



Mémoire
A L'UNIVERSITÉ DE TLEMCEM
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE TELECOMMUNICATIONS
LABORATOIRE DE TELECOMMUNICATIONS DE TLEMCEM LTT

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Spécialité : " Réseaux et Systèmes de télécommunications "

THEME

Etude et conception d'antennes Tags RFID à boucle magnétique

Présenté par :

DJELTI Abdallah Mohammed Et MAHI Abdelkader

Soutenu en mai 2016 devant le Jury :

| | | |
|----------------------------|--------------------------------------|--------------|
| Mr CHIKH-BLED Mohammed | Professeur à l'université de Tlemcen | Président |
| Mr BENDIMERAD Fethi Tarik | Professeur à l'université de Tlemcen | Examineur |
| Mr BOUSAHLA Miloud | MCB à l'université de Tlemcen | Examineur |
| Mr MERIAH Sidi Mohammed | Professeur à l'université de Tlemcen | Encadreur |
| Melle GOURARI Fatima Zohra | Doctorante à l'université de Tlemcen | Co-Encadreur |

Remerciements

Avant tout, nous remercions Allah, le tout puissant, de nous avoir donné le courage et la patience pour terminer nos études et réaliser ce projet. Nous remercions notre encadreur Mr. MERIAH Sidi Mohammed professeur à l'université Abou-Bekr Belkaid - Tlemcen pour nous avoir offert un cadre de travail agréable et un encadrement de qualité.

Nous tenons à remercier chaleureusement notre co-encadreur Mademoiselle GOURARI Fatima Zohra doctorante à l'université Abou-Bekr Belkaid - Tlemcen, pour ses directives et son soutien tout au long de ce travail, nous leur témoignons ici toute notre reconnaissance et notre profonde gratitude.

Nos mots de reconnaissance vont à Mr CHIKH-BLED Mohammed professeur à l'université Abou-Bekr Belkaid - Tlemcen, pour avoir accepté de présider cet honorable jury.

Nos mots de reconnaissance vont à Mr BENDIMERAD Fethi Tarik professeur à l'université Abou-Bekr Belkaid - Tlemcen, qui nous a fait l'honneur d'évaluer, d'examiner et d'enrichir notre modeste travail. Aussi, de nous avoir accueillis au sein du Laboratoire de Télécommunications de Tlemcen LTT.

Nos mots de reconnaissance vont à Mr BOUSAHLA Miloud Maître de conférence B à l'université Abou-Bekr Belkaid - Tlemcen, qui nous a fait l'honneur d'évaluer, d'examiner et d'enrichir notre modeste travail.

Dédicace

Je rends grâce à Dieu de m'avoir donné le courage et la volonté ainsi que la conscience pour venir à terme de mes études.

Je dédie ce modeste travail :

À la mémoire de ma chère Mère,

À ma famille.

À tous les professeurs et enseignants qui ont collaboré à ma formation depuis mon premier cycle d'étude jusqu'à la fin de mes études universitaires.

À tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin durant mes études.

À tous mes amis.

À tous ceux qui me sont chers...

DJELTI Abdallah Mohammed

Dédicace

Je rends grâce à Dieu de m'avoir donné le courage et la volonté ainsi que la conscience pour venir à terme de mes études.

Je dédie ce modeste travail :

A mon cher Père et ma chère Mère qui étaient présents pour moi durant toute ma vie, que Dieu vous préserve la bonne santé et une longue vie.

A mes frères et mes sœurs.

A toute ma grande famille.

A tous les professeurs et enseignants qui ont collaboré à ma formation depuis mon premier cycle d'étude jusqu'à la fin de mes études universitaires.

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin durant mes études.

A tous mes amis.

MAHI Abdelkader

Résumé

L'identification par radio Fréquence (RFID) est une technologie qui permet l'identification d'objets en échangeant des données à travers des signaux Radiofréquences.

Cette technologie est également connue sous le nom d'identification sans-contact.

Un système RFID est caractérisé par une station de base ou lecteur (Reader) cherchant à identifier des objets, et d'une étiquette (Tag) insérée au niveau de ces objets. Dans ce travail, on s'intéresse uniquement aux antennes à boucle magnétique.

On s'est limité à l'étude et à l'analyse de quelques antennes imprimées intégrées dans des tags RFID passifs opérant dans la bande UHF sur le logiciel CST. Nous tentons par ce travail de montrer l'importance d'assurer une adaptation entre l'antenne du tag et la puce électronique pour une meilleure efficacité de la liaison.

Mots clés : RFID, antenne imprimée, Tag, bande UHF, antenne à boucle magnétique, adaptation.

Abstract

The radio frequency identification (RFID) is a technology that allows the identification of objects by exchanging data through Radio Frequency signals.

This technology is also known as the contactless identification name.

An RFID system characterized by a base station or reader seeking to identify objects, and a label (tag) is inserted at the level of these objects. In this work, we are interested only in the magnetic loop antennas.

It was limited to the study and analysis of some printed antennas integrated into passive RFID tags operating in the UHF band on the CST software. We attempt in this work to show the importance of ensuring a match between the tag antenna and the electronic chip for better efficiency of the link.

Keywords: RFID, printed antenna, Tag, UHF band, magnetic loop antenna, adaptation.

ملخص

تقنية التحديد عبر إشارات الراديو هي التكنولوجيا التي تسمح بتحديد هوية الكائنات و الأشياء عن طريق تبادل البيانات عبر إشارات ترددات الراديو.

وتعرف هذه التكنولوجيا أيضا باسم التحديد بدون تماس.

يتكون هذا النظام من المحطة الأساسية أو القارئ تسعى إلى تحديد الأشياء، و شريحة (علامة) على مستوى هذه الكائنات أو الأشياء. في هذا العمل، نحن مهتمون فقط بدراسة الهوائيات ذات حلقة مغناطيسية.

اقتصر على دراسة وتحليل بعض الهوائيات المطبوعة المدمجة في هوائيات مستقبلية تعمل في مجال الترددات الفائقة على برنامج .cst

نحاول في هذا العمل إظهار أهمية ضمان التكيف بين الهوائي والشريحة الإلكترونية لكفاءة أفضل.

كلمات البحث: هوائي مطبوع، شريحة، التكيف، الهوائيات ذات حلقة مغناطيسية، الترددات الفائقة.

Table des matières

| | |
|---|------|
| Remerciements | |
| Résumé | |
| Table des matières | i |
| Liste des figures | v |
| Liste des tableaux | viii |
| Introduction générale | 1 |
| | |
| Chapitre I : La technologie RFID | |
| I.1 Introduction | 4 |
| I.2 Historique | 4 |
| I.3 Principe général de fonctionnement | 5 |
| I.3.1 Emetteur | 6 |
| I.3.1.1 Antenne | 6 |
| I.3.1.2 Station de base | 7 |
| I.3.1.3 Système hôte | 8 |
| I.3.2 Récepteur | 8 |
| I.3.3 Les liaisons – transfert de données | 9 |
| I.3.4 Le lien radio d'un point de vue électromagnétique | 10 |
| I.4 Les avantages de la technologie RFID dans la vie quotidienne | 13 |
| I.4.1 La RFID comme outil de paiement | 13 |
| I.4.2 La RFID dans les gestions de transport | 13 |
| I.4.3 La RFID et les documents d'identité | 16 |
| I.4.4 La RFID pour l'hôpital et l'implant RFID | 16 |
| I.4.5 La RFID pour tatouer les animaux domestiques et les logistiques | 17 |
| I.5 Bandes de fréquences | 19 |

| | |
|---|----|
| I.5.1 Normes | 19 |
| I.5.2 Identification de l'état de chaque bande | 20 |
| I.6 Systèmes RFID | 23 |
| I.6.1 Tag RFID | 23 |
| I.6.1.1 Type d'alimentation..... | 23 |
| I.6.1.2 Tags sans puce | 24 |
| I.6.1.3 Architecture d'un tag RFID UHF passif | 25 |
| I.6.2 Système RFID UHF passif champ proche..... | 28 |
| I.6.3 Système RFID en champ lointain | 30 |
| I.7 Techniques d'adaptation d'impédance pour les tags RFID UHF passifs..... | 32 |
| I.7.1 T-match | 32 |
| I.7.2 La boucle d'inductance à couplage mutuel | 34 |
| I.7.3 Nested-slot | 35 |
| I.7.4 Dipôle replié..... | 35 |
| I.8 Conclusion | 37 |
| Références bibliographiques | 38 |

Chapitre II : Les antennes boucle magnétique

| | |
|---|----|
| II.1 Introduction | 42 |
| II.2 Principe de la boucle magnétique | 43 |
| II.3 Types d'antennes boucle magnétique | 43 |
| II.3.1 Antenne cadre | 43 |
| II.3.2 Antenne triangle | 44 |
| II.3.3 Antenne rectangle..... | 44 |
| II.4 Analyse des champs | 45 |
| II.4.1 Champ H | 45 |
| II.4.2 Champ E | 46 |
| II.4.3 Champ Es (électrostatique) | 46 |
| II.5 Caractéristique de boucle magnétique | 47 |
| II.5.1 Polarisation | 48 |

| | |
|--|----|
| II.5.2 Le rayonnement | 48 |
| II.5.2.a Région de champ proche ($k_r \ll 1$) | 49 |
| II.5.2.b Région de champ lointain ($kr \gg 1$) | 50 |
| II.5.3 Diagramme de rayonnement | 51 |
| II.5.4 La directivité | 52 |
| II.5.5 le gain | 52 |
| II.5.6 La résistance de rayonnement | 52 |
| II.5.7 Le facteur de qualité | 52 |
| II.6 Conclusion | 52 |
| Références bibliographiques | 53 |

Chapitre III : Conception des antennes RFID boucle magnétique

| | |
|---|----|
| III.1 Introduction | 55 |
| III.2 Méthodologie de conception de l'antenne tag RFID UHF passif..... | 55 |
| III.3 Caractérisation des puces RFID passives..... | 56 |
| III.4. Simulation d'antennes tags RFID UHF passifs | 57 |
| III.4.1 Antenne dipôle alimentée par couplage en forme de boucle | 57 |
| III.4.1.a Conception de l'antenne Tag en utilisant la première puce..... | 58 |
| III.4.1.b Conception de l'antenne Tag en utilisant la deuxième puce | 62 |
| III.4.2 antenne boucle hybride | 66 |
| III.4.2.a Conception de l'antenne Tag en utilisant la première puce..... | 67 |
| III.4.2.b Conception de l'antenne Tag en utilisant la deuxième puce | 71 |
| III.4.3 Antenne Spirale | 74 |
| III.4.3.a Conception de l'antenne Tag en utilisant la première puce..... | 76 |
| III.4.3.b Conception de l'antenne Tag en utilisant la deuxième puce | 80 |
| III.4.4. Antenne boucle magnétique de forme Rectangulaire | 83 |
| III.4.4.a Conception de l'antenne Tag en utilisant la première puce..... | 84 |
| III.4.4.b Conception de l'antenne Tag en utilisant la deuxième puce | 87 |
| III.5 Conclusion..... | 91 |

| | |
|-----------------------------------|----|
| Références bibliographiques | 92 |
| Conclusion générale | 94 |

Liste des figures

Chapitre I :

| | |
|--|----|
| Figure I- 1 Représentation schématique d'un système RFID..... | 5 |
| Figure I- 2 Schéma fonctionnel du récepteur RFID..... | 6 |
| Figure I- 3 Exemple d'un lecteur RFID..... | 8 |
| Figure I- 4 Structure d'un tag RFID..... | 9 |
| Figure I- 5 Définition des zones de champs..... | 11 |
| Figure I- 6 Principe de fonctionnement d'un système RFID à couplage inductif..... | 12 |
| Figure I- 7 Le dispositif de paiement Pidion BIP-1300..... | 13 |
| Figure I- 8 La RFID dans les transports en commun..... | 14 |
| Figure I- 9 La RFID permet de réguler les moyens de transport au Laboratoire..... | 15 |
| Figure I- 10 La RFID est présente dans les documents d'identité..... | 16 |
| Figure I- 11 Les technologies sans fil pour la gestion des patients au sein de l'hôpital et à longue distance..... | 17 |
| Figure I- 12 Suivre l'activité d'un chien à distance..... | 18 |
| Figure I- 13 La RFID permet de faciliter la logistique..... | 19 |
| Figure I- 14 Bandes de fréquences, champ magnétique et puissance maximale autorisés..... | 21 |
| Figure I- 15 Schéma d'un tag RFID avec blocs fonctionnels de la puce..... | 26 |
| Figure I- 16 Schéma de la récupération de l'énergie et de détection des données par un tag RFID passif..... | 27 |
| Figure I- 17 Circuit équivalent pour représenter la technique de rétro-modulation, trame de bit et signal modulé (réfléchi) ASK par le tag..... | 28 |
| Figure I- 18 Exemples de tags RFID UHF spécialement conçus pour opérer dans la zone de CP-Re et leurs dimensions..... | 30 |
| Figure I- 19 La configuration T-match et le circuit équivalent..... | 32 |
| Figure I- 20 Le modèle de circuit équivalent de la configuration T-Match..... | 33 |
| Figure I- 21 La boucle à couplage mutuel et le circuit équivalent..... | 34 |
| Figure I- 22 La configuration de Nested-slot..... | 35 |
| Figure I- 23 a) Dipôle replié b) Tension en décomposant en modes différentiel et commun..... | 36 |
| Figure I- 24 Dipôle replié avec des structures d'adaptation d'impédance..... | 36 |

Chapitre II :

| | |
|---|----|
| Figure II-1 Antenne boucle carrée pour une application RFID..... | 43 |
| Figure II-2 Type d'antennes boucle..... | 44 |
| Figure II-3 Champ H..... | 45 |
| Figure II-4 Champ E..... | 46 |

| | |
|--|----|
| Figure II.5 Champ Es | 47 |
| Figure II.6 Rayonnement | 48 |
| Figure II.7 Champ rayonné par une boucle | 49 |
| Figure II.8 Diagramme de rayonnement de la boucle élémentaire | 51 |

Chapitre III :

| | |
|---|----|
| Figure III- 1 Méthodologie de conception d'antenne des tags RFID UHF passifs. | 56 |
| Figure III- 2 Géométrie de l'antenne alimentée par couplage. | 57 |
| Figure III- 3 Structure de l'antenne | 58 |
| Figure III- 4 Simulation de la partie réelle de l'impédance Z11 en fonction du paramètre ld. | 59 |
| Figure III- 5 Simulation de la partie imaginaire de l'impédance z11 en fonction du paramètre ld..... | 60 |
| Figure III- 6 Le coefficient d'adaptation en fonction de la fréquence..... | 60 |
| Figure III- 7 Rapport d'onde stationnaire (VSWR)..... | 61 |
| Figure III- 8 Diagramme de rayonnement dans la fréquence 868 MHz..... | 61 |
| Figure III- 9 Structure de l'antenne pour la deuxième puce | 63 |
| Figure III- 10 Simulation de la partie réelle de l'impédance Z11 en fonction du paramètre ld | 64 |
| Figure III- 11 Simulation de la partie imaginaire de l'impédance Z11 en fonction du paramètre ld..... | 64 |
| Figure III- 12 Le coefficient d'adaptation en fonction de la fréquence..... | 65 |
| Figure III- 13 Rapport d'onde stationnaire (VSWR)..... | 65 |
| Figure III- 14 Diagramme de rayonnement dans la fréquence 868 MHz..... | 66 |
| Figure III- 15 Géométrie de l'antenne en boucle hybride | 66 |
| Figure III- 16 Structure de l'antenne hybride..... | 68 |
| Figure III- 17 Simulation de la partie réelle de l'impédance en en fonction du paramètre wi. | 69 |
| Figure III- 18 Simulation de la partie imaginaire de l'impédance en en fonction du paramètre wi..... | 69 |
| Figure III- 19 Le coefficient de l'adaptation en fonction de la fréquence..... | 70 |
| Figure III- 20 Rapport d'onde stationnaire (VSWR)..... | 70 |
| Figure III- 21 Diagramme de rayonnement dans la fréquence 868 MHz..... | 71 |
| Figure III- 22 Structure de l'antenne. | 71 |
| Figure III- 23 Simulation de la partie réelle de l'impédance en variant le paramètre wi puce2. | 72 |
| Figure III- 24 Simulation de la partie imaginaire de l'impédance en variant le paramètre wi de puce 2..... | 73 |
| Figure III- 25 Le coefficient d'adaptation en fonction de la fréquence..... | 73 |
| Figure III- 26 Rapport d'onde stationnaire (VSWR)..... | 74 |
| Figure III- 27 Diagramme de rayonnement dans la fréquence 868 MHz..... | 74 |
| Figure III- 28 Géométrie de l'antenne spirale..... | 75 |
| Figure III- 29 Structure de l'antenne spirale..... | 76 |

| | |
|--|----|
| Figure III- 30 Simulation de la partie réelle de l'impédance en variant le paramètre log_coil_alpha..... | 77 |
| Figure III- 31 Simulation de la partie imaginaire de l'impédance en variant le paramètre log_coil_alpha..... | 78 |
| Figure III- 32 Le coefficient de l'adaptation en fonction de la fréquence..... | 78 |
| Figure III- 33 Rapport d'onde stationnaire (VSWR)..... | 79 |
| Figure III- 34 Diagramme de rayonnement dans la fréquence 868 MHz..... | 79 |
| Figure III- 35 Structure de l'antenne spirale..... | 80 |
| Figure III- 36 Simulation de la partie réelle de l'impédance en variant le paramètre log_coil_alpha puce 2..... | 81 |
| Figure III- 37 Simulation de la partie imaginaire de l'impédance en variant le paramètre log_coil_alpha de puce 2..... | 81 |
| Figure III- 38 Le coefficient d'adaptation en fonction de la fréquence..... | 82 |
| Figure III- 39 Rapport d'onde stationnaire (VSWR)..... | 82 |
| Figure III- 40 Diagramme de rayonnement dans la fréquence 868 MHz..... | 83 |
| Figure III- 41 Structure d'antenne rectangulaire..... | 83 |
| Figure III- 42 Structure d'antenne rectangulaire puce 1..... | 84 |
| Figure III- 43 Simulation de la partie réelle de l'impédance en variant le paramètre r puce 1. | 85 |
| Figure III- 44 Simulation de la partie imaginaire de l'impédance en variant le paramètre r puce 1..... | 85 |
| Figure III- 45 Le coefficient de réflexion en fonction de la fréquence..... | 86 |
| Figure III- 46 Rapport d'onde stationnaire (VSWR)..... | 86 |
| Figure III- 47 Diagramme de rayonnement dans la fréquence 868 MHz..... | 87 |
| Figure III- 48 Structure d'antenne rectangulaire puce 2..... | 87 |
| Figure III- 49 Simulation de la partie réelle de l'impédance en variant le paramètre r puce2. | 88 |
| Figure III- 50 Simulation de la partie imaginaire de l'impédance en variant le paramètre r de puce 2..... | 89 |
| Figure III- 51 Le coefficient de réflexion en fonction de la fréquence..... | 89 |
| Figure III- 52 Rapport d'onde stationnaire (VSWR)..... | 90 |
| Figure III- 53 Diagramme de rayonnement dans la fréquence 868 MHz..... | 90 |

Liste des tableaux

Chapitre I :

| | |
|--|----|
| Tableau I-1 Allocations des puissances autorisées en fonction des fréquences de communication | 20 |
| Tableau I-2 Classement des tags RFID par le champ de rayonnement | 31 |

Chapitre III :

| | |
|--|----|
| Tableau III-1 Caractérisation des puces. | 56 |
| Tableau III-2 Paramètres de l'antenne dipôle alimentée par couplage | 58 |
| Tableau III-3 Dimensions de l'antenne dipôle alimentée par couplage forme de boucle. | 59 |
| Tableau III-4 Dimensions de l'antenne dipôle alimentée par couplage forme de boucle ... | 63 |
| Tableau III-5 Paramètres de conception de l'antenne | 67 |
| Tableau III-6 Paramètre de conception de l'antenne à la fréquence 868 Mhz | 68 |
| Tableau III-7 Paramètre de conception de l'antenne à la fréquence 868 Mhz | 72 |
| Tableau III-8 Paramètres de conception de l'antenne | 75 |
| Tableau III-9 Paramètre de conception de l'antenne après l'optimisation | 77 |
| Tableau III-10 Paramètre de conception de l'antenne à la fréquence 868 MHz | 80 |
| Tableau III-11 Dimensions de l'antenne rectangulaire | 84 |
| Tableau III-12 Dimensions de l'antenne rectangulaire à la fréquence 868 Mhz | 88 |

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 les plans économiques et sociaux. Le développement de ces technologies est initié par des découvertes scientifiques, lesquelles permettant de nouvelles applications technologiques, elles-mêmes participant au partage de la connaissance.

L'introduction de ces technologies de l'information participe ainsi à la croissance économique en facilitant l'échange et la diffusion des informations. Les technologies d'identification font partie de ces technologies de l'information. Elles trouvent leurs applications dans des domaines très divers tels que la distribution, la logistique, la traçabilité, la sécurité ou les loisirs. Jusqu'alors les technologies d'identifications étaient soit passives : marquage, code-barres... soit nécessitaient un contact : carte bancaire, carte d'appels téléphoniques... Grâce au développement récent des systèmes sans fils et de la micro-électronique, de nouvelles technologies d'identifications sans contacts ont vu le jour : les technologies de radio-identification (ou RFID pour Radio-Frequency IDentification). Ces nouvelles technologies, par leur plus grande souplesse, rendent l'échange d'information nettement plus rapide et efficace. Elle devrait remettre en question les structures de télécommunications existantes en ouvrant de nouvelles perspectives à des modèles de gestion inédits. En effet, leurs développements devraient bientôt permettre l'identification individuelle et unique des objets et mener à la création d'un « Internet des objets » : une prolongation de l'internet que nous connaissons au monde réel.

Les premiers systèmes RFID qui ont vu le jour fonctionnent dans des bandes de fréquences basses et sont aujourd'hui largement employés. Ils ont ouvert la voie vers le développement d'une nouvelle technologie RFID, plus performante et faible coût, fonctionnant à des fréquences plus élevées : la RFID UHF passive. Cette dernière possède un mode de fonctionnement bien particulier. L'identification est réalisée par des tags (aussi appelés « étiquettes intelligentes ») qui sont associés aux biens. Ces derniers sont constitués d'une puce électronique et d'une antenne. Contrairement aux systèmes de communication classiques, ils sont alimentés à distance et ne possèdent aucune source propre d'émission radiofréquence. A défaut, ils réfléchissent les signaux radiofréquences qui leurs sont transmis par un lecteur. Cette technologie, par l'utilisation de ce principe dit de rétro-réflexion, permet

un moindre coût de fabrication des tags RFID. La réduction du coût d'un tag est la clef vers l'identification individuelle des biens. En effet, le coût du tag RFID doit représenter une part négligeable par rapport à ce qu'il permet d'identifier. A ce jour, la fabrication des tags RFID adopte les techniques classiques de l'industrie de l'électronique qui malgré de nombreux efforts de développement atteignent leurs limites en termes de coût de revient unitaire. Il est nécessaire de s'orienter vers de nouveaux procédés de fabrication mettant en œuvre des matériaux peu conventionnels et faibles coûts et de miniaturiser les tags.

Dans la cadre de notre projet, nous nous sommes intéressés à analyser des antennes boucle magnétique pour des applications RFID UHF passifs.

Ce mémoire 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.

Le premier chapitre est consacré à la technologie RFID avec les définitions, le principe de fonctionnement, les éléments techniques de la RFID, les avantages de cette technologie dans la vie quotidienne et les applications. Aussi, nous jetterons un bref regard sur les types d'identification des systèmes RFID.

Dans le deuxième chapitre, nous allons voir brièvement les principales caractéristiques de l'antenne boucle,

Dans le dernier chapitre, nous dévoilons les résultats obtenus par l'analyse de quelques antennes imprimées à l'aide de logiciel CST, en utilisant la méthode des domaines temporels TD. Ces résultats montrent l'importance d'assurer l'adaptation entre l'antenne et la puce du tag RFID, ainsi que l'influence de la taille de l'antenne sur le comportement et les performances de l'étiquette.

Ce projet se termine par une conclusion générale sur le travail élaboré pour bien aider le lecteur à mieux assimiler cet angle de technologie.

Chapitre I : La technologie RFID

I.1 Introduction

Les systèmes d'identification radio - fréquences (RFID) ont été traversé notre monde à partir des domaines plus divers et variés, allant de l'identification des animaux et des marchandises jusqu'à la sécurisation de l'accès aux locaux, réseaux et dispositifs électroniques distants.

Cette technologie a pour caractéristique principale d'associer un identificateur unique et d'autres informations – à l'aide d'une puce – à tout objet, et d'en permettre la lecture par l'intermédiaire d'un dispositif sans fil. Les RFID ne sont pas de simples étiquettes ou codes barres électroniques. Lorsque les dispositifs sont reliés à des bases de données ou des réseaux de communication, comme l'Internet, cette technologie offre un moyen très puissant de fournir de nouveaux services et applications dans pratiquement n'importe quel environnement.

Ce premier chapitre a pour objectif de faire une présentation générale des différents systèmes RFID, leurs domaines d'applications ainsi que les différentes parties composant le système.

I.2 Historique

Le premier système d'identification par radio fréquence (Radio Fréquence Identification : RFID) est apparu pendant la seconde guerre mondiale dans les années 1940. Cette première application est connue sous le nom « Identification Friend or Foes » (IFF), celle-ci permettait de faire la différence entre les avions amis et ennemis. Le premier article décrivant le principe d'identification par radio fréquence a été écrit en 1947 par Stockman [I.1]. Les premières applications commerciales apparaissent dans les années 1960, avec le système d'antivol EAS (Electronique Article Surveillance).

Dans les années 1980, les systèmes à courte portée font leurs apparitions dans les domaines d'identification du bétail et de produits industriels. Il s'en suit une véritable expansion dans les années 1990 avec les portiques autoroutiers automatiques. C'est également dans les années 1990 que les premiers articles sur la RFID font leurs apparitions [I.2]. Depuis le début du 21eme siècle, la RFID profite de la miniaturisation des puces électroniques, et de la réduction des dimensions des antennes, pour voir son utilisation se répandre dans divers domaines d'applications, tels que la sécurité des biens et des personnes, la sante, la logistique, la gestion de stock.

I.3 Principe général de fonctionnement

La RFID (en anglais *Radio Frequency Identification*, ou encore nommée identification par radiofréquence, ou plus simplement radio-identification) utilise, comme son nom l'indique, des ondes radiofréquences pour l'identification des biens ou des personnes. Il faut souligner que le terme onde fait normalement référence aux ondes électromagnétiques se propageant dans l'espace libre. Mais ici le terme onde est utilisé plus généralement prenant en compte les ondes qui se propagent mais aussi les ondes (champs) qui oscillent autour de l'antenne.

D'une façon générale, un système RFID est composé d'un émetteur et d'un récepteur. L'émetteur a comme rôle de fournir au récepteur à la fois de l'énergie radiofréquence (RF) et des informations et/ou commandes. Le récepteur, qui comporte l'information nécessaire pour identifier le bien auquel il est attaché, reçoit l'énergie et la commande transmises par l'émetteur, puis envoie son « information » (c'est-à-dire son identifiant). Dans l'univers de la RFID, l'émetteur est appelé la station de base ou plus fréquemment lecteur (dont la fonctionnalité est non seulement de lire mais aussi d'émettre, comme souligné précédemment), et le récepteur est généralement appelé tag (anglicisme répandu), étiquette, ou transpondeur RFID.

La Figure. I-1 donne une représentation schématique du principe de fonctionnement décrit faisant aussi apparaître les deux liens radio : émetteur vers récepteur dit liaison montante, et récepteur vers émetteur dit liaison descendante. Le principe de fonctionnement d'un système RFID composé de l'émetteur et du récepteur sera détaillé dans les sections I.3.1 à 1.3.2.

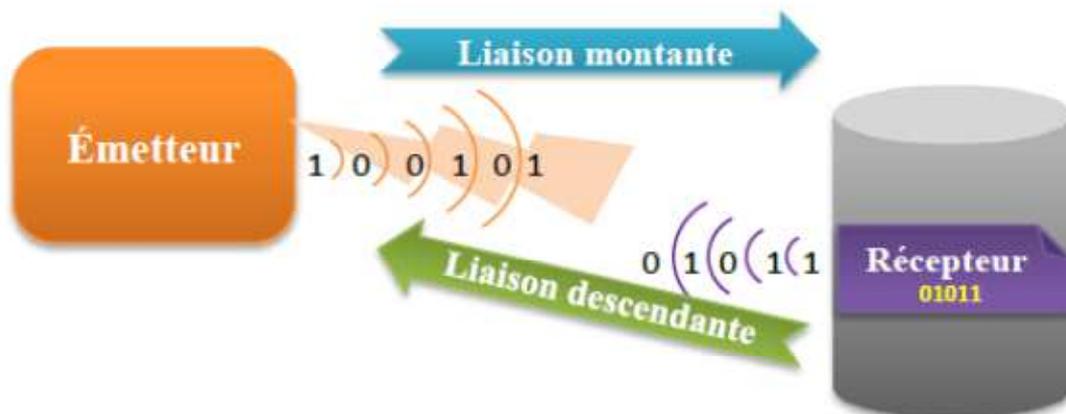


Figure I-1 Représentation schématique d'un système RFID.

I.3.1 Emetteur

L'émetteur ou lecteur est constitué des trois éléments suivants : une antenne, une station de base et un système hôte, Figure I-2.

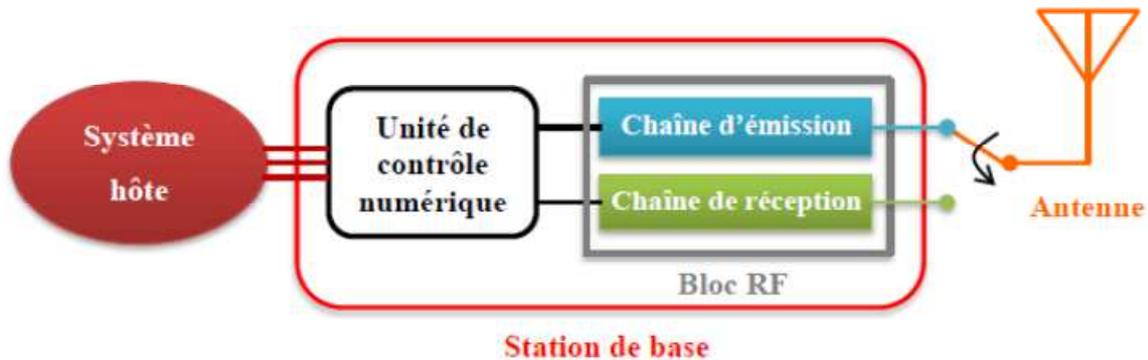


Figure I-2 Schéma fonctionnel du récepteur RFID.

I.3.1.1 Antenne

L'antenne est un composant RF qui a pour rôle la conversion de l'énergie guidée (dans des câbles RF par exemple) en énergie rayonnante qui se propagera dans l'espace libre, et réciproquement de convertir l'énergie RF présente en sa proximité en énergie guidée. L'énergie transmise ou récupérée par l'antenne contient les informations respectivement transmises par le tag et le lecteur. Dans un système RFID, les échanges d'informations se réalisent de façon bidirectionnelle à travers deux liaisons : la liaison montante (informations du lecteur transmises au tag) et la liaison descendante (informations, notamment l'identifiant, envoyées par le tag vers le lecteur). L'information reçue par l'antenne lecteur est ensuite dirigée vers la station de base pour le décodage et le traitement de l'information. Il peut y avoir à la place de l'antenne un résonateur ou une boucle ; ce sont des dispositifs RF qui présentent le même principe de fonctionnement qu'une antenne, sauf que l'énergie n'est plus rayonnée dans l'espace libre mais reste concentrée dans une région proche. Ce type de dispositifs est employé dans des systèmes qui utilisent des champs réactifs au lieu des champs rayonnants pour transmettre l'énergie opérationnelle au tag. Dans la suite, le terme antenne sera employé pour faire référence à l'antenne proprement parlé ou au résonateur.

Lorsqu'une seule antenne réalise à la fois la transmission et la réception de données, l'antenne est à une configuration de type mono-statique. Quand deux antennes distinctes sont utilisées, l'une dédiée à la transmission et l'autre à la réception, la configuration est alors dite bi-statique.

Le type d'antennes le plus utilisé en RFID UHF est l'antenne imprimée (ou antenne patch) en raison de ses caractéristiques avantageuses : antennes planaires et donc peu

encombrantes, faciles à miniaturiser et à intégrer, compatibles avec la technologie des circuits intégrés et de faibles coûts. Pour gagner en performance, ces antennes peuvent être constituées de plusieurs éléments rayonnants afin d'augmenter la zone de lecture. Elles peuvent aussi présenter une polarisation de champ circulaire permettant de lire les tags quelles que soient leurs positions angulaires par rapport au lecteur ; c'est d'ailleurs généralement le cas. D'autres antennes peuvent aussi être utilisées telles que les antennes de type dipôle, les monopôles, les antennes filaires (telles que l'antenne Yagi) ou bien encore les antennes à ouverture (telles que les cornets). Côté résonateur, les boucles, les boucles segmentées, ainsi que les antennes à ondes progressives sont généralement privilégiées pour fournir un champ magnétique uniforme et fort destiné aux applications à très courte portée.

