séquentiel**

Le transfert d'énergie est discontinu et régulier, les données sont transférées en même temps lors de la liaison descendante, ce type de protocole est très utilisé lorsque les communications s'effectuent du Tag vers le lecteur [17]. Ces différentes procédures sont représentées sur la Figure I.10.



**Figure I.10** : Principales procédures de communication RFID.

Dans les dispositifs RFID en place à ce jour, le mode d'échange de données le plus couramment employé est le mode « half duplex », ce qui signifie que le lecteur et le tag communiquent entre eux alternativement, par tranches de temps, et non pas simultanément. Dans le cas d'une procédure HDX, le protocole de communication entre un lecteur et un tag est composé de trois phases :

- ✚ **Une phase de réveil du tag** : le lecteur envoie une onde électromagnétique vers le tag pour lui permettre de s'alimenter en énergie nécessaire à son fonctionnement et de se mettre dans un état d'attente des instructions à venir du lecteur.
- ✚ **Une phase d'instruction** : le lecteur envoie une instruction au tag. Cette transmission se réalise sur porteuse. Elle se traduit par une variation en phase ou en amplitude de l'onde électromagnétique envoyée. Parallèlement à l'envoi de ces instructions, le lecteur doit assurer l'alimentation du tag. Un compromis doit être trouvé lors de la mise en forme du signal envoyé par le lecteur afin d'assurer de façon optimale ces deux fonctions. Cette mise en forme nécessite donc un choix judicieux du codage de l'information, de la technique de modulation et des temps de transmissions [18].
- ✚ **Une phase de lecture** : le tag envoie sa réponse au lecteur. Après réception des instructions du lecteur, le tag se met en mode rétro-modulation. Là encore, un compromis doit être trouvé entre ce transfert de données descendant et la puissance que le tag doit continuer à absorber afin d'assurer son alimentation. La rétro-modulation est un point critique de la conception des tags RFID.

### I.8.3 ARCHITECTURE D'UN LECTEUR RFID UHF

Le lecteur constitué d'un circuit, qui émet des ondes radio à travers une antenne, et d'un autre circuit qui reçoit et décode les informations envoyées par le tag, et les envoie au dispositif base des données [19]. La séparation des signaux émis et reçus se fait à l'aide d'un circulateur. L'antenne isotrope du lecteur qui rayonne de l'énergie qui se propage dans toutes les directions pour atteindre le tag. Un lecteur est illustré sur la Figure I.11 :

Nous allons décrire plus en détail la partie radiofréquence qui présente pour nous plus d'intérêts.

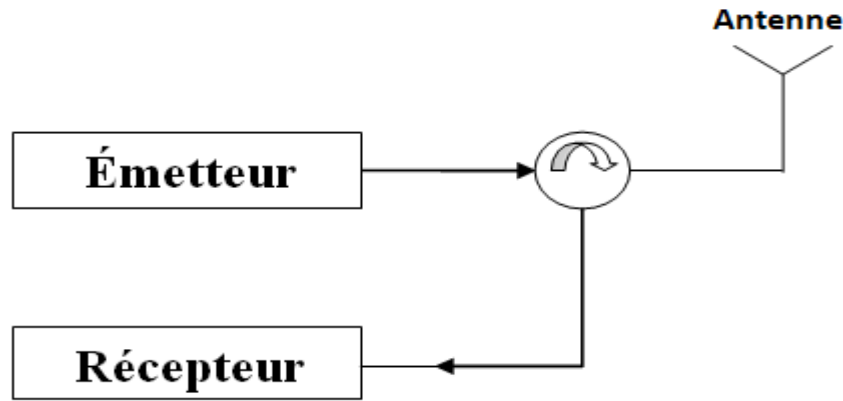


Figure I.11 : Schéma bloc d'un lecteur.

### I.8.3.1 L'émetteur

L'émetteur du lecteur RFID envoie les requêtes au tag, et il fournit un signal d'alimentation pour le tag passif. Les données arrivent codées de la partie numérique, elles sont filtrées en bande de base puis modulées grâce à une porteuse générée par un oscillateur. Le signal modulé est ensuite amplifié avant d'être transmis, pour fournir une puissance de sortie suffisante. Le schéma bloc d'une chaîne d'émission classique d'un lecteur RFID est donné dans la figure I.12

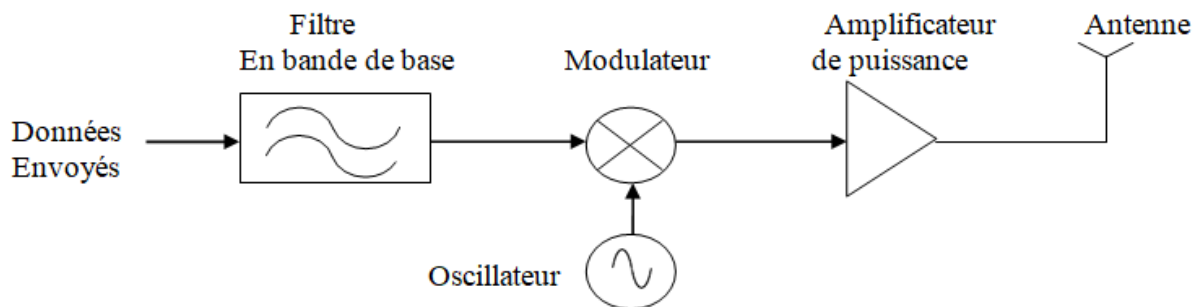


Figure I.12 : Exemple de chaîne d'émission classique.

### I.8.3.2 Le récepteur

Un schéma bloc d'une chaîne de réception classique d'un lecteur RFID est donné dans la figure I.13. Le signal reçu est d'abord amplifié à l'aide d'un amplificateur faible bruit (LNA - Low Noise Amplifier), filtré puis démodulé.

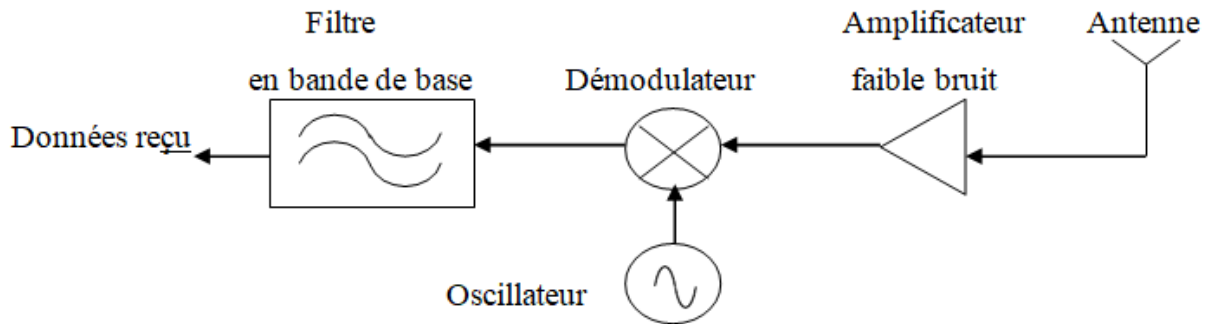


Figure I.13 : Exemple de chaîne de réception classique.

### I.8.3.3 Le circulateur

Les circulateurs sont constitués d'au moins trois ports d'accès orientés à  $120^\circ$  les uns des autres autour d'un conducteur central, figure I.14. Il fonctionne de la façon suivante : la puissance entrant par l'accès K sort totalement par l'accès suivant K+1.

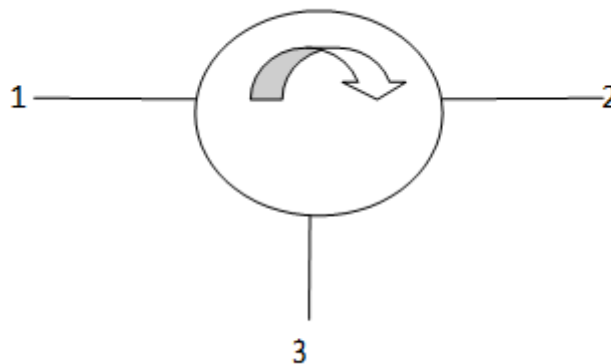


Figure I.14 : Le circulateur.

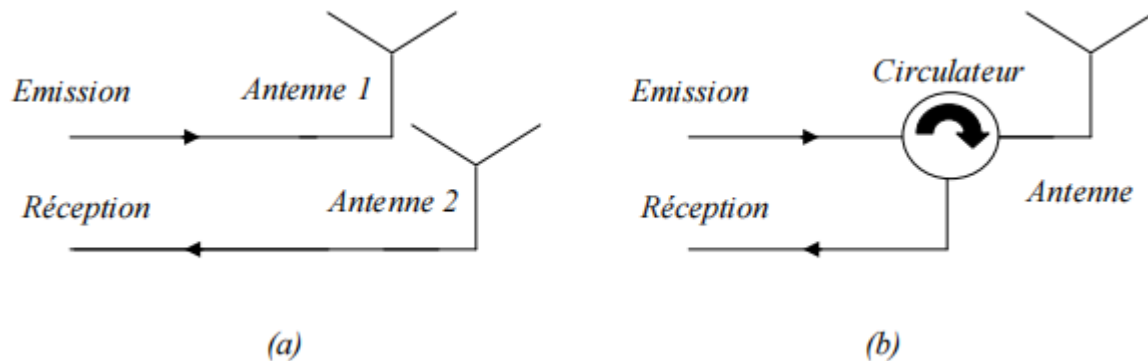
Les circulateurs sont largement utilisés dans les systèmes microondes tels que la séparation des signaux d'émission et de réception, le multiplexage et le démultiplexage de canaux de télécommunications.

### I.8.3.4 Emission et réception

L'émission et la réception des signaux peuvent se faire de deux façons :

- Par l'utilisation de deux antennes, l'une réalisant l'émission et l'autre réalisant la réception (Figure I.15 (a)). Ce type d'architecture est dit bi statique. Il demande une bonne isolation entre les deux antennes. Un système de ce genre est composé en général de deux antennes à polarisation circulaire croisée (polarisation droite et polarisation gauche).

- Par l'utilisation d'une seule antenne réalisant l'émission et la réception (Figure I.15 (b)). Ce type d'architecture est dit mono statique. La séparation des signaux émis et reçus se fait à l'aide d'un coupleur directionnel ou d'un circulateur. Cette architecture est souvent la plus rencontrée car elle est moins encombrante et économique.



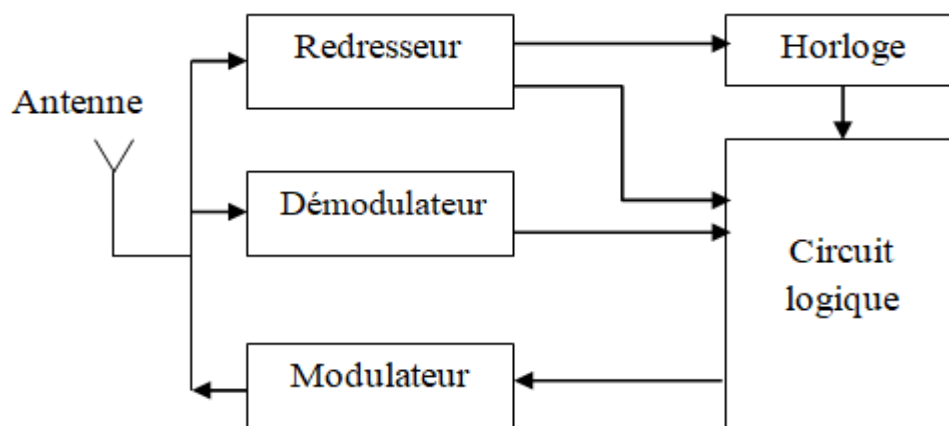
(a) Architecture bi statique.

(b) Architecture mono statique.

**Figure I.15:** Emission/réception d'un lecteur RFID UHF.

#### I.8.4 ARCHITECTURE DU TAG RFID UHF PASSIF

Le tag radiofréquence est composé d'une puce contenant les informations, qui est reliée à une antenne permettant de recevoir et de répondre aux requêtes radio émis depuis un lecteur. Un tag RFID UHF est constitué d'un étage redresseur, d'un démodulateur, d'un modulateur, d'un étage de mémorisation des informations transmises par le signal modulant ou des informations stockées localement, et d'une horloge. La figure I.16 montre le schéma bloc d'un tag RFID UHF.

**Figure I.16:** Schéma bloc d'un tag RFID UHF.

Le signal envoyé du lecteur est reçu par l'antenne du tag qui va le convertir en un courant alternatif, de ce dernier le tag va extraire la puissance et l'information. L'étiquette doit alors



interpréter les données qui en résultent, pouvant nécessiter l'écriture dans la mémoire non volatile, et agir sur l'impédance de l'antenne de telle façon à moduler le signal rétrodiffusé vers le lecteur.

#### I.8.4.1 L'antenne

L'antenne est un élément conducteur qui transforme une énergie électrique en énergie de rayonnement électromagnétique, ainsi cette dernière l'a traduit en courant électrique induit. Le choix de l'antenne d'un tag dépend très étroitement de l'application visée.

#### I.8.4.2 Le bloc de redressement

La fonction de récupération de l'énergie est généralement assurée par un redresseur c'est l'élément le plus important dans le tag RFID passif. Il doit fournir la tension continue nécessaire avec un maximum d'efficacité possible, c'est cette tension qui permet l'alimentation du tag [20]. La tension est redressée par une diode qui permet au courant de circuler dans une direction, le signal résultant est lissé à l'aide d'un condensateur de stockage pour créer une tension plus ou moins constante assurant l'alimentation de la puce durant la phase de rétro-modulation. La figure I.17 représente un circuit redresseur.

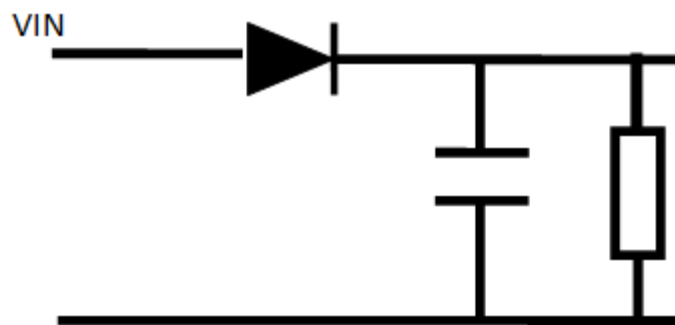


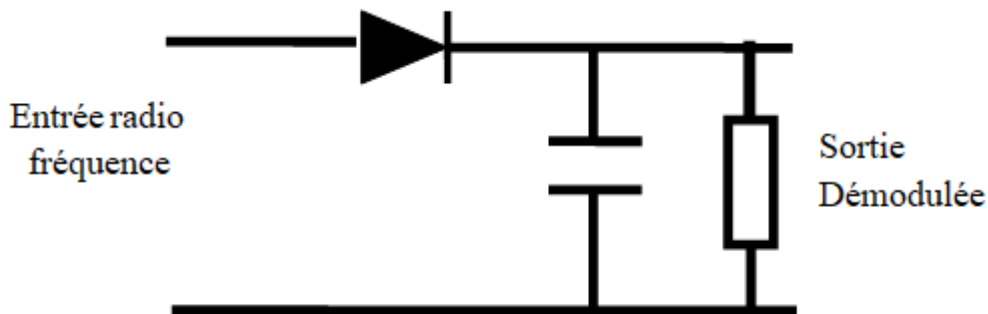
Figure I.17: Circuit redresseur.

