

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



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

**Domaine : Sciences et Technologie
Filière : Télécommunications
Spécialité : Réseaux et Télécommunications**

Conception et fabrication des différents produits utilisant la technologie RFID

Application les antennes RFID

Présenté par :

**Redjimi Manel
Benamara Toubia Riane**

**Zemouli Amine
Messelem Oussama**

Sous la direction de :

**Dr. Mahri Omar
Dr. Guebgoub Nassima**

Année Universitaire : 2022-2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

REMERCIEMENTS

Nous remercions Dieu Tout-Puissant de nous avoir aidés à poursuivre nos études et pour la force et le courage qu'Il nous a donnés tout au long de notre parcours d'études.

Nous voudrions dans un premier temps remercier nos encadreur

Dr. OMAR MEHRI et Dr. NASSIMA GUEBGOUB pour

Ses patiences, ses disponibilités et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion. Nous remercions également les membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Nous tenons également à témoigner notre gratitude et nos remerciements à tous les collaborateurs du Département Electronique et Télécommunications, pour leur aide dans la réalisation de ce mémoire. Surtout Mlle Boukharouba Soraya. À tous ces intervenants, nous présentons nos remerciements, notre respect et notre gratitude.

DEDICACE

*Je dédie ce travail à la mémoire de Mes grands-parents
ainsique ma Tante Bariza.*

*Au meilleur des pères,
Tu me dirigeais toujours vers le bon chemin,
Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien
permanent venu de toi.*

*A ma très chère maman,
Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par
excellence, la source de tendresse et
L'exemple du dévouement, tu n'as pas cessé de
m'encourager et de prier pour moi.
Que vous trouvez en moi la source de leur fierté, Qu'Allah
le tout puissant vous préserve, vous
accorde santé et bonheur.*

*À mon frère Oussama à qui je souhaite un avenir radieux
plein de réussite.*

À ma famille.

*À tous les enseignants pendant les années passées d'études
Hommage respectueux.*

À mes quadrinome Tawba, Amine, Oussama.

Avec qui j'ai vécu

*De bons moments, et qui resteront gravés dans ma
mémoire à*

*Jamais et particulièrement : Alawa, Cherifa, Nouhed,
Rayen, Bouti, Meryouma, Hoja, Mouloud, Amine, Bicha et
toutes mes amis.*

À toute ma promotion de Master.

*À tous ceux qui on contribué de près ou de loins pour que
ce projet soit possible, surtout, Ami salim, Ami hmed, tata
habiba et tata warda.*

Je vous remercie.

MANEL

DEDICACE

*Je dédie ce modeste travail, fruit des longues années de mes études à tous puissant qui m'a donné la force et le courage d'étudier à la fontaine de l'amour ma mère qui m'adonné la vie, l'espoir et la tendresse : Reghaissia Soumia ,Mon très cher père «**Abati**» mon héros et mon roi, mon premier encadrant, depuis ma naissance pour lequel les mots ne suffiront jamais pour le remercier : Benamara Abdelkader, Merci pour votre sacrifice.*

À mes chères sœurs et frère que j'aime profondément :

Ikhlas, Asma, Abdou.

À ma chère grand-mère qui nous aime tant.

À ma tante et à ses enfants Seif et nana.

À mon collègue Youssef Djihad, merci de vos grands efforts.

Salutations spéciales à mes quadrinôme et surtout Manel.

Les personnes avec lesquelles j'ai vécu des moments merveilleux ont laissé des souvenirs inoubliables qui resteront à jamais gravés dans ma mémoire, et tout spécialement : Wafa, Samia, Bouti, Halouma, Soumia,

Zahra, Oumaima et toutes mes amis.

À tous ceux qui j'estime et m'estiment.

TAWBA

DEDICACE

On a l'immense honneur de dédier ce mémoire :

*À nos très chers parents et nos sœurs. Qui étaient présents
de nos côtés durant toute notre vie.*

À mes très chers amies et collègues.

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

AMINE

DEDICACE

Je dédie ce travail

*A ma famille, elle qui m'a doté d'une éducation digne, son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui :
Particulièrement à mon père ahmed, pour le goût à l'effort qu'il a suscité en moi, de par sa rigueur.*

À ma mère, mon roc indéfectible, dont la présence constante et l'amour inconditionnel ont été mes sources d'inspiration inépuisables.

À mes frères, Weil et Nasser Eddine, qui ont partagé avec moi des moments de rires, de soutien et d'aventures inoubliables. Vous êtes ma famille et mes amis les plus Proches qui m'avez toujours soutenu et encouragé durant ces années d'études.

À ma chère petite sœur, Raounek, qui illumine ma vie de sa présence joyeuse

À mes amis, qui ont illuminé ma vie de leur présence chaleureuse et de leur soutien indéfectible. Vous êtes les piliers de mon bonheur et de mes souvenirs les plus précieux.

À mon groupe de travail, Amine, Manel et Toubia, qui ont partagé avec moi les défis, les doutes et les succès.

À mes professeurs, le Dr Mahri O. et le Dr Guebgoub N., qui m'ont guidé(e) avec bienveillance et qui ont élargi mes horizons intellectuels. Vos enseignements ont façonné ma pensée critique et m'ont poussé(e) à me dépasser.

À Soria et Asia, les ingénieurs brillants derrière notre succès.

À toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à mon parcours académique, professionnel et personnel, je vous suis reconnaissant(e). Vos encouragements, votre soutien et votre influence ont été essentiels dans ma réussite.

OUSSAMA

RESUME

Aujourd'hui, le code à barres est progressivement remplacé par des tags RFID (Radio Frequency Identification) ayant la possibilité de stocker de l'information de manière dynamique et de communiquer sans fil avec leur l'environnement ambiant. Cette technologie trouve ses applications dans différents domaines tels que la santé, logistique, l'agroalimentaire et l'industrie manufacturière, ...etc.

Ce projet de fin d'étude vise à concevoir des antennes dipôles pour le Tag RFID passif pour les fréquences UHF 0.9 GHz et micro-ondes 2.45 GHz et 5.8 GHz. Diverses conceptions d'antennes ont été présentées basées sur les géométries fractales et la technique des méandres. Pour chaque antenne, nous avons optimisé sa géométrie et ses dimensions en faisant plusieurs simulations par le logiciel CST.

Les performances de ces antennes ont été également évaluées à travers la représentation du coefficient de réflexion, du diagramme de rayonnement et de l'impédance d'entrée. A partir des résultats de la caractérisation par la mesure du coefficient de réflexion des deux antennes réalisées, nous avons constaté un bon accord avec les résultats simulés. Nous avons réalisé un modèle d'un système RFID à distance rapprochée par une antenne HF à 13.56 MHz qui affiche les renseignements d'une étiquette par un logiciel réalisé sous environnement PYTHON.

Les Mots clés : RFID, ANTENNE, FREQUENCE, CONCEPTION.

ABSTRACT

Today, the barcode is gradually being replaced by RFID (Radio Frequency Identification) tags with the ability to store information dynamically and communicate wirelessly with their surrounding environment. This technology has applications in various fields such as health, logistics, agric-food and manufacturing, etc.

This end-of-study project aims to design dipole antennas for the passive RFID tag for the 0.9 GHz UHF and 2.45 GHz and 5.8 GHz microwave frequencies. Various antenna designs were presented based on fractal geometries and meandering technique. For each antenna, we optimized its geometry and dimensions by performing several simulations using CST software.

The performance of these antennas was also evaluated through the representation of the reflection coefficient, the radiation pattern and the input impedance. From the results of the characterization by measuring the coefficient of reflection of the two antennas carried out, a good agreement was found with the simulated results. A model of a close-range RFID system was developed using a 13.56 MHz HF antenna that displays the information of a label by software produced under the PYTHON environment.

Key words: RFID, ANTENNA, FREQUENCY, DESIGN.

ملخص

اليوم يتم استبدال الرمز الشريطي تدريجيا بعلامات RFID (تحديد الهوية بموجات الراديو) مع القدرة على تخزين المعلومات ديناميكيا والتواصل السلبي مع البيئة المحيطة بها. هذه التكنولوجيا لها تطبيقات في مجالات مختلفة مثل: الصحة واللوجستيات والأغذية الزراعية والتصنيع... الخ.

يهدف مشروع التخرج إلى تصميم هوائيات ثنائية القطب لعلامة RFID السلبية للتردد فوق العالي 0.9 جيجا هرتز و 5.8 جيجا هرتز و 452 جيجا هرتز ميكروويف. تم تقديم تصميمات هوائية مختلفة بناءً على الهندسة الكسورية وتقنية التعرج. لكل هوائي، قمنا بتحسين هندسته وأبعاده من خلال إجراء العديد من عمليات المحاكاة باستخدام برنامج CST.

كما تم تقييم أداء هذه الهوائيات من خلال تمثيل معامل الانعكاس ونمط الشعاع والمقاومة الداخلية. من نتائج التوصيف بقياس معامل انعكاس الهوائيين المنفذين تم العثور على اتفاق جيد مع نتائج المحاكاة. تم تطوير نموذج لنظام RFID قريب المدى باستخدام هوائي بتردد 13.56 ميغاهرتز HF يعرض معلومات الملصق بواسطة برنامج تم انتاجه بواسطة PYTHON.

الكلمات المفتاحية: تحديد الهوية بموجات الراديو، هوائي، تردد، تصميم.

TABLE DE MATIERE

TITRES	PAGES
REMERCIEMENT	
DEDICACE	
RESUME	
TABLES DES MATIERES	
LISTES DES FIGURES	
LISTE DES TABLEAUX	
INTRODUCTION GENERALE	01
CHAPITRE I : LA TECHNOLOGIE RFID	
I.1. INTRODUCTION	04
I.2. HISTORIQUE	04
I.3. DEFINITION	05
I.4. COMPOSITION D'UN SYSTEME RFID	06
I.4.1. Le tag RFID	06
I.4.2. Un lecteur RFID	07
I.4.3. Une infrastructure d'appui	08
I.5. BANDES DE FREQUENCES UTILISEES PAR LES RFID	09
I.6. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	11
I.6.1. Les systèmes à couplage magnétiques (en champ proche)	12
I.6.2. Les systèmes à couplage électromagnétique (en champ lointain)	12
I.7. LES ANTENNES DES LECTEURS RFID	13
I.7.1. Polarisation	13

I.7.2. Angle d'ouverture et gain	14
I.7.3. Nombre d'antennes	14
I.8. LES ANTENNES DES TAGS RFID	14
I.9. LA PUCE DANS LES SYSTEMES RFID	15
I.10. LES TECHNIQUES D'ADAPTATIONS	16
I.10.1. T.MATCH	16
I.10.2. La boucle d'inductance	17
I.10.3. Nested-slot	18
I.11 .APPLICATIONS ET PERSPECTIVES DE LA RFID	19
I.11.1. La sante	19
I.11.2. Contrôle d'accès et traçabilité des hommes et des animaux	21
I.11.3. Traçabilité logistique et traçabilité	21
I.11.4 .Sport	23
I.11.5.La sécurité	23
I.11.6. La culture	24
I.12 .LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS	25
I.12.1. Les avantages	26
I.12.2.Les inconvénients	26
I.13.CONCLUSION	26
CHAPITRE II : CONCEPTION ET FABRICATION D'ANTENNE POUR UN SYSTEME RFID	
II.1.INTRODUCTION	28
II.2.DEFINITION DU LOGICIEL CST STUDIO SUITE	29
II.3. LA METHODOLOGIE DE CONCEPTION D'ANTENNES DE TAGS RFID PASSIFS	29
II.4.ANTENNE A DIPOLE FRACTALE DE PEANO RFID ADAPTEE A 50 Ω	30

II.4.1. Première itération	30
II.4.2. Antenne à dipole fractale de peano à l'itération unemono-bande (5.8ghz)	31
II.4.3. Deuxieme itération	33
II.4.4. Antenne à dipole fractale de peano à l'itération 2 bi-bande (2.45 et 5.8ghz)	34
II.5. ANTENNE A DEUX DIPOLE AVEC DES LIGNES ENROULEE EN FORME DE CROIX POUR LES APPLICATIONS RFID (0.9GHZ)	38
II.6.1. Antenne dipôle en forme de méandre bi-bandes (0.9 GHz et 2.45 GHz)	41
II.7. REALISATION	45
II.7.1. Description du matériel	46
II.7.2. Prototype 1 : antenne dipôles de peano a l'itération 2 bi-bandes	47
II.7.2.1. Mesure expérimentales	48
II.7.3. Prototype 2 : antenne dipôle en forme de méandre bi-bandes	49
II.7.3.1. Mesure expérimentales	50
II.8. CONCLUSION	50
CONCLUSION GENERALE	52
BIBLIOGRAPHIE	53
Annexe de projet	55

LISTE DES FIGURES

Titres	Pages
Chapitre I : La technologie RFID	
Figure I.1 : Les principaux composants d'un système RFID	06
Figure I.2 : Etiquette RFID	06
Figure I.3 : Les différents types des lecteurs RFID	08
Figure I.4 : Schéma général d'un lecteur RFID	08
Figure I.5 : Les bandes de fréquences allouées par la technologie RFID	10
Figure I.6 : Approches de communication utilisées dans les systèmes RFID	11
Figure I.7 : Systèmes RFID en champ proche	12
Figure I.8 : Principe de fonctionnement de la RFID à couplage électromagnétique	13
Figure I.9 : Configuration des antennes IFA	15
Figure I.10 : Antenne dipolaire	15
Figure I.11 : Antenne planaire avec fente	15
Figure I.12 : La configuration T-Match et le circuit équivalent	17
Figure I.13 : La configuration à boucle à couplage inductif et son circuit équivalent	18
Figure I.14 : La configuration par fente et son circuit équivalent	18
Figure I.15 : Illustration de traçabilité des processus	22
Figure I.16 : Illustration de traçages des biens	23
Figure I.17 : L'RFID dans le domaine de la sécurité	24
Figure I.18 : L'RFID dans le domaine de la lecture	25
Chapitre II : Conception et simulation des antennes pour système RFID	
Figure II.1 : Méthodologie de conception d'antennes de tags RFID passif	30
Figure II.2 : Géométrie de Peano à l'itération une	31