I.3.1.2 Station de base

La station de base (SB) est le cœur du lecteur RFID. Elle transfère, traite, traduit les commandes et les informations reçues pour le système hôte. Les fonctions de base de la SB sont [I.4] :

- Envoyer et fournir l'énergie RF pour réveiller le tag ;
- Lire les informations stockées et/ou écrire de nouvelles informations dans le tag ;
- Transmettre les informations reçues au système hôte et les commandes de celui-ci au tag.

Des fonctions plus complexes peuvent être attribuées au lecteur comme par exemple : un système d'anticollisions pour éviter les mélanges d'informations lors de la lecture simultanée de plusieurs tags ; une authentification des tags pour éviter l'accès non autorisé au système via des fonctions de cryptage/décryptage. La fonction d'authentification est réalisée également par le système d'hôte.

L'architecture de la SB peut être divisée en deux blocs principaux : l'unité de contrôle numérique (UCN) et le bloc RF (Figure. I-2). Le bloc RF contient la chaîne d'émission et la chaîne de réception des signaux RF. La partie émission est responsable de générer la porteuse sur laquelle le signal est modulé par le signal numérique envoyé par l'UCN, d'amplifier ce signal et de le transmettre à l'antenne. La chaîne de réception traite le signal reçu de la liaison descendante. Elle est notamment composée d'un démodulateur I/Q et d'un convertisseur analogique numérique. L'UCN est responsable du traitement des signaux numérisés, du transfert d'informations entre l'application (système hôte) et le tag, et de la gestion de l'exécution des tâches définies par le système hôte. Ce bloc est généralement constitué d'un microcontrôleur qui, pour les lecteurs les plus complexes, réalise les fonctions de

codage/décodage, l'authentification, l'anticollision et le cryptage/décryptage des données entre le lecteur et le tag. Les procédures de cryptographie et de codage sont généralement réalisées par un module de circuit intégré dédié (type ASIC - *application-specific integrated circuit*) et donc supplémentaire afin d'alléger le processeur du microcontrôleur en calculs intensifs [I.5]. L'UNC avec le bloc RF et l'antenne forment ce qui est couramment appelé le lecteur RFID. La communication entre l'UNC et le système hôte est généralement faite par une interface série RS232 ou RS485 [I.5], mais des systèmes plus modernes montrent que cette communication peut être faite par connexion Ethernet, bus universel en série (USB - *Universal Serial Bus*) ou encore sans fil par des protocoles Bluetooth ou Wifi.



Figure I-3 Exemple d'un lecteur RFID.

I.3.1.3 Système hôte

Le système hôte est le système de contrôle responsable de la gestion de l'application à laquelle le système RFID est appliqué. Il s'agit du cerveau du système, l'endroit où les informations acquises par la SB seront intégrées dans la base de données. Selon l'application envisagée, le système hôte permettra par exemple d'identifier, de localiser, d'autoriser l'accès, de réaliser des transactions bancaires ..., de l'objet ou de la personne portant le tag. Le système hôte est aussi responsable du contrôle du réseau de toutes les SBs qui lui sont connectées pour les applications pour lesquelles plusieurs lecteurs sont utilisés. Ce système peut se présenter sous la forme d'un logiciel intégré dans l'ensemble du lecteur ou d'une interface ordinateur extérieurement à la station de base et à l'antenne.

I.3.2 Récepteur

Le tag RFID est la « cible » du système et contient la clé, c'est-à-dire le code unique, qui permettra au lecteur d'identifier l'objet (ou la personne) auquel le tag est attaché. Le tag, dans sa configuration la plus classique, est composé d'une antenne et d'une puce électronique assemblées dans un même packaging semblable à une étiquette plastique avec un côté adhésif comme illustré dans la figure. I-5. L'antenne est responsable de la récupération de l'énergie

RF qui sera transmise vers la puce lors de la liaison montante, et du renvoi d'une partie de cette énergie incluant les informations du tag lors de la liaison descendante. Une fois que l'énergie reçue atteint le seuil de réveil de la puce, celle-ci se mettra en fonctionnement et pourra alors envoyer les informations stockées dans sa mémoire non volatile. Le lecteur accède à ces informations à travers des commandes ordonnant au tag de communiquer son identifiant, d'effacer ou d'écrire de nouvelles informations en mémoire. Avec l'antenne, le tag réalise trois fonctions principales [I.3] :

- Récupérer l'énergie pour alimenter la puce ;
- Acquérir les données envoyées par le lecteur ;
- Renvoyer les informations demandées au lecteur.

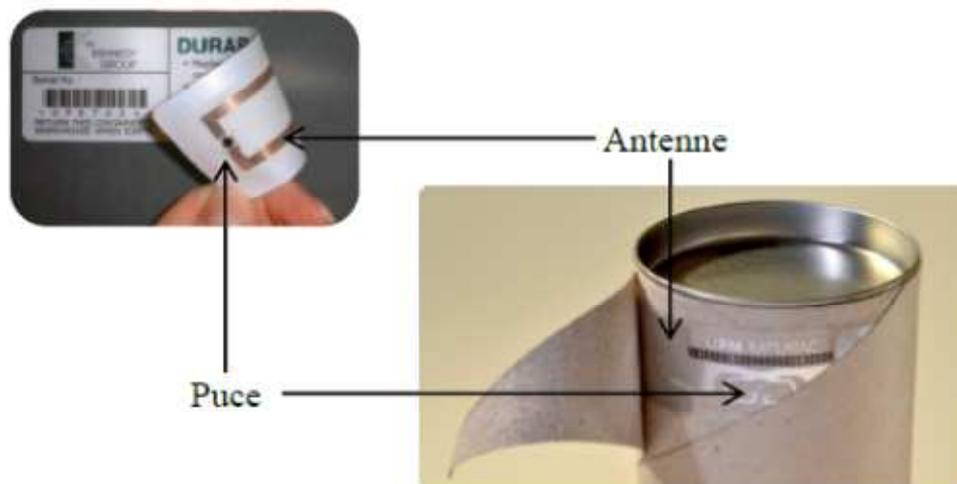


Figure I-4 Structure d'un tag RFID.

I.3.3 Les liaisons – transfert de données

Comme présenté dans la figure I-1 et déjà évoqué, la communication de données dans l'air entre lecteur et tag est de type bidirectionnel ; le transfert de données se réalise dans les deux sens : du lecteur vers le tag – liaison montante et, du tag vers le lecteur – liaison descendante. La communication, dans la majorité des cas, est initiée par le lecteur – « *Reader Talks First* » (RTF), la liaison descendante n'a lieu qu'à la fin de la liaison montante. Pour le transfert de données la relation entre lecteur et tag est donc de type *maître – esclave*.

Dans le protocole RTF, le transfert de données est basé sur la procédure de communication appelé *half-duplex* (HDX). Dans cette procédure, le transfert de données pendant la liaison descendante est alterné avec le transfert de données de la liaison montante [I.5]. Les liaisons montantes et descendantes ne s'effectuent donc pas simultanément. La procédure *full-duplex*

(FDX) peut toutefois aussi être réalisée dans un système RFID. Dans cette procédure de communication, le transfert de données de la liaison montante est réalisé en même temps que le transfert de données de la liaison descendante, mais alors celui-ci est réalisé à une fréquence différente, parfois une sous-harmonique de la fréquence de la liaison montante [I.3], [I.5]. La particularité de ces deux procédures HDX et FDX est que dans les deux cas le transfert d'énergie du lecteur vers le tag est continu : même quand le tag est en train de répondre au lecteur, la station de base envoie de l'énergie au tag. Le transfert de données d'un système RFID peut aussi être configuré avec une procédure séquentielle (SEQ), pour laquelle le transfert d'énergie à lieu pendant une durée limitée, et la transmission de données du tag vers le lecteur est réalisée lors de pauses du transfert d'énergie [I.5].

Une hiérarchie est définie dans le flux de données entre les éléments de l'émetteur RFID ayant pour tête le système hôte qui exerce le rôle de maître sur la station de base et exerce par conséquence un rôle de maître sur le tag.

I.3.4 Le lien radio d'un point de vue électromagnétique

Le principe physique de fonctionnement de la RFID est basé sur les interactions électromagnétiques entre le lecteur et le tag. Les échanges d'informations peuvent se passer dans une des deux régions de propagation des champs électromagnétiques : zone de champ proche (CP) ou zone de champ lointain (CL). Avant de présenter les interactions électromagnétiques se produisant dans un système RFID, une introduction aux zones de propagation des champs est présentée.

Les champs électromagnétiques d'une antenne ordinaire présentent des propriétés différentes selon deux régions principales : une région proche de l'antenne appelée champ proche et l'autre plus éloignée dite champ lointain. La région de champ proche peut être divisée en deux autres zones : une région champ proche réactif (CP-Re) et une région champ proche radiatif (CPRa).

La région de l'espace qui limite les champs est définie selon le rapport entre la dimension la plus grande de l'antenne, D , et la longueur d'onde, λ , comme représenté par la Figure I-5. Il est important de noter que les antennes électriquement petites ($D \ll \lambda$) n'ont pas de zone de CP-Ra et que la zone de CP-Re est très réduite.

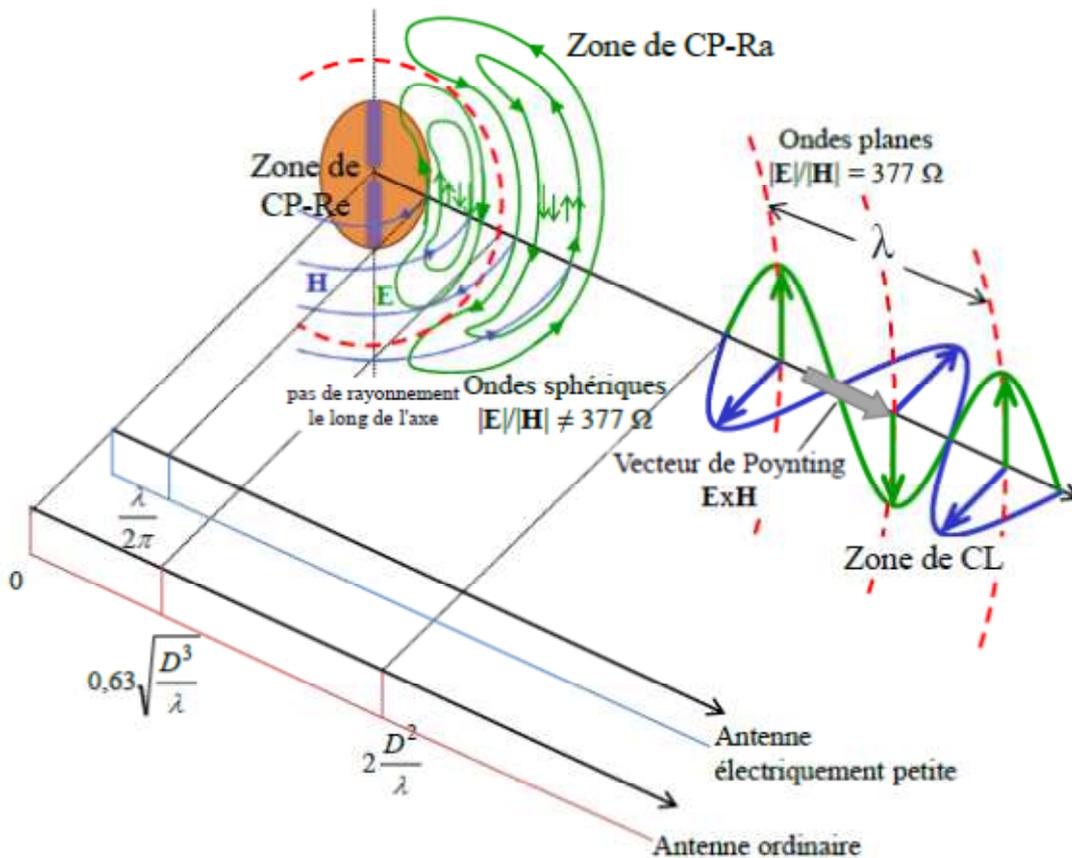


Figure I-5 Définition des zones de champs.

Dans la zone de CP-Re (ou région évanescente), le vecteur champ électrique, \mathbf{E} , et le vecteur champ magnétique, \mathbf{H} , sont prédominants : l'énergie est imaginaire (réactive) et la distribution angulaire des champs dépend de la distance. La zone de CP-Ra (ou zone de Fresnel ou encore zone de champ intermédiaire) est caractérisée par la présence d'une composante longitudinale prépondérante du champ électrique, et le flux d'énergie n'est pas entièrement radial.

Dans la zone de CL (ou région de Fraunhofer), la distribution angulaire des champs ne dépend pas de la distance, les champs \mathbf{E} et \mathbf{H} sont transversaux (c'est-à-dire qu'ils forment des ondes planes), et le flux d'énergie est radial et sortant de l'antenne. Le flux d'énergie est défini à partir du vecteur de Poynting, résultat du produit vectoriel du vecteur champ \mathbf{E} par le vecteur champ \mathbf{H} .

La direction du vecteur Poynting donne la direction de propagation (rayonnement de l'onde) et son module mesure, à une constante près, l'énergie du flux. Dans chaque région, l'amplitude, la phase et l'énergie des champs se comportent de façon particulière.

Il faut noter que certains auteurs préfèrent considérer seulement les termes champ proche et champ lointain pour définir les zones des champs d'une antenne.

Dans un système RFID UHF, le tag opère normalement dans la région de CL de l'antenne du lecteur, et le phénomène physique qui lie lecteur et tag est donc défini par le couplage d'ondes planes. En effet, les ondes qui se propagent dans l'espace sont sphériques mais dans la région de CP leurs surfaces peuvent être considérées comme planes en regard de l'antenne de réception (celle du tag), dont les dimensions sont très inférieures aux dimensions de la surface sphérique des ondes planes. L'antenne du tag recueille la puissance des ondes électromagnétiques envoyées par le lecteur, et en remet une partie à la puce qui est connectée à ses bornes.

La technologie RFID peut être aussi déployée dans les bandes des hautes fréquences (HF) et des basses fréquences (LF - *LowFrequency*) avec respectivement pour fréquence principale 125 KHz et 13,56 MHz. Pour ces bandes de fréquences, la communication entre le lecteur et le tag se produit en zone de champ proche réactive de l'antenne du lecteur, c'est-à-dire pour une région dont le diamètre est inférieur au rapport $\lambda/2\pi$. Dans ces systèmes, les interactions électromagnétiques entre lecteur et tag sont reliées par un couplage souvent du type inductif, figure I-6. Les lignes du champ magnétique généré par l'antenne du lecteur couplent l'antenne boucle du tag comme dans un système de type transformateur.

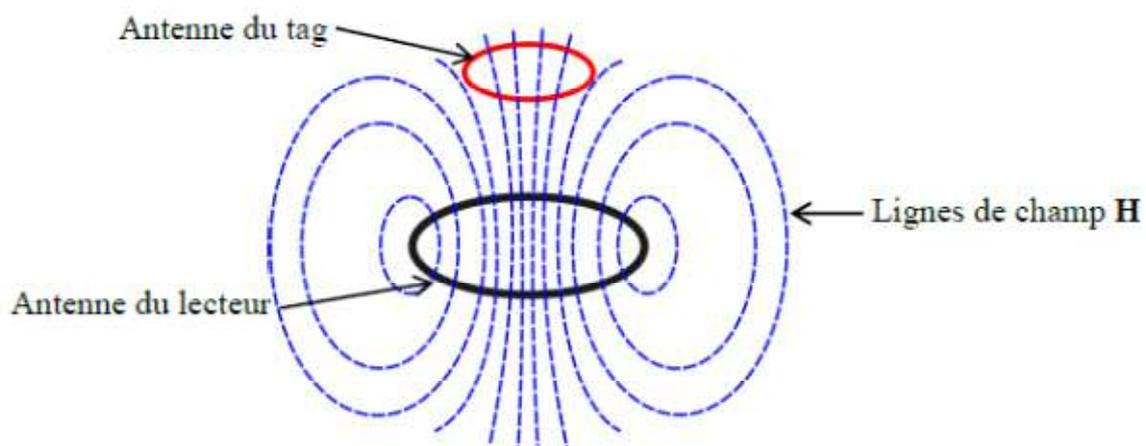


Figure I-6 Principe de fonctionnement d'un système RFID à couplage inductif.

I.4 Les avantages de la technologie RFID dans la vie quotidienne

I.4.1 La RFID comme outil de paiement

Le paiement est un des défis importants de la RFID. Parmi les applications de la RFID dans ce domaine, le modèle Pidion BIP-1300 se présente comme un dispositif de type PDA (Personal Digital Assistant), qui accepte des techniques de paiement diverses, comme les cartes bancaires à puce ou à bande (Figure I-7). Il est également équipé d'un module RFID permettant la lecture de cartes sans contact [I.9-I.10] via la connexion WiFi 802.11b/g, Bluetooth Class 2 ou encore GSM Edge en direct avec les banques et les instituts de paiement. Le paiement sans contact peut aussi s'effectuer via une montre. C'est ce que propose Laks, une société autrichienne, depuis 2002. Pour ce faire, la montre accepte une carte SIM personnalisable qui contient la puce RFID. Depuis le début 2009, Laks propose cette montre au public en partenariat avec AustriaCard, et avec l'accord de MasterCard.



Figure I-7 Le dispositif de paiement Pidion BIP-1300 [I.7] [I.8]

I.4.2 La RFID dans les gestions de transport

L'amélioration de la gestion des flux grâce à la RFID se remarque aussi dans le domaine des transports comme la figure I-8. La société de services Steria a mis en place à l'aéroport Charles de Gaulle à Paris un système qui permet de gérer la flotte de taxis, et de proposer des taxis en adéquation avec le trafic de passagers. Ce système fonctionne grâce à une puce RFID située sur les taxis, et un capteur placé à l'entrée du garage des taxis. Un

système identique est en place à l'aéroport de Heathrow à Londres, et prochainement à l'aéroport de Lyon St-Exupéry [I.7] [I.11-I.12].

Une des applications les plus connues et les plus démocratisées de la technologie RFID reste la carte de transport sans contact. L'utilisateur du métro passe sa carte sur une base (généralement apposée à des tourniquets d'accès), qui l'authentifie, valide son titre de transport, et lui donne accès au réseau. Ainsi, 3.4 millions de titres de transport sans contact circulaient en juin 2008 sur le réseau de transport en commun parisien de la RATP. Ce système fonctionne également dans des villes telles que Londres, Helsinki ou encore Singapour et Tokyo [I.11-I.12].



Figure I-8 La RFID dans les transports en commun [I.9].

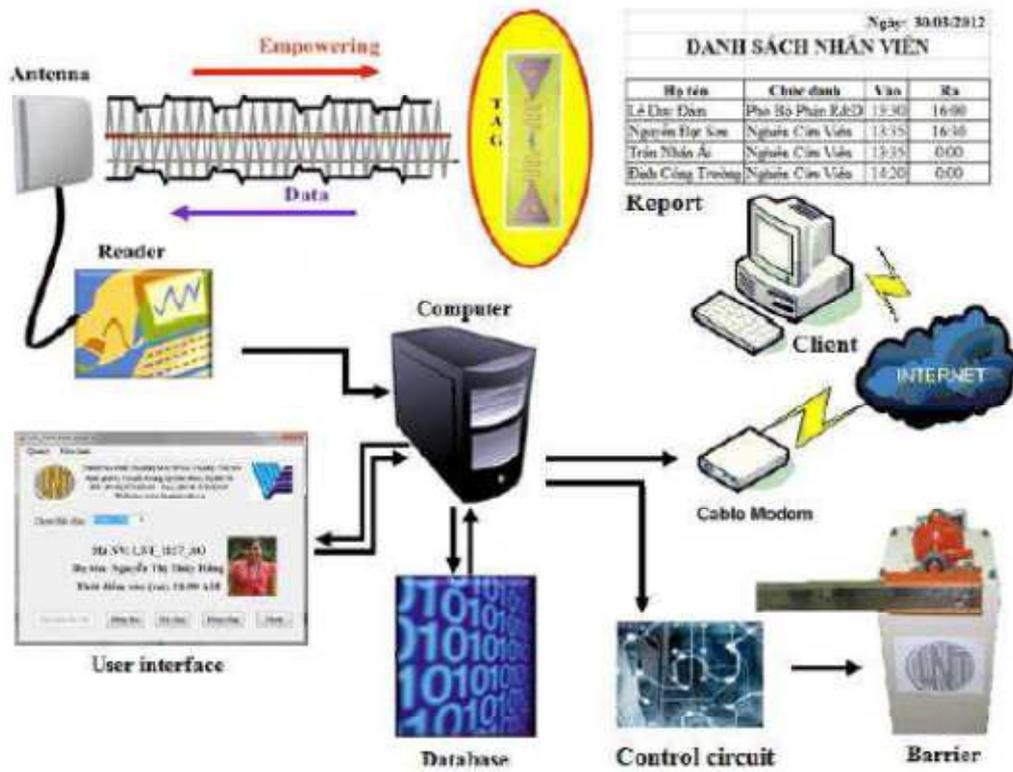


Figure I-9 La RFID permet de réguler les moyens de transport au Laboratoire de Nanotechnologie (Vietnam).

Au Laboratoire de Nanotechnologie (Université Nationale du Vietnam à Ho-Chi-Minh ville, Vietnam), la technologie RFID a été exploitée dans la gestion des transports afin de développer un système de gestion et récupération des données automatique dans les parkings ou les usines au Vietnam. Le fonctionnement du système est montré dans la figure I-9.

I.4.3 La RFID et les documents d'identité

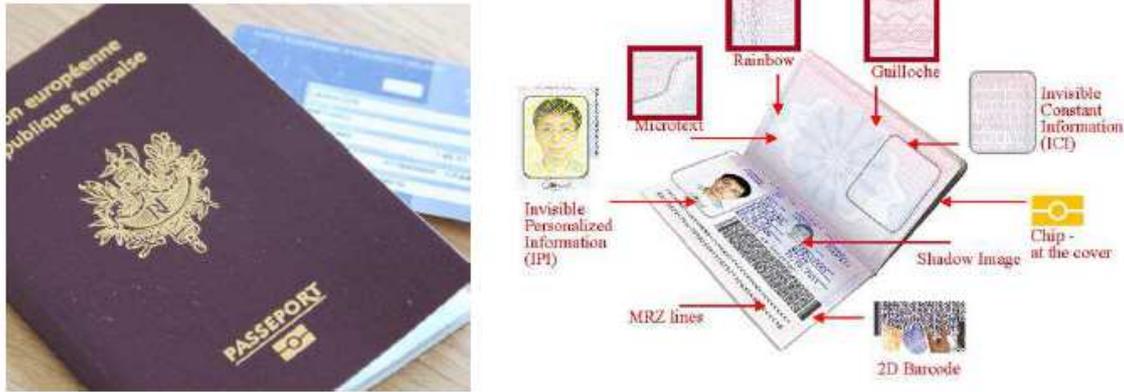


Figure I-10 La RFID est présente dans les documents d'identité.

L'identification des individus passe aussi par l'authentification des papiers d'identité comme dans la figure I-10. La RFID est alors un moyen d'une part de s'assurer de la validité des documents, mais aussi de s'assurer que les informations contenues dans le passeport sont également sous forme de données numérique [I.13-I.14] [I.12]. Il est à noter que des questions de sécurité importantes se posent quant à l'intégrité des données contenues dans les tags RFID des passeports. Des hackers ont, dès 2006, rendu public les failles de sécurité qui pèsent sur les passeports équipés de RFID.

I.4.4 La RFID pour l'hôpital et l'implant RFID

Dans le domaine de la santé, la localisation des patients et le suivi des processus de soins trouvent une synergie toute particulière grâce aux applications rendues possibles par la RFID. La société Versus Technology a intégré des tags RFID dans ses solutions logicielles de suivi des plannings et de la logistique à destination des cliniques et des hôpitaux. Personnel comme patients sont ainsi équipés de tags qui permettent à la fois de les situer précisément dans l'établissement, et de vérifier que les parcours de soins sont correctement effectués comme il est illustré sur la figure I-11.



Figure I-11 Les technologies sans fil pour la gestion des patients au sein de l'hôpital et à longue distance [I.21].

Le contrôle et la surveillance des patients peuvent également s'effectuer par le biais de puces RFID attachées ou implantées dans le corps humain de manière sous cutanée. C'est ce qu'a proposé la société Verichip, qui implante chez des patients volontaires des puces en vue d'assurer leur suivi médical ou lors de leur hospitalisation [I.14-I.16]. Cependant, cette technologie d'implantation a été décriée pour son potentiel de surveillance de l'individu, et l'intrusivité de son concept. Il est à noter que des sociétés comme Nonatec proposent ce type de produit pour des animaux domestiques ou d'élevage.

I.4.5 La RFID pour tatouer les animaux domestiques et les logistiques

La société Sniftag propose d'adapter le RFID pour les besoins des animaux de compagnie, et de leur maîtres. Accroché au collier d'un chien, un boîtier contenant un tag RFID permet de constituer des historiques des différentes activités, de son alimentation, ou encore de son état de santé comme dans la figure I.12 [I.13-I.16]. Il est également possible de suivre son chien à distance, via un portail Internet, pour connaître l'activité d'un animal pendant que le maître est absent.



Figure I-12 Suivre l'activité d'un chien à distance.

Un des secteurs d'activité dans lequel la technologie RFID est utilisée depuis longtemps est celui de la logistique (Figure I-13). Rapidement, les codes à barre ont été remplacés par les tags RFID, et dans des domaines aussi divers que la fabrication de médicaments, ou encore ici dans celui de la gestion de marchandises [I.13-I.16]. L'avantage de la RFID est ici déterminant, car la RFID UHF a une portée qui permet de repérer des tags actifs à plusieurs centaines de mètres. Cela permet par exemple d'effectuer des inventaires et de surveiller les marchandises en temps réel.

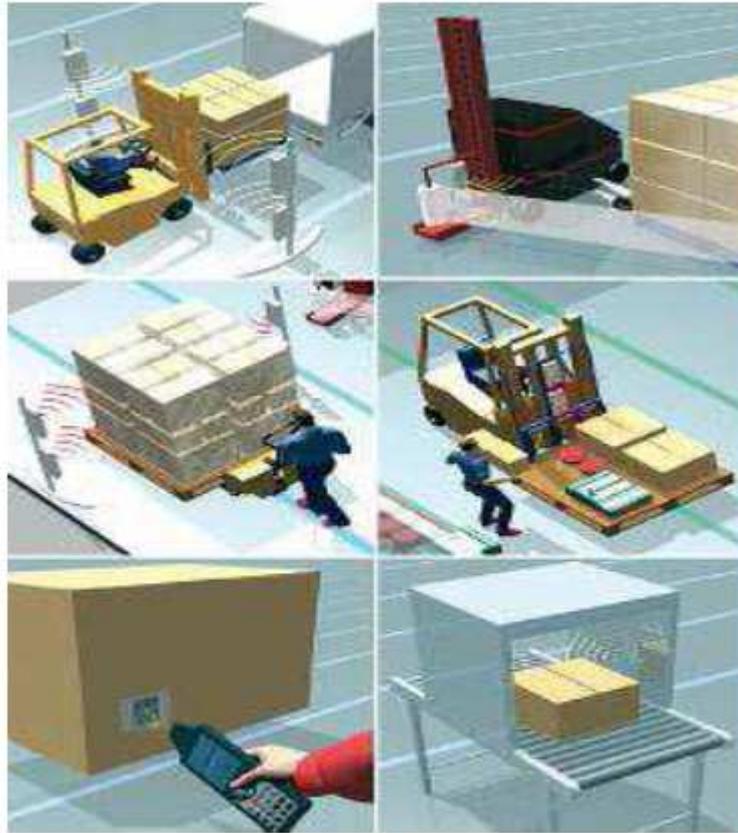


Figure I-13 La RFID permet de faciliter la logistique.

I.5 Bandes de fréquences

I.5.1 Normes

Afin de rendre compatibles tous ces systèmes, d'en assurer l'interopérabilité, de les comparer pour une même application, et de proposer aux utilisateurs un choix cohérent, des normes ont émergé. Elles définissent les paramètres techniques du tag et du lecteur pour les différentes applications normalisées comme les cartes intelligentes sans contact, l'identification des animaux ou encore l'automatisation industrielle.

Cependant, en terme de puissance, il a été statué (normes EN 300) qu'en fonction d'une certaines fréquences, il existe une limite en puissance à ne pas dépasser lors de la transmission d'un signal (Tableau. I-1). Notons qu'en dessous de 40 MHz, la puissance maximale n'est plus exprimée dans la même unité: on se trouve en champ proche (amplitude du champ magnétique $B. \mu A/m$). Au-de là en champ lointain la puissance du champ électromagnétique: est exprimée en Watt (ERP ou EIRP)

| Bande de fréquences (MHz) | Puissance maximale permise |
|---------------------------|----------------------------|
| 06.780 | 42 dB.µA / m @ 10 m |
| 13.560 | 42 dB.µA / m @ 10 m |
| 27.125 | 42 dB.µA / m |
| 40.680 | 10 mW ERP |
| 433.920 | 1 – 10 mW ERP |
| 869.000 | 100 – 2 000 mW EIRP |
| 2450.000 | 500 – 4 000 mW EIRP |
| 5800.000 | 25 mW EIRP |

Tableau I-1 Allocations des puissances autorisées en fonction des fréquences de communication.

Il subsiste cependant des divergences, en termes de puissances maximales acceptées, entre l'Europe, le continent américain et l'Asie. Les seuils sont généralement plus élevés aux Etats-Unis qu'en Europe, où ils sont restreints pour des raisons de sécurité sanitaire des utilisateurs. La bande de fréquences UHF est un cas typique: les plages de fréquences allouées ne sont pas les mêmes (autour de 915 MHz pour les USA, et de 953 MHz pour le Japon) tout comme les puissances (de 25 mW à 4 W EIRP) [http-eannet].

I.5.2 Identification de l'état de chaque bande

Par ce que les systèmes RFID génèrent et rayonnent des ondes EM, ils sont légalement classes dans les systèmes radio. En aucun cas ils ne doivent gêner les fonctions des autres systèmes radio comme les communications radio des services militaires, de police, de sauvetage, les communications grandes et moyennes ondes radio ou encore la télévision et les téléphones portables. Il est donc impératif de ne pas utiliser pour les communications RFID, les fréquences d'autres utilisateurs et, à la vue du nombre croissant de ces derniers, les plages de fréquence disponibles sont restreintes. C'est la raison pour laquelle il n'est possible d'utiliser que des gammes de fréquences allouées aux applications industrielles, scientifiques ou bien encore médicales, appelées les bandes ISM (IndustrialScientificMédical).

Ces plages (Figure I-13) [Finkenzeller-03] se positionnent autour des fréquences suivantes :6.78, 13.56, 27.125, 40.68, 433.92, 869 MHz(Europe), 915MHz(Amérique du Nord) et ~960 MHz(Asie), et2.45, 5.8 GHz. Il existe une dernière bande de fréquences disponible entre 0 et 135 kHz pour les Amériques du Nord et du Sud et en dessous de 400 kHz pour le Japon, car il est alors possible de travailler avec des champs magnétiques très forts et certains systèmes RFID utilisent le couplage inductif.

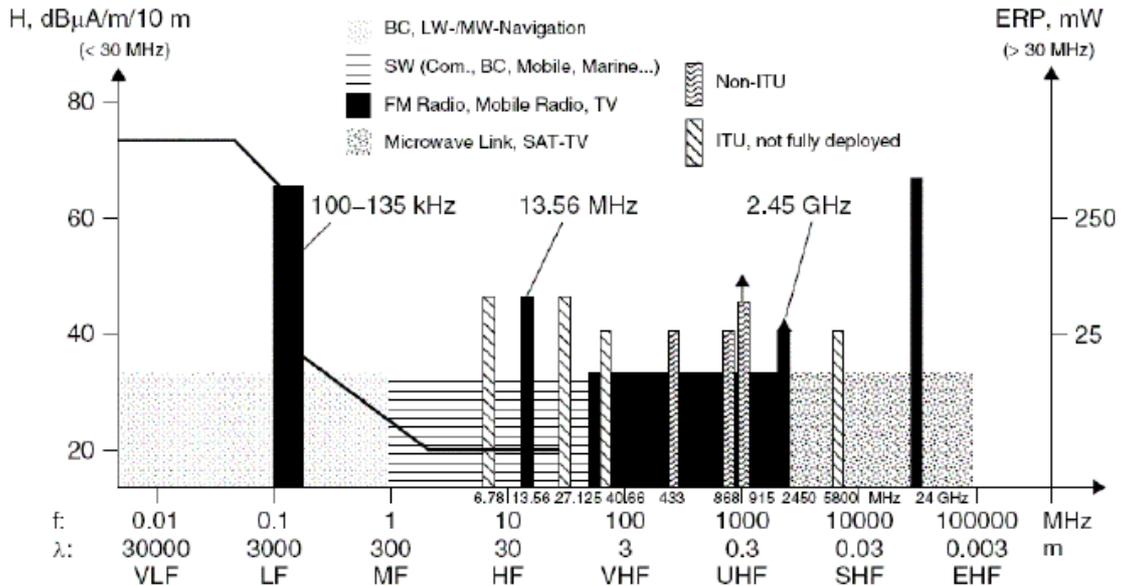


Figure I-14 Bandes de fréquences, champ magnétique et puissance maximale autorisés.