#### I.8.4.3 Le bloc de démodulation

La démodulation consiste à récupérer le signal informatif modulant qui est contenu dans la partie supérieure (ou inférieure) de l'enveloppe du signal modulé. Généralement, la démodulation d'amplitude est réalisée par un détecteur d'enveloppe qui présente l'avantage d'être très simple.

Le schéma de base du détecteur d'enveloppe est décrit par la figure I.18. Le principe consiste à utiliser une diode pour bloquer la partie négative du signal modulé en amplitude. Le

filtre RC élimine la porteuse et sa constante de temps doit être judicieusement choisie. La sortie du circuit sera une tension dont les variations suivent l'enveloppe de la tension d'entrée.



**Figure I.18:** Détecteur d'enveloppe.

#### I.8.4.4 Circuit logique (mémoire)

La taille de la mémoire des tags RFID est généralement de quelques octets à plusieurs kilooctets. Les mémoires peuvent être en lecture seule, mais aussi en lecture/écriture. Dans les systèmes très simples, les données du tag et le numéro de série sont écrites sur la puce lors de la fabrication et ne peuvent pas être modifiées. À l'inverse, dans les systèmes plus complexes, le lecteur peut écrire des données sur le tag.

Les trois principalement types de mémoire sont :

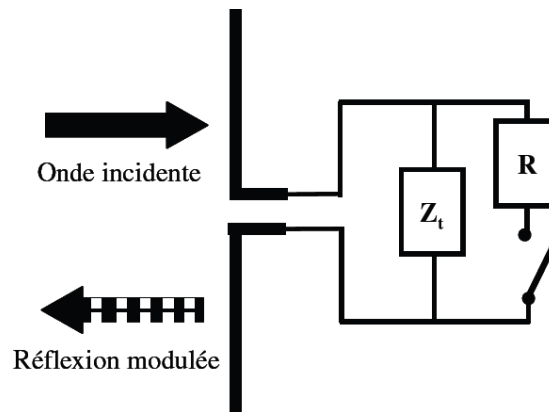
- Les EEPROMs (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory).
- Les FRAMs (Ferromagnetic Random Access Memory).
- Les SRAMs (Static Random Access Memory).

#### I.8.4.5 Le bloc de modulation

Lorsque le lecteur fournit une porteuse non modulée au tag pour assurer un support physique à la communication de retour, elle laisse ce dernier agir totalement à sa guise selon son propre mode de fonctionnement.

Pour la RFID UHF la fonction de rétro-modulation est assurée par un système de modulation de la charge à l'entrée de l'antenne. Cette dernière est commandée par la partie numérique du tag. La modulation de charge entraîne une variation du coefficient de réflexion au niveau de l'interface entre l'antenne du tag et la puce. En d'autres termes, elle consiste en une variation de l'impédance d'entrée de la puce. Il est possible de faire varier la partie réelle et/ou la partie imaginaire de cette impédance. Ainsi, en fonction du signal binaire qui commande la

modulation de charge et en fonction du type de modulation, le signal incident est plus ou moins réfléchi comme indiqué sur la figure I.19. Sur cette figure, l'impédance  $Z_t$  représente une charge adaptée à l'impédance de l'antenne.



**Figure I.19:** Réflexion de l'onde incidente grâce à la technique de modulation de charge [21].

La qualité de la modulation dépend de la facilité avec laquelle on peut différencier les deux états binaires, lors de la démodulation. Pour une modulation de type ASK, cela consiste à avoir une différence d'amplitude maximal entre l'état haut et l'état bas. On l'obtient, lorsque l'on passe de l'adaptation et la désadaptation de l'antenne. Cependant la désadaptation de l'antenne implique une réflexion totale de l'onde incidente, donc la récupération d'énergie devient impossible, raison pour laquelle l'indice de la modulation ASK est souvent choisi de manière à avoir un compromis entre la récupération de l'énergie et la qualité de la transmission de données.

En ce qui concerne la modulation PSK, la qualité de la modulation dépend du déphasage que l'on peut obtenir. Cette technique présente l'avantage de pouvoir procurer la même quantité d'énergie au tag, quel que soit l'état binaire du signal modulant au détriment d'une détection difficile de la rétro-modulation et d'un coût plus important au niveau du lecteur [22].

## I.9 APPLICATION DE LA TECHNOLOGIE RFID

Aujourd'hui, l'utilisation de systèmes RFID se développe rapidement. Alors, nous pouvons trouver cette technologie dans diverses applications de tous les jours. Les applications de la technologie RFID peuvent être classées dans deux catégories :

- Applications de la communication RFID en champ proche NFC (Near Field Communication) tels que le paiement par téléphone portable ou d'une carte bancaire,

la lecture des articles de marchandises emballées, contrôle d'accès (badges d'entreprise, clefs de voiture, cartes de transport...).

- Applications de la communication RFID en champ lointain FFC (Far Field Communication) tels que la gestion de la chaîne d'approvisionnement, la gestion des biens, les contrôles d'accès et le suivi et à la traçabilité de produits.

## **I.10 AVANTAGES ET INCONVENIENTS D'UN SYSTEME RFID [23]**

### **I.10.1 AVANTAGES**

#### ✓ **Possibilité de modification de données**

Pour les étiquettes à lectures et écritures multiples, les données gravées peuvent subir des modifications à tout moment par les personnes autorisées. Pour le code à barres les données inscrites restent figées une fois qu'elles sont imprimées.

#### ✓ **La vitesse de marquage**

Les étiquettes RFID peuvent être incorporées dans le support de manutention ou les emballages, et les données concernant les produits sont introduites ou modifiées en une fraction de seconde au moment de la constitution de groupage logistique par les serveurs (ordinateurs), ce qui permet aussi une grande vitesse de lecture. Le code à barres dont le principe est d'être imprimé sur un support en papier (de caractères) qui devra ensuite être codé en opération manuelle ou mécanique nécessite un temps beaucoup plus long.

#### ✓ **Grand volume de données**

Les étiquettes RFID peuvent contenir de données dont les caractères peuvent aller jusqu'à plus de 15000 caractères. Ce nombre élevé de caractères ne nécessite qu'une minime proportion pour être stockés à raison de 1000 caractères/mm<sup>2</sup>, contrairement aux codes à barres dont la capacité est inférieure aux centaines à raison de 50 caractères/dm<sup>2</sup>.

#### ✓ **Protection des contenus**

Les contenus des étiquettes RFID étant de données numériques peuvent être en partie ou en tout sujets à une réglementation d'accès ou une protection par un mot de passe en lecture ou écriture. Avec cette protection contre l'accès des informations imprimées sur l'étiquette, la contrefaçon et le vol s'avèrent difficiles.

**✓ Durée de vie**

Les étiquettes RFID peuvent avoir une durée de vie de dizaines d'années. Les données au cours de ces années peuvent subir de modifications plus d'un million de fois selon le type de l'étiquette avec un maximum de fiabilité.

**✓ Meilleure accessibilité et résistante aux effets extérieurs**

Les étiquettes de la technologie RFID fonctionnant avec les ondes électromagnétiques n'ont pas besoin de contact ou de visée optique. Leur liaison avec le système est établie dès qu'elles entrent dans les champs électromagnétiques. Les étiquettes RFID sont insensibles à la poussière, aux taches, aux frottements, à l'humidité. En plus la lecture peut être effectuée en vrac, permettant la lecture simultanée de plusieurs étiquettes.

**I.10.2 INCONVENIENT****✓ Prix**

Le coût d'implantation d'un système RFID est relativement élevé, ce qui suscite des préoccupations concernant le retour sur investissement. Bien que les coûts d'acquisition des étiquettes RFID soient élevés, elles sont facilement rentabilisées sur les produits à grand coût et grande importance. Cependant pour les produits à grande consommation et à faible coût, les étiquettes code-barres s'avèrent rentables compte tenu de leurs coûts bas.

**✓ Interférence des ondes**

Les informations et données gravées sur une étiquette peuvent être sujettes à des interférences des ondes entre elles. Et dès que plusieurs étiquettes se retrouvent dans le champ de lecture, les données sont saisies par le lecteur en même temps. Les études sont en cours de finalisation pour la parcellisation et le groupage des fréquences en fonction des applications, et pour assurer l'unicité de captage des informations rien que par le lecteur autorisé.

**✓ Perturbations métalliques**

La lecture des étiquettes RFID peut aussi être perturbée par la proximité dans le champ électromagnétique des éléments métalliques ce qui affecterait fortement la réussite de la technologie dans le domaine de production métallique.

**✓ Interchangeabilité**

La plupart de compagnies utilisent déjà la technologie des étiquettes RFID pour le suivi et la traçabilité de produits en circuit interne, c'est-à-dire leur suivi et traçabilité en ne quittant pas

la compagnie. Étant donné qu'à ce jour la plupart de compagnies utilisent chacune ses propres logiciels RFID, un produit qui quitte une compagnie pour une autre ne pourra pas être lu à moins que les deux compagnies utilisent le même système RFID.

✓ **Sécurité**

À ce jour et au niveau actuel de la technologie du système RFID, il ressort que les risques sur le plan des équipements notamment les puces RFID utilisées pour l'identification et le stockage de données, il y a risque de piraterie ou contrefaçon par clonage. Et de plus en plus, on parle de virus RFID. Ces virus sont capables de se reproduire et ainsi perturber les identifications des étiquettes ou le transfert des données dans le réseau.

## **I.11 CONCLUSION**

Ce chapitre permet d'avoir une vue d'ensemble sur la technologie RFID. Cette technologie permet de recueillir des données automatiquement tandis que des microcontrôleurs sont en cours d'exécution, ce qui réduit l'intervention humaine. Les progrès récents dans la fabrication de semi-conducteurs ont permis de réduire le coût de la RFID à un point qu'il est désormais rentable d'utiliser la RFID à grande échelle, comme le domaine médical et commercial. Tandis que ses applications extrêmement nombreuses et s'enrichissent tous les jours avec des nouvelles idées. Le chapitre suivant concerne l'état de l'art des antennes RFID.

**CHAPITRE II:  
ETAT DE L'ART DES  
ANTENNES RFID**

## II.1 INTRODUCTION

Les antennes constituent actuellement un des éléments clés des systèmes sans fils modernes. Le rôle d'une antenne est de convertir l'énergie électrique d'un signal en énergie électromagnétique transportée par une onde électromagnétique (ou inversement). Le transport d'énergie par une onde électromagnétique va donc permettre le transfert d'information sans support physique à travers un canal ou une liaison radioélectrique, à condition que l'onde électromagnétique soit modulée par un signal informatif.

Ainsi, l'antenne est toujours le premier élément dans une chaîne de réception ou le dernier élément dans celle d'émission dans un système de communication. Pour réaliser des antennes il y a une grande variété de techniques, chacune d'elles possède ses propres caractéristiques et sert à une application bien déterminée.

Dans ce deuxième chapitre, D'abord nous allons définir quelques paramètres et caractéristiques des antennes, Ensuite, nous allons discuter sur les antennes filaires et imprimées, par la suite nous allons parler sur la puce dans les systèmes RFID plus spécifiquement les puces UHF et nous allons citer quelques modèles des puces existantes dans le marché actuel, ainsi que leurs types de packagings. Aussi nous allons expliquer quelques techniques d'adaptation d'impédance pour les tags RFID UHF passif. Enfin, on terminera par un état de l'art sur les antennes RFID.

## II.2 LES PARAMETRES FONDAMENTAUX DES ANTENNES

L'antenne, dans sa définition la plus générale, est la conversion d'une puissance électrique incidente en une puissance électromagnétique rayonnée dans une direction particulière. Pour caractériser une antenne tag, il existe deux paramètres principaux à prendre en considération :

- *Paramètres électriques* : influent directement sur le comportement de l'antenne (circuit).
- *Paramètres de rayonnement* : permettent de propager des ondes électromagnétiques.

### II.2.1 LES PARAMETRES CIRCUITS

La connaissance des paramètres électriques (circuits) est cruciale pour déterminer les caractéristiques d'adaptation de l'antenne.



### II.2.1.1 L'impédance

Une antenne est caractérisée, d'un point de vue électrique par son impédance. L'expression de l'impédance se présente sous forme complexe  $Z_a$ , où la partie réelle est une résistance liée au rayonnement  $R_r$  et la partie imaginaire, une réactance (II.1) liée aux pertes  $R_l$ .

$$Z_a = R_a + jX_a \quad (\text{II. 1})$$

Où  $Z_a$ ,  $R_a$  et  $X_a$  sont respectivement l'impédance, la résistance et la réactance de l'antenne, à ses bornes d'entrée.

L'énergie dissipée par  $R_r$  correspond à l'énergie rayonnée par l'antenne, et l'énergie dissipée par  $R_l$  correspond quant à elle aux pertes de conduction, aux pertes diélectriques et aux pertes d'onde de surface de l'antenne [5].

$$R_a = R_r + R_l \quad (\text{II. 2})$$

### II.2.1.2 Le coefficient de réflexion

Une antenne s'adapte à une ligne de transmission à impédance caractéristique  $Z_0$  réelle (Généralement  $50 \Omega$  ou  $75 \Omega$ ). Le coefficient de réflexion d'une antenne  $\Gamma$  est défini par l'équation (II.3) suivante :

$$\Gamma = \frac{Z_a - Z_0}{Z_a + Z_0} \quad (\text{II. 3})$$

Lors de la réflexion des ondes, celles incidentes et réfléchies peuvent être en phase, dans ce cas la tension est maximale ( $V_{max}$ ) peut exprimer par (II.4).

$$V_{max} = V_{directe} + V_{réfléchie} \quad (\text{II. 4})$$

Si les deux sont en opposition de phase, l'amplitude résultante est une tension minimale ( $V_{min}$ ) peut exprimer par (II.5).

$$V_{min} = V_{directe} - V_{réfléchie} \quad (\text{II. 5})$$

Le ROS et le coefficient de réflexion peuvent être définis par les relations (II.6) et (II.7) suivantes :

$$\rho = \frac{V_{max}}{V_{min}} \quad (\text{II. 6})$$

$$\Gamma = \frac{V_{réfléchie}}{V_{directe}} \quad (\text{II. 7})$$

Le coefficient de réflexion S11 est toujours inférieur ou égal à 1. On le définit en décibel (dB) par l'équation (II.8) suivante :

$$S_{11} = 20. \log (\Gamma) \quad (\text{II. 8})$$

Dans le cas où il n'y a pas de ligne de transmission entre l'antenne et une charge qui peut ne pas présenter une impédance réelle. Il faut dans ce cas maximiser la puissance transmise à la charge [23]. Le rapport (II.9) entre la puissance réfléchie par une charge et la puissance maximale totale pouvant lui être transmise est définie par le coefficient de réflexion en puissance  $\Gamma^*$  :

$$\Gamma^* = \frac{Z_C - Z_a^*}{Z_C + Z_a^*} \quad (\text{II. 9})$$

Dans le cas où la charge est complexe conjuguée à l'impédance de l'antenne ( $Z_C = Z_a^*$ ), le maximum de la puissance lui est transmise ( $\Gamma^* = 0$ ).

