

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



## MEMOIRE

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

**En** : Télécommunications

**Spécialité** : Réseaux et Télécommunications

**Par** : **BENMOUSSA Salima** et **MEGREZ Ikram**

**Sujet**

**Techniques d'adaptation d'impédance d'antenne RFID  
UHF**

Soutenue publiquement, le 27 /06/ 2021 , devant le jury composé de :

M. BELMESTEFA Naima	MCA	Univ. Tlemcen	Président
M.BELHADEF Yamina	MCA	Univ. Tlemcen	Examineur
M. GOURARI Fatima Zohra	MCB	Univ. Tlemcen	Encadreur

## *Remerciements*

*Tout d'abord, nous tenons à remercier dieux de nous avoir donné la santé, la volonté et la patience pour réaliser ce travail.*

*Nos remerciements vont à Dr GOURARI FATIMA ZOHRA maitre-assistant classe B à l'université ABOU BAKR BELKAID-TLEMSEN notre encadreur qui nous a guidées de ses précieux conseils et suggestions, et la confiance qu'elle nous a témoigné et aussi pour nous avoir offert un cadre de travail agréable et un encadrement de qualité.*

*Nous tenons à gratifier aussi les membres de jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à nous en acceptant d'examiner notre travail.*

*En fin, nous remercions tous nos enseignants du département de Télécommunication de l'université ABOU BAKR BELKAID-TLEMSEN, sans oublier de citer tous les enseignants qui ont contribué à notre formation depuis l'école primaire jusqu'aux études universitaires.*

## *Dédicace*

*Nous avons l'honneur de dédier ce mémoire :*

*A nos très chers parents*

*A mon défunt père*

***BENMOUSSA Habib***

*La miséricorde de dieu*

*Pour tous les sacrifices,*

*Leur amour, leur tendresse,*

*Leur soutien et leurs prières tout*

*Au long de NOS études.*

*Nous dédions ce travail aussi*

*A nos chers frères et sœurs*

*A toute nos familles pour leur soutien tout au long*

*De notre parcours universitaire,*

*Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux*

*Tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible,*

*Merci d'être toujours là pour nous.*

# Résumé

Les systèmes d'identification par radiofréquence (RFID) utilisent des signaux électromagnétiques pour identifier et suivre sans fils les objets étiquetés RFID.

Un lecteur transmet un signal de demande d'onde porteuse à une étiquette RFID, qui transmet ensuite un signal d'identification unique au lecteur. Les applications comprennent la gestion des stocks de la chaîne d'approvisionnement, les systèmes automatisés de frais de péage, le contrôle d'accès restreint, la surveillance des animaux de compagnie et la prévention du vol au détail.

Une étiquette RFID comprend une antenne connectée à un circuit intégré de radiofréquence.

Les antennes d'étiquettes UHF sont généralement des dipôles plans imprimés sur un substrat diélectrique. L'échange de puissance et la portée d'émission sont maximisés lorsque l'impédance d'entrée d'une antenne d'étiquette est conjuguée à l'impédance d'entrée. Etant donné que l'impédance d'entrée comprend une réactance capacitive, l'impédance d'entrée d'antenne optimisée comprend la compensation de la réactance inductive.

L'objectif de ce projet de fin d'étude est d'étudier et de comparer les techniques d'adaptation d'impédance des antennes RFID.

**Mots clés :** RFID UHF, tags, lecteur, Design, T-match, Tip-loading.

# Abstract

Radio frequency identification (RFID) systems use electromagnetic signals to wirelessly identify and track RFID-tagged objects.

A reader transmits a carrier wave request signal to an RFID tag, which then transmits a unique identification signal to the reader. Applications include supply chain inventory management, automated toll fee systems, restricted access control, pet monitoring and retail theft prevention.

An RFID tag includes an antenna connected to a radio frequency integrated circuit.

UHF label antennas are generally plane dipoles printed on a dielectric substrate. Power exchange and transmission range are maximized when the input impedance of a tag antenna is conjugated to the input impedance. Since the input impedance comprises a capacitive reactance, the optimized antenna input impedance comprises compensation for the inductive reactance.

The objective of this end-of-study project is to study and compare the impedance matching techniques of RFID antennas.

**Key words:** UHF RFID, tags, reader, Design, T-match, Tip-loading.

## ملخص

تستخدم أنظمة تحديد الترددات الراديوية (RFID) الإشارات الكهرومغناطيسية لتحديد وتتبع الكائنات ذات العلامات RFID لاسلكيا.

يقوم القارئ بنقل إشارة طلب الموجة الحاملة إلى علامة RFID، والتي تنقل بعد ذلك إشارة تعريف فريدة إلى القارئ. وتشمل التطبيقات إدارة المخزون سلسلة التوريد، وأنظمة رسوم الرسوم الآلية، ومراقبة الدخول المقيدة، ومراقبة الحيوانات الأليفة ومنع سرقة التجزئة.

تتضمن علامة RFID هوائي متصل بدائرة متكاملة لترددات الراديو.

هوائيات تسمية UHF هي عموما ثنائيات الأقطاب الطائرة المطبوعة على الركيزة عازلة. يتم تعظيم تبادل الطاقة ونطاق الإرسال عندما تكون معاوقة الإدخال لهوائي العلامة مترافقة مع معاوقة الإدخال. نظرا لأن معاوقة الإدخال تشتمل على تفاعل سعوي، فإن معاوقة إدخال الهوائي المحسنة تتضمن تعويضا عن التفاعل الاستقرائي.

الهدف من هذا المشروع في نهاية الدراسة هو دراسة ومقارنة تقنيات مطابقة المعاوقة لهوائيات RFID.

الكلمات المفتاحية: UHF RFID، العلامات، القارئ، التصميم، T-Match، تحميل التلميح.

## Table des matières

<i>Remerciements</i> .....	1
<i>Dédicace</i> .....	2
<b>Résumé</b> .....	3
<b>Abstract</b> .....	4
<b>ملخص</b> .....	5
<b>Introduction générale :</b> .....	10
<b>I.1.Introduction</b> .....	3
<b>I.2. Historique</b> .....	5
<b>I.3 Les composants d'un système RFID</b> .....	6
I.3.1. Tags .....	6
I.3.1.1. Tags actives .....	6
I.3.1.2. Tags passives .....	7
I.3.1.3 Tags semi-passives .....	8
I.3.2 Antenne RFID .....	8
I.3.2.1 Lecteur fixe.....	9
I.3.2.2 Lecteur mobile.....	9
I.3.3 Middleware RFID.....	10
<b>I.4. Principe de fonctionnement</b> .....	11
<b>I.5. Les fréquences d'un système RFID</b> .....	11
<b>I.6. Norme RFID</b> .....	14
I.6.1. Les normes RFID ISO .....	14
I.6.2. La norme EPCglobal .....	15
<b>I.7. Mode de transmission</b> .....	15
I.7.1. Mode TTF.....	15
I.7.2. Mode RTF .....	15
<b>I.8. Domaine d'applications</b> .....	16
I.8.1 Les magasins de détail.....	16
I.8.2 La traçabilité.....	16
I.8.3 La Bibliothèque .....	17
I.8.4 Bureau de gestion .....	17

I.8.5 Le paiement .....	18
I.8.6 La santé.....	19
I.8.7 Dans la logistique (chaîne d'approvisionnements) .....	19
I.8.8 Prévenir la contrefaçon.....	20
<b>I.9. Avantages et Inconvénients du système RFID.....</b>	<b>21</b>
I.9.1 Les avantages.....	21
I.9.2 Les inconvénients .....	22
<b>I.10. Conclusion.....</b>	<b>22</b>
<b>II.1.Introduction.....</b>	<b>24</b>
<b>II.2.Mécanisme de couplage.....</b>	<b>24</b>
II.2.1.Couplage inductif .....	24
II.2.2.Couplage radiatif .....	25
II.2.3.La relation entre le tag et le lecteur .....	25
<b>II.3.Les paramètres fondamentaux d'une antenne.....</b>	<b>26</b>
II.3.1. La directivité .....	26
II.3.2.L'impédance d'entrée.....	26
II.3.3.Rapport d'onde stationnaire (ROS).....	28
II.3.4.Coefficient de réflexions (RC) .....	29
II.3.5.Coefficient de transmission.....	29
II.3.6.Gain .....	30
II.2.7.Efficacité .....	30
II.2.8.Polarisation.....	31
II.3.9.La bande passante .....	33
II.3.10.diagramme de rayonnement .....	34
II.3.11.Ouverture effective.....	35
<b>II.4.L'Equation de Friis.....</b>	<b>35</b>
II.4.1.Distance de lecture .....	37
<b>II.5.Les tags dans les systèmes RFID .....</b>	<b>37</b>
II.5.1.Types des antennes.....	37
II.5.1.1.Antenne Patch .....	37
II.5.1.2.Antenne dipôles.....	38

<b>II.6. Les puces dans les systèmes RFID.....</b>	<b>40</b>
II.6.1. Les types des puces .....	40
<b>II.7. Conclusion .....</b>	<b>41</b>
<b>III.1. Introduction.....</b>	<b>43</b>
<b>III.2. La méthodologie de la conception pour l'antenne du tag RFID UHF passif .....</b>	<b>43</b>
III.2.1. Les contraintes pour la conception du tag RFID .....	44
III.2.1.1. La fréquence et la bande passante.....	44
III.2.1.2. La distance de lecture .....	45
<b>III.3. Techniques d'adaptation d'impédance pour les tags RFID UHF passifs .....</b>	<b>46</b>
III.3.1. T-match .....	46
III.3.2. La boucle d'inductance à couplage mutuel .....	48
III.3.4. Structure Tip-loading .....	49
III.3.5. Dipôle replié .....	51
<b>III.4. Les conceptions pour le tag RFID UHF passif .....</b>	<b>53</b>
III.4.1. Comparaison des simulations sous Cst.....	54
III.4.2. L'adaptation d'antenne à la puce .....	56
<b>III.5. Conclusion : .....</b>	<b>60</b>
<b>Conclusion générale :.....</b>	<b>61</b>
<b>Perspectives : .....</b>	<b>61</b>
<b>Liste des abréviations : .....</b>	<b>65</b>

# Table des illustrations

## Chapitre I

### Figures

<b>Figure. I. 1:</b> Qu'est-ce que c'est la RFID ?.....	4
<b>Figure. I. 2 :</b> Tag RFID actif.....	7
<b>Figure. I. 3:</b> Tag RFID passif comparé à un grain de riz.....	8
<b>Figure. I. 4 :</b> Lecteur RFID fixe.....	9
<b>Figure. I. 5:</b> Lecteur RFID portable ZEBRA.....	10
<b>Figure. I. 6 :</b> Illustration d'un système RFID.....	10
<b>Figure. I. 7 :</b> Structure du tag RFID.....	11
<b>Figure. I. 8 :</b> Bandes de fréquence RFID.....	12
<b>Figure. I. 9 :</b> Allocation des fréquences ISM pour la technologie RFID.....	13
<b>Figure. I. 10 :</b> Une vache avec une étiquette d'oreille.....	16
<b>Figure. I. 11 :</b> Système RFID en bibliothèque.....	17
<b>Figure. I. 12 :</b> Système RFID dans les bureaux de gestion.....	18
<b>Figure. I. 13 :</b> Etiquette de pare-brise RFID.....	18
<b>Figure. I. 14 :</b> Tag d'identification pour les nouveaux nés.....	19
<b>Figure. I. 15:</b> Application RFID dans l'industrie.....	20
<b>Figure. I. 16 :</b> Système RFID pour prévenir la contrefaçon des produits.....	20
<b>Figure. I. 17 :</b> Technologie RFID dans divers domaines d'application : (a) par chaîne d'approvisionnement de l'activité et (b) par le point d'application.....	21

### Tableaux

<b>Tableau I. 1 :</b> Allocation des fréquences.....	13
<b>Tableau I. 2 :</b> Norme ISO/IEC régissant le fonctionnement de la RFID.....	14

## Chapitre II

### Figures

<b>Figure. II. 1 :</b> Mécanisme de couplage. ....	25
<b>Figure. II. 2 :</b> Schéma équivalent d'une antenne en réception(b) et émission(a). ....	28
<b>Figure. II. 3 :</b> représentation de la rotation du champ électromagnétique d'une onde plan. ....	32
<b>Figure. II. 4 :</b> Polarisation du champ électromagnétique. ....	33
<b>Figure. II. 5 :</b> illustration de la bande passante a -3 dB d'une antenne. ....	34
<b>Figure. II. 6 :</b> diagramme de rayonnement. ....	35
<b>Figure. II. 7 :</b> Illustration d'une antenne en transmission et une antenne en réception. ....	36
<b>Figure. II. 8 :</b> Géométrie d'une antenne patch. ....	38
<b>Figure. II. 9 :</b> Géométrie d'une antenne. ....	39
<b>Figure. II. 11 :</b> dipôle replié. ....	39
<b>Figure. II. 10 :</b> dipôle en cravate. ....	39
<b>Figure. II. 12 :</b> dipôle en méandre ....	40

## Chapitre III

### FIGURES

<b>Figure. III. 1 :</b> Méthodologie de conception d'antenne des tags RFID UHF passifs...43	
<b>Figure. III. 2 :</b> Les influences de l'environnement sur l'onde électromagnétique selon les différentes fréquences (35). ....	45
<b>Figure. III. 3 :</b> La configuration T-Match et le circuit équivalent (37). ....	47
<b>Figure. III. 4 :</b> Le modèle de circuit équivalent de la configuration T-Match (38) ....	47
<b>Figure. III. 5 :</b> La boucle à couplage mutuel et le circuit équivalent (37). ....	
<b>Figure. III. 6 :</b> La configuration de Nested-slot (37) ....	49
<b>Figure. III. 7 :</b> Le dipôle raccourci par l'ajoutant des capacités aux bouts (38). ....	49
<b>Figure. III. 8 :</b> Fréquence de résonance d'un fil monopôle de 3.1cm chargé par les disques de taille variable (38). ....	50
<b>Figure. III. 9 :</b> Texas Instrument Classe 1 Generation 2 inlay (2004) (38) ....	51
<b>Figure. III. 10 :</b> a) Dipôle replié ... b) Tension en décomposant en modes différentiel et commun (38). ....	52
<b>Figure. III. 11 :</b> Dipôle replié avec des structures d'adaptation d'impédance (38). ....	53
<b>Figure. III. 12 :</b> Dimension de l'antenne A-antenne méandre avec boucle inductif. ...	53
<b>Figure. III. 13 :</b> Dimension de l'antenne A-antenne méandre avec T-Match. ....	54
<b>Figure. III. 14 :</b> Structure des antennes méandre : (a) à couplage inductif. ....	55
<b>Figure. III. 15 :</b> Simulation de l'impédance d'entrée des antennes méandre : ....	56
<b>Figure. III. 16 :</b> La représentation de la puce (28). ....	57

<b>Figure. III. 17</b> : Simulation de l'antenne avec la puce : .....	57
<b>Figure. III. 18</b> : le coefficient de réflexion en fonction de la fréquence : .....	58
<b>Figure. III. 19</b> : Diagramme de rayonnement en (2-D et 3-D) : .....	59

## **Introduction générale :**

Les nouvelles technologies de l'information et de la communication ont un rôle fondamental dans notre société moderne. Elles participent à sa transformation par différents effets sur le plan économique ainsi que social. Le développement de ces technologies permet de nouvelles applications participant au partage de la connaissance, et contribuant ainsi à la croissance économique en facilitant l'échange et la diffusion des informations.

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

En effet la Radio-Identification ou la RFID est l'annonce d'une mutation radicale dans l'organisation du commerce, du transport, de la sécurité et de la surveillance. Le domaine applicatif est tellement vaste que toutes les applications ne peuvent être citées. Cette technologie s'est vue aussi combinée avec d'autre : RFID-GSM, RFID-Lot, etc.

Dans le cadre de notre projet, nous nous sommes intéressé à étudier et adapter des antennes tag RFID.

Ce projet de fin d'étude est scindé en trois chapitres avec une conclusion générale, fruit de ce que nous avons pu et su réaliser tout au long de ce modeste projet.

Dans le premier chapitre, fait une présentation générale de la technologie RFID. Il commence par une vue d'ensemble de cette technologie. Ensuite, il décrit les éléments constitutifs d'un système RFID (lecteur, étiquette et contrôleur). Enfin, il cite quelques applications de cette technologie.

Le deuxième chapitre concerne la théorie de l'antenne et les mécanismes de couplage lecteur-étiquette sont discutés. Ensuite nous allons voir brièvement les principales caractéristiques de l'antenne, quelques types d'antennes et les puces commerciales utilisées dans la technologie RFID.

Concernant le dernier chapitre donne un aperçu sur les techniques d'impédance et de miniaturisation des antennes RFID, ainsi les processus de l'antenne de l'étiquette RFID. Aussi, présente l'ensemble des configurations d'antennes pour les tags RFID et dévoile les différents résultats obtenus.

Finalement, on termine par une conclusion générale et Des perspectives sont également donné es pour la poursuite de ces travaux de recherche et aussi pour bien aider le lecteur à mieux assimiler cet angle de technologie.

## Chapitre I

---

---

# La technologie RFID

---

---

## **I.1.Introduction**

Le système d'identification par radiofréquence (RFID) est une technologie flexible qui est pratique, facile à utiliser et bien adapté pour un fonctionnement automatique. Il combine des avantages non disponibles avec d'autres technologies d'identification.

RFID est une technologie d'identification sans contact (automatique), qui utilise le rayonnement radiofréquence pour identifier les objets porteurs d'étiquettes lorsqu'ils passent à proximité du lecteur [1].

L'identification par radiofréquence (RFID) est l'utilisation d'un système sans fil sans contact qui utilise la radiofréquence champs électromagnétiques pour transférer des données à partir d'une étiquette attachée à un objet, pour le des fins d'identification et de suivi automatiques. Certaines étiquettes ne nécessitent pas de batterie et sont alimentée set lire à courte portée via des champs magnétiques (induction électromagnétique) [2].

D'autres utilisent une locale source d'alimentation et émettre des ondes radio (rayonnement électromagnétique aux fréquences radio). Balise contient des informations stockées électroniquement qui peuvent être lues jusqu'à plusieurs mètres

Contrairement à un code à barres, l'étiquette n'a pas besoin d'être dans la ligne de mire du lecteur et peut être incorporé dans l'objet suivi.