1. Bande de fréquences entre 9 – 135 kHz

La bande en dessous de 135 kHz est largement utilisée par les services radio car elle n’est pas réservée ISM. Les conditions de propagation dans cette bande de fréquences grandes ondes permet d’atteindre des endroits situés à 1000 km à la ronde. On compte parmi ces systèmes des services radio pour la navigation maritime ou aérienne.

2. Bande de fréquences à 6.78 MHz

La bande 6.765 – 6.795 MHz appartient à la Bande de fréquences en ondes courtes. Les conditions de propagation proposent des portées courtes et des portées allant jusqu’à 100km, de jour et plus de 1000 km la nuit. Les services de presse, de météorologie ou encore d’aéronautique sont les principaux utilisateurs.

3. Bande de fréquences à 13.56 MHz

La bande de fréquences comprises entre 13.553 et 13.567 MHz se situe au milieu de la bande de courte longueur d’onde. Elle est majoritairement utilisée pour des systèmes RFID inductifs. C’est la Bande de fréquences actuellement la plus utilisée pour des applications RFID.

4. Bande de fréquences à 27.125 MHz

Cette bande de fréquences ISM d'une largeur de 326 kHz est comprise dans la bande allouée aux communications radio pour la CB (allant de 26.565 à 27.405 MHz) aussi bien en Europe qu'au Canada et aux USA. En plus des systèmes radio inductifs pour la RFID, on trouve dans cette bande des applications pour le médical mais aussi des équipements de soudure fonctionnant dans la bande HF. Il est donc important de prendre ces applications en compte pour la mise en place de systèmes RFID à cette fréquence car ils pourraient être perturbés par les forts champs HF générés par les équipements de soudure, par exemple, ou pourraient perturber eux-mêmes des installations médicales.

5. Bande de fréquences à 40.680 MHz

Cette bande de fréquences a une largeur de 40 kHz et se situe au bas de la bande VHF (Very High Frequency). La propagation de ces ondes est limitée par le sol et de ce fait, les signaux sont moins amortis par des immeubles ou autres objets sur le chemin de propagation. Cette fréquence n'est que peu utilisée car la longueur d'onde qui lui est associée est trop grande pour mettre en place des tags de taille assujettie à cette même longueur d'onde.

6. Bande de fréquences à 433.920 MHz

Cette bande de fréquences, d'une largeur de 1.74 MHz fait partie de la bande allouée au radio amateurisme (de 430 à 440 MHz). Elle est utilisée non seulement par des applications RFID mais également par des applications de télémétrie, d'intercommunication (talkie walkie) et ce en assez grande quantité pour que des interférences gênantes interviennent.

7. Bandes de fréquence à 869 MHz, à 915 MHz et à 960 MHz

La première plage de fréquences comprises entre 868 et 870 MHz a été permise pour des dispositifs de courte portée (SRD : Short Range Device) en Europe depuis 1997, et de ce fait elle est utilisée pour des applications RFID.

Les deuxièmes et troisièmes bandes sont les homologues de la première en Amérique du Nord et en Asie mais ne sont pas permises en Europe.

8. Bande de fréquences à 2.45 GHz

Cette bande d'une largeur de 83.5 MHz partage les fréquences avec des applications de radio amateurisme et des services de localisation radio. Les conditions de propagation dans cette gamme UHF (Ultra High Frequency : 300 MHz – 3 GHz) sont telles que des objets comme des immeubles par exemple, réagissent en bons réflecteurs et atténuent fortement le champ EM. En plus de dispositifs RFID, on trouve dans cette bande ISM des applications comme les systèmes PC LAN (Local Area Network) pour la mise en réseau sans fil d'ordinateurs.

9. Bande de fréquences à 5.8 GHz

Comme la bande de fréquences à 2.45 GHz, cette bande, d'une largeur de 150 MHz, partage les fréquences avec d'autres applications radio que les systèmes RFID, comme les détecteurs de mouvement permettant d'ouvrir des portes et barrières.

I.6 Systèmes RFID

I.6.1 Tag RFID

Plusieurs critères peuvent être utilisés pour classifier ou caractériser un tag RFID. Dans cette section les principaux sont rappelés.

I.6.1.1 Type d'alimentation

Les tags RFID peuvent être différenciés entre eux selon le type d'alimentation qu'ils utilisent pour leur fonctionnement. Trois catégories sont possibles :

- *Tags passifs* : ce type de tags n'utilise que l'énergie fournie par le lecteur pour alimenter le circuit électronique de la puce RFID et pour la transmission de données vers le lecteur. L'architecture de la puce est relativement simple : elle ne dispose pas de chaîne d'émission propre ; pour envoyer l'information stockée, le tag module son impédance de charge et ainsi re-rayonne le signal reçu en y insérant donc les informations par rétro modulation(ou modulation de charge). Comme il n'y a pas de source d'énergie embarquée, le tag passif est le moins cher et son prix peut atteindre une cinquantaine de centimes d'euros en gros volume.
- *Tags semi-actifs ou semi-passifs* : les tags sont assistés par une source d'alimentation interne embarquée, de type pile ou batterie. Le but de cette source d'énergie est de fournir une tension d'alimentation suffisante à la puce. La transmission de données vers le lecteur est réalisée par rétro-modulation ou modulation de charge comme pour

les tags passifs. La présence de la source embarquée permet alors d'augmenter la portée de lecture jusqu'à une distance de 30 m, et offre aussi l'avantage de permettre l'intégration de capteurs à la puce RFID et ainsi collecter des données environnementales. La mémoire de stockage est aussi plus importante que celle des tags passifs.

- *Tags actifs* : ce type de tags n'exploite pas l'énergie envoyée par le lecteur, et leur fonctionnement en est donc indépendant car le champ électromagnétique incident n'est plus nécessaire pour alimenter la puce ni pour effectuer la modulation [I.5]. L'architecture d'un tag actif intègre ainsi une chaîne d'émission qui lui permet de générer son propre signal porteur d'information. Les tags actifs ont une portée de lecture bien plus grande (jusqu'à 100 m) que les tags passifs, et présentent une capacité de stockage plus grande (128 KB).

Ce type de tags est souvent utilisé dans des applications de géo localisation, de télépéage ou de collecte de données en temps réel.

I.6.1.2 Tags sans puce

Un autre critère de classification des tags RFID concerne l'utilisation ou non de la puce RF. Les tags sans puce (ou tags *chipless*) représentent une solution alternative très bas coût pour les systèmes RFID qui pourrait remplacer le système de code barre traditionnel. Le principe de fonctionnement des tags sans puce est basé sur la signature électromagnétique de l'antenne du tag qui porte alors directement les informations d'identification. L'antenne est généralement conçue à partir de résonateurs planaires qui résonnent à des fréquences spécifiques impliquant ainsi une signature spectrale. En présence du signal envoyé par le lecteur, signal dans ce cas composé de multiples fréquences ou de type impulsionnel, le tag réfléchit plus ou moins les fréquences du signal reçu permettant au lecteur de décoder les informations envoyées par le tag à partir de ces changements [I.17]. Des alternatives existent exploitant l'information de phase conjointement.

D'autres types de technologies sont aussi utilisés pour la conception des tags sans puce comme les tags exploitant les ondes acoustiques de surface ou SAW (*Surface Acoustic Wave*) [I.3]. La technologie de tag sans puce représente aussi une approche pour la conception des réseaux de capteurs sans fil bas coût comme illustré dans l'exemple d'applications présenté dans [I.18] et destiné à la détection de fluides.

I.6.1.3 Architecture d'un tag RFID UHF passif

Un tag RFID classique est « simplement » composé d'une antenne et d'une puce RF. Le type d'antennes utilisées pour le tag dépend principalement de la bande de fréquences à laquelle le système opère, ainsi que des conditions environnementales dans lesquelles le tag est inséré.

L'antenne boucle électriquement petite et à plusieurs tours est le type d'antennes le plus souvent utilisé dans les bandes de fréquences LF et HF. Le terme « électriquement petit » fait référence à la dimension de l'antenne comparée à la longueur d'onde, λ , de la fréquence de fonctionnement.

Du fait de la dimension de l'antenne, le courant circulant dans la boucle génère un champ magnétique quasi-stationnaire ce qui facilite le couplage électromagnétique inductif. Dans la bande UHF les antennes de type dipôle sont privilégiées car le couplage électromagnétique entre la station de base et le tag est souvent réalisé par le champ électrique radiatif des ondes planes.

Certaines applications RFID UHF fonctionnent à très courte distance, et alors le couplage est réalisé par les lignes de champ magnétique et/ou électrique réactif, justifiant l'utilisation d'antennes boucles très petites et à un seul tour.

Le second élément principal d'un tag RFID est la micro puce qu'il embarque et qui est un circuit intégré. La puce RFID est un élément essentiel d'un système RFID classique car ce dispositif contient l'identifiant unique qui donne sens à une application RFID. La performance du tag en termes de distance de lecture dépendra principalement de la sensibilité de la puce. L'architecture d'une puce RFID est présentée dans la figure I-15 [I.19]-[I.20]. Elle se divise en trois blocs distincts principaux : le bloc de contrôle du signal analogique, les traitements numériques et la mémoire non volatile.

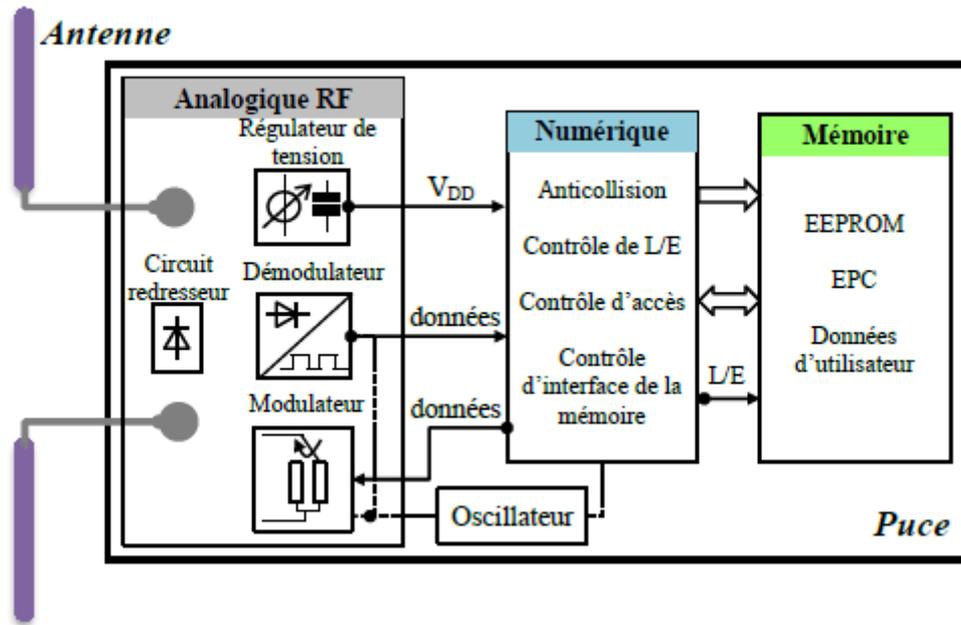


Figure I-15 Schéma d'un tag RFID avec blocs fonctionnels de la puce [I.19].

Le fonctionnement de la puce RFID peut être divisé en trois étapes détaillées ci-dessous :

1) Etape de récupération d'énergie

La puce RFID récupère de l'énergie au travers de l'antenne du tag. L'impédance d'entrée de l'antenne est adaptée au complexe conjugué de l'impédance de la puce afin d'établir un transfert de puissance maximum à une fréquence ou dans une bande de fréquences donnée.

L'énergie RF est redressée par le circuit redresseur pour fournir une tension continue, V_{DD} , aux modules analogiques et numériques de la puce [I.19]. Pour que la puce soit activée, un niveau minimum de puissance est requis, niveau qui atteint aujourd'hui environ -22 dBm pour les puces les plus performantes.

2) Etape de récupération et traitement de données envoyées par le lecteur

Une fois le tag alimenté, les commandes ou les informations envoyées par le lecteur sont traitées par le module analogique. Dans un premier temps le signal est démodulé : l'information est extraite de la porteuse et transformée en un signal numérique. Ce signal est interprété par le module numérique où, après avoir vérifié la véracité de la commande, le bloc numérique réalise les fonctions de lecture/écriture ou la suppression de données sur la mémoire non volatile de la puce. La figure I-16 illustre les étapes de récupération d'énergie (étape 1) et de détection de l'information (étape 2) par un tag RFID passif [I.3].

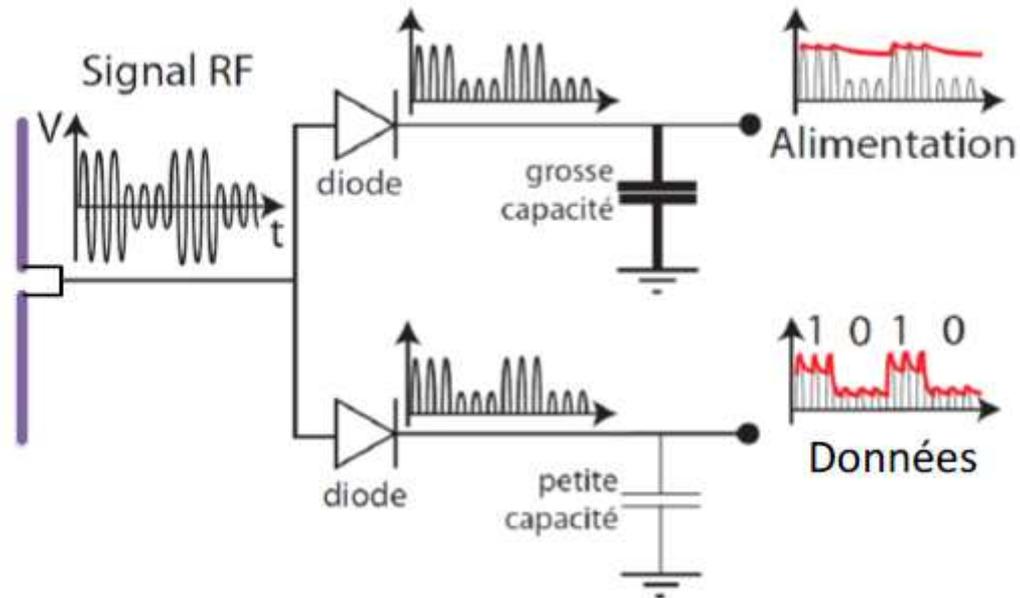


Figure I-16 Schéma de la récupération de l'énergie et de détection des données par un tag RFID passif [I.3].

3) Etape de transmission de données

L'information stockée dans la puce est transmise au lecteur par la technique de rétro modulation qui consiste à modifier l'impédance de charge de l'antenne tag entre respectivement l'état de réflexion et l'état d'absorption de puissance, et ceci au rythme du débit de données à envoyer au lecteur. L'état d'absorption correspond à l'étape de récupération d'énergie comme décrit précédemment. L'état de réflexion correspond à l'état pour lequel un maximum de puissance est réfléchi par l'antenne. Dans cette situation, l'impédance d'entrée de l'antenne est connectée à un court-circuit ou à un circuit ouvert. Pendant la rétro-modulation, le coefficient de réflexion de l'antenne du tag, Γ , peut être varié en amplitude ou en phase, afin d'obtenir respectivement une modulation ASK ou PSK. Le coefficient de réflexion traduit la qualité de l'adaptation de l'antenne à l'impédance complexe de la puce. La figure I-17 illustre la technique de rétro-modulation et comment le signal réfléchi est re-rayonné par le tag. Il faut remarquer que l'adaptation entre l'antenne et la puce n'est jamais parfaite. Par ce fait, une petite quantité d'énergie est toujours réfléchie par le tag pendant l'état d'absorption.

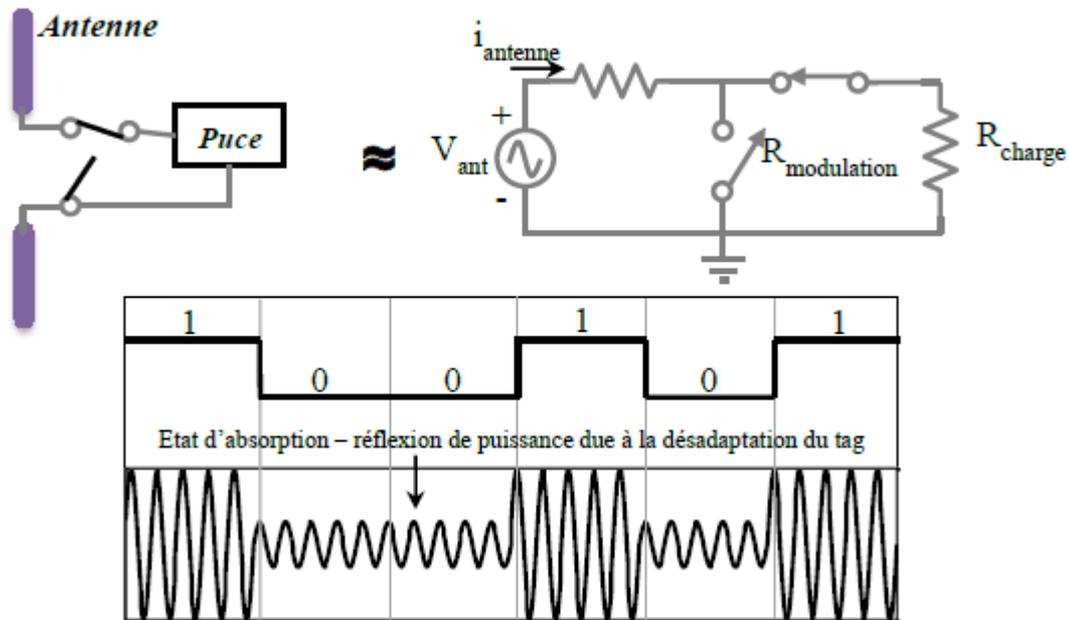


Figure I-17 Circuit équivalent pour représenter la technique de rétro-modulation, trame de bit et signal modulé (réfléchi) ASK par le tag.

Il est important de noter que l'étape de récupération d'énergie a lieu en même temps que l'étape 2. En effet, le tag est un élément passif fortement dépendant de la puissance disponible aux bornes de l'antenne et la récupération d'énergie doit être constante pendant toutes les étapes.

Du fait de la présence de circuits non-linéaires comme le circuit redresseur et le régulateur de tension, la performance de la puce dépend non seulement de la puissance d'entrée disponible aux bornes de l'antenne du tag mais aussi de la fréquence. La valeur de l'impédance de la puce, quand elle absorbe de l'énergie, est indiquée par les fabricants de puce RFID et sera notée Z_{p1} ; l'impédance équivalente à l'état de réflexion est notée Z_{p2} .

I.6.2 Système RFID UHF passif champ proche

La RFID UHF champ proche correspond à une application RFID UHF passive classique dans laquelle le tag est placé et lu dans la zone de champ proche réactif et/ou radiatif de l'antenne lecteur. L'utilisation de la RFID UHF CP a été initialement présentée comme une alternative pour résoudre les problèmes d'interférence dans le milieu de propagation lorsque des objets perturbateurs (par exemple métal ou plastique) sont à proximité du tag ou placés sur la ligne divisée du lecteur. En effet, la proximité de ces objets par rapport à l'antenne du tag provoque la diminution du champ électrique à la surface de l'objet auquel le tag est attaché et ainsi dégrade en conséquence la zone de lecture des tags commerciaux, comme

montré dans [I.21]. La RFIDUHF CP est une solution intéressante qui réunit plusieurs avantages : le couplage magnétique est moins sensible à proximité de métaux ou de liquides, et de plus permet de lire plusieurs tags empilés, cela en conservant le même taux d'échange de données et de lecture des systèmes UHF [I.22].

Les recherches dans le domaine de la RFID UHF CP ont été dans un premier temps dirigées vers le développement d'antennes capables de fournir de l'énergie opérationnelle à partir d'un champ magnétique ou d'un champ électrique ayant des propriétés champ proche. Plusieurs travaux ont été publiés concernant la topologie des antennes à considérer, les caractéristiques qu'elles doivent avoir pour assurer une bonne performance pour la lecture de tags [I.23]-[I.24] ainsi que leur capacité d'opérer dans les deux zones de propagation des ondes, champ proche et champ lointain [I.25]-[I.26]. Les types d'antennes lecteur généralement employés dans la RFIDUHF CP sont la boucle segmentée [I.27], [I.25]-[I.28], l'antenne à onde progressive [I.30]-[I.31] ou encore l'antenne à onde de fuite (*leakage antenna*) [I.29]-[I.24].

Les systèmes RFID UHF CP peuvent utiliser les mêmes composantes qu'un système RFID UHF CL comme proposé par [I.22], et quatre configurations sont alors possibles pour déployer le système en CP :

- 1) Lecteur (CL) et tag (CL) où le lecteur opère à puissance maximale : dans cette configuration, les antennes du lecteur et du tag sont des antennes classiques (développées pour opérer en zone de CL) où le tag est lu dans la zone de champ proche de l'antenne du lecteur. La puissance d'émission du lecteur est réglée au maximum pour permettre la lecture du tag lorsque celui est attaché à un matériau perturbateur des ondes RF.
- 2) Lecteur (CL) et tag (CL) où le lecteur opère à basse puissance d'émission : cette configuration est analogue à la précédente à la différence que la puissance d'émission du lecteur est réglée à un niveau minimum nécessaire pour lire le tag à une distance donnée dans la zone de champ proche. Cette solution est réalisée afin d'éviter que le lecteur ne lise des tags placés dans la zone de champ lointain. L'inconvénient de cette configuration peut être associé à la difficulté de lire le tag dans la zone de CP lorsque celui est attaché à un matériau perturbateur RF [I.19].
- 3) Lecteur classique (CL) et tag de courte portée, ou comme défini en [I.32], [I.33] tag hybride, le lecteur fonctionnant à puissance maximale : deux types de tag peuvent être utilisés dans cette configuration. Le premier concerne les tags conçus pour fonctionner à courte portée (<1 m). Le deuxième type de tags concerne les tags conçus pour être adaptés quand ils sont attachés à un matériau perturbateur RF (par exemple métal ou verre). Pour assurer la lecture

du tag dans la zone CP le niveau de puissance d'émission du lecteur est réglé au maximum. L'inconvénient de cette configuration, comme pour la configuration 1), est lié à la lecture des tags présents dans la zone de champ lointain.

4) Lecteur et tag avec antennes spécialement conçues pour les applications champ proche et adaptées aux fréquences UHF (Figure I-17) : dans cette configuration, l'antenne du lecteur est conçue pour fournir un champ magnétique ou un champ électrique fort dans la zone de champ proche. L'antenne du tag est conçue pour récupérer un maximum d'énergie du champ généré par l'antenne du lecteur. Tel qu'utilisé dans les systèmes RFID HF et LF, le champ magnétique est plutôt privilégié dans les applications RFID UHF CP où l'antenne tag est une boucle comme illustré sur la Figure. I-18. Comme cette configuration exige une conception d'antennes performantes dans la zone de champ proche, ce système est le plus coûteux par rapport aux autres configurations présentées mais le plus performant pour les applications RFID UHF CP. [I.22].



Figure I-18 Exemples de tags RFID UHF spécialement conçus pour opérer dans la zone de CP-Re et leurs dimensions.

I.6.3 Système RFID en champ lointain

Contrairement aux systèmes à champ proche, les systèmes RFID en champ lointain ont la capacité de transmettre des informations entre le lecteur et le tag par les ondes électromagnétiques et donc sur des distances beaucoup plus grandes, qui peuvent dépasser la dizaine de mètres. Le lecteur transmet de l'énergie au tag, une partie de cette énergie est reçue et absorbée par le tag pour s'autoalimenter alors qu'une autre partie est réfléchi par l'antenne du tag. Grâce à une commutation électronique réalisée par le chip RFID, l'antenne du tag voit une commutation de charge ce qui modifie le niveau du signal réfléchi par le tag.

C'est cette opération appelée "backscattering" (ou rétro-modulation) qui permet la communication des données du tag vers le lecteur.

Les systèmes RFID en champ lointain fonctionnant aux fréquences typiquement supérieures à 100 MHz, la plupart du temps en bande UHF (Ultra High Frequency) comme 868 MHz, 915 MHz ou 955 MHz ou les bandes ISM à 5.8 GHz ou 2.45 GHz. La distance de lecture pour les

Les systèmes RFID en champ lointain sont affectés par la densité de l'énergie reçue par le tag et la sensibilité du lecteur pour le signal réfléchi à partir de l'étiquette. La sensibilité des lecteurs est en constante amélioration. Ils peuvent détecter les signaux faibles avec le niveau de puissance d'au moins -90 dBm à un coût acceptable. La distance de lecture de ces systèmes peut varier de quelques mètres jusqu'à 100m ou plus pour des tags actifs [I.34]. Les performances des systèmes RFID sont résumées dans le tableau I.2.

| Fréquence | Distance de lecture | Applications |
|--|--|--|
| Systèmes RFID en champ proche | | |
| 9 – 135 KHz | quelques cm jusqu'au 50 cm | Les cartes de paiement et passeports électroniques |
| 6.78 MHz | quelques cm jusqu'au 50 cm | Pas beaucoup d'application |
| 13.56 MHz | quelques cm jusqu'au 50 cm | Les cartes intelligentes sans contact |
| Systèmes RFID en champ lointain | | |
| 433.92 MHz | 1 m jusqu'au 30 m dépendant des applications | Les systèmes RFID actifs aux fréquences UHF |
| 860 MHz ~ 960 MHz | ≈ 5 m jusqu'au 10 m | Les systèmes RFID passifs aux fréquences UHF |
| 2.45 GHz | 1 m jusqu'au 6 m | Les systèmes de péage, Actifs |
| 5.8 GHz | Inférieur à 1 m | Pas encore beaucoup d'exploitation |

Tableau I-2 Classement des tags RFID par le champ de rayonnement

Les systèmes UHF ne sont pas limités par l'émission localisée des lignes de champ autour du lecteur. Les dimensions des antennes capables de produire des champs électromagnétiques suffisants pour assurer la communication sont de l'ordre de la demie de longueur d'onde (pour une fréquence de 900 MHz, l'antenne devra mesurer ≈ 16,5 cm). Dans le cas des transpondeurs passifs, l'énergie d'alimentation du tag est générée par la récupération d'une partie du champ rayonné par le lecteur. Cette partie est redressée puis conditionnée pour alimenter la puce RFID.

La densité d'énergie de signal rayonné décroît en fonction de l'inverse du carré de la distance séparant le lecteur et le tag. De ce fait, l'utilisation des systèmes passifs se limite à des distances ne dépassant pas la dizaine de mètres pour des fréquences aux alentours de 900MHz. Cette distance diminue fortement lorsque la fréquence augmente. Pour des fréquences supérieures, les tags nécessitent souvent une alimentation et deviennent actifs. Un avantage majeur des tags UHF réside certainement dans leur faible coût de production grâce aux techniques de développement utilisées et la miniaturisation du tag (puce et antenne).

I.7 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).

I.7.1 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 I-19 [I.4]. Les inductances parallèle et série sont réalisées par des longueurs de ligne conductrice raccordant l'antenne à la puce.

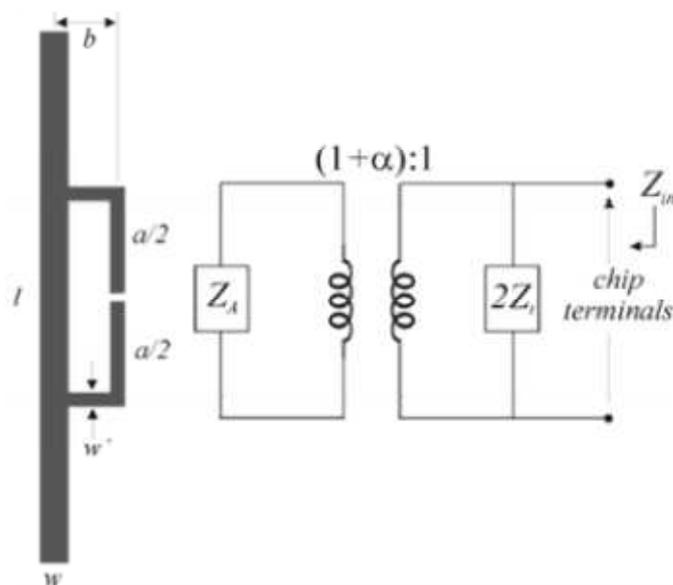


Figure I-19 La configuration T-match et le circuit équivalent [I.4].

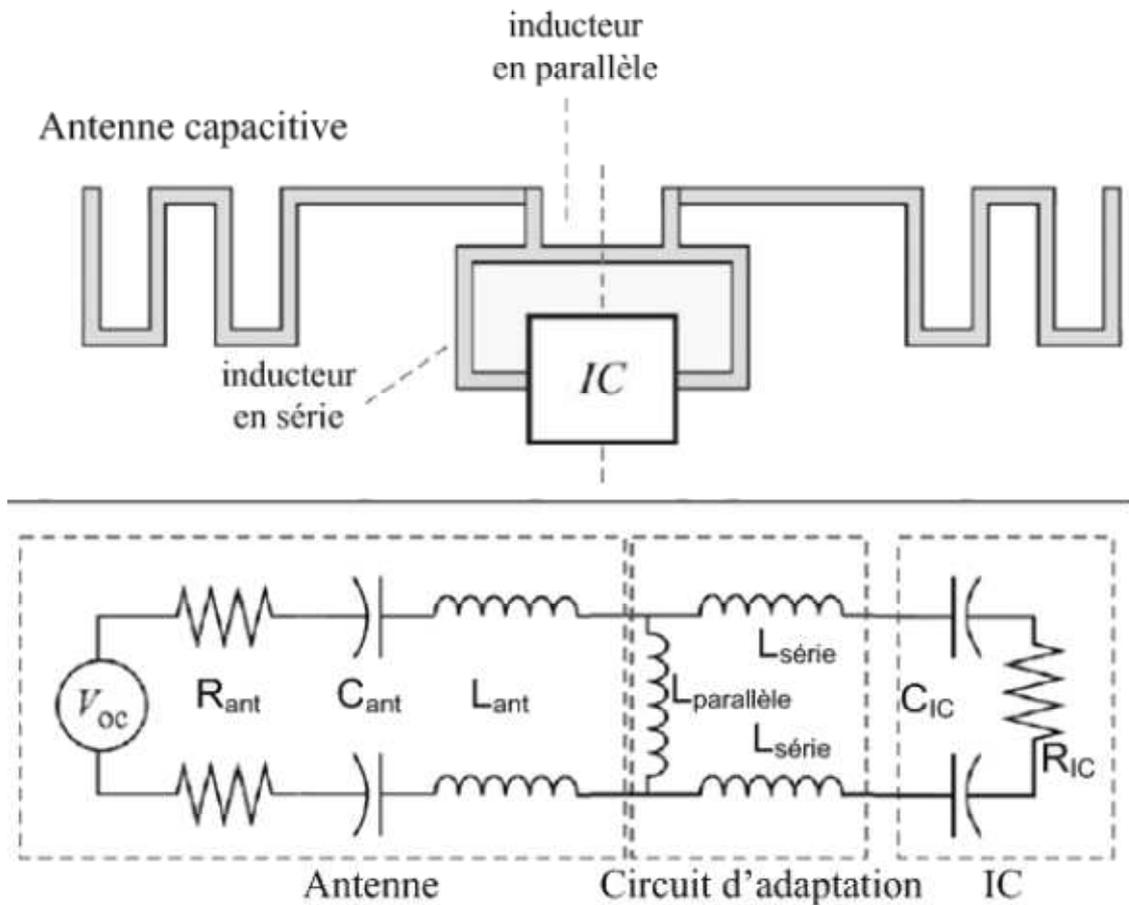


Figure I-20 Le modèle de circuit équivalent de la configuration T-Match [I.5].

L'impédance équivalente vue à partir de la puce:

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

Où Z_t est l'impédance du 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.

