

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة عبد القادر

تلمس - تلمس

Université Aboubakr Belkaïd- Tlemcen –  
Faculté de TECHNOLOGIE



MÉMOIRE

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

**En** : Télécommunications

**Spécialité** : Réseaux et Télécommunications

**Par** : **Douidi Anes** et **Chikh Oussama**

**Sujet**

**Conception et simulation de tags RFID.**

Soutenu publiquement, le **19/09 / 2018**, devant le jury composé de :

Mr F.DERRAZ  
Mr M. BOUSAHLA  
Mr M. HADJILA

MCB  
MCB  
MCB

Univ. Tlemcen  
Univ. Tlemcen  
Univ. Tlemcen

President  
Encadrant  
Examinateur

Année universitaire : 2017/2018

# *Remerciement*

*Nous remercions tout d'abord, Allah qui nous a donné la force et le courage afin de parvenir à élaborer ce modeste travail.*

*Nous tenons à remercier notre encadreur : **Mr. BOUSAHLA Miloud** maitre de conférences classe B à l'université Abou-Bekr Belkaid- Tlemcen pour nous avoir offert un cadre de travail agréable et un encadrement de qualité.*

*Nos mots de reconnaissance vont à **Mr DERRAZ Foued** maitre de conférences classe B à l'université Abou-Bekr Belkaid- Tlemcen, pour avoir accepté de présider cet honorable jury.*

*Nous adressons de même nos remerciements à **Mr M. HADJILA** maitre de conférences classe B à l'université Abou-Bekr Belkaid- Tlemcen, pour l'intérêt qu'il a bien voulu porter à ce travail en acceptant de faire partie du jury .  
Nous adressons aussi nos remerciements à Mlle **GOURARI Fatima zohra** pour son aide dans notre travail.*

*Enfin, nous remercions tous nos enseignants du département de télécommunication de l'université Abou-Bekr Belkaid- Tlemcen, sans oublier de citer tous les enseignants qui ont contribué à notre formation depuis l'école primaire jusqu'aux études universitaire.*

# *Dédicaces*

On a l'immense honneur de dédier ce mémoire :

À nos très chers parents qui étaient présents de nos côtés durant toute notre vie.

À nos frères et nos sœurs.

À mes très chers amies et collègues.

À tous mes connaissances.

À tous mes enseignants qui ont fait leurs possibles pour nous donner le maximum d'informations concernant notre étude.

À tous la promotion RT 2018.

## Résumé :

---

Actuellement, le code à barres est progressivement remplacé par des tags RFID (Radio Fréquence Identification) dites aussi « étiquettes communicantes ayant la possibilité de stocker de l'information de manière dynamique et de communiquer sans fil avec leur l'environnement ambiant. Cette technologie trouve ses applications dans différents domaines tels que la traçabilité, suivi médical de l'état d'une passion, le pilotage de la production, Etc...

Ce projet de fin d'étude vise à concevoir des antennes RFID. Diverses conceptions d'antennes ont été présentées.

Pour chaque antenne, nous avons optimisé sa géométrie et ses dimensions en faisant plusieurs simulations avec le logiciel CST afin de déterminer les paramètres de l'antenne qui influencent le plus ses performances.

Les performances de ces antennes ont été également évaluées à travers la représentation du coefficient de réflexion, du diagramme de rayonnement en 2D et 3D et du gain. A partir des résultats de la caractérisation, des portées de lecture théoriques de l'ordre du mètre sont obtenues grâce aux bonnes performances de l'antenne.

**Mots clés :** Tag, lecteur, système RFID, bande UHF, bande ULB, antennes RFID.

## Abstract:

---

Currently, the bar code is gradually replaced by RFID tags (Radio Frequency Identification) also called "communicating tags having the ability to store information dynamically and communicate wirelessly with their environment. This technology finds its applications in different fields such as traceability, medical monitoring of the state of a passion, the control of production, Etc ...

This end-of-study project aims at designing RFID antennas. Various antenna designs have been presented.

For each antenna, we optimized its geometry and dimensions by making several simulations with the CST software to determine the parameters of the antenna that most influence its performance.

The performances of these antennas were also evaluated through the representation of the reflection coefficient, the 2D and 3D radiation pattern and the gain. From the results of the characterization, theoretical reading ranges of the order of one meter are obtained thanks to the good performance of the antenna.

Keywords: Tag, reader, RFID system, UHF band, ULB band, RFID antennas.

## Table des matières

---

Résumé : .....	III
Table des matières.....	IV
Liste des figures : .....	VI
Liste des tableaux : .....	IX
Liste des abréviations : .....	X
Introduction générale .....	III

### Chapitre I : La technologie RFID

I.1-Introduction .....	3
I.2-Présentation générale de la RFID.....	3
I.2.1-Historique de la RFID.....	3
I.2.2 - Qu'est-ce que la RFID ? .....	4
I.2.3-Principe de fonctionnement d'un tag RFID.....	4
I.3 - Architecture d'un système RFID.....	5
I.4 - Caractéristiques des tags RFID .....	7
I.5 - Type et classification des tags RFID.....	8
I.5.1 - Les critères de classification des tags RFID .....	8
I.5.2 - Classement des technologies RFID en fonction des fréquences d'utilisation .....	8
I.5.3 - Les systèmes RFID à couplage inductif .....	12
I.5.4 - Les systèmes RFID UHF et Micro-ondes.....	13
I.5.5 - La RFID ULB .....	14
I.6 - standard et normes des systèmes RFID .....	15
I.6.1 - STANDARD.....	15
I.6.2 - NORMES .....	17
I.7 - Application et marché de la RFID .....	18
I.7.1-Le marché mondial de la technologie RFID .....	18
I.7.2-Les applications.....	19
I.8 - Avantages et inconvénients de la technologie RFID .....	24
I.9 -La fabrication des antennes RFID.....	25
I.10 - conclusion.....	26

## Chapitre II : Les antennes appliquées dans la RFID

II.1 - Introduction.....	27
II.2 - Les paramètres fondamentaux d'une antenne.....	27
II.2.1 - L'impédance .....	27
II.2.2 - Le coefficient de réflexion.....	28
II.2.3 - Les régions du champ électromagnétique.....	29
II.2.4 - Polarisation .....	30
II.2.5 - La distance de lecture .....	30
II.3 - Les motifs de base des antennes de tag RFID.....	31
II.3.1 - Antenne dipolaire.....	31
II.3.2 - Antenne a fente .....	31
II.3.3 - Antenne microruban .....	32
II.3.4 - Antenne en F inverse (IFA).....	32
II.4 - La méthodologie de conception d'antenne des tags RFID UHF passif.....	33
II.4.1 - contraintes pour la conception du tag RFID .....	34
II.5 - Techniques d'adaptation d'impédance pour les tags RFID UHF passifs .....	36
II.5.1 - T-match Structure .....	36
II.5.2 - adaptation avec boucle à couplage inductif .....	37
II.5.3 - Structure de Nested-Slot.....	37
II.5.4 - Tip-loading.....	37
II.5.5 - Dipôle replié .....	38
II.6 – Conclusion .....	39

## Chapitre III Conception et résultats de simulation

III.1 - introduction.....	40
III.2 - Simulation des antennes de tags RFID .....	40
III.2.1 - Antenne Dipôle .....	40
III.2.2 - Les antennes dipôles repliées .....	42
III.2.3 - Antenne ULB .....	48
III.2.4 - Antenne quasi log périodique.....	53
III.3 – Conclusion .....	57
Références : .....	59

## Liste des figures :

---

Fig.I 1 : fonctionnement d'un tag RFID.....	4
Fig.I 2 : Échange de données entre un lecteur et un Tag RFID.....	5
Fig.I 3 : une architecture RFID typique.....	5
Fig.I 4 : un exemple d'un tag.....	6
Fig.I 5 : principales caractéristiques d'un tag RFID.....	7
Fig.I 6 : Schéma de communication d'un tag RFID actif. La communication entre la station de base et les tags ou directement entre les tags.....	10
Fig.I 7 : Exemples des tags à couplage inductif....	12
Fig.I 8 : Exemple d'un tag HF.....	12
Fig.I 9 : Diagramme fonctionnel d'un tag SAW.....	13
Fig.I 10 : Spectre alloué à l'ULB par la FCC et la communauté européenne (EC).....	14
Fig.I 11 : modèle en couches simplifié pour la RFID.....	15
Fig.I 12: Le marché global en RFID en 2016.....	18
Fig.I 13 : Remontées mécaniques de ski basées sur la RFID.....	19
Fig.I 14 : Portillon RFID dans une station de métro.....	20
Fig.I 15 : Animal portant un tag RFID accroché à son oreille.....	21
Fig.I 16 : système RFID pour une bibliothèque.....	22
Fig.I 17 : MRZ d'un passeport français.....	23
Fig. I 18 : la vitesse d'impression sur le cout d'un tag RFID finalisé.....	25

Fig.II 1 : Schémas équivalents d'une antenne en : (a)Transmission et (b)réception.....	28
Fig.II 2 : Les régions de rayonnement au voisinage d'une antenne.....	29
Fig.II 3 : Différentes dispositions des tags dipolaires par rapport à la polarisation de l'antenne du lecteur .....	30
Fig.II 4 : Antenne dipolaire classique.....	31
Fig.II 5 : Antenne à fente.....	32
Fig.II 6 : différentes configurations d'antennes IFA.....	33
Fig.II 7 : Méthodologie de conception d'antenne des tags.....	34
Fig.II 8 : Les influences de l'environnement sur l'onde électromagnétique selon les différentes fréquences .....	35
Fig.II 9 : Le modèle de circuit équivalent de la configuration T-Match.....	36
Fig.II 10 : La configuration de Nested-slot.....	37
Fig.II 11 : Le dipôle raccourci par l'ajoutant des capacités aux bouts.....	38
Fig. II 12 : a) Dipôle replié b) Tension en décomposant en modes différentiel et commun.....	39
Fig.III 1 : La configuration de l'antenne dipôle.....	41
Fig.III 2 : l'alimentation du dipôle.....	41
Fig.III 3 : Le coefficient de réflexion de l'antenne dipôle.....	42
Fig.III 4 : Diagramme de rayonnement de l'antenne dipôle.....	42
Fig.III 5 : Géométrie de l'antenne repliée alimentée par couplage. (a) Vue de dessus. (b) Vue de dessous.....	43
Fig.III 6 : coefficient de réflexion selon la variation de l'épaisseur du substrat	
Fig.III 7 : coefficient de réflexion selon la variation de $wb$	
Fig.III 8 : L'impédance de l'antenne	

(a) Réel de $Z_a(\Omega)$ , (b) Imaginaire de $Z_a(\Omega)$ .....	44
Fig.III 9 : Modélisation de la puce sur CST.....	45
Fig.III 10 : Le coefficient de réflexion de l'antenne.....	45
Fig.III 11 : a-Diagramme de rayonnement en 2D .....	46
b-Diagramme de rayonnement en 3D. ....	46
Fig.III 12 : La distance de lecture à la fréquence de résonance.....	47
Fig.III 13 : Géométrie de l'antenne ULB avec les paramètres.....	48
Fig.III 14 : La nouvelle géométrie de l'antenne ULB proposée.....	48
Fig.III 15 : Plan de masse utilisé. ....	49
Fig.III 16 : Le coefficient de réflexion $ S_{11} $ .....	50
Fig.III 17 : la bande passante de l'antenne.....	50
Fig.III 18 : Le diagramme de rayonnement avec un max du gain.....	51
Fig.III 19 : Le gain à la fréquence de résonance.....	51
Fig.III 20 : Définition des paramètres de la structure proposée. ....	52
Fig.III 21 : Alimentation d'antenne par un port discret.....	52
Fig.III 22 : Le coefficient de réflexion à la fréquence de travail.....	53
Fig.III 23 : la bande passante de l'antenne.....	53
Fig.III 24 : Le diagramme de rayonnement de l'antenne en 3D.....	53
Fig.III 25 : Le max du gain à la résonance.....	54
Fig.III 26 : La distance de lecture à la fréquence de résonance.....	54

## Liste des tableaux :

---

Tab.I.1 : Tableau de Classement des technologies RFID en fonction des fréquences d'utilisation .....	8
Tab.I.2 : tableau des bandes de fréquences.....	9
Tab.I.3 : Tableau des portées théorique pour quelque bande de fréquences.....	11
Tab.I.4 : Tableau des Normes ISO 18000 pour la standardisation des systèmes RFID.....	17
Tab.I.5 : Tableau Récapitulatif des normes ISO pour la standardisation des systèmes RFID.....	17
Tab.I.6 : Le marché et les acteurs de RFID de 2006 à 2016.....	18.
Tab. III.1. Paramètres de l'antenne dipôle adaptée par une inductance parallèle.....	44
Tab.III.2: Les paramètres de l'antenne ULB.....	47
Tab.III.3: les paramètres de l'antenne après optimisation.....	49

## Liste des abréviations :

---

BF: Base Frequency.

DG: Data Group

DOD: Drop On Demand.

EAS: Electronic Article Surveillance.

EIRP: Effective Isotropic Radiated Power

ERP: Effective Radiated Power.

FCC: Federal Communications Commission.

HF: High Frequency.

IFA : Inverted F Antenna ou Antenne en F inverse

IFF: Identification Friends and Foes.

ISO: International Organization for Standardization

LF: Low Frequency.

NFC: Near Field Communication.

PIFA: Planar Inverted F Antenna

RFID: Radio Frequency Identification.

TOF: Time of Flight.

TOS : Taux d'Onde Stationnaire

UHF: Ultra High Frequency.

ULB: Ultra Large Bande.

# Introduction générale

## Introduction générale.

---

L'émergence de la technologie RFID (Radio Fréquence Identification) a désormais une influence majeure sur nos modes de vie.

En effet, sans que nous ne nous en soyons forcément aperçus, la RFID fait dorénavant partie intégrante de notre quotidien. Nous la retrouvons par exemple quand on fait sortir un livre de la bibliothèque de l'université il contient un tag pour antivol ou en vacances (contrôles des bagages, remontées mécaniques, passeports, etc.).

Les applications correspondantes à cette technologie sont de plus en plus nombreuses et répondues. Toutefois, pour certaines applications comme control d'accès et le suivi de bétail, la technologie LF (125 ou 134 kHz) courte distance et certaines contraintes d'utilisation (discrétion du système, distance d'interrogation, résistance à la température de lavage, pression et séchage dans le cas du linge par exemple), ont jusqu'à présent été un frein au développement de solutions intégrées, discrètes et fiables. Récemment, le développement de tags robustes et miniatures à la fréquence RFID UHF Europe (0,865-0,868 GHz) a ouvert de nombreux champs d'applications et notamment celui de l'antivol en permettant de répondre déjà aux contraintes de discrétion pour les éléments rayonnants, de distance d'interrogation, et d'environnements sévères.

Dans le cadre de ce projet, nous nous sommes intéressés à la conception et à la simulation des antennes RFID.

Ce manuscrit présente l'ensemble des travaux effectués durant ce mémoire. Il est composé de la présente introduction, de trois chapitres décrits brièvement ci-après et d'une conclusion :

Le premier chapitre est consacré à la technologie RFID. Après avoir énoncé brièvement les origines de la RFID et donné le principe de fonctionnement d'un tag RFID, un état de l'art des systèmes RFID actuellement commercialisés est présenté. La suite du chapitre se focalise sur les applications de la RFID ainsi que sur les avantages et les inconvénients de cette technologie.

Le deuxième chapitre présente dans une première partie les paramètres fondamentaux d'une antenne. Dans la seconde partie, les motifs de base des antennes de tag RFID, la méthodologie

de conception d'antennes des tags RFID ainsi que les techniques d'adaptation d'impédance pour les tags RFID sont présentés.

Le troisième chapitre est consacré à la simulation des antennes RFID. Ce chapitre met l'accent sur la méthodologie de conception de ces antennes. Les performances des antennes sont également évaluées à travers la représentation du coefficient de réflexion, du diagramme de rayonnement en 2D et 3D et du gain. Enfin, ce mémoire se terminera par une conclusion générale qui résume le travail effectué dans ce projet.

# Chapitre I

## La technologie RFID

### I.1-Introduction

Le system d'identification automatique réfère au processus d'identification et le tagage des objets, Parmi les technologies qui l'utilise le code bar, la RFID, procédures biométrique, identification de la voix, empreinte, les cartes intelligentes mais les techniques d'identification les plus utilisés sont le code bar et la RFID.

Les tags RFIDs sont classés comme : active, passive et semi-passive, les tags actifs contiennent des petites sources d'énergie comme puce et une grande portée radio qui peuvent dépassés les 30 mètres ont opposé des tags passive qui s'alimente par un champ électro magnétique généré par un lecteur et base de donnée

### I.2-Présentation générale de la RFID

#### I.2.1-Historique de la RFID

L'origine de la technologie de RFID (Radio Frequency Identification) est largement controversée selon différentes sources, La technologie RFID selon l'approche échafaudée sur base du principe de fonctionnement, a vu le jour vers les années 1920 et en 1945 un ingénieur russe Léon Theremin mis au point un dispositif passif d'écoute à fréquence radio et non une étiquette d'identification. Selon [1] nous pouvons échelonner l'évolution de la technologie RFID comme suit : > Vers les années 40 : La technologie du système RFID avait été utilisée pour la reconnaissance des avions. Les radars étaient le système de lecture qui avait pour rôle d'envoyer un signal questionnant les étiquettes des transpondeurs placés sur les avions afin de distinguer les alliés des ennemis. Et on peut considérer que le système IFF (Identity : Friend or Foe) fût la première forme d'utilisation de la technologie RFID.

Au cours des années, la technologie a pris de l'ampleur, et en particulier vers les années 70 où elle fut une technologie protégée et à l'usage principalement militaire. Les états développés utilisaient cette technologie pour la sécurité et la protection de sites stratégiques et sensibles (secteurs nucléaires et armements lourds).

Vers la fin des années des années 70 cette technologie fut utilisée par le secteur privé et la première application commerciale fut la traçabilité (identification) du bétail dans le continent européen. Durant les années 80, l'évolution technologique avec l'invention des microsystèmes utilisant les circuits intégrés conduisit à l'usage des étiquettes passives. Et on remarquera à cette époque une grande diversité de types des étiquettes. Le début des années 90 fut l'époque

de la problématique de la standardisation et de la normalisation des équipements de systèmes de la technologie RFID (étiquettes et lecteurs). Depuis lors, la technologie RFID est utilisée dans plusieurs domaines d'applications, en passant par l'identification, la traçabilité et l'analyse de données. Pour identifier ou suivre de produits, l'on pourra utiliser d'autres technologies notamment le code à barres, les cartes intelligentes. Ces technologies se compétitionnent les unes des autres, voyons en grandes lignes quelles sont leurs différences[2].

### I.2.2 - Qu'est-ce que la RFID ?

- Auto-identification des personnes, des objets, des services.
- Technologie « sans contact »: transmission par ondes radio.
- Vers « l'Internet des choses » et les objets communicants. [3]

### I.2.3-Principe de fonctionnement d'un tag RFID

Un système RFID est composé de deux entités qui communiquent entre elles :

- Un tag ou étiquette intelligente (aussi appelé transpondeur), associé à l'élément à identifier. Il est capable de répondre à une demande venant d'un lecteur.
- Une station de base ou lecteur RFID qui a pour mission d'identifier le tag. Le lecteur envoie une onde électromagnétique en direction de l'élément à identifier. En retour, il reçoit l'information renvoyée par le tag. (Voir la figure Fig.I 1 et Fig.I 2)

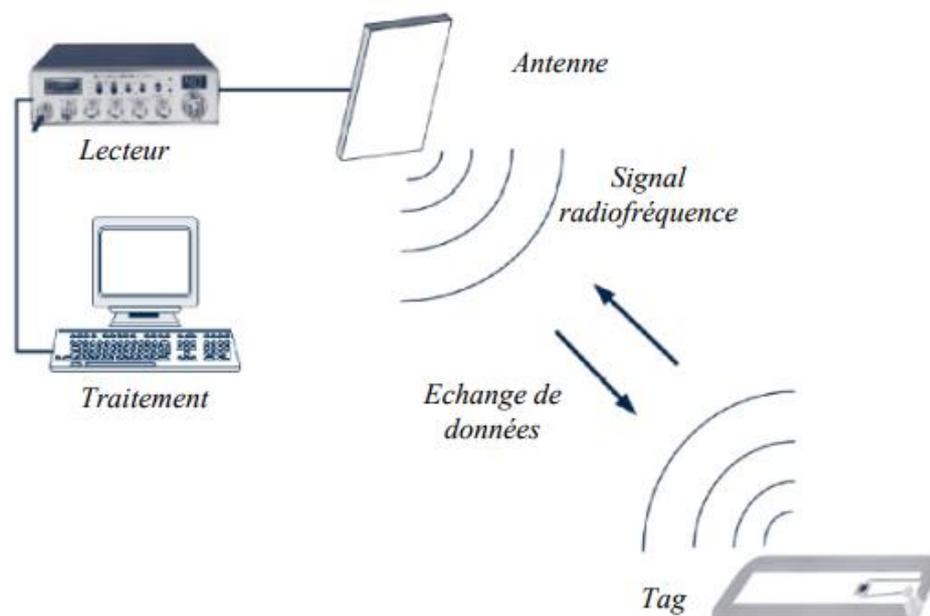


Fig.I 1 : fonctionnement d'un tag RFID.