### II.2.1.3 Le rapport d'onde stationnaire

Pour une antenne, si l'adaptation n'est pas réalisée entre l'impédance de la ligne de transmission et l'impédance de l'antenne, les ondes subissent des réflexions vers la source causant ainsi le phénomène d'interférences avec les ondes incidentes et donnant naissance à des ondes stationnaires caractérisées par le Rapport d'Ondes Stationnaires (ROS) défini par la relation (II.10) suivante :

$$\rho = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (\text{II. 10})$$

Le ROS est toujours supérieur ou égal à 1, La valeur maximale du ROS généralement admise pour la sécurité du matériel est de 2 ce qui donne un paramètre S11 inférieur ou égale à -10 dB

### II.2.1.4 Le coefficient de transmission

Le coefficient de transmission en puissance T, est le rapport de la puissance transférée à une charge sur la puissance totale maximum pouvant lui être transférée. Il est défini par la relation (II.11) suivante :

$$T = 1 - |\Gamma^*|^2 \quad (\text{II. 11})$$

Où  $|\Gamma^*|^2$  correspond aux pertes d'insertions.

Le coefficient de transmission peut également être exprimé en fonction des impédances d'une antenne et de sa charge  $Z_a$  et  $Z_c$ . Cette relation (II.12) est d'une grande importance en RFID, parce qu'elle correspond au rapport entre la puissance transférée à une puce RFID et la puissance totale maximum pouvant lui être transmise.

$$T = \frac{4R_a R_c}{|Z_c + Z_a|^2} \quad (\text{II. 12})$$

### II.2.1.5 La bande passante

La largeur de bande d'une antenne est considérée comme étant l'ensemble des fréquences comprises entre une fréquence minimale  $F_{min}$  et une fréquence maximale  $F_{max}$ . C'est un paramètre exprimé en pourcentage (%) qui se calcule en générale de la façon suivante (II.13).

$$BW = \frac{\Delta_f}{f} \cdot 100 \quad (\text{II. 13})$$

Les différentes caractéristiques des antennes ne varient pas de la même manière avec la fréquence, la détermination de la largeur de bande d'une antenne n'est donc pas unique. Les paramètres habituellement considérés pour la déterminer sont relatifs aux diagrammes de rayonnement (gain, direction et largeur du lobe principal, polarisation) et/ou à l'impédance (impédance d'entrée, efficacité de rayonnement, coefficient de réflexion, ROS...).

En RFID, la bande passante est directement reliée aux critères de performances attendues pour un tag RFID. Le niveau de puissance transmis acceptable  $T$  est défini en fonction de la distance de lecture souhaitée pour une application donnée.

### II.2.1.6 Le coefficient de qualité

Le coefficient de qualité  $Q$  d'un circuit résonant est défini comme étant égal à  $2\pi$  fois le rapport de l'énergie emmagasinée sur l'énergie perdue dans un cycle. Pour une antenne, l'énergie perdue correspond à l'énergie rayonnée et à l'énergie dissipée par les pertes de conduction et par les pertes diélectriques.

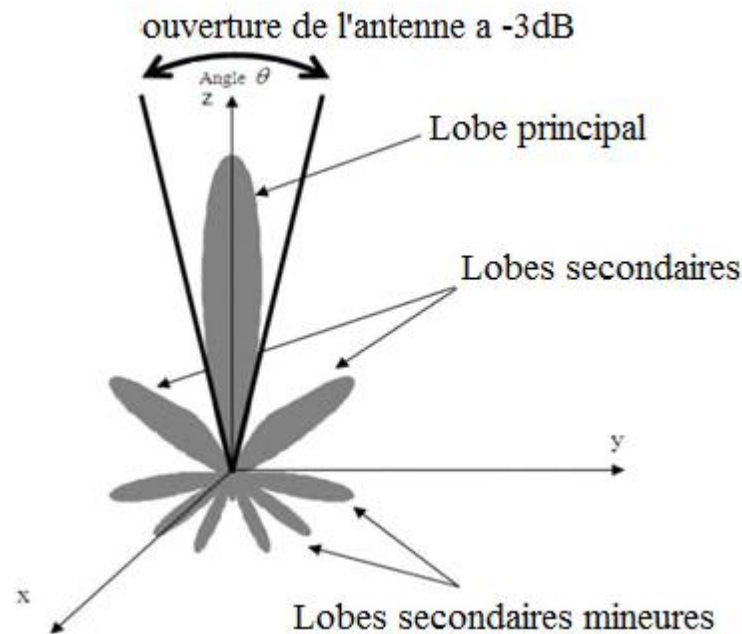
$$Q = 2\pi \frac{\text{energie stockée par cycle}}{\text{energie rayonnée et dissipée par cycle}} \quad (\text{II. 14})$$

## II.2.2 LES PARAMETRES DE RAYONNEMENT

Les paramètres de rayonnement renseignent sur les qualités de l'antenne à réceptionner ou à transmettre un signal.

### II.2.2.1 Le diagramme de rayonnement

Plusieurs paramètres du rayonnement d'une antenne sont définis à partir du diagramme de rayonnement tel que l'ouverture, le niveau de puissance et la directivité du lobe secondaire, ainsi que les informations concernant la capacité d'une antenne à rayonner dans l'espace [5].



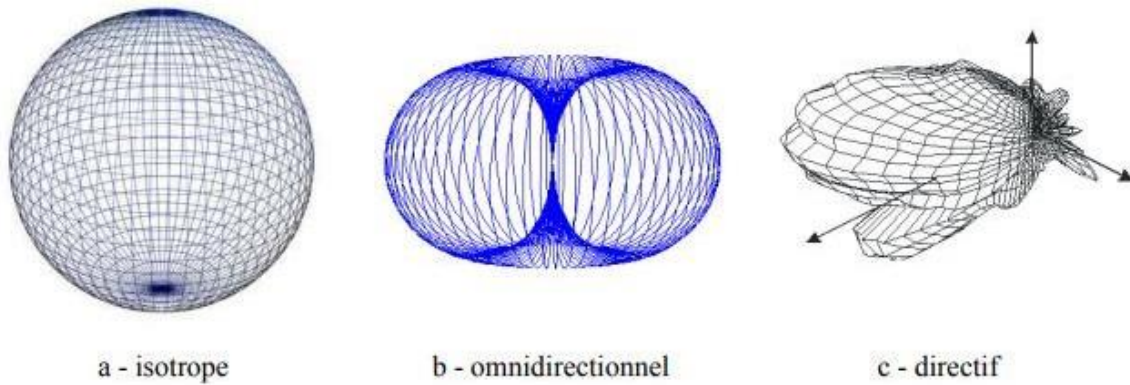
**Figure II.1 :** Diagramme de rayonnement d'une antenne classique en coordonnées polaires.

Lors d'envoi d'énergie, le diagramme de rayonnement montre qu'il se compose d'un lobe principal où un maximum de gain est concentré, mais une portion de cette énergie part dans des directions non désirés ce qui provoque l'apparition des lobes secondaires.

Une caractéristique très importante du diagramme de rayonnement est l'angle d'ouverture à -3 dB. Il joue un rôle important dans la définition des deux directions du lobe principal pour lesquelles la puissance rayonnée vaut la moitié (-3 dB) de la puissance maximale dans la direction la plus favorable, ainsi l'angle caractérise aussi la directivité de l'antenne.

Le diagramme de rayonnement permet de localiser les zones de l'espace entourant l'antenne et les directions où le rayonnement est intense ou faible. Même si chaque diagramme de rayonnement est différent en fonction des antennes, il est possible de différencier trois formes typiques de diagramme de rayonnement [5] :

- ❖ **Antenne isotrope:** une antenne qui rayonne son énergie uniformément dans toutes les directions de l'espace. Cette antenne reste purement théorique et sert de référence pour établir la directivité ou le gain d'une antenne réelle [5].
- ❖ **Antenne omnidirectionnelle:** se caractérise par la faculté à rayonner de manière égale dans toutes les directions contenues dans un plan [5].
- ❖ **Antenne directive :** est une antenne qui va concentrer l'énergie qu'elle rayonne dans une direction de l'espace [5].



**Figure II.2** Exemples de diagramme de rayonnement d'antenne.

### II.2.2.2 La directivité

La directivité  $D(\theta, \varphi)$  d'une antenne est un paramètre qui exprime le rapport de l'intensité du rayonnement dans une direction donnée par rapport à l'intensité moyenne dans toutes les directions. Pour une antenne isotrope la directivité est l'unité. Lors de la description d'une antenne, sa directivité se réfère souvent à la directivité maximale, dans la direction dans laquelle l'antenne émet l'intensité de rayonnement maximale. Il se résume par la formule suivante :

$$D(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{\text{intensité de puissance rayonnée dans la direction } (\theta, \varphi)}{\text{puissance rayonnée totale}} \quad (\text{II.15})$$

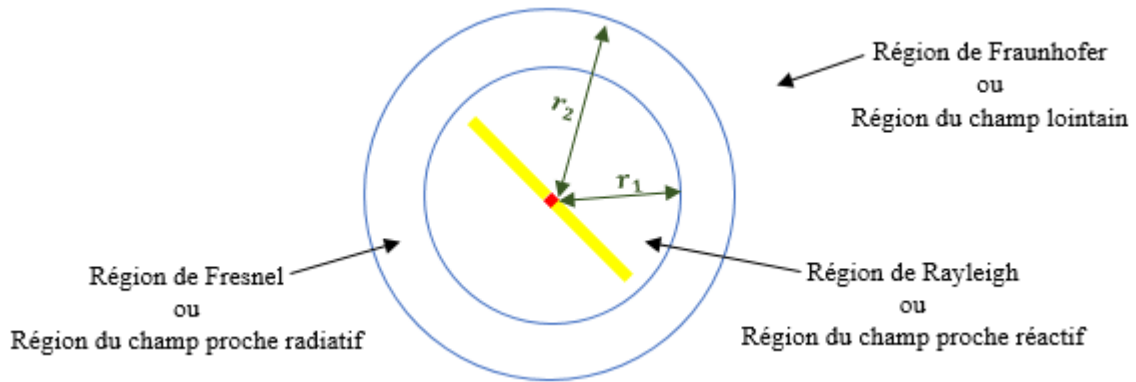
### II.2.2.3 Le gain

Le gain d'une antenne dans une certaine direction  $G(\theta, \varphi)$ , est quant à lui donné par le rapport de l'intensité de puissance rayonnée dans une certaine direction sur l'intensité de puissance acceptée par l'antenne qui serait rayonnée par une antenne isotrope sans pertes (II.16). Conformément à la définition de l'IEEE, le gain de l'antenne ne prend pas en compte les pertes de désadaptation (ou pertes d'insertion) [26].

$$G(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{\text{intensité de puissance rayonnée dans la direction } (\theta, \varphi)}{\text{puissance totale acceptée}} \quad (\text{II.16})$$

### II.2.2.4 Les régions du champ électromagnétique

Il existe trois régions notionnelles entourent une antenne, La figure II.3 résume les régions du champ électromagnétique d'une antenne :



**Figure II.3 :** Illustration des régions du champ électromagnétique d'une antenne.

**a) La région réactive proche du champ (Rayleigh) :**

Le champ proche réactif entoure immédiatement l'antenne. Dans cette région, le champ réactif est dominant. Cette région existe dans l'espace autour des antennes limité par la distance définie par :

$$r_1 = 0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \quad (\text{II. 17})$$

Où  $\lambda$  est la longueur d'onde et  $D$  est la plus grande dimension de l'antenne.

**b) La région de rayonnement proche (Fresnel) :**

La région du champ proche rayonnant (Fresnel) est la région intermédiaire entre la région du champ proche réactif et la région du champ éloigné. Dans cette région, les champs de rayonnement sont dominants et la distribution du champ angulaire dépend de la distance par rapport à l'antenne. On suppose généralement que cette région existe dans une région ayant la limite intérieure  $r_1$  et la limite extérieure de rayon définie par :

$$r_2 = \frac{2D^2}{\lambda} \quad (\text{II. 18})$$

**c) La région du Far-Field(Fraunhofer)**

Dans la région dite du champ lointain (Fraunhofer), la distribution du champ est indépendante de la distance de l'antenne. Dans la plupart des cas, la distance minimale entre l'antenne et la région du champ lointain est définie par l'équation II.18.