Les étiquettes RFID sont utilisées dans de nombreuses industries. Une étiquette RFID attachée à une automobile pendant la production peut être utilisée pour suivre ses progrès à travers la chaîne de montage. Les produits pharmaceutiques peuvent être suivis travers les entrepôts. Le bétail et les animaux domestiques peuvent avoir des étiquettes injectées, permettant une identification positivée l'animal.

Les lecteurs de codes à barres nécessitent une ligne de vue directe sur le code à barres imprimée ; les lecteurs RFID ne nécessitent pas une ligne de vue directe. Ceci s'applique aux étiquettes RFID passives et aux solutions RFID fournies par RFID fabricants qui peuvent être personnalisés pour répondre au marché RFID Inde.

Les étiquettes RFID peuvent être lues à des distances beaucoup plus grandes ; un lecteur RFID peut extraire des informations d'une étiquette à des distances allant jusqu'à 50 pieds. Les systèmes RFID basés sur Xtenna peuvent lire les étiquettes RFID à de plus grandes distances. La portée pour lire un code à barres n'est beaucoup moins, généralement pas plus de cinq à dix pieds. Lire les gammes a été démontrées sur le marché RFID India.

Les lecteurs RFID ont une capacité inhérente à lire, les étiquettes RFID beaucoup plus rapidement. Les lecteurs RFID qui le module dense de lecteur de soutien à la capacité de lire jusqu'à 40 étiquettes par seconde. Lecture les codes à barres prennent beaucoup de temps. C'est à cause d'une ligne de vue directe qui est requis.

Dans certains cas, si les éléments ne sont pas correctement organisés w. r. t le lecteur, il peut prendre secondes pour lire une étiquette. Les lecteurs de codes à barres ont tendance à prendre une demi-seconde ou plus pour terminer avec succès une lecture. RFID Le marché indien nécessite des taux de lecture d'étiquettes RFID plus rapides en raison d'une plus grande quantité / volumes à traiter et à lire.

L'une des plus grandes limitations associées aux codes à barres est la ligne de vue qui limite la robustesse des codes à barres. Il en résulte également une limitation du facteur de réutilisation pour les codes à barres. (Sur le compte en ligne de mire, la bande d'étiquette imprimée pour code à barres doit être exposée à tout moment pour le produit, comme un résultat dont il est soumis à une plus grande usure.) Cependant, les étiquettes RFID sont beaucoup plus robustes, depuis la puce RFID est mieux enfermée dans un couvercle en plastique.

Les étiquettes RFID peuvent également être intégrées dans le produit lui-même, assurant ainsi une plus grande robustesse et fiabilité. Les solutions RFID nécessitent étiquettes RFID robustes. Des solutions RFID robustes sont requises par la bibliothèque RFID, la vente au détail RFID, les actifs RFID Suivi et Chaîne d'approvisionnement RFID [2].

Avec les codes à barres, il ne serait pas possible d'exercer la capacité de lecture et d'écriture, en d'autres termes, les informations ou les données ne peuvent pas être ajoutées sur une étiquette de code-barres imprimée. Ceci est cependant possible avec Etiquettes RFID dans lesquelles vous pouvez lire, écrire, réécrire et verrouiller des données ou des informations le rendant ainsi possibilité pour le lecteur RFID de communiquer avec l'étiquette. RFID Inde marché exige une telle Etiquettes RFID dans lesquelles des informations ou des données peuvent être stockées.

La technologie RFID en Inde peut être déployée pour une variété d'applications telles que la bibliothèque RFID, RFID vente au détail, suivi des actifs RFID, élevage RFID et chaîne d'approvisionnement RFID [3].

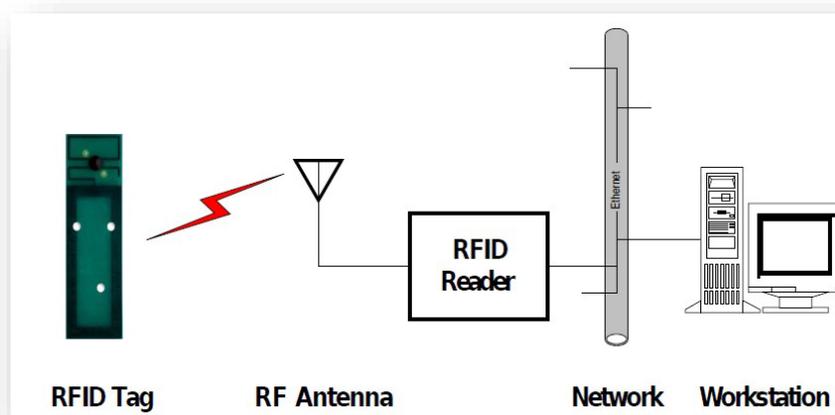


Figure. I. 1:Qu'est-ce que c'est la RFID ?

## I.2. Historique

En 1945 Léon Theremin invente un outil d'espionnage pour l'Union soviétique qui retransmet ondes radio incidentes avec informations audio. Les ondes sonores vibraient un diaphragme qui légèrement modification de la forme du résonateur, qui module la radiofréquence réfléchi. Quoique ce dispositif était un dispositif d'écoute secrète, pas une étiquette d'identification, il est considéré comme un prédécesseur de la technologie RFID, car elle était également passive, étant sous tension et activée par les vagues d'une source extérieure [2].

Une technologie similaire, telle que le transpondeur IFF développé au Royaume-Uni, était régulièrement utilisée par les alliés pendant la Seconde Guerre mondiale pour identifier les avions comme amis ou ennemis. Les transpondeurs sont toujours utilisés par la plupart des avions motorisés à ce jour.

Un autre travail précoce explorant la RFID est le point de repère 1948 papier par Harry Stockman, intitulé "la Communication par le biais de la Puissance Réfléchi" (Procédure de l'IRE, pp 1196-1204, octobre 1948). Stockman prédit que "... des recherches considérables et le travail de développement doit être fait avant que les problèmes fondamentaux restants dans la puissance réfléchi les communications sont résolues, et avant que le domaine des applications utiles ne soit exploré" [4].

L'appareil de Mario Cardullo, breveté le 23 janvier 1973, était le premier véritable ancêtre du moderne RFID, comme c'était un transpondeur radio passif avec mémoire. Le dispositif initial était passif, propulsé par le signal d'interrogation, et a été démontré en 1971 au port de New York Autorité et d'autres utilisateurs potentiels et se composait d'un transpondeur avec la mémoire de 16 bits pour l'usage commun numéro d'appareil.

Le brevet de base de Cardullo couvre l'utilisation du RF, du son et de la lumière comme transmission Média. Le plan d'affaires original présenté aux investisseurs en 1969 montrait les utilisations dans le transport (identification du véhicule automobile, système de péage automatique, plaque d'immatriculation électronique, électronique manifeste, routage du véhicule, surveillance de la performance du véhicule), bancaire (carnet de contrôle électronique, carte de crédit électronique), de sécurité (identification du personnel, portes automatiques, surveillance) et médical (identification, antécédents du patient).

Une première démonstration de puissance réfléchi (rétrodiffusion modulée) étiquettes RFID, à la fois passive et semi-passive, a été interprété par Steven Depp, Alfred Koelle, et Robert Freyman à Los Angeles Laboratoire national d'Alamos en 1973. Le système portable fonctionnait à 915 MHz et utilisait 12 bits balise. Cette technique est utilisée par la majorité des étiquettes RFID UHFID et micro-ondes d'aujourd'hui. Le premier brevet à être associé à l'abréviation RFID a été accordé à Charles Walton en 1983.

Entre 1999 et 2003, le centre d'identification automatiques (Auto ID) a été formé par le MIT afin de rechercher et développer des normes et des protocoles universels pour la technologie RFID [5].

En 2010-2013, il a été prévu dans le Projet de Loi sur la santé, que tous les Américains se verront implanter une micro-puce dans le but de créer un registre national d'identifications, pour permettre un meilleur suivi des patients en ayant toutes les informations relatives à leur santé [6].

### **I.3 Les composants d'un système RFID**

Un système d'identification par radiofréquence utilise des étiquettes (tags en anglais), ou des étiquettes attachées aux objets à être identifier. Émetteur radio bidirectionnel, les récepteurs appelés interrogateurs ou lecteurs (readers) envoient un signal à la balise et de lire sa réponse. Les lecteurs transmettent généralement leurs observations à un ordinateur système exécutant un logiciel RFID ou un middleware RFID.

#### **I.3.1. Tags**

Historiquement, un dispositif RFID qui ne transmettait pas activement à un lecteur était connu sous le nom de tag. La RFID qui transmettait activement des informations à un lecteur était connue sous le nom de transpondeur (Émetteur + répondeur).

Cependant, il est devenu courant dans l'industrie d'échanger la terminologie et référez-vous à ces dispositifs en tant que balises ou transpondeur. Les balises sont programmées avec des données qui identifient l'élément auquel la balise est attachée.

Les étiquettes peuvent être lues seulement, lecture/écriture volatile, ou écrire une fois/lire plusieurs (ver). En fait, à l'état actuel de la technologie, la communication simultanée à un taux de 1000 étiquettes par seconde est possible, avec une exactitude qui excède 98% [7].

RFID vient dans une variété de formes et de tailles, elle peut être active ou passive.

##### **I.3.1.1. Tags actives**

Une étiquette RFID est dite active si elle contient une source d'énergie à bord, telle qu'une batterie. Quand l'étiquette a besoin de communiquer des données au lecteur, elle emploie cette source pour dériver l'énergie nécessaire à la transmission de la même manière qu'un téléphone cellulaire utilise une batterie.

Pour cette raison, les étiquettes actives peuvent communiquer avec des lecteurs moins puissants et peuvent transmettre des informations sur une distance assez grande. En outre, ces types d'étiquettes ont typiquement de plus grandes mémoires (jusqu'à 128 Kbits).

Cependant, elles sont beaucoup plus grandes et plus complexes que les autres étiquettes dites passives, les rendant plus coûteuses. Les étiquettes actives ont une espérance de vie inférieure à sept ans [7].



**Figure. I. 2 :** Tag RFID actif

### **I.3.1.2. Tags passives**

Les étiquettes RFID passives n'ont aucune source d'énergie à bord. Elles tirent exclusivement leur énergie des radios fréquences RF envoyées par le lecteur afin de transmettre leurs données. Cependant, l'énergie récupérée est plus faible que celle d'une batterie.

De ce fait, les étiquettes passives sont en général plus petites et moins chères que les étiquettes actives. Par contre, la portée utile des étiquettes passives est beaucoup plus courte que celle des étiquettes actives. De plus, elles exigent des lecteurs plus puissants et ont moins de capacité mémoire qui est de l'ordre de quelques kilo-octets [8].

K. V. Seshagiri Rao, Pavel V. Nikitin, et ponceuse F. Lame [8] ont donné une vue d'ensemble sur la conception d'antennes pour les étiquettes RFID passives. Ils ont également conçu et simulé une étiquette RFID pour le suivi des boîtes dans les entrepôts.

Comme les étiquettes passives, les étiquettes semi-actives reflètent l'énergie des RF de nouveau au lecteur d'étiquette pour envoyer l'information d'identification. Cependant, ces étiquettes contiennent également une batterie qui actionne leur circuit intégré IC.

Voici une image (**Figure I.3**) qui compare un Tag RFID passif avec à un grain de riz :



**Figure. I. 3:** Tag RFID passif comparé à un grain de riz.

### **I.3.1.3 Tags semi-passives**

Petits et légers, sont des tags intermédiaires entre les tags actifs et les tags passifs. Ils utilisent généralement une pile comme source d'énergie (comme les tags actifs), mais ils peuvent également transmettre des données en utilisant l'énergie générée par les ondes des lecteurs RFID (comme les tags passifs) [9].

### **I.3.2 Antenne RFID**

Un système RFID typique comprend plusieurs types d'antennes, également appelés capteurs, interrogateurs ou lecteur. Ce sont des dispositifs de radiofréquence conçus pour détecter et lire l'étiquette intelligente pour obtenir les informations stockées sur celles-ci.

Les antennes génèrent un champ de puissance pour lire les balises avec dans la plage. Chaque balise génère son propre signal pour ses données uniques, les antennes peuvent être utilisées pour le check-out du bureau de circulation, l'enregistrement du retour du livre et la longue portée dispositifs de procédure pas à pas pour détecter et interroger un passage d'étiquette RFID aux fins de détermination qu'il soit coché ou non, c'est-à-dire (autorisé/pas d'alarme ou non activé/alarme).

Il est également possible de lire un numéro d'articles sur l'étagère afin de localiser les éléments manquants ou égarés articles utilisant un pistolet à balayage portatif [2].

Des unités de contrôle de bureau de circulation (équipement pour charger et décharger les étiquettes) peuvent être placées dessus le compteur de circulation ou intégré.

Le déchargement peut se faire sur les mêmes unités, ou sur un ou plus d'unités dédiées loin du comptoir de service.

On distingue deux types de lecteurs : fixe et mobile [10].

### **I.3.2.1 Lecteur fixe**

Il est monté de manière fixe, sous forme de bornes ou bien de portiques.



**Figure. I. 4 :** Lecteur RFID fixe.

### **I.3.2.2 Lecteur mobile**

Prend l'apparence d'un flasher. Dans ce cas c'est le lecteur qui se déplace donc plus besoin de déplacer le tag.



Figure. I. 5: Lecteur RFID potable ZEBRA.

### I.3.3 Middleware RFID

Est le cerveau de la chaîne RFID. Il permet de transformer les données brutes émises par la puce RFID en informations compréhensibles, il est bien sûr géré par un ordinateur [11].

La figure.I.6 illustre les éléments composant le système RFID :

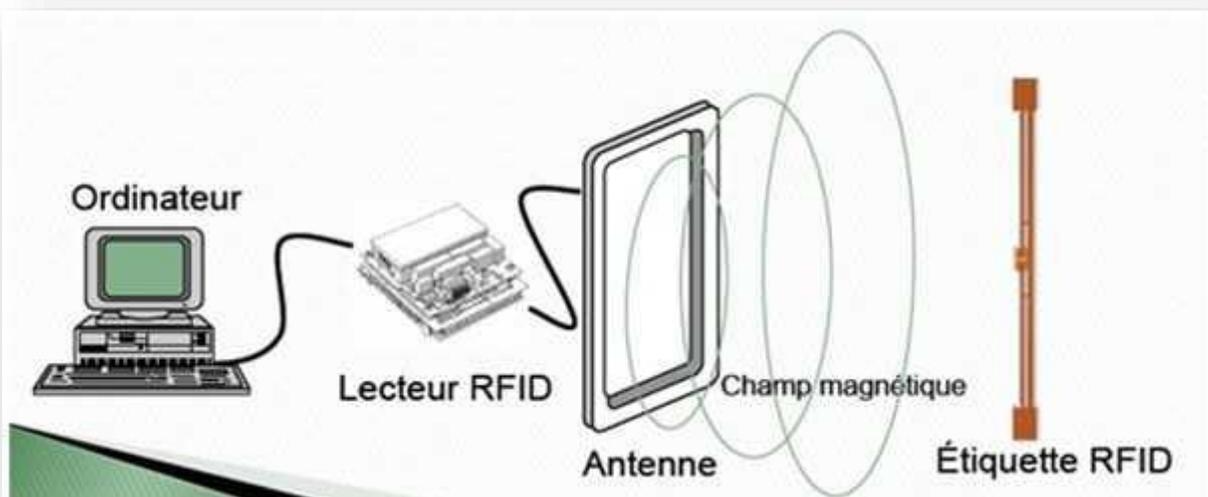


Figure. I. 6 : Illustration d'un système RFID.

## I.4. Principe de fonctionnement

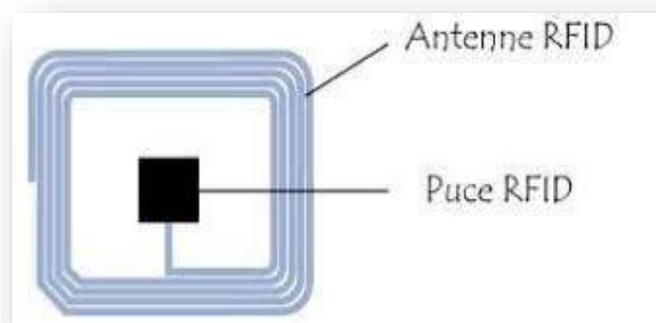
Système RFID se compose de transpondeur (étiquette, marqueurs, tags, identifiants...) et d'un ou plusieurs interrogateurs (coupleurs, base station...).

Lorsque le lecteur composé d'un bobinage est alimenté en tension, il génère un champ magnétique et lorsque un tag composé également d'un bobinage s'en approche par un effet électromagnétique cela génère un courant électrique et donc une différence de potentiel qui permet une puce électronique dans le tag d'être alimentée en tension.

A partir de cet instant le lecteur et la puce utilise leurs antennes pour échanger des données à très courte distance dans le numéro d'identification du tag sachez également qu'un tag RFID contient un peu plus qu'un numéro d'identification mais également une mémoire de quelque Ko.

Donc la communication du tag vers le lecteur repose sur la technique de rétro-modulation.

Le moyen utilisé pour réaliser cette rétro-modulation, consiste à commuter une charge (impédance) placée en parallèle entre la puce électronique et l'antenne de l'étiquette [12].



**Figure. I. 7 :** Structure du tag RFID.

## I.5. Les fréquences d'un système RFID

La classification des systèmes RFID peut se faire suivant la fréquence utilisée et la technique de communication.

Les systèmes RFID génèrent et réfléchissent des ondes électromagnétiques ; ils sont systèmes radio et, en tant que tels, ils sont soumis à une législation stricte.

En particulier, les systèmes RFID doivent faire attention à ne pas perturber l'exploitation d'autres systèmes radio : (télévision, services d'urgence, services radio air, téléphones mobiles, etc.).

On peut, en principe, utiliser uniquement gammes de fréquences spécifiquement réservées aux applications industrielles et scientifiques ou médicales. Ces gammes de fréquences sont appelées ISM (Industriel-Scientifique –Médical).

En plus des fréquences ISM, des plages de fréquences inférieures à 135 kHz sont utilisées (<400 kHz pour l'Amérique du Nord, du Sud et le Japon).

En effet, en raison de la faible fréquence de l'horloge, le transpondeur nécessite peu d'énergie, ce qui favorise un haut de gamme. Le taux de pénétration dans l'eau et les matériaux non métalliques est aussi meilleur.

Plus la fréquence est élevée, plus la vitesse d'horloge permettra des calculs rapides, comme les applications cryptographiques. De même, une bande passante plus large permettra des débits plus élevés. Par contre, la portée est réduite et la transmission est plus sensible aux interférences.