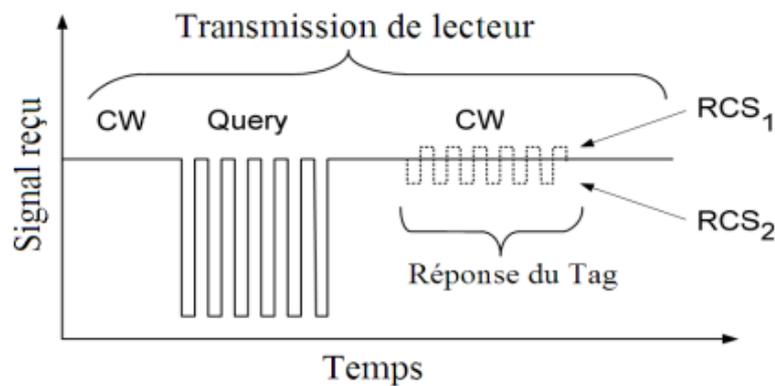


Fig.I 2 : Échange de données entre un lecteur et un Tag RFID.

Cette partie définit l'ensemble qui réalise cette technologie l'architecture et les caractéristiques

### I.3 - Architecture d'un système RFID

Comme représenté sur la figure Fig.I 3, un système RFID est généralement composé de trois types de dispositifs : tags, lecteurs et un serveur central d'arrière-plan communément appelé back-end. Ces entités interagissent ensemble via des protocoles de communication – où des messages sont échangés – dans le but d'atteindre un objectif donné (p.ex. identifier ou authentifier les tags du système) [5].

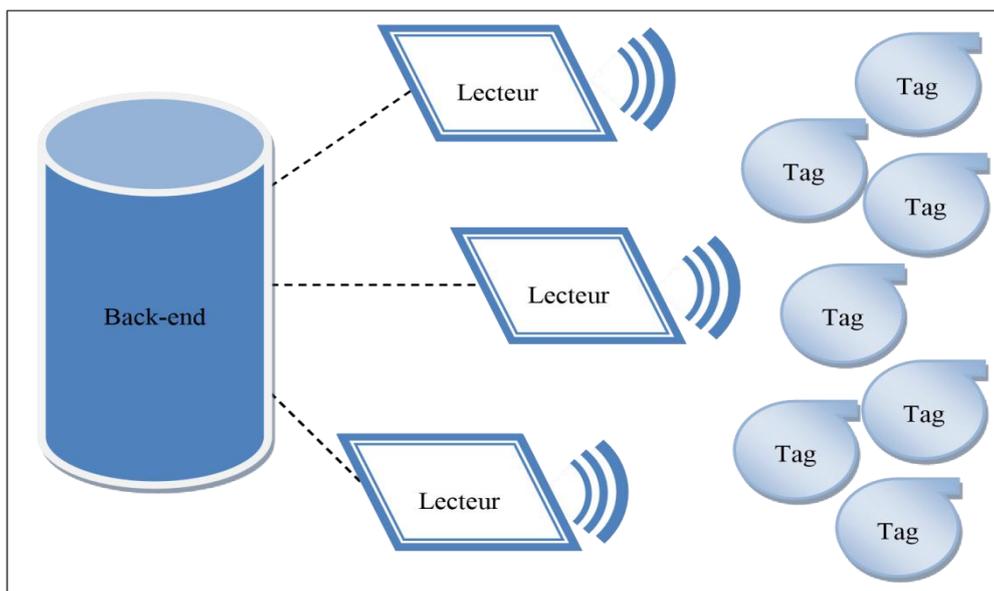
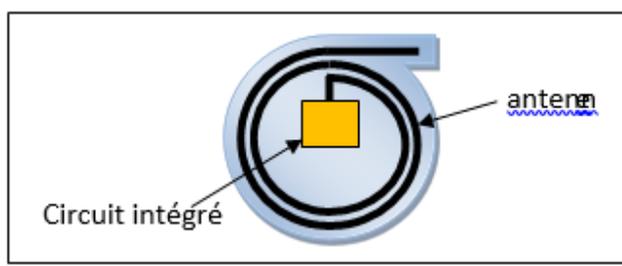


Fig.I 3 : une architecture RFID typique.

### Tag RFID

Un tag est un transpondeur, c'est-à-dire un circuit intégré couplé avec une antenne comme représenté en figure Fig.I 4, incorporé dans un objet distant. Il peut avoir différentes sources d'alimentation, soit la sienne, soit celle fournie par un lecteur RFID. Sa mémoire peut varier de quelques centaines de bits (comme pour les tags EPC5) à quelques kilo-octets (comme des cartes à puce sans contact).



*Fig.I 4 : un exemple d'un tag.*

Il peut y avoir différents niveaux de capacités de calcul. Certains tags ne peuvent accomplir que des opérations logiques, alors que d'autres sont capables d'exécuter de la cryptographie symétrique, des fonctions de hachage ou même de la cryptographie asymétrique. Un tag est généralement dit « violable » ou encore « falsifiable », et un attaquant peut facilement s'emparer des données stockées dans la mémoire du tag. Enfin, sa distance de communication se situe entre quelques centimètres à quelques décimètres. Les diverses caractéristiques des tags RFID sont détaillées à la section suivante.

### Lecteur RFID

Un lecteur est un transreceveur. Il peut communiquer avec un tag quand ce dernier est dans son champ électromagnétique. Il peut aussi communiquer avec d'autres lecteurs ou bien le back-end à travers d'autres canaux (p.ex. Ethernet ou Wi-Fi). Un lecteur est plus puissant qu'un tag. Ses capacités de calcul peuvent s'apparenter à celles d'un petit ordinateur. Il peut être fixe (p.ex. à l'entrée d'un immeuble) ou mobile (p.ex. un smartphone) et est généralement considéré comme étant inviolable.

### **Back-end**

Le back-end contient habituellement une base de données qui stocke les informations relatives à chaque tag et lecteur du système (p.ex. les identifiants des tags). Cependant, le back-end peut aussi être une sorte de switch qui ne fait que transférer les communications entre les lecteurs. Dans tous les cas, le back-end ne communique qu'avec les lecteurs. Note : un back-end n'est pas toujours nécessaire dans un système RFID. Par exemple, si un système n'est composé que d'un seul lecteur autonome, alors ce dispositif peut aussi jouer le rôle de back-end. Dans d'autres systèmes, le back-end et les lecteurs sont connectés tous ensemble via un canal sécurisé et peuvent donc être vus comme une seule et unique entité, simplement nommée « lecteur ».

### **I.4 - Caractéristiques des tags RFID**

Établir une classification complète de la technologie RFID est difficile étant donné le nombre de caractéristiques qui doivent être considérées pour définir un tag. C'est uniquement lors de la conception d'une application RFID qu'il est possible de définir les besoins technologiques et, par la suite, d'identifier le type de tag le plus approprié. Les principales caractéristiques des tags RFID sont représentées sur la figure Fig.I 5 et décrites ci-dessous [5].

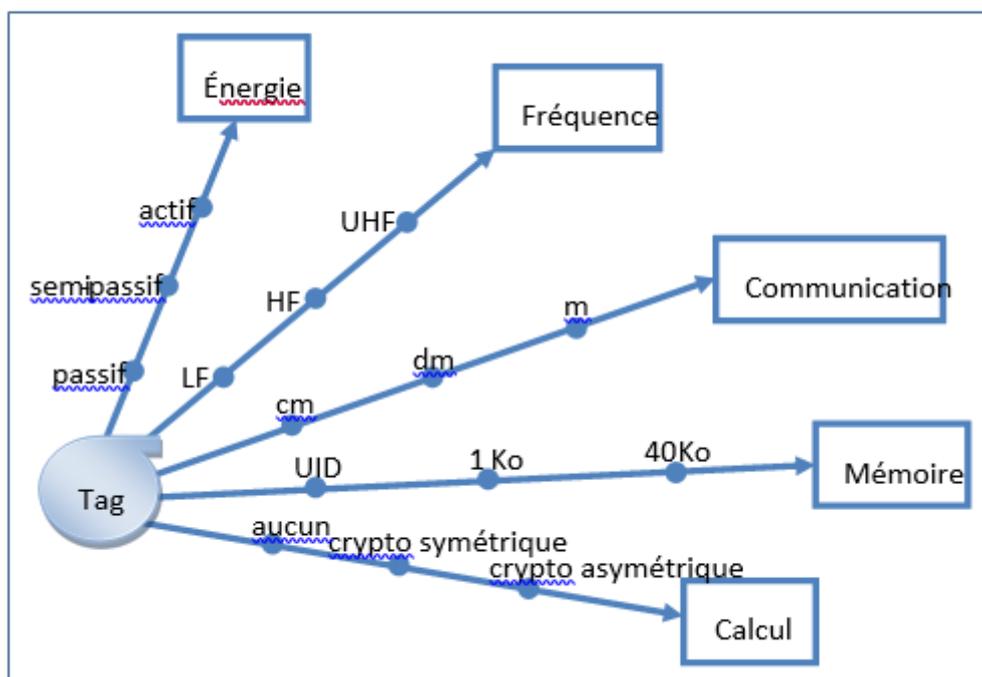


Fig.1 5 : principales caractéristiques d'un tag RFID.

**I.5 - Type et classification des tags RFID**

**I.5.1 - Les critères de classification des tags RFID**

Mode d'alimentation, fréquence d'opération, de leur capacité cryptographique protocole de communication ou encore par la présence ou non d'une puce électronique.

**I.5.2 - Classement des technologies RFID en fonction des fréquences d'utilisation**

Tab.I.1 : Tableau de Classement des technologies RFID en fonction des fréquences d'utilisation [8] :

Famille	Portée	Capacité de codage	Accès	Niveau de confidentialité	susceptibilité	positionnement	Coût du tag
LF, HF	<1m	qq. kbits	Lecture/Ecriture	Elevé	Métal à 13.56MHz	Indépendant de la polarisation	>0.4 euros
UHF, SHF	1m-100m	qq. kbits	Lecture/Ecriture	Faible	Métal, liquides	Dépend de la polarisation	>0.1 euros
ULB	<60m	qq. bits	Lecture/Ecriture	bon	Métal, liquides	Dépend de la polarisation	>0.3 euros
Sans puce	<1m	256 bits	Lecture/Ecriture	Sans	Métal, liquides	Dépend de la polarisation	>0.005 euros

### Les technologies HF et LF

C'est des technologies « champ proche » qui se trouvent principalement dans les applications dans lesquelles la confidentialité des données échangées entre le tag et le lecteur doit être garantie comme le passeport qui utilise une portée de lecture d'une moyenne de dizaines de centimètres et la puce implémenté sert a comme mémoire de quantité et unité de calcul pour la cryptographie qui l'objet nécessaire pour l'échange entre le tag et la base de donnée [8].

### Les technologies UHF et SHF

Dans cette partie on distingue deux types de tags : tag actif et tag passif, ils se diffèrent par la manière dont la réponse est renvoyé à la station de base.

Le tag passif : est basé sur le principe de retro diffusion <<backscattering [8]>> pour la réponse du tag vers le lecteur, la fréquence la plus utilisé est entre 860 et 960 MHz.

Un tag UHF / SHF est composé le plus souvent d'une antenne de type dipôle qui va permettre de capter le rayonnement électromagnétique. Cette antenne est conçue pour avoir une impédance adaptée à celle de la puce, les tags passifs fonctionnent sans batterie. Ainsi, c'est le champ électromagnétique de la station de base qui télé alimente la puce du tag. La puce du tag contient un circuit de récupération d'énergie en interne qui alimente un circuit logique et une zone mémoire accessible en lecture/écriture.

Portées de lecture théoriques pour des tags passifs assistés par batterie pour différentes valeurs de  $\Delta SER$ , ( $\Delta Pr_{x_{min}} = -70\text{dBm}$ )

Tab.I.2 : tableau des bandes de fréquences

Bande de fréquence (MHz)	Région	Puissance	$\Delta SER$ dipôle $\lambda/2$ : $0.642 \cdot \lambda^2$	$\Delta SER$ min : $0.005\text{m}^2$
869.4-869.65	Europe	0.5W ERP	10m	7m
865.5-867.6	Europe	2W ERP	19.7m	10m
902-928	USA	4W EIRP	19.8m	10.2m
2400-2483.5	Europe	0.5W EIRP	4.3m	3.7m
2400-2483.5	Europe/USA	4 W EIRP	7.3m	6.2m

[8]

### Les tags semi-passifs

Les tags semi-passifs sont un compromis entre les tags actifs et les tags passifs. Ils disposent comme les tags actifs de sources d'alimentation qui leurs sont propres. Cependant, ils utilisent comme les tags passifs le principe de modulation par rétro-réflexion pour transmettre leurs informations aux lecteurs. Ils ne disposent donc pas de transmetteur radiofréquence.

Le coût de ce type de tag est donc moins élevé. Il est compris entre 5 \$ et 40 \$. Ce type de tag est généralement d'une conception simple. Cependant on peut leurs trouver plusieurs inconvénients :

- Leurs fiabilités. Il est impossible de savoir si leurs batteries sont encore opérationnelles [6].
- Leurs coûts.

La connexion de leurs batteries avec leurs circuits augmente le coût comparativement à un tag passif. - Leurs impacts environnementaux. Leurs proliférations représentent un danger pour l'environnement, leurs batteries contenant des substances très polluantes. Cependant, ce type de transpondeur s'avère être parfois un bon compromis car leur coût est moindre que les tags actifs et que leurs distances de lecture sont plus grandes que les tags passifs.

### Le tag actif

Il travaille avec l'émission RF d'où sa puissance n'est pas liée à la distance entre le tag et le lecteur.

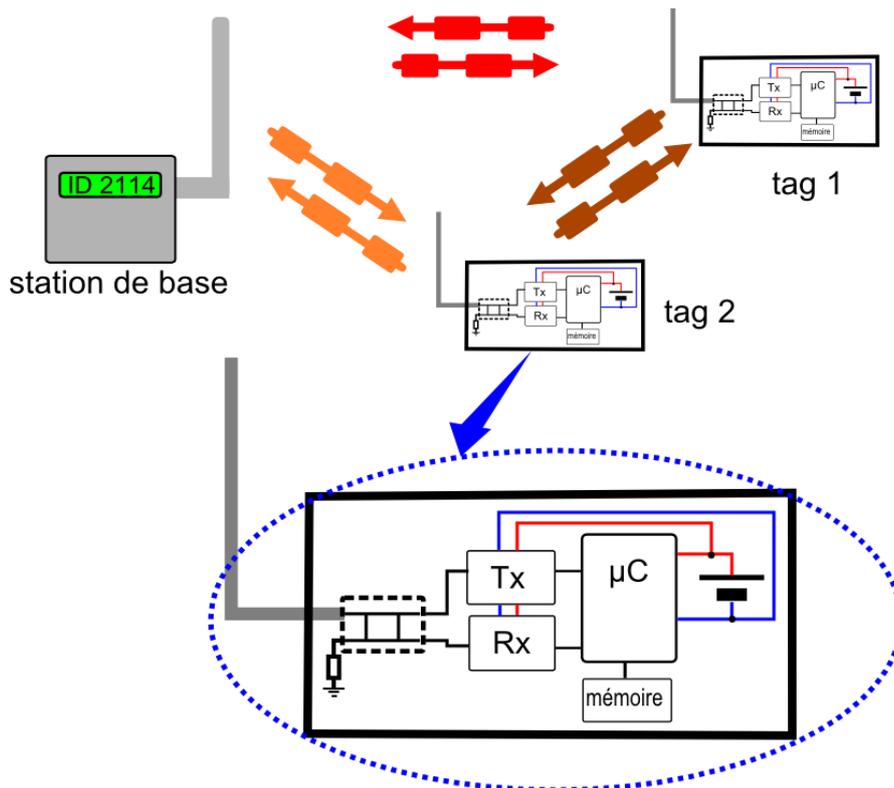


Fig.I 6 : Schéma de communication d'un tag RFID actif. La communication entre la station de base et les tags ou directement entre les tags.

Tab.I.3 : Tableau des portées théorique pour quelque bande de fréquences

Bande de fréquence (MHz)	Portée théorique (1mW ERP)	Portée théorique (10mW ERP)
433	285m	900m
869	142m	450m
2450	50m	160m

Portées de lecture théoriques pour des tags actifs ( $P_{rx_{min}}=-70dBm$ ) [8]

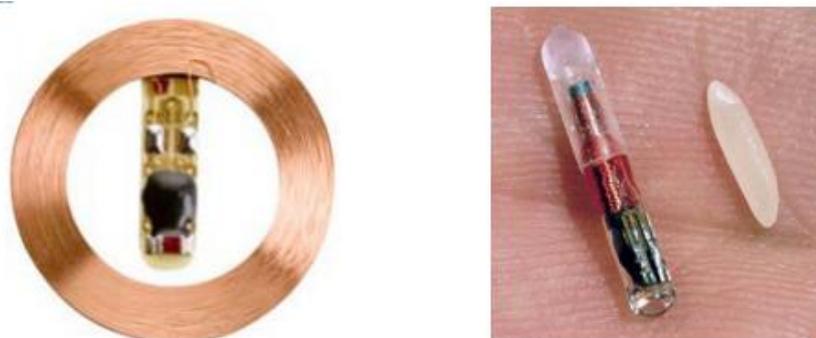
### Les technologies ULB

La RFID Ultra large bande (ULB) est une discipline récente représentant une alternative intéressante aux systèmes RFID à bande étroite décrits précédemment. Ce qui a motivé les équipes de recherches et les industriels à explorer cette technologie est avant tout la possibilité

de localiser précisément les tags en plus de les identifier. En effet en communication ULB, des impulsions ultra-courtes (de l'ordre de la nanoseconde) sont utilisées pour véhiculer les données, ce qui permet d'estimer avec précision la durée d'un trajet aller-retour ou temps de vol (TOF pour Time Of Flight) effectué par les signaux. Ceci permet également de choisir de manière très précise la zone de détection des tags si l'antenne lecteur est capable de modifier, de manière dynamique, son diagramme de rayonnement.

### I.5.3 - Les systèmes RFID à couplage inductif

Cette famille de système RFID comprend les systèmes BF et HF et une des techniques de couplage en champ proche. Leurs transpondeurs utilisent des antennes magnétiques. Ils sont constitués d'une bobine inductive d'inductance  $L$  réalisant le rôle d'antenne, d'une puce électronique contenant l'identifiant du tag et réalisant les opérations de communication, et enfin d'une capacité  $C$  permettant de faire résonner le circuit LC à la fréquence de travail. Pour les systèmes BF la distance d'opération est limitée à quelques centimètres, dans la boucle magnétique du lecteur. L'avantage principal vient de l'habilité des ondes BF à se propager à travers les tissus biologiques. Ces systèmes sont donc particulièrement appropriés pour des applications RFID médicale ou vétérinaire. La Figure (Fig.I 7) illustre deux tags BF. Le premier est constitué d'une bobine en fil de cuivre connectée à un circuit, lui-même constitué d'une puce et d'une capacité. Il est usuellement moulé dans un matériau plastique. Le second est constitué d'une bobine enroulée sur une ferrite afin de réduire sa taille, d'une puce et d'une capacité, le tout encapsulé dans du verre pour une application vétérinaire [6].



*Fig.I 7 : Exemples des tags à couplage inductif.*

Les systèmes HF sont quant à eux, à l'heure actuelle, les systèmes de radio-identification les plus répandus. La Figure (Fig.I 8) illustre un tag HF qui a l'avantage d'offrir une bonne

pénétration du signal à travers les obstacles et un fonctionnement à une distance de l'ordre du mètre.

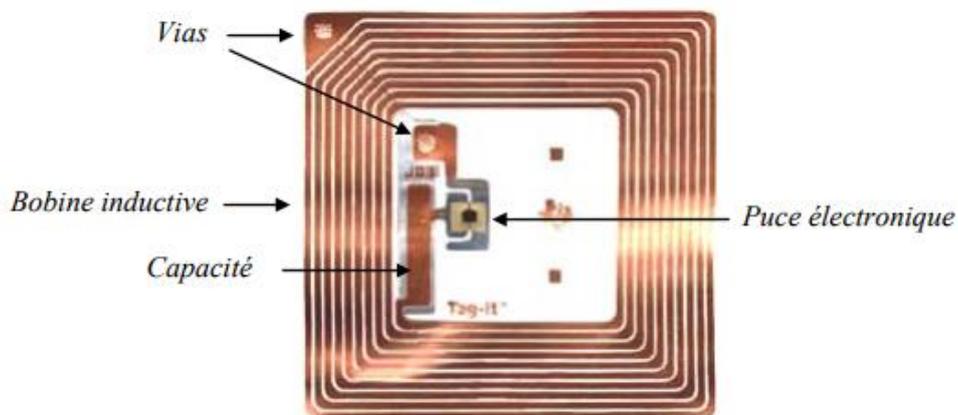


Fig.1 8 : Exemple d'un tag HF

### I.5.4 - Les systèmes RFID UHF et Micro-ondes

Les bandes de fréquence UHF et micro-ondes offrent une moins bonne pénétration du signal à travers les obstacles que la bande HF, mais elles permettent d'atteindre des distances de lecture plus grandes et un débit d'échange d'informations plus important. On peut différencier les systèmes RFID UHF et micro-ondes en deux types : les systèmes opérant sans puce électronique (dit « chipless »), et les systèmes opérant avec des tags possédant une puce électronique [6].