### II.2.2.5 L'efficacité de rayonnement

L'efficacité totale  $e_0$  d'une antenne est utilisée pour prendre en compte les pertes à l'entrée de l'antenne et les pertes liées aux conducteurs. Elle est égale au rapport entre la

puissance rayonnée ( $P_r$ ) et la puissance d'alimentation ( $P_a$ ). Les pertes peuvent être dues aux réflexions provenant d'une mauvaise adaptation de l'antenne et aussi des propriétés intrinsèques des matériaux qui la constituent (conducteur, diélectrique). Généralement l'efficacité globale peut être écrite par :

$$e_0 = \frac{P_r}{P_a} = e_r e_c e_d \quad (\text{II. 19})$$

Le terme  $e_r$  est l'efficacité de réflexion provenant de la désadaptation à l'entrée de l'antenne, et s'exprime comme :

$$e_r = 1 - S_{11}^2 = \left(1 - \left|\frac{Z_a - Z_0}{Z_a + Z_0}\right|^2\right) \quad (\text{II. 20})$$

Les termes  $e_c$  et  $e_d$  sont les efficacités qui prennent en compte les pertes provenant respectivement des conducteurs et des diélectriques. Ces deux quantités sont en général obtenues de façon expérimentale et comme elles ne peuvent pas être distinguées, elles sont combinées ensemble pour donner l'efficacité du conducteur-diélectrique  $e_{cd}$  ou efficacité du rayonnement. Les pertes diélectriques sont en général négligeables devant les pertes dans les conducteurs. Cette efficacité est déterminée par la puissance rayonnée, divisée par la somme de la puissance rayonnée et de la puissance liée aux pertes s'exprime par :

$$e_{cd} = \frac{P_r}{P_r + P_p} \quad (\text{II. 21})$$

### II.2.2.6 La polarisation

La polarisation du champ électromagnétique rayonné par une antenne est donnée par la direction et la variation du champ électrique  $\vec{E}$  ou magnétique  $\vec{H}$  par rapport au temps. Il est possible de décomposer le vecteur champ électrique d'une onde plane TEM (pour Transverse Electromagnétique) se propageant dans la direction  $+z$  en deux composantes telles qu'exprimées dans :

$$\vec{E}(z, t) = \hat{a}_x E_x(z, t) + \hat{a}_y E_y(z, t) \quad (\text{II. 22})$$

Où

$$E_x(z, t) = \text{Re}(E_{x0} e^{j(\omega t - kz)}) = E_{x0} \cos(\omega t - kz) \quad (\text{II. 23})$$

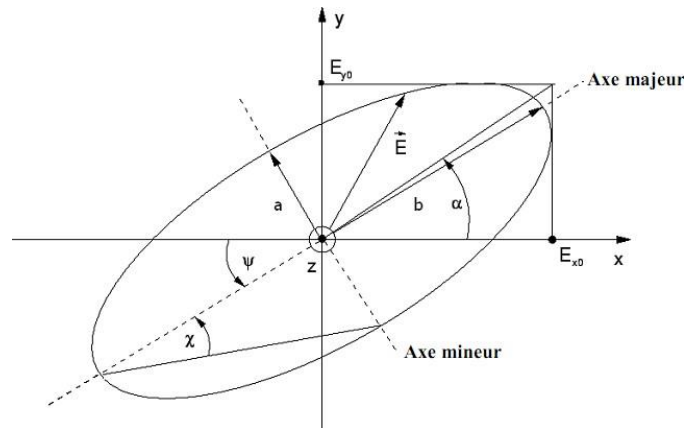
$$E_y(z, t) = \text{Re}(E_{y0} e^{j(\omega t - kz)}) = E_{y0} \cos(\omega t - kz + \delta) \quad (\text{II. 24})$$

Avec  $E_{x0}$  et  $E_{y0}$ , les magnitudes respectives de la composante en  $x$  et en  $y$  du champ électrique,

$\delta$ , la différence de phase entre les deux composantes,

$\hat{a}_x$  et  $\hat{a}_y$ , les vecteurs unitaires.

On définit le taux d'ellipticité  $AR$  correspondant au rapport de  $b$  l'axe majeur sur  $a$  l'axe mineur de l'ellipse (Figure II.4).



**Figure II.4 :** Représentation de la rotation dans le temps du vecteur champ électromagnétique d'une onde plane dans le plan xy ( $E_z = 0$ ).

Le taux d'ellipticité varie entre  $1 < AR < \infty$ .

$$AR = \frac{b}{a} = \frac{1}{\tan\left(\frac{1}{2} * \arcsin\left(\frac{2 * E_{x0} * E_{y0} * \sin \delta}{E_{x0}^2 + E_{y0}^2}\right)\right)} \quad (\text{II. 25})$$

On distingue trois types de polarisations :

- ✚ *La polarisation linéaire* : Une onde électromagnétique est polarisée linéairement si à chaque instant son champ électrique est orienté selon une même direction. Elle correspond à un taux d'ellipticité  $AR = \infty$ .
- ✚ *La polarisation circulaire* : Une onde électromagnétique est polarisée circulairement si son champ électrique décrit un cercle dans le temps. Elle correspond à un taux d'ellipticité  $AR = \infty$ . Cependant, on considère communément que la polarisation est circulaire pour  $1 < AR < 2$  (soit  $AR < 3\text{dB}$ ).
- ✚ *la polarisation elliptique* : Une onde électromagnétique est polarisée elliptiquement si son champ électrique décrit une ellipse dans le temps. Elle correspond à un taux d'ellipticité  $1 < AR < \infty$  (communément  $2 < AR < \infty$ ).



## II.3 LES ANTENNES FILAIRES ET IMPRIMEES

L'antenne RFID est un élément primordial du système RFID qui est généralement intégré au lecteur RFID et à l'étiquette RFID, elle permet d'activer les tags afin de recevoir des données et d'en transmettre les informations [26].

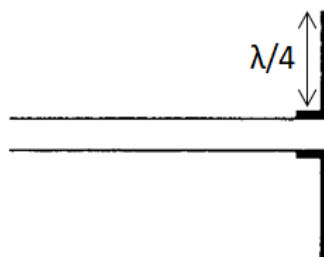
Il existe de nombreux types d'antennes comme les antennes filaires, à ouverture, réflecteurs, lentilles, imprimées (micro-ruban) ou encore en réseau. Nous développerons dans cette partie les antennes filaires et imprimées, pour leurs rôles dans les applications RFID [27].

### II.3.1. LES ANTENNES FILAIRES

Ce type d'antennes est le plus connu et on les rencontre quasiment partout : sur les voitures, les téléphones mobiles ou sans fil, les postes de radio ou encore sur les objets télécommandés. Elles se déclinent en 3 formes principales : le fil, la boucle et l'hélice [27].

#### II.3.1.1. Les Antennes Longilignes

Les antennes filaires (Figure II.5), linéaires ou courbées, sont les plus anciennes, les plus élémentaires, et les plus polyvalentes dans de nombreux cas. Leur longueur est de l'ordre de  $n\lambda/4$ , avec n entier compris entre 1 et 4, ou très petite devant la longueur d'onde  $\lambda$ .

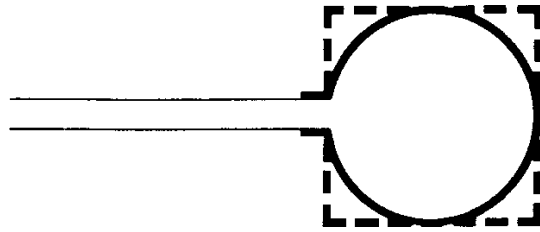


**Figure II.5 :** Schéma d'une antenne filaire.

Leur polarisation est linéaire et plus leur longueur augmente, plus l'ouverture devient étroite ce qui implique une augmentation de la directivité [27].

#### II.3.1.2. Les Antennes A Boucle

Les antennes à boucle sont aussi des éléments, de formes élémentaires, peu coûteuses et polyvalentes. La forme de la boucle se décline en différentes configurations : circulaire, rectangulaire, carrée, triangulaire ou encore ellipsoïdale (Figure II-6).



**Figure II.6 :** Schéma d'une antenne à boucle.

Elles sont classées en deux grandes catégories :

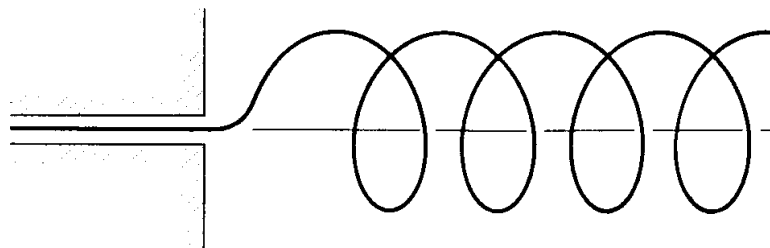
- ❖ *Les antennes électriquement petites*: présentent une longueur totale (somme totale des périmètres des boucles) plus petite que le dixième de la longueur d'onde  $N.P < \lambda/10$ .
- ❖ *Les antennes électriquement grandes* : le périmètre d'un seul enroulement est du même ordre de grandeur que la longueur d'onde :  $P \approx \lambda$  [27].

Toutes ces antennes aussi bien électriquement petites que grandes sont utilisées dans les bandes de fréquences HF (3 – 30 MHz), VHF (30 – 300 MHz) et UHF (300MHz – 3GHz), mais également dans la gamme microonde, comme sonde pour la mesure d'un champ par exemple.

Elles rayonnent cependant très faiblement, surtout si leur périmètre est petit devant  $\lambda$ , et sont rarement utilisées pour la transmission en communication radio. Lorsque toutefois, elles le sont, c'est pour fonctionner en mode de réception [27].

### II.3.1.3. Les Antennes A Hélice

Ces antennes (Figure II.7) présentent une géométrie à mi-chemin entre l'antenne linéaire et l'antenne à boucle : ceci est déterminé par l'angle que fait le plan des hélices avec l'axe de symétrie de ces dernières [27].



**Figure II.7 :** Schéma d'une antenne à hélice.

Lorsque l'angle est de  $90^\circ$ , on obtient une antenne à boucle, lorsqu'il est nul, on obtient une antenne linéaire. La polarisation de ces antennes est en général elliptique bien que pour certaines plages de fréquences, il soit possible d'obtenir des polarisations linéaires et circulaires [27].

### II.3.2. LES ANTENNES IMPRIMEES

Une antenne imprimée (appelée aussi antenne micro-ruban ou patch) est d'une structure de base constituée d'un plan de masse conducteur et un substrat diélectrique où un élément rayonnant est gravé sur sa face supérieure.

#### II.3.2.1 LE SUBSTRAT

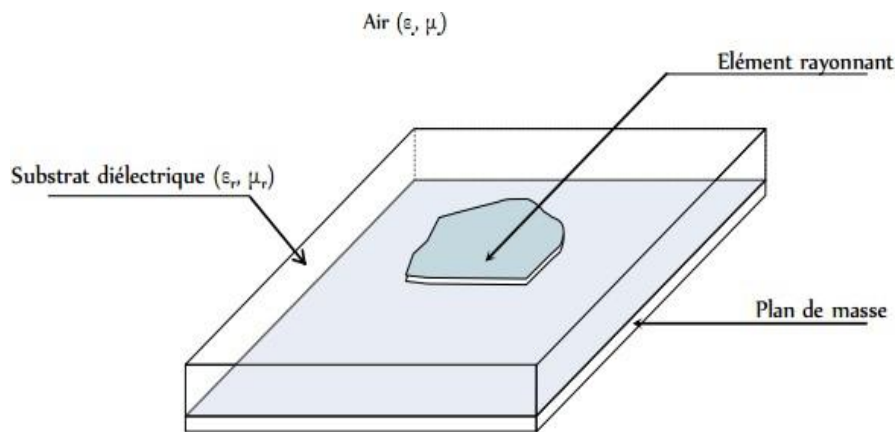
On hyperfréquence on trouve la constante diélectrique  $\epsilon_r$  et l'épaisseur  $h$  sont les deux caractéristique les plus importants par rapport aux autre paramètres, car ils influenceront directement sur l'efficacité de rayonnement et les pertes d'une antenne imprimée.

Le but d'une antenne c'est le rayonnement, donc les substrats utilisés sont de grande épaisseur et de basse permittivité ( typiquement  $\epsilon_r \ll 2.5$  ) pour avoir une grande efficacité, une large bande passante. Mais dans ce cas la perte par onde de surface augmente et l'antenne devient de plus en plus encombrante.

Au contraire, l'utilisation de minces substrats de permittivités élevées est conseillée pour les circuits micro-ondes parce qu'elle minimise les ondes de surfaces, les radiations non désirées et le volume de l'antenne [28].

En outre, avec la variété et le nombre élevé des substrats disponible sur le marché, un autre critère peut affecter le choix d'avoir un substrat optimal, est l'environnement ou le lieu d'utilisation de l'antenne. Pour le domaine de RFID un bon choix de substrat rend l'antenne plus adaptée et utile dans un environnement défavorable comme les milieux souterrains [29].

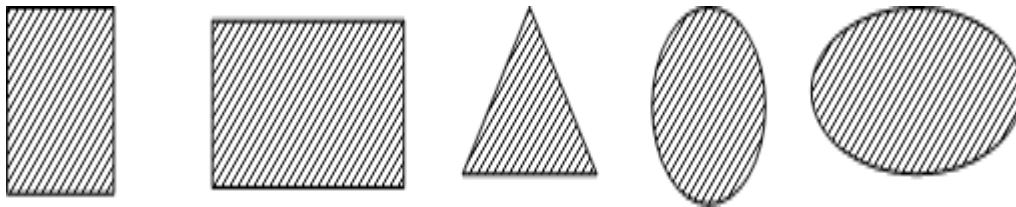
Dans sa structure de base, une antenne imprimée se compose d'une surface métallique rayonnante (patch) sur un côté du substrat diélectrique, et d'un plan de masse métallique de l'autre côté [30], comme représenté sur la (Figure II.8).



**Figure II.8 :** Géométrie d'une antenne patch de forme arbitraire.

### II.3.2.2 LES ELEMENTS RAYONNANTS

La forme du patch peut être carrée, rectangulaire, triangulaire, elliptique ou encore annulaire comme représenté sur la (Figure II.9).



**Figure II.9** Différentes formes élémentaires de patch.

Les formes carrées, rectangulaire et circulaires sont élémentaires mais les plus utilisées et de fonctionnement maîtrisé. C'est donc grâce à la forme la plus simple d'entre elles, le patch rectangulaire que nous allons tenter de démontrer la faisabilité de matériaux bas coût à former une antenne. Leurs dimensions sont inversement proportionnelles à la fréquence de résonance et de la racine carrée de la partie réelle de la permittivité relative du substrat.

Ainsi, à permittivité constante, plus la fréquence de fonctionnement de l'antenne est voulue grande, plus les dimensions sont petites. De même, à fréquence de fonctionnement constante, plus la permittivité est grande, plus les dimensions d'antennes sont petites [27].

## II.4 LA PUCE DANS LES SYSTEMES RFID

### II.4.1. LES PUCES RFID UHF

La tendance actuelle et future sur la RFID consiste à la mise en œuvre de puces UHF-RFID de petites tailles avec une grande mémoire d'utilisation et un seuil de puissance minimum, selon les spécifications de la norme EPC Class 1 Gen 2. Le marché des puces RFID-UHF est partagé par Impinj et d'autres entreprises comme NXP Semi-conducteur de Philips, Alien Technologie et Texas Instrument. Le tableau II.1 montre quelques exemples de puces RFID-UHF les plus utilisées disponibles sur le marché actuel [6].

Puce RFID	Puissance minimum de fonctionnement (dBm)	$R_c(\Omega)$ série	$C_c$ (pF) Série
AlienHiggs 4	-18.5	1500	0.85
AlienHiggs 3	-18	1500	0.85
NXP UCODE G2XM/G2XL	-15	1385	1.16
Impinj Monza 5	-17.8	1800	0.825
Impinj Monza 4	-17.4	1650	1.21

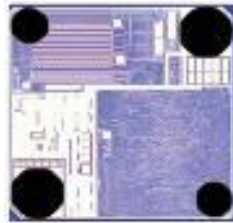
**Tableau II.1** : Exemple de puces RFID-UHF disponible dans le marché [6].