Les principales plages de fréquences utilisées par les systèmes RFID sont les basses fréquences (125 et 134.5 kHz) et les fréquences ISM : 6.78 MHz, 13.56 MHz, 27.125 MHz, 40.68 MHz, 433.92 MHz, 869.0 MHz, 915.0 MHz (pas en Europe), 2.45 GHz, 5.8 GHz et 24.125 GHz.

La plage de fréquences la plus utilisée est de loin 13.56 MHz (haute fréquence).

Suivent ensuite 134.5 kHz (basse fréquence), puis 2.45 GHz (micro-ondes) et 868/915 MHz(UHF) [1].

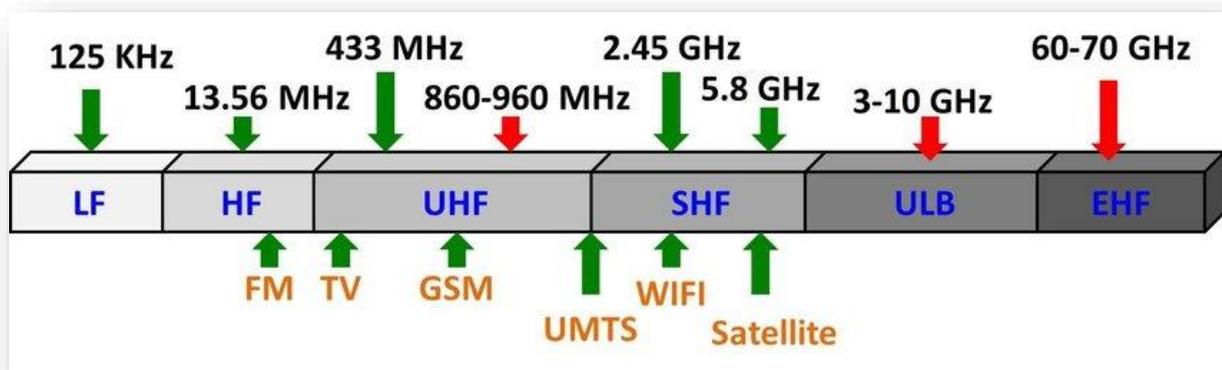


Figure. I. 8 : Bandes de fréquence RFID.

On a aussi une autre figure (Figure I. 9) qui montre le découpage des régions ainsi qu'un tableau (Tableau I. 1) qui met en évidence les différentes fréquences allouées [13] :

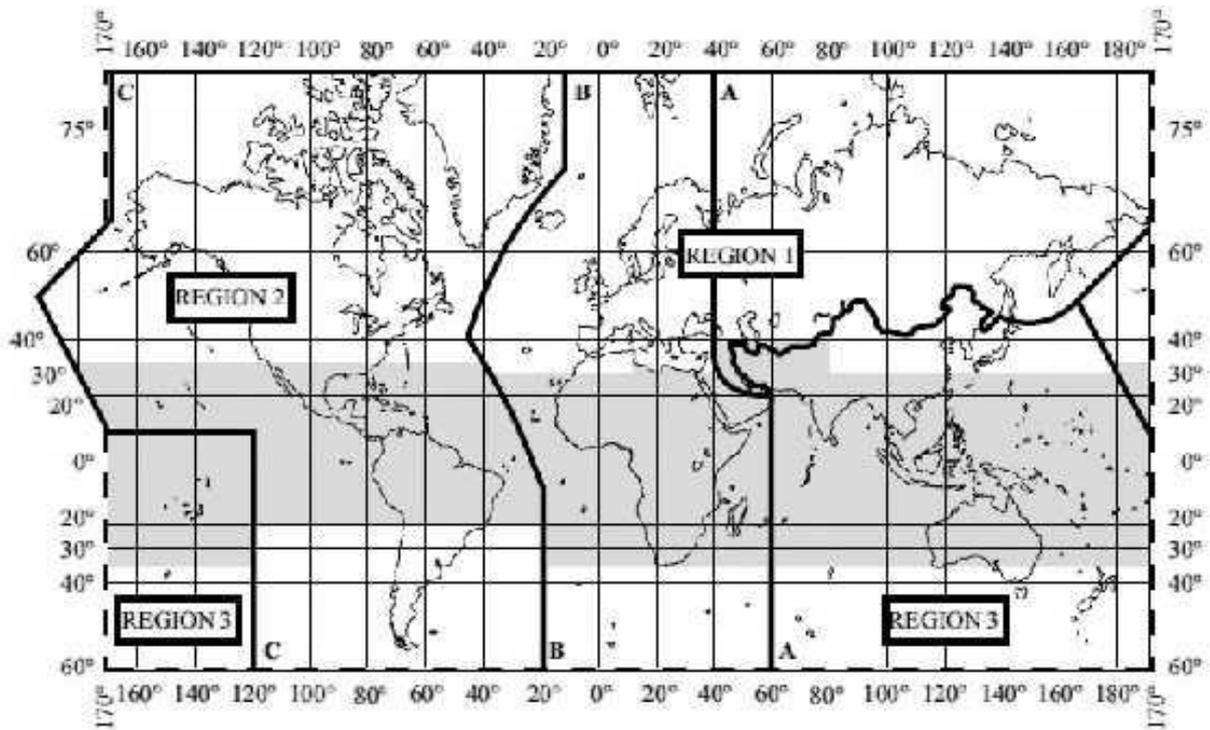


Figure. I. 9 : Allocation des fréquences ISM pour la technologie RFID.

Fréquences	Région 1	Région 2	Région 3
BF	<135 KHz	<135 KHz	<135 KHz
RF	13.56 MHz	13.56 MHz	13.56 MHz
UHF	865,5-869,65 MHz	902-928 MHz	860-960 MHz
Micro-ondes	2,4-2,4835 GHz	2,4-2,4835 GHz	2,4-2,4835 GHz

Tableau I. 1 : Allocation des fréquences

## I.6. Norme RFID

Les normes contribuent à créer un cadre harmonisé, à améliorer la transparence, l'efficacité et la sécurité dans un marché complexe en pleine croissance, tout en optimisant les processus des entreprises et en réduisant leurs coûts de fonctionnement [14].

Les deux normes RFID les plus pertinentes sont celles de l'Organisation Internationale de Standardisation ISO/IEC 18000 et les normes EPCglobal [15]. Ces normes ne sont pas en concurrence, et il est concevable que la norme EPC global pourrait éventuellement être adoptée dans une norme ISO [16].

### I.6.1. Les normes RFID ISO

Les normes RFID de l'ISO apportent également des avantages significatifs dans le suivi des produits à mesurer. Ainsi en réponse aux dernières tendances du marché, l'ISO travaille actuellement sur des normes qui porteront l'identification RFID à un nouveau stade d'évolution [14].

Les normes ISO relatives aux protocoles de communication des différentes bandes de fréquence sont regroupées dans le tableau (**Tableau I.2**) [15] :

Normes	Objectif
ISO 18000-1	Définit l'architecture de référence et les paramètres à normaliser.
ISO 18000-2	Paramètres de communication pour les fréquences inférieures à 135 KHz.
ISO 18000-3	Définit les paramètres de communication pour la fréquence 13,56 Mhz.
ISO 18000-4	Concerne la fréquence 2,45 Ghz.
ISO 18000-5	Concerne la fréquence 5,8 Ghz.
ISO 18000-6	Pour les fréquences situées entre 860 et 930 Mhz.
ISO 18000-7	Pour un fonctionnement en 433 Mhz.

**Tableau I. 2** : Norme ISO/IEC régissant le fonctionnement de la RFID.

### **I.6.2. La norme EPCglobal**

Le projet EPCglobal a été créé en juillet 2003 suite à l'accord entre Auto ID center (leader des laboratoires de recherche sur les systèmes RFID) et GS1 (Organisme qui définit et diffuse les standards GS1 (RFID)) [14].

Cette organisation a pour mission le développement et le déploiement des standards EPC et EPC Network, ainsi que la promotion de la technologie RFID à travers le monde [17].

### **I.7. Mode de transmission**

Les communications RFID sont en mode half-duplex. Cela signifie que chacun des interlocuteurs (ici le lecteur ou l'étiquette) communique à tour de rôle.

Comme dans toute conversation, l'un des deux interlocuteurs doit nécessairement initialiser la communication. Pour cela, il existe deux modes :

#### **I.7.1. Mode TTF**

Dans ce mode, l'étiquette annonce sa présence à son arrivée dans le champ d'un lecteur.

Ce mode peut poser des conflits lorsque plusieurs étiquettes annoncent leur présence simultanément [18].

#### **I.7.2. Mode RTF**

Dans ce mode, le lecteur interroge constamment son environnement afin de détecter la présence de nouveaux arrivants.

Une requête est propagée régulièrement, et lorsqu'une étiquette entre dans le champ et est capable de répondre, il renvoie une réponse annonçant sa présence [18].

Le choix de la fréquence affecte plusieurs caractéristiques de n'importe quel système RFID. Ceci est illustré dans la liste suivante :

1. La zone couverte par le lecteur.
2. Le choix du type d'étiquette (active ou passive).
3. Interférence venant d'autres systèmes radio.
4. Le débit
5. La taille et le type d'antenne
6. La taille et le prix des étiquettes RFID [7].

## **I.8. Domaine d'applications**

La technologie RFID peut être appliquée dans de nombreuses industries manufacturières telles que civil, électronique, automobile, alimentaire, logistique, santé, tourisme, bibliothèque, textile, aviation...

Les applications RFID s'appuient sur différents standards dépendant des fonctionnalités exigées par les processus métier et par certaines contraintes locales (ex. : bande de fréquence de transmission ou puissance nécessaire).

La RFID permet de répondre à un grand nombre de besoins. Elle se développe bien en intra entreprise ainsi que dans la logistique. Cette technologie a envahi les marchés, les maisons, et les universités

La technologie RFID a été utilisée dans une gamme d'application comme :

### **I.8.1 Les magasins de détail**

Il y a un grand potentiel pour la technologie RFID dans la vente au détail commerces.

La technologie peut être employée pour le produit suivi, réapprovisionnement des marchandises, prévention du vol, gestion de la relation client (CRM), gestion retours et prévention de la contrefaçon. Au point-de-vente,

RFID peut être utilisée pour l'auto-caisse par les clients. Il peut également être utilisé pour la gestion des retours clients ou la logistique inverse [19].

### **I.8.2 La traçabilité**

Le mouvement de différents animaux peut être suivi en utilisant les étiquettes RFID. Cela peut aider à étudier le modèle de vie et le mouvement de différents animaux.

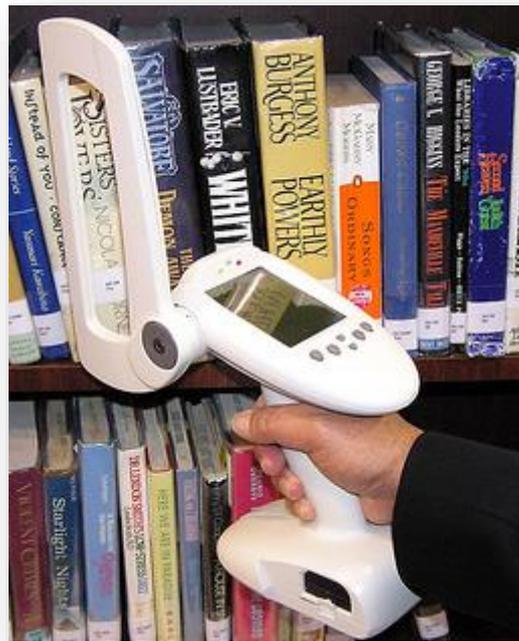
De nombreux zoos et les groupes de protection des animaux utilisent cette technologie pour étudier le mode de vie de diverses espèces animales [20].



**Figure. I. 10** : Une vache avec une étiquette d'oreille.

### I.8.3 La Bibliothèque

La technologie RFID peut être utilisée dans les bibliothèques pour le livre gestion et prévention du vol. Il peut également être utilisé pour vérifier la disponibilité des livres ou le bon emplacement des livres dans la bibliothèque, s'ils sont déplacés [21].



**Figure. I. 11 :** Système RFID en bibliothèque.

### I.8.4 Bureau de gestion

Les étiquettes RFID peuvent être utilisées pour gérer les employés d'un bureau. Chaque employé peut être fourni avec une unique carte avec technologie RFID. Par conséquent, les heures de travail et le nombre de jours où ils travaillent peut-être gérer par les étiquettes RFID [20].



**Figure. I. 12 :** Système RFID dans les bureaux de gestion.

### I.8.5 Le paiement

La technologie RFID est utilisée pour la perception des péages sur les routes à péage, qui est l'utilisation la plus courante par des millions de personnes.

Les véhicules utilisant la technologie RFID n'ont pas besoin de file d'attente pour le paiement du péage. Les véhicules utilisent un petit dispositif compatible RFID dans le pare-brise. Lorsqu'un véhicule avec un appareil compatible RFID approche dans le rapide Lane, lecteurs aériens dans le centre de collecte de péage lire les détails du véhicule et traiter le paiement [20].



**Figure. I. 13 :** Etiquette de pare-brise RFID.

### **I.8.6 La santé**

L'échange de nouveau nés est un problème commun rencontré dans les hôpitaux dans de nombreux pays, ce qui est une émotion stress pour de nombreux parents.

Par conséquent, de nombreux hôpitaux ont examiné diverses solutions pour résoudre ces problème set a constaté que la technologie RFID est une solution pour cela problème. Le bébé et la mère sont fixés avec bracelets sécurisés équipés d'étiquettes RFID.

Une permutation des bébés sera automatiquement détectée par la RFID système et alertera le personnel hospitalier et les parents [22].



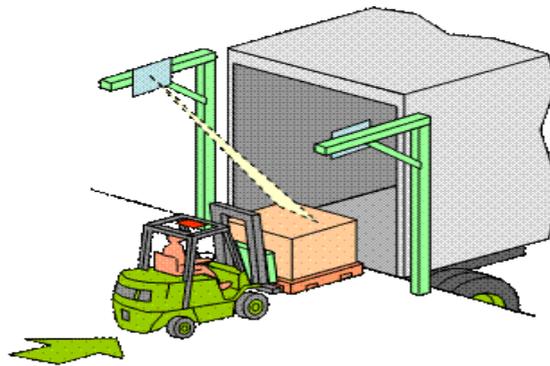
**Figure. I. 14 :** Tag d'identification pour les nouveaux nés.

### **I.8.7 Dans la logistique (chaîne d'approvisionnements)**

Dans le domaine de la logistique industrielle, la technologie RFID permet de suivre les biens (containers, palettes, lots) entre différentes sociétés ou à l'intérieur d'une usine ou d'un entrepôt.

Les étiquettes RFID permettent d'aider le gestionnaire de stock pour connaître précisément l'état actuel de son stock et ainsi éviter les erreurs d'inventaire.

Il pourra ainsi suivre ses produits et se réapprovisionner au meilleur moment [8].



**Figure. I. 15:** Application RFID dans l'industrie.

### I.8.8 Prévenir la contrefaçon

Il y a eu une croissance énorme de la contrefaçon de luxe de produits de mode. La technologie RFID peut empêcher la contrefaçon. Les données ou logo relatifs à la marque peuvent être stockés dans une puce RFID, qui peut être lue par un Lecteur RFID par sa radiofréquence. L'ID programmé en usine qui ne peut pas être dupliqué est utilisé pour stocker les informations pour éviter la contrefaçon [20].



**Figure. I. 16 :** Système RFID pour prévenir la contrefaçon des produits

Les domaines d'application sont également montrés dans la figure suivante (Figure.17) :

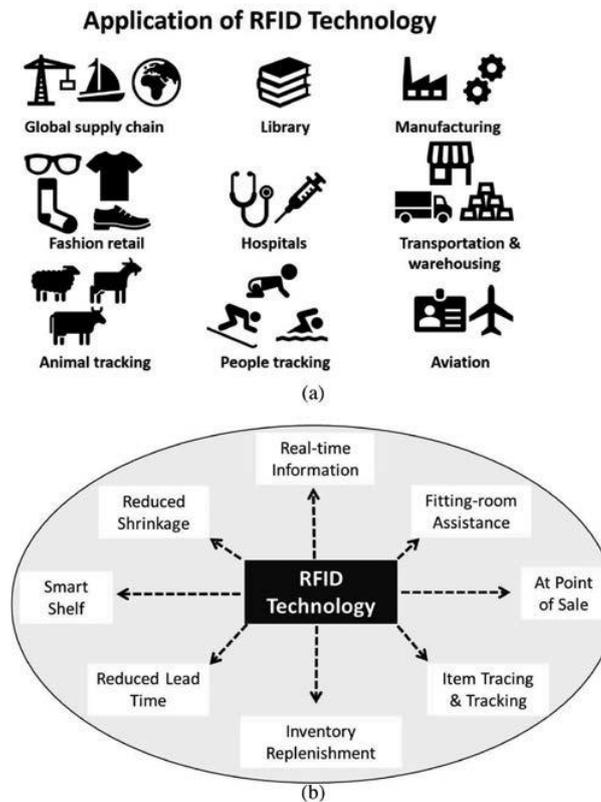


Figure. I. 17 : Technologie RFID dans divers domaines d’application : (a) par chaîne d'approvisionnement de l’activité et (b) par le point d'application.

### I.9. Avantages et Inconvénients du système RFID

Les avantages et les inconvénients des systèmes RFID sont généralement discutés par comparaison aux autres moyens d’identification sans contact.

La plupart des domaines d’application mentionnés plus haut peuvent remplacer les systèmes RFID par d’autres moyens d’identification visuelle permettant par exemple la lecture d’Unicode-barres ou d’un code QR.

La technologie RFID présente dans ce contexte les avantages et les inconvénients suivants :

#### I.9.1 Les avantages

- ✓ Simplification des processus de lecture
- ✓ Lire rapidement plusieurs étiquettes RFID en même temps
- ✓ Pas besoin de voir l’étiquette pour la lire
- ✓ Lire et écrire des informations

- ✓ Protection de l'étiquette RFID pour résister aux contraintes (chocs, traitements thermiques, lavages)
- ✓ Sécurité d'accès au contenu
- ✓ Une plus grande durée de vie

### **I.9.2 Les inconvénients**

- ✓ Coût très élevé
- ✓ Perturbation par l'environnement physique
- ✓ Perturbation induite par les étiquettes entre elles
- ✓ Sensibilité aux ondes électromagnétiques parasites
- ✓ Absence d'un standard unique
- ✓ Craintes concernant la protection de la vie

### **I.10. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté une vue globale sur la technologie RFID et leur fonctionnement, les différentes fréquences utilisées ainsi que les domaines d'applications.