Figure II.3 : Structure de l'antenne dipôle fractale de Peano a l'itération	32
Figure II.4 : Coefficient de réflexion de l'antenne dipôle de Peano à l'itération 1 mono-bande (5.8 GHz)	32
Figure II.5 : Diagramme de rayonnement 2D&3D dans la fréquence 5.8 GHz de l'antenne dipôle de Peano à l'itération 1 mono- bande	33
Figure II.6 : Géométrie de Peano à l'itération deux	34
Figure II.7 : Structure de l'antenne dipôle fractale de Peano a l'itération 2	35
Figure II.8 : Coefficient de réflexion de l'antenne dipôle fractale de Peano à l'itération 2 bi-bande (2.45 et 5.8 GHz)	36
Figure II.9 : Diagramme de rayonnement 2D&3D dans les deux fréquences 2.45 GHz et 5.8 GHz de l'antenne dipôle fractale bi- bande	37
Figure II.10 : Impédance d'entrée de l'antenne dipôle fractale de Peano à l'itération 2 bi-bandes (2.45 et 5.8 GHz)	38
Figure II.11 : Géométrie de l'antenne à deux dipôles croises en forme de méandre proposée (0.9 GHz)	38
Figure II.12 : Coefficient de réflexion de l'antenne à deux dipôles croises en forme de méandre proposée (0.9 GHz)	40
Figure II.13 : Diagramme de rayonnement 2D&3D dans la fréquence 0.9 GHz de l'antenne à deux dipôles croises en forme de méandre mono-bande	41
Figure II.14 : Antenne dipôles en forme de méandre bi-bandes (0.9 GHz et 2.45 GHz)	42
Figure II.15 : Coefficient de réflexion de l'antenne dipôle en forme de méandre bi-bandes proposée (0.9 GHz et 2.45 GHz)	43
Figure II.16 : Diagramme de rayonnement 2D&3D de l'antenne dipôle en forme de méandre bi-bandes à la fréquence 2.45 GHz et 5.8 GHz	44
Figure II.17 : Impédance d'entrée de l'antenne dipôle en forme de méandre bi- bandes (0.9 et 2.45 GHz)	45
Figure II.18 : La machine ProtoMat E44	47
Figure II.19 : Antenne dipôle fractale de Peano à l'itération 2 bi- bande simulée	47
Figure II.20 : Antenne dipôle fractale de Peano à l'itération 2 bi- bande réalisée	48
Figure II.21 : Coefficient de réflexion simulé et mesuré de l'antenne dipôle de Peano à l'itération 2 bi- bande (2.45 et 5.8 GHz)	48
Figure II.22 : Antenne dipôle en forme de méandre bi- bande simulée	49
Figure II.23 : Antenne dipôle en forme de méandre bi- bande réalisée	50
Figure II.24 : Coefficient de réflexion simulé et mesuré de l'antenne dipôle en forme de méandre bi- bande (0.9 GHz et 2.45 GHz)	50

LISTE DES TABLEAUX

Titres	Pages
Chapitre I : La technologie RFID	
Tableau I.1 : comparaison des différents systèmes RFID a bande étroite	07
Tableau I.2 : Bande de fréquences utilisées par les RFID	10
Tableau I.3 : Applications de la RFID selon la fréquence	11
Chapitre II : Conception et simulation des antennes pour système RFID	
Tableau II.1 : Dimensions optimisées de l'antenne dipôle de Peano à l'itération 1 mono-bande	32
Tableau II.2 : Dimensions optimisées de l'antenne dipôle de d Peano à l'itération 2 bi-bande	35
Tableau II.3 : Paramètres géométriques optimisées de l'antenne à deux dipôles croisés en forme de méandre	39
Tableau II.4 : Géométrie de l'antenne dipôles croises en forme de méandre bi-bandes (0.9 GHz et 2.45 GHz)	42

Introduction

Générale

La RFID est une technologie émergente utilisée pour l'identification sans fil au moyen d'ondes radio, rendent l'échange d'information nettement plus rapide et plus efficace, plusieurs bandes de fréquences ont été normalisées tels que les systèmes à basse fréquence (LF 125-135 KHz) et à haute fréquence (HF 13.56 MHz), les systèmes à très haute fréquence (UHF 860-960 MHz) et micro-ondes (2.4 GHz et 5.8 GHz). Un système RFID se compose de trois parties principales : une étiquette associée à l'objet à identifier, un lecteur utilisé pour extraire l'identifiant unique de l'objet de l'étiquette, et un système d'application. Les systèmes RFID sont largement utilisés pour la traçabilité des produits, la gestion des stocks, la sécurité des biens et une grande gamme d'applications pour d'autres domaines comme la santé.

Les antennes jouent un rôle critique dans le fonctionnement efficace d'un système d'identification par radiofréquence. En effet, leur conception, leurs performances et leurs applications ont un impact significatif sur l'efficacité, la fiabilité et l'évolutivité de la technologie RFID.

Les antennes dipôles jouent un rôle essentiel dans de nombreuses applications sans fil, notamment dans le domaine de l'identification par radiofréquence (RFID). Leur popularité croissante est due à leur capacité à fournir une communication sans fil efficace entre les tags RFID et les lecteurs, offrant ainsi une solution pratique et automatisée pour l'identification et la collecte de données. L'antenne dipôle se compose de deux conducteurs parallèles de longueur égale, généralement installés perpendiculairement à un plan de masse. Lorsqu'un courant alternatif est appliqué à l'antenne de lecteur RFID, elle génère un champ électromagnétique qui est capté par les tags RFID à proximité.

L'objectif de ce projet de fin d'étude est de faire une contribution à l'étude et à la conception des antennes pour les Tag RFID passif, à savoir l'antenne dipôle dans le contexte des applications RFID pour les fréquences : 0.9 GHz, 2.45 GHz et 5.8 GHz. Plus précisément, nous nous intéressons à plusieurs aspects clés tels que le coefficient de réflexion, la bande passante, le gain et l'impédance d'entrée. En comprenant en profondeur ces paramètres et en les optimisant, nous pouvons améliorer la communication entre les tags RFID et les lecteurs, augmenter la fiabilité du système et réduire les coûts de

déploiement.

Au cours de ce travail, nous utilisons le simulateur électromagnétique CST Microwave Studio version 2019 pour analyser le comportement des antennes dipôles dans différentes configurations. Nous explorons également plusieurs conceptions basés sur deux techniques telles que les géométries fractales et la technique des méandres. Une réalisation pratique des deux antennes bi-bandes proposées : Antenne fractale dipôle de piano (2.45 et 5.8 GHz) et l'Antenne dipôle en forme de méandre (0.9 et 2.45GHz) ; a été réalisée, ainsi que la validation des résultats à donner beaucoup de précision entre les résultats mesurés et simulés en termes de coefficient de réflexion.

Les résultats de ce projet permettront de mieux comprendre les caractéristiques fondamentales des antennes dipôles pour les applications RFID, offrant ainsi des perspectives précieuses pour l'amélioration des systèmes RFID existants et le développement de nouvelles solutions innovantes plus efficaces, plus performantes et plus adaptées aux besoins spécifiques de diverses industries et applications.

Pour atteindre notre objectif, le présent travail est réparti en trois chapitres et une annexe.

Le premier chapitre porte sur la technologie et les antennes RFID. Une présentation générale de cette technologie soulignant son principe de fonctionnement et ses principales caractéristiques, ainsi que les composants constituant un système RFID est proposée dans la première partie. Ensuite, une étude sur les antennes dans les systèmes RFID passifs opérant en zone de champ lointain est proposée dans la deuxième partie. Ensuite, nous mettons en lumière les techniques d'adaptation ainsi que les domaines d'application. Nous terminons ce chapitre par les avantages et les inconvénients de la RFID.

Le deuxième chapitre est consacré à la conception, la simulation et à la réalisation d'antennes dipôles associées à des tags RFID. Nous allons d'abord définir le logiciel utilisé CST, et la méthodologie de travail. Nous entamons ensuite la simulation des deux antennes dipôles proposées adaptées à 50Ω , en commençant par la conception d'une antenne dipôle à base du fractale de PEANO à la deuxième itération bi-bande (2.45 et 5.8 GHz). Ensuite nous allons faire la conception de l'antenne dipôle à méandres bi-bande (0.9 et 2.45GHz).

Tous les résultats de simulation sont suivis par des commentaires. Puis nous allons passer à la réalisation des deux prototypes d'antennes, et pour valider nos résultats nous avons utilisé l'analyseur de réseaux vectoriel (VNA).

Une conclusion générale et les références bibliographiques clôturent ces deux chapitres. Nous terminons notre manuscrit par une annexe du notre projet Start up.

CHAPITRE I
La Technologie
RFID

I.1. INTRODUCTION

La technologie RFID a révolutionné la façon dont les entreprises fonctionnent en fournissant une capture de données automatisée et un suivi des objets en temps réel. Il se compose d'étiquettes, de lecteurs et de logiciels qui utilisent des ondes radio pour communiquer des informations entre l'étiquette et le lecteur. La RFID est devenue largement utilisée dans quasiment tous les secteurs industriels, tels que ceux de l'aéronautique, l'automobile, la logistique, le transport, la santé, etc. En effet, bien qu'il existe d'autres sortes de détection électronique à distance, telles que la technologie infrarouge ou la liaison optique, la technologie RFID n'a pas besoin de visibilité directe. Elle peut ainsi identifier plusieurs objets en même temps, sans risque de collision et ceci à distance [1].

Dans ce chapitre, une présentation générale de cette technologie soulignant son principe de fonctionnement et ses principales caractéristiques, ainsi que les composants constituant un système RFID est proposée dans la première partie. Ensuite, une étude sur les antennes dans les systèmes RFID passifs opérant en zone de champ lointain est proposée dans la deuxième partie. Ensuite, nous mettons en lumière les techniques d'adaptation ainsi que les domaines d'application. Nous terminons ce chapitre par les avantages et les inconvénients de la RFID.

I.2. HISTORIQUE

La radio-identification est une technologie d'identification relativement moderne qui a été développée récemment. Cependant, la première application RFID fut utilisée pendant la Seconde Guerre mondiale lorsque Watson et Watt avaient développé une application dans le domaine militaire permettant de vérifier l'appartenance « amie » ou « ennemie » des avions arrivant dans l'espace aérien britannique et cela en 1935. Ce système dit IFF (Identify: Friend or Foe) reste le principe de base utilisé de nos jours pour le contrôle du trafic aérien. À partir des années 40, l'idée de l'identification radio fréquence commence à germer avec les travaux de Harry Stockman, suivi des travaux de F. L. Vernon en 1952 et ceux de D.B. Harris. Leurs articles sont considérés comme les fondements de la technologie RFID et décrivent les principes qui sont toujours utilisés aujourd'hui. En 1975, la démonstration de la rétrodiffusion des étiquettes (tags) RFID, à la fois passives et semi-passives a été réalisée par Steven Depp,

Alfred Koelle et Robert Freyman au laboratoire scientifique de Los Alamos. Le système portable fonctionne à la fréquence 915 MHz. Cette technique est utilisée par la majorité des transpondeurs (tags) RFID fonctionnant en UHF (ultra Hautes Fréquences) et microonde. À la fin des années 70, l'utilisation de la RFID pour l'identification de bétail commence en Europe et aux États-Unis. Il a fallu attendre l'année 1990 pour commencer la standardisation des puces RFIDs.

L'organisme ISO (International Organization for Standardization) se penche d'abord sur les puces puis sur les lecteurs et commence son travail de normalisation. Aujourd'hui, la technologie RFID n'est pas encore complètement encadrée par une réglementation à l'échelle mondiale. L'année 1999 a connu la création du centre « Auto-ID Center », formé par le MIT (Massachusetts Institute of Technology) et des partenaires industriels, une organisation sans but lucratif ayant pour mission la standardisation et la construction d'une infrastructure pour un réseau mondial de la RFID. En 2010-2013, il a été prévu dans le Projet de Loi sur la santé que tous les américains se verront implanter une micro-puce dans le but de créer un registre national d'identification, pour permettre un meilleur suivi des patients en ayant toutes les informations relatives à leur santé [2].

I.3. DEFINITION

La radio-identification, désignée par RFID (radio Frequency identification), consiste en l'utilisation d'ondes électromagnétiques pour lire l'identité d'un marqueur, appelé radio-étiquette, transpondeur ou plus couramment « tag RFID », ainsi que toute autre information pouvant y être stockée. Une fois "réveillées" par le lecteur ou l'interrogateur (Reader), ces étiquettes transmettent alors en retour un signal et un dialogue s'établit selon un protocole de communication prédéfini et les données sont échangées [3].

Tous les jours nous utilisons des produits RFID sans le savoir : à travers des cartes de transports, des étiquettes antivols dans les magasins, des badges RFID, badges de sécurité ou plus récemment des clés sans contact pour voiture. Cette technologie a pour avantage de faire gagner du temps aux usagers et de permettre une lecture rapide des données [4].

I.4. COMPOSITION D'UN SYSTEME RFID

Un système RFID typique comporte trois entités (Figure I.1) :

- Le Tag RFID.
- Un lecteur ou interrogateur RFID.
- Une infrastructure d'appui (un système d'application par exemple) :

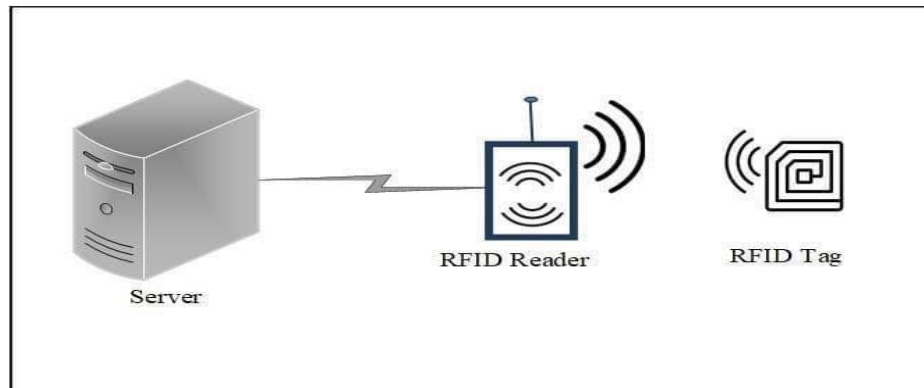


Figure I.1 : Les principaux composants d'un système RFID

I.4.1. Le Tag RFID

Les données, dont l'identité, doivent pouvoir être lues dans n'importe quelle position et à des distances de lecture pouvant aller jusqu'à 200 mètres selon le type de tag et la fréquence utilisée. Il peut être en lecture seule ou lecture/écriture et est constitué de trois composants :

- Une antenne.
- Un circuit contenant la mémoire de stockage (généralement une puce).
- Un matériel d'encapsulation.

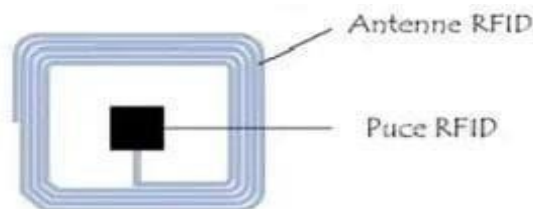


Figure I.2: Etiquette RFID

Le tag RFID peut être classé selon deux types :

- Les tags dits **passifs**, sans système d'alimentation et par nature peu coûteux.

L'énergie utilisée pour renvoyer les informations est alors celle reçue de l'interrogateur.

- Les tags dits **actifs**, eux-mêmes de deux types différents :

✓ **Semi-actif**, ce sont des étiquettes passives assistées par batterie, plus robustes, avec un plus fort débit de lecture et plus onéreux. Comme les tags passifs, ils utilisent l'énergie du lecteur pour générer la réponse à une interrogation mais la batterie est utilisée pour alimenter les autres éléments de la puce de silicium, tels que le microcontrôleur et la mémoire. Cela permet, par exemple, d'enregistrer des données lors d'un transport du tag, comme la localisation, la température, la pression, etc.

✓ **Actif**, les plus chers, équipés d'une batterie leur permettant d'être en capacité d'émettre un signal. Ils peuvent être considérés comme des émetteurs-récepteurs de télémétrie et avoir un stockage de données plus important.

D'après le tableau I.1 ; qui dresse un comparatif entre les systèmes actifs, semi actifs et passifs ; on voit tout l'intérêt que présentent les systèmes passifs en termes de coût et de durée de vie [5].

Type	Distance	Débit	Durée de vie	Coût
Passif	+	+	+++	+
Semi actif	++	++	++	++
Actif	+++	+++	+	+++

Tableau I.1 : Comparaison des différents systèmes RFID à bande étroite

I.4.2. Un lecteur RFID

Les lecteurs, souvent appelé « interrogateurs », sont des équipements mobile, fixe ou portatif selon l'application (figure I.3). Il émet un signal radio qui déclenche la réponse du tag. Cette communication se fait grâce à chaque antenne RFID intégrée dans chacun d'entre eux.