### II.4.2. DIFFERENTES TYPES DE PACKAGINGS

Les fabricants des puces RFID proposent des puces sous plusieurs types de packaging : die, boîtiers standards, Strap ou en boucle à couplage inductif. Le choix du type de packaging à utiliser va conditionner la méthode de fixation de la puce à l'antenne et par conséquent cela a une incidence directe sur le processus de mise en œuvre de l'étiquette et le coût final de fabrication [31].

#### II.4.2.1 Packaging DIE

Le packaging die est le format le plus compact d'une puce RFID fournie par un fabricant. Ces dimensions dépendent de la technologie employée, généralement inférieures à  $800\mu\text{m} \times 800\mu\text{m}$  ( $485\mu\text{m} \times 435\mu\text{m}$  pour les puces NXP semiconductor) [31].



**Figure II.10 :** Puce RFID en packaging Die.

#### II.4.2.2 Packaging en boitiers standard

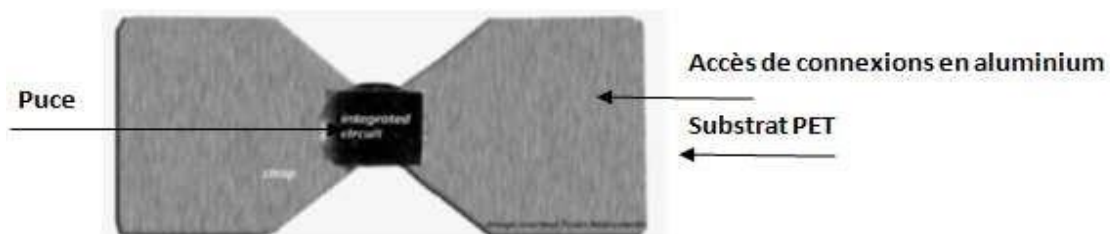
On peut également trouver des puces RFID avec différents types de packagings standards de l'électronique, tel que SOT23 et SOT866 [31].



**Figure II.11 :** Puce RFID en packaging standard de type SOT23.

#### II.4.2.3 Packaging Strap

Afin d'avoir plus de tolérance et de répondre aux cadences industrielles les puces RFID sont également disponibles sous forme de packaging Strap, où la puce est préalablement reliée à des accès en cuivre ou aluminium imprimés sur un substrat, généralement le PET (polyethylene terephthalate) [31].



**Figure II.12 :** Puce RFID en packaging Strap.

#### II.4.2.4 Boucle magnétique

Dans la perspective toujours de répondre aux cadences industrielles et avoir plus de tolérance, mais également pour faciliter l'adaptation de l'impédance de la puce à celle de l'antenne on utilise un packaging en boucle magnétique [31].



**Figure II.13 :** Puce RFID en packaging en boucle magnétique.

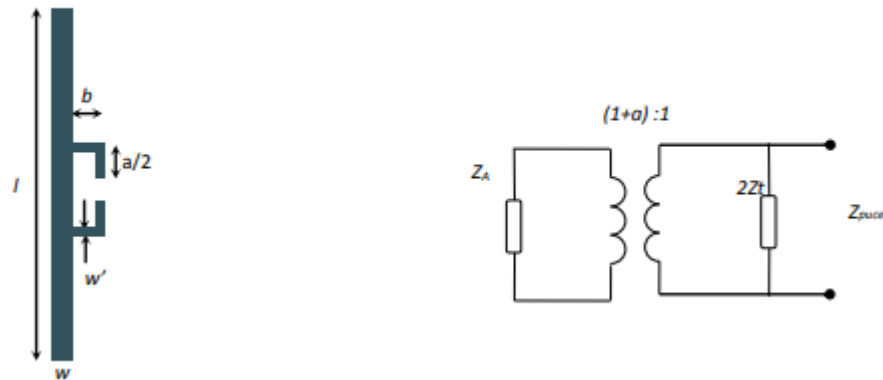
### II.5 TECHNIQUE D'ADAPTATION D'IMPEDANCE POUR LES TAGS RFID UHF PASSIF

La récupération suffisamment d'énergie pour générer une tension continue suffisante pour alimenter la puce RFID (en particulier l'unité de traitement numérique qui gère le protocole de communication) est le premier avantage de l'adaptation d'impédance entre l'antenne du tag et la puce [32].

#### II.5.1 T-MATCH STRUCTURE

La T-match est une technique d'adaptation d'impédance des antennes dipôles. Ce type d'adaptation est largement utilisé dans les Tags RFID-UHF, car il permet l'adaptation entre la puce et l'antenne de Tag à la fréquence désiré au moyen d'une structure simple et fiable, sans entraîner une augmentation importante du coût de Tag et de la taille [6].

Selon la Figure II.14, l'impédance d'entrée d'un dipôle de longueur  $l$  peut être modifiée par l'insertion d'un stub court-circuité centré [24]. L'alimentation de l'antenne sera fixée à un second dipôle attaché de longueur  $a \leq l$ , positionné à une distance  $b$ , séparant les deux dipôles. Le courant électrique est donc distribué le long des brins du dipôle principal en fonction de la taille de ses sections transversales.



**Figure II.14 :** La configuration T-Match et le circuit équivalent.

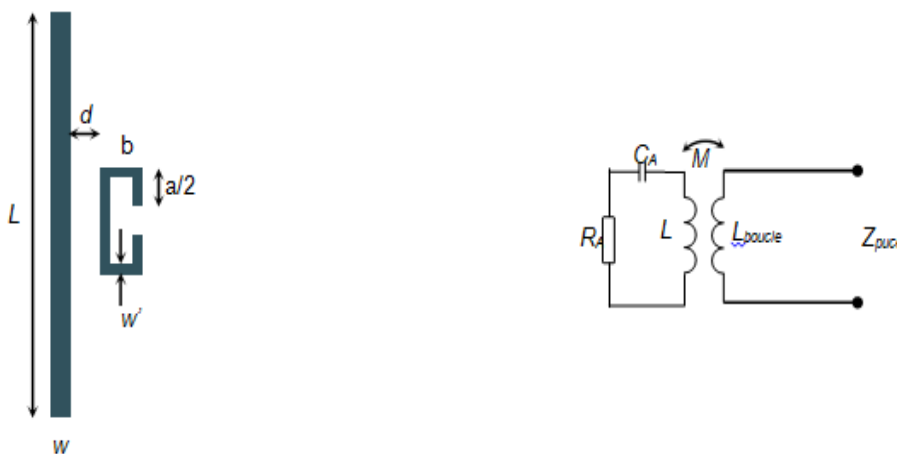
L'impédance au point d'alimentation peut être exprimée par la relation(II.26) [32] :

$$Z_{in} = \frac{2z_t(1 + a)^2z_a}{2z_t + (1 + a)^2z_a} \tag{II. 26}$$

Où  $z_t$  est l'impédance de stub et  $z_a$  l'impédance équivalente de l'antenne.

### II.5.2 ADAPTATION AVEC UNE BOUCLE A COUPLAGE INDUCTIF

Une deuxième technique mise en œuvre pour établir une adaptation antenne-puce est celle du couplage inductif. Elle consiste à exciter l'antenne par couplage dipôle à travers une petite boucle située à proximité de l'élément rayonnant [32-33] (Figure II.15) ce qui va créer un champ électromagnétique. Les bornes de la boucle sont reliées directement à la puce. Cette disposition ajoute une inductance supplémentaire à l'antenne et c'est la distance entre la boucle et le dipôle qui va affecter sa valeur.



**Figure II.15 :** La Configuration à boucle à couplage inductif et son circuit équivalent.



Le couplage inductif peut être modélisé par un transformateur, et l'impédance d'entrée vue depuis les terminaux résultant de la boucle peut être exprimée par la relation (II.27) [32]:

$$Z_{in} = Z_{boucle} + \frac{(2\pi f M)^2}{Z_a} \quad (\text{II. 27})$$

Où  $Z_{boucle}$  est l'impédance d'entrée de la boucle.

$$Z_{boucle} = 2j\pi f L_{boucle} \quad (\text{II. 28})$$

À partir de l'équation (II.29), on constate que la résistance de l'impédance de l'antenne ne dépend que du coefficient de couplage ( $M$ ) entre l'élément rayonnant et la boucle de réaction.

$$R_{in}(f_0) = \frac{(2\pi f_0 M)^2}{R_a(f_0)} \quad (\text{II. 29})$$

D'après l'équation (II.30), la partie réactive ne dépend que de l'inductance propre de la boucle.

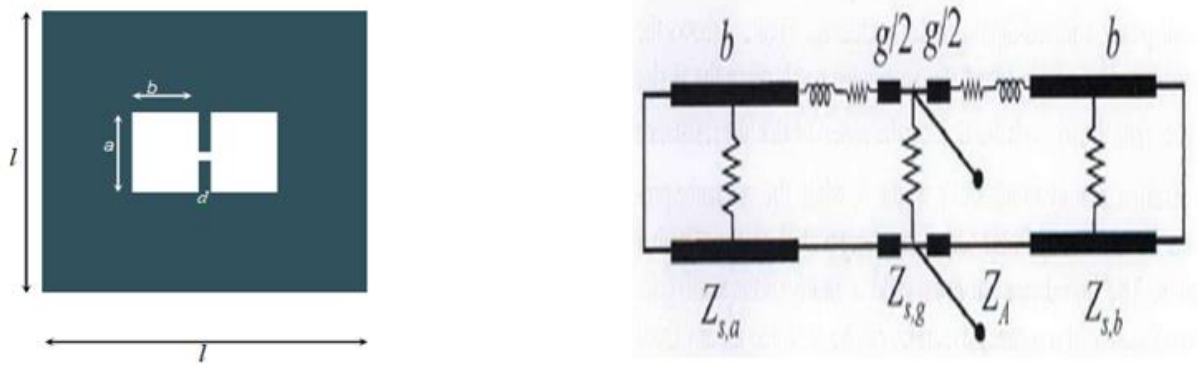
$$X_{in}(f_0) = 2\pi f_0 L_{boucle} \quad (\text{II. 30})$$

### II.5.3 ADAPTATION PAR FENTE (ENCOCHE)

Une autre technique qui permet d'atteindre une adaptation antenne-puce consiste à insérer une ou plusieurs fentes dans la géométrie de l'antenne. Ceci permet de rajouter un effet réactif inductif [32]. Cette technique est largement exploitée parce qu'elle permet l'adaptation même si l'étiquette est attachée à un substrat de haute permittivité. La forme de fente compte énormément car elle se considère comme un transformateur d'impédance ligne fente, où chaque discontinuité fournit le stockage d'énergie et le rayonnement [24].

Les tailles des fentes peuvent être comparables à la surface du patch, pour que les caractéristiques de rayonnement soient liées aux deux objets (patch, fentes). Autrement dit, le gain maximal de l'antenne est fixé principalement par la côte du patch  $l$ , tandis que le réglage d'impédance peut être modifiée en agissant sur les dimensions de la fente  $a$  et  $b$ . Par conséquent, l'antenne se comporte généralement soit comme une fente H [32], qui est un dipôle à large bande, soit comme un dipôle doublement plié, appelé aussi « Nested Antenna » [32].

La figure II.16 représente la Configuration par fente et son circuit équivalent [32].



**Figure II.16 :** La Configuration par fente et son circuit équivalent.

## II.6 ETAT DE L'ART SUR LES ANTENNES RFID

L'utilisation des fractales dans la technologie d'antenne est très récente, Nous parlerons de quelques conceptions réalisées par certains spécialistes dans certains articles.

Abubakar Sharif et Al en novembre 2019 proposent une antenne d'étiquette RFID portable à faible coût, à profil bas et à large bande [34]. Les effets sur le corps humain sont atténués en utilisant des bandes parallèles et une structure fractale Hilbert de premier ordre. Le tag couvre toute la bande RFID UHF allant de 860 à 960 MHz, lorsqu'il est attaché au corps humain. Cette étiquette fonctionne également bien après le montage d'une plaque de chargement en bout avec une plaque métallique de 100x100 mm<sup>2</sup>. De plus, cette étiquette offre une portée de lecture de 5,5 m et 8,5 lorsqu'elle est fixée au corps humain et à la plaque métallique, respectivement.

Une autre conception, qui se traduit par une nouvelle antenne fractale bi-bande compacte adaptée aux applications d'identification par radiofréquence (RFID) et GSM 1800 est développée et présentée par k.Djafri et Al en mars 2018 [35]. Ceci est réalisé par une combinaison adéquate de trois anneaux fractals hexagonaux fendus qui ont abouti à une structure de taille considérablement réduite qui peut fonctionner dans les gammes de fréquences [0,895-0,962 GHz] et [1,706-1,856 GHz] qui couvrent les bandes de fréquences attribuées aux applications prévues. De plus, l'antenne proposée présente une réduction de taille significative (53%) par rapport à la structure bi-bande triangulaire avec une taille globale de 61x41x1,6 mm<sup>3</sup>. L'antenne proposée est prototypée et testée et un bon accord est observé entre les coefficients de réflexions simulés et mesurés.

**II.7 CONCLUSION**

Les antennes sont des éléments essentiels pour établir la communication entre l'étiquette et le lecteur, elles ont des propriétés et des caractéristiques, selon lesquelles elles sont valorisées. Plusieurs techniques existent pour les réaliser. Alors, pour assurer un bon fonctionnement, il faut choisir celle la plus adaptée à l'application envisagée. Le chapitre suivant concerne la conception et simulation d'antennes pour système RFID.

**CHAPITRE III:  
CONCEPTION ET  
SIMULATION  
D'ANTENNES POUR  
SYSTEME RFID**

### **III.1 INTRODUCTION**

Les antennes sont exploitées dans plusieurs domaines grâce à sa facilité d'adaptation aux diverses situations, notamment dans la RFID. Les tags RFID nécessitent certaines exigences par rapport aux antennes utilisées, en effet la taille des tags est souvent miniature d'où la nécessité d'utiliser des antennes adaptées ayant des petites dimensions.

L'objectif de ce chapitre est d'analyser des structures d'antennes dipôles imprimées associées à des tags RFID, en utilisant le logiciel CST MICROWAVE STUDIO (Computer Simulation Technologie) [36].

Dans cette partie nous allons présenter deux structures d'antennes dipôles à base des motifs fractals conçues et simulées sous l'environnement CST, et à la fin, nous procéderons à la vérification de nos résultats en réalisant une des antennes que nous avons étudiées. En général, pour obtenir la fréquence de fonctionnement souhaitée, on fait changer certains paramètres de l'antenne pour répondre aux exigences de l'application. Les concepteurs d'antennes commencent par une structure simple en calculant les dimensions sur la base de formules empiriques à savoir, l'impédance d'entrée de l'antenne, la bande passante, le gain, etc....

### **III.2 LA METHODOLOGIE DE CONCEPTION D'ANTENNES DE TAGS RFID PASSIFS**

La conception d'antenne de tag RFID UHF passif nécessite de mettre en œuvre une méthodologie de développement dont l'organigramme est présenté dans la figure III.1. [37].