En outre, nous avons exposé la théorie de base d'un système RFID, en passant par tous ses principaux composants : le lecteur, l'étiquette et l'interrogateur.

D'une autre façon nous avons expliqué aussi la structure et les normes d'un système RFID et identifier les caractéristiques et les propriétés de chaque composante.

Enfin, nous avons terminé le chapitre par quelques avantages et inconvénients de cette technologie.

## **Chapitre II**

---

---

### **Les systèmes RFID UHF**

---

---

## II.1.Introduction

Le terme RFID englobe toutes les technologies qui utilisent les ondes radio pour identifier automatiquement des objets ou des personnes.

Le système RFID autrement dit l'identification par radiofréquence est une technologie qui permet de mémoriser et de récupérer des informations à distance grâce à une étiquette qui émet des ondes radio.

Dans ce chapitre, nous allons présenter le mécanisme de couplage associées aux étiquette RFID. Nous détaillons les paramètres fondamentaux des antennes couramment utilisées dans le système RFID, et nous allons citer quelques modèles de puces existantes.

## II.2.Mécanisme de couplage

Le couplage désigné la méthode utilisée pour relier le tag RFID et le lecteur/antenne. Cette procédure est nécessaire à fin que le lecteur reconnaisse le tag et puisse en extraire des informations.

Il y a deux grands types de couplage dans les systèmes RFID : le couplage inductif et le couplage radiatif. L'utilisation de l'une ou de l'autre de ces variantes dépend généralement de la fréquence de tag.

### II.2.1.Couplage inductif

Ce type de couplage est parfois qualifié de <<couplage magnétique >>. Il est généralement utilisé par les systèmes à basse et haute fréquence.

Le processus de couplage est globalement le suivant : lorsque le lecteur/antenne et le tag sont à proximité l'une de l'autre, le lecteur/l'antenne crée un champ magnétique qui provoque le couplage de tag et du lecteur. Le lecteur envoie alors un flux électrique par le biais de l'antenne conductive du tag, ce qui alimente le tag et permet aux données sauvegardées d'être lues.

Les tags fonctionnent à des basses et hautes fréquences parce qu'ils ne peuvent être lus qu'à une faible distance. Cela explique que les tags RFID à basse et haute fréquence n'ont généralement pas besoin d'une pile embarquée. En effet l'électricité transmise par le lecteur pendant le processus de couplage est suffisante.

### II.2.2. Couplage radiatif

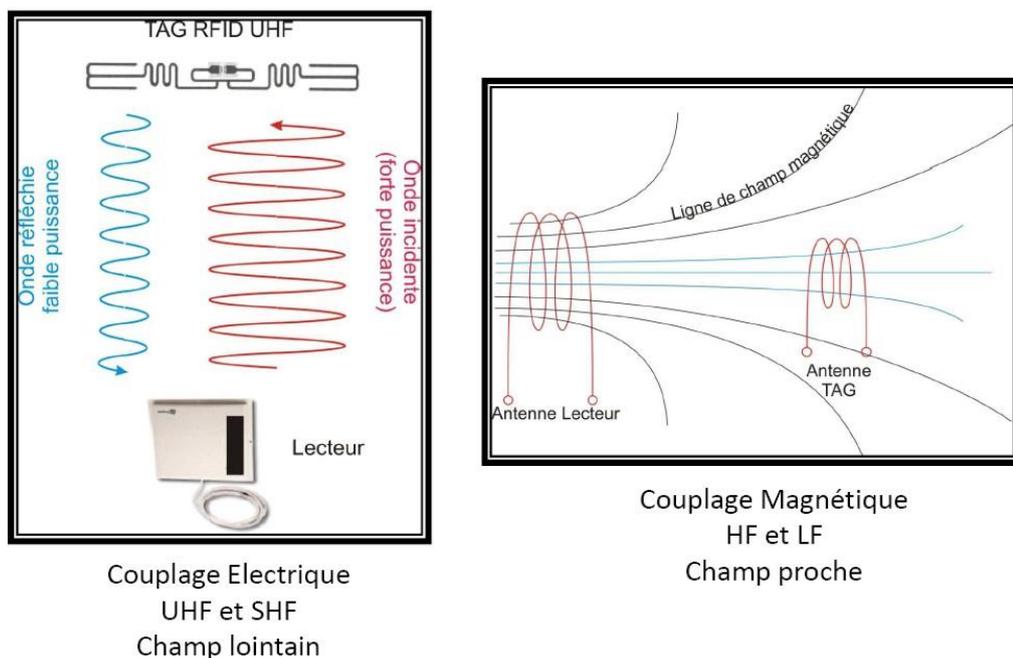
Le couplage radiatif généralement destinée aux ultra-hautes fréquences. Le processus de couplage radiatif débute au moment où le lecteur commence à émettre des ondes électromagnétiques. Il envoie ces ondes à tout tag situé à proximité, qui les capte et les renvoie au lecteur (d'où le terme de <<rétrodiffusion>>). ce processus est comparable au fait de crier dans un champ et d'attendre l'écho.

Ce type de couplage permet des distances de lecteur plus importantes, puisque le tag et le lecteur ne besoin pas d'être suffisamment proches pour qu'il y ait un transfert d'électricité.

Cependant si le lecteur est très loin pour transmettre de l'électricité au tag. Il aura besoin d'une pile embarquée.

### II.2.3. La relation entre le tag et le lecteur

La lecture intervient juste après le couplage et implique un transfert de données (plutôt que d'électricité) entre le tag et le lecteur/l'antenne, après le lecteur traduit les données reçues sous forme lisible par les êtres humains .le lecteur est connecté a ordinateur, ou alors il dispose d'une petite interface où s'affichent les données qui pourront être lues par l'utilisateur, et le tag stocke des informations importantes, que le lecteur/ l'antenne traduit à l'utilisateur.



**Figure. II. 1 :** Mécanisme de couplage.

## II.3. Les paramètres fondamentaux d'une antenne

### II.3.1. La directivité

La Directivité d'une antenne est le rapport de l'intensité du rayonnement dans une direction donnée de l'antenne à l'intensité de rayonnement moyenne dans toutes les directions.

Une antenne isotrope rayonne uniformément la même densité de puissance quel que soit la direction.

$$D = \frac{U}{U_i} = \frac{4\pi U}{P} \quad (\text{II} - 1)$$

Où :

D : est la directivité de l'antenne.

U : est l'intensité de rayonnement de l'antenne.

U<sub>i</sub> : est l'intensité de rayonnement d'une source isotrope.

P : est la puissance totale rayonnée.

Parfois la direction de la directivité n'est pas spécifique. Dans ce cas, la direction de l'intensité de rayonnement maximal est implicite et la directivité maximal est donnée par :

$$D_{\max} = \frac{U_{\max}}{U_i} = \frac{4\pi D_{\max}}{P} \quad (\text{II} - 2)$$

Où :

D<sub>max</sub> : est directivité maximal.

U<sub>max</sub> : est l'intensité de rayonnement maximal.

Une antenne qui a un lobe principal étroit aurait une meilleure directivité, puis celui qui a un lobe principal large, par conséquent elle est plus directive [23].

### II.3.2. L'impédance d'entrée

Dans un proche circuit, une antenne est caractériser par son impédance complexe Z. cette impédance est compose d'une partie réel R et d'une partie imaginaire X, ou on définit Z comme le rapport entre la tension et le courant,

Impédance  $Z$  est défini par :

$$Z=R+jX=\frac{V}{I} \quad (\text{II} - 3)$$

La partie réel est composer de la résistance de rayonnement  $R_r$  et de résistance de perte  $R_p$  (II – 4), l'énergie dissipé par  $R_r$  correspondant a l'énergie rayonne par l'antenne.

L'énergie dissipée par  $R_r$  correspondant quant à elle aux pertes de conduction, aux pertes diélectrique et aux pertes d'ondes de surface de l'antenne.

$$R=R_r+R_p \quad (\text{II} - 4)$$

Où :

$R$  est constitué de la résistance de rayonnement  $R_r$  et de la résistance des pertes  $R_p$ .

Dans le cas de l'émission, un générateur connecté à l'antenne possède également une impédance de sortie  $Z_g$  constituée d'une partie réelle  $R_g$  et d'une partie imaginaire  $X_g$  (II – 5).

$$Z_g = R_g + jX_g \quad (\text{II} - 5)$$

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  $X_l$  (II – 6).

$$Z_C = R_C + jX_C \quad (\text{II} - 6)$$



**Figure. II. 2 :** Schéma équivalent d’une antenne en réception(b) et émission(a).

**II.3.3.Rapport d’onde stationnaire (ROS)**

Le rapport d'ondes stationnaires (ROS) est un indicateur du bon fonctionnement du système d'alimentation d'une antenne. Il n'exprime pas les qualités de l'antenne proprement dite mais le fait que celle-ci peut être raccordée à un émetteur sans risque pour ce dernier L'ANTENNE ROS=1 ne signifie pas que l'antenne est adaptée à la ligne La mesure du ROS permet d'évaluer la transmission d'énergie entre un émetteur et sa charge. On définit le rapport d'onde stationnaire d'une antenne par :

$$ROS = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (II - 7)$$

Le ROS est toujours supérieure ou égal à 1, la valeur maximale de ROS généralement admise pour la sécurité du matériel est de 2, ce qui donne un paramètre  $\Gamma$  inférieur ou égale a - 10 dB.

Un rapport d'onde stationnaire élevé a plusieurs inconvénients :

- surtension au niveau de l'émetteur avec risque de destruction de l'amplificateur de puissance, les transcrives récent possèdent en outre pour la plupart un dispositif qui limite automatiquement la puissance d'émissions en cas de ROS élève ; un émetteurs de 100 watts peut être limite a quelque watts.
- le radioamateur étant un expérimentateur soucieux de l'optimisation de sa station, il est tente de considérer comme un échec un chiffre élevé pour le ROS de son antenne, son but est d'obtenir une valeur de 1(1 sur 1).

### II.3.4.Coefficient de réflexions (RC)

On peut définir le coefficient de transmission en puissance  $\tau$  par (II – 10). Il correspond au rapport de la puissance transférée à une charge sur la puissance totale maximum pouvant lui être transférée, il définit par :

$$\Gamma = \frac{Z_a - Z_0}{Z_a + Z_0} \quad (\text{II} - 8)$$

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

### II.3.5.Coefficient de transmission

On peut définir le coefficient de transmission en puissance T par (II – 5). Il correspond au rapport de la puissance transféré a une charge sur la puissance total maximum pouvant lui être transférée : [24].

$$\tau = 1 - |\Gamma^*|^2 \quad (\text{II} - 10)$$

A partir (II – 9) et (II – 10) on peut obtenir la relation (II – 6) reliant le coefficient de transmission à l'impédance d'une antenne de sa charge ( $Z_a$  et  $Z_c$ ) en considèrent l'antenne en réception en (**Figure. II.2**).cet relation es très utile dans RFID, car elle correspondant au rapport de la puissance transféré à une puce RFID sur la puissance total maximum pouvant lui être transférée.

$$\tau = \frac{4 R_a R_c}{|Z_a + Z_c|^2} \quad (\text{II} - 11)$$

### II.3.6. Gain

Le gain d'une antenne dans une certaine direction  $G(\theta, \varphi)$ , est quant à lui donné par le rapport de l'intensité de puissance rayonnée dans une certaine direction sur l'intensité de puissance acceptée par l'antenne qui serait rayonnée par une antenne isotrope sans pertes (II-7). Conformément à la définition de l'IEEE, le gain de l'antenne ne prend pas en compte les pertes de désadaptation (ou pertes d'insertion), le rapport de gain est donnée par [25] :

$$G(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{\text{intensité de puissance rayonnée dans la direction}(\vartheta, \phi)}{\text{puissance totale acceptée}} \quad (\text{II} - 12)$$

$$G(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{P(\theta, \varphi)}{P_a} \quad (\text{II} - 13)$$

Le gain est lié à la directivité, il définit l'augmentation de la puissance émise ou reçue dans le lobe principale, il est due au fait que l'énergie est focalisée dans une seule direction, il est exprimé en dBi (décibels par rapport à l'antenne isotrope).

$$\text{Gain} = \eta D \quad (\text{II} - 14)$$

Pour voir un gain important, l'antenne doit avoir un diagramme de rayonnement directif et réciproquement.

### II.2.7. Efficacité

Pour une antenne donnée, la puissance rayonnée  $P$  est généralement inférieure à la puissance d'alimentation  $P_r$ , le rendement ou efficacité est alors défini comme étant le rapport de la puissance totale  $P$  qu'elle rayonne à sa puissance d'alimentation  $P_a$ . on la note  $\eta$  [26] :

$$\eta = \frac{P_r}{P_a} \quad (\text{II} - 15)$$

Et avec d'autre définition le rendement est le rapport entre l'énergie rayonnée par une antenne et celle que lui fournit l'alimentation. Elle est exprimée par [27] :

$$\eta = \frac{R_r}{R_r + R_p} \quad (\text{II} - 16)$$

$R_r$  : résistance liée à son rayonnement.

$R_p$  : résistance liée aux pertes de l'antenne.

L'efficacité totale  $e_0$  d'une antenne est utilisée pour prendre en compte les pertes à l'entrée de l'antenne et les pertes liées aux conducteurs. Les pertes peuvent être dues aux réflexions provenant d'une mauvaise adaptation de l'antenne et aussi des propriétés intrinsèques des matériaux qui sont la constituent (conducteur, diélectrique). Généralement l'efficacité globale peut être écrire [26] :

$$e_0 = e_r \cdot e_c \cdot e_d \quad (\text{II} - 17)$$

Où :

$e_0$  : Efficacité totale.

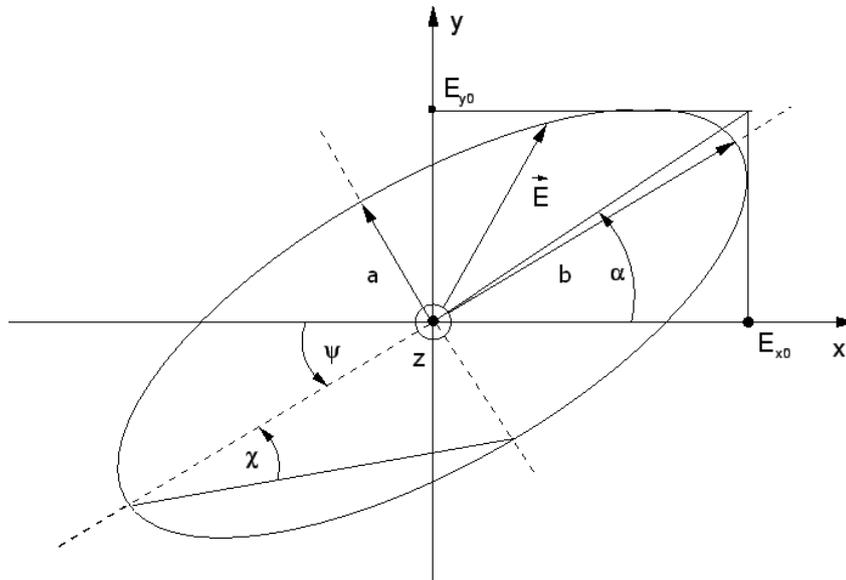
$e_r$  : Efficacité de la réflexion.

$e_c$  : Efficacité de conduction.

$e_d$  : Efficacité diélectrique.

### II.2.8.Polarisation

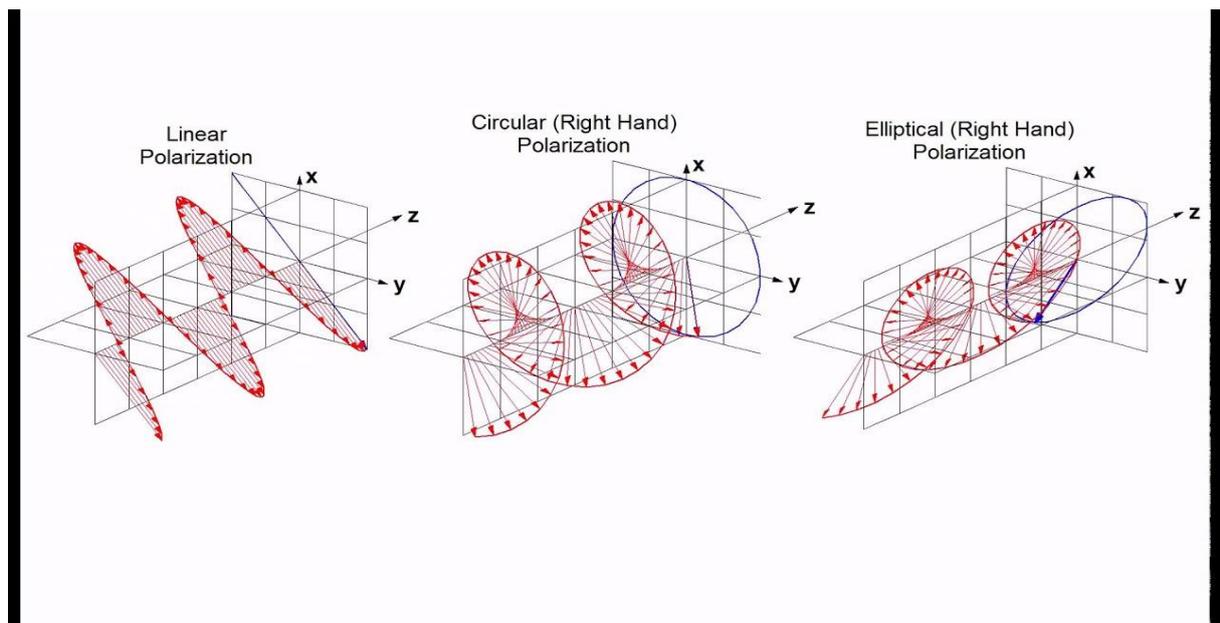
La polarisation, en un point et dans une direction donnée, est définie comme étant la propriété d'une onde électromagnétique décrivant la variation dans le temps dans la direction et de l'amplitude relative de vecteur de champ électrique  $E$ , transverse à la direction de propagation d'une onde plan (**Figure. II.3**).



**Figure. II. 3 :** représentation de la rotation du champ électromagnétique d'une onde plan.

On distingue 3 types de polarisation :

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



**Figure. II. 4 :** Polarisation du champ électromagnétique.

### II.3.9.La bande passante

La bande passante d'une antenne est définie comme étant une plage de fréquence sur laquelle les performances de l'antenne sont conformes à certaines spécifications.