I.7.2 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 I-21). 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 [I.4]:

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

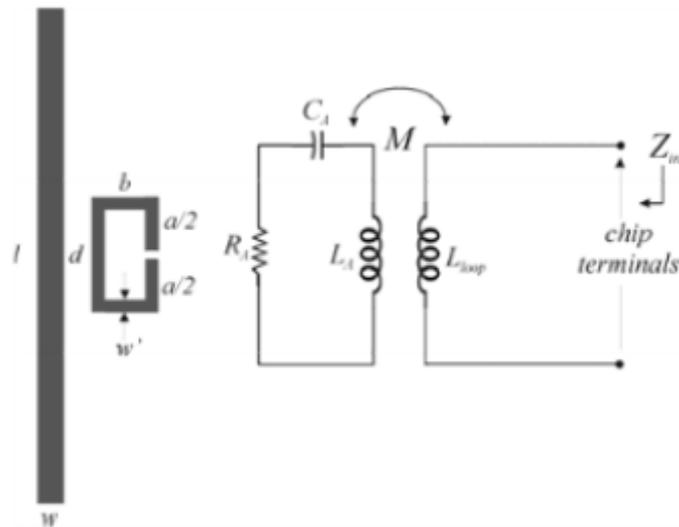


Figure I-21 La boucle à couplage mutuel et le circuit équivalent [I.4].

I.7.3 Nested-slot

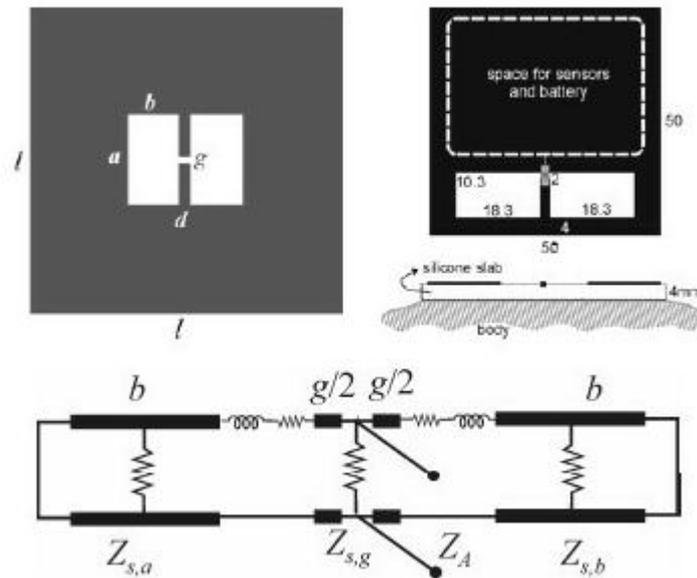


Figure I-22 La configuration de Nested-slot [II.4].

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 I-22. 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.

I.7.4 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 I-23). 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 en circuit ouvert, pour que la tension de ligne de transmission ne génère aucun courant du tout.

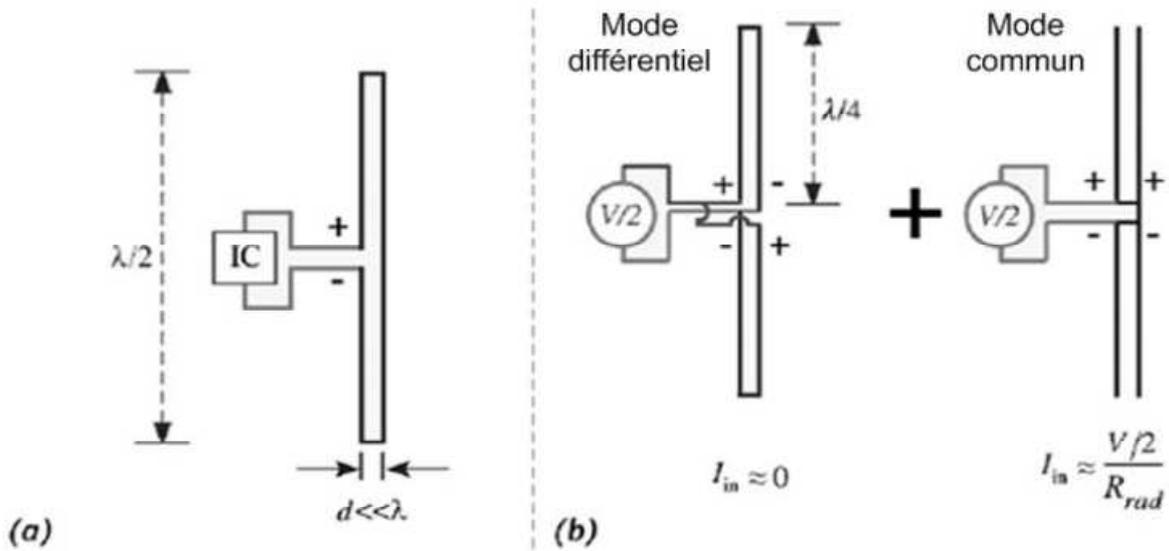


Figure I-23 a) Dipôle replié b) Tension en décomposant en modes différentiel et commun [I.8].

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 260-280Ω [I.8].

Les variantes du dipôle replié sont aussi utilisées dans des tags commercialisés. Les conceptions de l'Ali en Technology I-tag peuvent être considérées comme les dipôles repliés avec des inductances parallèles/séries (figure I-24).

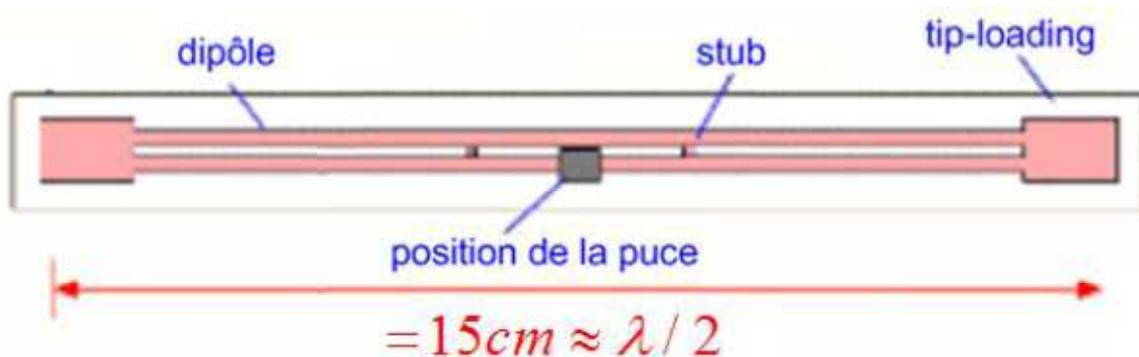


Figure I-24 Dipôle replié avec des structures d'adaptation d'impédance [I.8].

I.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une vue générale sur la technologie RFID et ses avantages, notamment dans les applications civiles. En outre, nous avons présenté la structure et les normes d'un système RFID. Ainsi, nous pouvons mieux identifier les caractéristiques et les propriétés de chaque composante les différentes techniques d'adaptation pour le système RFID.

Le second chapitre sera consacré à l'étude des antennes boucles magnétiques.

Références bibliographiques

- [I.1] D. M. Dobkin, « The RF in RFID: passive UHF RFID in practice », Newnes, 2007.
- [I.2] RFID Journal disponible à : <http://www.rfidjournal.com/articles/view?1338/>.
- [I.3] A. Pouzin, « Qualification d'éléments RFID en environnement opérationnel », mémoire de thèse, Université Grenoble-Alpes, LCIS, France, Décembre 2009.
- [I.4] V.D. Hunt, A. Puglia and M. Puglia, « RFID: A guide to radio frequency identification », John Wiley and Sons, 2007.
- [I.5] K. Finkenzeller, « RFID Handbook: fundamentals and applications in contactless Smart cards, radio frequency identification and near-field communication », 3th edition, Wiley, 2010.
- [I.6] GS1, « EPC™ Radio-frequency identity protocols generation-2 UHF RFID », disponible à: <http://www.gs1.org/>.
- [I.7]. Himanshu Bhatt and Bill Glover, "RFID Essentials", 1st edition, O'Reilly Media, 2006.
- [II.8]. J. 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.
- [I.10]. Harvey Lehpamer, "Design Principles", Artech House, 2008.
- [I.11]. P. Hauet, "L'Identification par Radiofréquence (RFID) Techniques et Perspectives", REE No.10, Novembre 2006. Available online from:
http://www.kbintelligence.com/fileadmin/pdf/RFID_REE_JPH.pdf
- [I.12]. G. Avoine, "RFID et Sécurité Font-Elles Bon Ménage?", SSTIC06, Symposium sur la sécurité des technologies de l'information et de la communication, Rennes, 31 mai, 1-2 Juin 2006.

- [I.13]. Klaus Finkenzeller, “RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification”, 2nd edition, John Wiley & Sons, 2003.
- [I.14]. Daniel Dobkin, “RF in RFID: Passive RFID UHF in Practice”, Newnes, 2008.
- [I.15]. [Http://mwrf.com/systems/extend-active-rfid-zigbee-network](http://mwrf.com/systems/extend-active-rfid-zigbee-network)
- [I.16]. IDTechEx, <http://www.idtechex.com/>.
- [I.17] S. Preradovic, I. Balbin, N. Karmark, G. F. Swiegers, « Multiresonator-based chipless RFID system for low-cost item tracking », in IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol.57, n.5, pp. 1411-1419, May 2009.
- [I.18] K. Sangkil, J. Cooper, M.M. Tentzeris, R. Herre, S. Gu and T. Lasri, « A novel inkjetprinted chipless RFID-based passive fluid sensor platform », IEEE Sensors 2013, pp. 14, November 2013.
- [I.19] NXP, « SL3S1203_1213 UCODE G2iL Product data sheet », disponible à http://www.nxp.com/documents/data_sheet/SL3S1203_1213.pdf.
- [I.20] Impinj, « Monza®5 tag chip datasheet 3-24-14 », disponible à <https://support.impinj.com/hc/en-us/articles/202756948-Monza-5-Tag-Chip-Datasheet>.
- [I.21] D. M. Dobkin and S. M. Weigand, « Environmental effects on RFID tag antennas », International Microwave Symposium Digest, pp. 12-17, June 2005.
- [I.22] P. V. Nikitin, K.V.S. Rao and S. Lazar, « An overview of near field UHF RFID, » IEEE International Conference in RFID, pp. 167-174, March 2007.
- [I.23] X. Qing and Z. N. Chen, « UHF near-field RFID antennas », IEEE Int. Workshop on Antenna Technology, 2010.
- [I.24] C. R. Medeiros, J. R. Costa et C. A. Fernandes, « RFID reader antennas for tag detection in self-confined volumes at UHF », IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 53, n° 2, April 2011.
- [I.25] A.C. de Souza, Y. Duroc, T.P. Vuong and A. Luce, « A near-field and far-field antenna for UHF RFID applications », IEEE-APS APWC, pp.1240-1243, September 2013.

- [I.26] B. Shrestha et al, « UHF RFID reader antenna for near-field and far-field operations », IEEE Antennas and Wireless Propagation L., vol. 10, pp.1274-1277, November 2011.
- [I.27] A. L. Popov *et al*, « Magnetic field intensity in near field zone of loop antenna for RFID systems », Technical Physics Letters, vol. 36, n° 10, pp. 882–884, 2010.
- [I.28] D. M. Dobkin et al, « Segmented magnetic antennas for near-field UHF RFID », Microwave Journal, vol. 50, n° 6, June 2007.
- [I.29] M. Frank and P. Enoksson, « Phase compensated transmission line for leakage field coupling in UHF RFID applications », IEEE EuCAP 2013, pp. 1702-1706, April 2013.
- [I.30] A. Ren, C. Wu, Y. Gao et Y. Yuan, « A robust UHF near-Field RFID reader antenna », IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 66, n° 4, April 2012.
- [I.31] A. Michel, R. Caso, A. Buffi, P. Nepa et G. Isola « Meandered TWAS array for near-field UHF RFID applications », Electronics Letters, vol. 50, pp.17-18, January 2014.
- [I.32] A.C. de Souza, Y. Duroc, T.P. Vuong, and A. Luce, « Differential power calculation to RFID UHF passive tags characterization », IEEE RFID Brasil 2014, in press.
- [I.33] J. D. Krauss, « Antennas for all applications », 2nd edition, McGraw-Hill, 1997.
- [I.34]. Daniel Dobkin, “RF in RFID: Passive RFID UHF in Practice”, Newnes, 2008.

Chapitre II : Les antennes boucle magnétique

II.1 Introduction

Un type d'antenne simple, peu coûteux, et très polyvalent est l'antenne en boucle. L'antenne boucle prennent de nombreuses formes différentes, comme un rectangle, carré, triangle, ellipse, cercle, et bien d'autres configurations. En raison de la simplicité dans l'analyse et la construction, la forme circulaire est la plus populaire et elle a reçu la plus grande attention.

Les antennes boucle sont généralement classés en deux catégories, les électriquement petites et électriquement grandes. Les antennes électriquement petites sont ceux dont la longueur hors tout (circonférence) est généralement inférieure à environ un dixième de longueur d'onde ($C < \lambda / 10$). Cependant, Les boucles électriquement grandes sont celles dont la circonférence est d'environ une longueur d'onde en espace libre ($C \sim \lambda$).

Les antennes boucle électriquement petites avec circonférences ou périmètres ont de petites résistances de rayonnement qui sont généralement plus petits que leurs résistances de perte. Ainsi, ils sont des radiateurs très pauvres, et ils sont rarement utilisés pour la transmission en communication radio. Quand ils sont utilisés dans une telle application, il est généralement dans le mode de réception, tels que des radios portables et les téléavertisseurs, où l'efficacité de l'antenne est moins importante que le rapport signal sur bruit. Ils sont également utilisés en tant que sondes pour les mesures sur le terrain et que les antennes directionnelles pour la navigation des ondes radioélectriques.

Les antennes à boucle magnétique est constituée d'un fil conducteur ayant une forme de boucle qui retour sur lui-même on trouve sous forme carrée, rectangulaire, circulaire ou losange.

Pour différent dimensions de la boucle, le rayonnement peut être longitudinal ou transversal. Ce dispositif est très utilisé pour la réception de la radiodiffusion sous la forme d'un cadre sur lequel sont enroulées plusieurs spires. Les systèmes RFID (identification radiofréquence) utilisent également ce dispositif comme antenne (Figure II-1). Sensibles au champ magnétique, les boucles magnétiques, sont utilisées également pour la détection d'objets métalliques.

II.2 Principe de la boucle magnétique

L'antenne boucle est constituée de la composante magnétique de l'onde émise, la composante électrique du champ se reconstitue à quelques distances de l'antenne. C'est l'opposé d'une antenne classique (dipôle, long fil, verticale) qui est en résonance sur la composante électrique uniquement. (Les parasites sont surtout véhiculés par le champ électrique) Sensible au champ magnétique et non au champ électrique, elle fournit une tension proportionnelle à ce champ. Elle fournit donc une tension proportionnelle à la fréquence, et ce coefficient de surtension étant très élevé, avec de surcroît une résistance de rayonnement très faible. [II.1].

L'agencement géométrique le plus commode pour l'analyse du champ d'une antenne en boucle est de positionner l'antenne de manière symétrique dans le plan x-y à $z = 0$, Le fil est supposé être très mince.

Bien que ce type de répartition actuelle soit exact seulement pour une antenne en boucle avec une très petite circonférence, une répartition plus complexe rend la formulation mathématique assez lourde.

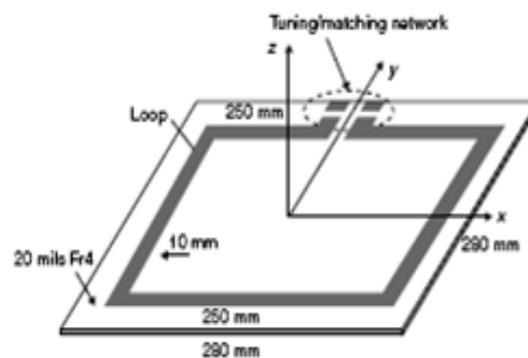


Figure II-1 Antenne boucle carrée pour une application RFID. [II.3]

II.3 Types d'antennes boucle magnétique

II. 3.1 Antenne cadre

On distingue deux familles d'antennes cadre : les grandes boucles dont la longueur totale est de l'ordre d'une longueur d'onde et les petites antennes cadres accordées comme des circuits oscillants. Une antenne cadre (loop antenna) consiste en une grande spire qui peut prendre différentes formes (figure II.2) dont la plus performante est celle du cercle parce qu'elle présente la plus grande surface possible avec un périmètre donné.

Pour une direction perpendiculaire au plan de la boucle, les courants dans les doublets sont parfaitement égaux, de signes inversés deux à deux et en phase. Il n'y a donc ni rayonnement , ni réception.

II.3.2 Antenne triangle

La forme en triangle ou delta loop peut être orientée avec la pointe en haut ou en bas.

II.3.3 Antenne rectangle

Le rectangle n'est pas exclu mais ne sera utilisé qu'en dernier recours. Comme le dipôle, c'est une antenne mono bande, c'est à dire qu'il faudra tailler une boucle par bande, en les installant éventuellement sur le même support. Toutefois certaines dispositions permettent de travailler sur plusieurs bandes. [II.4]

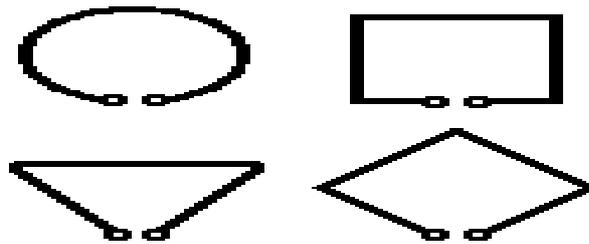


Figure II-2 Type d'antennes boucle.

II.4 Analyse des champs

II.4.1 Champ H

La figure II.3 montre les vecteurs du champ H produit par la circulation d'un courant i dans la boucle.

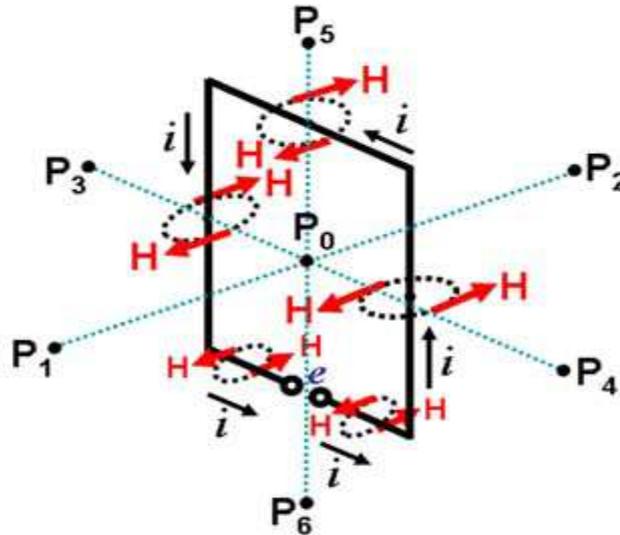


Figure II-3 Champ H

Plaçons-nous dans le plan de la boucle au point P_0 au centre de celle-ci et regardons les quatre dipôles. Nous constatons que tous les vecteurs champs H sont dirigés dans le même sens et ils s'ajoutent. En tout point à l'intérieur de la boucle, il y a un champ H avec une distribution du flux qui dépend de la géométrie de celle-ci.

Ecartons nous du point P_0 sur un axe perpendiculaire au plan pour arriver aux points P_1 ou P_2 .

Au fur et à mesure que l'on s'éloigne du plan, les vecteurs H de deux dipôles opposés s'inclinent l'un vers l'autre et à une distance suffisante (>100 dia. de la boucle), ils sont dirigés en sens inverse et s'annulent.

Maintenant, écartons nous du point P_0 , mais dans le plan et à l'extérieur de la boucle (points P_3 , P_4 , P_5 et P_6). Nous constatons que les champs de deux dipôles opposés s'annulent également.

En conclusion, le champ H s'annule très rapidement à l'extérieur d'une boucle très petite devant λ et parcourue par un courant constant (boucle élémentaire). [II.2]

II.4.2 Champ E

Il s'agit du champ électrique créé par la variation du champ magnétique. Son vecteur est dirigé dans le même sens que le vecteur courant qui a fait naître le champ magnétique. Considérons la figure II-4.

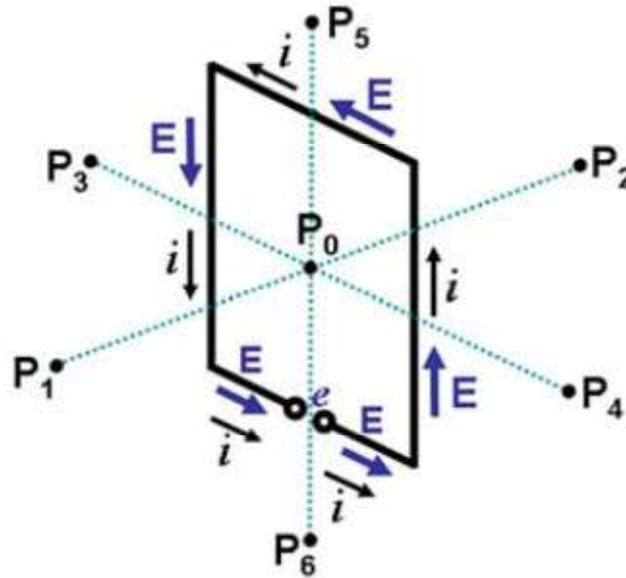


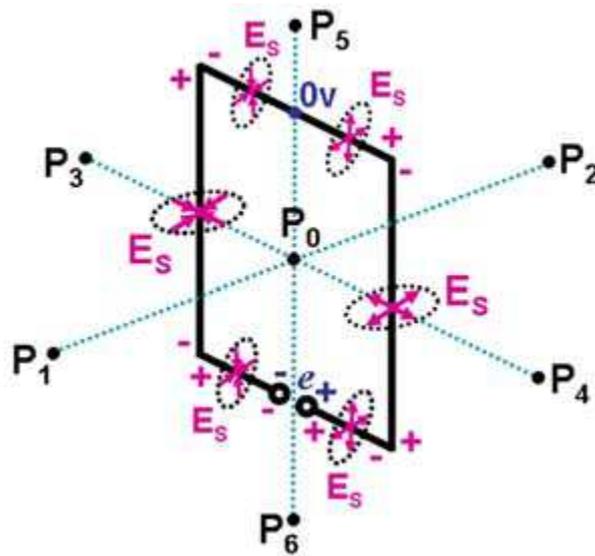
Figure II-4 Champ E

Nous voyons que quelle que soit la position du point sur l'axe P_1, P_0, P_2 , les champs E produits par deux dipôles opposés s'annulent. Il en va de même pour les points P_3 à P_6 situés dans le plan.

En conclusion, avec une boucle très petite devant λ parcourue par un courant constant (boucle élémentaire), le champ E produit reste collé au conducteur et diminue très rapidement dès que l'on s'éloigne de celui-ci, même à l'intérieur de la boucle.

II.4.3 Champ E_s (électrostatique)

Puisqu'à cause de la self-induction, la boucle présente une différence de potentiel, il y a donc production d'un champ électrostatique E_s . Avec une boucle carrée, ce champ est la composition des champs E_s des quatre dipôles électriques mis bout à bout, comme montré sur la figure II-5.

Figure II-5 Champ E_s .

Comme pour le champ E , on peut constater que le champ E_s est nul pour tous les points et qu'il reste collé au conducteur.[II.2].

II.5 Caractéristique de boucle magnétique

Pour qu'une boucle rayonne, il faut que le champ E généré ne soit pas nul dans au moins une direction (le champ E_s ne joue aucun rôle). Il faut donc que le système soit déséquilibré, ce qui ne se fera qu'avec des dimensions qui ne soient plus négligeables devant la longueur d'onde. On fera alors intervenir le retard des potentiels, postulat admis à l'origine du rayonnement. Considérons la figure II-6.

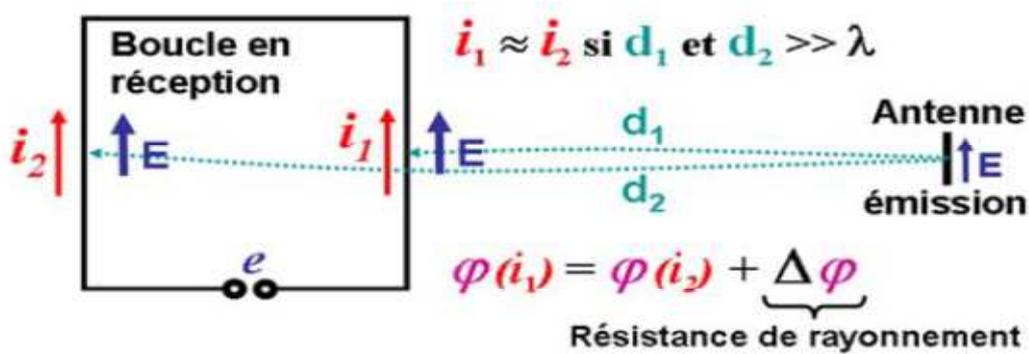


Figure II.6 Rayonnement

Noter que l'on fait ici l'analyse en réception et avec le champ E car c'est plus simple. Mais on pourrait le faire en émission et/ou avec le champ H.

Les deux doublets horizontaux ont l'émission "dans les pointes" et ne captent rien. Si la source était déplacée de 90° dans le plan, les paires de dipôles seraient inversées. Et si la source était dans une position intermédiaire, tous les dipôles capteraient une partie du champ, selon leur orientation.

Si la boucle n'est pas chargée, l'énergie captée est re-rayonnée (moins les pertes dans le conducteur) et la boucle présente à ses bornes une f.é.m. e égale à sa hauteur effective multipliée par le champ E reçu.

II.5.1 Polarisation

Par définition, la polarisation est l'angle que fait le vecteur E par rapport à un plan d'référence (le sol pour les antennes). Pour un angle de 0° (vecteur E // au sol), la polarisation est horizontale et elle est verticale pour un angle de 90° .

Pour une petite boucle, le vecteur E étant situé dans le plan de la boucle, sa polarisation est la direction de son plan par rapport au sol : H pour une boucle horizontale et V pour une boucle verticale.

II.5.2 Le Rayonnement

L'antenne boucle est principalement inductive, sa capacité propre est assez faible. Sa fréquence de résonance est généralement fixée à l'aide d'une capacité placée en série. De nombreuses formes peuvent être données à cette boucle.

Les boucles constituent le deuxième type d'antenne le plus courant. Nous allons considérer le cas d'une boucle circulaire dont le rayon b est petit devant la longueur d'onde. Les équations II.1 à II.4

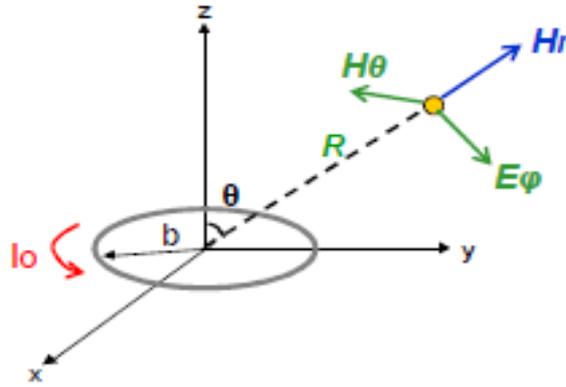


Figure II-7 Champ rayonné par une boucle

Donnent les expressions générales des champs électriques et magnétiques générées par cette antenne

$$H_r \approx j \frac{2\omega\mu\beta_0^2}{4\pi\eta_0} \times I\pi b^2 \times \cos \theta \times \left(\frac{1}{\beta_0 r} - j \frac{1}{\beta_0^3 r^3} \right) \times e^{-j\beta_0 r} \quad \text{II.1}$$

$$H_\theta \approx j \frac{\omega\mu\beta_0^2}{4\pi\eta_0} \times I\pi b^2 \times \sin \theta \times \left(j \frac{1}{\beta_0 r} + \frac{1}{\beta_0^2 r^2} - j \frac{1}{\beta_0^3 r^3} \right) \times e^{-j\beta_0 r} \quad \text{II.2}$$

$$E_\varphi \approx -j \frac{\omega\mu\beta_0^2}{4\pi\eta_0} \times I\pi b^2 \times \sin \theta \times \left(j \frac{1}{\beta_0 r} + \frac{1}{\beta_0^2 r^2} \right) \times e^{-j\beta_0 r} \quad \text{II.3}$$

$$H_\varphi = E_r = E_\theta \quad \text{II.4}$$

L'antenne présente une symétrie de révolution puisque le champ ne dépend pas de φ . Les expressions sont proches de celles du dipôle électrique. La boucle élémentaire est aussi appelée dipôle magnétique. Les équations du champ font aussi apparaître des termes réels et imaginaires, qui vont correspondre à la puissance active (onde progressive) et réactive (onde stationnaire). [II.2]

II.5.2.a Région de champ proche ($k_r \ll 1$)

Les observations sont faites dans le champ proche ($k_r \ll 1$). En ce qui concerne le dipôle infinitésimal, le terme prédominant dans chaque expression du champ dans la région proche de la zone. Ainsi, pour $k_r \ll 1$:

$$\left. \begin{aligned} H_r &\approx \frac{b^2 \beta_0 e^{-jkr}}{2r^3} \cos \theta \quad (a) \\ H_\theta &\approx \frac{b^2 \beta_0 e^{-jkr}}{4r^3} \sin \theta \quad (b) \\ E_\varphi &= E_r = E_\theta = 0 \quad (c) \\ E_\varphi &\approx -j \frac{b^2 k \beta_0 e^{-jkr}}{4r^2} \sin \theta \quad (d) \end{aligned} \right\} k_r \ll 1 \quad \text{II.5}$$

Les deux composantes H-champ sont en temps-phase. Cependant, ils sont en quadrature temporelle avec celles du champ électrique. Cela indique que la puissance moyenne (puissance réelle) est égale à zéro, ce qui est pour le dipôle électrique infinitésimal. La condition de $k_r \ll 1$ peut être satisfaite à des distances modérées de l'antenne à condition que la fréquence de fonctionnement soit très faible. Les champs de (II.5a) - (II.5d) sont généralement appelés quasi-stationnaire. [II.5][II.6]

II.5.2.b Région de champ lointain ($k_r \gg 1$)

L'autre espace d'intérêt où les champs peuvent être estimés est la région de champ lointain ($k_r \gg 1$). Contrairement au champ proche, pour $k_r \gg 1$ est la première dans les parenthèses. Étant donné que pour $kr > 1$ la composante H_r sera inversement proportionnelle à r^2 alors H_θ sera inversement proportionnelle à r . Pour les grandes valeurs de k_r ($k_r \gg 1$), la composante H_r sera faible par rapport à H_θ . Par conséquent, on peut supposer qu'elle est à peu près égale à zéro. Par conséquent, pour ($k_r \gg 1$),

$$\left. \begin{aligned} H_\theta &\approx \frac{k^2 b^2 \beta_0 e^{-jkr}}{4r} \sin \theta = -\frac{\pi S \beta_0 e^{-jkr}}{\lambda^2 r} \sin \theta \quad (a) \\ E_\varphi &\approx \eta \frac{k^2 b^2 \beta_0 e^{-jkr}}{4r} \sin \theta = \eta \frac{\pi S \beta_0 e^{-jkr}}{\lambda^2 r} \sin \theta \quad (b) \end{aligned} \right\} k_r \gg 1 \quad \text{II.6}$$

$$H_r \approx H_\varphi = E_r = E_\theta = 0 \quad (c)$$

Où $S = \pi b^2$ est la surface géométrique de la boucle.

L'impédance d'onde peut être écrite comme suit :

$$Z_w = -\frac{E_\varphi}{H_\theta} \approx \eta \quad \text{II.7}$$

Où Z_w = impédance d'onde

η = impédance intrinsèque

En ce qui concerne le dipôle infinitésimale, les composants E- et le champ dH de la boucle dans la Région de champ lointain ($k_r \gg 1$) sont perpendiculaires les unes aux autres et transversalement à la direction de propagation. Ils forment un champ Electro magnétique Transverse (TEM) dont l'impédance d'onde est égale à l'impédance intrinsèque du milieu. Les équations (II-7a) - (II-7c) peuvent également être obtenues en utilisant la procédure décrite et les relations développées dans le livre [II.5].

II.5.3 Diagramme de rayonnement

La fonction caractéristique de rayonnement est égale à :

$$r(\theta) = \sin^2(\theta) \quad \text{II.8}$$

On peut tracer le diagramme de rayonnement de la figure II-6.