La conception de ces antennes nécessite dans un premier temps de la sélection des applications RFID. Ensuite, les exigences et contraintes du système seront mises en correspondance avec les exigences de l'étiquette. Par la suite, l'étiquette sera conçue le plus, souvent à l'aide de logiciel de simulation électromagnétique 3D afin d'optimiser les performances comme la distance de lecture, le gain, l'impédance de l'antenne...

Enfin, Une fois que la conception est terminée, nous passons à l'étape de réalisation de nos prototypes d'antennes, puis la mesure du coefficient de réflexion ( $S_{11}$ ) par l'analyseur de réseaux vectoriel (VNA) sera effectuée pour s'assurer si la conception satisfait aux besoins de l'application. Si c'était le cas, le processus de conception sera réussi. Dans le cas contraire,

il faut continuer à adapter et à optimiser l'antenne jusqu'à ce que les exigences soient satisfaites.

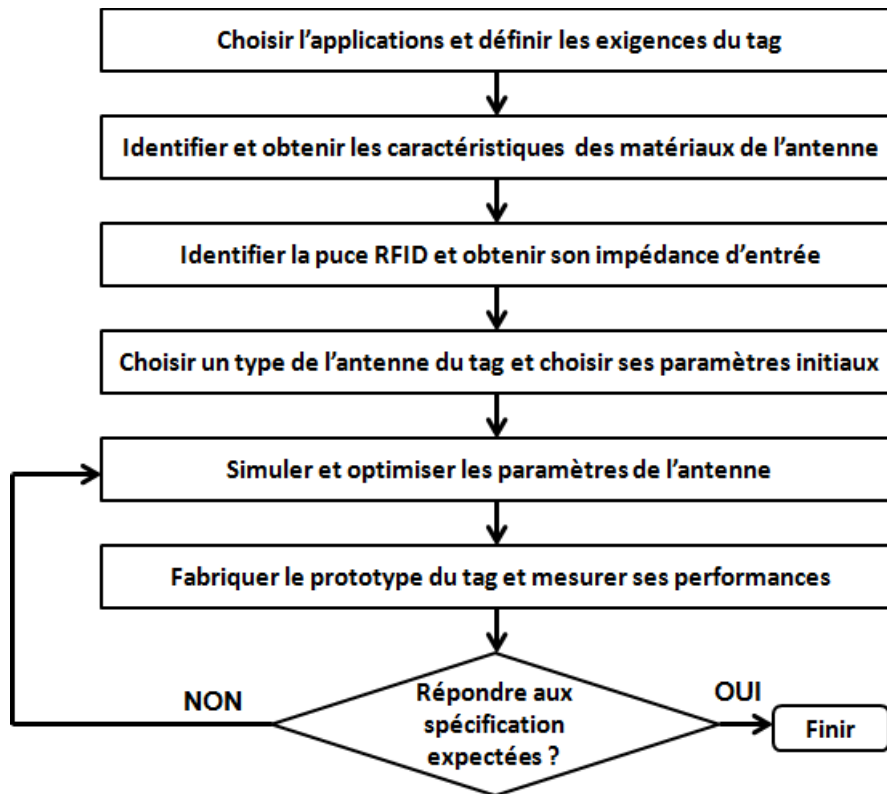


Figure III.1 : Méthodologie de conception d'antennes de tags RFID passifs.

### III.3 ANTENNE DIPOLE FRACTALE RFID ADAPTEE A 50 $\Omega$

#### III.3.1 FRACTALE DE HILBERT

##### III.3.1.1 ITERATIONS DEUX [38,39]

Il existe de nombreux types de formes fractales qui ont été proposées après leur formulation, ainsi que des formes géométriques ont été créées en motifs répétitifs, la courbe de Hilbert a été proposée en 1891 [38-39].

La Figure III.2 illustre la structure de configuration d'antenne courbe de Hilbert.  $D$ ,  $d$  et  $b$  sont respectivement la largeur de l'antenne, le segment ou l'espace fractal et la largeur de la ligne d'antenne.



a) structure de première itération.

b) structure de deuxième itération.

Figure III.2 : Géométrie de Hilbert à l'itération deux.

### III.3.1.2 ANTENNE BI-BANDE (2.45 & 5.8GHz)

La géométrie de cette antenne est caractérisée par un patch rayonnant sous forme d'un dipôle, dont chaque pôle représente une forme fractale de Hilbert à l'itération 2. Le patch est déposée sur un substrat de type FR4 de permittivité de  $\xi_r = 4.3$ , d'une hauteur de  $h=1.5$  mm et un cuivre d'épaisseur  $t=0.035$  mm pour l'élément rayonnant et un plan de masse complet. Cette antenne bi-bande est destinée à fonctionner à la fréquence 2.45 GHz et 5.8 GHz normalisée pour les applications RFID.

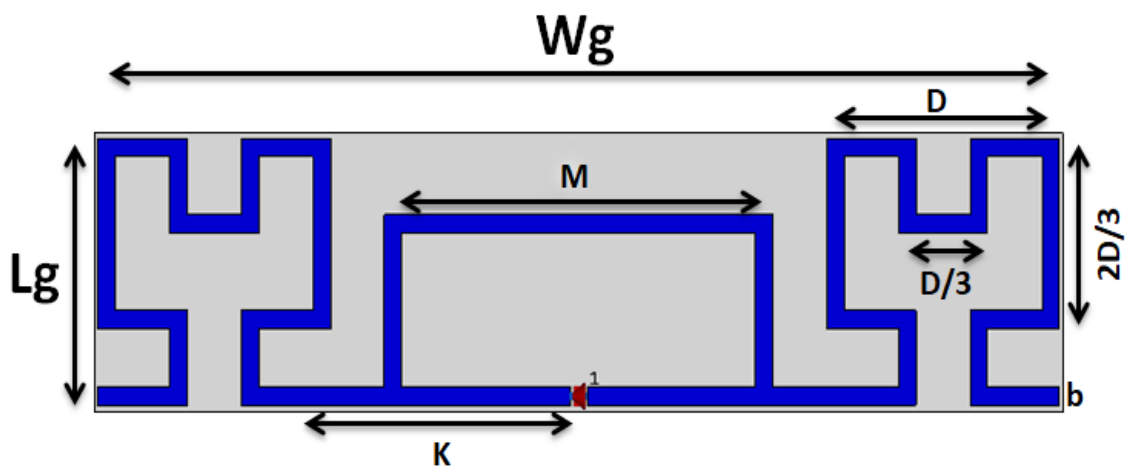


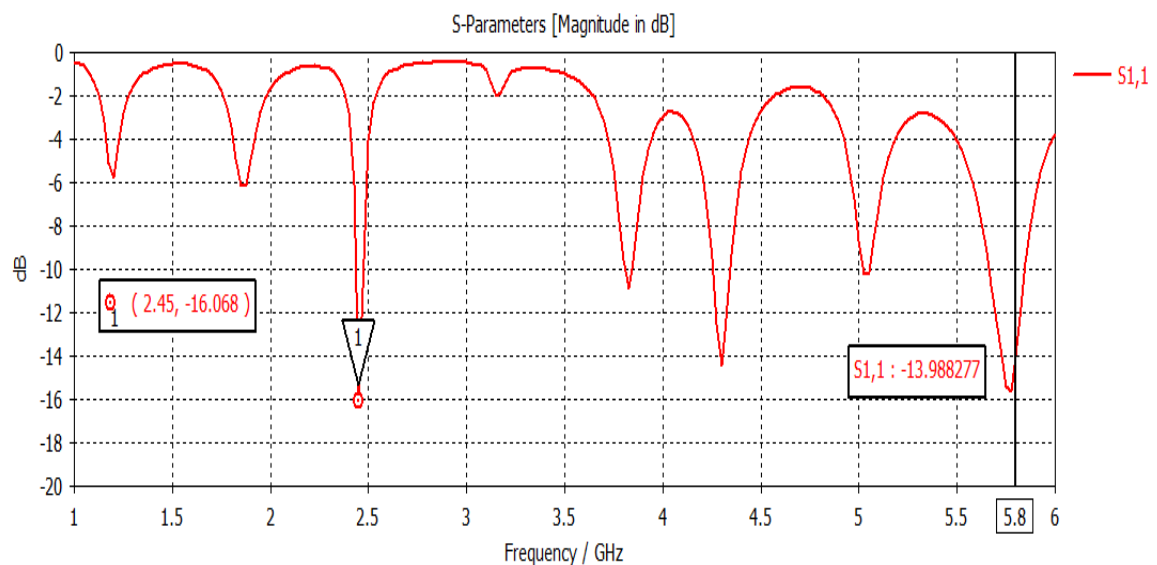
Figure III.3 : Structure de l'antenne dipôle fractale à l'itération 2.

Tableau III.1 résume et récapitule toutes les dimensions optimisées de cette antenne.

Paramètres	Wg	Lg	D	2D/3	D/3	K	M	b
Valeur (mm)	84	23	21.6	14.4	7.2	20.7	33.6	1.5

**Tableau III.1** : Dimensions optimisées de l'antenne dipôle fractale Bi-Bande.

Le coefficient de réflexion de l'antenne dipôle fractale bi-bande ayant les dimensions théoriques du tableau III.1 est illustré sur la figure III.4.

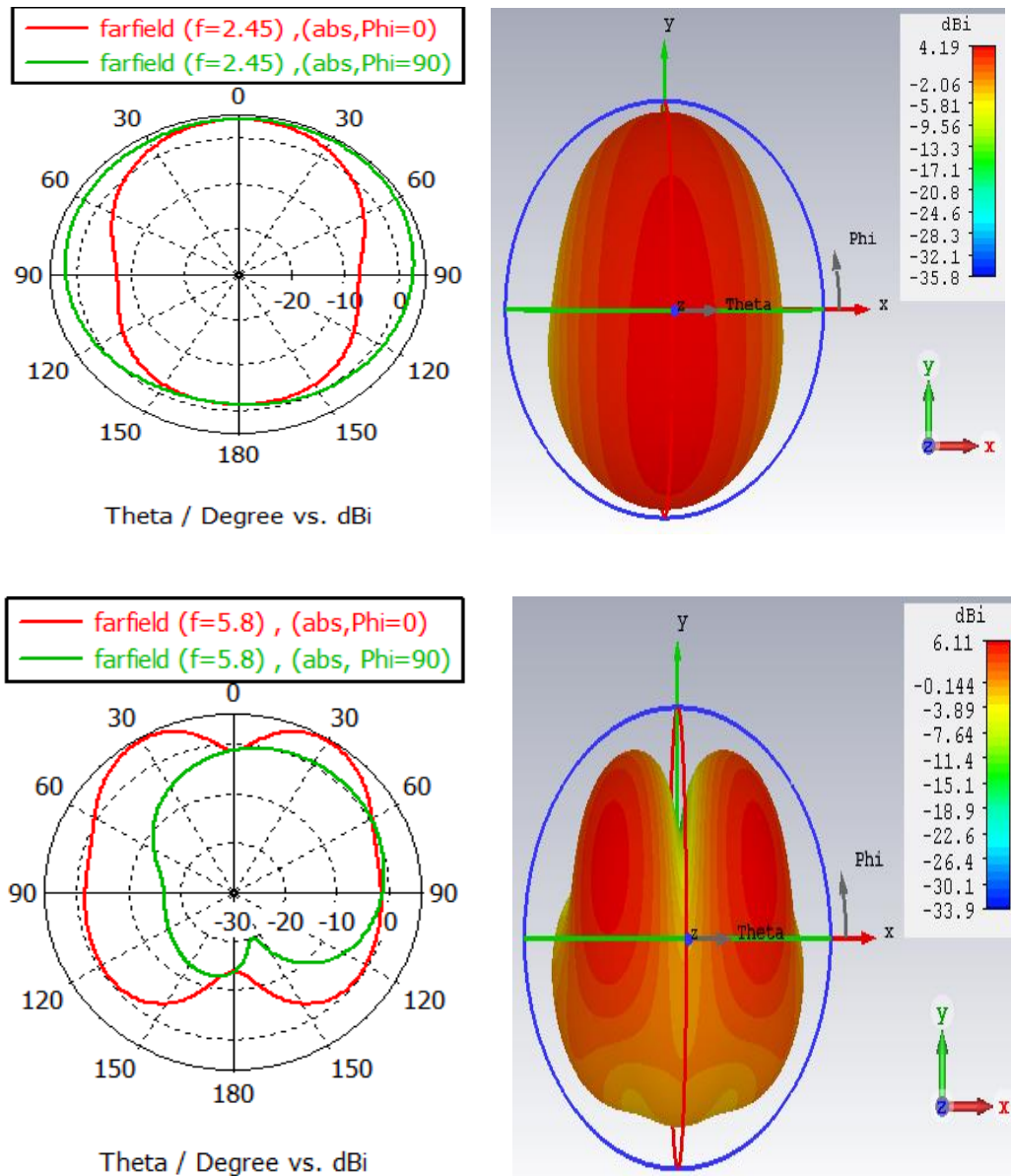


**Figure III.4** : Coefficient de réflexion de l'antenne dipôle fractale bi-bande (2.45 & 5.8 GHz).

De la figure III.4 qui représente le coefficient de réflexion en fonction de fréquence, on peut tirer la remarque sur le caractère multi-bande de l'antenne, parmi ces bandes on trouve deux bandes de fréquences du système RFID. La première fréquence 2.45 GHz avec une adaptation de -16.068 dB, et la seconde fréquence 5.8 GHz avec une adaptation de -13.98dB.

Les diagrammes de rayonnement sont montrés sur la figure III.5.





**Figure III.5:** Diagramme de rayonnement 2D&3D dans les deux fréquences 2.45 GHz et 5.8 GHz de l'antenne dipôle fractale bi-bande.

La figure III.5 présente les diagrammes de rayonnement de l'antenne dipôle fractale bi-bande dans les deux fréquences de résonances, nous représentons ces rayonnement en système de coordonnées polaire sur les deux plans principaux (plan E «  $\Phi=0$  » et plan H «  $\Phi=90$  ») ainsi qu'une représentation en 3D. Elle présente des diagrammes bidirectionnels sur l'un des deux plans principaux et omnidirectionnels sur l'autre avec une directivité de 4.19 dBi et 6.11 dBi aux fréquences 2.45GHz et 5.8GHz respectivement.

### III.3.1.3 ITERATIONS TROIS

L'application du fractale sur les antennes vous donne toujours l'envie d'aller en avant dans les itérations pour voir qu'est ce qu'il apporte comme performance dans leurs caractéristiques. La troisième itération de Hilbert est bien illustrée sur la Figure III.6 avec les paramètres  $D$ ,  $d$  et  $b$  qui représentent respectivement la largeur de l'antenne, le segment ou l'espacement fractal et la largeur de la ligne d'antenne.