La bande passante tout simplement est la différence entre les fréquences hautes  $f_{\max}$  et basse  $f_{\min}$  d'utilisation de l'antenne. Elle est définie par la formule suivante [28] :

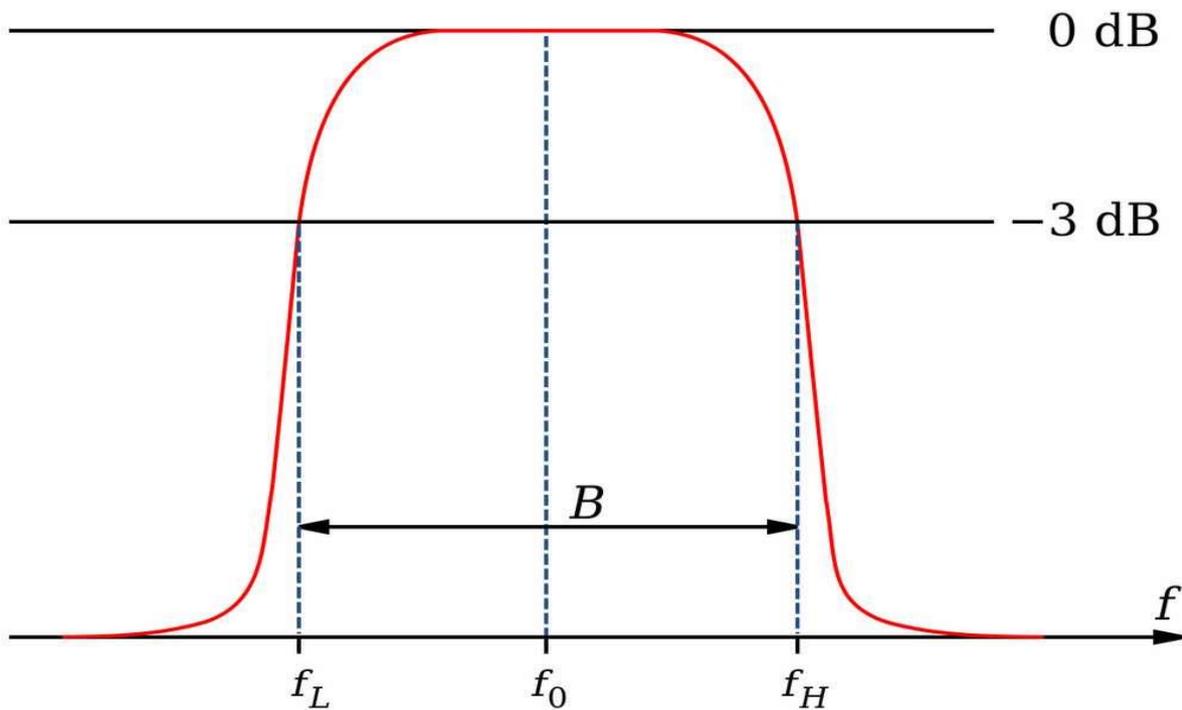
$$BP = f_{\max} - f_{\min} \quad (\text{II} - 18)$$

Nous pouvons aussi exprimer la bande passante en pourcentage :

$$BP\% = \frac{BP}{f_c} \cdot 100 \quad (\text{II} - 19)$$

Où :

$f_c$  : La fréquence centrale définie comme étant la moyenne arithmétique des fréquences  $f_{\max}$  et  $f_{\min}$  [28].



**Figure. II. 5 :** illustration de la bande passante a -3 dB d'une antenne.

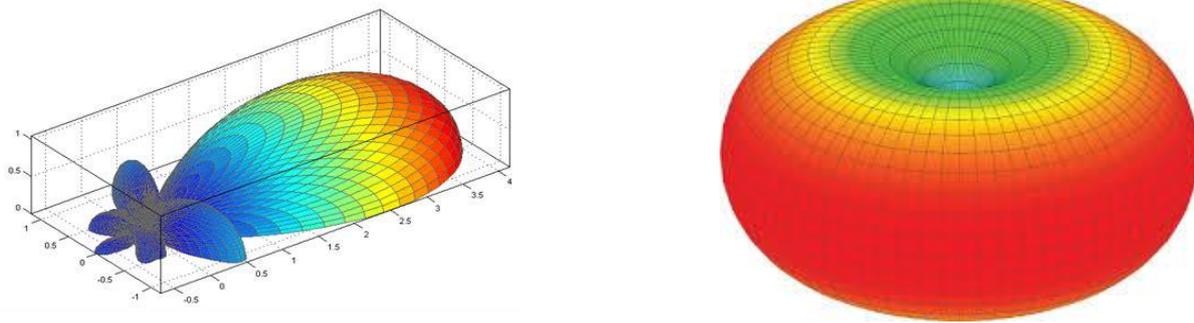
### II.3.10. diagramme de rayonnement

Le diagramme de rayonnement fournit des informations sur la capacité d'une antenne à rayonner dans l'espace. Ainsi, à partir du diagramme de rayonnement, il est possible de définir plusieurs paramètres du rayonnement d'une antenne dont l'ouverture, le niveau de puissance et la direction des lobes secondaires.

L'angle d'ouverture est défini, dans un plan contenant la direction du faisceau maximal, comme l'angle entre les deux directions dans lesquelles l'intensité de rayonnement est la moitié de la valeur maximale du faisceau (-3 dB).

Une antenne de type dipôle présente un diagramme de rayonnement omnidirectionnel.

Généralement, le diagramme de rayonnement est standardisé à sa valeur maximale et électromagnétique (dB).



**Figure. II. 6 :** diagramme de rayonnement.

### II.3.11. Ouverture effective

Ce paramètre décrit la caractéristique de capture de puissance de l'antenne, quand vague l'atteint. Dans le cas d'une onde plane entrante avec une densité de puissance  $S$ , l'ouverture effective  $A_e$  relie  $S$  à la puissance maximale reçue qui peut être tirée d'une antenne, étant donné et la polarisation correcte [27] :

$$P_e = A_e \cdot S \quad (\text{II} - 20)$$

### II.4.L'Equation de Friis

L'équation de transmission de Friis concerne la puissance d'une liaison radio électrique entre une antenne émettrice et une antenne réceptrice, séparées par une distance  $R$  par rapport aux dimensions de l'antenne et à la longueur d'onde (Figure. II.6), on suppose que ces antennes sont correctement polarisées et que l'impédance est adaptée aux lignes de transmission reliant à la fois le récepteur et l'émetteur. Le lien est définie par les paramètres suivants : [29]

Où :

$P_T$  : est la puissance acceptée par l'antenne émettrice.

$P_R$  : correspond à la puissance reçue au terminal de l'antenne de réception.

$G_T$  : est le gain d'antenne d'émission (dans la direction de l'antenne de réception).

$G_R$  : est le gain de l'antenne de réception (dans la direction de l'antenne d'émission).

$A_{eR}$  : est la surface effective de l'antenne de réception (dans la direction de l'antenne d'émission).

$$P_R = A_{eR} \frac{dP}{dS} \quad (\text{II} - 21)$$

Où :

$\frac{dP}{dS} = \frac{GP}{4\pi r^2}$  est la densité de flux de puissance à l'antenne de réception.

Et  $A_{eR} = \frac{PG}{4\pi r^2}$  est la surface effective de l'antenne de réception.

Cependant, il peut y avoir un désaccord de polarisation ( $\rho$ ) entre le lecteur et les antennes de l'étiquette, et toute la puissance absorbée par le récepteur n'est pas disponible pour la charge en raison de la différence d'impédance ( $r$ ). En déduit l'équation de Friis modifiée est écrite comme indiqué dans l'équation suivante [27], [29] :

$$P_R = \rho \tau \frac{\lambda^2 G_t G_r P_t}{(4\pi r)^2} \quad (\text{II} - 22)$$

L'antenne d'émission

L'antenne de réception



**Figure. II. 7** : Illustration d'une antenne en transmission et une antenne en réception.

L'équation de transmission de Friis peut être utilisée une fois quand le lecteur interroge d'abord l'étiquette ensuite dans le sens inverse quand l'étiquette reçoit l'énergie de l'onde d'interrogation et utilise cette puissance pour rétrodiffuser un signal au lecteur.

### II.4.1. Distance de lecture

La plage de lecture théorique est plus longue que la plage de lecture réelle. La plage de lecture peut être calculée en utilisant la formule d'espace libre de Friis, notez qu'il est supposé que la plage de lecture est dans l'espace libre :

$$r_{\max} = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_t \cdot G_t \cdot G_r \cdot \tau}{P_{th}}}$$

Où  $\lambda$  est la longueur d'onde,  $P_{th}$  est la puissance de seuil minimum pour alimenter l'étiquette, et  $\tau$  est le coefficient de transmission de puissance à la fréquence de résonance de l'étiquette,  $P_t \cdot G_t$  est la PIRE. Le gain de puissance ou de courant peut être exprimé en décibel (dB).

## II.5. Les tags dans les systèmes RFID

Un tag RFID est composé d'une antenne conçue pour fonctionner dans une bande de fréquence donnée, connectée à une puce électronique [15]. où la communication et le flux de courant entre le lecteur et l'étiquette se font par l'intermédiaire de l'antenne [4].

### II.5.1. Types des antennes

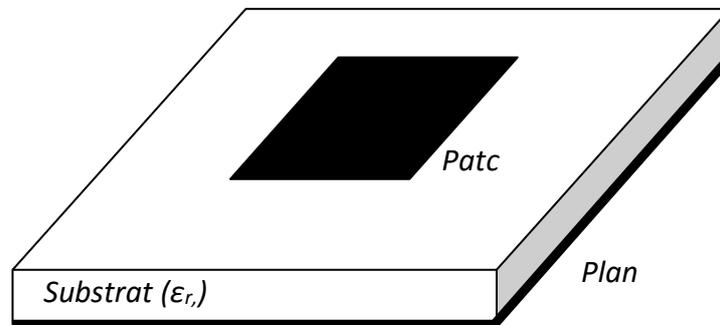
Les antennes utilisées dans la technologie RFID peuvent être passives avec des dispositions de strabisme de faisceau. En fait, les antennes préférées pour l'étiquette RFID sont des antennes plates, généralement micro rubans, en tant que un dipôle ou des structures de patch selon la nature de l'utilisation [15].

#### II.5.1.1. Antenne Patch

Ce type d'antenne est constitué d'une forme rayonnante imprimée sur un substrat au-dessus d'un plan de masse. La forme rayonnante peut avoir plusieurs géométries : rectangulaire, circulaire, ovale...

Ce type d'antenne peut être analysé par un modèle de ligne de transmission ou un modèle de cavité tous deux décrits dans [30] Il est possible d'obtenir des

polarisations circulaires ou linéaires. Le rayonnement de ce type d'antenne est directionnel. Leur structure simple est illustrée sur la (Figure. II.8).



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

Il existe un grand nombre de formes d'antennes patch micro ruban ; ils ont été conçus pour correspondre à des caractéristiques spécifiques.

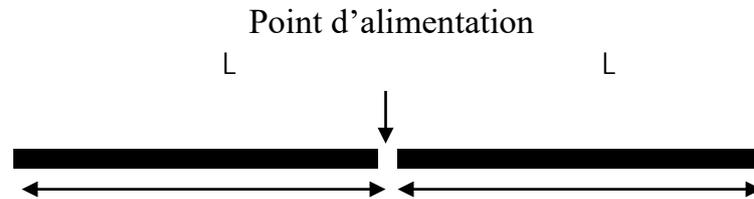
Les antennes patch sont caractérisées par leur faible coût, simplicité de fabrication, poids léger et la facilité de les intégrer avec d'autres composants ou matériaux. Elles sont discrètes, conformables, simples et peu coûteuses à fabriquer, robustes sur le plan mécanique et très polyvalentes. Mais cela a des inconvénients,

Faible rendement, faible puissance, largeur de bande de fréquence très étroite. Dimension encore importante à haute fréquence.

### II.5.1.2. Antenne dipôles

Ce type d'antenne est de loin le plus mis en œuvre en RFID UHF à cause de sa structure en 2 dimensions. Il permet d'obtenir un rayonnement omnidirectionnel avec une polarisation linéaire [31].

La géométrie de ce type d'antenne est présentée sur la (Figure. II. 9), elle est constituée de deux branches conductrices de longueur  $L$  alimentées en leur centre.

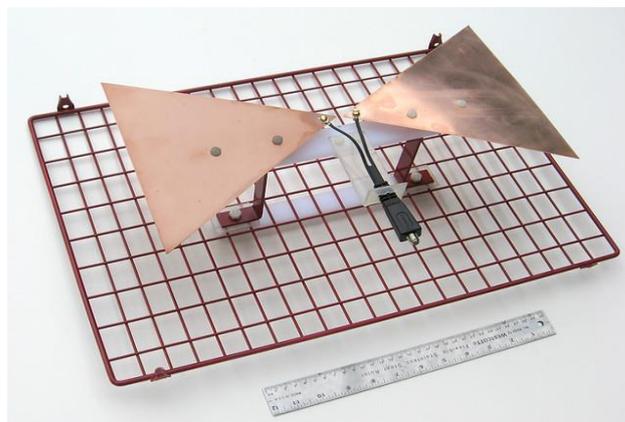


**Figure. II. 9 :** Géométrie d'une antenne.

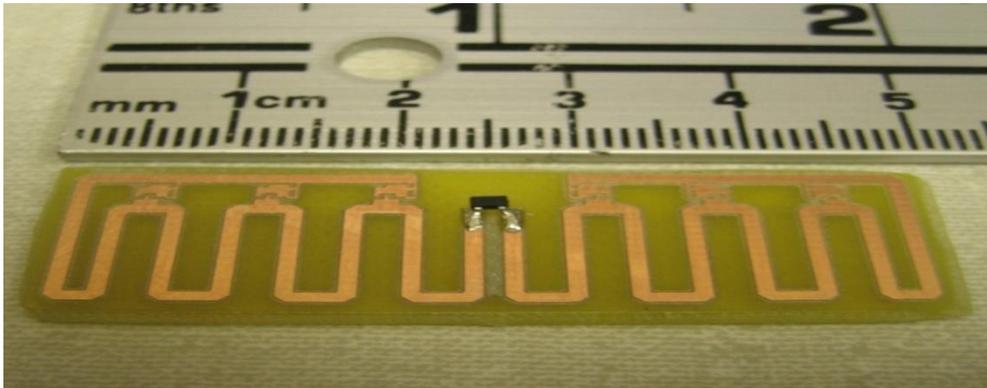
Récemment, la forme du dipôle a été modifiée pour s'adapter à différentes utilisations et pour réduire la taille, ce qui est très requis en technologie RFID. On a le dipôle replié, dipôle en cravate, dipôle méandre (**Figure. II.10, 11,12**) .ces antennes peuvent être utilisées dans la gestion des chaînes logistiques, l'identification et le traçabilité .... [32].



**Figure. II. 10 :** dipôle replié.



**Figure. II. 11 :** dipôle en cravate.



**Figure. II. 12 :** dipôle en méandre

## II.6. Les puces dans les systèmes RFID

La technologie RFID repose sur l'utilisation d'une puce qui est reliée à une antenne miniature, cet ensemble constitue l'étiquette ou tag RFID.

Les puces RFID sont en silicium ( $\text{SiO}_2$ ), elles sont extrêmement fines, ont une taille réduite à quelques millimètres et ont une masse négligeable.

La puce RFID contient des informations sur le produit ou l'étiquette est collée ou implantée, elle sert donc à stocker ces données et à les transmettre au lecteur RFID via des ondes radio, il existe de types de puces peuvent se distinguer selon l'utilité à laquelle elles seront destinées :

- Les puces réinscriptibles (lecteur/écriture) : les données inscrites sur la puce peuvent être modifiées par le lecteur RFID.
- Les puces à usage unique (lecteur seul) : la puce contient des données qui sont lues par le lecteur RFID sans possibilité de les modifier.

### II.6.1. Les types des puces

Il y a 3 types de puce RFID peuvent être distingués :

- Les puces passives : elles fonctionnent sans batterie et sont activées au moyen d'un lecteur émetteur/récepteur qui leur transmet des ondes magnétiques (ex : badges RFID).
- Les puces actives : elles possèdent leur propre batterie et transmettent de façon autonome des informations qu'elles enregistrent au capteur.

- Les puces intelligent : elles sont munies d'un système de sécurité qui permet de crypter les informations qu'elles contiennent .les données pour être accessibles nécessitent une identification (ex : carte bancaire).

## **II.7.Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons dans un premier temps défini les mécanismes de couplage et présenté son types, ensuite nous avons cité les paramètres fondamentaux d'une antenne comme la directivité, gain, ROS, RC.... Et on a défini aussi l'équation de Friis et présenté deux types d'antenne (dipôle, patch).

Finalement, nous avons donné une vue générale sur les différents types des puces RFID.

## **Chapitre III**

---

---

### **Conception d'antenne tag RFID**

---

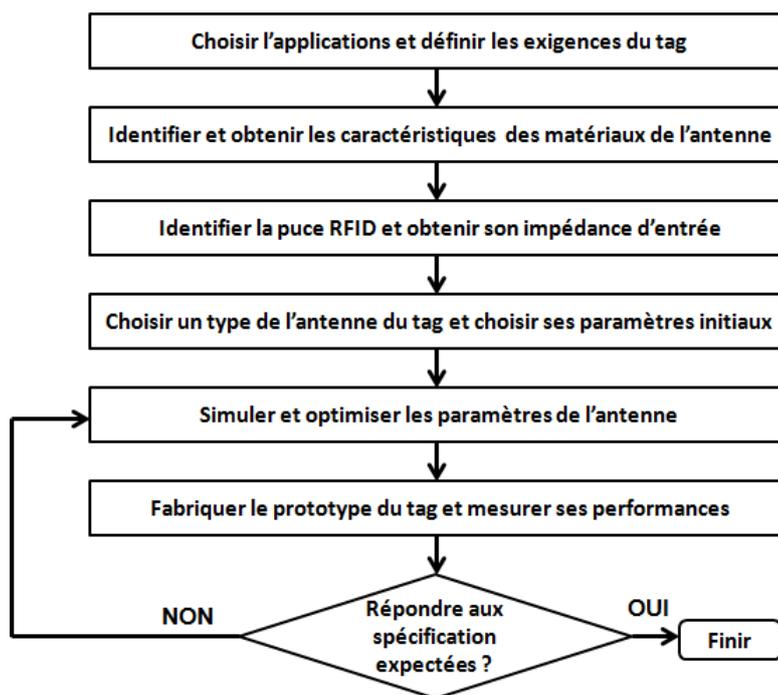
---

### III.1. Introduction

Ce chapitre est consacré à la conception des antennes pour les tags RFID UHF passifs. Les techniques de conception de ces antennes sont différentes de la conception des antennes conventionnelles, car les applications et les contraintes sont fondamentalement différentes. En effet, l'antenne du tag, en plus de permettre la transmission des données par rétro-réflexion joue un rôle prédominant dans l'alimentation en énergie de la puce RFID.