#### Les systèmes sans puce

Ce sont des tags qui ne disposent pas de circuit électronique et qui utilisent des principes physiques ou chimiques pour générer un code d'identification (ID). Un exemple de tag « chipless » est le tag SAW (Surface Acoustic Wave, pour onde acoustique de surface). La Figure Fig.1 9, illustre le fonctionnement d'un tel transpondeur. Ce type de tag est constitué de réflecteur positionné sur un matériau piézoélectrique et d'une antenne reliée à un transducteur qui transforme les ondes radiofréquences en ondes acoustiques (et vice versa). Cette technique fonctionne très bien à 2,4 GHz. A des fréquences plus élevées, les pertes sont trop grandes pour que ce principe soit utilisé.

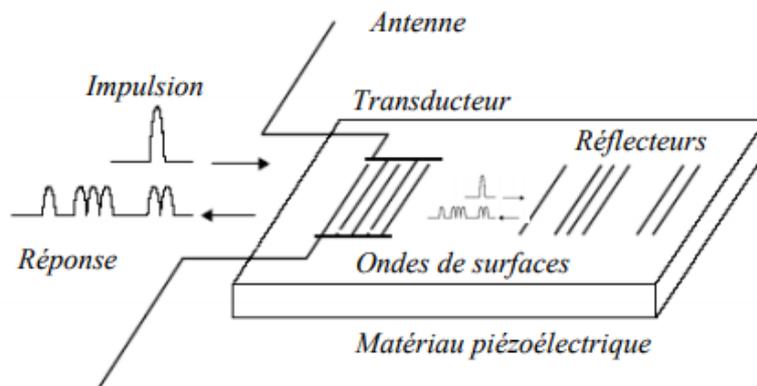


Fig.1 9 : Diagramme fonctionnel d'un tag SAW.

Le coût des tags chipless est très compétitif. Cependant ils ont l'inconvénient comme dans le cas des codes-barres d'avoir une quantité de données limitées et figées.

### Les systèmes avec puce

On peut différencier les systèmes RFID UHF et micro-ondes constitués d'une puce en fonction de la source d'alimentation du tag. On distinguera trois catégories : les tags actifs, les tags semi-passifs et les tags passifs qui sont déjà définis.

#### I.5.5 - La RFID ULB

On a décrit au par avant la technologie ULB mais dernières années la communauté scientifique a assisté à un intérêt croissant pour les systèmes de télécommunication ULB.

Au lieu d'utiliser des signaux modulés, comme dans les systèmes basés sur une porteuse, une autre possibilité consiste à émettre des impulsions de durée inférieure à la nanoseconde, afin d'occuper un spectre de plusieurs GHz. Les systèmes adoptant ces solutions fournissent donc des signaux caractérisés par une densité spectrale de puissance très petite, sur une bande spectrale très large. Ces signaux sont donc confondus avec le bruit de fond par les systèmes de communication traditionnels et n'interagissent pas avec eux. L'ULB est une technologie de communication qui permettrait d'atteindre des débits de l'ordre du Gbit/s. Cette technologie offre la perspective de nouveaux services comme l'intégration de fonctions de localisation en plus de celles de transmission. Un système ULB est défini comme un dispositif utilisant une largeur de bande relative supérieure à 20% ou occupant une bande de 500 MHz ou plus, la FCC (Federal Communications Commission) a alloué la bande de fréquence 3,1-10,6 GHz. Elle a

imposé également les masques d'émission représentés sur la désignent respectivement la fréquence supérieure et la fréquence inférieure des points à -10 dB par rapport au plus haut point d'émission du signal. Figure Fig.I 10. Il faut noter que la densité spectrale de puissance doit être très faible, < -41,3 dBm/MHz, ce qui la situe dans le niveau de bruit électromagnétique non intentionnel [6].

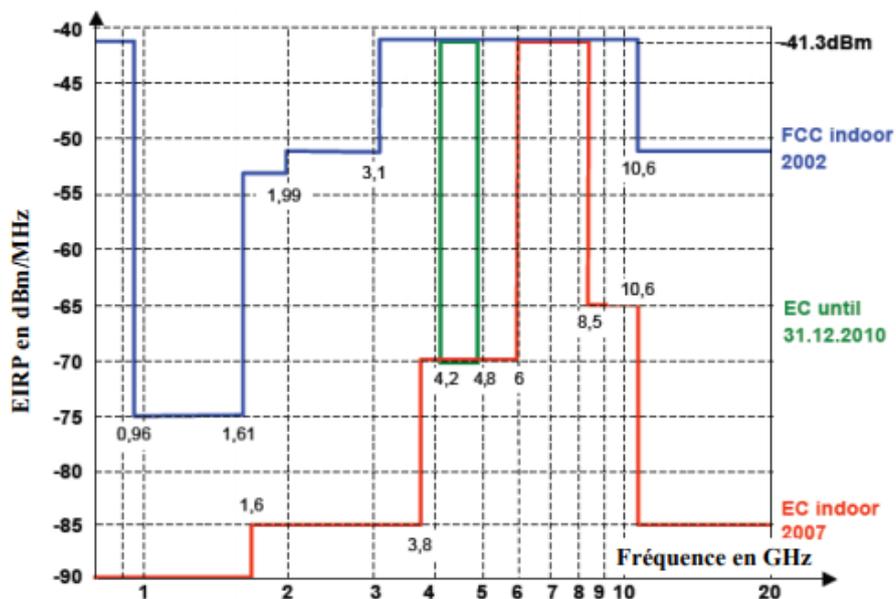


Fig.I 10 : Spectre alloué à l'ULB par la FCC et la communauté européenne (EC).

### I.6 - standard et normes des systèmes RFID

#### I.6.1 - STANDARD

De nombreux standards liés à la RFID existent à l'heure actuelle, que ce soit au niveau de la couche physique, de la couche communication ou de la couche application, représentées sur la figure Fig.I. 11. Cette section présente les principaux standards liés à la technologie sans contact [5].

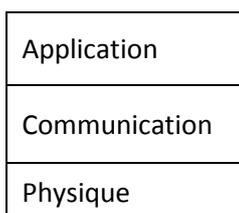


Fig.I 11 : modèle en couches simplifié pour la RFID.

### ISO/IEC 14443 et ISO/IEC 15693

Ces standards couvrent les couches physique et communication de la bande de fréquence 13,56 MHz et constituent la pierre angulaire de la plupart des applications qui ne reposent pas sur des normes propriétaires.

Le standard ISO/IEC 14443 est dédié aux tags de type *proximity* (distance de communication d'environ 10 centimètres), alors que le standard ISO/IEC 15693 vise les tags de type *vicinity* (distance de communication d'environ 80 centimètres). Par exemple, les passeports électroniques standardisés par l'ICAO<sup>1</sup> sont basés sur le standard ISO/IEC 14443.

### EPC Class 1 Gen 2

Le déploiement des tags à très bas coût a été propulsé par l'Auto-ID Center, un consortium créé aux États-Unis en 1999. Cette organisation, maintenant composée de l'EPC Global Network et des différents Auto-ID Labs, a pour but de standardiser et promouvoir la RFID dans les chaînes logistiques. Le standard EPC Class 1 Gen 2 publié par l'EPC Global Network est maintenant largement déployé et suivi par de nombreux industriels. Il couvre les trois couches (physique, communication et application).

### NFC

La NFC est une technologie de communication sans fil qui opère dans la bande de fréquence 13,56 MHz. Elle provient d'un consortium<sup>2</sup> créé en 2004 par Sony, Philips et Nokia, et maintenant composé de plus de 150 membres.

Cette technologie est compatible avec la RFID – en particulier avec le standard ISO/IEC 14443 – et permet la lecture et l'émulation de tags. Par conséquent, deux appareils NFC, typiquement des GSM, peuvent communiquer en utilisant la technologie RFID. Cela autorise des communications à faible débit et de courte distance qui sont établies beaucoup plus rapidement que des communications Bluetooth ou Wi-Fi.

Le standard ISO/IEC 18092 définit les principales caractéristiques de la NFC et propose un format précis (NDEF<sup>3</sup>) pour stocker et échanger les informations. Il a pour but de renforcer l'interopérabilité des appareils NFC.

---

### I.6.2 - NORMES

Le développement des normes en cours (notamment au niveau du test) sous l'impulsion des industriels et des utilisateurs, est nécessaire pour la maîtrise de cette technologie et le développement de son marché. Ce développement vise à certifier le fonctionnement, l'interopérabilité et l'interchangeabilité des systèmes RFID et de ses composants. Le Tabl. 1.4 et Le Tabl. 1.5 présentes les principales normes développées par l'ISO qui réglementent les paramètres de communication, comme la fréquence de fonctionnement, la bande passante, la puissance d'émission maximale, le type de modulation, le codage, le débit, le protocole de communication et bien d'autres paramètres [6].

Tabl.1.4 : Tableau des Normes ISO 18000 pour la standardisation des systèmes RFID

Références	Fréquences concernées	Intitulé	Statut
18000-1	Vocabulaire et définitions	RFID pour la gestion d'objet – Partie 1 : Architecture de référence et définition des paramètres à normaliser	Publié le 13/09/2004
18000-2	< 135 kHz	RFID pour la gestion d'objet – Partie 2 : Paramètres de communications d'une interface d'air à moins de 135 kHz	Publié le 13/09/2004
18000-3	13,56 MHz	RFID pour la gestion d'objet – Partie 3 : Paramètres de communications d'une interface d'air à 13,56 MHz	Publié le 13/09/2004
18000-4	2,45 GHz	RFID pour la gestion d'objet – Partie 4 : Paramètres de communications d'une interface d'air à 2,45 GHz	Publié le 31/10/2004
18000-5	5,8 GHz	RFID pour la gestion d'objet – Partie 5 : Paramètres de communications d'une interface d'air à 5,8 GHz	Pas de consensus
18000-6	900 MHz	RFID pour la gestion d'objet – Partie 6 : Paramètres de communications d'une interface d'air entre 860 MHz et 960 MHz	Publié le 31/10/2004
18000-7	433 MHz	RFID pour la gestion d'objet – Partie 7 : Paramètres de communications d'une interface d'air à 433 MHz	Publié le 12/12/2005

Tabl.1.5 : Tableau Récapitulatif des normes ISO pour la standardisation des systèmes RFID

Références principales	Intitulé
ISO 11784, ISO 11785, ISO 14223	Identification radiofréquence des animaux
ISO 10536, ISO 14443, ISO 15693	cartes d'identité - carte à circuit intégré sans contact - cartes de proximité
ISO 18000	Identification sans contact des articles

### I.7 - Application et marché de la RFID

Les applications industrielles reposant sur la RFID sont multiples et variées. Elles peuvent être regroupées en trois catégories : contrôle d'accès, pistage et suivi de production et application sécurisée. Cette section présente chaque domaine et les illustre avec des exemples concrets de la vie de tous les jours.

#### I.7.1-Le marché mondial de la technologie RFID

Il y a eu plus de 2.24 milliards de tag RFID vendus dans le monde entier à partir du 2007 et le marché de RFID sera prévisionnelle ment 26 milliards USD en 2016 selon IDTechex. Généralement, un lecteur RFID à Ultra-Haute Fréquence coute entre 200\$ et 1000\$ tandis que les prix des tags RFID UHF passifs sont maintenant entre 0.07\$ et 0.15\$. Cependant, leurs prix continuent à décroître et pourraient devenir moins chers que les inlays de codebarre vers l'horizon de 2020 selon certaines prévisions Le scénario prévisionnel du marché de la technologie RFID jusqu'à 2016 est montré dans Tab.I.6 et Fig.12 [4].

Tab.I.6: Le marché et les acteurs de RFID de 2006 à 2016.

Application	Parameter	Value \$billion	Suppliers include
Car clicker immobilisers active tag systems	Value of sales in the last ten years	1.5	Subcontract to car manufacturers, Texas Instruments spin off.
Military active tag systems	World's largest RFID order (2006)	0.425	Savi Technology (acquired by Lockheed Martin in 2006)
RFID smart cards	2006/2016 sales	0.627 / 1.005	Gemalto, Giesecke & Devrient
Animal tags	2006/2016 sales	0.2 / 1.4	Allflex
Healthcare, active and passive	2006/2016 sales	0.19 / 2.1	Tagsys, Symbol Technologies
Air industry, active and passive	2006/2016 sales	0.2 / 1.0	Intelleflex, Symbol Technologies

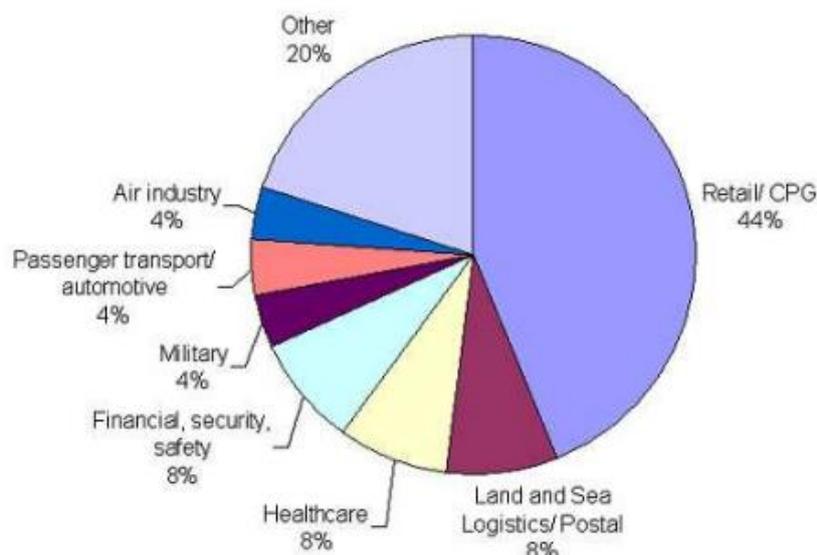


Fig.1 12 : Le marché global en RFID en 2016.

### I.7.2-Les applications

#### I.7.2.1-Contrôle d'accès

Les cartes à puce ont été utilisées dans le contrôle d'accès depuis plusieurs décennies. Pourtant, l'arrivée du sans contact sur le marché a rendu possible une facilité d'utilisation inconnue jusque-là. En effet, le contrôle d'accès s'effectuait en premier avec des passes infrarouges, puis avec des cartes à bande magnétique, et finalement avec des cartes à puce avec contact. Le principal inconvénient de ces dernières est que l'utilisateur doit insérer sa carte dans le lecteur, ce qui représente une perte de temps significative, en particulier dans le contrôle d'accès de masse. De plus, la maintenance des lecteurs peut s'avérer lourde, les lecteurs étant directement accessibles et souvent vandalisés. La technologie RFID offre la possibilité de réduire ces problèmes et de faciliter le contrôle d'accès en intégrant le tag dans une carte, une clé ou encore un bracelet. Ainsi, les utilisateurs ont simplement besoin de passer l'objet devant le lecteur RFID qui gère le contrôle d'accès.

#### **Ticket de ski**

Le contrôle d'accès dans les stations de ski a grandement bénéficié de la technologie RFID. Il suit généralement le standard ISO/IEC 15693 qui autorise une distance de communication légèrement plus grande que le standard ISO/IEC 14443. La RFID facilite la vie du skieur : il n'a plus besoin de chercher sa carte de ski dans ses affaires ; il positionne simplement son passe

(potentiellement dans sa poche) devant le lecteur. L'introduction de la RFID est aussi un atout pour les compagnies de remontées mécaniques car cette technologie accélère le flux des skieurs tout en maintenant un contrôle systématique.



*Fig.I 13 : Remontées mécaniques de ski basées sur la RFID.*

### **Automobile**

Depuis le début des années 90, l'industrie automobile a également adopté la RFID pour renforcer la sécurité du contrôle d'accès. Un tag RFID incorporé dans la clé de voiture peut tout d'abord permettre l'ouverture automatique d'une voiture dès que le conducteur s'en approche. Dans ces systèmes, la RFID peut également être utilisée comme solution pour le démarrage de la voiture : lorsque le conducteur introduit sa clé dans le barillet de démarrage.

### **Péage autoroutier**

Le véhicule va s'assurer de la présence du tag RFID. Si ce dernier n'est pas présent, le démarrage sera refusé par la voiture. Ces systèmes anti-démarrage sont généralement basés sur les bandes de fréquence LF comprises entre 100 et 135 kHz.

### **Transports publics**

Dans ce type d'applications, la RFID est aussi un avantage pour le voyageur et la société de transport. Le voyageur gagne en simplicité : il est plus simple pour lui de passer son ticket devant le lecteur que de l'insérer. De plus, si la société de transport base ses tarifs sur les

distances parcourues, le voyageur n'a plus besoin de se préoccuper du nombre de zones traversées : il n'a qu'à valider son ticket au début et à la fin de son voyage.

La société de transport peut collecter des statistiques beaucoup plus précises sur l'utilisation de son infrastructure que le simple comptage du nombre de voyages effectués. La technologie RFID permet également à la compagnie de réduire la contrefaçon de tickets car il est plus difficile de produire de faux tags RFID que de faux tickets en papier.

De nos jours, un grand nombre de villes ont opté pour un système de transports publics basé sur la RFID, par exemple Bruxelles, Paris, Londres, Amsterdam, Berlin, New York ou encore Hong Kong. À Bruxelles, la société de transports publics STIB a lancé en 2008 son système RFID de billettique, appelé « MOBIB », qui devrait finir par remplacer l'ancien système basé sur des cartes à bande magnétique. MOBIB repose sur le standard Calypso, lui-même déjà en place dans plus de 20 pays.



*Fig.I 14 : Portillon RFID dans une station de métro.*

### **I.7.2.2-Pistage et suivi de production**

Dans le domaine de la logistique, la RFID est la nouvelle alternative aux codes-barres qui fournit deux avantages majeurs. Le premier est la distance de lecture. En effet, les codes-barres ne peuvent être lus qu'à une très courte distance, alors que la RFID offre la possibilité de lire un tag à plusieurs mètres sans la nécessité d'un contact visuel. Cette caractéristique de la RFID augmente sensiblement l'efficacité de la compagnie : une passe suffit pour scanner toutes les palettes se trouvant dans un conteneur, et le statut des stocks peut être vérifié en temps réel. Le deuxième avantage de la RFID est sa meilleure résistance aux éléments externes et

détériorations. Clairement, si un code-barres est plié, déchiré ou recouvert de poussière, sa lecture devient impossible. Les conditions de lecture jouent également un rôle important. Par exemple, un code-barres ne peut pas être lu s'il y a trop de lumière.

### Identification animale

L'introduction de la RFID pour l'identification animale remonte aux années 80. La technologie est utilisée pour l'inventaire, le contrôle de production et l'automatisation de l'alimentation animale. Les tags sont attachés aux oreilles des animaux ou encore incorporés dans des bagues ou colliers, en fonction du type et de la taille de l'animal. La RFID peut servir à tracer l'origine d'un animal pour réaliser des contrôles de qualité ou de santé, par exemple pour contenir des épidémies.

– la plus fameuse étant la maladie de la vache folle ou, plus récemment, la grippe porcine. Une telle utilisation de la RFID nécessite une interopérabilité complète entre les différentes compagnies de production. C'est pour cela que certains standards ont été créés, en particulier l'ISO/IEC 11784 et l'ISO/IEC 11785 qui reposent sur la bande de fréquence LF 134,2 kHz.



*Fig.I 15 : Animal portant un tag RFID accroché à son oreille.*

### Bibliothèque :

La RFID facilite le prêt de livres et la gestion des stocks dans les bibliothèques. Elle automatise les procédures d'emprunt/retour des ouvrages et détecte si un livre a été mal replacé sur les

étagères. De plus, avec l'installation de portiques aux sorties de la bibliothèque, tout livre dont l'emprunt n'a pas été enregistré peut déclencher une alarme. Les bibliothèques utilisent typiquement la technologie RFID avec la bande de fréquence HF 13,56 MHz basée sur le standard ISO/IEC 15693.



*Fig.1 16 : système RFID pour une bibliothèque.*

### **Suivi dans une chaîne logistique :**

Le géant américain du supermarché Walmart a été l'un des premiers à utiliser la RFID pour la gestion de sa chaîne logistique. Ce projet a commencé en 2003 lorsque Walmart a imposé à ses principaux fournisseurs d'équiper leurs produits de tags RFID pour la fin 2005. Le coût étant trop élevé pour les fournisseurs, Walmart a révisé ses attentes à la baisse et demandé que seules les palettes soient équipées de tags RFID. Les tags utilisés par Walmart sont les EPC Class 1 Gen 2 qui permettent aux palettes d'être lues à une distance d'environ deux mètres.

#### **1.7.2.3-Application sécurisée**

##### **Passeports électroniques**

L'ICAO est l'organisation qui a lancé l'introduction des passeports électroniques. Les tags incorporés dans la couverture des passeports répondent au standard DOC 9303 de l'ICAO pour la couche application et au standard ISO/IEC 14443 pour les couches inférieures.

Les informations du détenteur du passeport sont stockées dans des groupes de données, appelés « DG<sup>4</sup> »<sup>1</sup> Data Group.. En particulier, le DG1 contient toutes les données écrites sur la



- Exigence d'un contact visuel pour la lecture.
- Impossibilité de lecture simultanée.
- Contenu non évolutif [19].

### I.9 -La fabrication des antennes RFID

Pour la fabrication des antennes RFID ont utilisé de principaux technique actuellement mise en œuvre comme la gravure chimique humide. Cependant d'autres nouvelles techniques issues du domaine de l'impression permettant la réduction de leurs coûts peuvent être utilisées [6].