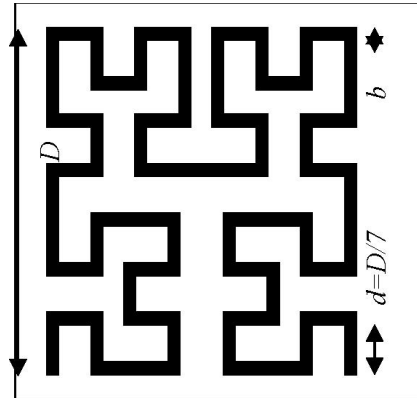


Figure III.6 : Structure de troisième itération de Hilbert.

### III.3.1.4 ANTENNE MONOBANDE (2.45GHz)

La géométrie de cette antenne est caractérisée par un élément rayonnant sous forme d'un dipôle, dont chaque pôle représente une forme fractale de Hilbert à l'itération 3. Cette antenne mono-bande est destinée à fonctionner à la fréquence 2.45 GHz normalisée pour les applications RFID. Elle est déposée sur un substrat de type FR4 de permittivité de  $\xi_r = 4.3$ , d'une hauteur de  $h = 1.5\text{mm}$  et un cuivre d'épaisseur  $t = 0.035\text{ mm}$  pour l'élément rayonnant et un plan de masse complet.

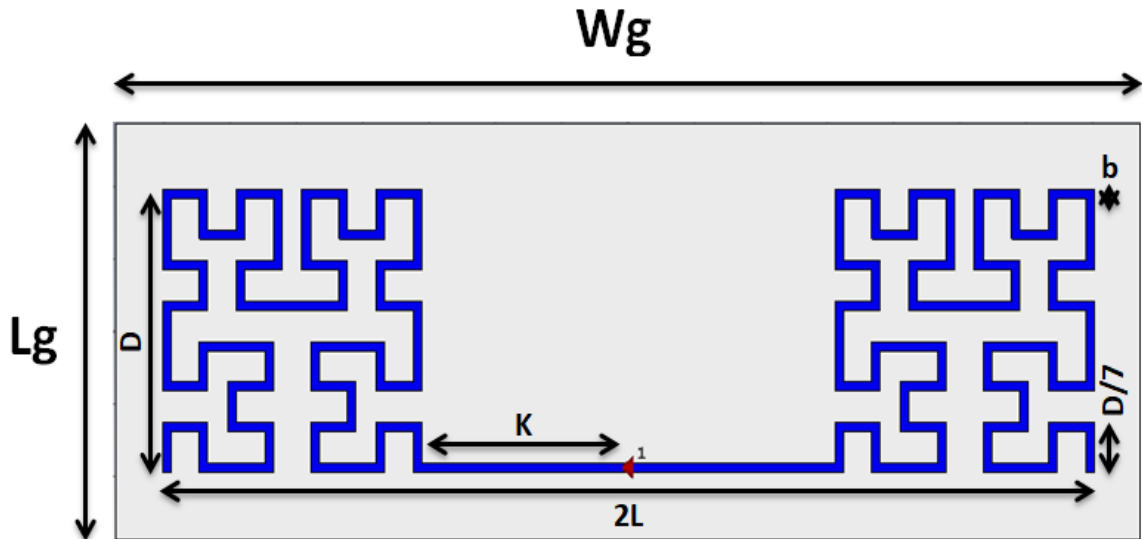


Figure III.7 : Structure de l'antenne dipôle fractale à l'itération 3.

Le Tableau III.2 résumées et récapitulées toutes les dimensions optimisées de cette antenne.

Paramètres	Wg	Lg	D	2L	D/7	K	b
Valeur (mm)	77	29	20	70	2.86	15	0.6

Tableau III.2 : Dimensions optimisées de l'antenne dipôle fractale Mono-Bande.

Le coefficient de réflexion de l'antenne dipôle fractale mono-bande ayant les dimensions théoriques du tableau III.2 est montré sur la figure III.8.

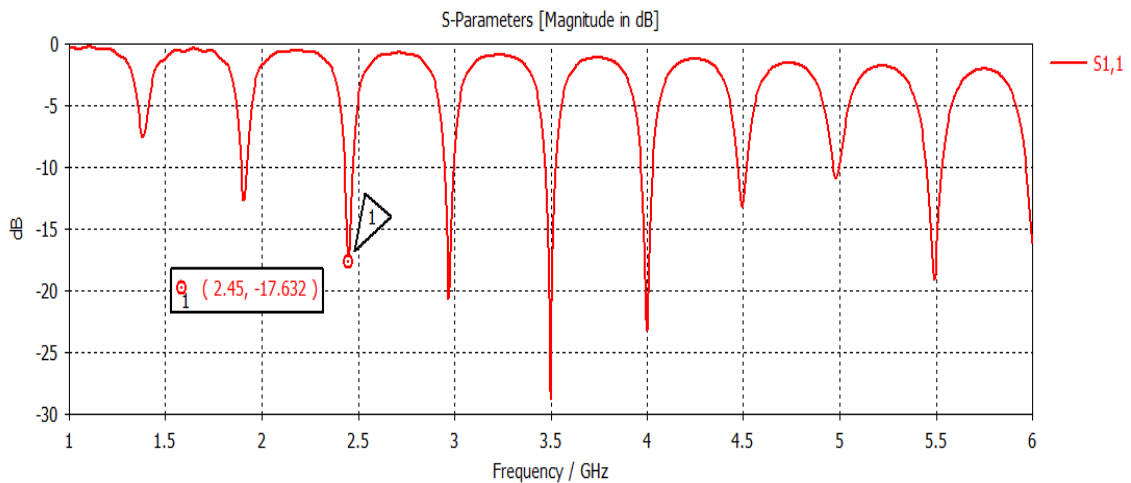
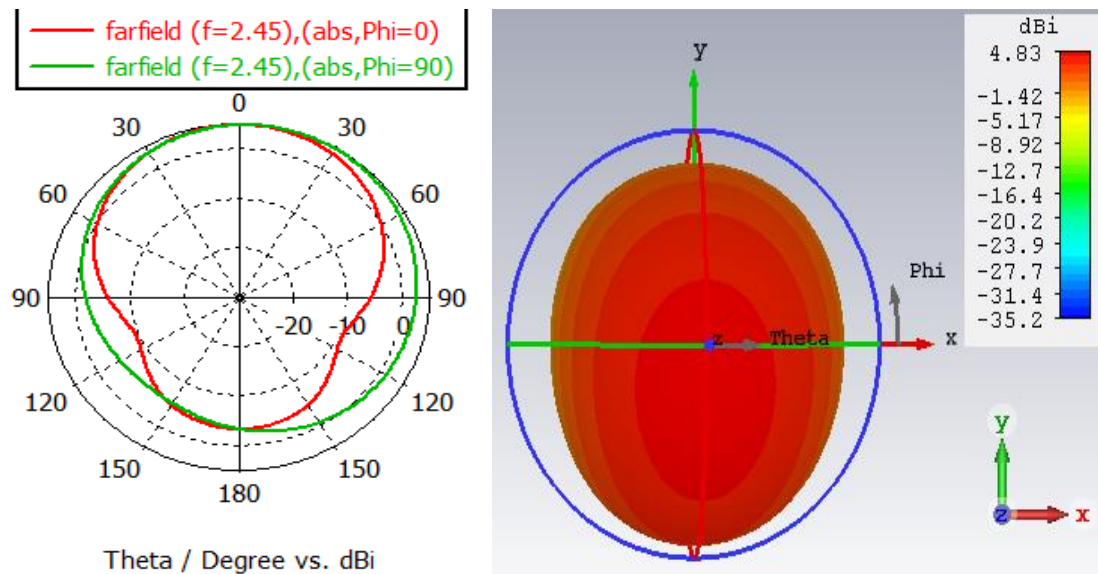


Figure III.8 : Coefficient de réflexion de l'antenne dipôle fractale mono-bande (2.45 GHz).

## Chapitre III Conception et simulation d'antennes pour système RFID

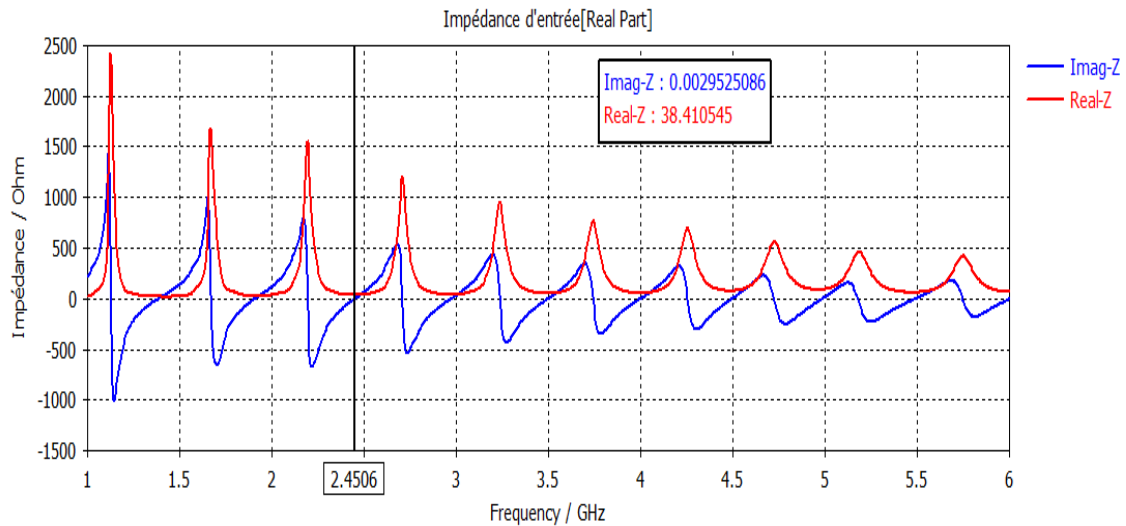
De la figure III.8 qui représente le coefficient de réflexion en fonction de la fréquence, on peut tirer la remarque que le comportement multi-bande est présent, pratiquement il y a 9 bandes dans un intervalle de [1GHz à 6 GHz]. La bande de fréquence qui nous intéresse ici c'est bien la bande de 2.45 GHz du système RFID qui donne une adaptation d'environ -17.63 dB.

Le diagramme de rayonnement est montré sur la figure III.9



**Figure III.9 :** Diagrammes de rayonnement de l'antenne dipôle fractale mono-bande à la fréquence 2.45 GHz.

La Figure III.9 représente le diagramme de rayonnement de l'antenne dipôle fractale mono-bande à la fréquence de résonance 2.45 GHz. le rayonnement est représenté dans le système de coordonnées polaire sur les deux plans principaux (plan E « Phi=0 » et plan H « Phi=90 »), ainsi qu'une représentation en 3D. Nous pouvons dire que l'antenne présente un rayonnement bidirectionnel sur l'un des deux plans principaux avec une directivité de 4.83 dBi.



**Figure III.10** : Impédance d'entrée de l'antenne dipôle fractale mono-bande (2.45Ghz).

La figure III.10 représente la variation de l'impédance d'entrée en fonction de la fréquence pour l'antenne dipôle fractale mono-bande. Cette dernière donne à la fréquence 2.45 GHz une impédance d'entrée purement réelle autour de 40 Ohm, ce qui implique que c'est une fréquence de résonance.

### III. 4 REALISATION

Après avoir simulé nos antennes dans l'environnement CST et étudié leurs propriétés électriques et de rayonnement, nous avons voulu vérifier et valider nos résultats par des mesures, par lesquelles nous nous sommes attachés à mettre en œuvre les antennes dipôles fractales étudiées, pour cela on a procédé à la réalisation de l'antenne dipôle fractale mono-bande.

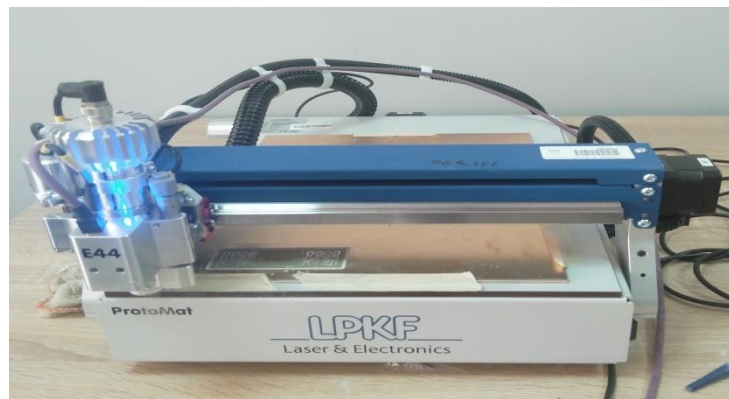
La réalisation de la structure a été réalisée au Laboratoire des Circuits Imprimés de notre Département d'Electronique et de Télécommunications (Université 8 mai 1945). Pour ce faire, nous allons vous présenter l'outil de production, qui est une machine ProtoMat E44 fournie par un logiciel appelé Circuit Pro.

#### III. 4.1 DESCRIPTION DU MATERIEL

Le système de fraisage rapide de PCB LPKF ProtoMat E44 est une introduction à faible coût au monde du prototypage professionnel de cartes de circuits imprimés en interne. Le LPKF ProtoMat E44 fournit un moteur à broche variable jusqu'à 40 000 tr/min pour des bords en cuivre propres. La vitesse de déplacement maximale est de 100 mm par seconde et un

## Chapitre III Conception et simulation d'antennes pour système RFID

changement d'outil manuel rapide permet des opérations simples. Le contrôle de la profondeur de coupe est maintenu même avec des variations dans l'épaisseur du substrat PCB avec le pied limiteur de profondeur à réglage automatique inclus. Le réglage précis de la profondeur de coupe est également possible avec la vis micrométrique incluse. Avec une résolution mécanique inférieure à  $1\ \mu\text{m}$ , une précision de répétition de  $\pm 5\ \mu\text{m}$  et une précision de  $\pm 20\ \mu\text{m}$  pour l'alignement double face, ces traceurs de cartes de circuit ProtoMat compacts permettent un fraisage rapide de prototypes de PCB avec des traces aussi petites que  $4\ \mu\text{m}$  ( $0,1\ \text{mm}$ ) et espacement de  $6\ \mu\text{m}$  ( $0,15\ \text{mm}$ ) ou plus [40].