Dans ce chapitre, nous présenterons la méthodologie de conception que nous avons mise en place, puis exploitée toute au long de ce travail.

### III.2. La méthodologie de la conception pour l'antenne du tag RFID UHF passif



**Figure. III. 1** : Méthodologie de conception d'antenne des tags RFID UHF passifs

La conception d'antenne de tag RFID UHF passif nécessite de mettre en œuvre une méthodologie de développement dont l'organigramme est présenté dans la **FigureIII.1**

[8].

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.

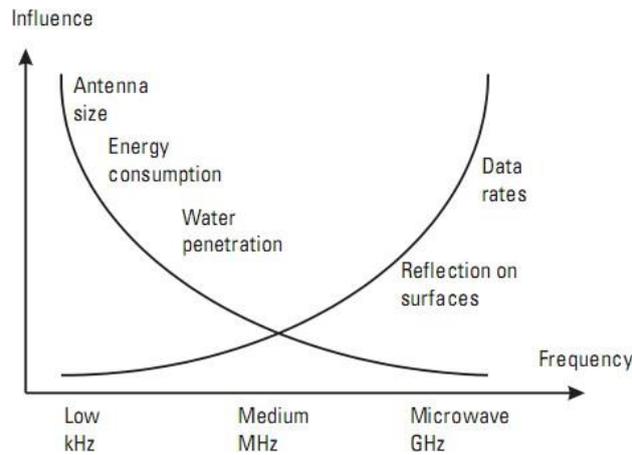
### **III.2.1. Les contraintes pour la conception du tag RFID**

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... [32], [33], [34].

#### **III.2.1.1. 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 termes 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.



**Figure. III. 2 :** Les influences de l'environnement sur l'onde électromagnétique selon les différentes fréquences [39].

Dans la région de plus haute fréquence (UHF ou supérieur), le champ électrique devient plus important et on utilise un phénomène de propagation pour communiquer entre le lecteur et le tag. Des distances de lecture de plusieurs mètres sont alors envisageables. Par ailleurs la sensibilité de l'antenne à son voisinage immédiat permet de concevoir des capteurs exploitant cette sensibilité à un ou plusieurs paramètres de l'environnement.

### III.2.1.2. La distance de lecture

La distance de lecture d'un système RFID dépend de la configuration des composants du système et les paramètres suivants [32],[36] :

- a. La fréquence de travail et les performances de l'antenne.
- b. La polarisation de l'antenne.
- c. La répartition de courant.
- d. La sensibilité du récepteur.
- e. Les méthodes de modulation et de démodulation.
- f. Le nombre de bits de données et l'algorithme d'anticollisions.
- g. 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.

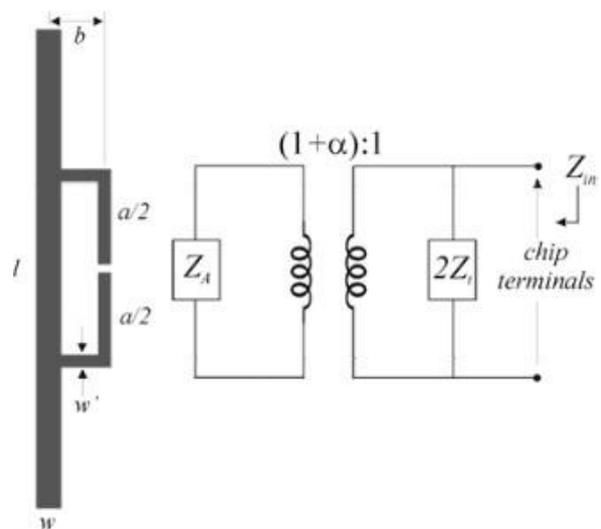
### **III.3. Techniques d'adaptation d'impédance pour les tags RFID UHF passifs**

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).

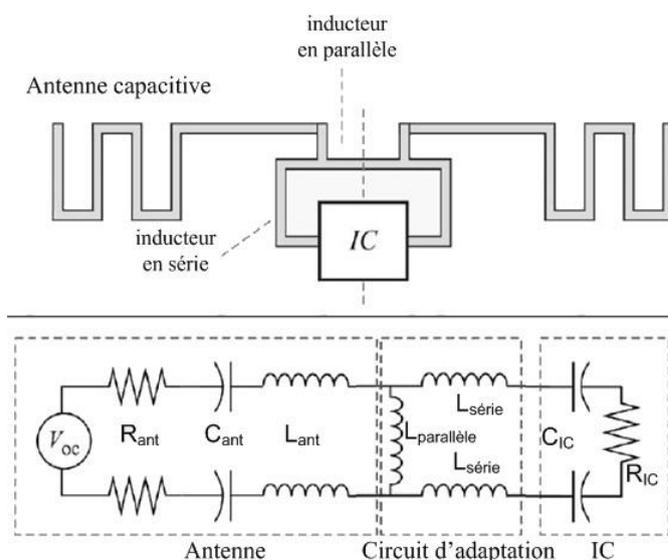
#### **III.3.1. T-match**

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.III.3** et **Figure.III.4**.

Les inductances parallèle et série sont réalisées par des longueurs de ligne conductrice raccordant l'antenne à la puce.



**Figure. III. 3 :** La configuration T-Match et le circuit équivalent [37].



**Figure. III. 4 :** Le modèle de circuit équivalent de la configuration T-Match [38].

L'impédance équivalente vue à partir de la puce :

$$Z_{in} = \frac{2Z_t(1+\alpha)^2 Z_a}{2Z_t + (1+\alpha)^2 Z_a} \quad (\text{III} - 1)$$

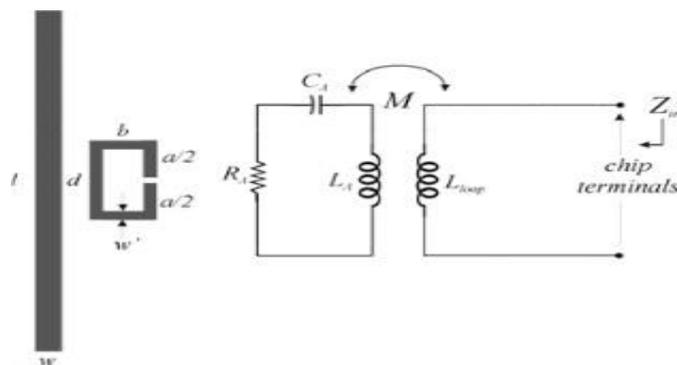
Où  $Z_t$  est l'impédance de stub et  $Z_a$  est l'impédance équivalente de l'antenne.

La configuration T-Match fonctionne comme un adaptateur de l'impédance. Les dimensions de la largeur et de la longueur des pistes conductrices peuvent être ajustées pour que l'adaptation de l'impédance entre la puce et l'antenne soit assurée.

### III.3.2. La boucle d'inductance à couplage mutuel

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 (**Figure.III.4**), 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 [37] :

$$Z_{in} = Z_{loop} + \frac{(2\pi f M)^2}{Z_a} \quad (\text{III} - 2)$$



**Figure. III. 5 :** La boucle à couplage mutuel et le circuit équivalent [37].

III.3.3.Nested-slot

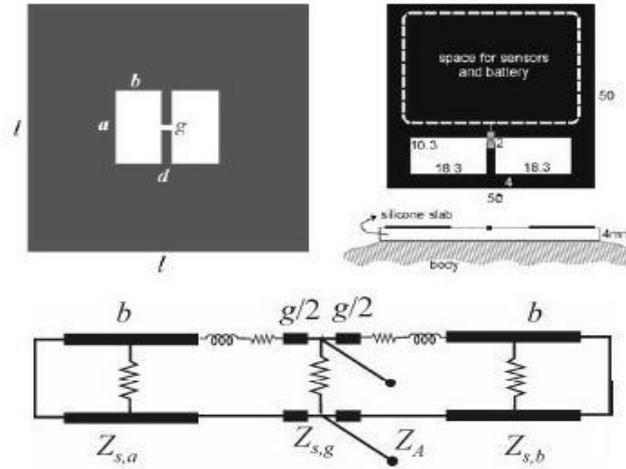


Figure. III. 6 : La configuration de Nested-slot [37].

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.III.6)

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.

III.3.4.Structure Tip-loading

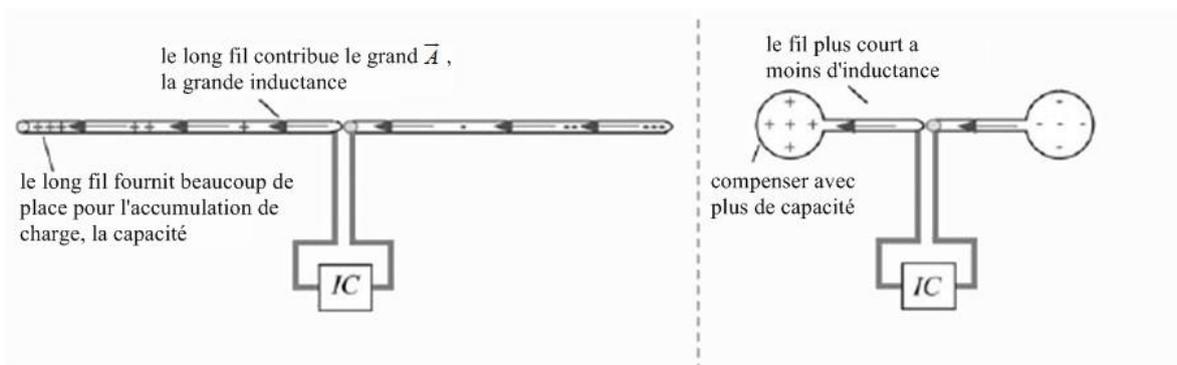
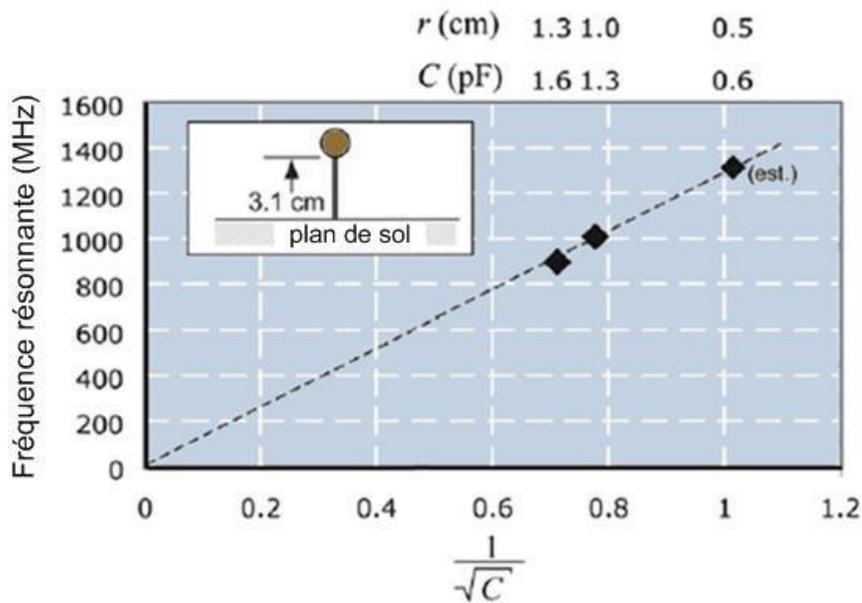


Figure. III. 7 : Le dipôle raccourci par l'ajoutant des capacités aux bouts [38].

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 » [38]. 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.

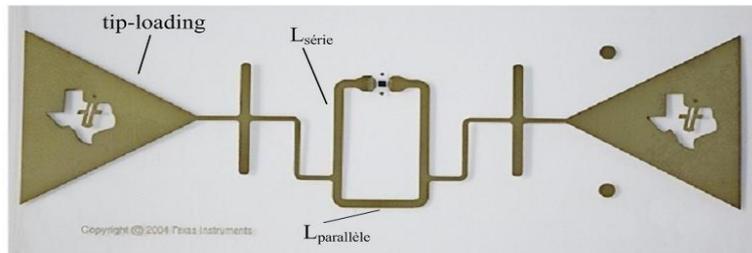
Les anciens dipôles de tip-loading utilisaient souvent des sphères en métal, avec une capacité proportionnelle à la superficie de surface de la sphère. Les antennes imprimées doivent utiliser des structures plates et la capacité ajoutée est grossièrement proportionnelle au périmètre de la forme plutôt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



**Figure. III. 8 :** Fréquence de résonance d'un fil monopôle de 3.1cm chargé par les disques de taille variable [38].

Les exemples de données mesurées pour un fil monopôle de 3.1cm chargé par les disques de taille variable sont montrés à la (Figure.III.8). Les disques avec un rayon d'environ 1cm fournissent la capacité d'environ 1pF, et permettent une antenne résonnante à 900 MHz, ce qui permet d'avoir

une longueur d'antenne de 10cm (au lieu de 15cm) pour une antenne filaire. Un exemple d'une structure de tag commercial avec le tip-loading est le circuit d'adaptation d'impédance de T-Match est dans la **Figure.III.9**.



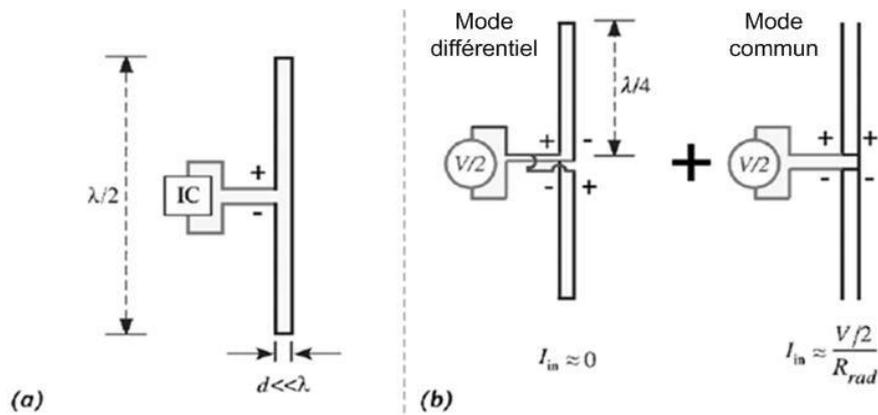
**Figure. III. 9 :** Texas Instrument Classe 1 Generation 2 inlay (2004) [38].

### III.3.5. 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 (**Figure.III.10.b**).

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 en circuit ouvert, pour que la tension de ligne de transmission ne génère aucun courant du tout.

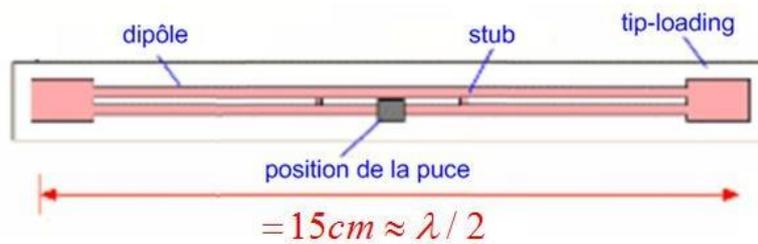


**Figure. III. 10 :** a) Dipôle replié b) Tension en décomposant en modes différentiel et commun [38].

Puisque l'impédance d'un dipôle n'est pas une fonction très sensible à sa coupe transversale, la paire de fils peut être considérée comme un dipôle régulier pour le mode commun. Ainsi le courant de mode commun est généré par la moitié de la tension appliquée à l'origine du dipôle. La moitié de ce courant s'écoule sur les segments gauches et l'autre moitié sur le segment de droite.

Le résultat consiste en ce que pour une tension d'entrée donnée, nous obtenons  $\frac{1}{4}$  du courant que nous aurions observé d'un dipôle conventionnel; cela signifie qu'un dipôle replié a une résistance de radiation quatre fois plus grande qu'un dipôle conventionnel, soit environ 260-280 $\Omega$  [38].

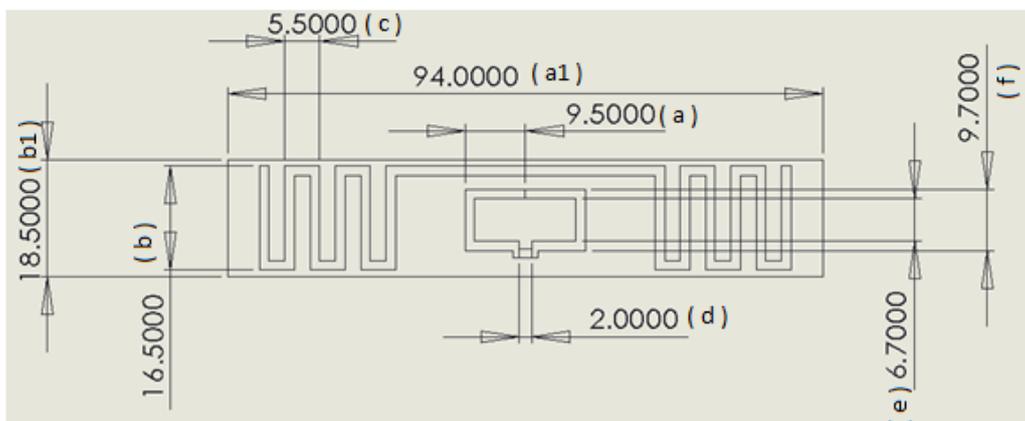
Les variantes du dipôle replié sont aussi utilisées dans des tags commercialisés. Les conceptions de l'Alien Technology I-tag peuvent être considérées comme les dipôles repliés avec des inductances parallèles/séries (**Figure.III.11**).