Dans les systèmes plus sophistiqués, le signal radio du lecteur peut contenir des commandes destinées à la puce, des instructions pour effectuer des opérations de

lecture/d'écriture dans la mémoire de la puce, voire des mots de passe.

La taille du lecteur, dépend de nombreux paramètres. Il peut varier de la taille d'une pièce de monnaie à celle d'un ordinateur de poche. Un lecteur peut être doté de fonctionnalités GPS et de dispositifs de connexion à des systèmes et des réseaux d'information [6].



Figure I.3 : Les différents types des lecteurs RFID

I.4.3. Une infrastructure d'appui

Typiquement un système de supervision connecté aux lecteurs, permettant le traitement et l'exploitation des données des tags, qui pourront alimenter d'autres bases de données et applications pour un traitement ultérieur.

Le lecteur peut être décomposé en trois parties principales : une ou plusieurs antennes, une station de base et système hôte. La figure I.4 présente le schéma général d'un lecteur RFID.

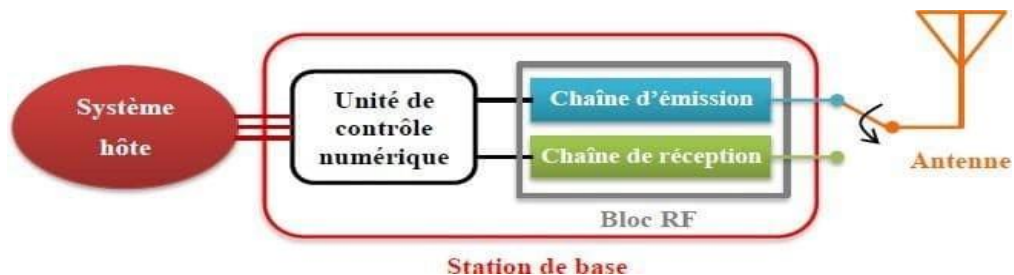


Figure I.4 : Schéma général d'un lecteur RFID

Le rôle de l'antenne est de convertir l'énergie guidée en énergie rayonnante, qui se propage dans l'espace libre, et inversement. Les informations reçues par l'antenne du lecteur sont dirigées vers la station de base.

La fonction principale la station de base est de transférer, traiter et traduire les commandes et les informations. La station de base joue également un rôle clé dans l'alimentation de tag RFID en envoyant et en fournissant de l'énergie radiofréquence. En plus d'alimenter l'étiquette, la station de base peut également lire des informations stockées sur l'étiquette ou y écrire de nouvelles informations. Une fois qu'elle a collecté ces données, la station de base les transmet au système hôte. La station de base peut également envoyer des commandes du système hôte à la balise. Cet appareil peut se voir attribuer des fonctions plus complexes telles qu'un système anticollision ou une authentification par balise pour empêcher tout accès non autorisé au système [1].

Le système hôte est également responsable du contrôle du réseau de tous les SB qui lui sont connectés dans les applications où plusieurs lecteurs sont utilisés. Le système hôte peut prendre plusieurs formes, y compris un logiciel intégré à l'ensemble du lecteur ou une interface informatique externe à la SB et à l'antenne [1].

I.5. BANDES DE FREQUENCES UTILISEES PAR LES RFID

Plusieurs bandes de fréquences ont été normalisées, pour cela les systèmes à la basse fréquence (LF 125 -135 KHz) et à haute fréquence (HF 13.56 MHz) sont les plus avancés, les systèmes à très haute fréquence (UHF 860 – 960 MHz) et micro-ondes (2.4 GHz et 5.8 GHz) sont la technologie émergente.

Elles sont adaptées aux diverses technologies développées par l'industrie pour des applications et des marchés spécifiques avec leurs caractéristiques de taux de transfert/débit, portée/distance de lecture, environnement d'utilisation, type de couplage, etc. (Tableau I.2)

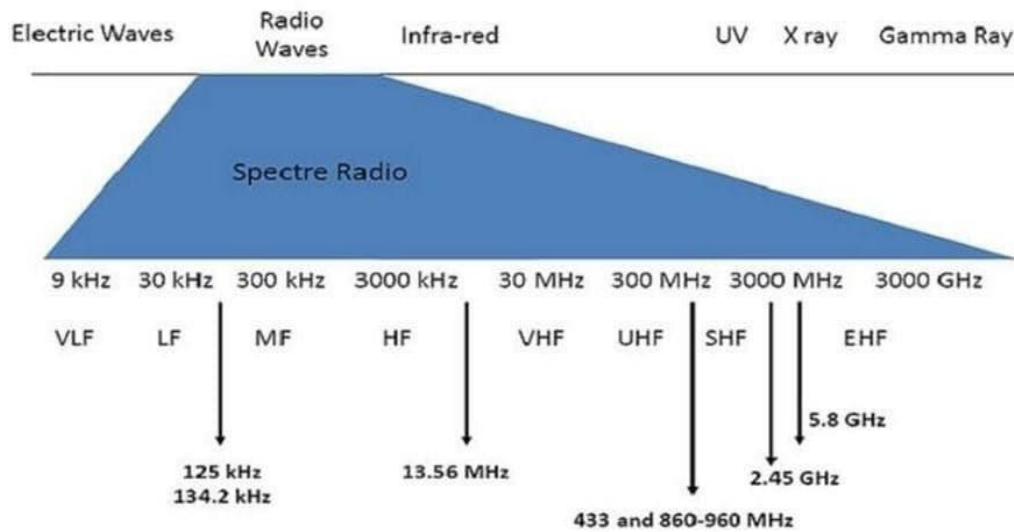


Figure I.5 : Les bandes de fréquences allouées par la technologie RFID

Bande de fréquence	Couplage	Portée	Débit
119 à 148.5 kHz (LF)	inductif	courte	faible
400 à 600 kHz (MF)	inductif	courte	faible /moyen
13,553 à 13,567 MHz (HF)	bande ISM : inductif	longue	moyen/rapide
433,05 à 434,79 MHz (UHF)	électrique	longue	moyen/rapide
865 à 868 MHz (UHF)	électrique	moyenne	rapide
916,1 à 918,9 MHz (UHF)	électrique	moyenne	rapide
2 446 à 2 454 MHz (UHF)	électrique	courte/moyenne	très rapide

Tableau I.2 : Caractéristiques des bandes de fréquences utilisées par les RFID

Chaque domaine fréquentiel a des utilisations dans certains domaines. Le tableau I.3 montre quelques champs et leurs utilisations.

Gamme de fréquences	Basse fréquence	Haute fréquence ISO/IEC 15693	Haute fréquence ISO/IEC 14443	Ultra haute fréquence
	125/135 KHz	13.56 MHz	13.56 MHz	902-928 MHz
Application	Sécurité, Contrôle d'accès, suivi des actifs, suivi des animaux, automobile	Suivi des stocks, systèmes de contrôle d'accès physique	Carte d'identité et document sécurisés (passeport), paiement par carte de crédit, paiement de transit, systèmes de contrôle d'accès physique	Suivi des stocks de véhicules de transport, chaîne d'approvisionnement

Tableau I.3 : Applications de la RFID selon la fréquence

I.6. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Dans l'industrie, on trouve deux catégories des systèmes RFID :

- les systèmes à couplage magnétiques.
- les systèmes à couplage électromagnétique.

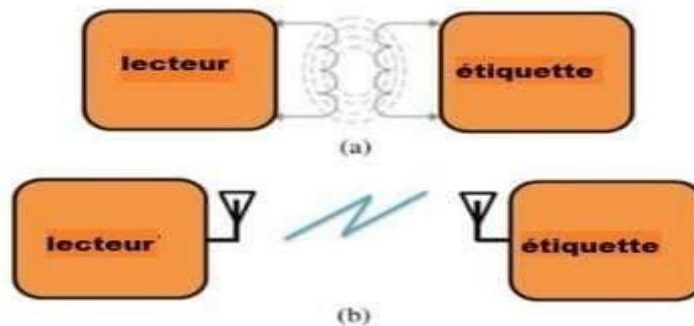


Figure I.6 : Approches de communication utilisées dans les systèmes RFID

- (a) Communication par induction (couplage inductif), (b) Communication par propagation (couplage électrique)

I.6.1. les systèmes à couplage magnétiques (en champ proche)

Dans les systèmes RFID en champ proche, la transmission de la puissance ainsi que les données à partir du lecteur sont assurées grâce au couplage mutuel à travers le champ magnétique pour un couplage inductif ou le champ électrique à travers un couplage capacitif. Dans la pratique c'est souvent le couplage magnétique qui est mis en œuvre à cause de sa simplicité. Cette famille de système RFID comprend les systèmes BF et HF Leurs transpondeurs utilisent des antennes magnétiques. Ils sont constitués d'une bobine inductive d'inductance L réalisant le rôle d'antenne, d'une puce électronique contenant l'identifiant du tag et réalisant les opérations de communication, et enfin d'une capacité C permettant de faire résonner le circuit LC à la fréquence de travail. Le principal inconvénient des systèmes RFID en champ proche est la relative faible distance de lecture[7].

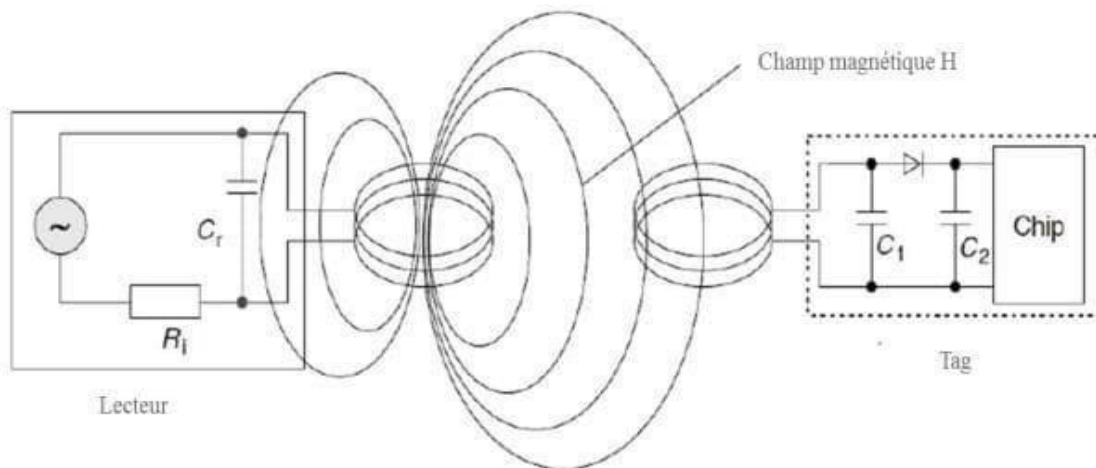


Figure I.7: Système RFID en champ proche

I.6.2. les systèmes à couplage électromagnétique (en champ lointain)

La méthode de couplage électromagnétique est similaire à la méthode de couplage inductif, à la différence qu'au lieu d'utiliser un champ magnétique, on utilise un champ électromagnétique qui couvre une plus grande distance pour transférer l'énergie aux étiquettes. Les étiquettes à ultra-haute fréquence (UHF) et à micro-ondes utilisent cette méthode. Les bandes de fréquence UHF et micro-ondes offrent une moins bonne pénétration du signal à travers les obstacles que la bande HF, mais elles permettent d'atteindre des distances de

lecture plus grandes et un débit d'échange d'informations plus important. On peut différencier les systèmes RFID UHF et micro-ondes en deux types : les systèmes opérant sans puce électronique (dit « chipless »), et les systèmes opérant avec des tags possédant une puce électronique.

Le principe de fonctionnement est simple. Le lecteur émet des ondes de radio à des fréquences concrètes à travers des antennes RFID. Les ondes donnent de l'énergie aux tags pour qu'ils puissent se communiquer en émettant un ID unique. Ils n'ont pas besoin de batteries et peuvent être utilisés pendant de nombreuses années. Les données captées par le lecteur sont transmises et traitées par un système informatique comportant un logiciel, tel qu'un système de contrôle d'inventaire, d'un système de contrôle d'accès ou d'un système de contrôle de production. La figure I.6 présente les éléments essentiels d'un système RFID [8].

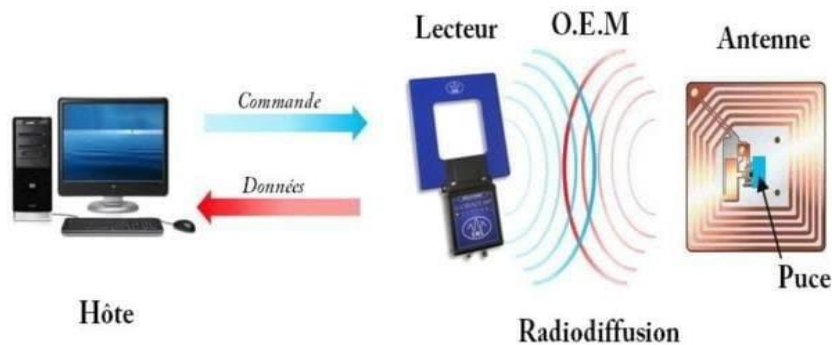


Figure I.8 : Principe de fonctionnement de la RFID à couplage électromagnétique

I.7. LES ANTENNES DES LECTEURS RFID

Les Antennes RFID sont chargées d'émettre et de recevoir les ondes qui nous permettent de détecter les puces RFID. Lorsqu'une puce RFID croise le champ de l'antenne, celui-ci s'active et émet un signal. Les antennes créent différents champs d'onde et couvrent différentes distances.

I.7.1. Polarisation

Les antennes de polarisation circulaire travaillent mieux dans des environnements où l'orientation du tag varie. Les antennes de polarisation linéale s'utilisent lorsque l'orientation

des tags est connue et contrôlée et est toujours la même. Les antennes NF (de champ proche) servent pour lire les tags RFID à peu centimètres.

I.7.2. Angle d'ouverture et gain

Utiliser des antennes avec des gains d'entre 8,5-10 dBi ou plus, nous permettra d'émettre à une puissance supérieure et d'obtenir un ratio de lecture plus grand. L'angle d'ouverture dépend de la zone que l'on souhaite aborder, par exemple : 70°, 100°, etc. Plus les antennes ont de l'ouverture, moindre est la distance de détection atteinte.

I.7.3. Nombre d'Antennes

Les lecteurs standards de haut rendement ont 2 ports, 4 ports ou 8 ports; le nombre d'antennes est choisi normalement en fonction de l'espace de lecture que nous souhaitons détecter ou la densité de tags à lire. Habituellement on utilise des lecteurs fixes de 2 ou 4 ports. Certaines marques disposent de multiplexeurs qui nous permettent de connecter jusqu'à 32 antennes dans un même lecteur [9].

I.8. LES ANTENNES DES TAGS RFID

Les antennes d'étiquettes RFID sont un composant essentiel pour la conception des systèmes RFID. Et elles fonctionnent sur les mêmes principes que les antennes lecteurs, mais font face à des défis pratiques très différents, tels que le faible coût, la taille réduite, la polarisation et l'adaptation à la charge de la puce.

L'antenne sera conçue pour répondre aux contraintes correspondantes en fonction des besoins spécifiques de chaque application. Il existe 4 principaux types d'antennes utilisées pour les antennes d'étiquettes RFID passives UHF : [10]

- ✓ Les antennes IFA (Inverted F Antenna).
- ✓ Les antennes à fentes.
- ✓ Les antennes patches.
- ✓ Les antennes dipôles.