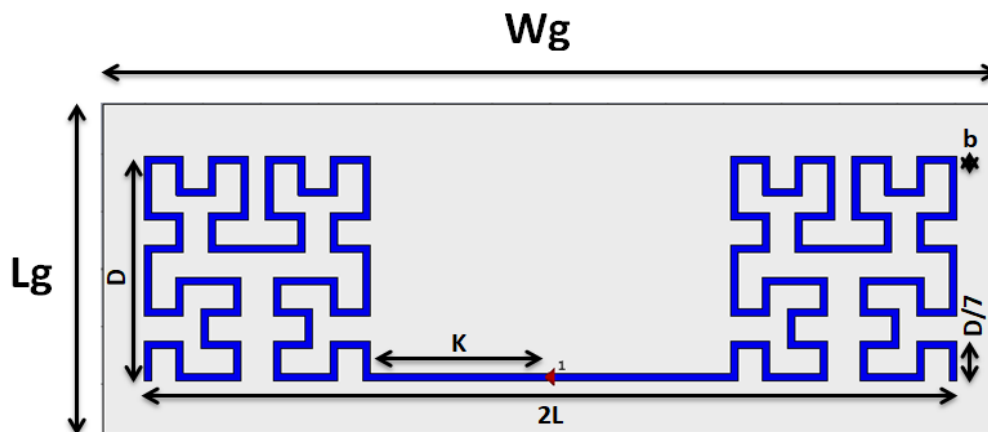
**Figure III.11:** La machine ProtoMat E44.

Le logiciel LPKF CircuitPro est inclus avec des assistants de guide de traitement faciles à suivre et une interface graphique mise à jour. Cela simplifie le processus d'obtention d'une conception complète, la machine invitant l'opérateur à chaque étape de fraisage, de perçage et de coupe. Pas à pas, le cadre du projet est créé [40].

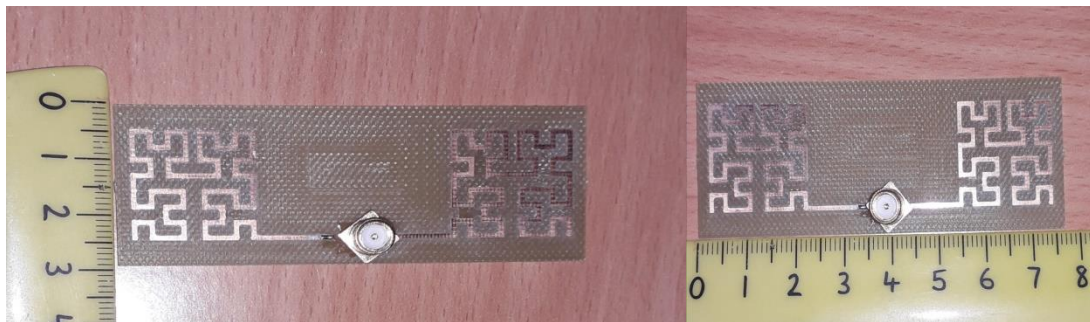
### III. 4.2 LE MODELE REALISÉ

Notre antenne dipôle fractale mono-bande est réalisée en utilisant le FR4 de permittivité relative  $\epsilon_r = 4.3$  et d'épaisseur  $h=1.5\text{mm}$  pour le substrat et le cuivre d'épaisseur  $t=0.035\ \text{mm}$  pour l'élément rayonnant.

### Antenne dipôle fractale mono-bande <<optimisée>>



(a)

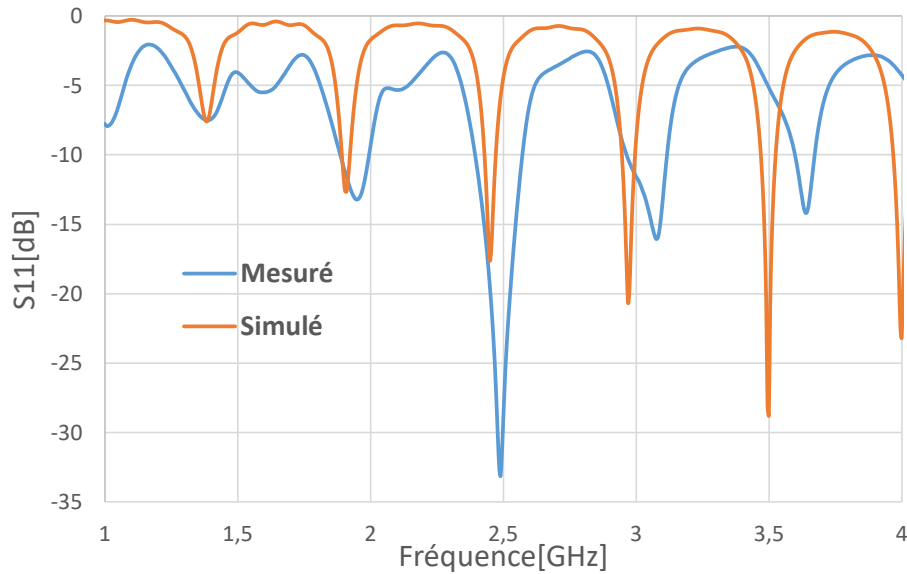


(b)

**Figure III.12:** (a) antenne dipôle fractale mono-bande simulée, (b) antenne dipôle fractale mono-bande réalisée.

### III. 4.3 MESURES EXPERIMENTALES

Les mesures sont effectuées par un analyseur de réseau vectoriel (Rohde & Schwarz R & S® ZNB20 Vector Network Analyzer) de 100 KHz à 20 GHz fréquence limite de l'analyseur.



**Figure III.13:** Coefficient de réflexion simulé et mesuré de l'antenne dipôle fractale mono-bande (2.45 GHz).

Les résultats de mesures obtenues sont très bien, on peut noter que la courbe du  $S_{11}$  mesuré est très proche de la courbe du  $S_{11}$  simulé et plus précisément autour de la fréquence de résonance 2.45 GHz. Hors cette bande il y'a un petit décalage qui revient aux gaps d'air entre la soudure et le connecteur SMA.

### III.5 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons simulé et analysé deux structures d'antennes dipôles à motif fractale sur le patch rayonnant associées à des tags RFID par le logiciel CST.

Nous avons abordé une grande famille d'antenne mise en œuvre dans les systèmes RFID passifs : les dipôles. Ces antennes ont été illustrées par différents exemples, Les différentes étapes de conception et de simulation de ces antennes ont été présentées en détail. Nous avons suivi ces étapes afin de faire notre nouvelle structure avec ses nouveaux paramètres. L'optimisation est faite dans le but d'obtenir des bons résultats, une adaptation entre l'antenne et la puce dans le cas où on a un tag avec puce, nous avons aussi présenté les résultats de simulation de toutes les antennes conçues dans le but de montrer l'effet des différents paramètres géométriques et physique.



### **Chapitre III Conception et simulation d'antennes pour système RFID**

---

Une fois notre modèle est optimisé, Nous avons opté à l'étape de réalisation avec la machine à gravure mécanique LPKF ProtoMat E44, Les mesures effectués par l'analyseur de réseaux vectoriel (VNA), ont montrés un bon accord avec les résultats trouvées par simulation en terme de coefficient de réflexion, et plus précisément autour de la fréquence de résonance 2.45 GHz du système RFID.

**CONCLUSION  
GENERALE**

## Conclusion Générale

---

L'identification par radiofréquence (RFID) est une technologie qui est de plus en plus intégrés dans de nombreux aspects de la vie quotidienne. Dans ce travail de projet de fin d'études, nous avons dimensionné, simulé, réalisé deux antennes bipolaires à base des motifs fractales pour Tag RFID UHF et SHF.

Nous avons abordé une grande famille d'antenne mise en œuvre dans les systèmes RFID passifs : les dipôles. Ces antennes ont été illustrées par différents exemples, Les différentes étapes de conception et de simulation de ces antennes ont été présentées en détail. Nous avons suivi ces étapes afin de faire notre nouvelle structure avec ses nouveaux paramètres. L'optimisation est faite dans le but d'obtenir des bons résultats, une adaptation entre l'antenne et la puce dans le cas où on a un tag avec puce, nous avons aussi présenté les résultats de simulation de toutes les antennes conçues dans le but de montrer l'effet des différents paramètres géométriques et physique.

Une fois notre modèle est optimisé, Nous avons opté à l'étape de réalisation avec la machine à gravure mécanique LPKF ProtoMat E44, Les mesures effectués par l'analyseur de réseaux vectoriel (VNA), ont montrés un bon accord avec les résultats trouvées par simulation en terme de coefficient de réflexion, et plus précisément autour de la fréquence de résonance 2.45 GHz du système RFID.

# **REFERENCES**

## Références

---

- [1] **Cangialosi, A., Monaly, J., S.C., Yang:** Leveraging RFID in hospitals: patient life cycle and mobility perspectives. *IEEE Commun. Mag.* 45(9), 18–23 (2007).
- [2] **Abadlia Baghdad, Louiza; Benouda, Nassima,** Identification par radiofréquence (RFID), Mémoire de Master, université Abdelhamid Ibn Badis – Mostaganem, 2018
- [3] **U. Karthaus,** «Fully Integrated Passive UHF RFID Transponder IC With 16.7 mW Minimum RF Input Power,» *IEEE Journal Of Solid-State Circuits*, vol. 38, pp. 1602- 1608, October 2005.
- [4] **F. Klaus,** *RFID Handbook Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field, Communication*, USA: John Wiley & Sons, 2010.
- [5] **Anthony Ghiotto,** « Conception D’antenne De Tag RFID UHF, Application a réalisation par jet de matière », thèse de doctorat, Institut Polytechnique de Grenoble, novembre 2008.
- [6] **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.
- [7] **Hai Liu, Miodrag Bolic, Amiya Nayak, and Ivan Stojmenovi,** Integration of RFID and wireless sensor networks. *Encyclopedia On Ad Hoc And Ubiquitous Computing : Theory and Design of Wireless Ad HOC Sensor, and Mesh Networks*, pages 319–348, 2010.
- [8] **Pattabhiraman Krishna and D Husalc,** RFID infrastructure.*IEEE Communications Magazine*, 45(9), 2007.
- [9] **Daniel Dobkin,** “RF in RFID: Passive RFID UHF in Practice”, Newnes, 2008.
- [10] **Klaus Finkenzeller,** « RFID Handbook: fundamentals and applications in contactless Smart Cards and Identification », John Wiley, Inc, New York, 2003.
- [11] **A Ruhanen, M Hanhikorpi, F Bertuccelli, A Colonna, W Malik, D Ranasinghe, S L Tomas, N Yan, and M Tavailampi.** Sensor-enabled RFID tag handbook. Technical Report MSU- CSE-00-2, Building Radio frequency Identification for the Global Environment Project, 2008.
- [12] **Stevan Preradovic,** “ Chipless RFID System for Barcode Replacement”.
- [13] **D. PARET,** RFID en ultra et Super hautes fréquences : UHF-SHF.
- [14] **Judith M. Myerson,** « RFID in the Supply Chain: A Guide to Selection and Implementation ».
- [15] <http://www.iso.org/iso/fr/home.html> visité le 10/04/2022.
- [16] **Y. Han, H. Min.** System modelling and simulation of RFID, 2009.

## Références

---

- [17] **Jean-Ferdinand Susini Hervé Chabanne, Pascal Urien.** RFID et l'internet des choses. Hermes Science Publications, 2010.
- [18] **R.Vauche,** «A Remotely UHF Powered UWB Transmitter For High Precision Localization Of RFID Tag, » IEEE Journal Of Solid-State Circuits, vol. 40, pp. 1193- 2202, November 2005.
- [19] **Y. BACHOTI et B.BELHAJ SENDAGUE, JG.RODRIGUES OLIVEIRA,** “ projet RFID “, TELCOM SUD PARIS, 25 janvier, 2011.
- [20] **G I. McKerricher, J S. Wight,** “Design of a Shaped Beam RFID Reader Antenna”, 2010 14th International Symposium on Antenna Technology and Applied Electromagnetics [ANTEM] and the American Electromagnetics Conference [AMEREM], Ottawa Canada, 2010.
- [21] **C. Jari-Pascal,** «Analysis and Optimization of Passive UHF RFID Systems,» Thèse de Doctorat, Lausanne, EPFL, 2006.
- [22] **Epcglobal France** « L'identification Par Radio Fréquence Principe Et Applications », Version 4.01, Mars 2004.
- [23] **CHAE, YOSHIDA** T.Application of RFID technology to prevention of collision accident with heavy equipemnt.Elsevier, 2009.
- [24] **C. A. Balanis,** "Antenna Theory: Analysis and Design", John Wiley & Sons, second edition, 1997.
- [25] **Des Auteurs spécialisés Ooreka,** Antenne RFID, Ooreka.
- [26] **Dipole|RFID,** Antennes RFID, <https://www.dipolerfid.fr/Antennes-RFID>, visité le 06/05/2022.
- [27] **Delphine Béchevet.** «Contribution au développement de tag RFID UHF et Microondes sur matériaux plastiques». Autre. Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG, 2005.
- [28] **D. M. Pozar,** “Microstrip Antennas,” Proc.Ieee, Vol. 80, No. 1, Pp. 79-80, January 1992.
- [29] **M.B.Eunni,** A Novel Planar Microstrip Antenna Design for UHF RFID, Thesis May 2004.
- [30] **Ziani Kerarti Djalal,** « Etude et conception d'antennes ultra large bande », Mémoire de Magister, université de Tlemcen, 2011.
- [31] **KAMEL GUERCHOUCHE** «Conception et réalisation d'antennes RFID UHF compactes large bande pour l'électronique ubiquitaire : application au domaine verrier», thèse de doctorat, Ecole Doctorale Sciences Pour L'ingénieur, 2016.

## Références

---

- [32] **G. Marrocco**, “The art of UHF RFID antenna design: impedance-matching and size reduction techniques,” IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 50, no.1, pp.66-79, 2008.
- [33] **W.xunxun**, Design of Passive UHF RFID Tag Antennas and Industry Application, ITB/Electronics, August, 2010.
- [34] **Abubakar Sharif et al.**, “Wearable UHF RFID Tag Antenna Design using Hilbert Fractal Structure”. 2019 UK/ China Emerging Technologies (UCET).
- [35] **k.Djafri et al.**, “Compact dual-band fractal hexagonal ring monopole antenna for RFID and GSM applications”. Microwave Opt Technol Lett. 2018; 1–4.
- [36] **C. A. Balanis**, Antenna Theory, Third Edition, Wiley, 2005.
- [37] **Dat Son Nguyen**, Développement des capteurs sans fil basés sur les tags RFID UHF passifs pour la détection de la qualité des aliments, 2013.
- [38] **Kerboub Marwen, Menidjel Karim**, Simulation et réalisations des antennes imprimées pour des applications RFID- UHF, Mémoire de Master, université 8Mai 1945 – Guelma, 2021.
- [39] **Mandelbrot, B.**, “The Fractal Geometry of Nature”, W.H. Freeman and Company, New York, 1983.
- [40] [https://www.lpkfusa.com/products/pcb\\_prototyping/machines/protomat\\_e44/](https://www.lpkfusa.com/products/pcb_prototyping/machines/protomat_e44/) visité le 08/06/2022.