#### **La gravure humide chimique**

La gravure est un procédé soustractif. Elle est très largement mise en œuvre dans la réalisation des circuits électroniques imprimés. Ce procédé est réalisé en plusieurs étapes à partir d'un substrat sur lequel est laminé ou électro déposé de manière uniforme un conducteur (généralement du cuivre ou de l'aluminium). Ensuite, un masque est réalisé afin de protéger les motifs devant rester in fine. Le masque est soit réalisé par photolithographie à partir d'un masque photosensible ou par impression sérigraphique. Ensuite, les parties conductrices non protégées sont enlevées par un bain dans une solution chimique.

#### **L'impression**

L'impression est un procédé additif qui a récemment vu le jour. Il est meilleur en terme environnemental et offre un plus faible coût de production pour de grandes séries par rapport à la gravure. Il existe plusieurs techniques d'impression pour la réalisation d'antenne RFID qui utilisent des encres conductrices.

Actuellement de nouvelles encres conductrices sont à l'étude pour améliorer les performances des techniques d'impression. Ces encres sont constituées de particules métalliques de 100 µm à 0,1 µm en suspension dans différentes résines polymères. La figure Fig. I 18 illustre l'impact de la vitesse d'impression sur le cout d'un tag RFID finalisé.

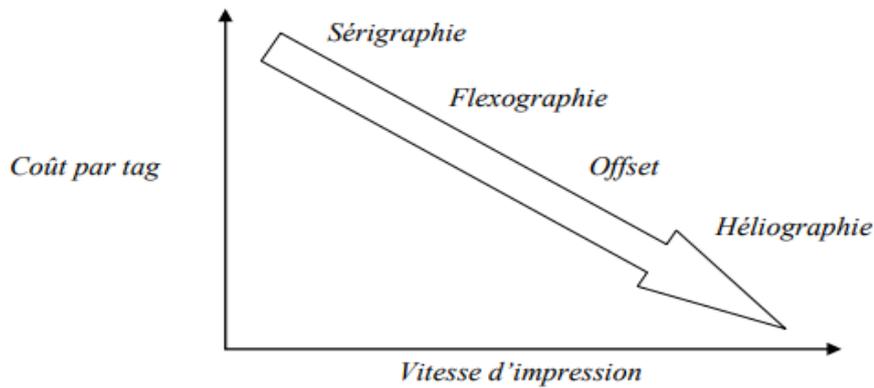


Fig. I 18 : la vitesse d'impression sur le coût d'un tag RFID finalisé.

### Impression jet d'encre

Les systèmes d'impression jet d'encre permettent de réaliser des tags en petite quantité. L'avantage fondamental de cette technologie réside dans sa grande souplesse d'utilisation et à faible coût. En effet, il n'est pas nécessaire de réaliser de masque physique pour réaliser des motifs géométriques spécifiques. Le principe de fonctionnement d'une imprimante jet d'encre consiste à déposer l'encre à travers une buse sur un endroit précis du support. La tête d'impression composée du réservoir et de la buse est montée sur un translateur 2D pour contrôler la position du dépôt dans les axes X et Y. Le procédé jet d'encre utilisé en électronique imprimée est basé sur la technologie DOD (Drop On Demand). Une micro goutte d'encre issue du réservoir se retrouve dans la buse sans pour autant s'en détacher. La tension superficielle de l'encre est responsable de cet état. Pour éjecter la goutte hors de la buse, une pression lui est appliquée à travers un procédé thermique ou piézo-électrique [10].

### I.10 - conclusion

On a initialisé ce chapitre avec une présentation générale de la RFID qui comprend son histoire et son impact sur le marché des technologie faible coût et fiable comme exemple l'Université l'utilise dans les bibliothèque pour la détection des livres où il est nécessaire de suivre des architectures qui comprend des tags ,des étiquettes et des lecteurs qui se caractérise par des antennes bien spécifique qui vont être définie dans le chapitre suivant pour arriver a un système globale de la RFID avec des caractéristiques comme « énergie ,fréquence ,portée» ,ce système doit suivre des normes bien spécifié afin d'arrivé à l'étape de la fabrication qui dépend du cout et la vitesse d'impression.



# Chapitre II

## Les antennes appliquées dans la RFID

### II.1 - Introduction

Nous savons bien que la technologie RFID est devenue une technologie dominante dans la vie quotidienne. La recherche électromagnétique concerne principalement la conception des antennes d'étiquettes ayant une haute efficacité et de petite taille [11]. Dans ce chapitre, nous allons présenter les paramètres fondamentaux d'une antenne et les différentes techniques d'adaptation ainsi que la méthodologie de conception.

### II.2 - Les paramètres fondamentaux d'une antenne

#### II.2.1 - L'impédance

Dans une approche circuit, une antenne est caractérisée par son impédance complexe  $Z_a$ . Cette impédance est composée d'une partie réelle  $R_a$  et d'une partie imaginaire  $X_a$ .

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

La partie réelle dans l'équation (II.1) est composée de la résistance de rayonnement  $R_r$  et de la résistance des pertes  $R_l$ . L'énergie dissipée dans  $R_r$  correspond à l'énergie rayonnée par l'antenne. 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.

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

Dans le cas de l'émission, un générateur connecté à l'antenne possède également une impédance interne  $Z_g$  constituée d'une partie réelle  $R_g$  et d'une partie imaginaire  $X_g$ .

$$Z_g = R_g + jX_g \quad (II.3)$$

Le schéma équivalent d'une antenne en transmission est représenté sur la figure (Fig.II 1.a).

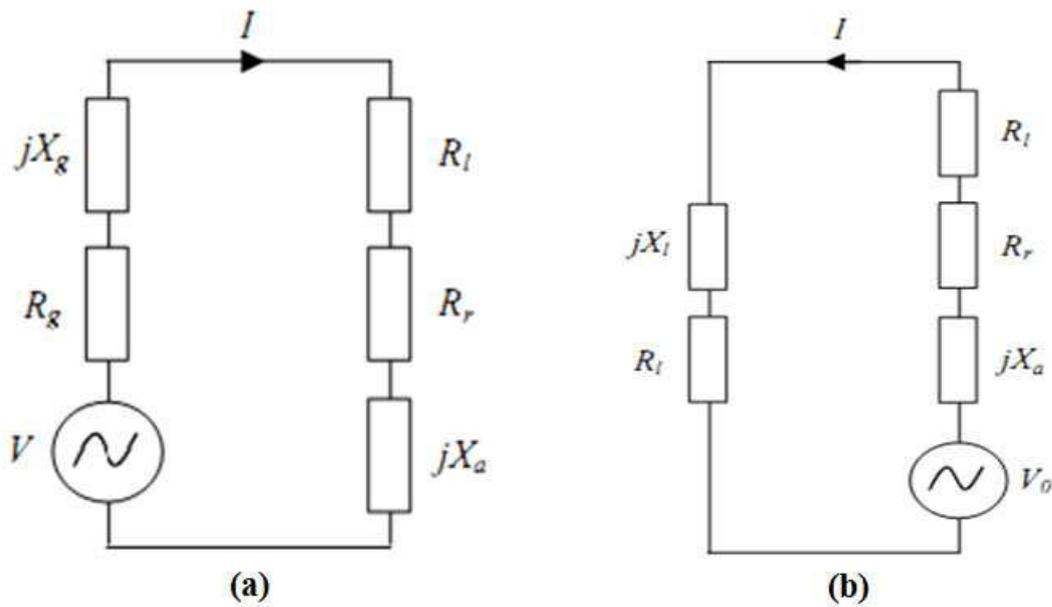


Fig.II 13 : Schémas équivalents d’une antenne en :  
 (a)Transmission et (b)réception.

Dans le cas de la réception, l’antenne est connectée à une charge ayant une impédance  $Z_l$  composée pareillement d’une partie réelle  $R_l$  et d’une partie imaginaire  $X_l$ .

$$Z_l = R_l + jX_l \quad (II.4)$$

Le schéma équivalent d’une antenne en réception est représenté sur la figure (Fig.II 1b).  $V_0$  représente la tension générée aux bornes de l’antenne en mode réception. Dans le cas de l’adaptation, elle est reliée à la densité de puissance  $S$  de l’onde incidente par l’équation [II.5]:

$$\frac{V_0}{8R_a} = \frac{S^2}{4} G \quad (II.5)$$

Où  $G$  est le gain de l’antenne que nous introduirons par la suite,  $\lambda$  est la longueur d’onde à la fréquence considérée [11].

### II.2.2 - Le coefficient de réflexion

Communément, une antenne est conçue pour être adaptée à l’impédance caractéristique  $Z_0$  réelle d’une ligne de transmission (généralement  $50 \Omega$  ou  $75 \Omega$ ) afin de minimiser le taux d’onde stationnaire (TOS). On définit alors le coefficient de réflexion d’une antenne  $\Gamma$  par (II.6) :

$$\Gamma = \frac{Z_a - Z_0}{Z_a + Z_0} \quad (II.6)$$

Le TOS est quant à lui donné par (II.7):

$$TOS = \frac{1 + \Gamma}{1 - \Gamma} \quad (II.7)$$

### II.2.3 - Les régions du champ électromagnétique

Le champ électromagnétique rayonnée par une antenne peut être divisé en plusieurs régions telles que illustrées sur la figure (Fig.II 2), où « a » désigne la plus grande dimension de l'antenne. Ces différentes régions sont délimitées par les sphères de rayon  $R_1$  et  $R_2$  respectivement définies comme dans la Figure (Fig.II 2). [4]

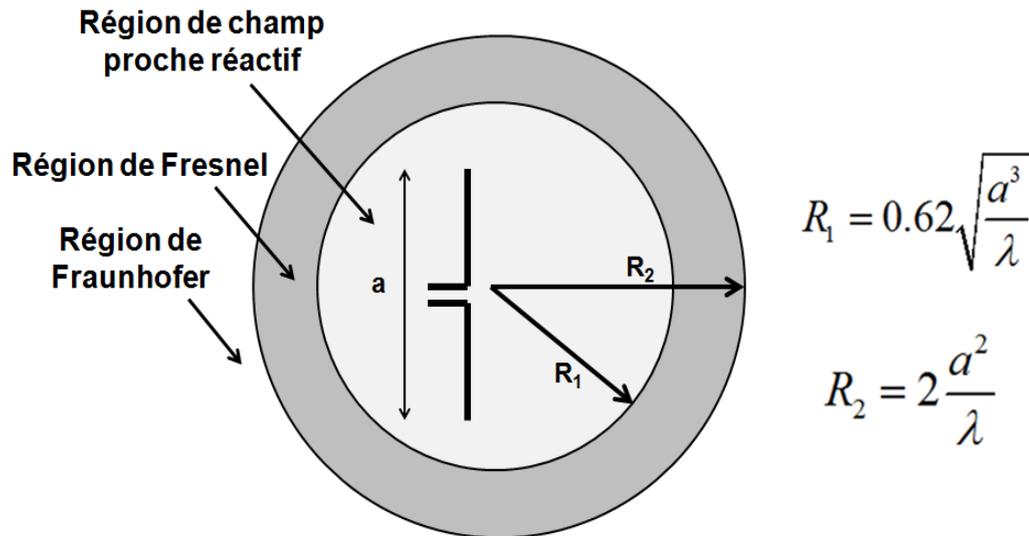


Fig.II 14 : Les régions de rayonnement au voisinage d'une antenne.

La région de champ proche réactif est la région immédiatement entourant une antenne.

Dans cette région le champ réactif est dominant. Pour une petite antenne, cette région est communément comprise dans une sphère de rayon  $\lambda/2\pi$ . La région de Fresnel (ou région de champ proche radiatif) est une région intermédiaire entre la région de champ proche et la région de Fraunhofer. Si l'antenne a une dimension petite comparée à la longueur d'onde cette région peut ne pas exister. Dans cette région, la distribution du champ électromagnétique est dépendante de la distance par rapport à l'antenne.

La région de Fraunhofer (ou région de champ lointain) est définie comme étant la région où l'onde électromagnétique générée par l'antenne est formée. La distribution du champ rayonné et donc le diagramme de rayonnement sont indépendants de la distance par rapport à l'antenne [11].

### II.2.4 - Polarisation

Les champs électromagnétiques ont une orientation spatiale qui peut être constante ou variable dans le temps et cette orientation définit la polarisation de l'onde. Les champs électriques incidents sur un conducteur génèrent des courants de surface parallèles à eux. Si le champ incident sur une antenne est majoritairement perpendiculaire à la polarisation de l'antenne, alors le signal généré sera très faible et ne permettra pas le fonctionnement du tag dans le cas de la RFID. La plupart des antennes que nous avons examinées sont allongées (notamment de forme dipolaire) dans une direction et communiqueront facilement avec les champs polarisés le long de cette direction [4].

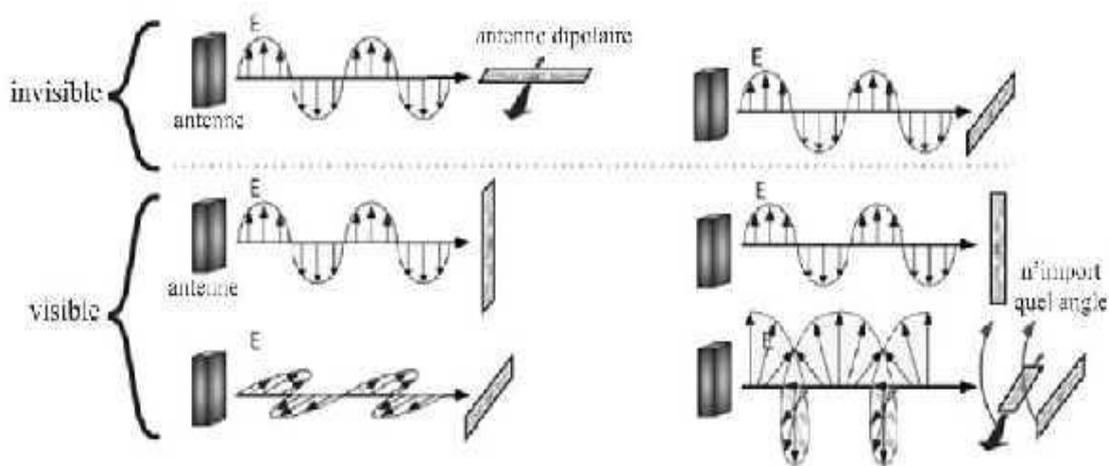


Fig.II 15 : Différentes dispositions des tags dipolaires par rapport à la polarisation de l'antenne du lecteur [11].

Cela signifie que quelques combinaisons de polarisation et d'orientation permettront aux tags d'être lus et d'autres combinaisons laisseront les tags quasi-invisibles à l'illumination du lecteur (Fig.II 3). En conséquence, les antennes de tag dipolaires doivent être alignées selon la polarisation de l'antenne de lecteur pour être lues [4].

### II.2.5 - La distance de lecture

La distance de lecture est un des facteurs les plus importants pour évaluer la performance de la conception de l'antenne d'un tag. Cette distance, connue également sous le nom de « Read-range », est donnée par la formule (II.8) [11].

$$d_{\max} = \frac{c}{4\pi f} \sqrt{\frac{EIRP \cdot G_{tag}}{P_{th}}} \quad (II.8)$$

Où ( $G_{tag}$ ) est le gain de l'antenne du tag, (EIRP) puissance isotrope rayonnée équivalente.

( $P_{th}$ ) sensibilité de la puce,  $\Gamma$  est le coefficient de transmission donné comme dans l'équation (II.9) [11].

$$\Gamma = \frac{4R_p R_A}{|Z_p + Z_A|^2} \leq 1 \quad (II.9)$$

### II.3 - Les motifs de base des antennes de tag RFID

Dans les technologies sans fil, la communication entre le récepteur et l'émetteur est conditionnée par les paramètres et performances des antennes. En fonction des besoins spécifiques de chaque application, l'antenne sera conçue pour répondre aux contraintes correspondantes. Dans cette section, les motifs les plus courants des antennes pour la conception des étiquettes RFID sont revus.

#### II.3.1 - Antenne dipolaire

Les antennes dipôles sont largement utilisées dans les systèmes radio en les comparant avec les antennes ligne traditionnelles grâce à leurs atouts (petit volume, faible poids et faible coût), elles sont nettement plus appropriées aux applications sensibles (récepteurs mobiles, récepteurs radio pour véhicules, et Tag RFID).

Nous avons trouvé judicieux de commencer nos configurations par l'antenne dipôle référence, en abordant toutes les étapes préalables à la conception. Une antenne dipôle standard présente un diagramme de rayonnement quasi-omnidirectionnel. Pour obtenir une bonne performance d'un dipôle, sa longueur devra être de l'ordre de la demi-longueur d'onde [4.12].

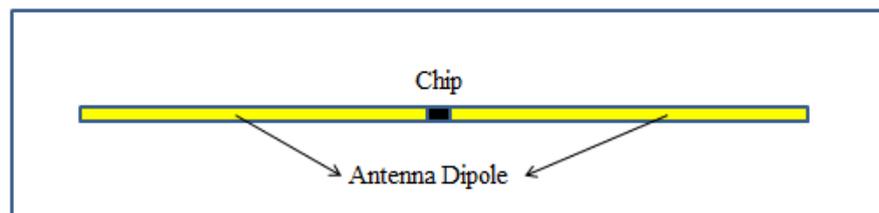


Fig.II 16 : Antenne dipolaire classique.

#### II.3.2 - Antenne à fente

L'antenne à fente appelée aussi (slot antenna) est un motif qui possède une large bande passante et l'intégration avec des composants ou circuits électroniques est relativement aisée. En outre, l'antenne à fente est très facile à fabriquer et présente un bas coût.

Ce type de l'antenne est particulièrement adapté pour une exploitation dans les environnements métalliques [4].

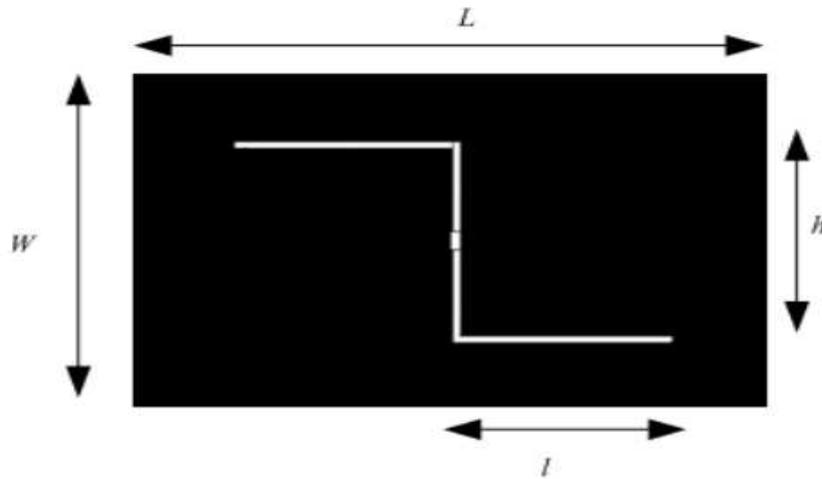


Fig.II 17 : Antenne à fente.

### II.3.3 - Antenne microruban

L'antenne microruban appelée aussi (microstrip antenna) est couramment utilisée dans la conception d'antenne pour la RFID. Les avantages de l'antenne micro-ruban sont la taille, généralement plus petite que les autres types de l'antenne, un faible coût de fabrication, une alimentation électrique très flexible et la robustesse à l'environnement où le tag est placé. Cette robustesse est due à la présence du plan de masse. Les inconvénients les plus importants de ce motif sont une bande passante très étroite et une polarisation linéaire qui limitent sa gamme d'application dans la RFID [4].

### II.3.4 - Antenne en F inverse (IFA)

Un autre motif utilisé pour les tags RFID est l'antenne en F inversé (Inverted F Antenna-IFA). L'IFA se compose d'un fil conducteur placé parallèlement au plan de masse, un morceau de fil assurant la connexion au plan de masse et un fil d'alimentation pour l'antenne. La longueur du fil vertical qui est relié entre le fil de conducteur et le plan de masse peut être utilisée pour ajuster la résistance et la capacité de l'antenne. Le principal élément rayonnant est la ligne de conducteur parallèle au plan de masse, tandis que le fil de liaison est la cause des pertes de puissance. Pour améliorer la bande passante de l'IFA, le fil de rayonnement sera remplacé par un plan de rayonnement et nous permet d'obtenir un nouveau motif appelé PIFA (Fig.II 6) [4].

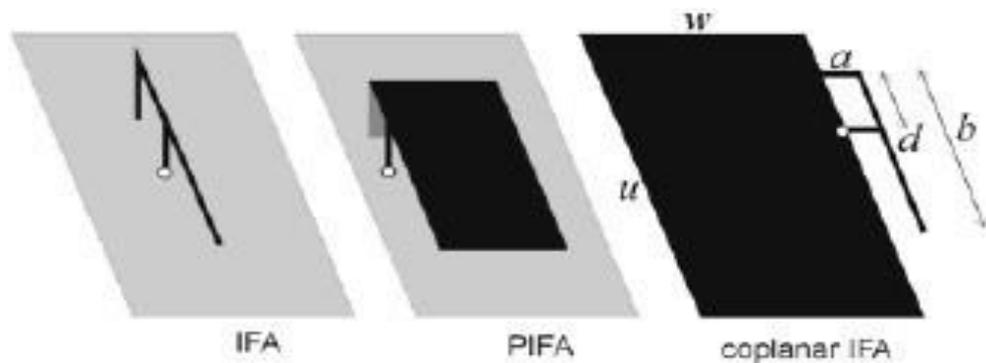


Fig.II 18 : différentes configurations d'antennes IFA.