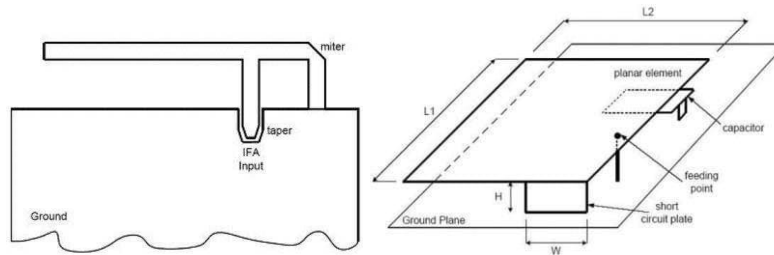


Figure I.9: Configuration des antennes IFA.

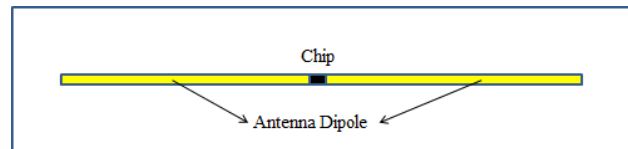


Figure I.10: Antenne dipolaire.

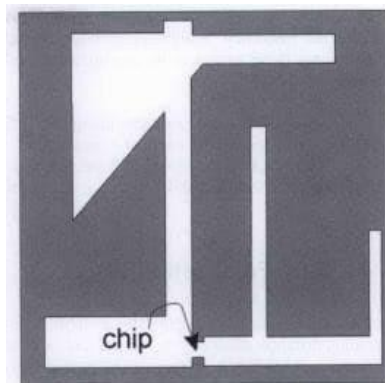


Figure I.11: Antenne planaire avec fente.

I.9. LA PUCE DANS LES SYSTEMES RFID

Dans la conception d'une étiquette RFID passive, une puce est connectée à une antenne, et il est essentiel d'obtenir la bonne adaptation d'impédance entre elles pour des performances optimales. En effet, l'impédance de la puce n'est pas linéaire et peut varier en fonction de la fréquence et de la puissance du signal du lecteur. Par conséquent, les concepteurs doivent régler soigneusement les composants pour approcher l'adaptation d'impédance correcte pour l'application ciblée.

Les fabricants proposent des puces RFID dans diverses options d'emballage, notamment des matrices, des boîtes standard, des sangles et des boucles avec couplage inductif. Le choix de l'emballage affecte la façon dont la puce est attachée à l'antenne, ce qui à son tour a un impact sur le processus de fabrication et le coût. Par conséquent, la sélection d'un type d'emballage est une décision cruciale pour la fabrication d'étiquettes RFID [11].

I.10. LES TECHNIQUES D'ADAPTATION

Les étiquettes RFID UHF passives nécessitent des conditions d'impédance spécifiques pour garantir des performances optimales, des techniques d'adaptation d'impédance sont utilisées pour permettre aux étiquettes RFID de fonctionner dans des conditions d'impédance différentes de celles de leur conception prévue.

Le principal avantage de l'adaptation d'impédance entre l'antenne de l'étiquette et la puce est la récupération d'une énergie suffisante pour générer une tension continue qui alimente la puce RFID. L'adaptation d'impédance est essentielle pour maximiser le transfert de puissance et réduire la perte de signal. Une impédance inadaptée entre l'antenne et la puce entraîne un signal affaibli, des performances inférieures et une énergie réfléchie vers le lecteur [12].

I.10.1. T-match

Cette technique permet un transfert de puissance efficace et des performances optimisées. Les antennes dipôles planaires peuvent voir leur impédance d'entrée modifiée en introduisant un talon de court-circuit centré ou en plaçant un deuxième dipôle à proximité pour distribuer le courant. Pour adapter une antenne à l'impédance capacitive de la puce RFID, une combinaison d'inductances parallèles et en série peut être utilisée [13].

L'impédance équivalente vue à partir de la puce :

Le circuit T-match peut être personnalisé pour chaque conception d'étiquette afin d'obtenir des performances optimales dans différentes conditions de fonctionnement.

Les dimensions de la largeur et de la longueur des pistes conductrices peuvent être modifiées pour assurer une bonne adaptation d'impédance entre la puce RFID et l'antenne dans la configuration T-match [13].

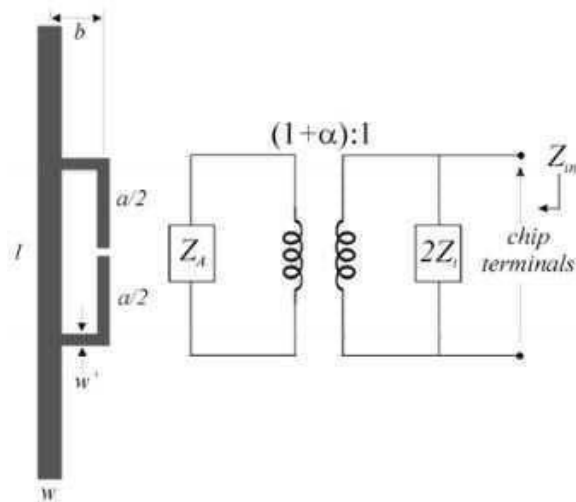


Figure I.12: La configuration T-Match et le circuit équivalent

I.10.2. La boucle d'inductance

La boucle à couplage inductif est une alternative à la configuration T-Match pour adapter l'impédance de l'antenne de l'étiquette RFID à la puce RFID. Il s'agit d'utiliser une petite boucle placée à proximité immédiate du dipôle rayonnant, les bornes de la boucle étant directement connectées à la puce. La boucle ajoute une inductance équivalente dans l'antenne, et la force du couplage et de la réactance ajoutée est contrôlée par la distance entre la boucle et le corps rayonnant, ainsi que par le facteur de forme de la boucle. Le fonctionnement de cette configuration est similaire au T-Match, mais utilise un couplage mutuel pour ajuster l'impédance de la structure. Les paramètres d'adaptation d'impédance sont les dimensions de la boucle, de l'antenne et de la distance entre la boucle et l'antenne, qui affectent l'impédance équivalente vue de la puce. L'impédance équivalente vue à partir de la puce [12].

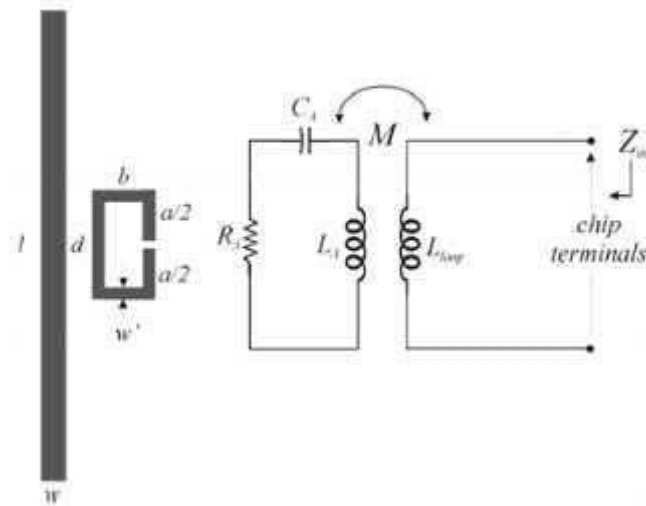


Figure I.13: La Configuration à boucle à couplage inductif et son circuit équivalent

I.10.3. Nested-slot

La technique des fentes imbriquées est une méthode alternative d'adaptation d'impédance pour les étiquettes RFID, qui consiste à créer une fente dans l'antenne de l'étiquette pour ajuster son impédance d'entrée. Les dimensions et le placement de la fente peuvent être ajustés pour obtenir la correspondance d'impédance souhaitée entre l'antenne et la puce RFID. [12] Cette approche diffère des autres techniques mentionnées précédemment. Des fentes à l'intérieur de la structure de l'antenne plate agissent comme des résistances et des inductances, contribuant à la réduction de taille et à la réalisation de structures multi bandes. La technique des fentes imbriquées peut être personnalisée pour chaque conception d'étiquette RFID afin d'obtenir des performances optimales dans différentes conditions de fonctionnement.[14]

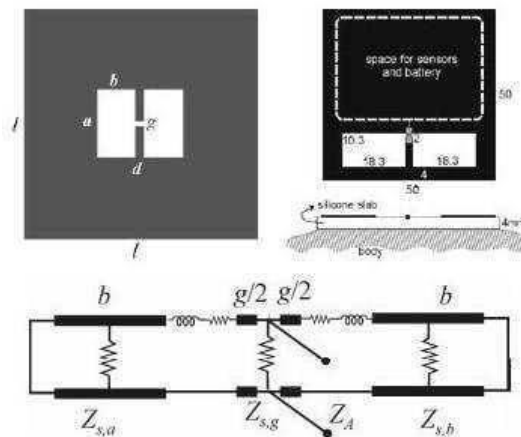


Figure I.14: La Configuration par fente et son circuit équivalent

I.11. APPLICATIONS ET PERSPECTIVES DE LA RFID

Les applications des systèmes RFID ne sont pas dénombrables, l'éventail s'élargit de jour en jour par la naissance de nouvelles idées développant de nouveaux systèmes. La technologie RFID a le potentiel d'améliorer considérablement l'efficacité, la précision et la productivité dans diverses industries. Que ce soit pour l'identification, la localisation, la gestion des stocks ou la formation du personnel, la technologie RFID permet de répondre aux plus grands défis dans différents domaines, que nous allons décrire ci-dessous.

I.11.1. La santé

Les soins de santé, en tant qu'industrie, sont de plus en plus investis dans la technologie RFID; À tel point que des études de marché récentes ont révélé qu'il y aura une croissance exponentielle de la technologie RFID dans cette industrie pour le futur. L'une des raisons pour lesquelles RFID se développe considérablement dans l'industrie est le nombre d'applications qui peuvent en bénéficier. Dans les hôpitaux qui ont été équipés de la technologie, la RFID est présentée sous de nombreuses formes - du suivi des outils chirurgicaux au suivi des patients et du personnel.

a) Médecine et pharmaceutique (Suivi / authentification des stocks)

Les hôpitaux ont un approvisionnement en constante augmentation et changeant de médicaments qui doivent être suivis afin de garder beaucoup à portée de main pour leurs patients. Les solutions de suivi des stocks typiques (comme dans de nombreuses industries) impliquent des dénombrements manuels et des codes à barres qui prennent du temps à la fin des membres du personnel. L'utilisation de la RFID peut réduire le temps passé à compter, permettant à des produits pharmaceutiques plus souvent, en garantissant des données précises et que les types et quantités corrects de médicaments sont à portée de main. Les étiquettes RFID à l'intérieur ou sur chaque bouteille ou boîte peuvent être lues avec des lecteurs portables pendant le processus d'inventaire, ou constamment inventoriés via des lecteurs fixes et des antennes d'étagère.

Certains hôpitaux et fabricants pharmaceutiques utilisent également des étiquettes RFID

à des fins d'authentification. La contrefaçon est en hausse en raison des coûts élevés fréquemment associés aux médicaments sur ordonnance et sauver des vies; Ainsi, de nombreuses entreprises ont opté pour l'utilisation de la RFID comme une ressource d'authentification ou anti-contrefaçon. Ceci est accompli en plaçant une étiquette RFID sur ou dans une bouteille ou une boîte de médecine et en les chiffrant avec des informations spécifiques afin que les hôpitaux et les pharmacies puissent vérifier que les médicaments qu'ils vendent sont authentiques. Les étiquettes RFID à l'épreuve des altérations sont également utilisées dans ces applications pour garantir la qualité.

b) Suivi des patients et du personnel

Les patients et le personnel sont équipés d'étiquettes RFID dans les hôpitaux principalement pour trois raisons:

1. Pour vérifier les informations du patient.
2. Pour réduire les temps d'attente et les goulots d'étranglement.
3. Pour localiser les patients.

Les systèmes RFID passifs sont fréquemment utilisés pour maintenir et vérifier les dossiers des patients sur les bracelets. Ces bracelets RFID ont des informations sur les patients imprimées sur eux, et les dossiers des patients sont stockés sur la puce de la balise ou associés à l'ID de la balise via une base de données. Les informations codées sur l'étiquette du bracelet sont un moyen optimal d'identifier les patients car ils peuvent aider dans des situations d'urgence en s'assurant que les patients ne reçoivent pas le mauvais médicament ou envoyés dans la mauvaise zone de l'hôpital. RFID actif est utilisée de différentes manières dans les hôpitaux, mais principalement pour les applications impliquant le personnel de suivi et les patients. Récemment, les hôpitaux ont utilisé la RFID active dans les systèmes de localisation en temps réel (RTL) pour identifier les problèmes dans leur flux de travail, principalement afin de déplacer les patients dans et à l'extérieur plus rapidement et plus efficacement. Dans ces cas, les patients et le personnel ont des badges RTLS et le système identifie la durée dans certains domaines et rapporte ces données à l'équipe de gestion.

Il existe d'autres applications concernant le domaine de la santé comme par exemple le suivi des outils avec stérilisation, le suivi des actifs et les articles à usage unique, ...etc [15].

I.11.2. Contrôle d'accès et traçabilité des hommes et des animaux

Ceci englobe certaines applications comme :

a) Étiquetage et billetterie

Cette application est déjà largement répandue dans les transports par le biais de cartes d'abonnement à RFID. Il sera très intéressant de l'étendre et de la mettre en œuvre dans les billets des événements qu'ils soient sportifs ou culturels tels que les billets de matchs de football, les concerts, des jeux olympiques, etc.

b) L'élimination des contrefaçons

Est privilégiée dans ce cas. Systèmes de contrôle d'accès: il s'agit de l'une des applications les plus usuelles, elle permet en plus d'accéder aux données biométriques de l'individu incluses dans les étiquettes.

c) Traçabilité animale

L'identification des bétails est l'une des plus anciennes applications qui remonte aux années 80. La nouveauté est que avec les étiquettes actuelles dotées de mémoire, il est possible d'enregistrer des informations médicales (vaccination) ou même alimentaires en plaçant des lecteurs à côté des mangeoires.

d) La traçabilité individuelle

Cela peut s'agir d'une traçabilité géographique ou traçabilité des achats, des activités etc [10].

I.11.3. Traçabilité logistique et traçabilité produit

La traçabilité logistique (Tracking) est une forme de traçabilité qui désigne le suivi quantitatif des produits. Elle porte surtout sur le positionnement géographique des unités logistiques.

Voici quelques exemples :

e) Service/unité logistique interne

Les transpondeurs à l'usage d'une seule personne font partie de ceux ayant une mémoire et généralement au moins un capteur, comme ceux embarqués dans les camions qui enregistrent la masse à vide, la masse chargée et la distance parcourue pour chaque transport.

f) Logistique en circuit fermé

Pour le suivi des bouteilles de gaz, des conteneurs, des livres dans les bibliothèques, des DVD en location ou tout autre article où il y a recyclage interne des tags.

- La traçabilité produit (Tracing) est une forme de traçabilité qui désigne le suivi qualitatif des produits (Figure I.15). Elle dépend surtout du bon enregistrement et de l'exhaustivité des données liées au produit. Comme exemple nous citons :

➤ La recherche des causes d'un problème qualité. La traçabilité produit porte surtout sur les caractéristiques des unités consommateurs.

➤ Le développement d'assouvissement du besoin de traçabilité des industriels, la chaîne d'approvisionnement (Supply Chain) est très gourmande en quantité de transpondeurs [16].