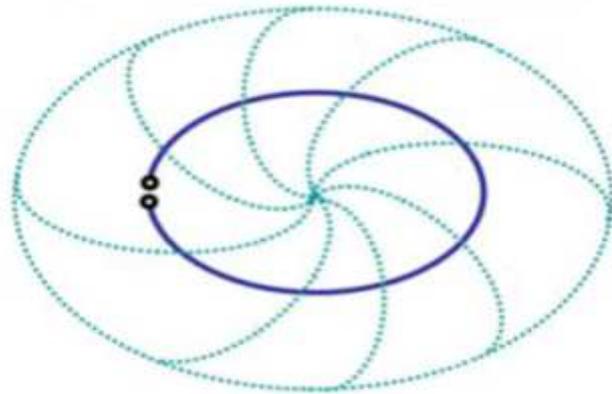


Figure II-8 Diagramme de rayonnement de la boucle élémentaire.

Nous avons une forme de tore, comme pour le doublet (électrique), mais avec le nul dans la direction du champ H au lieu de celle du champ E avec le doublet. C'est pourquoi la boucle élémentaire est parfois appelée "doublet magnétique". Mais il y a une différence fondamentale lorsque la longueur d'un doublet augmente, il conserve un nul dans sa direction, alors que lorsque le diamètre de la boucle augmente, le nul disparaît peu à peu. En effet, quand le diamètre augmente, on ne peut plus considérer un courant et une phase constants dans la boucle et il n'y a plus compensation dans une direction perpendiculaire à son plan. Mieux même, quand une boucle carrée (alimentée au centre d'un côté) atteint pour son côté

une longueur égale à $\lambda/4$ (quad), le maximum de rayonnement a lieu dans une direction perpendiculaire à son plan et il y a un nul. [II.2]

II.5.4 La directivité

La directivité de l'antenne est égale à

$$D(\theta) = \frac{3}{2} \sin^2(\theta) \quad \text{II.9}$$

Elle est identique à celle du dipôle électrique.

II.5.5 Le gain

Si les pertes sont négligeables, le gain de l'antenne est de 1.5 ou 1.76 dBi. L'angle d'ouverture à 3 dB est de 90° .

II.5.6 La résistance de rayonnement

Soit S la surface de la boucle, la résistance de rayonnement est égale à :

$$R_{rad} = 31170 \times \left(\frac{S}{\lambda^2}\right)^2 \quad \text{II.10}$$

Plus le rapport entre la surface de la boucle sur la longueur d'onde augmente, plus le rayonnement devient plus efficace.

II.5.7 Le facteur de qualité

Le facteur de qualité d'une petite boucle créée avec un fil de rayon r_w est donné par

$$Q = \frac{6 \left(\ln \frac{b}{r_w} - 2 \right)}{(\beta r)^3} \quad \text{II.11}$$

II.6 Conclusion

Les antennes boucles ont des propriétés et des caractéristiques, selon lesquelles elles sont valorisées. Alors, pour assurer un bon fonctionnement, il faut choisir celle la plus adaptée à l'application envisagée. Dans le cas de la technologie RFID les antennes boucles sont les plus utilisées.

Références bibliographiques

- [II.1] Fatiha El Hatmi. Conception d'antennes de communication a travers le corps humain pour le suivi therapeutique. Autre.Universite Paris-Est, 2013.
- [II.2] Boucle magnétique Par le radio-club F6KRK
- [II.3] Cours antennes Alexandre Boyer
- [II.4] Site web<http://f5zv.pagespersoorange.fr/RADIO/RM/RM08/RM08d/RM08d02.html>
- [II.5] Constantine A. Balanis“Antenna.Theory.Analysis.and.Design (3rd.Edition) ”2005 by John Wiley & Sons.
- [II.6]. Elecromagnetic wave and antenna Sophocles J. Orfanidis Rutgers University

Chapitre III : Simulations d'antennes boucle magnétique

III.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à l'étude et la conception de quelques structures d'antennes tags RFID UHF passifs en utilisant le logiciel CST MICROWAVE STUDIO (Computer Simulation Technology).

Dans un premier temps, nous présenterons quelques géométries d'antennes adaptées à une alimentation à 50 Ω . Dans un second temps, nous passerons à des antennes plus appropriées à cette technologie, il s'agit d'antennes adaptées aux puces. Pour cela, nous allons utiliser quelques techniques permettant d'atteindre cet objectif, de plus il faut respecter la méthodologie de conception des antennes tags RFID.

III.2 Méthodologie de conception de l'antenne tag RFID UHF passif

La conception d'antenne tag RFID UHF passif nécessite de mettre en œuvre une méthodologie de développement dont l'organigramme est présenté dans la figure III-1 [III.1]. Lors de la sélection des applications RFID, les exigences et contraintes du système seront mises en correspondance avec les exigences de l'étiquette. L'étiquette sera conçue le plus souvent à l'aide de logiciel de simulation électromagnétique 3D, afin d'optimiser les performances comme la distance de lecture, le gain, l'impédance de l'antenne, Une fois la conception terminée, nous réalisons les antennes et les mesurons pour s'assurer si la conception satisfait aux besoins de l'application. S'il est satisfait, le processus de conception sera réussi. Dans le cas contraire, il faut continuer à l'adapter et l'optimiser jusqu'à ce que les exigences soient satisfaites. Dans notre étude, on se limite à la phase de conception et d'optimisation sous le logiciel CST.

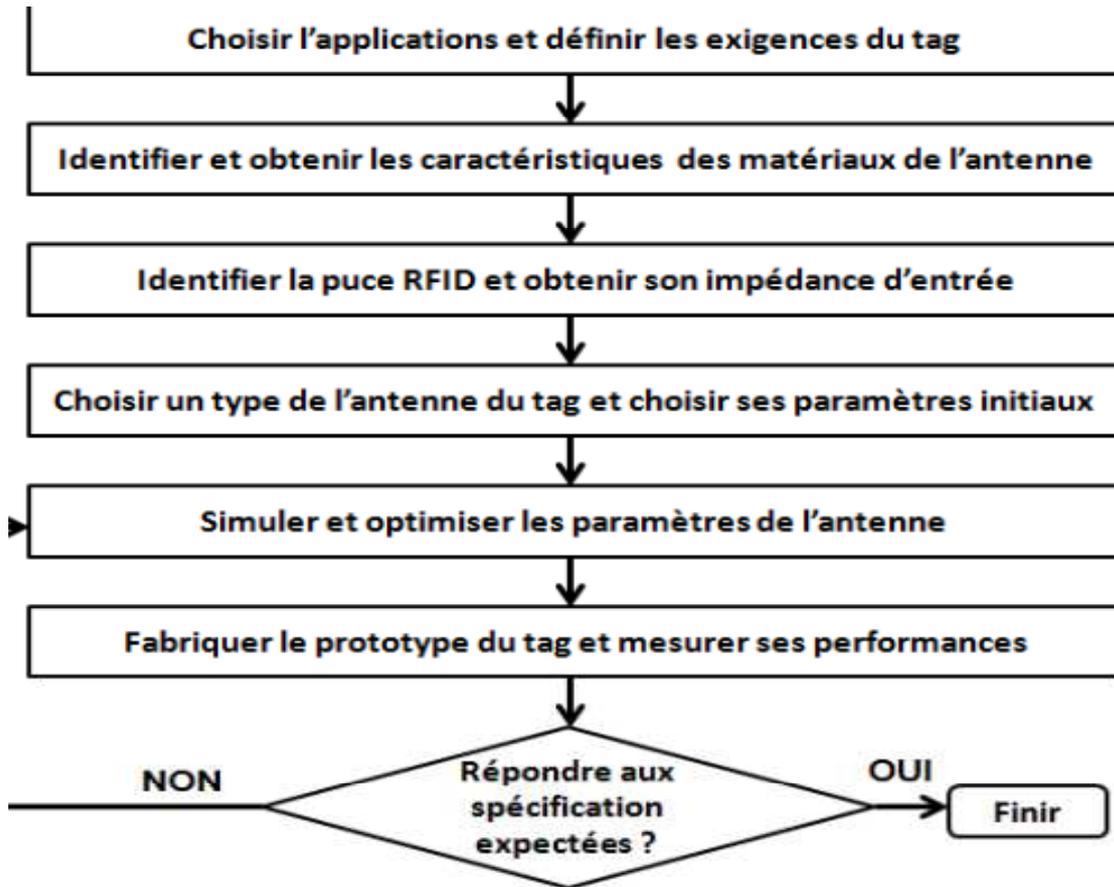


Figure III-1 Méthodologie de conception d'antenne des tags RFID UHF passifs.

III.3 Caractérisation des puces RFID passives

Pour faire la conception des antennes RFID, il faut connaître tout d'abord la valeur de l'impédance qui est présentée à l'entrée de l'antenne qui doit avoir une valeur d'impédance égale au conjugué de l'impédance de la puce qui lui est présentée afin que se produise le maximum de transfert d'énergie pour alimenter la puce RFID.

Dans notre étude, deux différents types de puces ont été mises en œuvre (tableau III-1)

| Composant | Impédance (Ω) |
|-----------|------------------------|
| Puce 1 | 31-j320 |
| Puce 2 | 7.4-j122 |

Tableau III-1 Caractérisation des puces.

III.4. Simulation d'antennes tags RFID UHF passifs

III.4.1 Antenne dipôle alimentée par couplage en forme de boucle

Avant de passer à la présentation de nos propres configurations, nous allons considérer la structure d'antenne présentée par Ghiotto dans la référence [III.2], afin de valider notre utilisation du logiciel de conception CST.

La structure se présente sous la forme d'une antenne dipôle alimentée par couplage forme de boucle, telle qu'on peut le voir à la figure III-2.

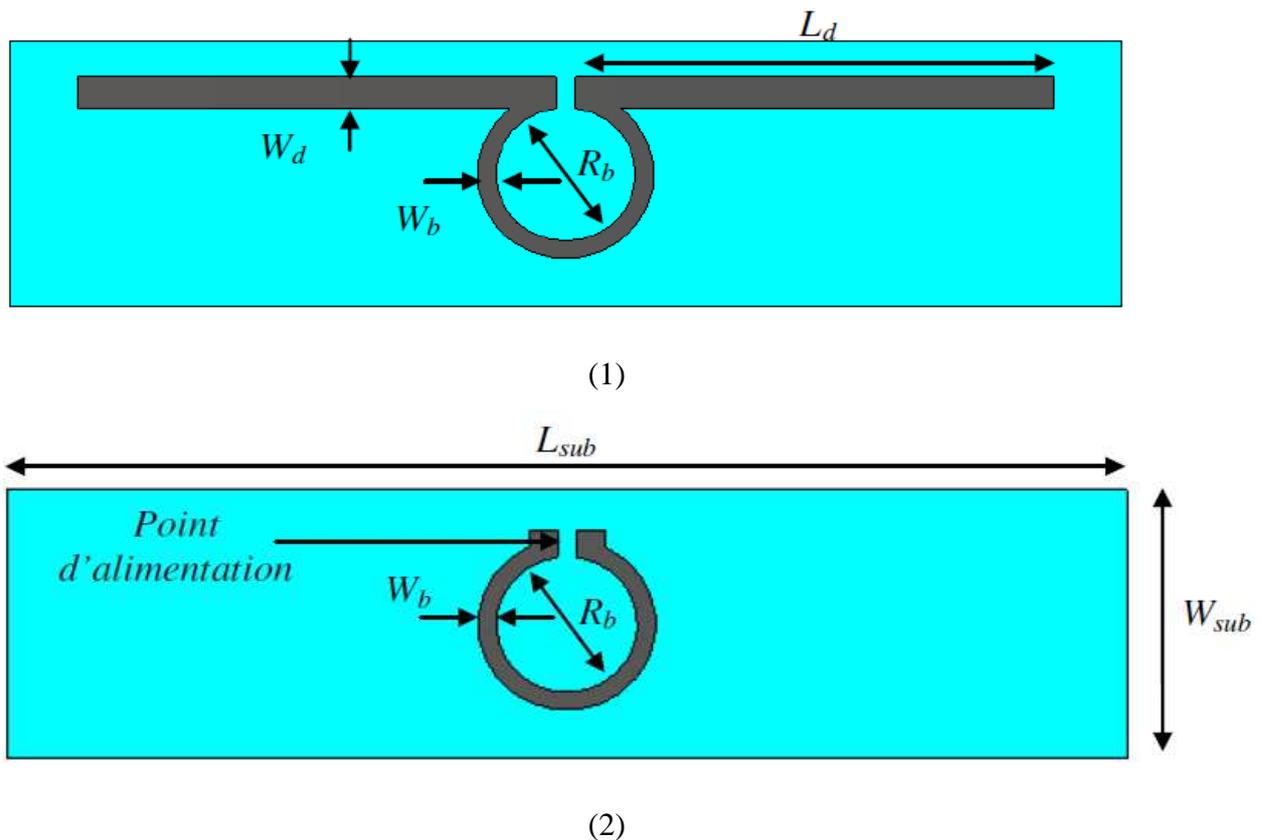


Figure III-2 Géométrie de l'antenne alimentée par couplage.

(1) Vue de dessus. (2) Vue de dessous.

- sur la première face, il réalise l'antenne dipôle,
- sur la seconde face, il réalise la boucle d'alimentation avec le port de connexion à la puce RFID.

Le tableau III.2 présente les paramètres propres de l'antenne réalisée par Antony Ghiotto.

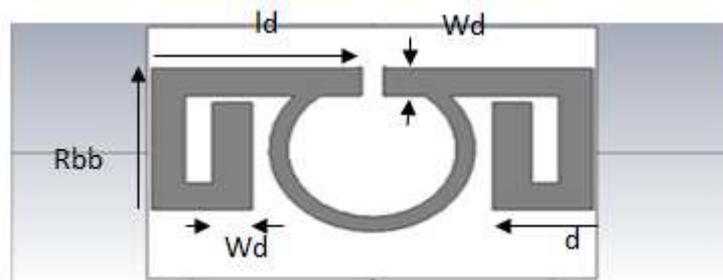
| Variable | Mm |
|-----------|------|
| Lsub (mm) | 120 |
| Wsub (mm) | 30 |
| Ld (mm) | 51.8 |
| Wd (mm) | 3.5 |
| Wb (mm) | 2 |
| Rb (mm) | 7.5 |

Tableau III-2 Paramètres de l'antenne dipôle alimentée par couplage.

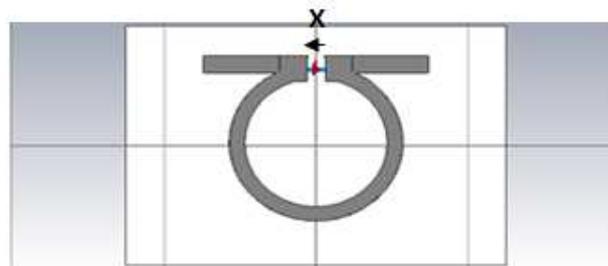
III.4.1.a Conception de l'antenne Tag en utilisant la première puce

Cette antenne est destinée à fonctionner en bande UHF à la fréquence 868 MHz normalisée pour applications RFID. L'antenne est faite du cuivre avec une épaisseur de 0,13 mm et elle est déposée sur un substrat de type FR4 de permittivité $\epsilon_r = 4.25$, d'une hauteur $t_s = 1.54$ mm. La taille du substrat est 50×35 mm².

Nous avons réalisé la conception de cette antenne à l'aide du logiciel CST, La figure III-3 représente la structure conçue sous le logiciel CST :



(1) Vue de dessus



(2) Vue de dessous

Figure III-3 Structure de l'antenne

Le tableau III-3 représente les paramètres d'antenne obtenue après l'optimisation.

| Variables | Mm |
|------------------|-----------|
| ld (mm) | 19.74 |
| d (mm) | 11.35 |
| Rb (mm) | 9.37 |
| Rbb (mm) | 7.90 |
| Wb (mm) | 2.06 |
| Wd (mm) | 3.78 |
| X (mm) | 2.03 |

Tableau III-3 Dimensions de l'antenne dipôle alimentée par couplage forme de boucle.

Nous avons simulé l'antenne précédente avec le logiciel CST avec un port discret appliqué au centre pour l'excitation de l'antenne.

Après une étude paramétrique, nous avons obtenu les résultats de l'impédance 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 en variant le paramètre ld.

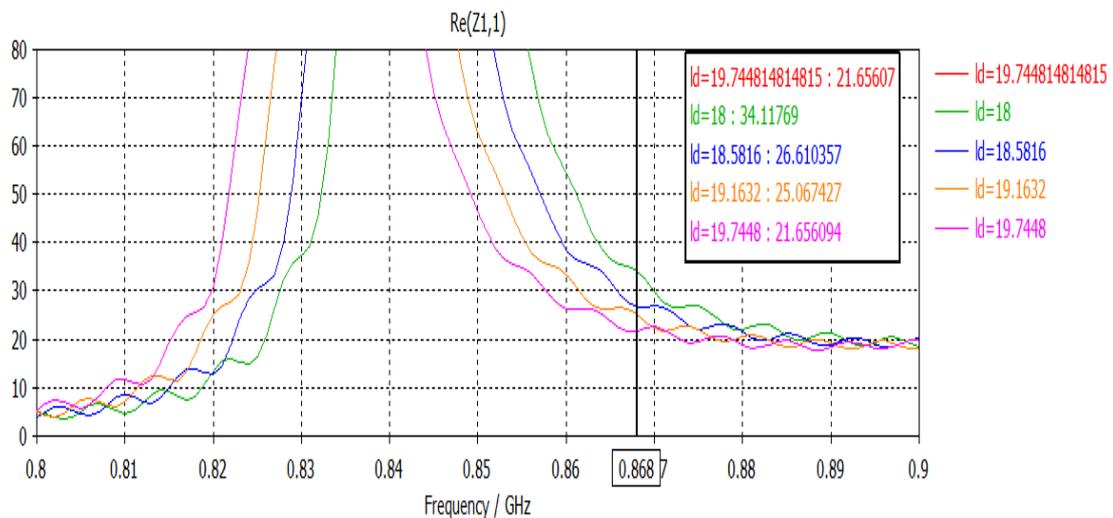


Figure III-4 Simulation de la partie réelle de l'impédance Z_{11} en fonction du paramètre ld.

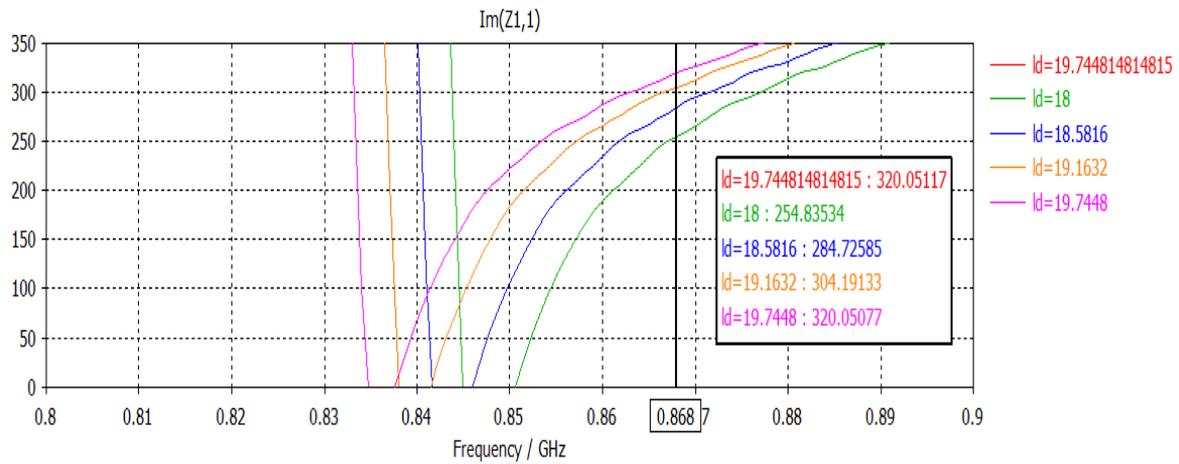


Figure III-5 Simulation de la partie imaginaire de l'impédance z_{11} en fonction du paramètre l_d .

D'après les résultats obtenus après optimisation, nous sommes arrivés aux valeurs finales des paramètres de l'antenne qui sont donnée dans le tableau III-3, qui nous permet d'avoir une impédance de $21.65 + j 320$ Ohm à la fréquence 868 MHz, qui donne une adaptation avec S_{11} le coefficient de l'adaptation qui égal -17.07 dB à la fréquence 868 MHz (figure III-6), avec ROS (< 2) (figure III-7) qui implique que l'antenne est bien adapté à l'antenne.

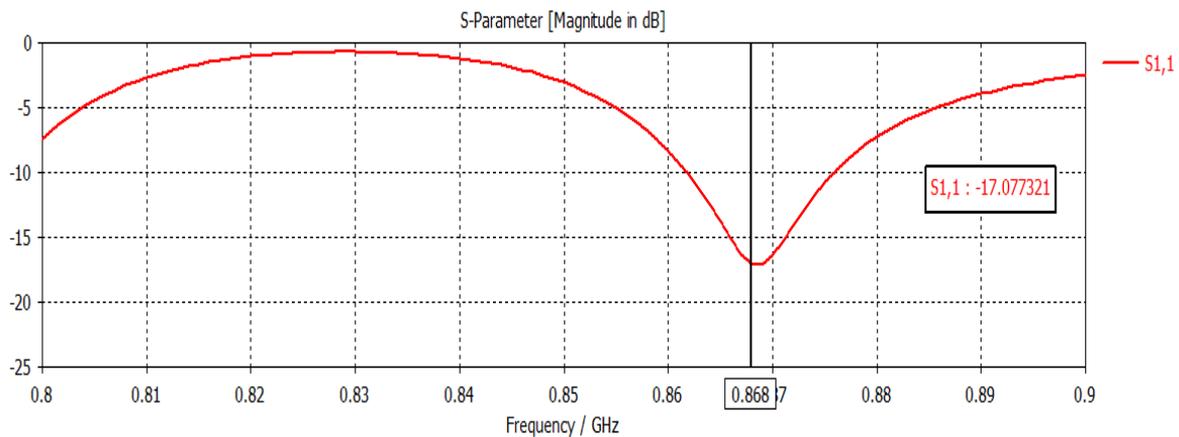


Figure III-6 Le coefficient d'adaptation en fonction de la fréquence.

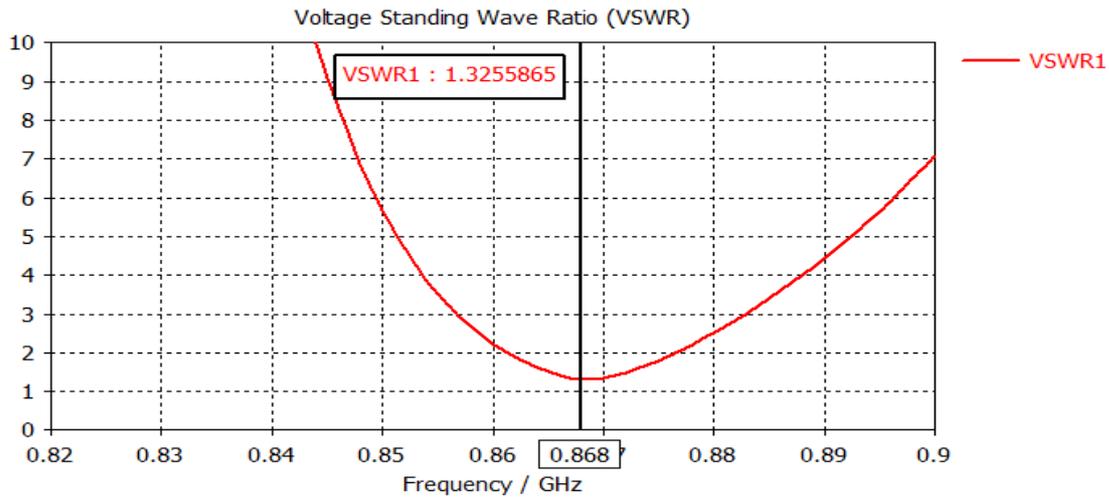


Figure III-7 Rapport d'onde stationnaire (VSWR).

La figure III-8 présente le diagramme de rayonnement avec un gain de 1.82 dBi à la fréquence 868 MHz.

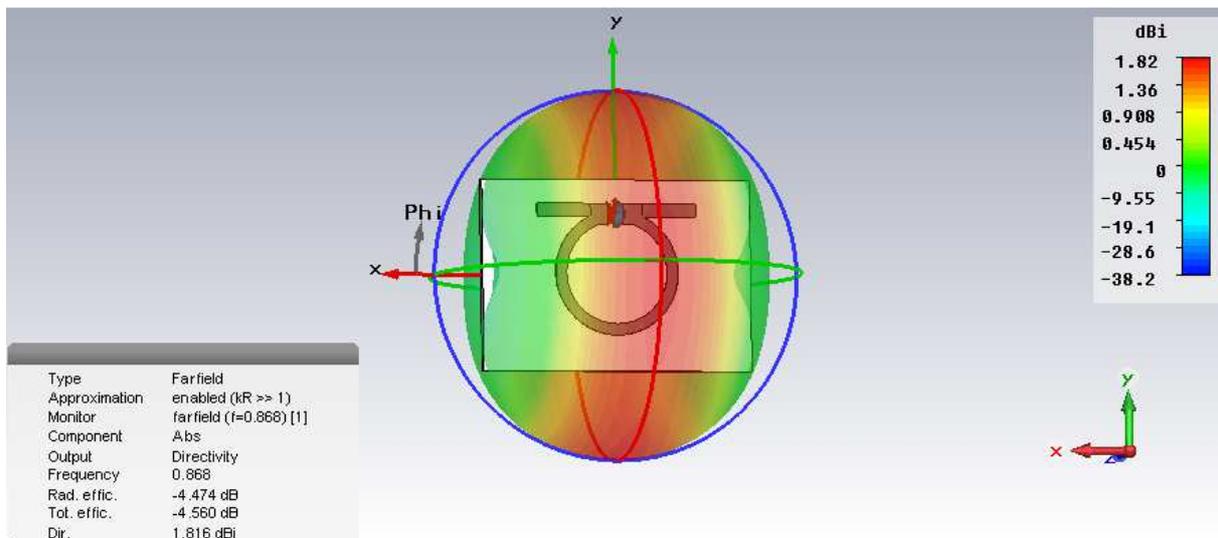


Figure III-8 Diagramme de rayonnement dans la fréquence 868 MHz.

La plus importante caractéristique de performance de l'étiquette est la plage de lecture qui est la distance maximale à laquelle un lecteur RFID peut détecter le signal rétrodiffusé de la balise. Comme la sensibilité du lecteur est généralement élevée en comparaison avec l'étiquette, la plage de lecture est définie par la réponse de seuil de l'étiquette. La plage de lecture est également sensible à l'orientation de l'étiquette, le matériau et à l'environnement de propagation [III.3], la portée de lecture peut être calculée en utilisant une formule d'espace libre de Friis [III.4] qui est donnée comme suit:

$$r = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_t G_t G_r \tau}{P_{th}}} \quad \text{III.1}$$

Où λ est la longueur d'onde, P_t est la puissance transmise par le lecteur, G_t est le gain de l'antenne d'émission, G_r est le gain de l'antenne de réception, P_{th} est la puissance de seuil minimum nécessaire pour fournir suffisamment d'énergie pour la puce de l'étiquette RFID, et τ est le coefficient de transmission de puissance.

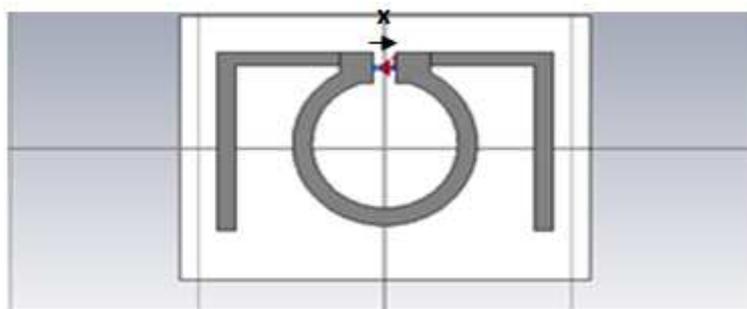
La distance de lecture du Tag a été calculée en utilisant la formule (III.1). En utilisant la même antenne en émission et en réception donc $G_t=G_r$, et compte tenu de la valeur du PIRE = 4W pour le lecteur et la puissance de seuil de la puce qui est $P_{th} = -10$ dBm [III.5]. On peut alors voir que l'étiquette présente une distance de lecture d'environ 6,78 m à 868 MHz.

III.4.1.b Conception de l'antenne Tag en utilisant la deuxième puce

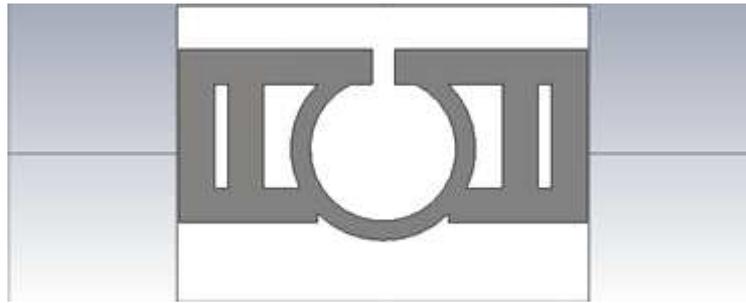
L'adaptation de l'antenne à la deuxième puce nécessite l'utilisation des techniques d'adaptation en ajoutant des techniques d'adaptation à l'extrémité de l'antenne.

L'antenne est faite du cuivre avec une épaisseur de 0,1 mm et elle est déposée sur un substrat de type FR4 de permittivité $\epsilon_r = 4.25$, d'une hauteur $t_s = 1.54$ mm. La taille du substrat est 44×32 mm².

La conception de cette antenne à l'aide du logiciel CST, La figure III-9 représente la structure conçue sous le logiciel CST :



(1) Vue de dessous



(2) Vue de dessus

Figure III-9 Structure de l'antenne pour la deuxième puce

Le tableau III-4 représente les paramètres d'antenne obtenue après la simulation pour la deuxième puce.

| Variables | Mm |
|-----------|------|
| Ld (mm) | 17 |
| d (mm) | 5 |
| Rb (mm) | 7.8 |
| Rbb (mm) | 7.5 |
| Wb (mm) | 2.08 |
| Wd (mm) | 4 |
| X (mm) | 2.03 |

Tableau III-4 Dimensions de l'antenne dipôle alimentée par couplage en forme de boucle

Cas de la Puce 2.

Après une étude paramétrique, nous avons obtenu les résultats de l'impédance Z_{11} pour une excitation de l'antenne adaptée à 50Ω .

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 en variant le paramètre Ld.

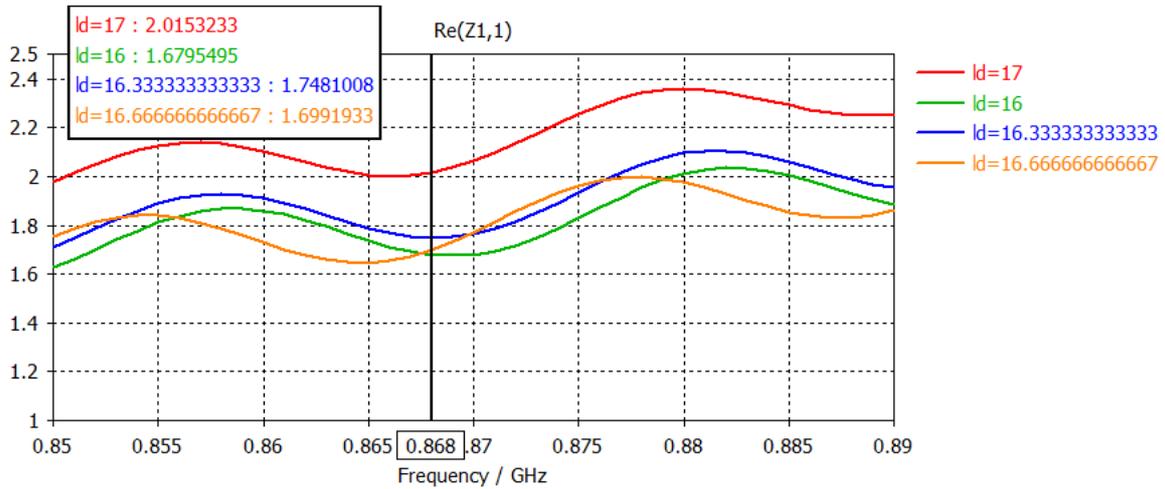


Figure III-10 Simulation de la partie réelle de l'impédance Z11 en fonction du paramètre ld

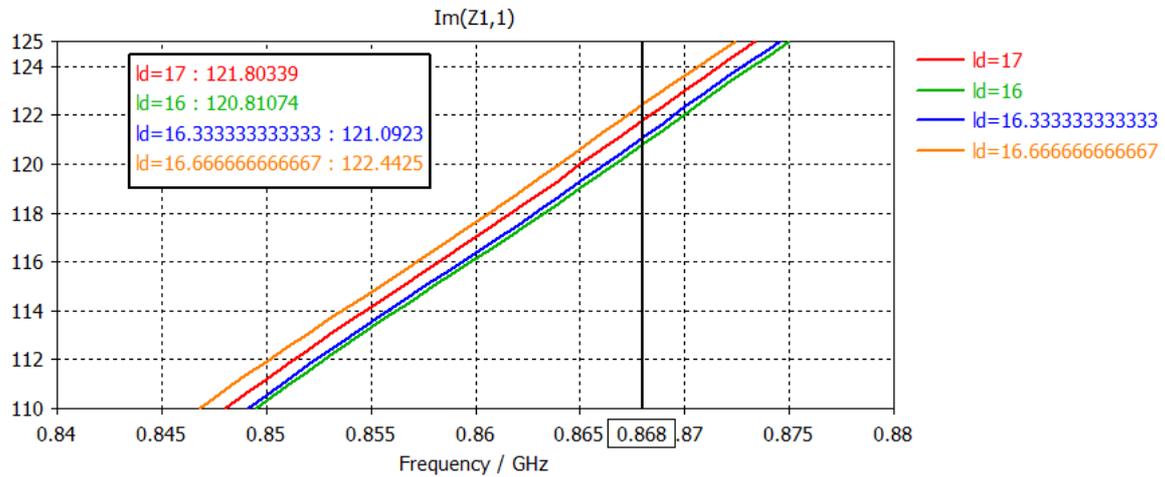


Figure III-11 Simulation de la partie imaginaire de l'impédance Z11 en fonction du paramètre ld.