### II.4 - La méthodologie de conception d'antenne des tags RFID UHF passif

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 (Fig.II 7) [4]. Lors de la sélection des applications RFID, les exigences et contraintes du système seront mises en correspondance avec les exigences de l'étiquette. 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... Une fois la conception terminée, nous réalisons les antennes et les mesurons pour s'assurer si la conception satisfait aux besoins de l'application. S'il est satisfait, le processus de conception sera réussi. Dans le cas contraire, il faut continuer à l'adapter et l'optimiser jusqu'à ce que les exigences soient satisfaites.

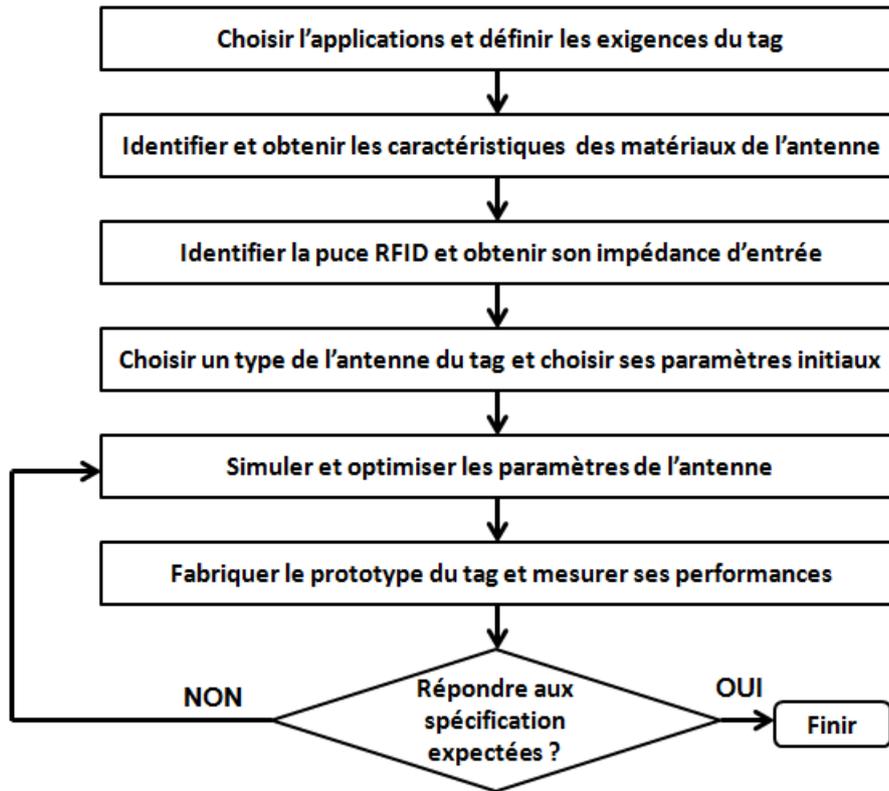


Fig.II 19 : Méthodologie de conception d'antenne des tags.

### II.4.1 - contraintes pour la conception du tag RFID

Pour que le système RFID fonctionne bien, une condition préalable est la nécessité de définir clairement les exigences de conception. Chaque situation a des besoins différents qui dépendent en fonction de l'objet d'application, les réglementations de chaque pays, la capacité d'interagir avec les autres systèmes de télécommunication [11].

#### II.4.1.1 - La fréquence et la bande passante

La fréquence est choisie en fonction de l'application. En effet aussi bien les hautes fréquences que les basses fréquences peuvent être envisagées. Cependant, les caractéristiques de chaque gamme de fréquence sont très différentes en terme d'application. En effet, l'environnement ou les obstacles entre l'étiquette et le lecteur peuvent influencer sur la performance du système. Les fréquences LF et HF sont utilisées

Normalement dans les environnements comme les matériaux diélectriques (papier, plastique, céramique, etc....) qui peuvent laisser pénétrer dans les champs électromagnétiques. Ils sont

également utilisés pour des matériaux à fortes pertes diélectriques ou des milieux métalliques car la pénétration de l'onde électromagnétique est souvent suffisante.

Néanmoins, la distance de lecteur demeure modeste, le plus souvent bien inférieure au mètre, car il s'agit d'un couplage magnétique.

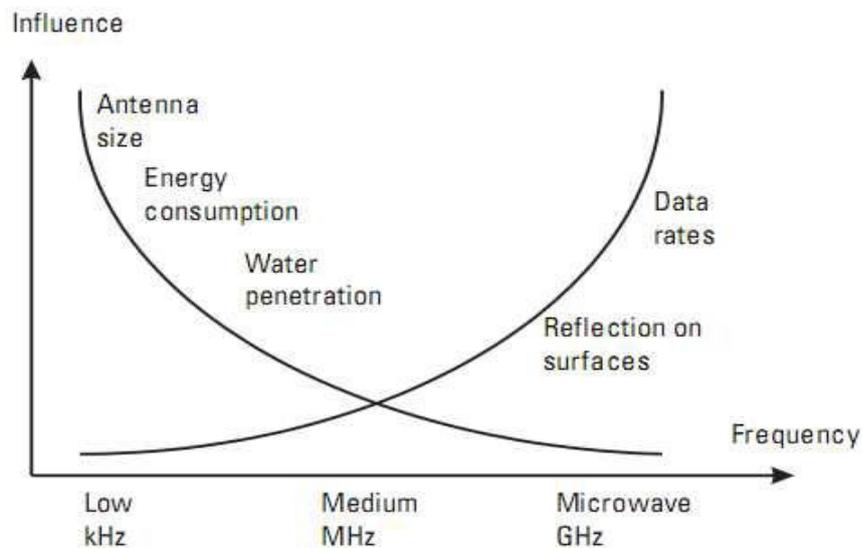


Fig.II 20 : Les influences de l'environnement sur l'onde électromagnétique selon les différentes fréquences[4].

### II.4.1.2 - La distance de lecture

La distance de lecture d'un système RFID dépend de la configuration des composants du système et les paramètres suivants :

- La fréquence de travail et les performances de l'antenne.
- La polarisation de l'antenne.
- La répartition de courant.
- La sensibilité du récepteur.
- Les méthodes de modulation et de démodulation.
- Le nombre de bits de données et l'algorithme d'anticollisions.
- L'environnement.

La distance de lecture du système UHF est plus grande que pour la HF car l'efficacité de l'antenne augmente quand la fréquence augmente. Avec une fréquence de résonance constante, les paramètres de (a) à (c) dépendent de la structure d'antenne.

Le paramètre (d) est déterminé par la configuration de lecteur. La condition (e) concerne au protocole de communication du dispositif et la condition (f) concerne le logiciel d'application. Idéalement, pour les applications RFID, la forme et la taille de l'antenne doit être conçues de sorte que le tag puisse fonctionner sur les différents objets (cartes d'identité, des valises, des papiers, etc....) différentes surfaces y compris courbées (comme boîtes à pilules, les flacons de vaccin, etc....) ou pliables comme sur les valises utilisées dans le transport aérien. En outre, la taille de l'antenne détermine également la fréquence de fonctionnement et aussi l'efficacité de rayonnement de l'antenne du tag. Dans la pratique des compromis sont à faire avoir la meilleure conception [11].

### II.5 - Techniques d'adaptation d'impédance pour les tags RFID UHF passifs

Le premier avantage de l'adaptation d'impédance entre l'antenne du tag et la puce est de récupérer 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).

#### II.5.1 - T-match Structure

Une approche possible pour l'adaptation d'une antenne à la puce RFID qui a généralement une impédance capacitive, est d'ajouter une structure d'adaptation inductive.

Une structure possible utilise une combinaison d'inductances en parallèle et en série. Une telle approche est montrée à la figure (Fig.II 9) [4]. Les inductances parallèle et série sont réalisées par des longueurs de ligne conductrice raccordant l'antenne à la puce.

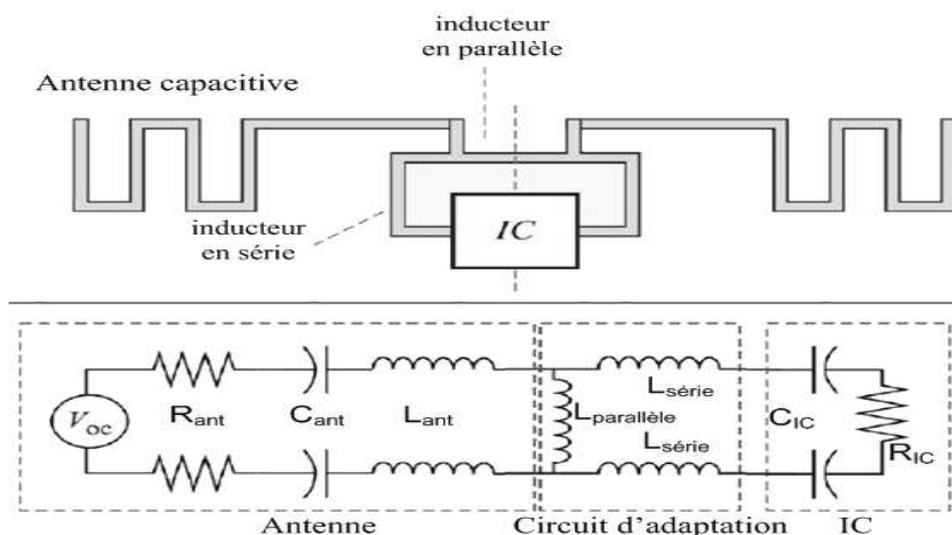


Fig.II 21 : Le modèle de circuit équivalent de la configuration T-Match.

### II.5.2 - adaptation avec boucle à couplage inductif

Le fonctionnement de cette configuration est presque identique à la configuration T-Match, mais nous utilisons une boucle proche de l'antenne pour exploiter le couplage mutuel afin d'ajuster l'impédance de la structure (Fig.II 10). Les paramètres de l'adaptation de l'impédance sont les dimensions de la boucle ainsi que de l'antenne et la distance entre la boucle et l'antenne. L'impédance équivalente vue à partir de la puce [4.11].

$$Z_{in} = Z_{loop} + \frac{(2\pi fM)^2}{Z_A} \quad (II.10)$$

### II.5.3 - Structure de Nested-Slot

C'est une approche complètement différente en comparaison avec celles au-dessus au sein de la structure de l'antenne plate, des fentes pour l'adaptation sont créées comme dans la figure (Fig.II 11). Les fentes sont équivalentes aux résistances et inductances qui permettent de stocker et de rayonner l'énergie électromagnétique. Avec plusieurs degrés de liberté, cette configuration contribue à la réduction de la taille et à la réalisation de structures multi-bandes [4].

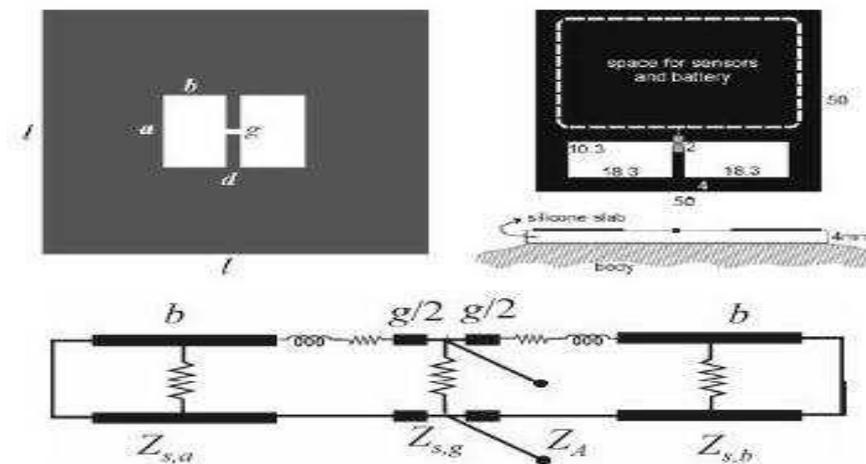


Fig.II 22 : La configuration de Nested-slot.

### II.5.4 - Tip-loading

Une autre méthode consiste à utiliser une antenne plus courte avec une impédance convenable puis de lui ajouter une structure de grande taille à ses extrémités. Cette grande structure est connue comme le « tip-loading capacitive » [4.11] et a globalement un effet capacitif. Un dipôle tip-loading semble plus inductif qu'un dipôle conventionnel de la même

longueur et est donc plus facile à adapter. Les anciens dipôles de tip-loading utilisaient souvent des sphères en métal, avec une capacité proportionnelle à la superficie de surface de la sphère. Les antennes imprimées doivent utiliser des structures plates et la capacité ajoutée est grossièrement proportionnelle au périmètre de la forme plutôt que sa superficie.

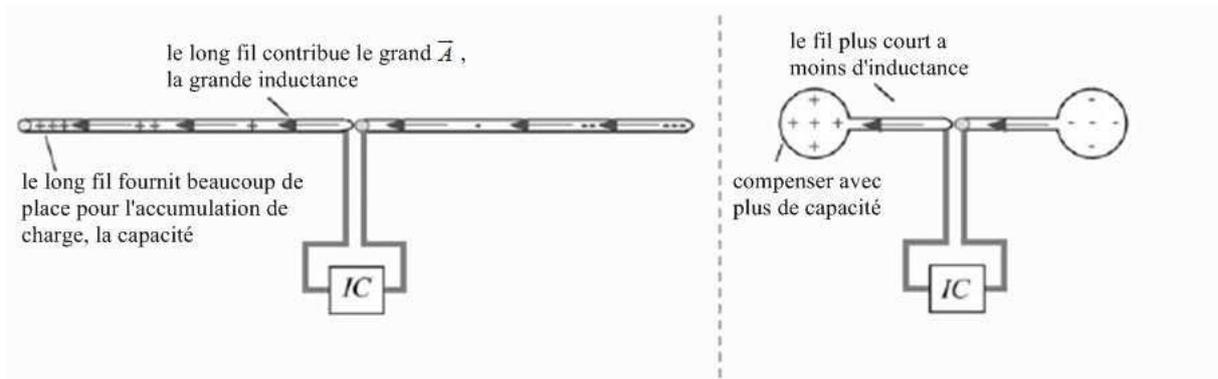


Fig.II 23 : Le dipôle raccourci par l'ajout des capacités aux bouts.

### II.5.5 - Dipôle replié

Le dipôle replié peut être analysé en décomposant la tension appliquée en parties différentielle et commune. La partie différentielle lorsque les deux fils reçoivent des tensions opposées, et la partie commune, lorsque les segments à gauche et à droite reçoivent la même tension (Fig.II 12). Les tensions différentielles se propagent le long de ce qui ressemble à une ligne de transmission bifilaire; puisque le courant sur le fil à gauche est toujours égal en grandeur et en direction opposée à celui sur le fil de droite. Le rayonnement de ces courants s'annule et donc la ligne de transmission n'a aucune résistance de radiation associée à cela.

Dans le cas particulier où chaque bras de l'antenne est un quart de la longueur d'onde, les segments de ligne de transmission transforment le court-circuit à leur bout dans un circuit ouvert, pour que la tension de ligne de transmission ne génère aucun courant du tout [4].

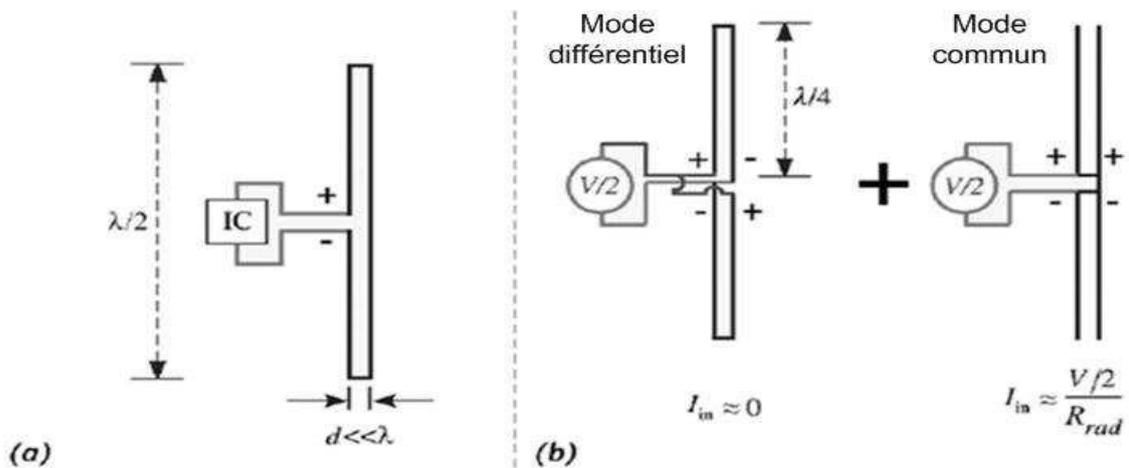


Fig. II 24 : a) Dipôle replié b) Tension en décomposant en modes différentiel et commun.

## II.6 – Conclusion

Dans ce chapitre nous avons aperçu une vue générale sur les antennes des tags RFID et ses paramètres fondamentaux tels que l'impédance et le coefficient de réflexion..., et les motifs de base des antennes des tags RFID, comme nous avons vu quelques techniques D'adaptation d'impédance.

Dernièrement, nous avons vu la méthodologie de conception d'antennes des tags afin de l'appliquer dans le chapitre suivant avec des résultats.

# Chapitre III

## Conception et résultats de simulation

### III.1 - introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter différentes structures des antennes pour la RFID conçues et simulées sous environnement CST MICROWAVE STUDIO SUITE. En général, les concepteurs d'antennes commencent par des structures simples. Les dimensions sont calculées à partir de formules empiriques afin d'avoir la fréquence d'opération désirée. Par la suite, il est envisageable de modifier certains paramètres de l'antenne dans le but de répondre aux exigences de l'application en question, à savoir, le gain, la bande passante, l'impédance d'entrée de l'antenne, etc...

### III.2 - Simulation des antennes de tags RFID

#### III.2.1 - Antenne Dipôle

Les antennes dipôles sont largement utilisées dans les systèmes radio en les comparant avec les antennes ligne traditionnelles grâce à leurs atouts (petit volume, faible poids et faible coût), elles sont nettement plus appropriées aux applications sensibles (récepteurs mobiles, récepteurs radio pour véhicules, et Tag RFID).

Nous avons commencé nos configurations par l'antenne dipôle référence, en abordant toutes les étapes préalables à la conception [12].

Nous avons conçu une antenne dipôle déposée sur un substrat de type FR-4 de permittivité relative  $\epsilon_r=4.3$ , de constante de pertes  $\delta= 0.0019$ , d'épaisseur  $h=1.6\text{mm}$  et de taille  $143\times 43\text{ mm}^2$ .

La fréquence de résonance désirée est de 870 MHz. L'alimentation de cette antenne se fait au centre du dipôle, l'ouverture d'alimentation est de 1mm.

Pour déduire la longueur du dipôle on applique l'équation (III-1) :

$$l=0.47 \lambda = 0.47 \frac{v}{f} \quad (\text{III-1})$$

Où  $f$  est la fréquence désirée et  $v$  représente la vitesse de propagation dans le milieu sur les brins du dipôle et se calcule par l'équation (III-2) :

$$v = \frac{c_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (\text{III-2})$$

Où  $c_0$  est la vitesse de la lumière dans le vide et  $\epsilon_{eff}$  est la constante diélectrique effective du milieu environnant [12], sa valeur est donnée par l'équation (III-3) dans le cas où  $w/h > 1$ .

$$\epsilon_{eff}(w) = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ 1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (III-3)$$

Où  $w$  est la largeur du dipôle et  $h$  est l'épaisseur du substrat.

Pour une valeur de  $w = 3$  mm et  $h = 1.6$  mm, nous trouvons après les calculs avec un programme sur MATLAB la valeur de  $l = 90$  mm. Les dimensions sont montrées sur la figure (Fig.III 1)

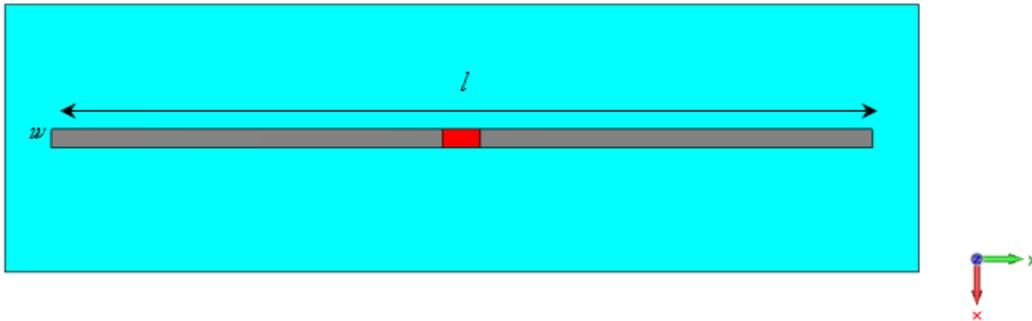


Fig.III 5 : La configuration de l'antenne dipôle.

Dans ce cas nous avons alimenté notre antenne par un port discret possédant une impédance de  $50 \Omega$  comme le montre la figure (Fig.III 2).