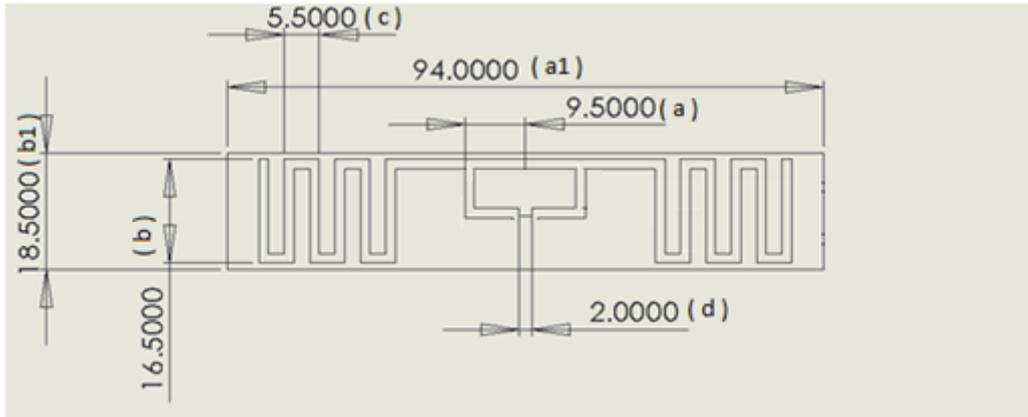
**Figure. III. 11 :** Dipôle replié avec des structures d'adaptation d'impédance [38].

### III.4. Les conceptions pour le tag RFID UHF passif

Avec la méthodologie et les techniques de conception ci-dessus, nous allons utiliser ces approches pour concevoir des antennes de tags RFID passifs pour les applications dans la gamme UHF. Dans cette section, nous présentons une comparaison entre deux techniques d'adaptation d'impédance les plus populaires dans la conception des tags RFID : la boucle inductif et le T-Match.



**Figure. III. 12 :** Dimension de l'antenne A-antenne méandre avec boucle inductif.



**Figure. III. 13 :** Dimension de l'antenne A-antenne méandre avec T-Match.

Les dimensions sont  $a_1 = 94 \text{ mm}$ ,  $b_1 = 18.5 \text{ mm}$ ,  $a = 9.8 \text{ mm}$ ,  $b = 16.5 \text{ mm}$ ,  $c = 5.5 \text{ mm}$ ,  $d = 2 \text{ mm}$ ,  $e = 6.7 \text{ mm}$  et  $f = 9.7 \text{ mm}$ . Les dimensions  $a_1$  et  $b_1$  représentent le substrat et  $d$  représente les dimensions de la puce. L'épaisseur du conducteur de l'antenne est de  $0.05 \text{ mm}$  et l'épaisseur de substrat est de  $1.58 \text{ mm}$ .

### III.4.1.Comparaison des simulations sous Cst

Nous avons conçu les deux étiquettes en utilisant le simulateur électromagnétique CST Microwave Studio sur un substrat FR4 ( $\epsilon_r = 4,25$ ,  $\tan\delta = 0,002$ , épaisseur  $1,6 \text{ mm}$ ).

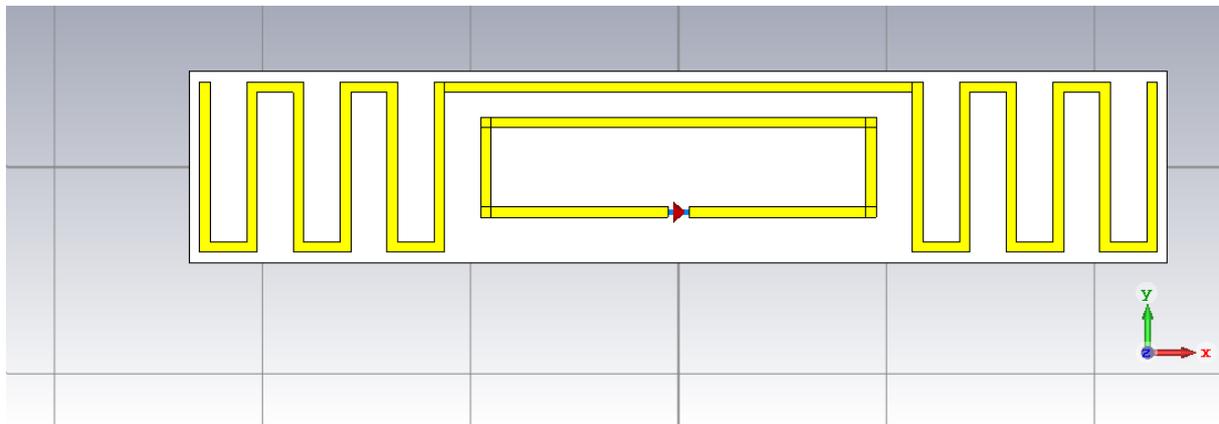
La longueur et la largeur dipolaires droites sont d'abord accordées pour obtenir  $R_{dip} = 56 \Omega$ ,  $Q_{dip} = 10$ ,  $f_{dip} = 868 \text{ MHz}$  pour Antenne a et  $R_{dip} = 56 \Omega$ ,  $Q_{dip} = 10$ ,  $f_{dip} = 907 \text{ MHz}$  pour l'antenne B.

$Q_{dip}$  est estimé à partir de la pente de la réactance simulée selon l'équation suivante :

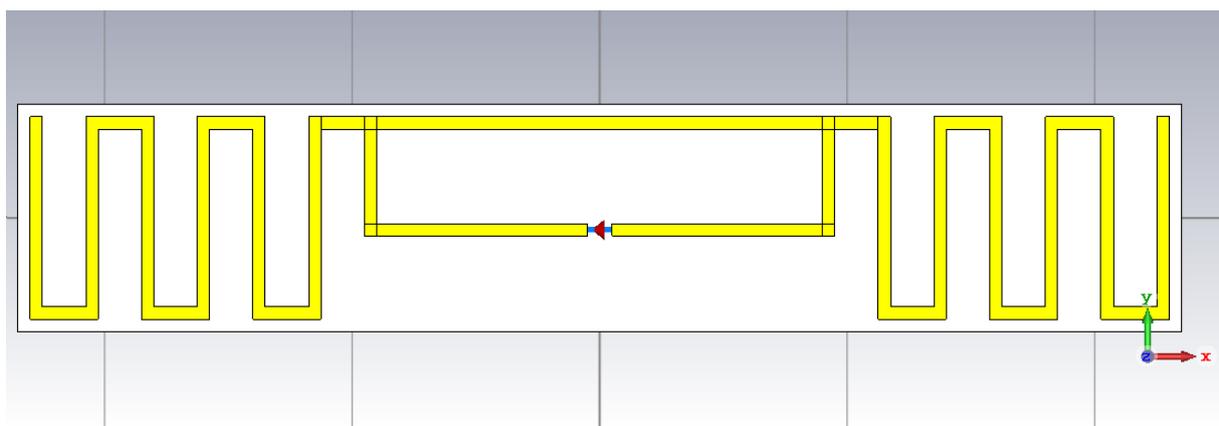
$$Q_{dip} = \frac{f_{dip}}{R_{dip}} \cdot \left( \frac{dX_{dip}}{df} \right)_{f=f_{dip}} \quad (\text{III} - 3)$$

La puce intégrée dans l'antenne possède une impédance d'entrée d'environ  $10 - j 60$  ohms à 915 MHz.

Donc pour adapter la puce à l'antenne, il faut que l'impédance de cette dernière soit la conjuguée de près de  $10 + j 60$  ohms.



(a)

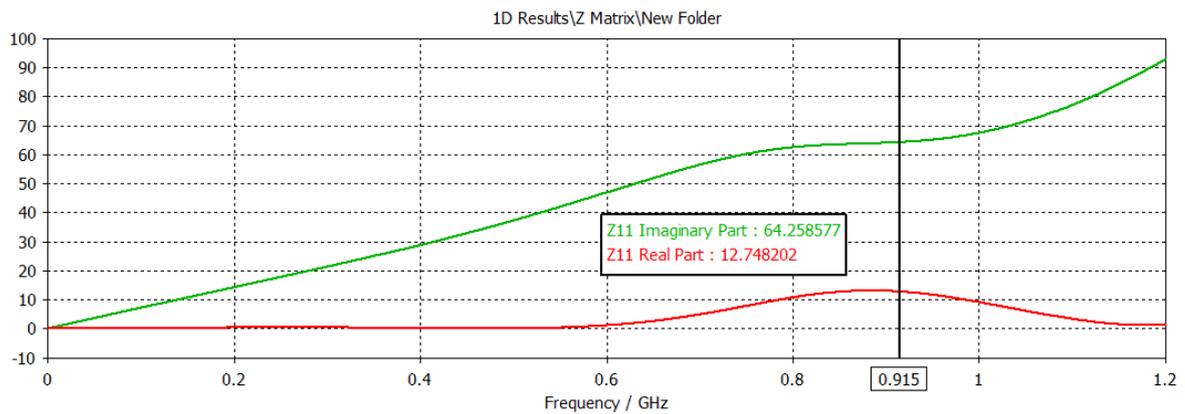


(b)

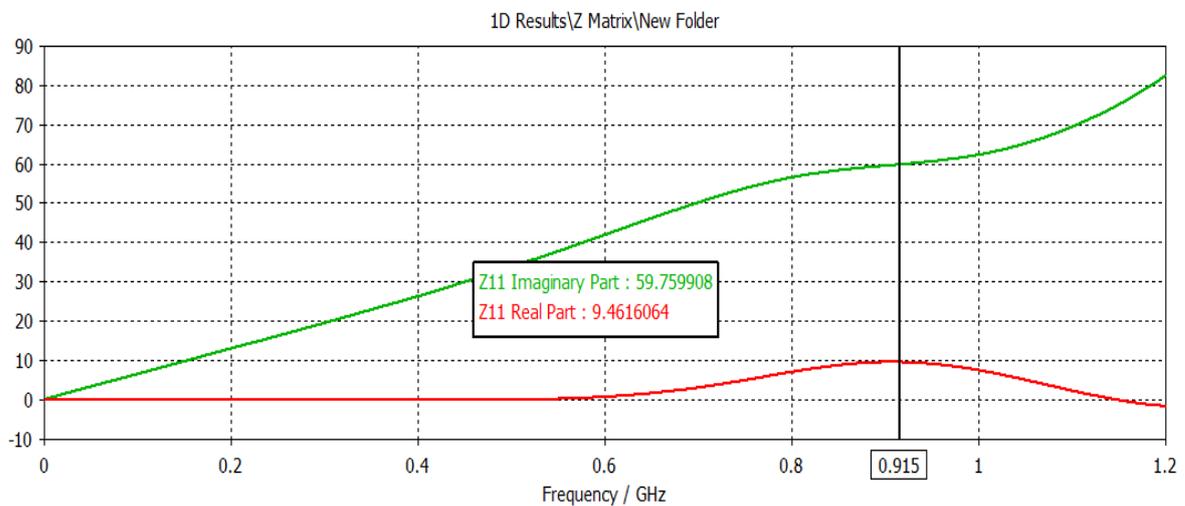
**Figure. III. 14 :** Structure des antennes méandre : (a) à couplage inductif.

: (b) Tmatch.

Après une optimisation, nous avons obtenu les résultats sur l'impédance d'entrée  $Z_{11}$ . Les figures ci-dessous représentent le tracé de la partie imaginaire et la partie réelle de l'impédance  $Z_{11}$  en fonction de la fréquence.



(a)



(b)

**Figure. III. 15** : Simulation de l'impédance d'entrée des antennes méandre :

(a) à couplage inductif.

(b) Tmatch

### III.4.2.L'adaptation d'antenne à la puce

L'antenne n'est pas adapter à  $50 \Omega$  puisque la puce a une impédance  $Z_c = 10 - j60$ , donc pour avoir une adaptation il faut que l'impédance de l'antenne soit le conjugué de l'impédance de la puce. La représentation de la puce RFID avec le logiciel CST MWS est illustrée dans la figure ci-dessous. Avec  $R_s$  la résistance du port discret ; et  $C_s$  la capacité du la puce.

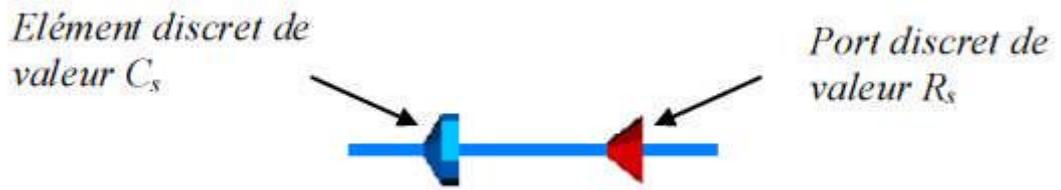
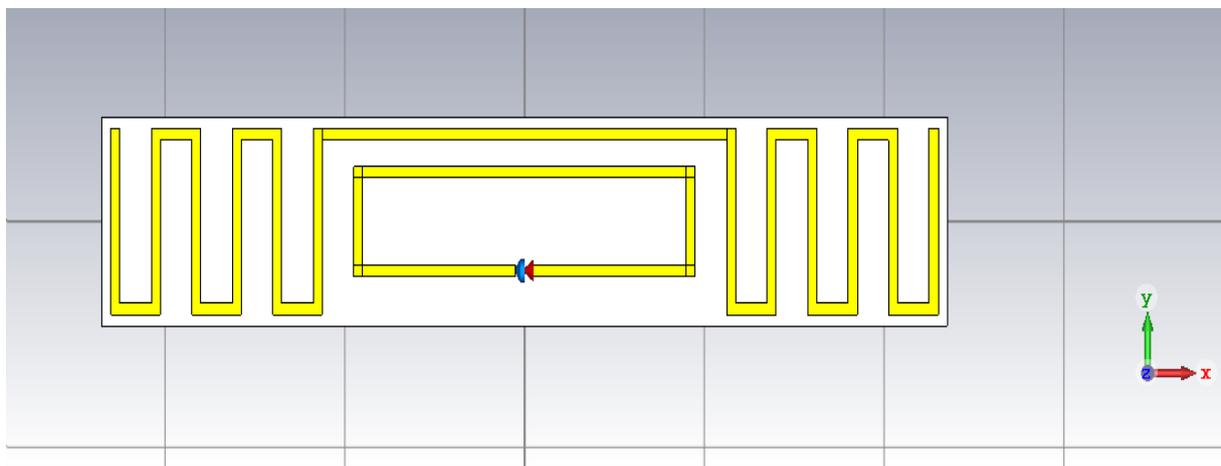
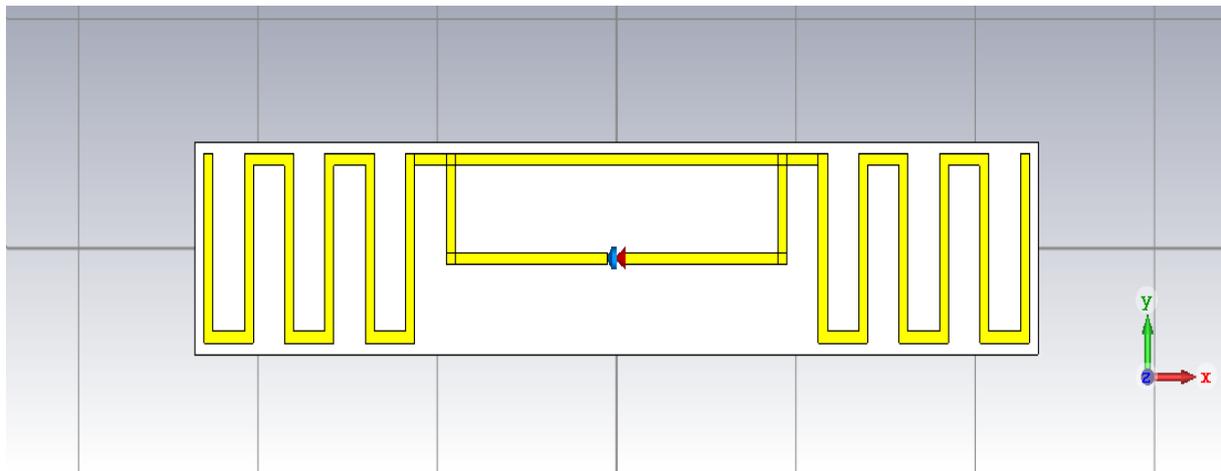


Figure. III. 16 : La représentation de la puce [28].



(a)



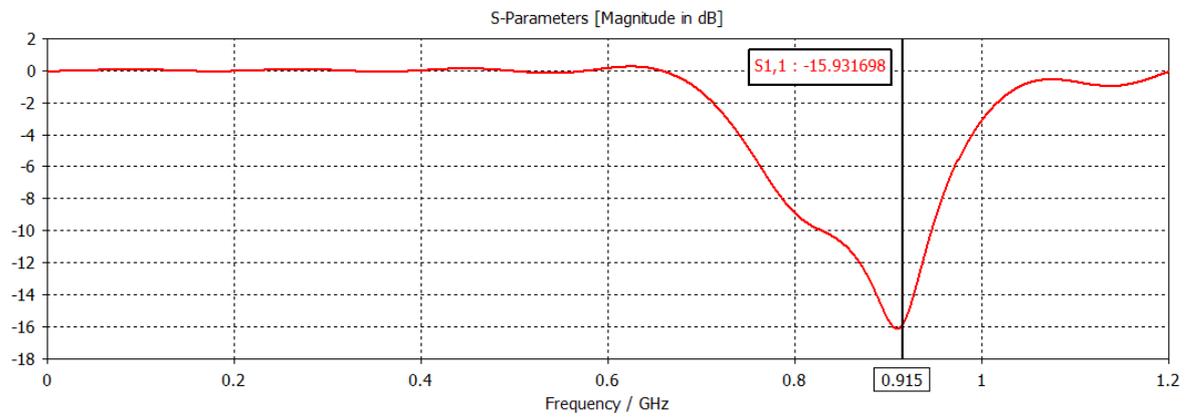
(b)

Figure. III. 17 : Simulation de l'antenne avec la puce :

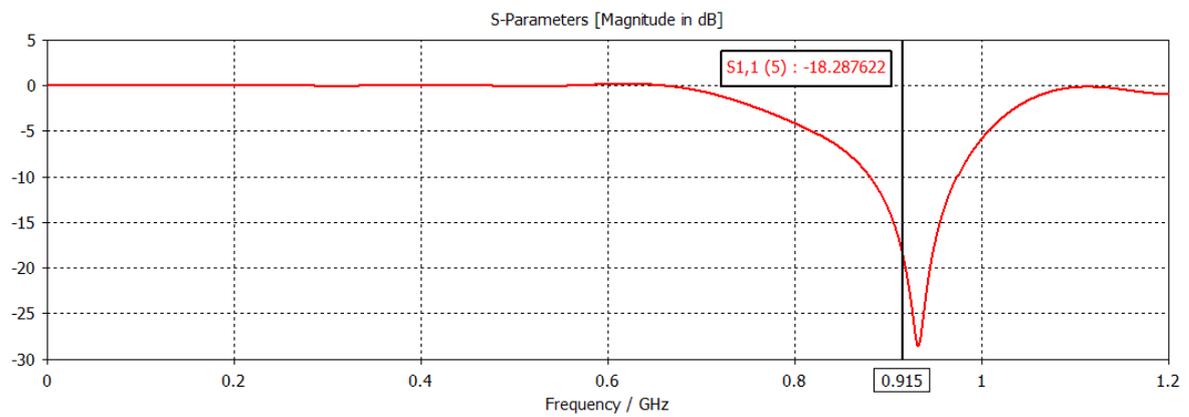
(a) à couplage inductif

(b) Tmatch.