Après l'optimisation, les résultats obtenus nous ont permis d'avoir une impédance de $2.01 + j 121.8$ Ohm à la fréquence 868 MHz, qui donne une bonne adaptation avec le coefficient d'adaptation S11 égal à -25.35dB (Figure III-12), nous constatons que ce résultat est meilleur que de la première puce avec un ROS inférieur de 2 (Figure III-13).

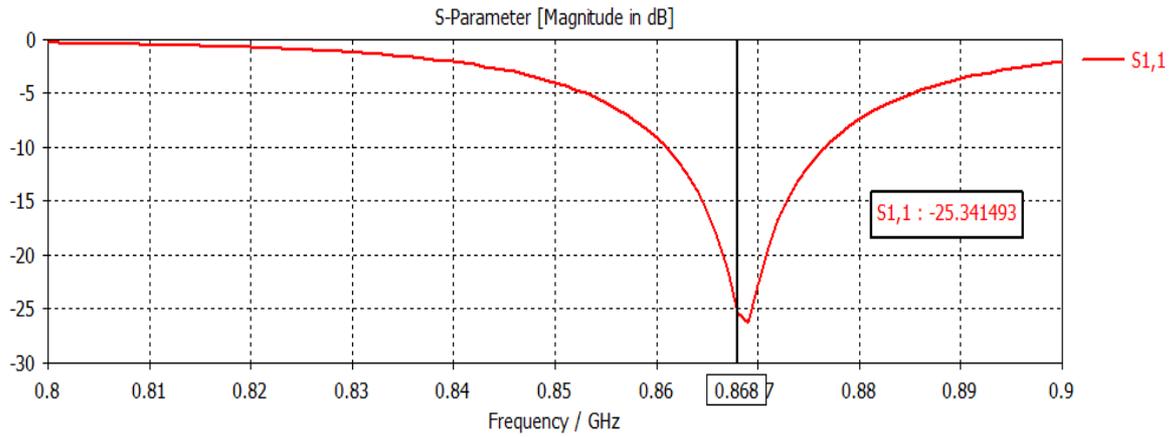


Figure III-12 Le coefficient d'adaptation en fonction de la fréquence.

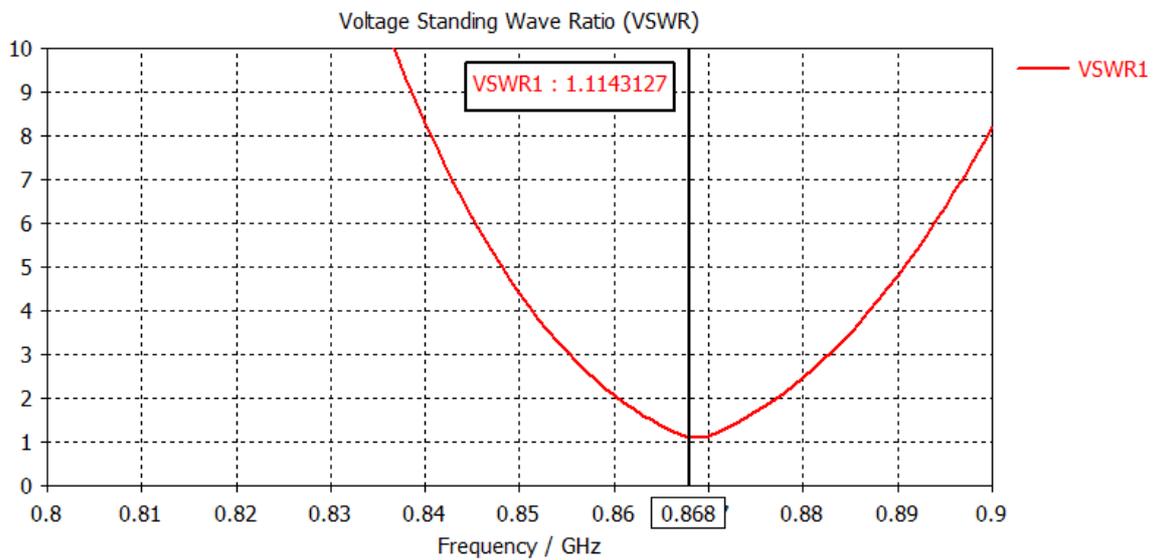


Figure III-13 Rapport d'onde stationnaire (VSWR).

La figure III-14 représente le diagramme de rayonnement dans la fréquence 868 MHz avec un gain de rayonnement stable associée de 1.81 dBi.

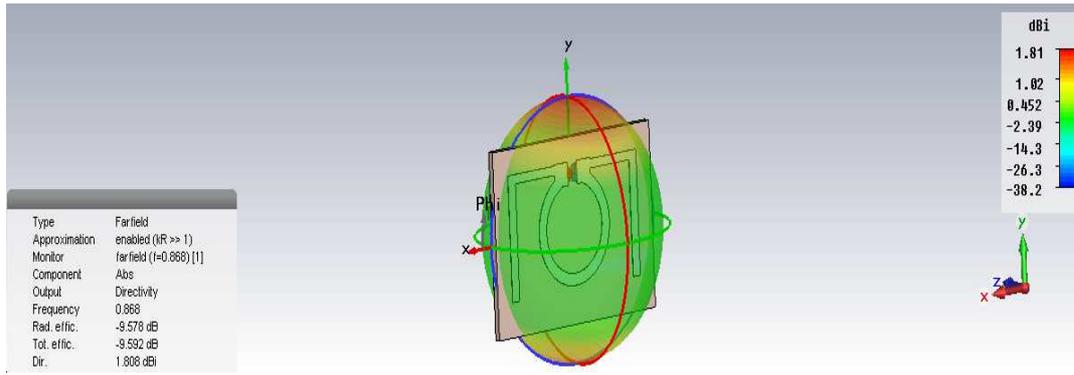


Figure III-14 Diagramme de rayonnement dans la fréquence 868 MHz.

La caractéristique de performance de la deuxième étiquette est calculée en utilisant la formule d'espace libre de Friis (1). A partir du résultat, on peut voir que l'étiquette présente une distance de lecture d'environ 6,77 m à 868 MHz.

III.4.2 antenne boucle hybride

Le travail suivant consiste à étudier la structure d'antenne présentée par Shih-Yuan Chen et Powen Hsu [III-6]. Cette structure est présentée sous la forme d'une antenne boucle hybride, comme illustré sur la figure III-15 :

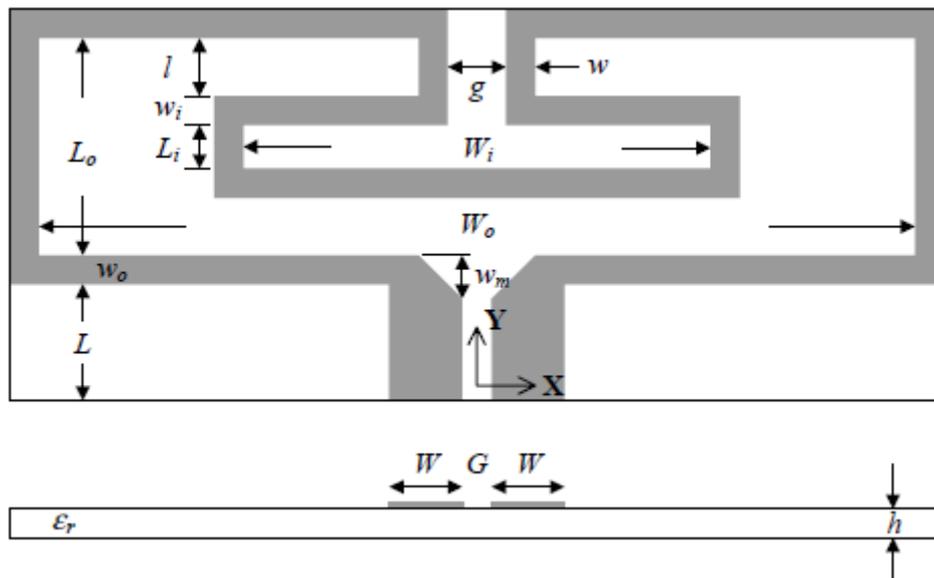


Figure III-15 Géométrie de l'antenne en boucle hybride.

Les paramètres de l'antenne autour de la fréquence 2.4 GHz sont illustrés dans le tableau suivant :

| Variables | Mm |
|------------------|-----------|
| W(mm) | 3 |
| G(mm) | 0.4 |
| L(mm) | 5 |
| <i>wm(mm)</i> | 2 |
| <i>w(mm)</i> | 1.5 |
| g(mm) | 2 |
| l(mm) | 2 |
| <i>Wo(mm)</i> | 32 |
| <i>Lo(mm)</i> | 8 |
| <i>wo(mm)</i> | 1 |
| <i>Wi(mm)</i> | 18 |
| <i>li(mm)</i> | 2 |
| <i>wi(mm)</i> | 1 |

Tableau III-5 Paramètres de conception de l'antenne.

III.4.2.a Conception de l'antenne Tag en utilisant la première puce

L'antenne hybride sa fonctionne pour le système RFID SHF de fréquence 2.4 GHz, on va réaliser la structure de l'antenne après une étude paramétrique dans le but d'accorder cette antenne avec le système RFID UHF autour de la fréquence 868 MHz, L'antenne est composé du cuivre avec une épaisseur de 0,25 mm et elle est déposée sur un substrat de type FR-4 de permittivité $\xi_r = 4.25$, d'une hauteur $t_s = 1.54$ mm. La taille du substrat est 17×27 mm².

La figure III-16 représente la structure de l'antenne Tag conçue sous le logiciel CST :

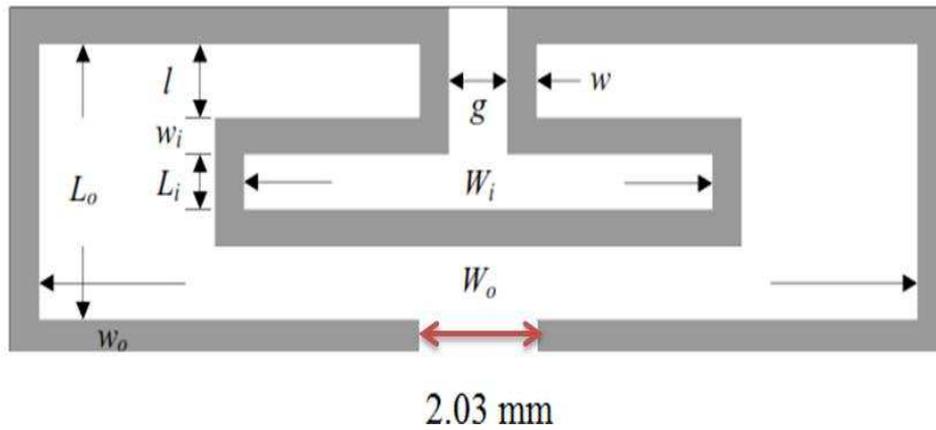


Figure III-16 Structure de l'antenne hybride.

Le tableau III-6 représente les paramètres obtenus après optimisation :

| Variables | Mm |
|---------------------|-----------|
| W(mm) | 3 |
| G(mm) | 2.03 |
| w(mm) | 1.5 |
| g(mm) | 2.52 |
| l(mm) | 4 |
| W _o (mm) | 24.71 |
| L _o (mm) | 8 |
| w _o (mm) | 1.12 |
| W _i (mm) | 20 |
| l _i (mm) | 3.61 |
| w _i (mm) | 1 |

Tableau III-6 Paramètre de conception de l'antenne à la fréquence 868 MHz.

La simulation de l'antenne hybride se fait par le logiciel CST, avec un port discret au centre adaptée à 50 ohm.

Après une conception paramétrique, nous avons obtenu les résultats de l'impédance Z_{11} . Les figures ci-dessous résument le tracer de la partie imaginaire et la partie réelle de l'impédance Z_{11} en fonction de la fréquence en variant le paramètre w_i .

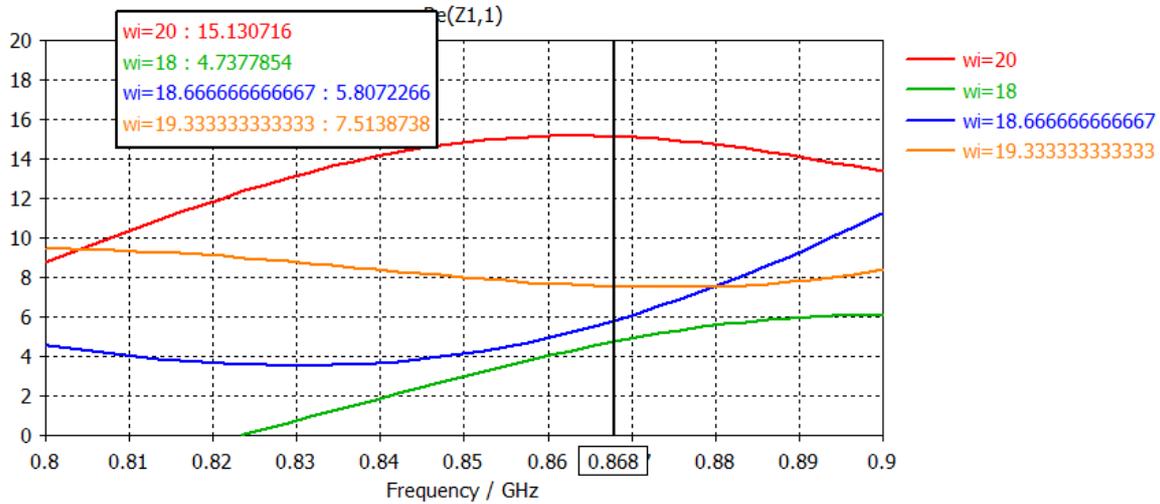


Figure III-17 Simulation de la partie réelle de l'impédance en en fonction du paramètre w_i .

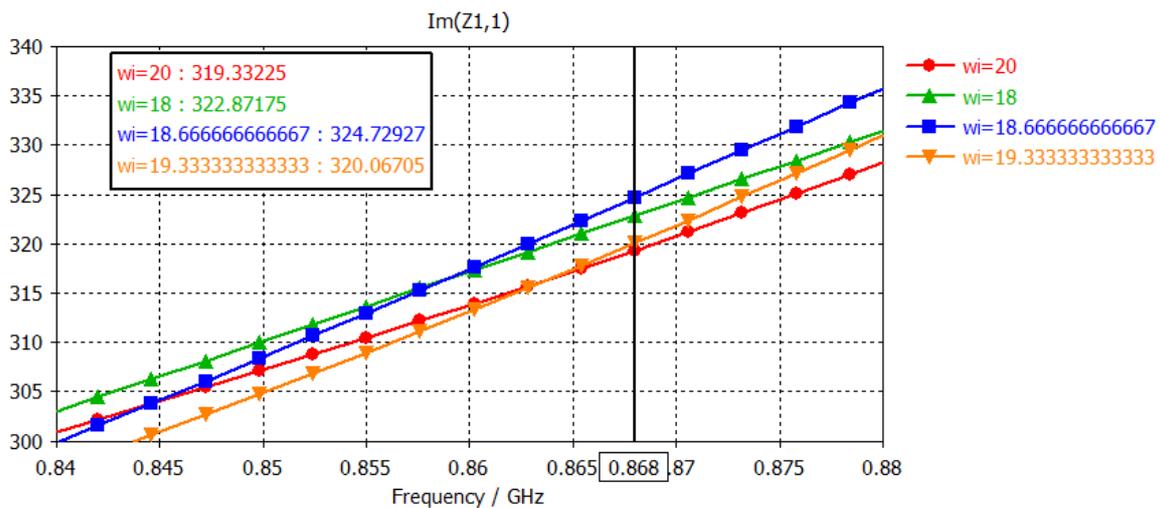


Figure III-18 Simulation de la partie imaginaire de l'impédance en en fonction du paramètre w_i .

D'après les résultats obtenus par optimisation, nous sommes arrivés aux valeurs finales des paramètres de l'antenne qui sont donnée dans le tableau III-6 qui nous permet d'avoir une impédance de $15.13 + j 319.31$ Ohm à la fréquence 868 MHz, on constate que le coefficient d'adaptation S_{11} est égale à -16.21 dB (figure III-19)

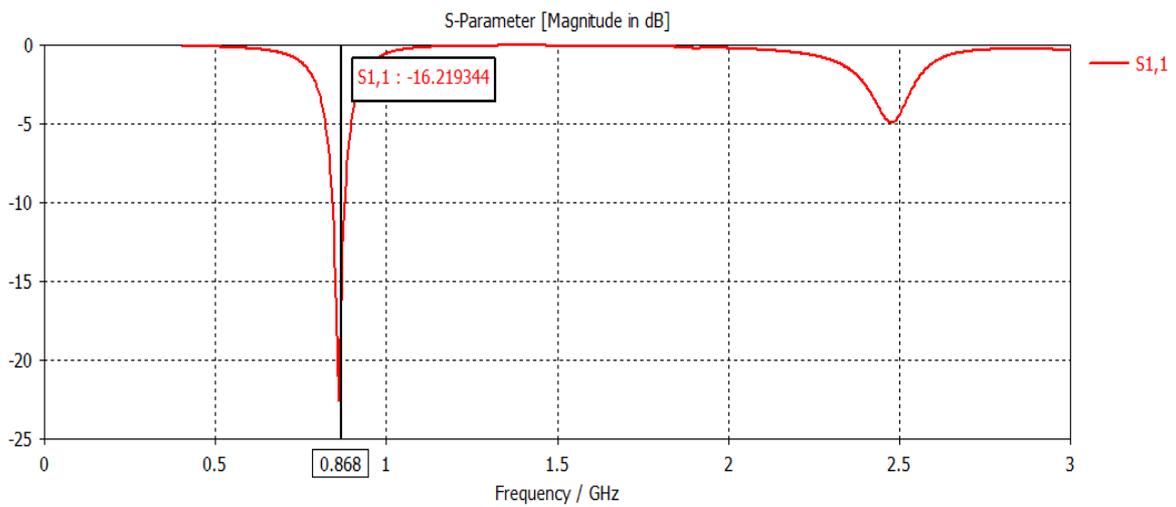


Figure III-19 Le coefficient de l'adaptation en fonction de la fréquence.

La figure III-20 représente le rapport d'ondes stationnaires de l'antenne VSWR (ROS) en fonction de la fréquence. D'après les résultats de la simulation, la valeur du ROS d'après la figure est égale 1.36, ce qui implique que l'antenne est bien adaptée.

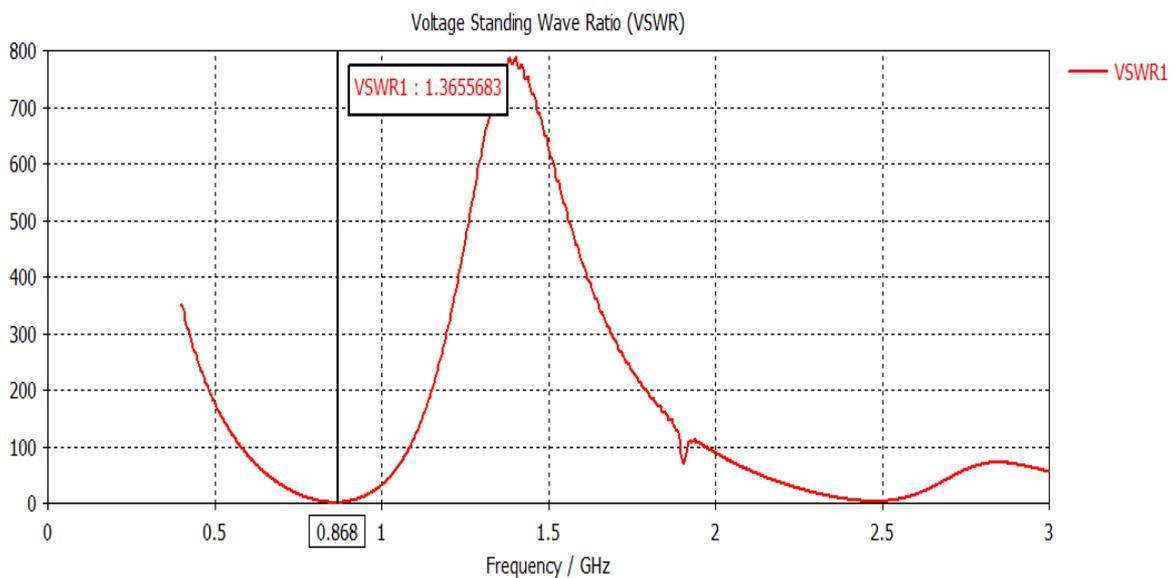


Figure III-20 Rapport d'onde stationnaire (VSWR)

La Figure III-21 présente le diagramme de rayonnement pour la fréquence 868 MHz avec un gain de 1.71 dBi.

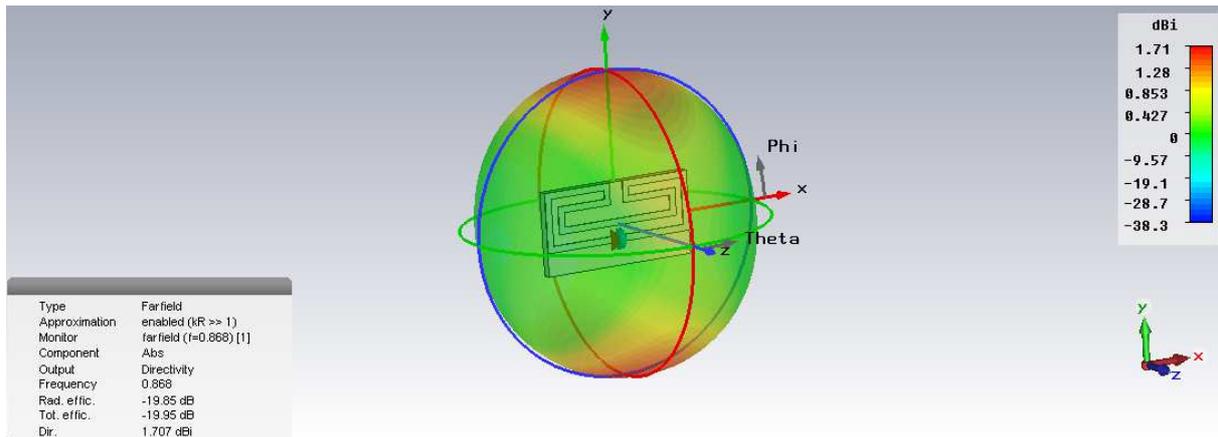


Figure III-21 Diagramme de rayonnement dans la fréquence 868 MHz.

La caractéristique de performance de l'étiquette est calculée en utilisant la formule d'espace libre de Friis. On peut voir que l'étiquette présente une distance de lecture d'environ 6,57 m à 868 MHz.

III.4.2.b Conception de l'antenne Tag en utilisant la deuxième puce

La structure de l'antenne hybride est faite du cuivre avec une épaisseur de 0,1 mm, elle est déposée sur un substrat de type FR4 de permittivité $\epsilon_r = 4.25$, d'une hauteur $t_s = 1.54$ mm. La taille du substrat est 34×25 mm². La conception de cette antenne à l'aide du logiciel CST. La figure III-22 représente la structure conçue sous le logiciel CST :

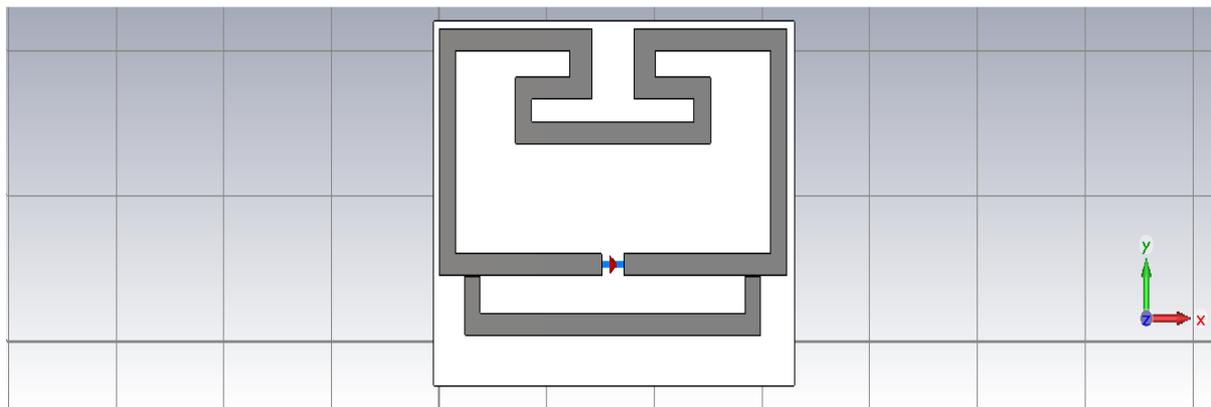


Figure III-22 Structure de l'antenne.

Le tableau III-7 représente les dimensions des paramètres d'antenne obtenue après l'optimisation pour la deuxième puce :

| Variabes | Mm |
|----------|-------|
| W(mm) | 1.81 |
| G(mm) | 2.03 |
| w(mm) | 1.5 |
| g(mm) | 3.94 |
| l(mm) | 4.5 |
| Wo(mm) | 29.24 |
| Lo(mm) | 13.87 |
| wo(mm) | 1.5 |
| Wi(mm) | 15.10 |
| li(mm) | 3.04 |
| wi(mm) | 2.01 |

Tableau III.7 Paramètre de conception de l'antenne à la fréquence 868 MHz.

Après une conception paramétrique, nous avons obtenu les résultats de l'impédance Z_{11} . Les figures ci-dessous résument le tracer de la partie imaginaire et la partie réelle de l'impédance Z_{11} en fonction de la fréquence en variant le paramètre w_i .

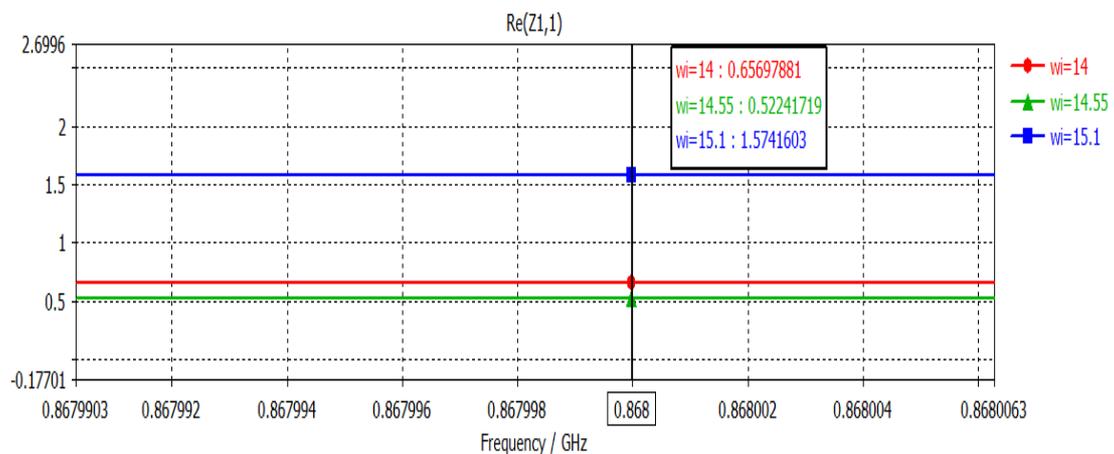


Figure III-23 Simulation de la partie réelle de l'impédance en variant le paramètre w_i puce2.

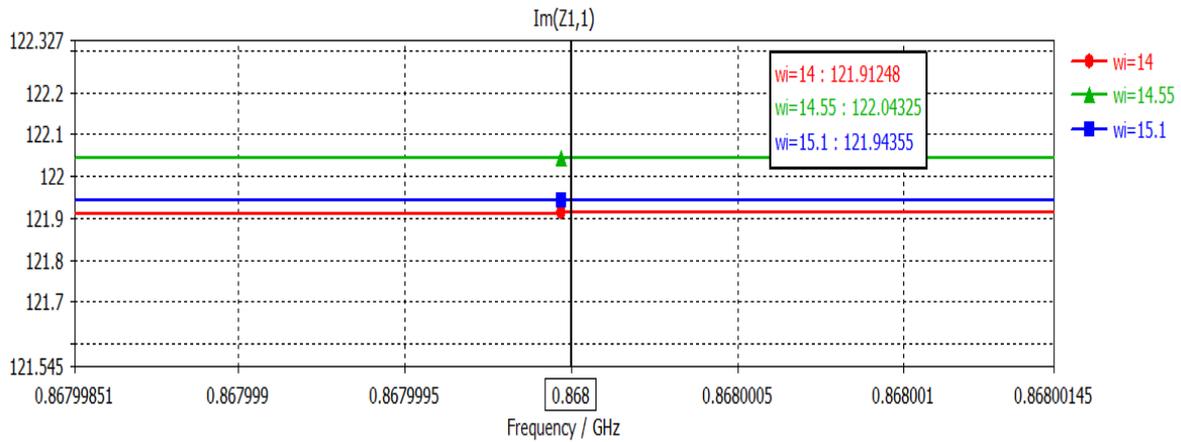


Figure III-24 Simulation de la partie imaginaire de l'impédance en variant le paramètre w_i de puce 2.

D'après les résultats obtenus après optimisation, nous sommes arrivés aux valeurs finales des paramètres de l'antenne qui sont donnée dans le tableau III-7, et qui nous ont permis d'avoir une impédance de $2.01 + j 121.9$ Ohm à la fréquence 868 MHz, qui donne une bonne adaptation avec S_{11} égale a -24 dB (figure III.25). On constate que la deuxième structure de puce 2 elle plus performant que la puce 1

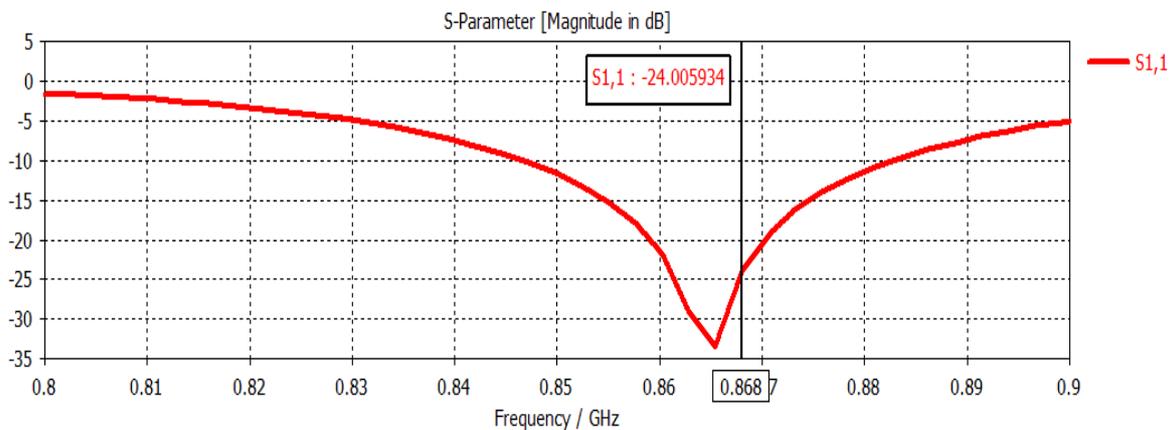


Figure III-25 Le coefficient d'adaptation en fonction de la fréquence.

La figure III-26 représente le rapport d'ondes stationnaires de l'antenne VSWR en fonction de la fréquence. D'après les résultats de la simulation, la valeur du ROS varie de 1 à 2, dans la fréquence 868 MHz, implique que l'antenne est bien adaptée.