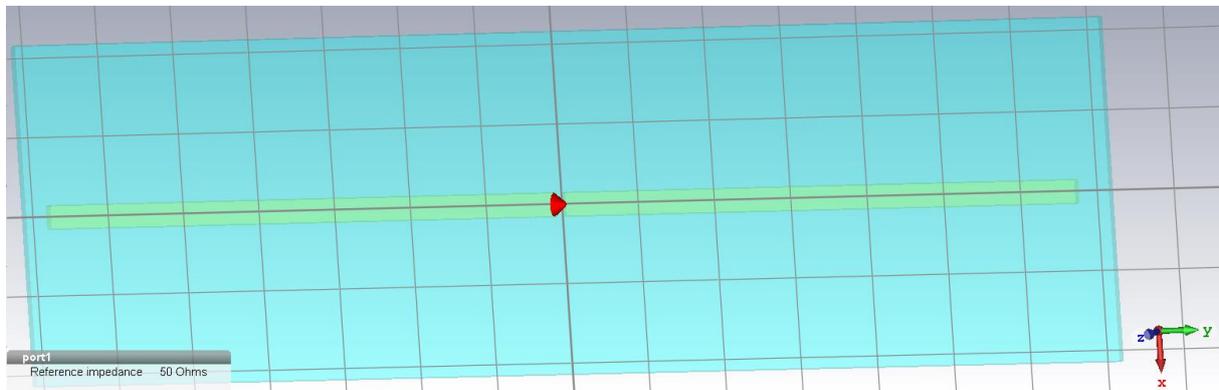


Fig.III 6 :Alimentation du dipôle par port discret.

Après optimisation et pour atteindre un fonctionnement de l'antenne à notre fréquence désirée on obtient les paramètres optimaux suivants :  $l = 137$  mm,  $w = 2.2$  mm,  $L_{sub} = 144.67$  mm et  $W_{sub} = 44.95$  mm.

La figure (Fig.III 3) illustre le module du coefficient de réflexion  $|S_{11}|$ , l'antenne est simulé dans le domaine temporel. Nous remarquons que le coefficient de réflexion atteint la valeur de  $-22.81$  dB à la fréquence de résonance 870 MHz.

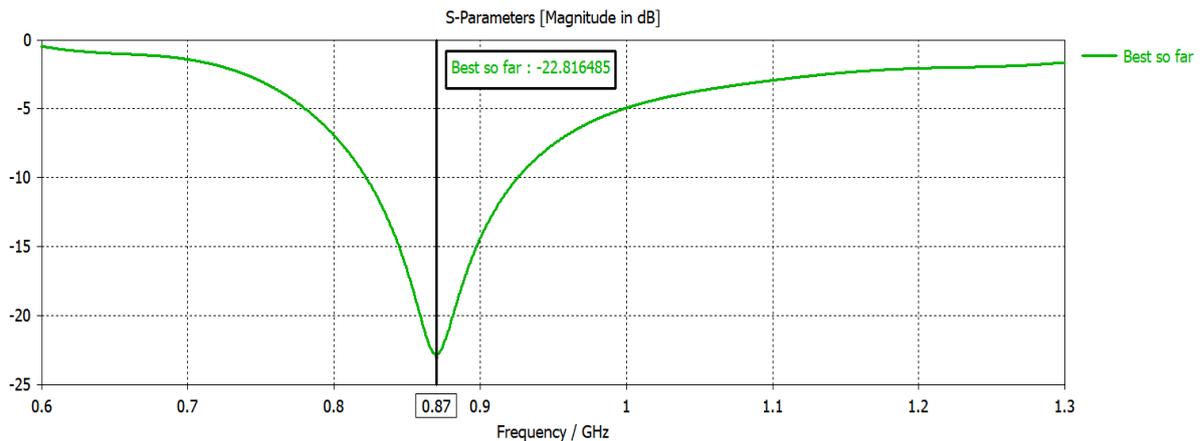


Fig.III 7 : Coefficient de réflexion de l'antenne dipôle.

La figure (Fig.III 4) montre le diagramme de rayonnement de notre antenne avec un gain de 2.27 dB, ce rayonnement est omnidirectionnel dans le plan x-z.

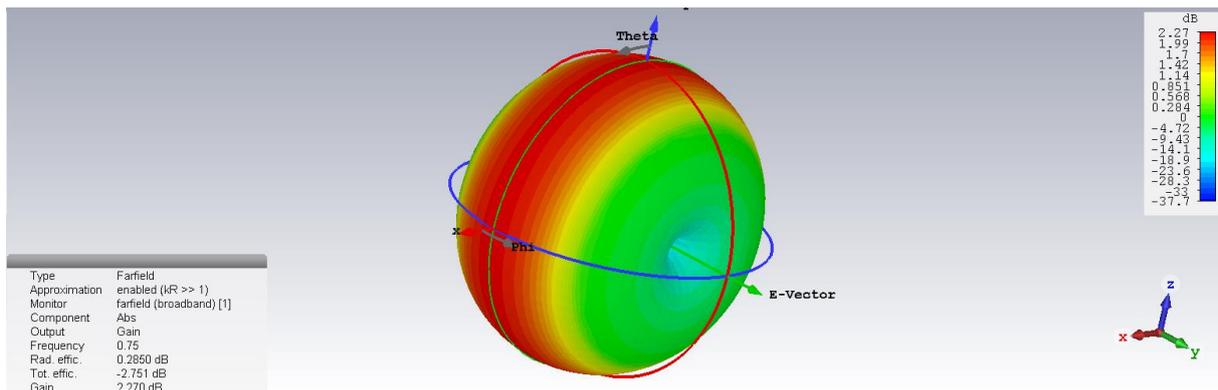


Fig.III 8 : Diagramme de rayonnement de l'antenne dipôle.

### III.2.2 - Les antennes dipôles repliées

Nous nous sommes également intéressés au repliement des antennes de type dipôles. La géométrie de cette antenne se présente sous la forme d'un dipôle replié, cette antenne est destinée à fonctionner en UHF à la fréquence de 868 MHz normalisée par les applications RFID. Elle est séparée en deux parties, une au-dessous du substrat sous la forme d'un anneau avec une ouverture au but d'alimentation (emplacement de la puce) et l'autre partie déposée sur le substrat comme le montre la figure (Fig. III 5).

Pour cette antenne on a utilisé un substrat de type FR-4 de permittivité  $\epsilon_r = 4.4$  d'une hauteur  $h=0.8$  mm et d'une taille de  $96*30$  mm<sup>2</sup>.

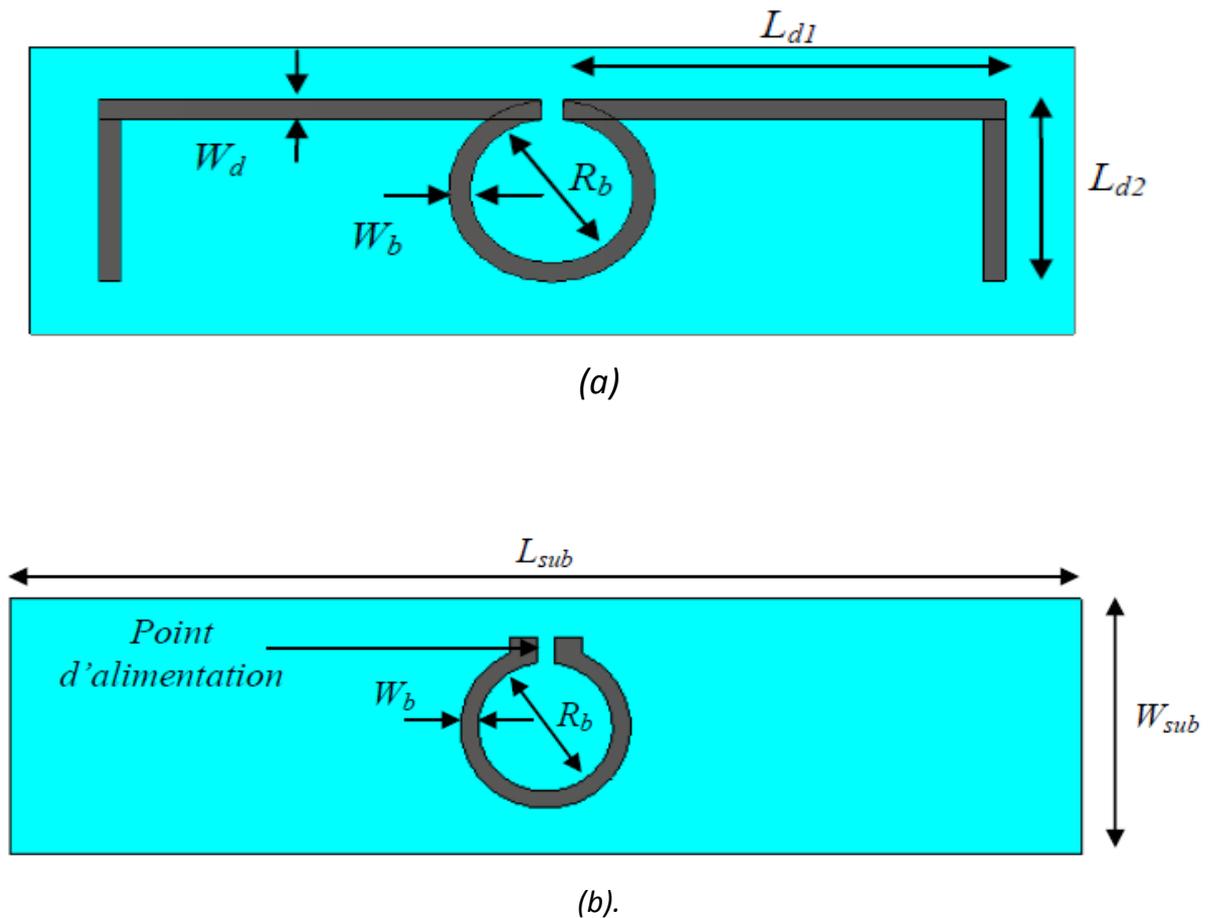


Fig.III 9 : Géométrie de l'antenne repliée alimentée par couplage.

(a) Vue de dessus. (b) Vue de dessous.

Nous avons fait une étude paramétrique pour savoir l'influence du paramètre sur la géométrie de l'antenne, on a choisi deux paramètres pour faire notre étude sont : l'épaisseur de substrat et  $w_b$  voir les figures (Fig.III 6 et Fig.III 7).

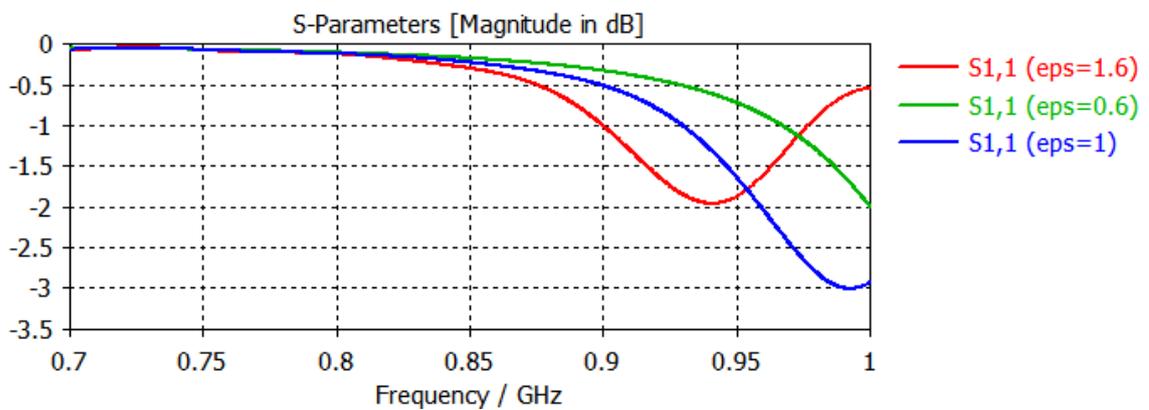


Fig.III 6 : : coefficient de réflexion selon la variation de l'épaisseur du substrat

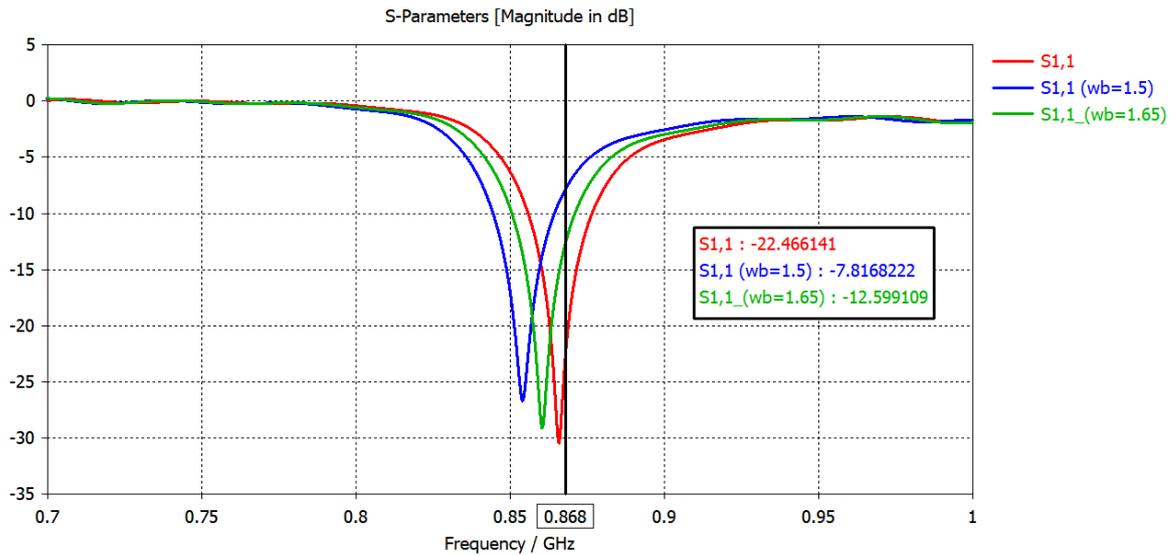
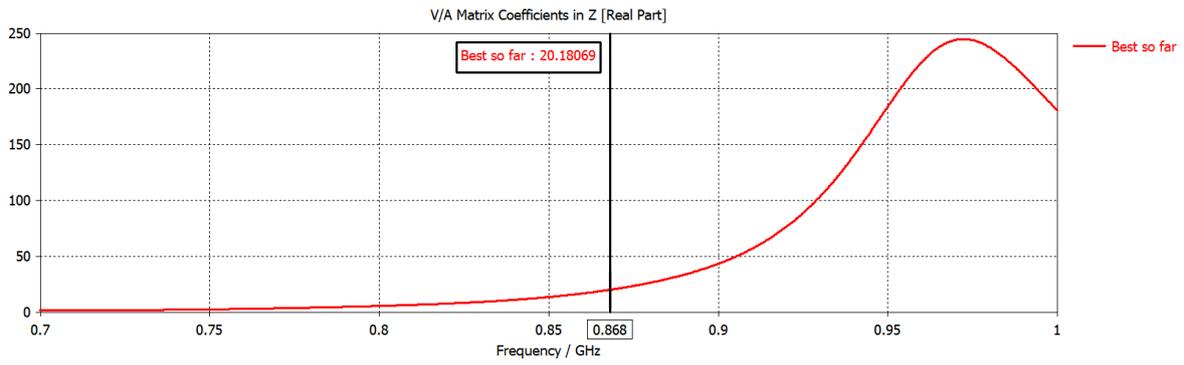


Fig.III 7 : coefficient de réflexion selon la variation de  $w_b$ .

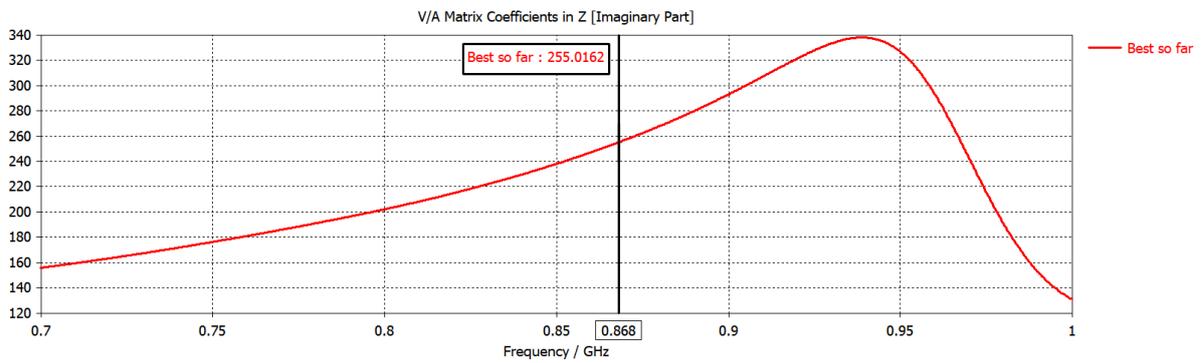
Les résultats de simulation et d'optimisation ont permis d'extraire les paramètres optimaux d'adaptation à 868 MHz de cette antenne pour la puce XRAG2[6] en packaging die d'impédance  $Z_p = (20 - j 255) (\Omega)$ . Ces paramètres sont présentés dans le Tableau.III.1.

Tab. III.1. Paramètres de l'antenne dipôle

Variable	868 MHz
$L_{sub}$ (mm)	96
$W_{sub}$ (mm)	30
$L_{d1}$ (mm)	35.78
$L_{d2}$ (mm)	19.64
$W_d$ (mm)	1.95
$W_b$ (mm)	1.93
$R_b$ (mm)	14.46
$Z_a (\Omega)$	$20.1+j255$



(a).



(b).

Fig.III 8 : L'impédance de l'antenne,

(a) Réel de  $Z_a(\Omega)$ , (b) Imaginaire de  $Z_a(\Omega)$ .

Une fois les paramètres optimaux déterminés, nous plaçons la puce qui est modélisée sous CST par un port discret qui porte la valeur du  $\text{Re}(Z_p)$  et un autre élément de type lumped element qui porte  $\text{Im}(Z_p)$  comme le montre la figure Fig.III 9.

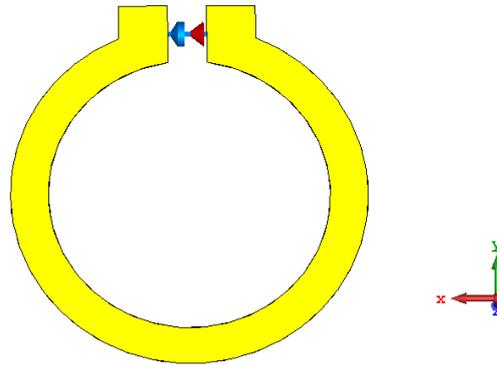


Fig.III 9 : modélisation de la puce sur CST.

Nous lançons la simulation de l'antenne sur CST avec les paramètres optimaux et l'effet capacitif de la puce on a obtenu une bande passante de 22 MHz comme le montre la figure (Fig.III 10) et un coefficient de réflexion  $|S_{11}| = -23.8\text{dB}$

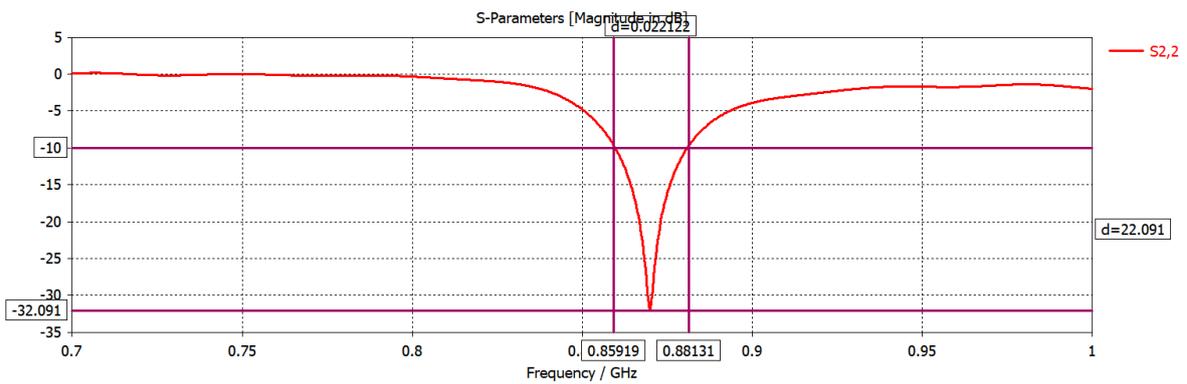


Fig.III 10 : Le coefficient de réflexion de l'antenne.