Le coefficient de réflexion est donné dans la **Figure.III.18**.



(a)



(b)

**Figure. III. 18** : le coefficient de réflexion en fonction de la fréquence :

(a) à couplage inductif

(b) Tmatch.

Le gain des antennes est illustré par la (Figure.III.19), il est de 2.40 dB pour (a) et 2.38 dB pour (b).

Les antennes méandres présentent un rayonnement de forme omnidirectionnel dans le plan x-z (phi=0).

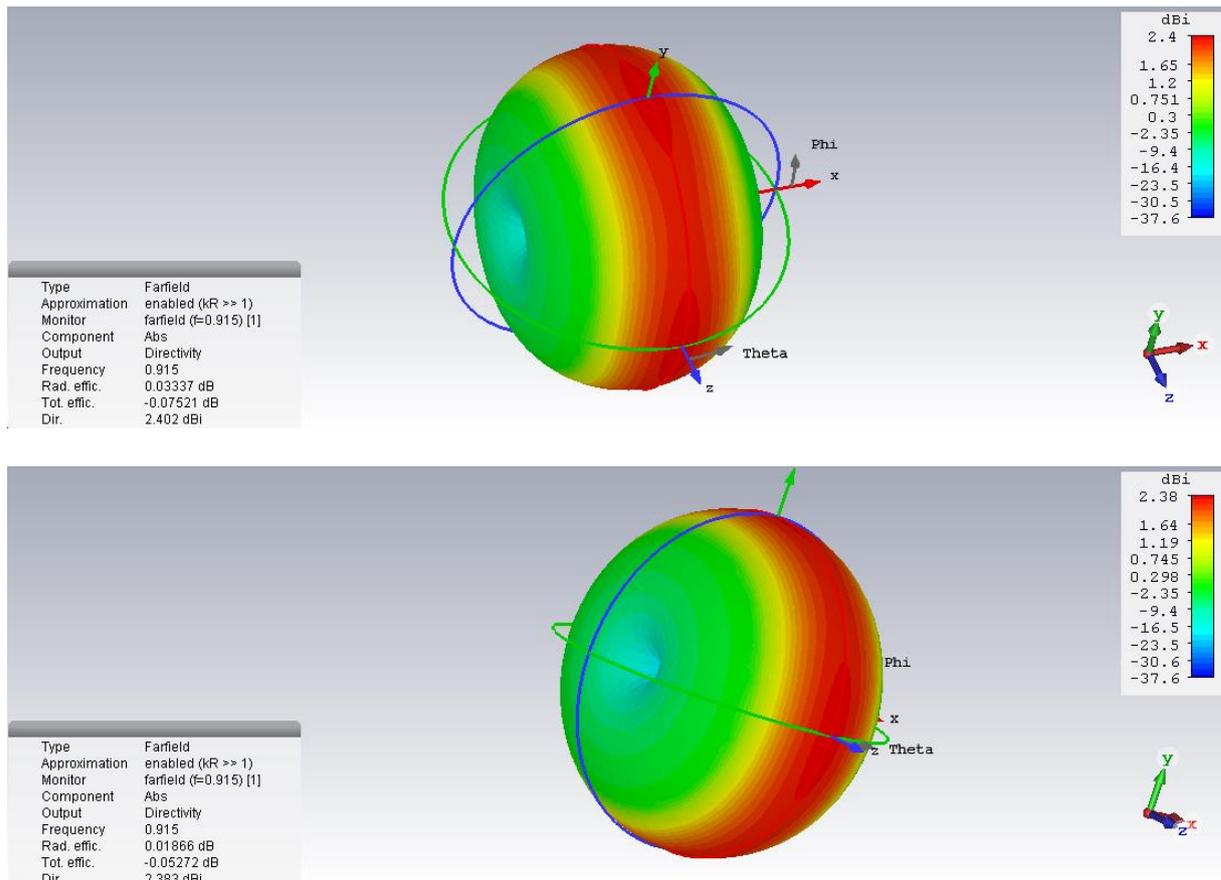


Figure. III. 19 : Diagramme de rayonnement en (2-D et 3-D) :

(a) à couplage inductif

(b) Tmatch.

**III.5.Conclusion :**

Dans ce chapitre on a démontré que les deux circuits d'adaptation RFID UHF les plus populaires sont largement équivalents. Cette équivalence a été confirmée par des mesures d'impédance et de coefficient de réflexion.

Il semble que le choix du circuit d'adaptation effectué pour les étiquettes commerciales ne soit pas dicté par des objectifs de tolérance ou de robustesse, mais principalement par les habitudes du concepteur, car deux degrés de liberté présentant des propriétés de réglage similaires sont disponibles dans les deux cas.

## **Conclusion générale :**

Ce travail traite essentiellement la technologie RFID et plus exactement les systèmes RFID passifs. La technologie RFID est une technologie d'identification sans contact qui vient remplacer rapidement les codes-barres. Dans un premier temps, on a décrit son principe et son mode de fonctionnement.

Comme présenté dans cette étude, les possibilités d'application de la technologie RFID sont nombreuses à ce jour et seront probablement innombrables dans le futur. Comme toutes les nouvelles technologies, la RFID apporte des solutions avantageuses à des domaines variés. Un point central est de permettre la traçabilité des objets. De plus, elle empêche jusqu'à un certain point les risques de fraude.

La première partie de cette mémoire était consacrée à un état de l'art sur la technologie RFID, ainsi nous exposons des différentes propriétés fondamentales des antennes utilisées dans le système RFID.

La seconde partie, les différentes techniques d'adaptation antenne-puce et de miniaturisation avec les processus de conception ont été exposées. Enfin, les résultats de simulation d'antenne d'étiquette ont été traités sur le logiciel CST-PATCH.

## **Perspectives :**

Comme perspectives, on peut dire que notre premier objectif est que ce travail soit un support de base pour de prochaines études faites sur cette technologie. Comme un futur travail, nous pouvons dire que la chaîne de transmission d'un système RFID passif est assez flexible et peut être modifiée afin d'améliorer ses performances. Ajouter de nouveaux modules logiques, mettre en application cette simulation sur une puce serait une très bonne approche à cette technologie.

- [1]. Vipul Chawla et Dong Sam Ha, Virginia Polytechnic Institute and State University, “An overview of passive RFID”. September 2007.
- [2]. KUMAR, SUMIT. « rapport de séminaire sur la technologie RFID ». 2005.
- [3]. Pimenta, Paulo Cesar Crepaldi\* and Tales Cleber. Microelectronics Group, Institute of systems Engineering and Information Technologies, Federal University of Itajuba, Brazil.
- [4]. Arnaud VENA thèse, « Contribution au développement de la technologie RFID sans puces à haute capacité de codage », Thèse de Doctorat, Université de Grenoble, le 28 Juin 2012.
- [5]. Violino, Bob. The history of RFID Technology, RFID Journal disponible . <http://www.rfidjournal.com/articles/view?1338/>. [En ligne]
- [6]. F.Z.Maarouf. « étude et conception d’antennes imprimées pour Identification Radio Fréquence RFID UHF », Thèse de Doctorat en Télécommunication. TLEMCEN : s.n., 2013.
- [7]. Pugila, Daniel Hunts & Albert Puglia & Mike. “RFID-A Guid to radio frequency identification”, Décembre 2009.
- [8]. K. V. Seshagiri Rao, Senior Member, IEEE, Pavel V. Nikitin, Member, IEEE, and Sander F. Lamé. “Antenna Design for UHF RFID Tags A Review and a Practical Application”, Décembre 2007.
- [9]. <http://www.altec.ch/technologies/les-tags-rfid/>. [En ligne]
- [10]. <http://www.zebra.com>rfid-readers> . [En ligne]
- [11]. <https://rfid4u.com/rfid-middleware-introduction/> . [En ligne] 2019.
- [12]. <http://www.connectwave.fr/techno-appli-iot/rfid/fonctionnement-dun-systeme-rfid/>. [En ligne] juin 2019.
- [13]. Ali, ] Mr Yahiaoui Billal & Mr Sfaihi. “Technologie RFID: Etude ET Application. Mémoire de master académique. BEJAIA : s.n., 2014-2015.
- [14]. I.Belkacem. “Analyse des données d’un système RFID en vue de sa sûreté de fonctionnement , Mémoire Master, Université Es-Sénia Oran-Faculté de Sciences Département d’Informatique.
- [15]. Karmakar, N.C. “Handbook of smart antennas for RFID Systems”, John Wiley & Sons. Hoboken, New Jersey, 2010.
- [16]. Sanogo, Y. “Réalisation à l’aide d’une plateforme nix-e d’un lecteur RFID reconfigurable pour des applications en milieu hostiles “, Mémoire présenté à

l'université du Québec à Trois Rivières comme exigence partielle de la maîtrise en Génie Electrique, N.

[17]. R.Kheddam. "Approches logicielles de sûreté de fonctionnement pour les systèmes RFID", Thèse Doctorat, UNIVERSITE DE GRENOBLE Spécialité Informatique, le 09 Avril 2014.

[18]. HUAULT, T. « Système RFID », Master Recherche Optique ET Radio Fréquence, 2006.

[19]. Floyd, R. E. 2015. RFID in animal-tracking applications. IEEE Potentials, 34, 32-33.

[20]. Bottani, E., Ferretti, G., Montanari, R. & Rizzi, A. 2009. The impact of RFID Technology on logistics processes of the fashion industry supply chain. International Journal of RF Technologies: Research and Applications, 1, 225-252.

[21]. Xiao, Y., Shen, X., Sun, B. & Cai, L. Xiao, 2006. Security and privacy in RFID and applications in telemedicine. IEEE Communications Magazine.

[22]. Yao, W., Chu, C.-H. & Li, Z. Yao, W., ChThe use of RFID in healthcare: Benefits and barriers. IEEE International Conference on RFID-Technology and Applications (RFID-TA), 2010. IEEE, 128-134.

[23]. RAHMANI, S.AZZAZ. « ANALYSE ET CONCEPTION DES ANTENNES IMPREMEES MULTIBANDES EN ANNEAUX CONCENTRIQUES POUR LES RESEAUX DE TELECOMMUNICATION», THESE DE DOCTORAT, Université Abou Baker Belkaid-Tlemcen Faculté de technologie, Juillet 2013.

[24]. GHIOTTO, A. « CONCEPTION D'ANTENNES DE TAGS RFID UHF, APPLICATION A LA REALISATION PAR JET DE MATIERE », Thèse de Doctorat, Institut polytechnique de Grenoble, novembre 2008.

[25]. S.Melihi, T.Fengal, « Antenne de Téléphonie mobile, caractérisation et optimisation », Mémoire Master, Université ABDERRAHMANE MIRA–Bejaia, 2016.

[26]. Hafedh Ben Ibrahim Gaha, « Analyse et conception des antennes fractales– Application aux télécommunication large bande », Thèse pour obtenir le titre de Docteur de l'Institut National Polytechnique de Toulouse (France) et de Docteur de l'Ecole National.

[27]. F.Z.GOURARI, « Etude et conception d'antenne RFID UHF–modèle électrique et miniaturisation », Thèse de Doctorat, Université de Tlemcen Faculté de Technologie Département de Télécommunications, en Novembre 2018.

[28]. A.Berkat, « Conception et Réalisation D'antenne Miniatures Isotropes dans les Bandes C et ISM», Thèse de Doctorat, Université ABOU BAKR BELKAID, TLEMCEN FACULTE DE TECHNOLOGIE, Mai 2014.

- [29]. S.DRABOWITCH, A.PAPIERNIK  
,H.D.GRIFFTHS,J.ENCINAS.and.B.L.SMITH, « Moderne antennas » 2nd edition ,  
spring P.O. BOX 17,3300 AA Dordrecht , The netherlands.
- [30]. M.B.Eunni, « A Novel Planar Microstrip Antenna Design for UHF RFID »,  
Thèse de Master, Madras Université ,India, May 2004.
- [31]. C.A. Balanis, "Antenna theory: analysis and design", John Wiley & Sons, second  
edition, 1997.
- [32]. Klaus Finkenzeller, "RFID Handbook: Fundamentals and Applications in  
Contactless Smart Cards and Identification", 2nd edition, John Wiley & Sons, 2003.
- [33]. Harvey Lehpamer, "Design Principles", Artech House, 2008.
- [34]. M. Fairley, "RFID Smart Labels – A 'How to' Guide to Manufacturing and  
Performance for the Label Converter", second edition, Labels and Labeling, 2007.
- [35]. D. M. Pozar, "Microwave Engineering", John Wiley & Sons, second edition,  
1998.
- [36]. Constantine A. Balanis, "Antenna theory: Analysis and Design", 2nd edition,  
John Wiley & Sons, 1996.
- [37]. G. Marocco, "The art of UHF RFID antenna design: impedance matching and  
sizereduction techniques", IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 50, No 1,  
Jan 2008.
- [38]. Daniel Dobkin, "RF in RFID: Passive RFID UHF in Practice", Newnes, 2008.

## Liste des abréviations :

**RFID** : Radio Frequency Identification.

**IFF** : Identification Friend or Foe.

**RF** : Radio Frequency.

**MHz** : Méga Hertz.

**UHFID** : Ultra-High Frequency Identification.

**MIT** : Massachusetts Institute of Technology.

**IC** : Integrated Circuit.

**Ko** : Kilo octet.

**ISM** : Industriel Scientifique Médical.

**KHz** : Kilo hertz.

**GHz** : Giga hertz.

**UHF** : Ultra Haut Frequency.

**LF** : Low Frequency.

**HF** : High Frequency.

**SHF** : Super High Frequency.

**ULB** : Underwater Locator Beacon.

**EHF**: Extremely High Frequency.

**FM** : Frequency Modulation.

**GSM** : Global System for Mobile Communications.

**UMTS** : Universal Mobile Telecommunications System.

**WIFI** : Wireless Fidelity.

**BF** : Basse Fréquence.

**ISO** : L'Organisation Internationale de Standardisation.

**EPC** : Electronic Product Code.

**TTF** : Tag Talks First.

**RTF** : Reader Talk First.

**CRM** : Customer Relationship Management.

**QR** : Quick Response code.

**ROS** : Rapport d'onde stationnaire.

**RC**: Coefficient de réflexion.

## Résumé

Les systèmes d'identification par radiofréquence (RFID) utilisent des signaux électromagnétiques pour identifier et suivre sans fils les objets étiquetés RFID.

Un lecteur transmet un signal de demande d'onde porteuse à une étiquette RFID, qui transmet ensuite un signal d'identification unique au lecteur. Les applications comprennent la gestion des stocks de la chaîne d'approvisionnement, les systèmes automatisés de frais de péage, le contrôle d'accès restreint, la surveillance des animaux de compagnie et la prévention du vol au détail.

Une étiquette RFID comprend une antenne connectée à un circuit intégré de radiofréquence.

Les antennes d'étiquettes UHF sont généralement des dipôles plans imprimés sur un substrat diélectrique. L'échange de puissance et la portée d'émission sont maximisés lorsque l'impédance d'entrée d'une antenne d'étiquette est conjuguée à l'impédance d'entrée. Étant donné que l'impédance d'entrée comprend une réactance capacitive, l'impédance d'entrée d'antenne optimisée comprend la compensation de la réactance inductive.

L'objectif de ce projet de fin d'étude est d'étudier et de comparer les techniques d'adaptation d'impédance des antennes RFID.

**Mots clés :** RFID UHF, tags, lecteur, Design, T-match, Tip-loading.

## Abstract

Radio frequency identification (RFID) systems use electromagnetic signals to wirelessly identify and track RFID-tagged objects.

A reader transmits a carrier wave request signal to an RFID tag, which then transmits a unique identification signal to the reader. Applications include supply chain inventory management, automated toll fee systems, restricted access control, pet monitoring and retail theft prevention.

An RFID tag includes an antenna connected to a radio frequency integrated circuit.

UHF label antennas are generally plane dipoles printed on a dielectric substrate. Power exchange and transmission range are maximized when the input impedance of a tag antenna is conjugated to the input impedance. Since the input impedance comprises a capacitive reactance, the optimized antenna input impedance comprises compensation for the inductive reactance.

The objective of this end-of-study project is to study and compare the impedance matching techniques of RFID antennas.

**Key words:** UHF RFID, tags, reader, Design, T-match, Tip-loading.

## ملخص

تستخدم أنظمة تحديد الترددات الراديوية (RFID) الإشارات الكهرومغناطيسية لتحديد وتتبع الكائنات ذات العلامات RFID لاسلكياً. يقوم القارئ بنقل إشارة طلب الموجة الحاملة إلى علامة RFID، والتي تنقل بعد ذلك إشارة تعريف فريدة إلى القارئ. وتشمل التطبيقات إدارة المخزون سلسلة التوريد، وأنظمة رسوم الرسوم الآلية، ومراقبة الدخول المقيدة، ومراقبة الحيوانات الأليفة ومنع سرقة التجزئة.

تتضمن علامة RFID هوائي متصل بدائرة متكاملة لترددات الراديو.

هوائيات تسمية UHF هي عموماً ثنائيات الأقطاب الطائرة المطبوعة على الركيزة عازلة. يتم تعظيم تبادل الطاقة ونطاق الإرسال عندما تكون معاوقة الإدخال لهوائي العلامة مترافقة مع معاوقة الإدخال. نظراً لأن مقاومة الإدخال تتضمن على تفاعل سعوي، فإن مقاومة إدخال الهوائي المحسنة تتضمن تعويضاً عن التفاعل الاستقرائي.

الهدف من هذا المشروع في نهاية الدراسة هو دراسة ومقارنة تقنيات مطابقة المعاوقة لهوائيات RFID.

**الكلمات المفتاحية:** UHF RFID، العلامات، القارئ، التصميم، T-Match، تحميل التلميح.