Figure I.15 : illustration de traçabilité des processus.



Figure I.16 : illustration de traçages des biens.

I.11.4. Sport

La technologie RFID a touché certaines applications sportives par exemple :

La ligne d'arrivée peut être dotée d'étiquettes, pour connaître l'ordre d'arrivée des coureurs, de même on peut insérer des tags sur les balles pour pouvoir les localiser [10].

I.11.5. La sécurité

La sécurité est l'une des applications les plus évidentes de la RFID. Citons comme exemple les Balises et badges RFID, permettent de contrôler l'accès d'une zone ; les puces RFID dans les nouveaux passeports biométriques pour identifier rapidement les voyageurs et réduit le taux d'erreur, l'identification des animaux domestiques, etc.



(a) Étiquette RFID de bagage



(b) RFID pour le contrôle d'accès

Figure I.17 : l'RFID dans le domaine de la sécurité

Les puces RFID sont en effet plus difficiles à contrefaire que les étiquettes classiques. Un faux produit peut également être rapidement repéré dans un stock. La lutte contre la fausse monnaie et le blanchiment font aussi partie des enjeux stratégiques (billets équipés de puces permettant leur radio-identification) [17].

I.11.6 La culture

Le développement de la technologie RFID a même atteint les bibliothèques, ses avantages résident dans la sécurité, l'automatisation, le temps d'inventaire, le "self check-in" et le "self check-out". Le but de l'implémentation de la RFID dans les bibliothèques est d'augmenter l'efficacité et de réduire les coûts, et c'est pour cela que cette automatisation et le "self-service" peuvent aider à parer au problème. Mais les tags peuvent être utilisés juste pour informer comme dans les galeries d'art ou dans un musée : muni d'un lecteur qui diffuse soit une forme audio ou vidéo, le visiteur peut ainsi profiter d'une visite interactive.

Cette technologie est largement supérieure à celles des code-barres, la promesse d'un gain de temps considérable et d'une grande efficacité est tenue, mais les bibliothèques restent réticentes face aux coûts engendrés et au temps d'adaptation (de 11.8 mois), les applications au sein des bibliothèques sont nombreuses :

- Rapidité et simplicité de la procédure de prêt et un vrai gain de temps.
- L'inventaire qui devient facile, des centaines ou des milliers de livres sont inventoriés en un jour, comparé à un mois avec un ancien système utilisant les codes à barres.

- La vérification du contenu de documents numériques (CD/DVD) devient facile.
- Le "self chek-in" et le "self check-out" sont automatiques et aisés, on parle même de bornes de retour automatiques.
- Option d'antivol. Mais comme toutes technologie, celle-ci présente elle aussi des Inconvénients dont :
 - ❖ Les objets contenant des éléments métalliques interférents avec les tags.
 - ❖ Les tags RFID sont faciles à décoller, ce qui rend l'objet en question vulnérable face au vol.
 - ❖ L'installation d'un tel système est onéreuse.

Aux Etats-Unis environ 60 bibliothèques avec près de 10 millions de livres utilisent le tag RFID, l'industrie de la RFID connaît un boom économique rapide, cette technologie sans fil offre beaucoup d'avantage qui poussent à reconsidérer la question du coût et de l'investissement.



(a) L'RFID dans les bibliothèques.



(b) L'RFID dans les musées.

Figure I.18 : L'RFID dans le domaine de la culture

I.12. LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS

Il est bien entendu que la technologie du système RFID présente d'énormes avantages rendant son utilisation la plus attrayante. On peut citer ci-dessous quelques avantages et

inconvénients de la technologie RFID.

I.12.1. Les avantages

- Lecture et décodage instantanée.
- Remplacement de la saisie au clavier.
- Facilité de branchement (écran clavier) et l'utilisation du lecteur optique.
- Coût faible.
- Impression très facile.

I.12.2. Les inconvénients

- Faible capacité.
- Impossibilité de modifier les informations.
- Exigence d'un contact visuel pour la lecture
- Impossibilité de lecture simultanée.

I.13. CONCLUSION

En conclusion, ce chapitre a permis d'apporter une vue d'ensemble sur la technologie RFID et de comprendre l'importance des antennes dans ce contexte. Nous avons exploré l'évolution historique de la RFID, depuis ses débuts jusqu'à son adoption généralisée dans divers secteurs.

Les fréquences d'utilisation dans les systèmes RFID ont été abordées en détail, nous permettant de comprendre les avantages et les limitations de chaque bande de fréquences. Cette connaissance est essentielle pour prendre des décisions éclairées lors de la conception et du déploiement des systèmes RFID.

Les composants clés des systèmes RFID, notamment les étiquettes (tags) et les lecteurs, ont été présentés en détail. Nous avons examiné leur fonctionnement et leurs caractéristiques principales, ainsi que les différents types de tags RFID disponibles sur le marché. Cela nous a permis de comprendre les capacités et les applications spécifiques de chaque type de tag.

Enfin, nous avons exploré les multiples applications et perspectives de la RFID dans divers domaines tels que la santé, le contrôle d'accès, la traçabilité logistique, le sport, la sécurité et la culture. Nous avons souligné les avantages que la RFID apporte à ces domaines, notamment en termes d'efficacité, de traçabilité et de sécurité.

Ce chapitre introductif nous a permis de développer une compréhension approfondie de la technologie RFID et de l'importance des antennes dans son fonctionnement. Les connaissances acquises dans ce chapitre serviront de fondement solide pour le chapitre suivant, où nous nous pencherons spécifiquement sur la conception et la simulation des nouveaux prototypes d'antennes de tag RFID.

Chapitre II
CONCEPTION ET
SIMULATION
DES ANTENNES POUR
LES TAG RFID

II.1. INTRODUCTION

Les antennes fractales de Peano et les antennes dipôles sont deux approches innovantes dans le domaine de la conception d'antennes. Elles offrent des performances améliorées par rapport aux antennes conventionnelles et ont trouvé de nombreuses applications dans les domaines de la communication sans fil, de la télédétection, de l'imagerie médicale et bien d'autres. Les antennes fractales de Peano sont basées sur les principes de la géométrie fractale. La géométrie fractale est une branche des mathématiques qui étudie les objets complexes et irréguliers, caractérisés par des motifs répétitifs à différentes échelles. Dans le cas des antennes fractales de Peano, ces motifs répétitifs sont utilisés pour augmenter la longueur du trajet de l'onde électromagnétique à l'intérieur de l'antenne, ce qui permet d'améliorer les performances en termes de bande passante, de gain et de directivité.

Les antennes dipôles sont quant à elles conçues pour exploiter les propriétés de résonance de deux dipôles adjacents. Un dipôle est une structure conductrice qui est excitée par une source de signal, générant ainsi un champ électromagnétique. En utilisant deux dipôles, on peut obtenir des caractéristiques de rayonnement spécifiques, telles qu'une directivité accrue et une réponse en fréquence étendue. Ces antennes sont particulièrement adaptées aux applications nécessitant une couverture à large bande passante et une sensibilité élevée.

La -partie pratique des antennes fractales de Peano et des antennes dipôles implique la fabrication et la mise en œuvre concrète de ces structures. Des techniques de fabrication avancées, telles que l'impression 3D, peuvent être utilisées pour créer des formes fractales complexes et des dipôles précis. Des mesures de caractérisation, telles que les paramètres de rayonnement, la réponse en fréquence et le taux de polarisation, sont effectuées pour évaluer les performances des antennes.

Les résultats de ces simulations peuvent être comparés aux mesures expérimentales afin de valider les performances des antennes. Ces antennes offrent des avantages significatifs en termes de bande passante, de gain et de directivité, ce qui les rend adaptées à de nombreuses applications dans les domaines des communications sans fil et de la technologie des capteurs.

II.2. PRESENTATION DU LOGICIEL CST STUDIO SUITE

CST (Computer Simulation Technology) [18] est une société allemande qui a été fondée en 1992. La première version de CST Microwave Studio est sortie en 1998. Le logiciel CST résout les équations caractérisant le champ électromagnétique et fait usage de la méthode des intégrales finies (FIT, Finite Intégration Technique) développée par Tomas Weiland en 1977 lors de sa thèse universitaire à Darmstadt. Il s'agit de la reformulation des équations intégrales de Maxwell sous une forme discrète afin de les rendre compatibles avec l'informatique pour résoudre des problèmes à géométrie complexe [19].

II.3. LA METHODOLOGIE DE CONCEPTION D'ANTENNES DE TAGS RFID PASSIFS

La conception d'antenne de tag RFID passif nécessite de mettre en œuvre une méthodologie de développement dont l'organigramme est présenté sur la figure II.1. La conception de ces antennes nécessite dans un premier temps de la sélection des applications RFID. Ensuite, les exigences et contraintes du système seront mises en correspondance avec les exigences de l'étiquette. Par la suite, L'étiquette sera conçue le plus, souvent à l'aide de logiciel de simulation électromagnétique 3D afin d'optimiser les performances comme la distance de lecture, le gain, l'impédance de l'antenne... Enfin, Une fois que la conception est terminée, nous passons à l'étape de réalisation de nos prototypes d'antennes, puis la mesure du coefficient de réflexion (S11) par l'analyseur de réseaux vectoriel (VNA) sera effectuée pour s'assurer si la conception satisfait aux besoins de l'application. Si c'était le cas, le processus de conception sera réussi. Dans le cas contraire, il faut continuer à adapter et à optimiser l'antenne jusqu'à ce que les exigences soient satisfaites [19].

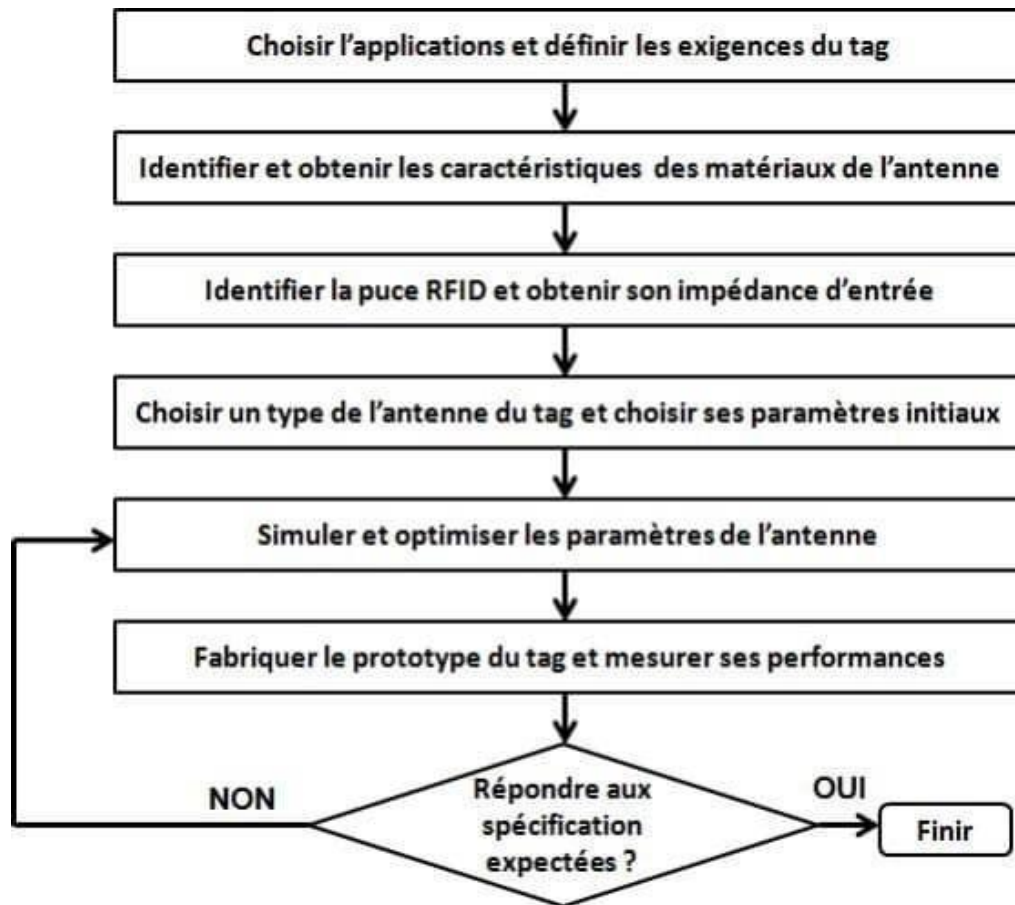


Figure II .1 : Méthodologie de conception d’antennes de tags RFID passifs.

II.4. ANTENNE A DIPOLE FRACTALE DE PEANO RFID ADAPTEE A 50 Ω

II.4.1. Premier itération

Les antennes fractales représentent une approche innovante dans le domaine des antennes, en utilisant des motifs à géométrie fractale pour améliorer leurs performances. Dans notre cas le concept est inspiré par la courbe de Peano [21], qui est une construction mathématique fractale célèbre. L'une des principales caractéristiques des antennes fractales est leur capacité à remplir l'espace disponible de manière efficace. En utilisant des motifs fractals, ces antennes peuvent être conçues pour occuper des surfaces ou des volumes qui seraient

autrement inutilisés, ce qui permet d'obtenir des antennes compactes et discrètes. Cela est particulièrement bénéfique dans les applications où l'espace est limité, comme les appareils mobiles ou les satellites.

Les antennes fractales offrent des performances améliorées en termes de bande passante, de directivité et d'efficacité du rayonnement. Grâce à ces avantages, elles ont suscité un intérêt croissant dans le domaine des antennes et continuent d'être explorées pour de nombreuses applications.

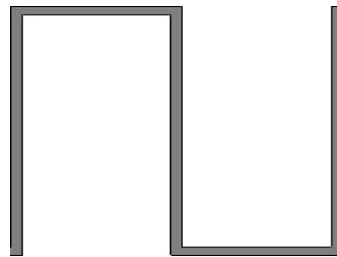


Figure II.2 : Géométrie de Peano à l'itération une.

La Figure II.2 représente la Géométrie fractale de la courbe de Peano à l'itération une.

II.4.2 Antenne à dipôle fractale de peano a l'itération une mono-bande (5.8GHz)

La géométrie de cette antenne est caractérisée par un patch rayonnant sous forme d'un dipôle, dont chaque pôle représente une forme fractale de Peano à l'itération 1. Le patch est déposée sur un substrat de type FR4 de permittivité de $\xi_r = 4.3$, d'une hauteur de $h=1.5$ mm et un cuivre d'épaisseur $t=0.035$ mm pour l'élément rayonnant et un plan de masse complet. Cette antenne mono-bande est destinée à fonctionner à la fréquence 5.8 GHz normalisée pour les applications RFID (Figure II.3).

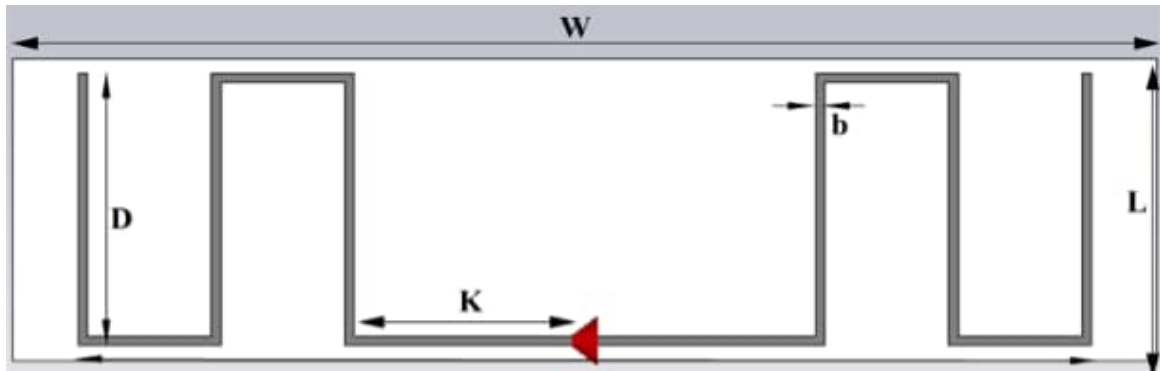


Figure II.3 : Structure de l’antenne dipôle fractale de Peano à l’itération 1.