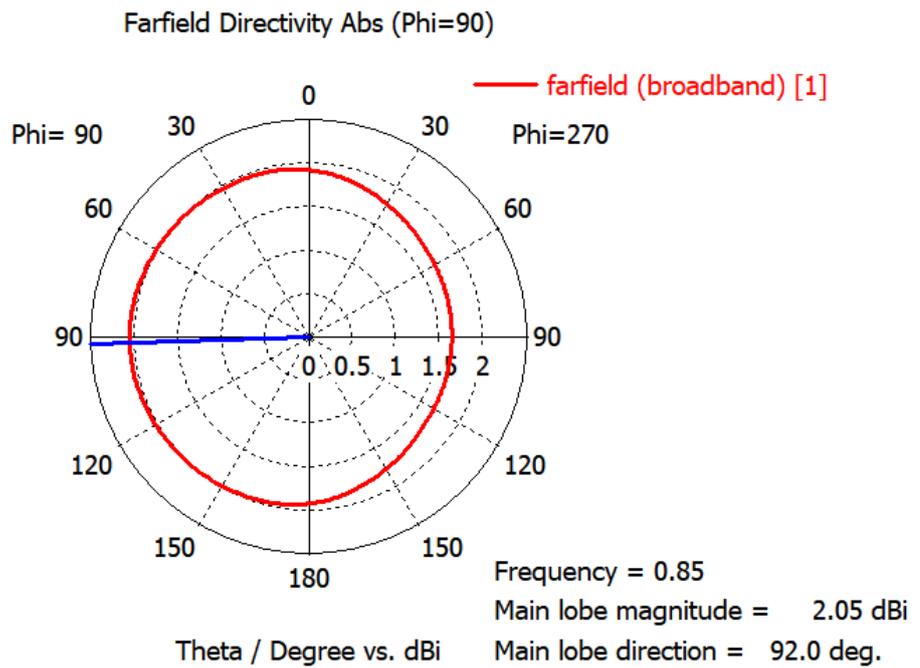
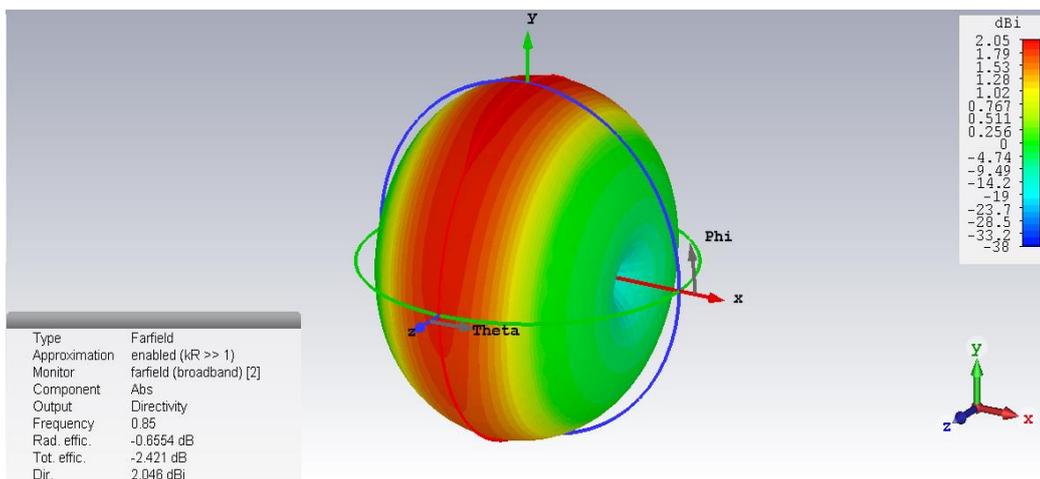


Fig.III 11 : a -Diagramme de rayonnement en 2D

La figure (Fig.III 11) représente le diagramme de rayonnement obtenu par simulation, on remarque que le rayonnement est omnidirectionnel et la directivité à la fréquence de 850MHz peut atteindre la valeur 2.05 dBi.



b- Diagramme de rayonnement en 3D.

La distance de lecture obtenue en espace libre du tag présenté ici peut être calculé en utilisant l'équation de Friis :

$$d_{\max} = \frac{c}{4\pi f} \sqrt{\frac{EIRP \cdot G_{tag}}{P_{th}}}$$

Où ( $G_{tag}$ ) est le gain de l'antenne du tag, (EIRP) puissance isotrope rayonnée équivalente.

( $P_{th}$ ) sensibilité de la puce,  $\Gamma$  est le coefficient de transmission

Nous avons fait un programme MATLAB pour calculer cette distance MATLAB qui nous affiche une valeur égale à 14.4 m comme le montre la figure (Fig.III 12).

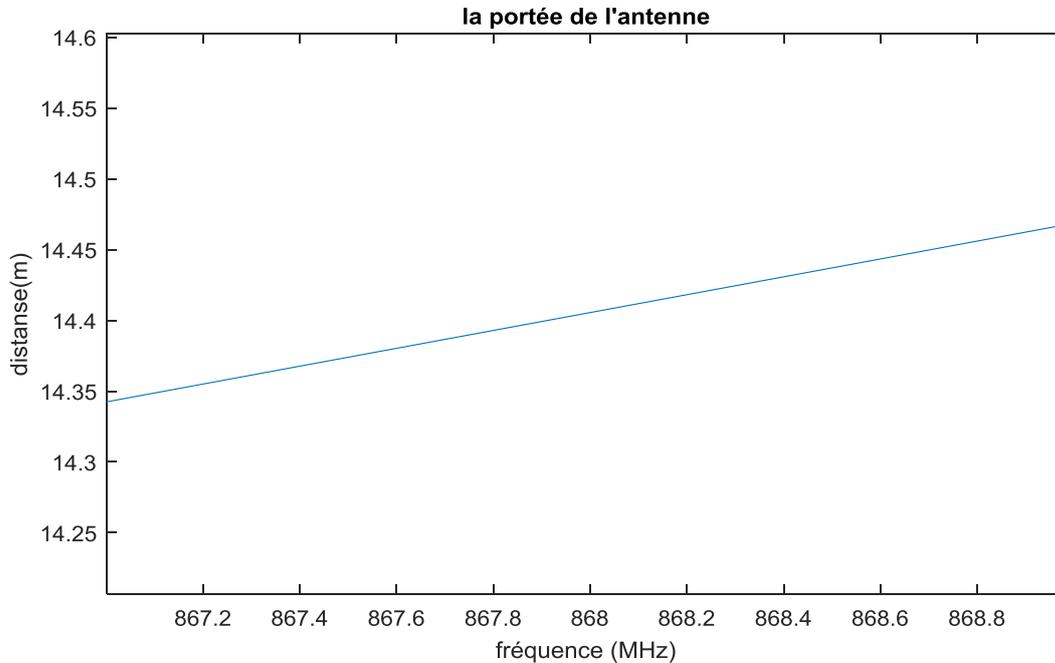


Fig.III 12 : La distance de lecture à la fréquence de résonance.

### III.2.3 - Antenne ULB

Dans [6] ils ont étudié une antenne ULB ,ses valeurs dans le tableau (tab.III.2). On a modifié cette structure pour obtenir notre propre structure comme montre la figure (Fig.III 13).

Tab.III.2: Les paramètres de l'antenne ULB.

Variable	Lsub	Wsub	Wp	Lp	Lf	Wf	Wc	Lst1	Lst2	Wst1	Wst2	Lsl1	Lsl2	Wsl
(mm)	35	30	15	14.5	12.5	3.2	1	1	1.5	1.5	1.5	5	1.5	0.5

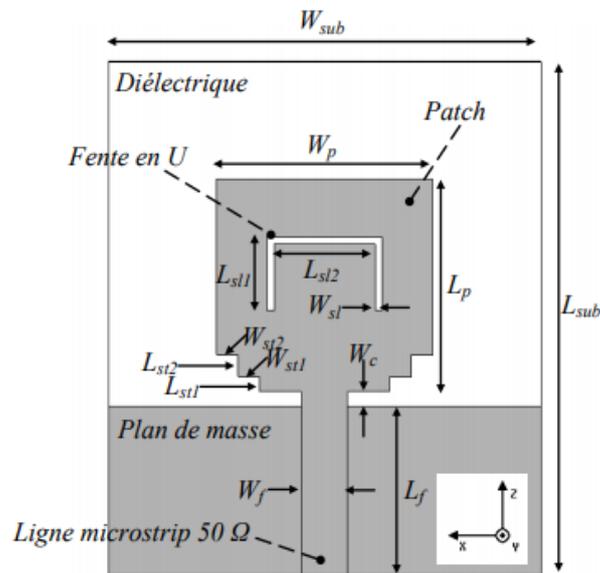


Fig.III 13 : Géométrie de l'antenne ULB avec les paramètres.

Le rôle de faite des encoches sur la structure est l'adaptation de l'antenne sur l'ensemble de la bande ULB.

L'adaptation de l'antenne est également réalisée grâce à l'écart entre le plan de masse et l'élément rayonnant contrôlé par le paramètre  $W_c$ . La fente en forme de U a pour le but de la rejection de la fréquence wifi (autour de 5,6 GHz).

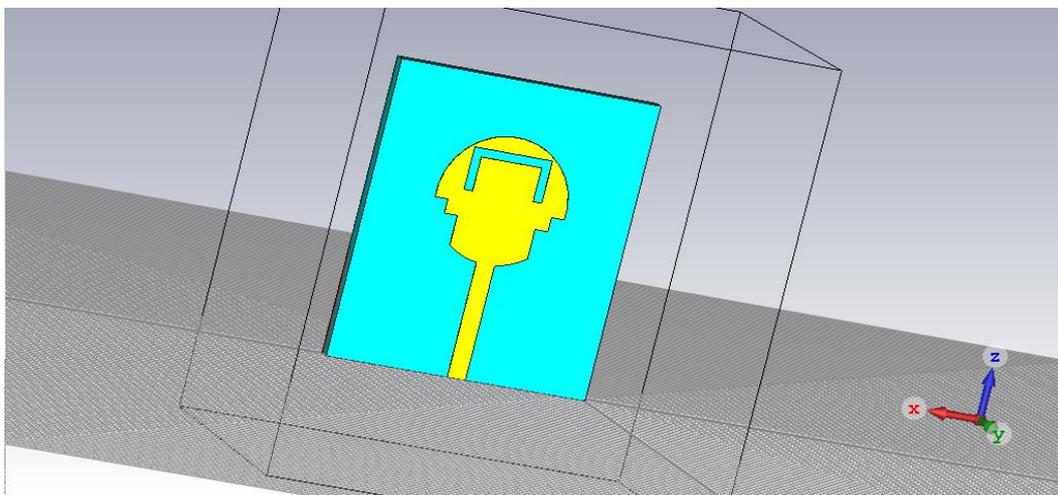


Fig.III 14 : Géométrie de l'antenne ULB proposée.

La figure (Fig.III 14) illustre le plan de masse utilisé dans cette antenne, il est partiel afin d'élargir la bande passante.

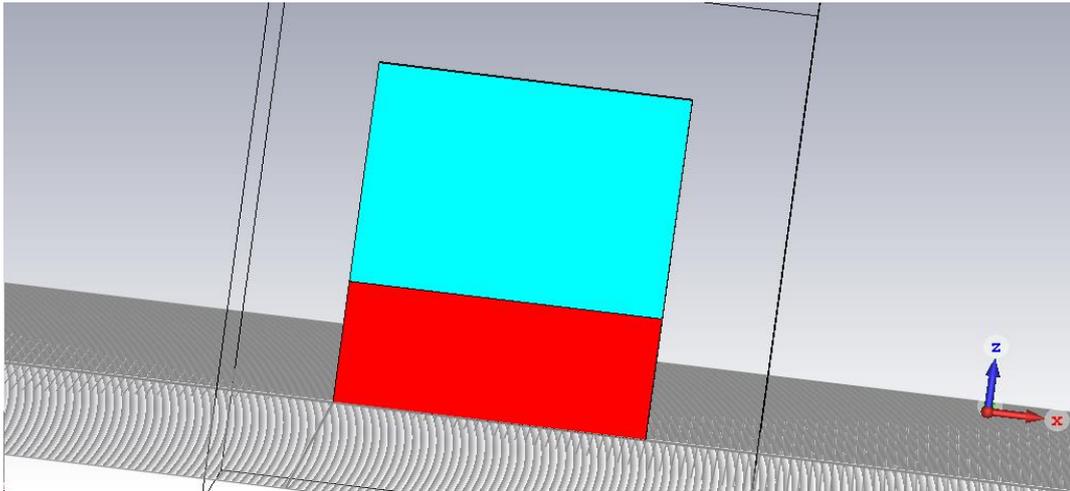


Fig.III 15 : Plan de masse utilisé.

Nous avons utilisé un nouveau substrat de type

Kapton AP8535R [4] pour sa flexibilité et sa souplesse d'épaisseur  $h=1.6$  mm de constante  $\epsilon_r=3.16$ ,  $\tan \delta =0.002$  et d'une taille de  $30 \times 35 \text{mm}^2$ .

nous avons utilisé un guide d'onde pour alimenter notre antenne et après optimisation nous avons obtenu les valeurs des paramètres données dans le tableau (Tab.III.3).

Tab.III.3: Paramètres de l'antenne après optimisation.

Variable	Wp	Lp	Lf	Wf	Wc	Lst1	Lst2	Wst1	Wst2	Lsl1	Lsl2	Wsl
(mm)	15	14.5	12.5	2.11	1	5	1.67	1.5	1.5	5	7	1

Nous avons une adaptation à la fréquence de 4.728 GHz avec un coefficient de réflexion  $|S_{11}|=-36.14$  dB comme montre la figure (Fig.III 16) et une bande passante égale à 2.86 GHz, voir la figure (Fig.III 17).

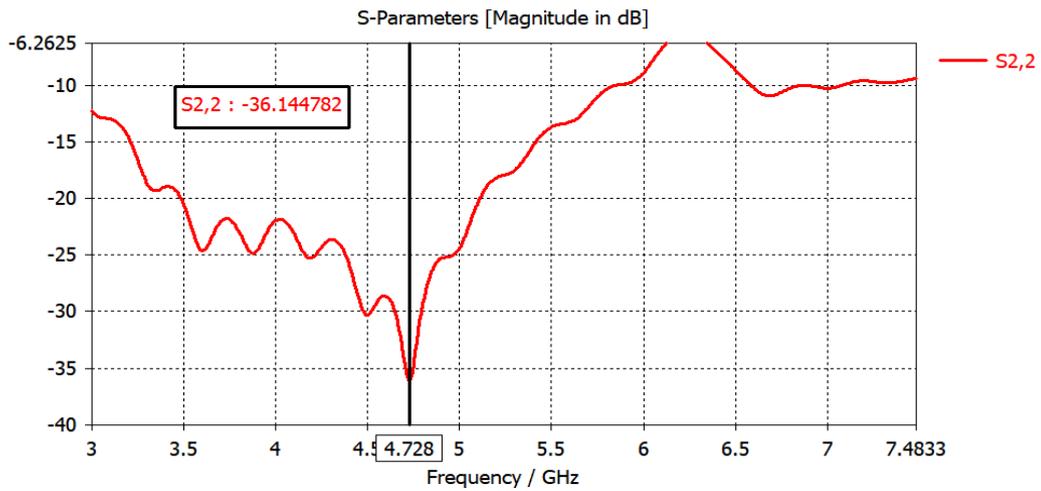


Fig.III 16 : Coefficient de réflexion  $|S_{11}|$ .

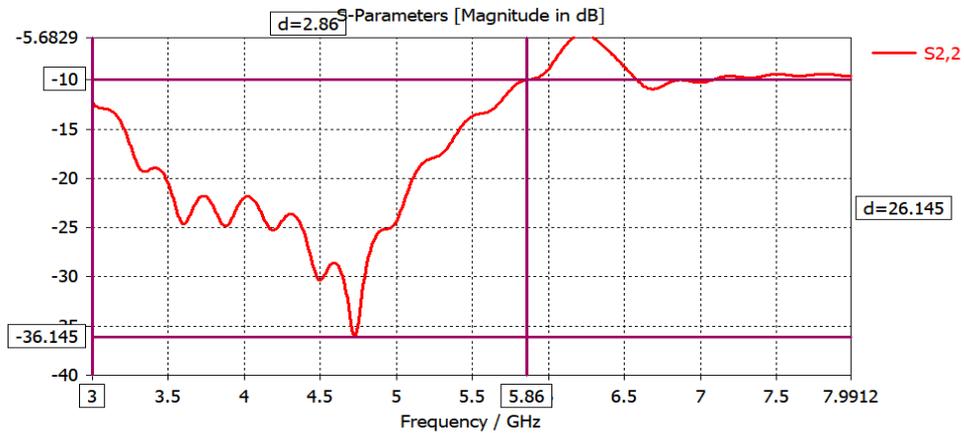


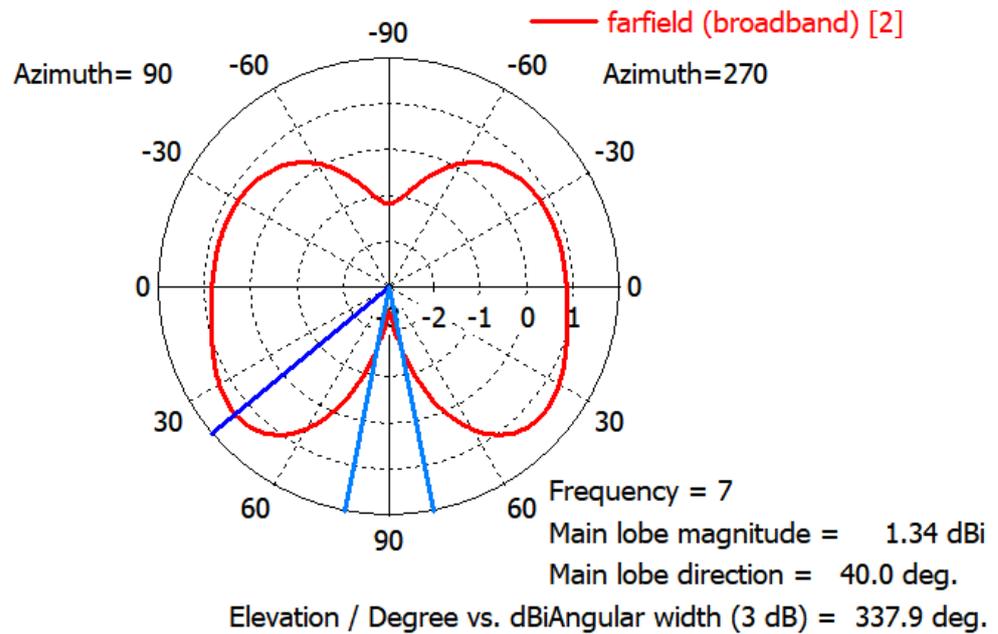
Fig.III 17 : Bande passante de l'antenne.

Cette antenne est généralement utilisée au niveau du lecteur dans le but d'avoir une large bande passante de [3 : 5.86] GHz, pour pouvoir capter n'importe quel signal du tag avec une fréquence incluse dans cette bande.

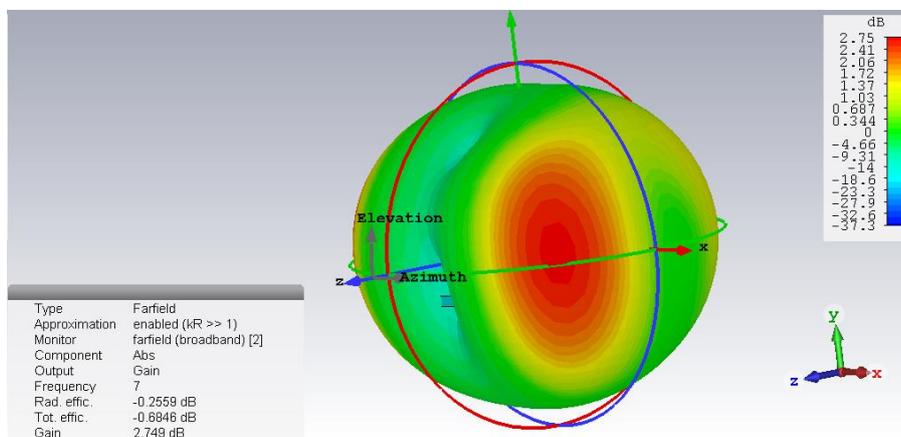
La figure (Fig.III 18) montre le diagramme de rayonnement de notre propre antenne, nous avons un rayonnement avec un gain qui peut atteindre la valeur 2.75 dB.

Fig.III 18 :

Farfield Directivity Abs (Azimuth=90)



a : Diagramme de rayonnement en 2D



b : Le diagramme de rayonnement avec un max du gain.

La figure (Fig.III 19) illustre le gain en fonction de la fréquences nous remarquons que notre antenne a un gain de 2.53 dB à la fréquence de résonance  $f=4.782$  GHz

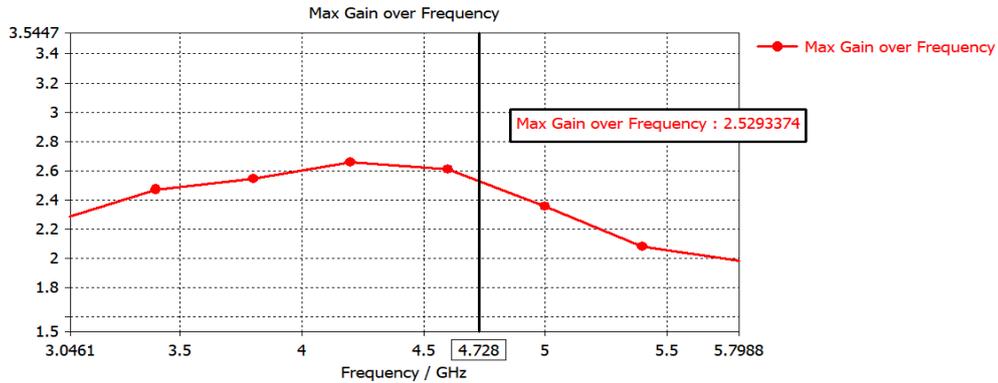


Fig.III 19 : Gain en fonction de la fréquence.