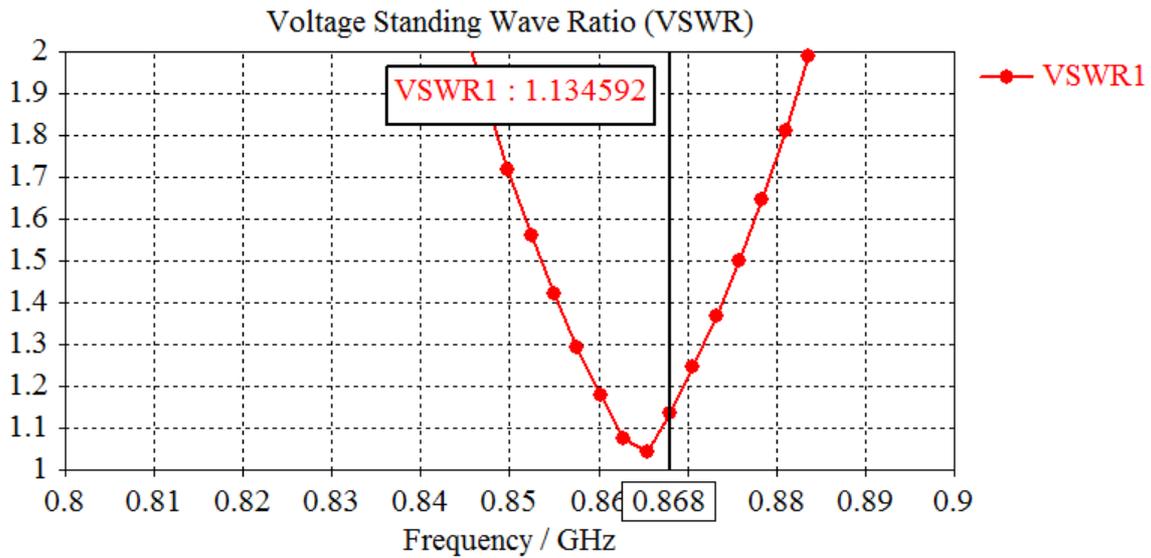


Figure III-26 Rapport d'onde stationnaire (VSWR)

La Figure III-27 présente le diagramme de rayonnement avec un gain stable associée de 2.25dBi.

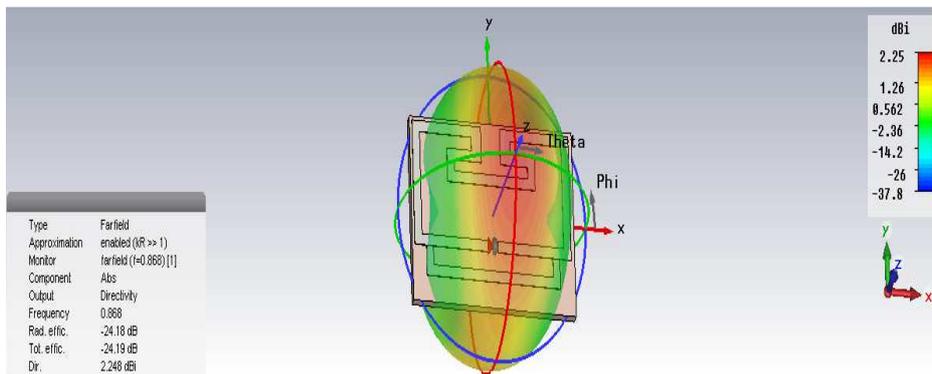


Figure III-27 Diagramme de rayonnement dans la fréquence 868 MHz.

La caractéristique de performance de la deuxième étiquette est calculée en utilisant la formule d'espace libre Friis. A partir du résultat, on peut voir que l'étiquette présente une distance de lecture d'environ 6,99 m à 868 MHz.

III.4.3 Antenne Spirale

Le travail suivant consiste à étudier la structure d'antenne spirale présentée par Anthony Ghiotto [III.2].

Cette structure est présentée (figure III-14) sous la forme d'une antenne spirale.

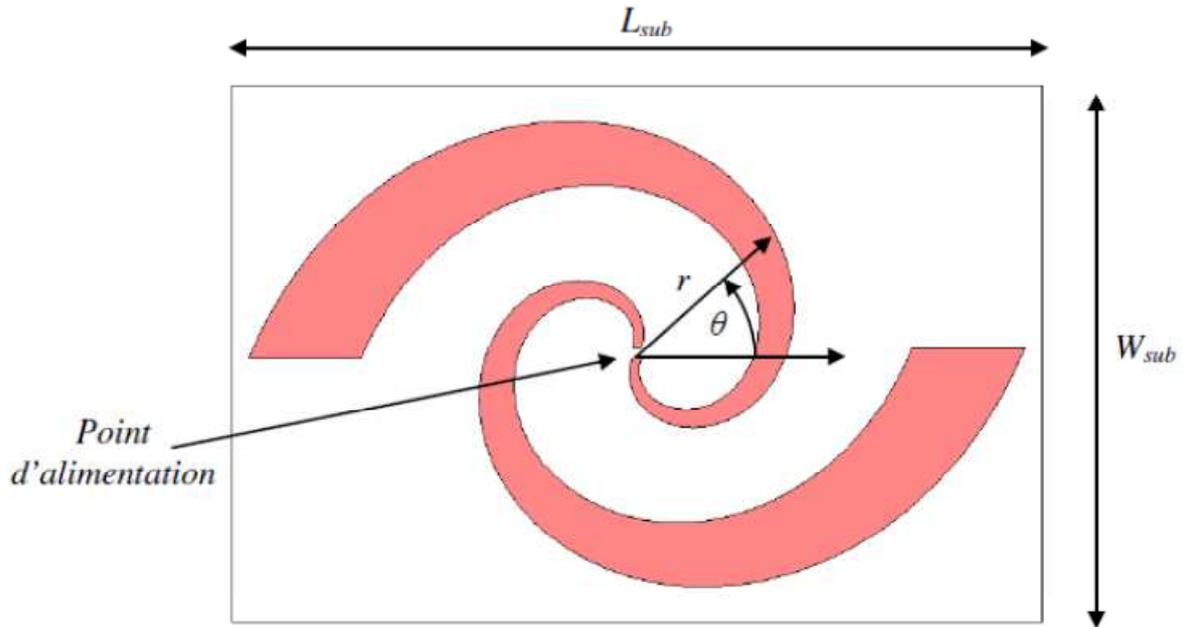


Figure III-28 Géométrie de l'antenne spirale.

Les paramètres de l'antenne autour de la fréquence 868 MHz sont illustrés dans le tableau suivant :

| Variables | mm |
|------------|--------------|
| L_{sub} | 120 |
| W_{sub} | 80 |
| A | 5,77 |
| B | 0.388 |
| θ | $[0 ; 2\pi]$ |
| W_{port} | 1.34 |

Tableau III-8 Paramètres de conception de l'antenne.

La construction de cette antenne a été obtenue en appliquant la fonction géométrique suivante :

$$r = a \cdot e^{(b \cdot \theta)}$$

III.2

Quatre variables entre dans la construction de cette antenne :

- a : facteur d'échelle,
- b : facteur déterminant l'accroissement de la spirale,
- θ_{max} : nombre de tour de la spirale,
- WP or t : largeur de la piste au point d'alimentation.

III.4.3.a Conception de l'antenne Tag en utilisant la première puce

L'antenne spirale fonctionne pour les systèmes RFID, on va réaliser la structure de l'antenne après une étude paramétrique dans le but d'accorder cette antenne avec la première puce dans la fréquence 868 MHz, L'antenne est composé du cuivre avec une épaisseur de 0,18 mm et elle est déposée sur un substrat de type FR-4 de permittivité $\epsilon_r = 4.25$, d'une hauteur $t_s = 1.54$ mm. La taille du substrat est 50×50 mm².

La figure III-29 représente la structure conçue sous le logiciel CST :

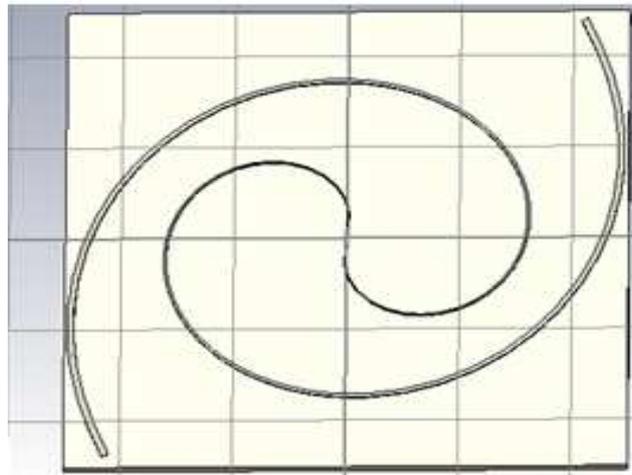


Figure III-29 Structure de l'antenne spirale

Le tableau III-9 représente les paramètres obtenus après optimisation :

| Variables | Mm |
|----------------------------|-------|
| $Log_coil_delta(a)$ | 4 |
| $Log_coil_alpha(b)$ | 0.289 |
| $Log_coil_turns(\theta)$ | 1.13 |
| $Log_coil_inner_r$ | 4.56 |
| $Wport$ | 2.03 |

Tableau III-9 Paramètre de conception de l'antenne après l'optimisation.

La simulation de l'antenne spirale se fait par le logiciel CST, avec un port discret adaptée à 50 ohm.

Après une conception paramétrique, nous avons obtenu les résultats de l'impédance Z_{11} . Les figures ci-dessous résumet le tracer de la partie imaginaire et la partie réelle de l'impédance Z_{11} en fonction de la fréquence en variant le paramètre a.

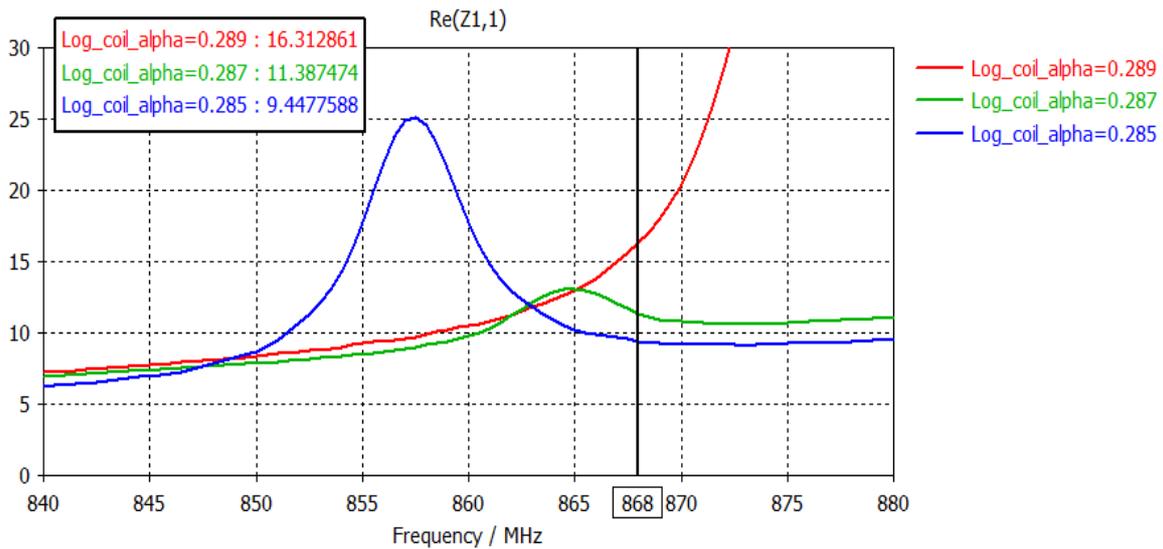


Figure III-30 Simulation de la partie réelle de l'impédance en variant le paramètre log_coil_alpha .

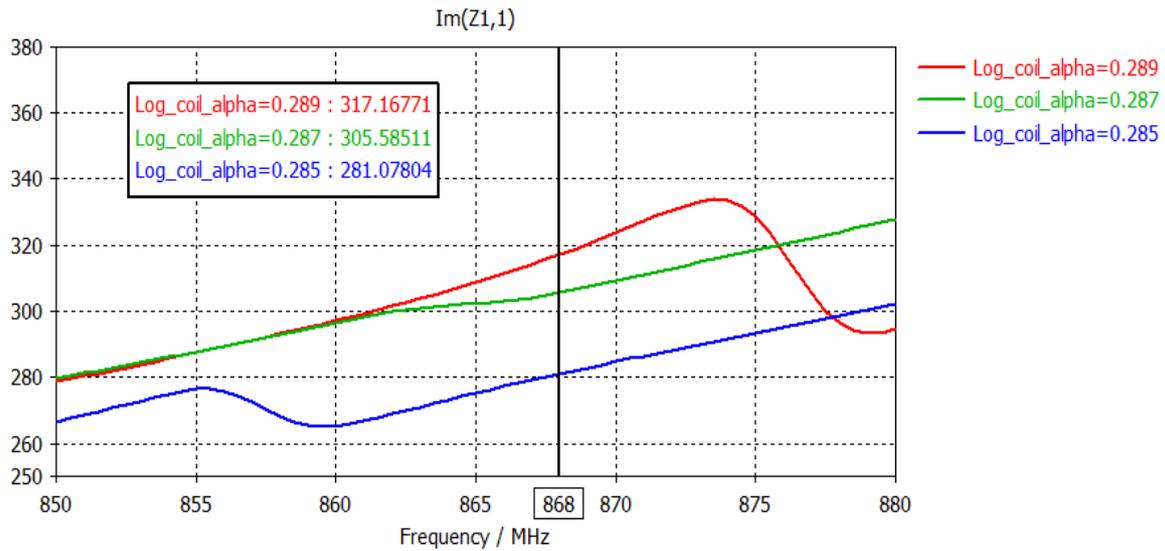


Figure III-31 Simulation de la partie imaginaire de l'impédance en variant le paramètre \log_coil_alpha .

D'après les résultats obtenus par l'optimisation, nous sommes arrivés aux valeurs finales des paramètres de l'antenne qui sont donnée dans le tableau III.9, qui nous ont permis d'avoir une impédance de $16.31 + j 317.16$ Ohm à la fréquence 868 MHz (figure III-32). On constate que le coefficient d'adaptation S_{11} égal à -11.35 dB, on remarque aussi que cette antenne est adaptée dans deux bandes de fréquence.

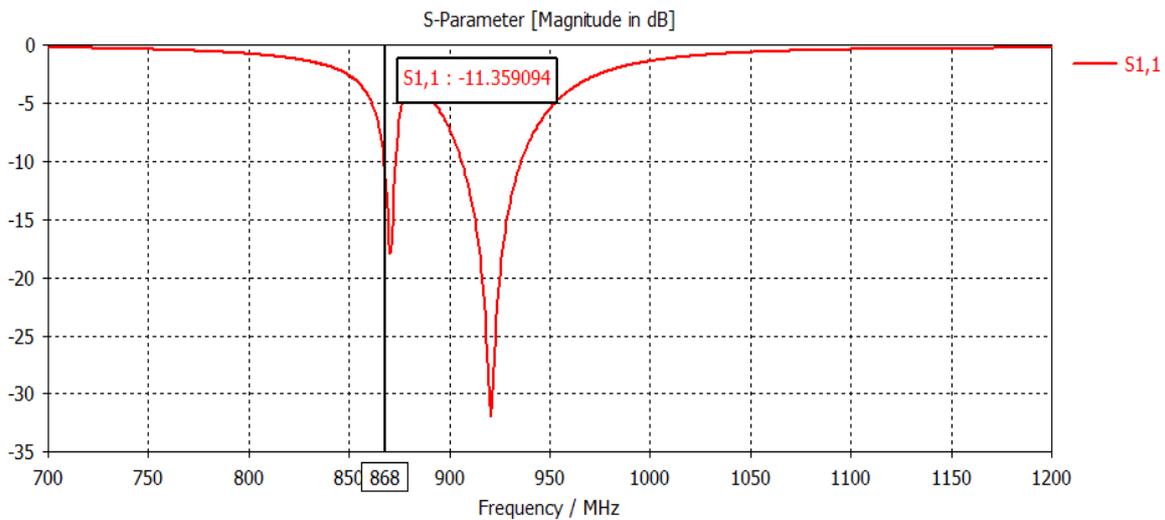


Figure III-32 Le coefficient de l'adaptation en fonction de la fréquence.

La figure III-33 représente le rapport d'ondes stationnaires de l'antenne VSWR (ROS) en fonction de la fréquence. D'après les résultats de simulation, la valeur du ROS d'après la figure est égale 1.36, ce qui implique que l'antenne est bien adaptée.

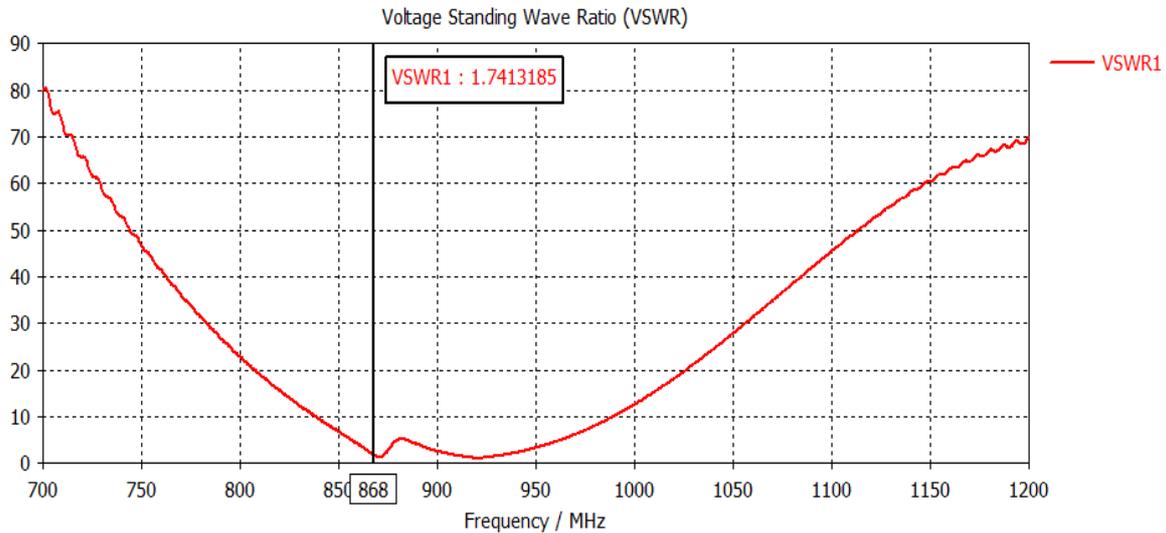


Figure III-33 Rapport d'onde stationnaire (VSWR)

La figure III-34 présente le diagramme de rayonnement dans la fréquence 868 MHz avec un gain de 1.98dBi.

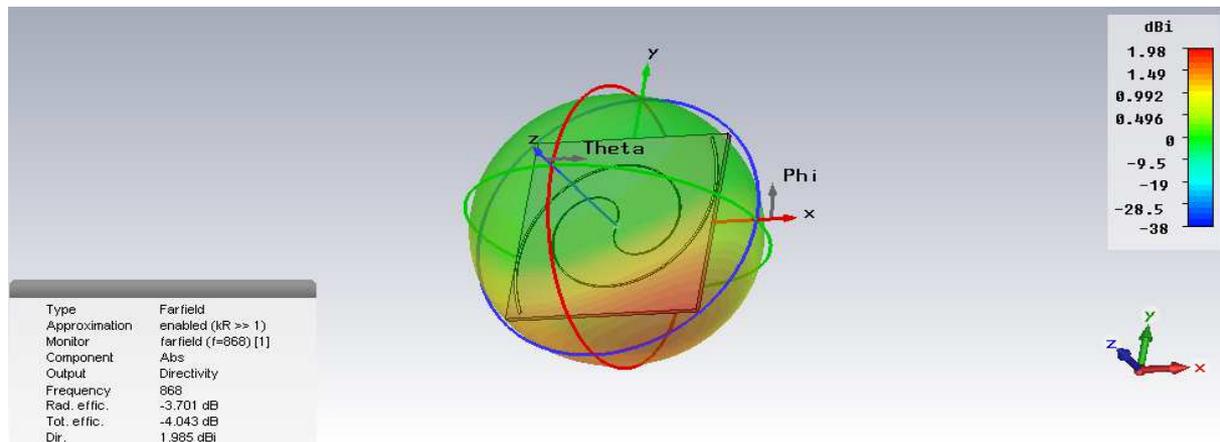


Figure III-34 Diagramme de rayonnement dans la fréquence 868 MHz

La caractéristique de performance de l'étiquette est calculée en utilisant la formule d'espace libre de Friis. L'étiquette présente une distance de lecture d'environ 6,90 m à 868 MHz.

III.4.3.b Conception de l'antenne Tag en utilisant la deuxième puce

L'antenne spirale est faite du cuivre avec une épaisseur de 0,1 mm, elle est déposée sur un substrat de type FR4 de permittivité $\xi_r = 4.25$, d'une hauteur $t_s = 1.54$ mm. La taille du substrat est 50×50 mm².

La conception de cette antenne à l'aide du logiciel CST, La Figure III-35 représente la structure conçue sous le logiciel CST :

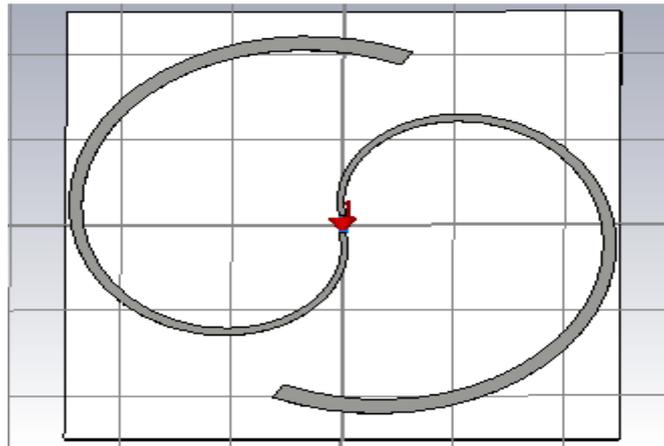


Figure III-35 Structure de l'antenne spirale.

Le tableau III-10 représente les dimensions des paramètres d'antenne obtenue après l'optimisation pour la deuxième puce :

| Variables | Mm |
|--------------------------|------|
| <i>Log_coil_delta(a)</i> | 20 |
| <i>Log_coil_alpha(b)</i> | 0.21 |
| <i>Log_coil_turns(θ)</i> | 0.84 |
| <i>Log_coil_inner_r</i> | 8.4 |
| <i>Wport</i> | 2.03 |

Tableau III-10 Paramètre de conception de l'antenne à la fréquence 868 MHz.

Après une étude paramétrique, avec un port discret adaptée à 50 ohm nous avons obtenu les résultats de l'impédance 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 en variant le paramètre a.

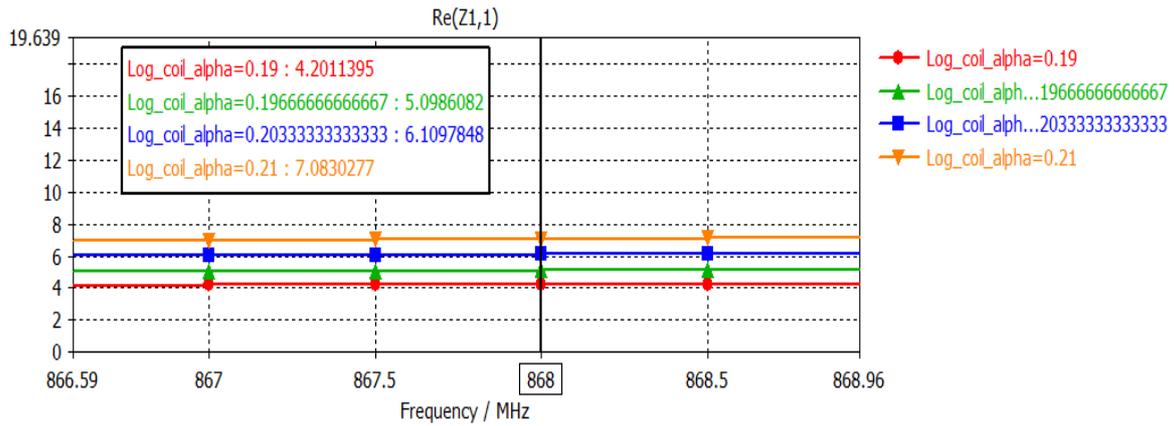


Figure III-36 Simulation de la partie réelle de l'impédance en variant le paramètre \log_coil_alpha puce2.

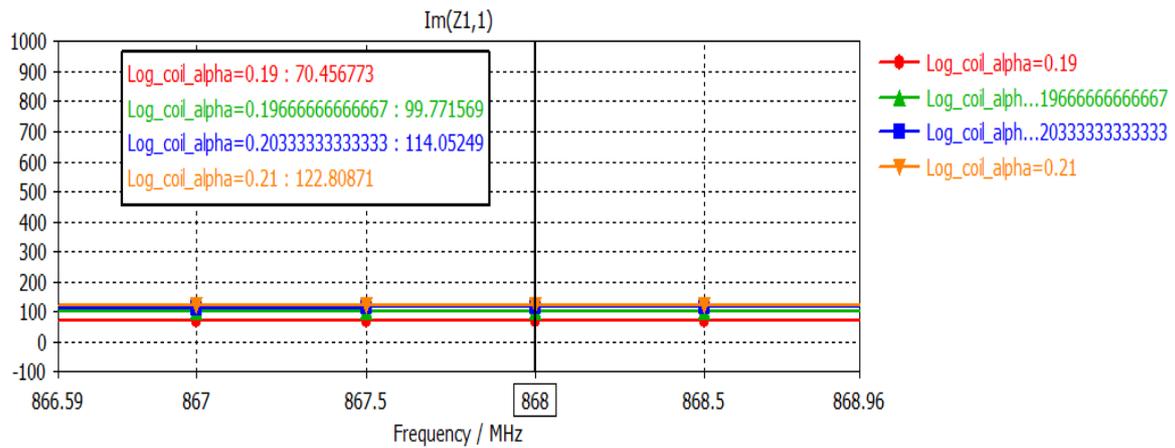


Figure III-37 Simulation de la partie imaginaire de l'impédance en variant le paramètre \log_coil_alpha de puce 2.

D'après les résultats obtenus après optimisation, nous sommes arrivés aux valeurs finales des paramètres de l'antenne qui sont donnée dans le tableau III-10, qui nous ont permis d'avoir une impédance de $7.03 + j 122.8$ Ohm à la fréquence 868 MHz, ce qui nous donne une bonne adaptation avec S_{11} égale à -10.74 dB (figure III-38).

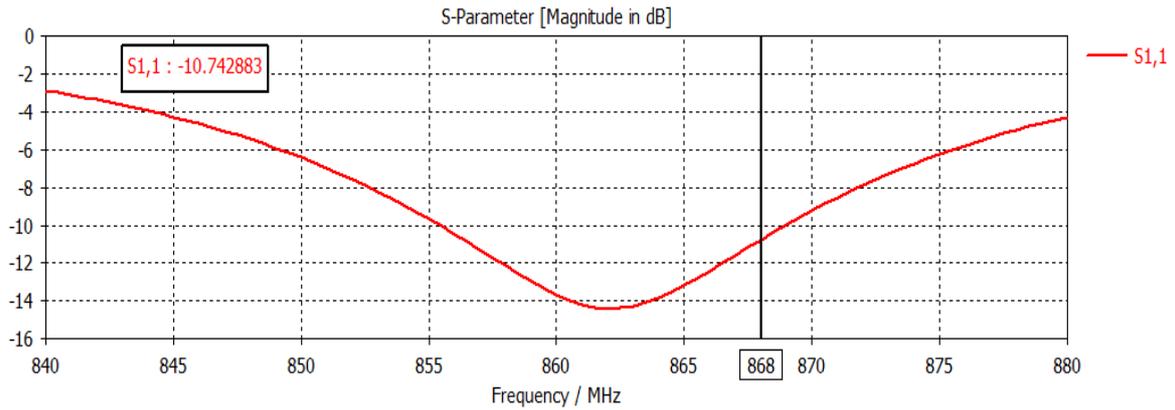


Figure III-38 Le coefficient d'adaptation en fonction de la fréquence.

La figure III-39 représente le rapport d'ondes stationnaires de l'antenne VSWR en fonction de la fréquence. D'après les résultats de la simulation, la valeur du ROS varie de 1 à 2, dans la fréquence 868MHz, implique que l'antenne est bien adaptée.

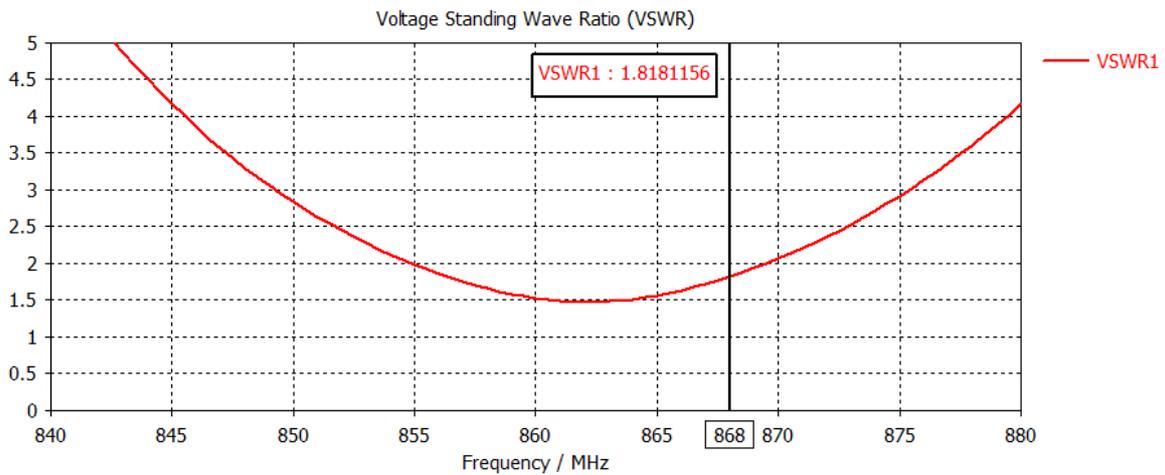


Figure III-39 Rapport d'onde stationnaire (VSWR)

La figure III-40 présente le diagramme de rayonnement avec un gain stable associée de 2.3dBi.

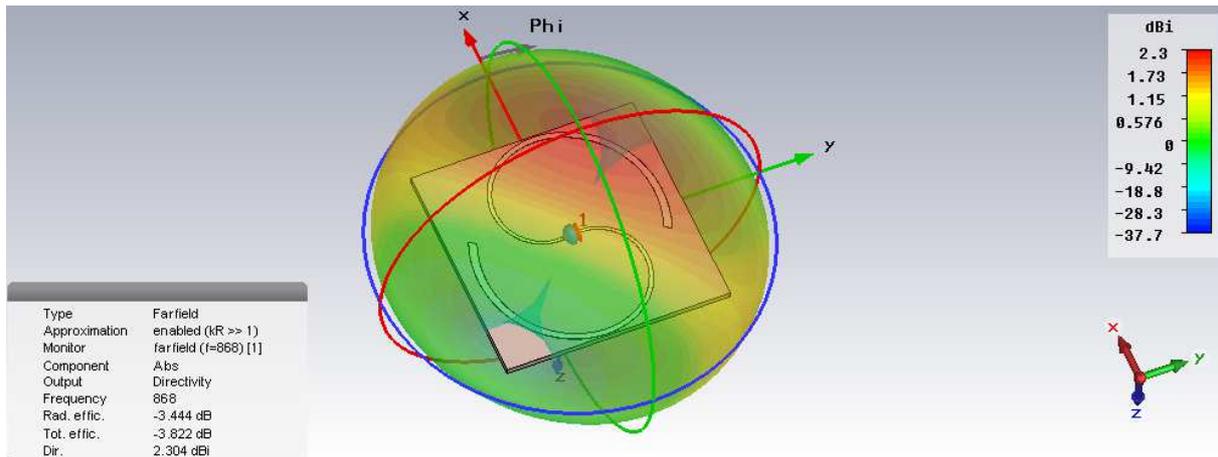


Figure III-40 Diagramme de rayonnement dans la fréquence 868 MHz.

La caractéristique de performance de deuxième étiquette est calculée en utilisant la formule d'espace libre Friis. A partir du résultat, on peut voir que l'étiquette présente une distance de lecture d'environ 6,99m à 868 MHz.

III.4.4. Antenne boucle magnétique de forme Rectangulaire

Le travail suivant consiste à étudier la structure d'antenne rectangulaire donnée dans le livre *Electromagnetic Waves and Antennas* [III.7]. La figure III-41 suivante donne la structure de l'antenne rectangulaire sous le logiciel CST.