Le tableau II.1 résume et récapitule toutes les dimensions optimisées de cette antenne.

Paramètres	W	L	D	M	D	K	B
Valeur (mm)	70	20	18	33.6	18	14	0.6

Tableau II.1 : Dimensions optimisées de l’antenne dipôle de Peano à l’itération 1 mono-Bande.

Le coefficient de réflexion de l’antenne dipôle de Peano mono-bande ayant les dimensions théoriques du tableau II.1 est illustré sur la figure II.4.

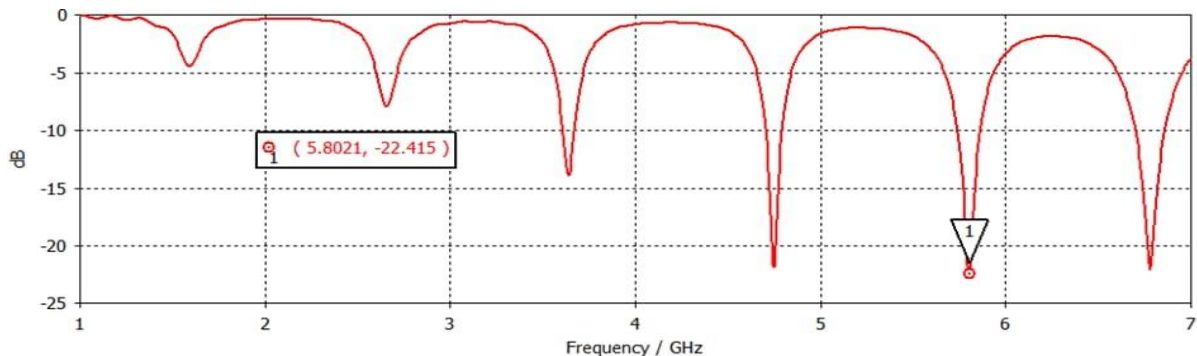


Figure II.4 : Coefficient de réflexion de l’antenne dipôle de Peano à l’itération 1 mono-bande (5.8 GHz).

De la figure II.4, on peut tirer la remarque sur le caractère multi-bande de l'antenne, parmi ces bandes on trouve une bande de fréquences du système RFID. Cette fréquence est 5.8 GHz avec une meilleure adaptation de -22.415 dB.

Les diagrammes de rayonnement en directivité sont montrés sur la figure II.6.

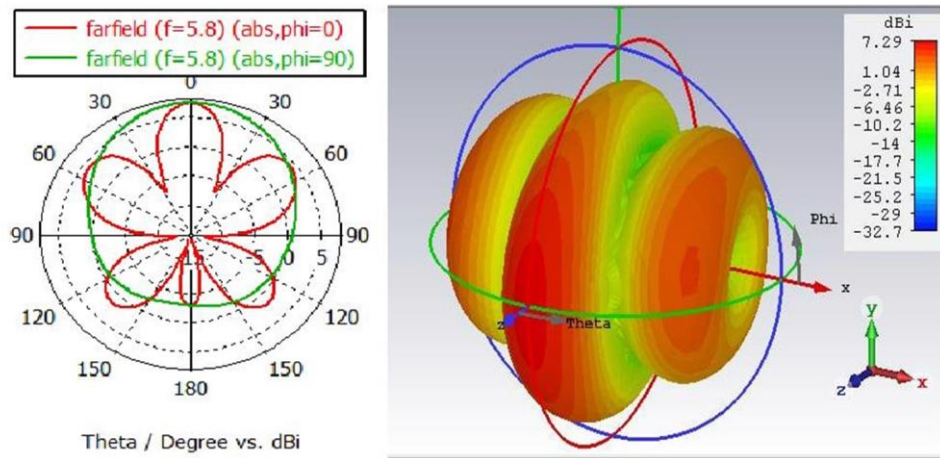


Figure II.5:Diagramme de rayonnement 2D&3D dans la fréquence 5.8 GHz de l'antenne dipôle de Peano à l'itération 1 mono-bande.

La figure III.5 présente le diagramme de rayonnement de l'antenne à dipôle fractale de Peano mono-bande dans la fréquence de résonances, nous représentons ce rayonnement en système de coordonnées polaire sur les deux plans principaux (plan E « Phi=0 » et plan H « Phi=90 ») ainsi qu'une représentation en 3D. Elle présente des diagrammes presque omnidirectionnels sur l'un des deux plans principaux et omnidirectionnels sur l'autre.

II.4.3. Deuxième itération

Les antennes fractales Peano à l'itération deux sont des structures géométriques complexes qui présentent des motifs répétitifs à différentes échelles. Elles sont basées sur la courbe de Peano, développée par le mathématicien Giuseppe Peano. Ces antennes sont construites de manière itérative en appliquant des transformations répétées à une forme de base. Elles possèdent des propriétés d'autosimilarité à différentes échelles et une dimension

fractale supérieure à leur dimension topologique. Les antennes fractales Peano à l'itération deux sont utilisées dans divers domaines tels que les communications sans fil, les capteurs et la modélisation de phénomènes naturels. Leur conception unique leur confère des avantages tels qu'une meilleure résistance aux interférences et une plus grande efficacité de rayonnement. Ces structures fractales sont donc des objets d'étude fascinants et des outils prometteurs dans de nombreux domaines.

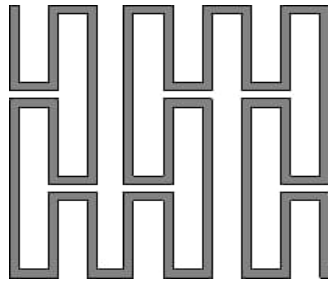


Figure II.6 : Géométrie de Peano à l'itération deux.

La Figure III.6 représente le Géométrie fractale de la courbe de Peano à l'itération deux.

II.4.4. Antenne à dipôle fractale de peano à l'itération 2 bi-bande (2.45 & 5.8ghz)

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

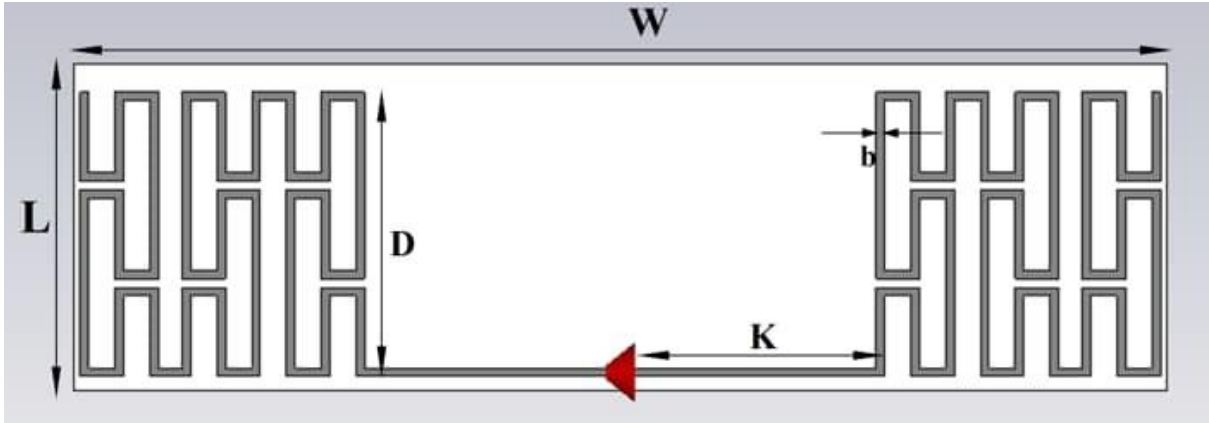


Figure II.7 : Structure de l'antenne dipôle de Peano à l'itération 2.

Les dimensions optimisées de cette antenne sont résumées et récapitulées sur le Tableau II.2

Paramètres	Wg	Lg	D	M	D	K	b
Valeur (mm)	70	20	18	19	20	18.5	0.6

Tableau II.2 : Dimensions optimisées de l'antenne dipôle de Peano à l'itération 2 bi-bande.

Le coefficient de réflexion de l'antenne dipôle de Peano à l'itération 2 bi-bandes ayant les dimensions théoriques du tableau II.2 est montré sur la figure II.8.

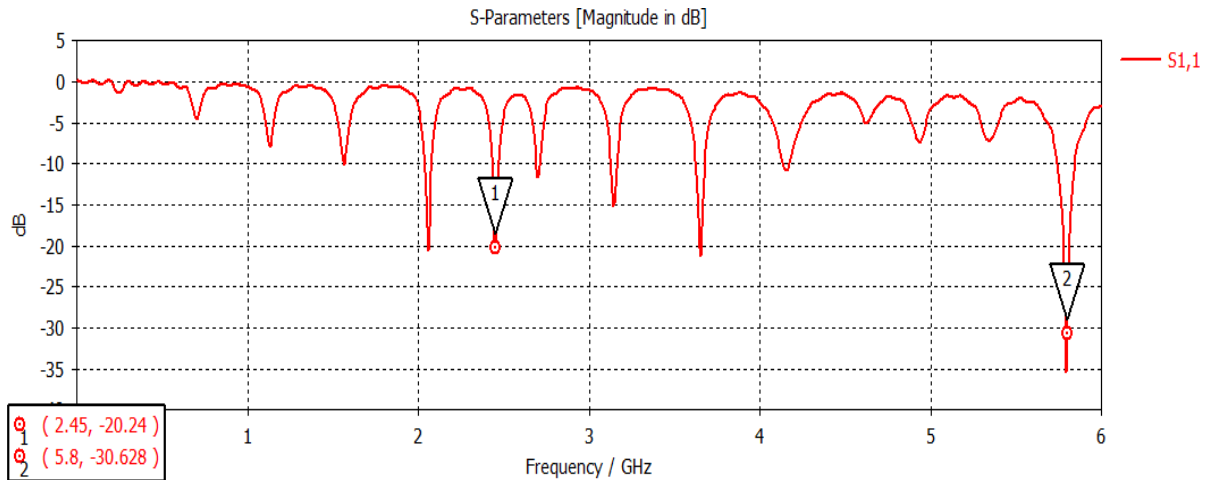
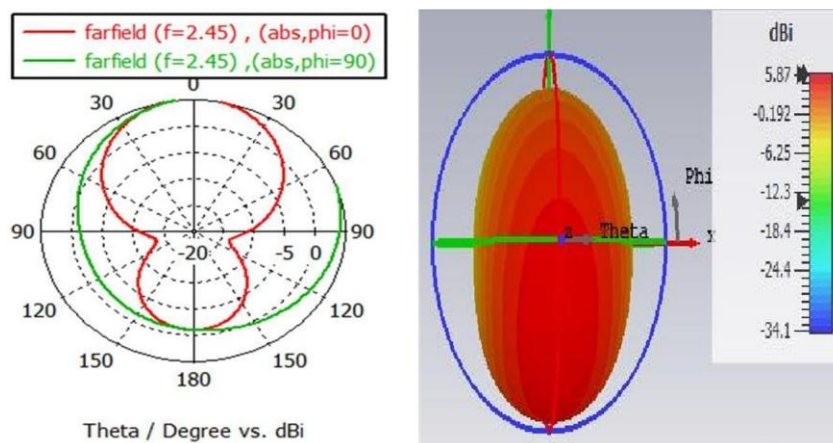


Figure II.8 : Coefficient de réflexion de l’antenne dipôle fractale de Peano à l’itération 2 bi-bande (2.45 et 5.8 GHz).

De la figure II.8 qui représente le coefficient de réflexion en fonction de la fréquence de cette antenne, on peut tirer la remarque que le comportement multi-bande est présent, pratiquement il y a 8 bandes dans un intervalle de [1GHz à 6 GHz]. Les bandes de fréquence qui nous intéressent ici c’est bien la bande de 2.45 GHz du système RFID qui donne une adaptation d’environ -20.24 dB et la bande de fréquence de 5.8 GHz du système RFID qui donne une adaptation d’environ -30.628 dB.

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



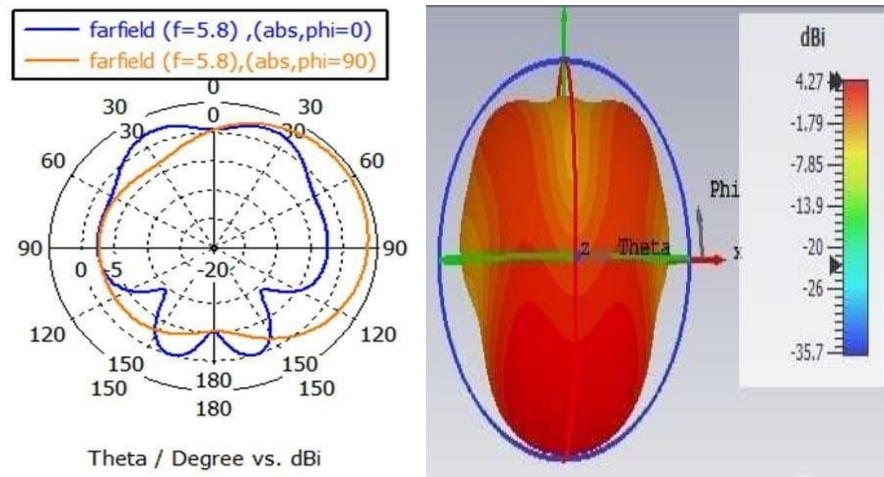


Figure II.9 : Diagramme de rayonnement 2D&3D dans les deux fréquences 2.45 GHz et 5.8 GHz de l’antenne dipôle fractale bi-bande.

La figure II.9 présente les diagrammes de rayonnement de l’antenne dipôle de Peano bi-bande dans les deux fréquences de résonnances, nous représentons ces rayonnement en système de coordonnées polaire sur les deux plans principaux (plan E « Phi=0 » et plan H « Phi=90 ») ainsi qu’une représentation en 3D. Pour la fréquence 2.45 GHz l’antenne présente un diagramme bidirectionnel sur le plan E et omnidirectionnel sur le plan H, ainsi elle présente aussi un diagramme presque omnidirectionnel sur le plan E et omnidirectionnel sur le plan H pour la fréquence 5.8 GHz.