### III.2.4 - Antenne quasi log périodique

Cette antenne est la première antenne proposée par 'Heng-Tung Hsu', elle a l'avantage d'avoir une large bande passante avec un rayonnement omnidirectionnel et un Gain qui peut atteindre la valeur de 2 dBi. nous avons simulés cette antenne sous CST. Le substrat utilisée est de type FR-4, d'épaisseur 0.4 mm d'une constante diélectrique  $\epsilon_r=4.4$  et  $\tan \delta =0.025$ . les dimensions sont :  $l=65$  mm,  $l_1=7.5$  mm,  $l_2=53$  mm,  $w_a=2$  mm,  $d_a=3$  mm,  $g=3$  mm et  $w=1$  mm.

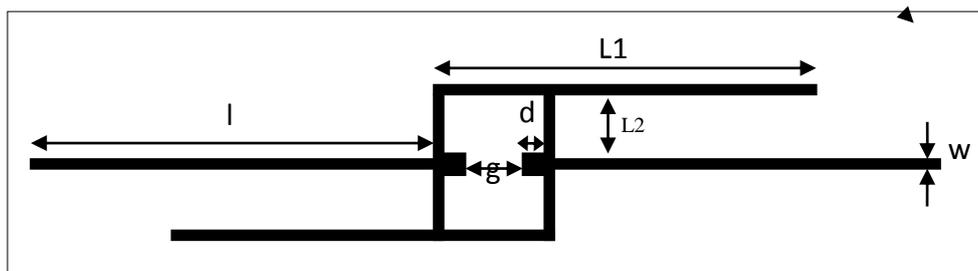


Fig.III 20 : structure de l'antenne quasi log periodique.

Pour optimiser cette antenne nous l'avons alimenté au niveau de l'ouverture paramètre 'g' par un port discret d'impédance de  $50 \Omega$  comme le montre la figure (Fig.III 21).

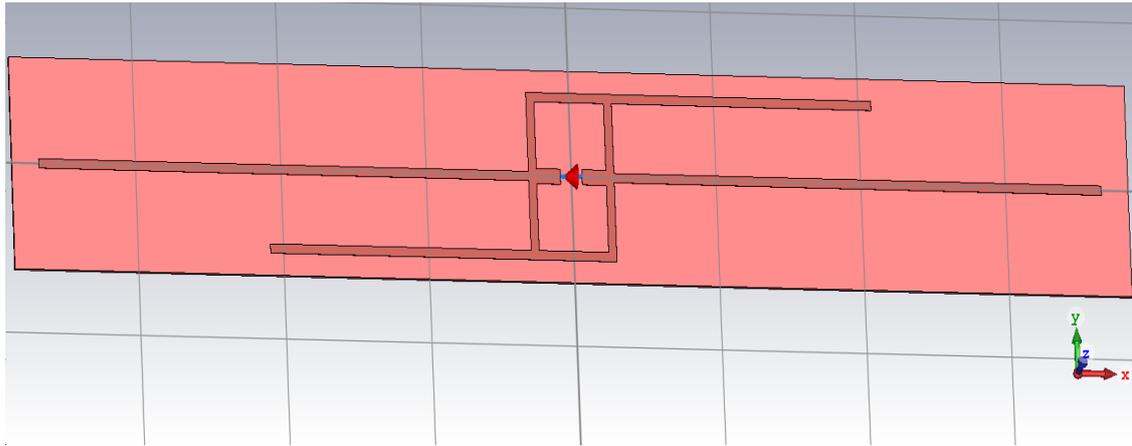


Fig.III 21 : Alimentation d'antenne par un port discret.

Après l'optimisation nous avons obtenu des nouvelles valeurs des paramètres pour un fonctionnement de l'antenne à la fréquence désirée qui égale à 915 MHz et une adaptation avec la puce (RI-UHF-STRAP-08) d'impédance d'entrée  $10 - j 60 (\Omega)$ , les paramètres optimaux obtenus sont:  $l = 67.38$  mm,  $la1 = 8.25$  mm,  $la2 = 47.7$  mm,  $wa = 1.8$  mm,  $da = 3.3$  mm,  $g = 3$  mm et  $w = 1.09$  mm.

Nous avons lancé la simulation avec les paramètres optimaux et nous remarquons que cette antenne fonctionne à notre fréquence 915 MHz avec une valeur du coefficient de réflexion  $|S_{11}| = -15.74$  dB comme montre la figure (Fig.III 22) et une bande passante égale à 128 MHz, voir la figure (Fig.III 23).

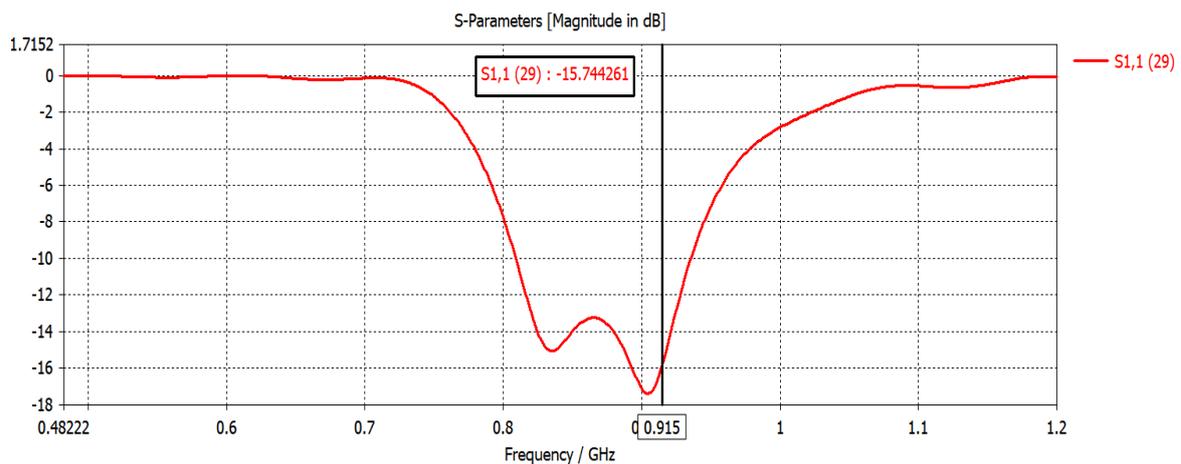


Fig.III 22 : Coefficient de réflexion à la fréquence de travail.

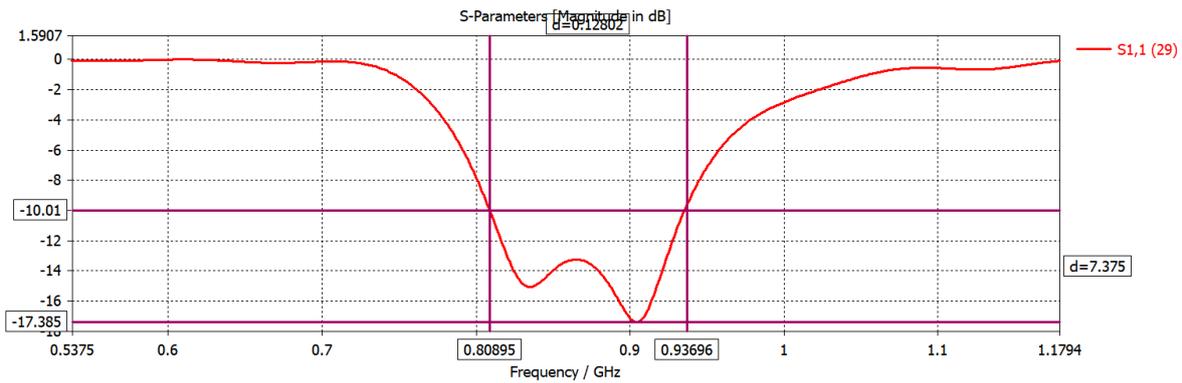
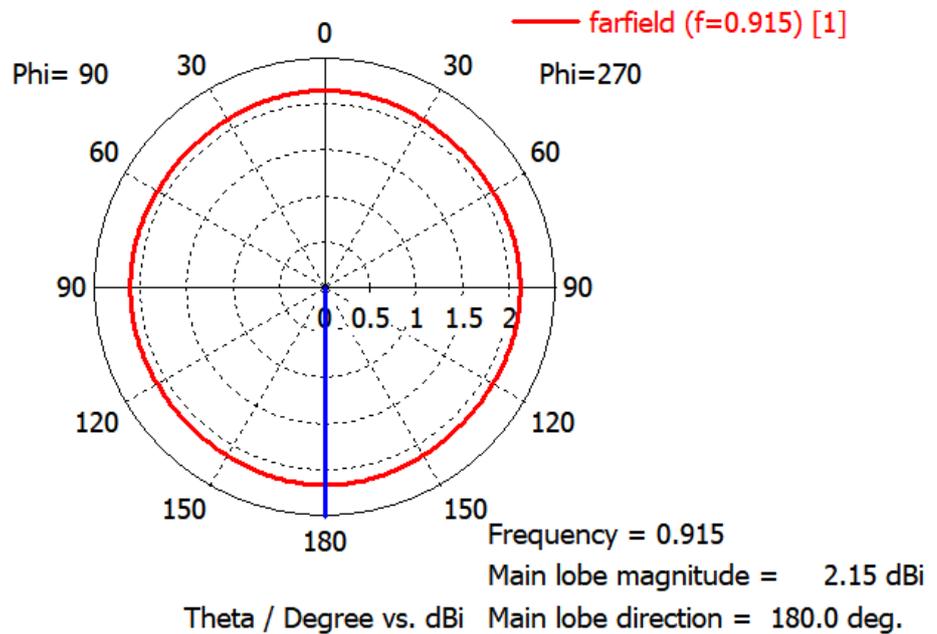


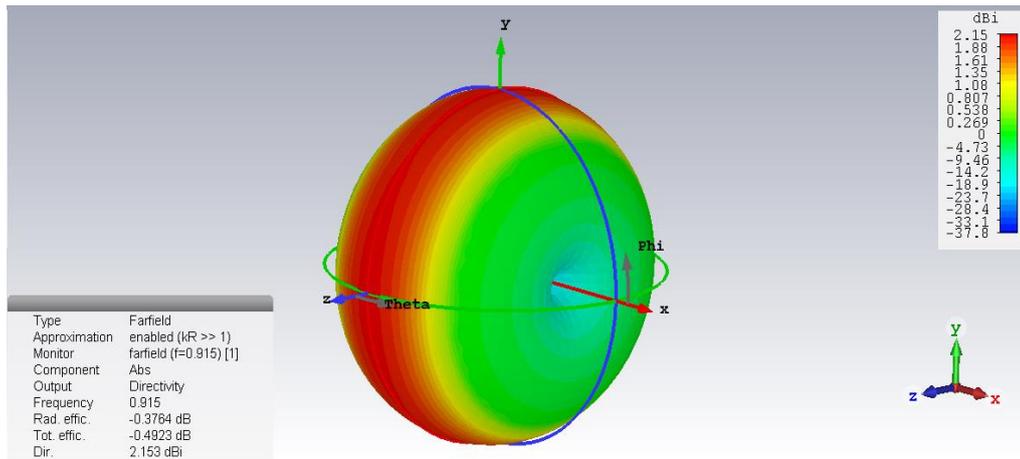
Fig.III 23 : Bande passante de l’antenne.

La figure (Fig.III 24) illustre le diagramme de rayonnement de l’antenne log périodique, nous remarquons que le rayonnement est omnidirectionnel avec une valeur de directivité égale à 2.15 dBi.

Fig.III 24 :  
Farfield Directivity Abs (Phi=90)



a : Diagramme de rayonnement en 2D



b : Diagramme de rayonnement de l'antenne en 3D.

A la résonance d'antenne a un maximum du gain qui peut atteindre une valeur égale à 2 comme le montre la figure (Fig.III 25).

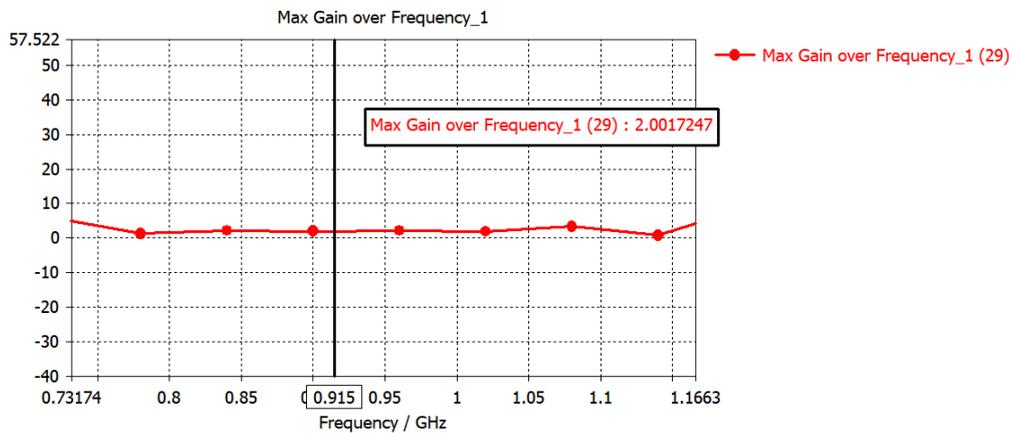


Fig.III 10 : Gain en fonction de la fréquence.

Comme précédemment le calcul de la portée se base toujours sur l'équation de FRIIS, la figure (Fig.III 26) montre la courbe de la portée, nous remarquons que cette antenne avec les paramètres optimaux cités à une portée de 16.432 m .

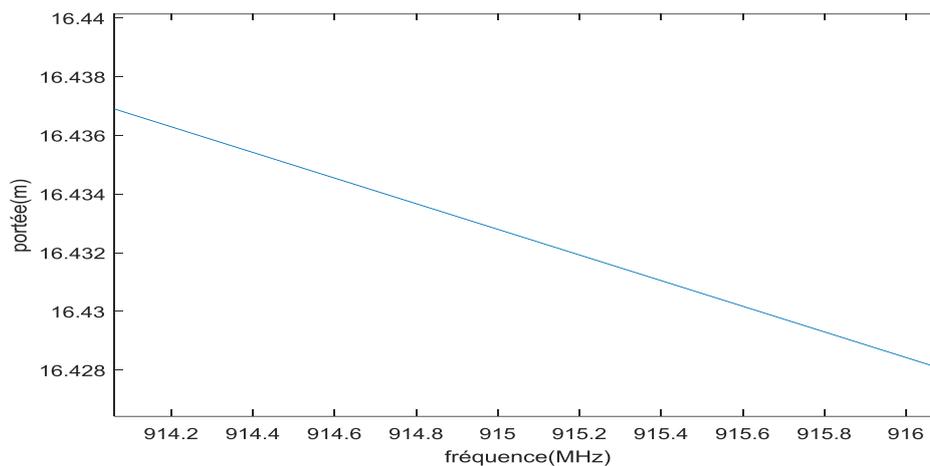


Fig.III 11 : Distance de lecture à la fréquence de résonance.

### III.3 – Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié et simulés quelques antennes RFID en utilisant le logiciel CST studio suite. 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 et nouveaux paramètres et pour arriver au simulation avec une optimisation dans le but d'obtenir des bons résultats dont 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 tous les antennes conçues. Dans le but de montrer l'effet des différents paramètres géométriques et physique tel que la permittivité  $\epsilon_r$  sur les caractéristiques de l'antenne une étude paramétrique a été effectuée afin de savoir quel est le paramètre le plus influant sur le rendement de notre antenne, après nous avons fait une optimisation pour arriver à la meilleure structure avec les conditions données. nous avons lancé la simulation avec une modélisation d'une puce commercialisée pour afficher les résultats dont le coefficient de réflexion à une fréquence bien précise, la bande passante, diagramme de rayonnement et la portée (distance de lecture).

L'objectif de ce mémoire consiste à la conception des antennes pour les applications RFID passif dans la bande UHF et la ULB.

Ce présent travail nous a permis de découvrir et d'étudier la technologie RFID, ainsi que de faire la conception d'antenne en utilisant le logiciel CST

Un système RFID est constitué d'un lecteur et d'un tag, est une technique d'identification à distance basée sur les ondes radio.

Il existe deux grandes familles de tags RFID : les tags actifs et les tags passifs. Un tag passif c'est un circuit qui ne contient pas une source d'énergie à son bord. Il s'auto alimente de l'énergie reçu à partir du lecteur.

Le chapitre 1 a présenté un état de l'art général de la RFID. Les concepts fondamentaux de la RFID passives ont été rappelés ainsi que les applications, les avantages et les inconvénients de cette technologie.

Le chapitre 2 a présenté les différents moyens de caractérisation d'antennes

Le deuxième chapitre a présenté dans une première partie les paramètres fondamentaux d'une antenne. Dans la seconde partie, les motifs de base des antennes de tag RFID, la méthodologie de conception d'antennes des tags RFID ainsi que les techniques d'adaptation d'impédance pour les tags RFID ont été présentés.

Le troisième chapitre a présenté la simulation des antennes RFID. Ce chapitre a mis l'accent sur la méthodologie de conception de ces antennes. Diverses conceptions d'antennes ont été présentées.

Les performances de ces antennes ont été également évaluées à travers la représentation du coefficient de réflexion, du diagramme de rayonnement en 2D et 3D et du gain. A partir des résultats de la caractérisation, des portées de lecture théoriques de l'ordre du mètre sont obtenues grâce aux bonnes performances de l'antenne.

En perspective à ce travail, nous souhaitons :

- Etendre notre étude à d'autres types d'antennes Tag RFID.
- Réalisation d'un système radio fréquence RFID passif.
- Arrivé à l'étape de fabrication

- [1] [www.hitechtools.com/RFID](http://www.hitechtools.com/RFID). juin 2018
- [2] PAULIN ILUNGA KATAMBA TECHNOLOGIE RFID (RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION) : CONCEPTS ET STRATÉGIE DE MISE EN ŒUVRE 2007
- [3] Samia Bouzefrane Laboratoire CEDRIC - CNAM <http://cedric.cnam.fr/~bouzefra> samia.bouzefrane@cnam.fr La technologie RFID / NFC décembre 2013.
- [4] Dat Son Nguyen Développement des capteurs sans fil basés sur les tags RFID UHF passifs pour la détection de la qualité des aliments 2013.
- [5] Tania Martin Le b.a.-ba de la RFID origines, Technologie et Applications Publication périodique de Smals Janvier 2014.
- [6] Anthony GHIOTTO CONCEPTION D'ANTENNES DE TAGS RFID UHF, APPLICATION A LA REALISATION PAR JET DE MATIERE le 26 Novembre 2008.
- [7] Mondher DHAOUADI Conception et optimisation des antennes RFID UHF en vue d'améliorer la fiabilité des systèmes RFID 2014.
- [8] Arnaud Vena Etienne Perret Smaïl Tedjini\_La RFID sans puce « *théorie, conception, mesures* » 2016
- [9] PAULIN ILUNGA KATAMBA TECHNOLOGIE RFID (RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION) : CONCEPTS ET STRATÉGIE DE MISE EN ŒUVRE « FACULTÉ DES SCIENCES ET DE GÉNIE UNIVERSITÉ LAVAL QUÉBEC » 2007.
- [10] Arnaud VENA thèse « Contribution au développement de la technologie RFID sans puce à haute capacité de codage » 2012.
- [11] GOURARI FATIMA ZOHRA Conception d'antennes en technologie micro ruban pour des application RFID passifs 2014.
- [12] Fatima Zahra maarouf « étude et conception d'antennes imprimées pour identification Radio Fréquence RFID UHF » THESE DE DOCTORAT EN TELECOMMUNICATION 2013

## Résumé :

---

Actuellement, le code à barres est progressivement remplacé par des tags RFID (Radio Fréquence Identification) dites aussi « étiquettes communicantes ayant la possibilité de stocker de l'information de manière dynamique et de communiquer sans fil avec leur l'environnement ambiant. Cette technologie trouve ses applications dans différents domaines tels que la traçabilité, suivi médical de l'état d'une passion, le pilotage de la production, Etc...

Ce projet de fin d'étude vise à concevoir des antennes RFID. Diverses conceptions d'antennes ont été présentées.

Pour chaque antenne, nous avons optimisé sa géométrie et ses dimensions en faisant plusieurs simulations avec le logiciel CST afin de déterminer les paramètres de l'antenne qui influencent le plus ses performances.

Les performances de ces antennes ont été également évaluées à travers la représentation du coefficient de réflexion, du diagramme de rayonnement en 2D et 3D et du gain. A partir des résultats de la caractérisation, des portées de lecture théoriques de l'ordre du mètre sont obtenues grâce aux bonnes performances de l'antenne.

**Mots clés :** Tag, lecteur, système RFID, bande UHF, bande ULB, antennes RFID.

## Abstract:

---

Currently, the bar code is gradually replaced by RFID tags (Radio Frequency Identification) also called "communicating tags having the ability to store information dynamically and communicate wirelessly with their environment. This technology finds its applications in different fields such as traceability, medical monitoring of the state of a passion, the control of production, Etc ...

This end-of-study project aims at designing RFID antennas. Various antenna designs have been presented.

For each antenna, we optimized its geometry and dimensions by making several simulations with the CST software to determine the parameters of the antenna that most influence its performance.

The performances of these antennas were also evaluated through the representation of the reflection coefficient, the 2D and 3D radiation pattern and the gain. From the results of the characterization, theoretical reading ranges of the order of one meter are obtained thanks to the good performance of the antenna.

Keywords: Tag, reader, RFID system, UHF band, ULB band, RFID antennas.