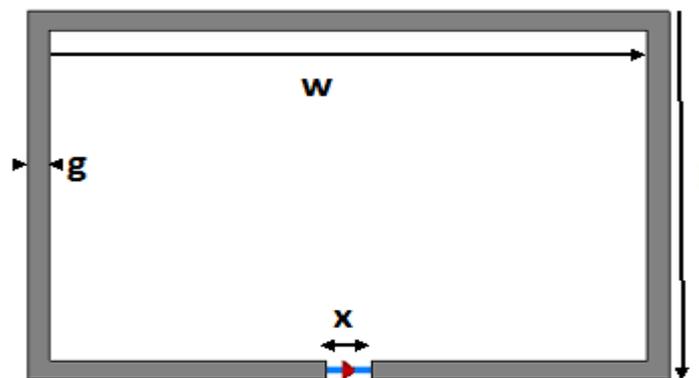


Figure II-41 Structure d'antenne rectangulaire.

Les paramètres de l'antenne de l'étiquette proposée, dont la largeur $l = 1,7$ mm et la longueur $w = 38$, mm, est en cuivre avec une épaisseur de 0,1 mm. Le substrat est de type FR-4 de permittivité $\epsilon_r = 4.25$, d'une hauteur $t_s = 1.54$ mm. La taille du substrat est égale à 50×50 mm².

On va simuler cette antenne dans le système RFID UHF passive avec la fréquence 868 MHz. Et on va l'adapter l'antenne pour les deux puces : 31-j320 et 7.4-j122.

III.4.4.a Conception de l'antenne Tag en utilisant la première puce

Nous avons réalisé la conception de cette antenne à l'aide du logiciel CST, La figure III-42 représente la structure conçue sous le logiciel CST

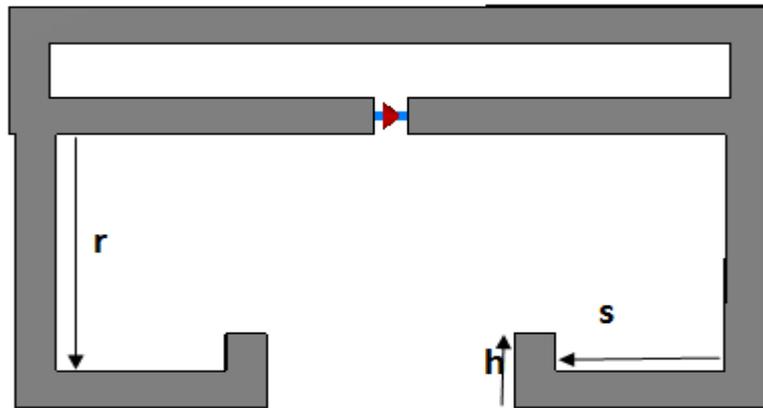


Figure III.42 Structure d'antenne rectangulaire puce 1.

Le tableau III-11 représente les paramètres d'antenne obtenue après l'optimisation.

| Variables | Mm |
|-----------|-------|
| l (mm) | 1.73 |
| w (mm) | 38.77 |
| h (mm) | 16.68 |
| s(mm) | 7.07 |
| r (mm) | 19.62 |
| g (mm) | 2.31 |
| X (mm) | 2.03 |

Tableau II-11 Dimensions de l'antenne rectangulaire.

La simulation de l'antenne rectangulaire se fait par le logiciel CST, avec un port discret adaptée à 50 ohm.

Après une conception paramétrique, nous avons obtenu les résultats de l'impédance Z_{11} . Les figures ci-dessous résument le tracer de la partie imaginaire et la partie réelle de l'impédance Z_{11} en fonction de la fréquence en variant le paramètre r .

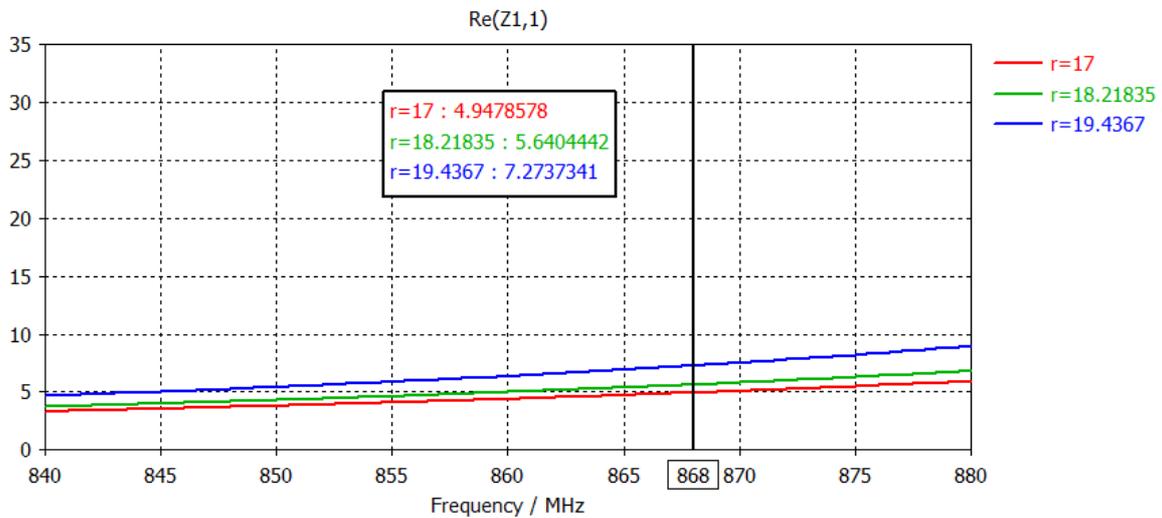


Figure III-43 Simulation de la partie réelle de l'impédance en variant le paramètre r puce 1.

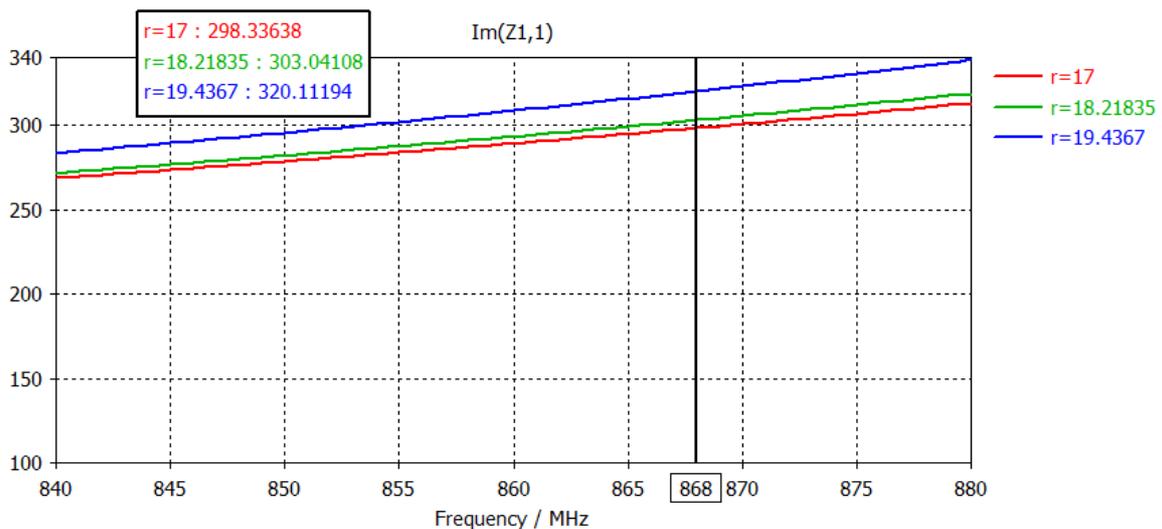


Figure III-44 Simulation de la partie imaginaire de l'impédance en variant le paramètre r puce 1.

D'après les résultats obtenus par l'optimisation, Un accord majeur de l'impédance d'entrée de l'antenne avec la puce 1, qui nous permet d'avoir une impédance de $7.27 + j 320.11$ Ohm à la fréquence 868 MHz, avec une adaptation de -13,99 dB (figure III-45).

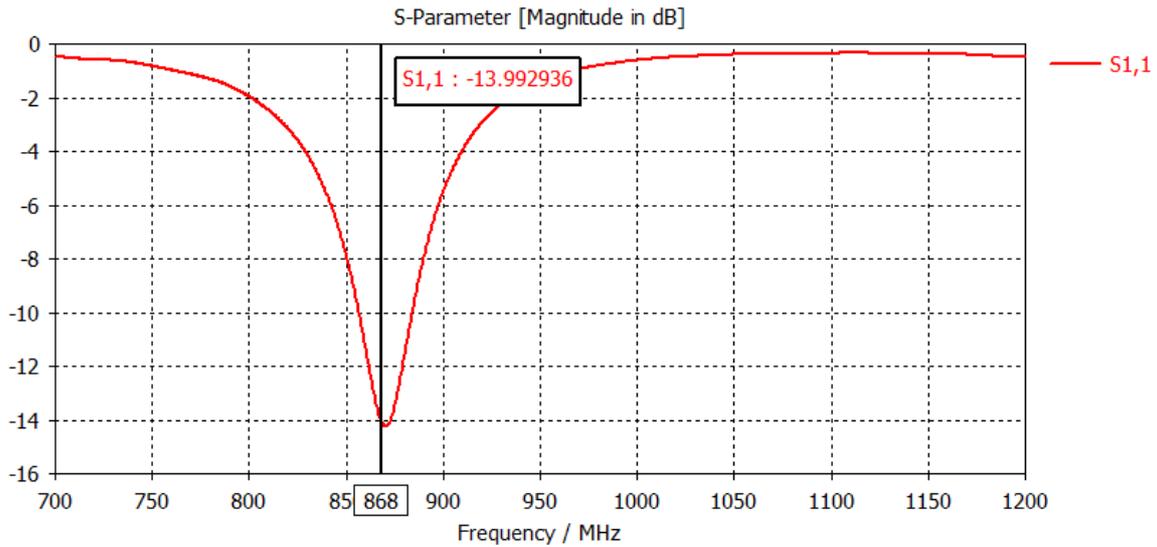


Figure III-45 Le coefficient de réflexion en fonction de la fréquence.

La figure III-46 représente le rapport d'ondes stationnaires de l'antenne VSWR (ROS) en fonction de la fréquence. D'après les résultats de la simulation, la valeur du ROS d'après la figure est égale 1.49, ce qui implique que l'antenne est bien adaptée.

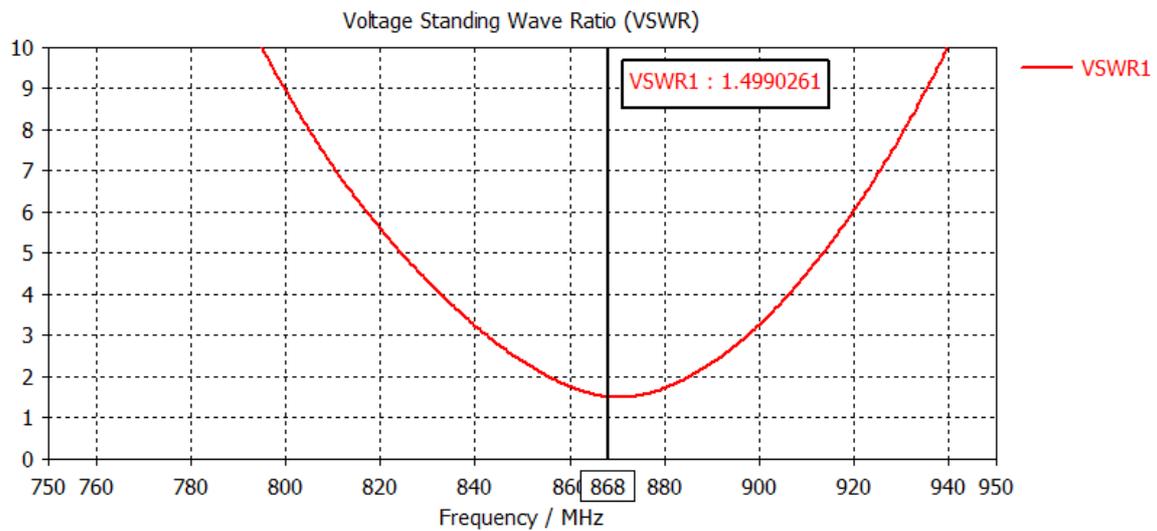


Figure III-46 Rapport d'onde stationnaire (VSWR)

La figure III-47 présente le diagramme de rayonnement dans la fréquence 868 MHz avec un gain de 1.81dBi .

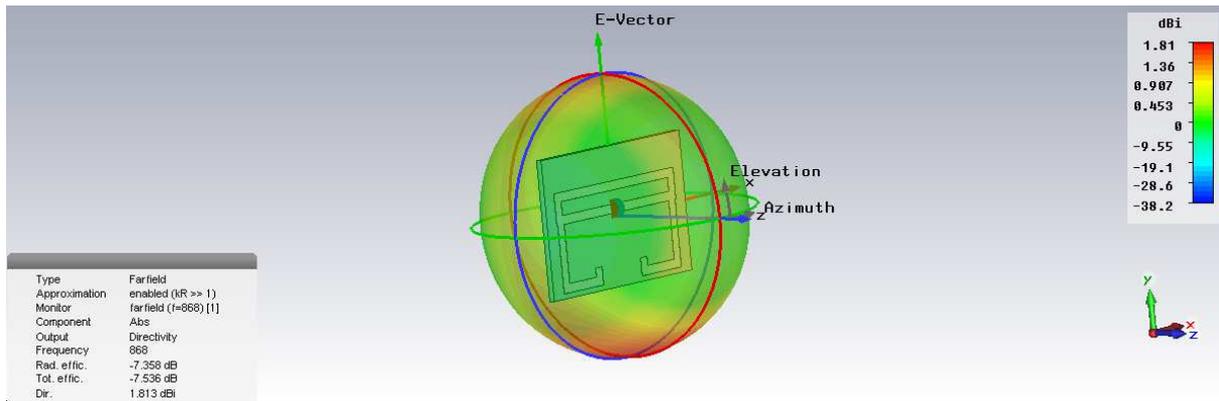


Figure III-47 Diagramme de rayonnement dans la fréquence 868 MHz.

La caractéristique de performance de l'étiquette est calculée en utilisant la formule d'espace libre de Friis. L'étiquette présente une distance de lecture d'environ 6,65 m à 868 MHz.

III.4.4.b Conception de l'antenne Tag en utilisant la deuxième puce

La structure de l'antenne conçue sous le logiciel CST est représentée sur la figure III-48.

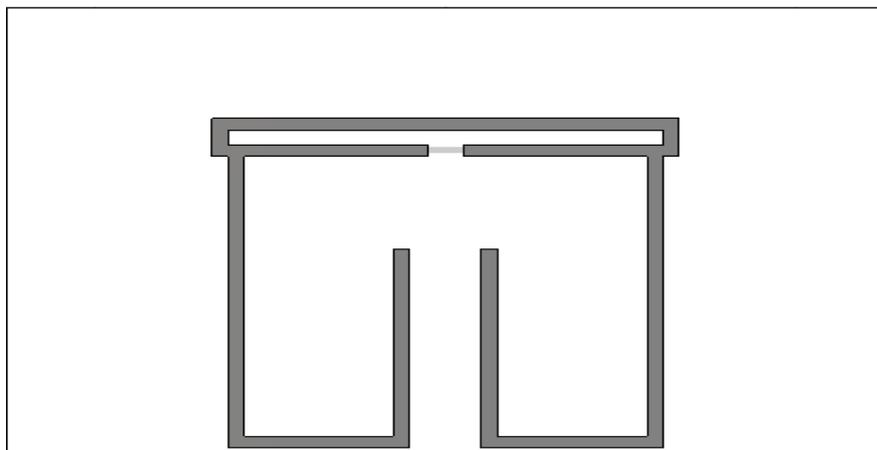


Figure III-48 Structure d'antenne rectangulaire puce 2.

Le tableau III-12 représente les paramètres d'antenne obtenue après l'optimisation.

| Variabes | Mm |
|----------|-------|
| l | 0.59 |
| w | 24.85 |
| h | 8.87 |
| S | 2.05 |
| r | 24.06 |
| g | 0.9 |
| X | 2.03 |

Tableau III-12 Dimensions de l'antenne rectangulaire à la fréquence 868 MHz.

Après une étude paramétrique, avec un port discret adaptée à 50 ohm nous avons obtenu les résultats de l'impédance 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 en variant le paramètre r .

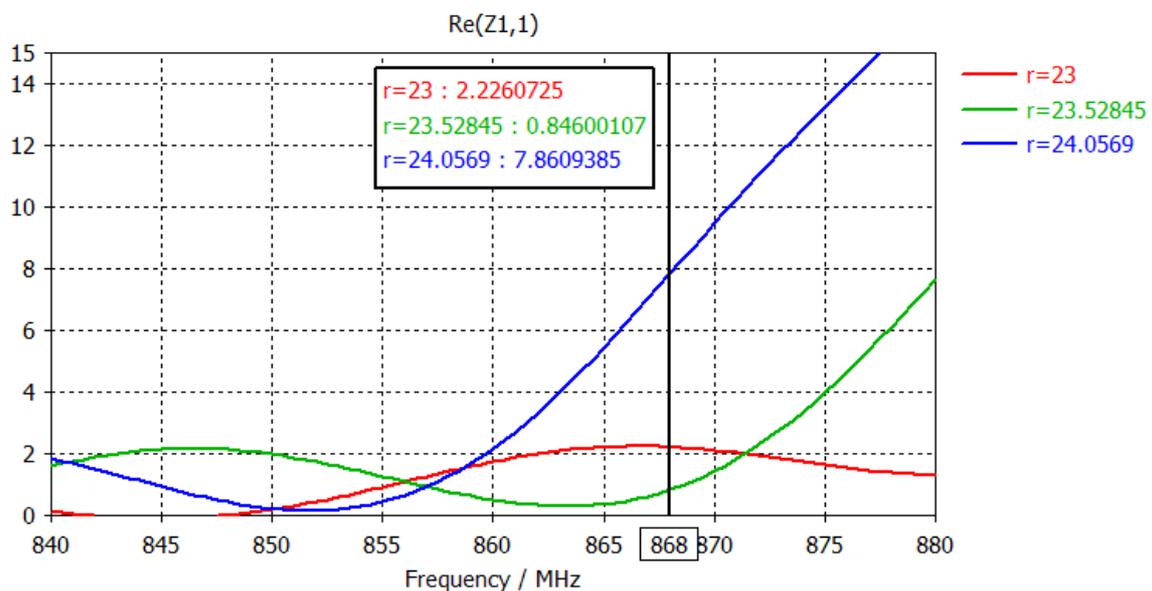


Figure III-49 Simulation de la partie réelle de l'impédance en variant le paramètre r puce 2.

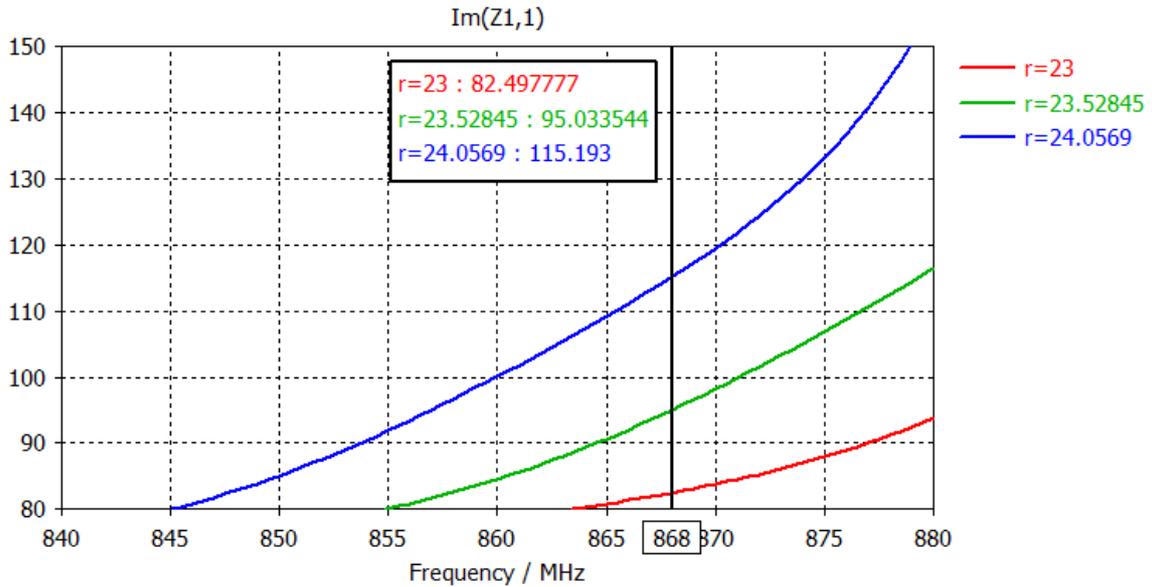


Figure III-50 Simulation de la partie imaginaire de l'impédance en variant le paramètre r de puce 2.

D'après les résultats obtenus après optimisation, Un accord majeur de l'impédance d'entrée de l'antenne avec la puce 2, qui nous permet d'avoir une impédance de $7.86 + j 115.19$ Ohm à la fréquence 868 MHz. avec une adaptation de S_{11} est -12,83 dB (figure III-51).

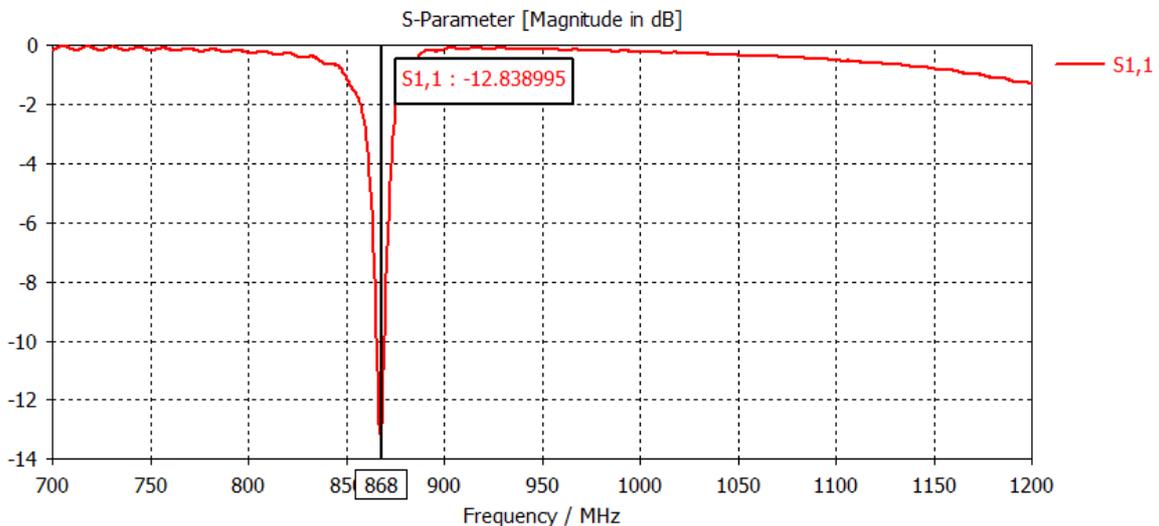


Figure III-51 Le coefficient de réflexion en fonction de la fréquence.

La figure III-52 représente le rapport d'ondes stationnaires de l'antenne VSWR en fonction de la fréquence. D'après les résultats de la simulation, la valeur du ROS varie de 1 à 2, dans la fréquence 868MHz, implique que l'antenne est bien adaptée.

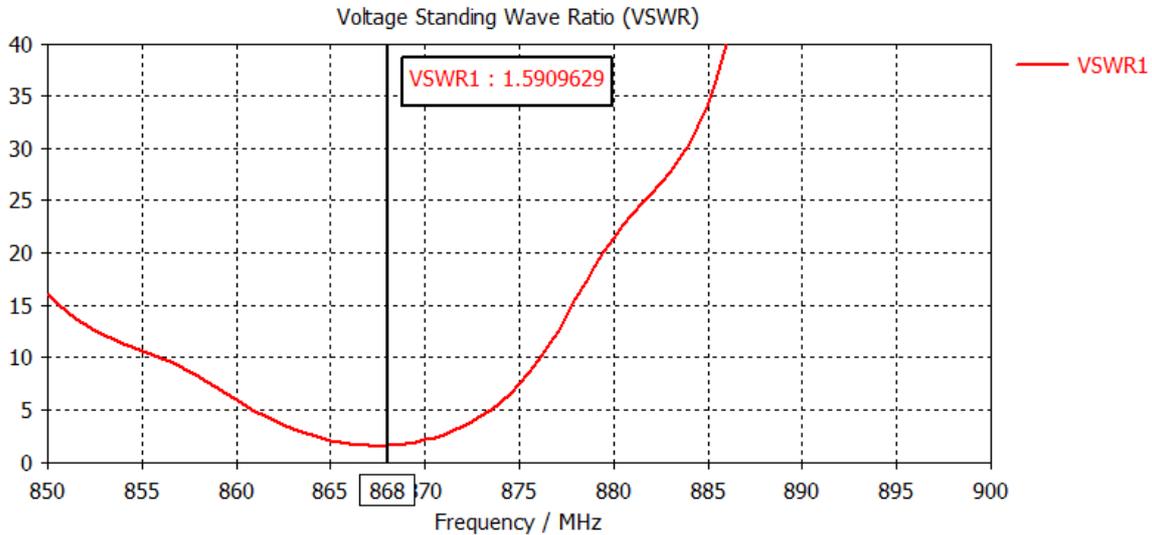


Figure III-52 Rapport d'onde stationnaire (VSWR)

La figure III-53 présente le diagramme de rayonnement avec un gain stable associée de 1.77dBi.

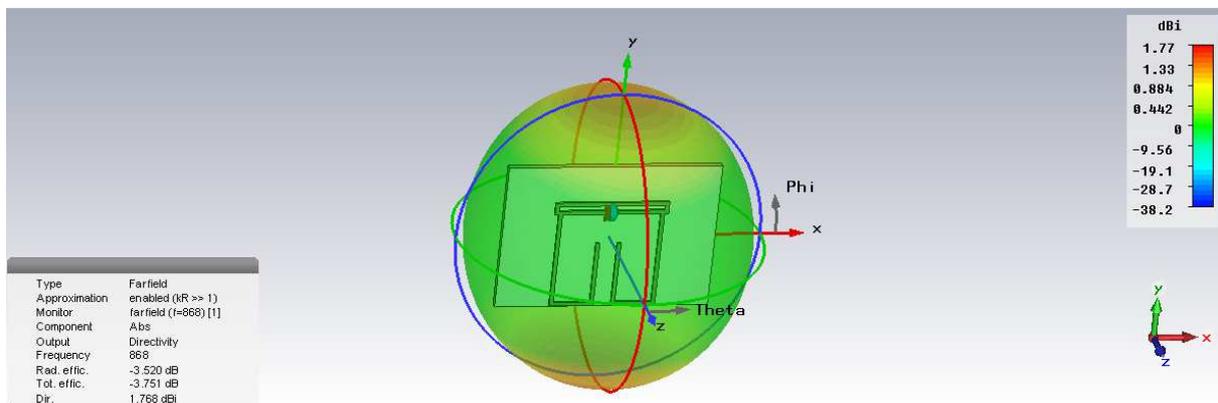


Figure III-53 Diagramme de rayonnement dans la fréquence 868 MHz.

La caractéristique de performance de deuxième étiquette est calculée en utilisant la formule d'espace libre Friis. A partir du résultat, on peut voir que l'étiquette présente une distance de lecture d'environ 6,62 m à 868 MHz.

III.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons simulé et analysé quelques exemples d'antennes imprimées par le logiciel CST. Le choix des structures analysées a été effectué de sorte à montrer l'influence de quelques paramètres sur les performances d'une antenne des tags RFID. Ces antennes portées comme une charge des puces donc il est primordial d'assurer une adaptation entre elles pour recevoir le maximum d'énergie fournie par la lecture RFID et obtenir une meilleure qualité de liaison.

Références bibliographiques

[III.1]. K. V. Seshagiri Rao, Pavel V. Nikitin, Sander F. Lam (2005), "*Antenna Design for UHF RFID Tags: A Review and a Practical Application*", IEEE Transactions on Antennas

[III.2] Anthony Ghiotto "conception d'antenne de tags RFID UHF, application a la réalisation par jet de matière"(2008).

[III.3] LI Huihui , M. Xuanqin , JI Z hen , YU Ha ng and LI Yan "A Novel Wideband CPW-Fed 5.8GHz RFID Tag Antenna" Chinese Journal of Electronics Vol.21, No.2, Apr. 2012.

[III.4] P. V., Nikitin, S. Rao, K. V. Lam, V. Pillai, R. Martinez, and H. Heinrich, "Power reflection coefficient analysis for complex impedances in RFID tag design," *IEEE Trans. Microw. Theo.Tech.*, Vol. 53, No. 9, 2721-2725, Sep. 2005.

[III.5] H. Kimouche and H. Zemmour, "A COMPACT FRACTAL DIPOLE ANTENNA FOR 915 Mhz AND 2.4 Ghz RFID TAG APPLICATIONS" *Progress In Electromagnetics Research Letters*, Vol. 26, 105–114, 2011.

[III.6] Shih-Yuan Chen and Powen Hsu Graduate Institute of Communication Engineering and Department of Electrical Engineering National Taiwan University, Taipei 10617, Taiwan.

[III.7] Books de Electromagnetic Waves and Antennas.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire aborde la conception et la réalisation d'antennes boucles pour l'identification par radio fréquence, Cette technologie connaît un essor colossal et exige, pour répondre au développement de son marché, de solutions innovantes permettant l'obtention d'antennes miniatures à faible du coût.

Nous nous sommes intéressés à un point essentiel qui est l'adaptation et la compatibilité entre l'antenne et la puce pour un partage maximum d'énergie, ainsi que l'influence des paramètres de l'antenne sur leur performance.

Différentes structures d'antennes Tags, répondant à un cahier de charge particulier pour des applications RFID UHF passive, ont été simulées et optimisées en utilisant le logiciel CST MICROWAVE STUDIO.

La réalisation de ce projet a énormément contribué à l'enrichissement de nos connaissances dans plusieurs domaines intéressants. Tant celui d'actualité, qu'est la technologie RFID moderne, que celui des antennes imprimées qu'on retrouve actuellement dans diverses applications.

Résumé : L'identification par radio Fréquence (RFID) est une technologie qui permet l'identification d'objets en échangeant des données à travers des signaux Radiofréquences.

Cette technologie est également connue sous le nom d'identification sans-contact.

Un système RFID est caractérisé par une station de base ou lecteur (Reader) cherchant à identifier des objets, et d'une étiquette (Tag) insérée au niveau de ces objets. Dans ce travail, on s'intéresse uniquement aux antennes à boucle magnétique.

On s'est limité à l'étude et à l'analyse de quelques antennes imprimées intégrées dans des tags RFID passifs opérant dans la bande UHF sur le logiciel CST. Nous tentons par ce travail de montrer l'importance d'assurer une adaptation entre l'antenne du tag et la puce électronique pour une meilleure efficacité de la liaison.

Mots clés : RFID, antenne imprimée, Tag, bande UHF, antenne à boucle magnétique, adaptation.

Abstract : The radio frequency identification (RFID) is a technology that allows the identification of objects by exchanging data through Radio Frequency signals.

This technology is also known as the contactless identification name.

An RFID system characterized by a base station or reader seeking to identify objects, and a label (tag) is inserted at the level of these objects. In this work, we are interested only in the magnetic loop antennas.

It was limited to the study and analysis of some printed antennas integrated into passive RFID tags operating in the UHF band on the CST software. We attempt in this work to show the importance of ensuring a match between the tag antenna and the electronic chip for better efficiency of the link.

Keywords: RFID, printed antenna, Tag, UHF band, magnetic loop antenna, adaptation.

ملخص

تقنية التحديد عبر إشارات الراديو هي التكنولوجيا التي تسمح بتحديد هوية الكائنات و الأشياء عن طريق تبادل البيانات عبر إشارات ترددات الراديو.

وتعرف هذه التكنولوجيا أيضا باسم التحديد بدون تماس.

يتكون هذا النظام من المحطة الأساسية أو القارئ تسعى إلى تحديد الأشياء، و شريحة (علامة) على مستوى هذه الكائنات أو الأشياء. في هذا العمل، نحن مهتمون فقط بدراسة الهوائيات ذات حلقة مغناطيسية.

اقتصر على دراسة وتحليل بعض الهوائيات المطبوعة المدمجة في هوائيات مستقبلية تعمل في مجال الترددات الفائقة على برنامج .cst

نحاول في هذا العمل إظهار أهمية ضمان التكيف بين الهوائي والشريحة الإلكترونية لكفاءة أفضل.

كلمات البحث: هوائي مطبوع، شريحة، التكيف، الهوائيات ذات حلقة مغناطيسية، الترددات الفائقة.