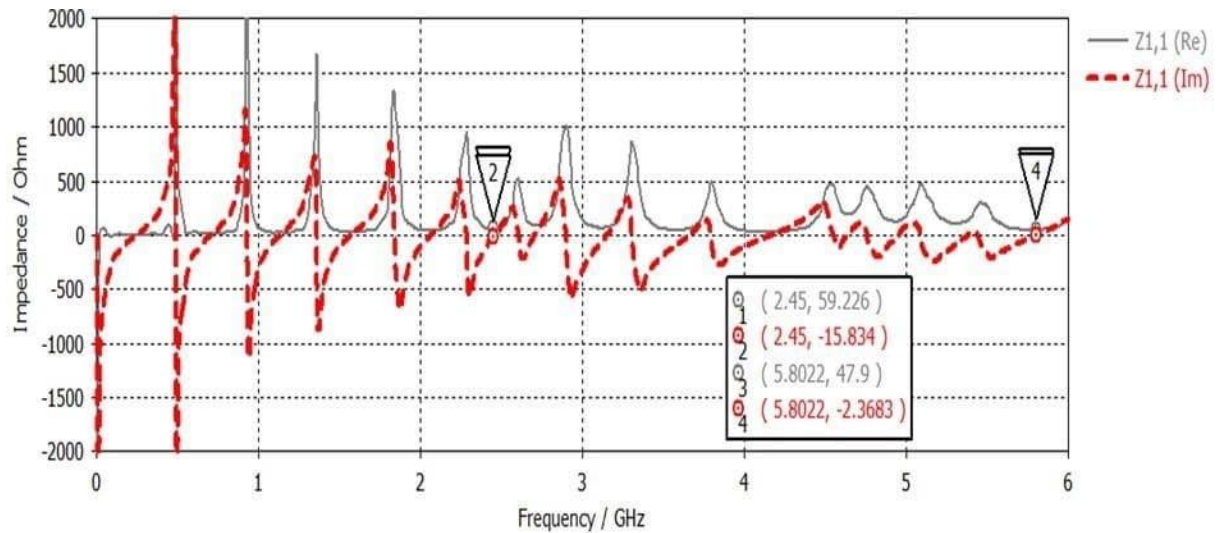


Figure II.10 : Impédance d'entrée de l'antenne dipôle fractale de Peano à l'itération 2 bi-bandes (2.45GHz et 5.8GHz).

La figure II.10 représente la variation de l'impédance d'entrée en fonction de la fréquence pour l'antenne dipôle fractale de Peano bi-bande. Cette dernière donne à la fréquence 2.45 GHz une impédance d'entrée avec une partie réelle d'environ 59.226 Ohm et une partie imaginaire petite de -15 Ohm. Pour la fréquence 5.8 GHz l'antenne présente une impédance d'entrée avec une partie réelle de 50 Ohm et une partie imaginaire trop petite de 2.36 Ohm, ce qui implique que ces deux fréquences sont des fréquences de résonance.

II.5 .ANTENNE A DEUX DIPOLES AVEC DES LIGNES ENROULEE EN FORMEDECROIX POUR LES APPLICATIONS RFID (0.9 GHz) [22]

L'antenne est sous forme de deux dipôles croisés en zigzag avec une géométrie plane de taille compacte, et la correspondance conjuguée de l'impédance d'entrée complexe entre l'antenne et le circuit intégré de l'étiquette est réalisée en utilisant le réseau d'adaptation T. L'antenne proposée est composée de deux dipôles orthogonaux de longueurs inégales, chaque bras des dipôles étant constitué d'une ligne en zigzag effilée linéairement et d'un chargement en forme de pointe rectangulaire pour la miniaturisation de la taille. Deux courbes semi-circulaires sont insérées entre les bras de l'un des dipôles pour la radiation à polarisation circulaire. La relation appropriée de phase et d'amplitude pour obtenir la radiation à polarisation circulaire est réalisée en choisissant correctement la longueur des

Le coefficient de réflexion de l'antenne à deux dipôles croisés en forme de méandre mono-bande ayant les dimensions théoriques du tableau II.3 est montré sur la figure II.12.

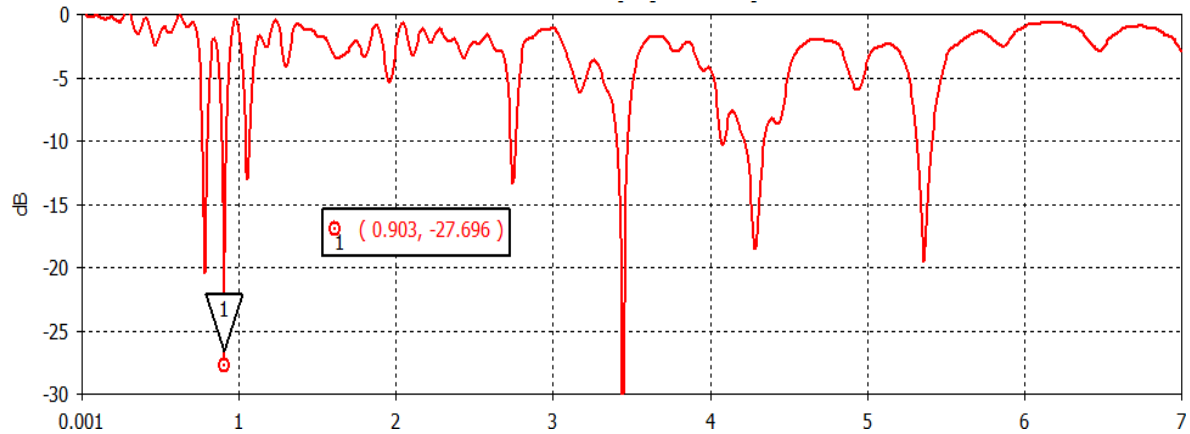


Figure II.12 : Coefficient de réflexion de l'antenne à deux dipôles croisés en forme de méandre proposée (0.9GHZ).

De la figure II.12 qui représente le coefficient de réflexion en fonction de la fréquence, on peut tirer la remarque que le comportement multi-bande est présent, pratiquement il y a 7 bandes dans un intervalle de [1GHz à 6 GHz]. La bande de fréquence qui nous intéresse ici c'est bien la bande de 0.9 GHz du système RFID qui donne une adaptation d'environ -27.696 dB.

Le diagramme de rayonnement est montré sur la figure II.13.

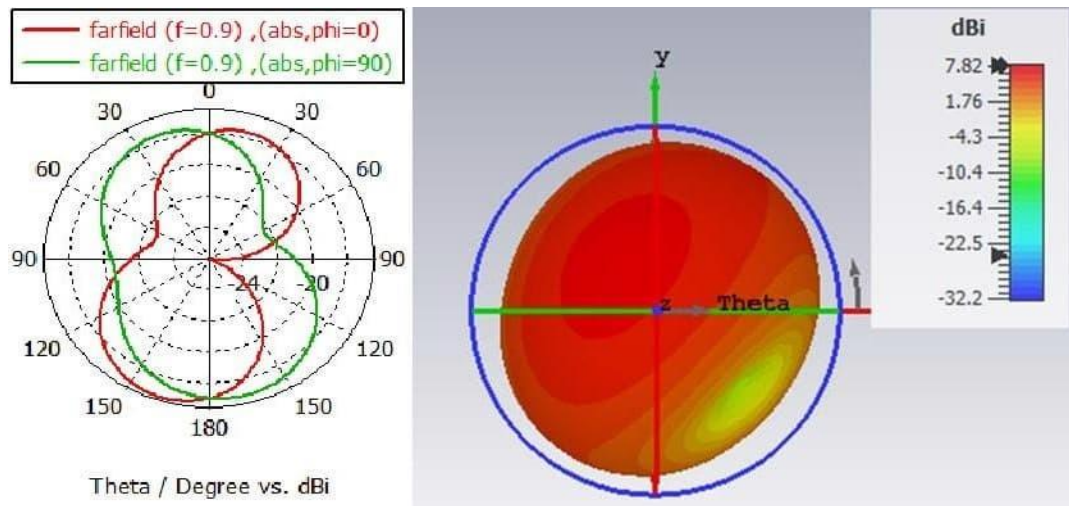


Figure II.13 : Diagramme de rayonnement 2D&3D à la fréquence 0.9 GHz de l'antenne à deux dipôles croisés en forme de méandre mono-bande.

La figure II.13 présente le diagramme de rayonnement de l'antenne à deux dipôles croisés en forme de méandre mono-bande, nous représentons ce rayonnement en système de coordonnées polaire sur les deux plans principaux (plan E « $\Phi=0$ » et plan H « $\Phi=90$ ») ainsi qu'une représentation en 3D. Elle présente des diagrammes bidirectionnels sur les deux plans principaux à la fréquence 0.9 GHz.

II.6 .ANTENNE DIPOLE EN FORME DE MEANDRE BI-BANDES (0.9 GHZ ET 2.45GHZ)

La géométrie de cette antenne est caractérisée par un dipôle sous forme de méandre, et l'adaptation se fait par des petits méandres. Le patch est déposée sur un substrat de type FR4de permittivité de $\epsilon_r = 4.3$, d'une hauteur de $h=1.5$ mm et un cuivre d'épaisseur $t=0.035$ mm pour l'élément rayonnant et un plan de masse complet. Cette antenne bi-bande est destinée à fonctionner à la fréquence 0.9 MHz et 2.45 GHz normalisée pour les applications RFID.

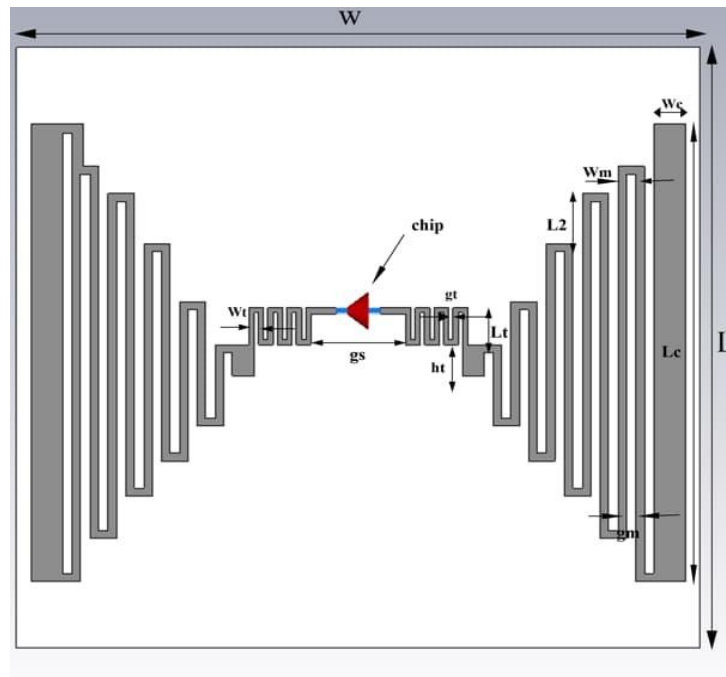


Figure II.14 : Antenne dipôle en forme de méandre bi-bandes (0.9GHz et 2.45GHz).

Le Tableau II.4 résume et récapitule toutes les dimensions optimisées de cette antenne.

Paramètres	L	Wc	Lc	Wm	Ht	L2
Valeur (mm)	65	3	47.2	3	3.8	4.4
Paramètres	W	Wt	Gt	Gm	Gs	Lt
Valeur (mm)	62	0.5	0.4	0.8	1.8	3.8

Tableau II.4 : Géométrie de l'antenne dipôle en forme de méandre bi-bandes (0.9 GHz et 2.45 GHz).

Le coefficient de réflexion de l'antenne dipôle en forme de méandre bi-bandes ayant les dimensions théoriques du tableau II.4 est montré sur la figure II.15.

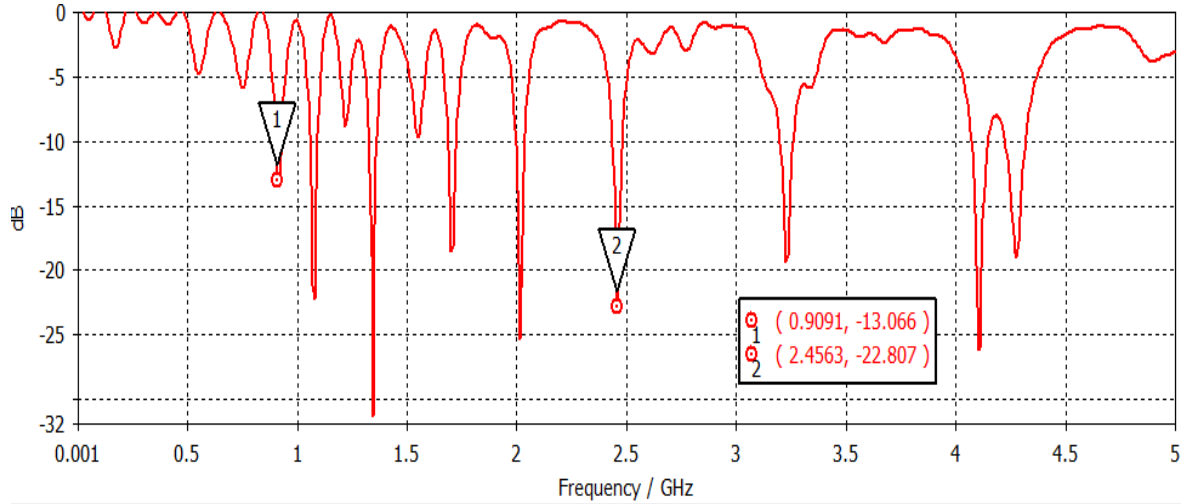
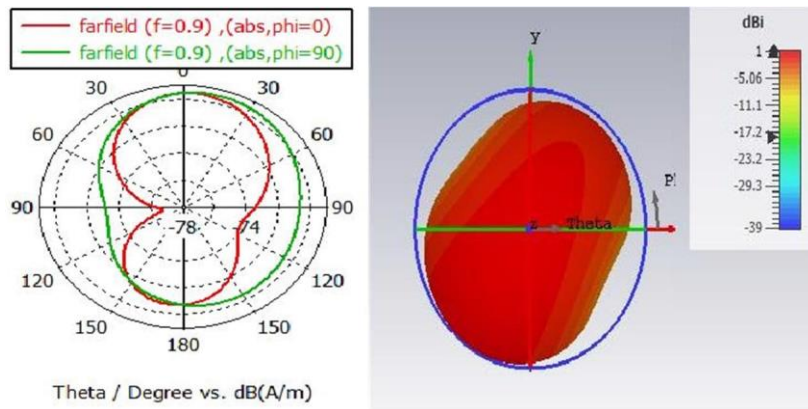


Figure II.15 : Coefficient de réflexion de l’antenne dipôle en forme de méandre bi-bandes proposée (0.9GHz et 2.45GHz).

De la figure II.2 qui représente le coefficient de réflexion en fonction de la fréquence, on peut tirer la remarque que le comportement multi-bande est présent, pratiquement il y a 9 bandes dans un intervalle de [100MHz à 5 GHz]. Les bandes de fréquence qui nous intéressent ici c’est bien la bande de 0.9 GHz du système RFID qui donne une adaptation d’environ -13.066 dB et la bande de 2.45GHz qui donne une adaptation d’environ -22.806 dB. Le diagramme de rayonnement est montré sur la figure II.16:



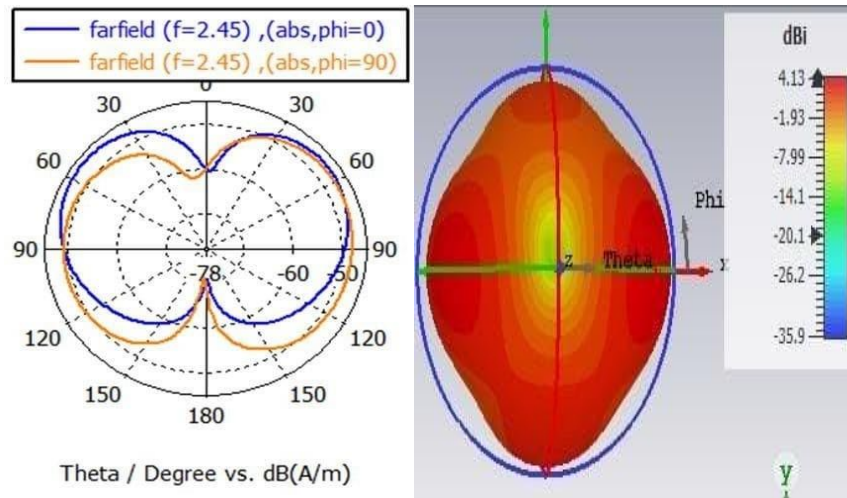


Figure II.16 : Diagrammes de rayonnement 2D&3D de l'antenne dipôle en forme de méandre bi-bandes à la fréquence 0.9GHz et 2.45 GHz.

La figure II.16 présente les diagrammes de rayonnement de l'antenne dipôle en forme de méandre bi-bandes dans les deux fréquences de résonances, nous représentons ces rayonnement en système de coordonnées polaire sur les deux plans principaux (plan E « Phi=0» et plan H « Phi=90 ») ainsi qu'une représentation en 3D. Elle présente des diagrammes entre bidirectionnels et omnidirectionnels sur les deux plans principaux et aux deux fréquences 0.9 GHz et 2.45 GHz respectivement.

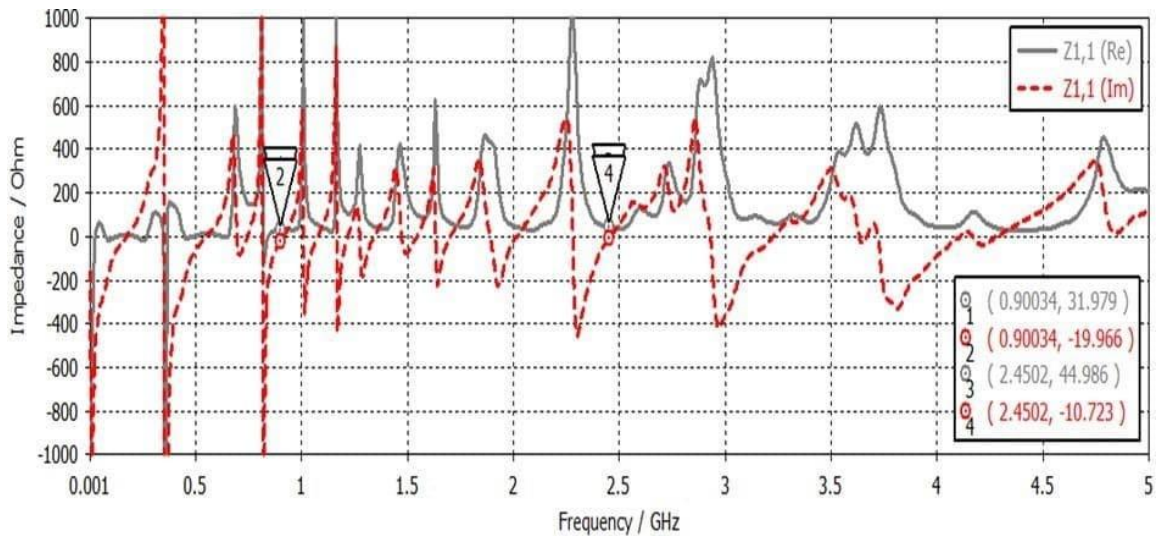


Figure II.17 : Impédance d'entrée de l'antenne dipôle en forme de méandre bi-bandes (0.9GHz et 2.45GHz).

La figure II.17 représente la variation de l'impédance d'entrée en fonction de la fréquence pour l'antenne dipôle en forme de méandre bi-bandes. Cette dernière donne à la fréquence 0.9 GHz une impédance d'entrée réelle d'environ 32 Ohm et partie imaginaire petite d'environ -20 Ohm, et à la fréquence 2.45 GHz une impédance d'entrée réelle d'environ 45 Ohm et une partie imaginaire petite d'environ -10 Ohm. Ce qui implique que nous sommes pratiquement au voisinage de la résonance.

II.7. REALISATION

Après avoir simulé nos antennes dans l'environnement CST et étudié leurs propriétés électriques et de rayonnement, nous avons voulu vérifier et valider nos résultats par des mesures, pour cela on a procédé à la réalisation des deux prototypes d'antennes. Le premier prototype est l'antenne dipôle fractale de Peano bi-bande, ainsi que le deuxième est l'antenne dipôle en forme de méandre bi-bandes.

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

II.7.1. Description du matériel

Le PCB LPKF ProtoMat E44 comme le montre la figure II.18 est une machine de fraisage de précision spécialement conçue pour la fabrication de circuits imprimés (PCB) de haute qualité. Cet équipement est fabriqué par la société LPKF, réputée pour ses solutions de prototypage électronique. Le ProtoMat E44 est équipé d'une tête de fraisage motorisée doté d'un système de vision assistée par caméra sur laquelle est basé son système de contrôle numérique, ce qui lui permet d'effectuer des opérations de fraisage avec une grande précision. Il peut traiter des matériaux isolants tels que le FR4, les substrats céramiques et les matériaux flexibles, offrant une grande polyvalence dans la conception des PCB.

Cette machine dispose d'une zone de travail généreuse qui permet de traiter des PCB de taille standard et des prototypes de circuits électroniques de différentes dimensions. Elle est capable de réaliser des circuits imprimés à simple face, à double face et des circuits multicouches, répondant ainsi aux besoins les plus complexes. Le ProtoMat E44 intègre un système de vision assistée par caméra qui permet un alignement précis des matériaux et une inspection visuelle en temps réel des opérations de fraisage. Cela garantit une grande précision dans la création des pistes conductrices, des trous de montage et des découpes nécessaires. En plus des opérations de fraisage, le ProtoMat E44 est équipé d'une option de perçage qui permet de réaliser des trous de différentes tailles avec une grande précision. Cela facilite l'installation de composants électroniques et la connexion entre les différentes couches des circuits multicouches.

La machine est contrôlée par un logiciel convivial et intuitif qui permet de charger les fichiers de conception, de générer les trajectoires de fraisage et de contrôler toutes les opérations de fabrication. Le logiciel offre également des fonctionnalités avancées telles que la correction automatique des erreurs de trajectoire et la gestion des paramètres de vitesse et de profondeur de fraisage.



Figure II.18 : La machine ProtoMat E44.

II.7.2. Prototypé 1 : antenne dipôles de peano à l'itération 2 bi-bandes

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

Antenne dipôle de Peano à l'itération 2 bi-bande optimisée :

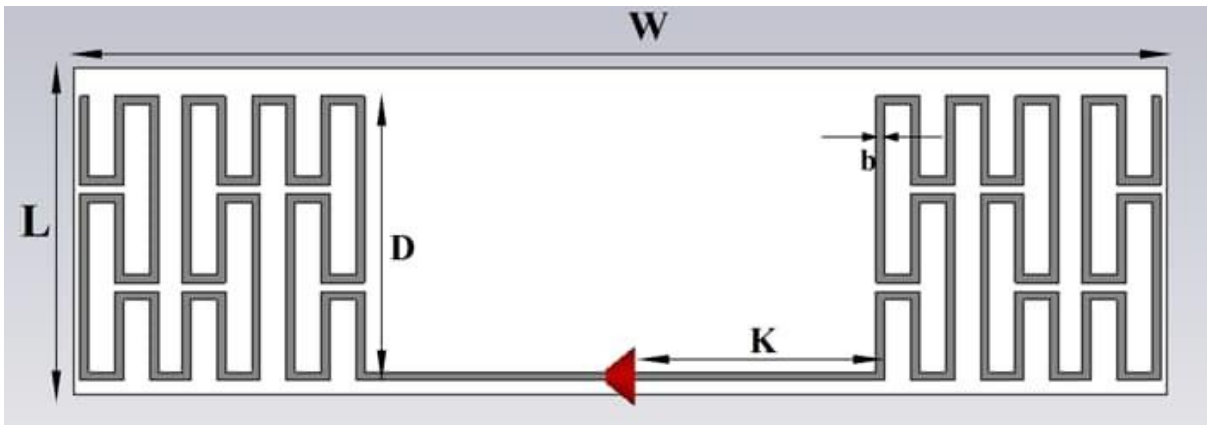


Figure III.19: Antenne dipôle fractale de Peano à l'itération 2 bi-bande simulée.



Figure III.20: Antenne dipôle fractale de Peano à l'itération 2 bi-bande réalisée.

II. 7.2.1. Mesures expérimentales

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

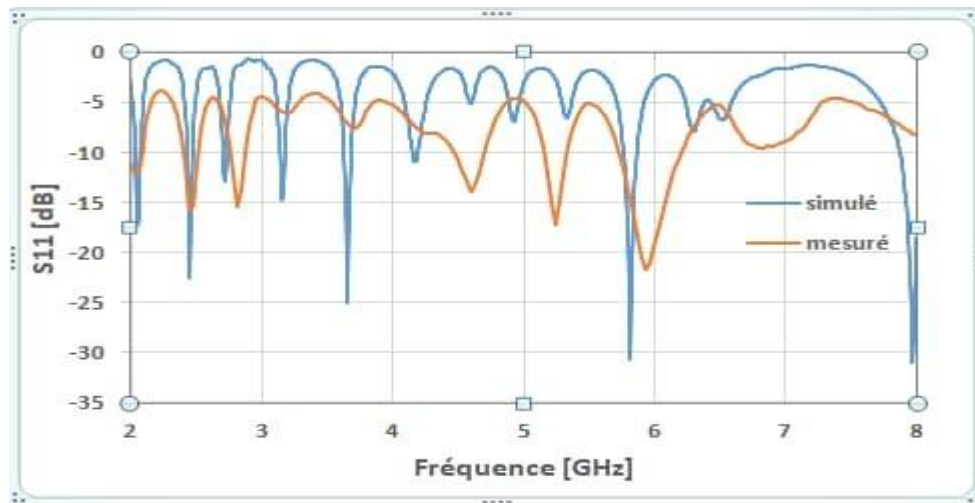


Figure III.21 : Coefficient de réflexion simulé et mesuré de l'antenne dipôle de Peano à l'itération 2 bi-bandes (2.45 et 5.8GHz).

Les résultats de mesures obtenues sont très bien, on peut noter que la courbe du S11 mesuré est très proche de la courbe du S11 simulé et plus précisément autour des

fréquences de résonance 2.45 GHz et 5.8 GHz. Hors ces bandes il y'a un petit décalage qui revient aux gaps d'air entre la soudure et le connecteur SMA.

II.7.3. Prototype 2 : antenne dipôles en forme de méandre bi-bandes

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

Antenne dipôle en forme de méandre bi-bande optimisée :

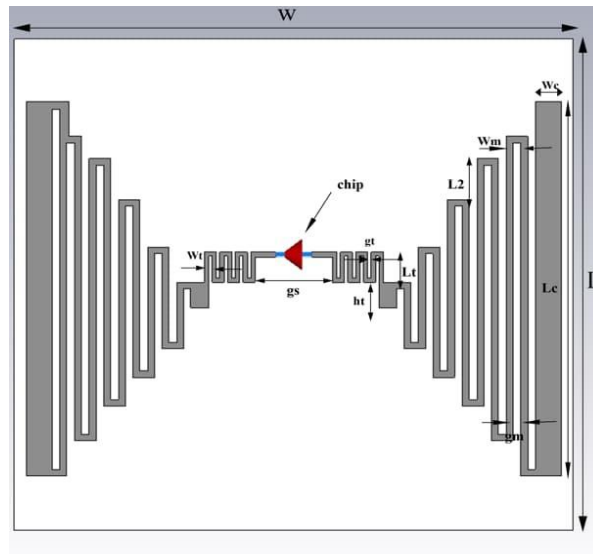


Figure III.22: Antenne dipôle en forme de méandre bi-bande simulée.

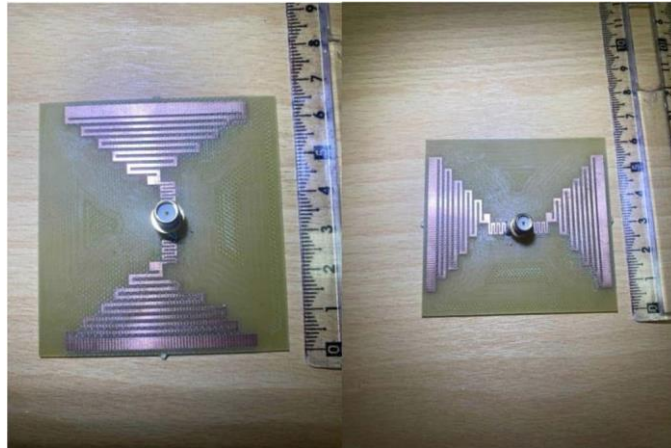


Figure III.23: Antenne dipôle en forme de méandre bi-bande réalisée.

II. 7.3.1. Mesures expérimentales

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

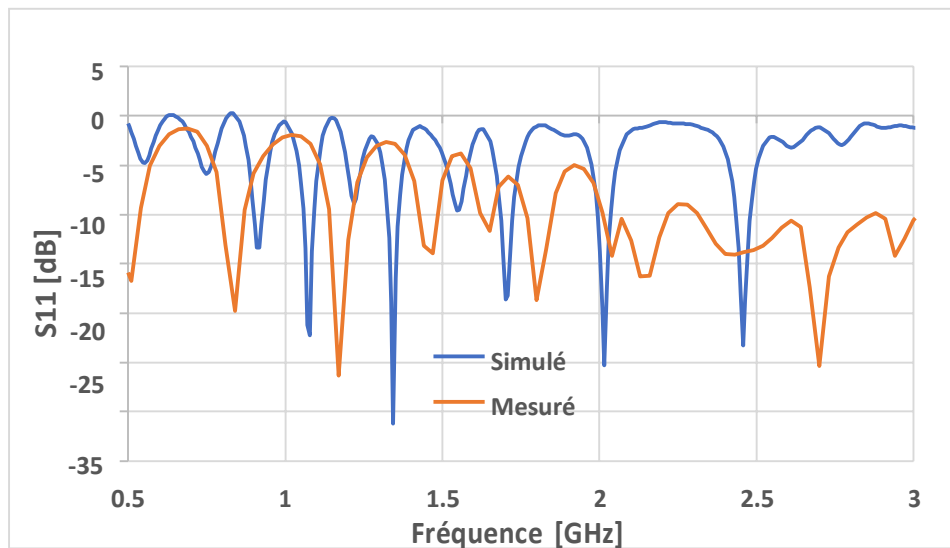


Figure III.24: Coefficient de réflexion simulé et mesuré de l'antenne dipôle en forme de méandre bi-bandes (0.9GHz et 2.4GHz).

Les résultats de mesures du coefficient de réflexion obtenues par l'analyseur réseaux vectoriel et ceux de la simulation par CST-MS sont en bon accord et plus précisément autour de la fréquence 2.4 GHz. Le moindre décalage revient aux défauts de fabrication et de la soudure du connecteur SMA.

II.8. CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons simulé et analysé deux structures d'antennes dipôles à motif fractale de Peano sur le patch rayonnant associées à des tags RFID par le logiciel CST. Nous avons abordé une grande famille d'antenne mise en œuvre dans les systèmes RFID passifs : les dipôles. Ces antennes ont été illustrées par différents exemples, Les différentes étapes de conception et de simulation de ces antennes ont été présentées en détail en passant par l'itération 1 et l'itération 2. Nous avons aussi simulé et analysé deux autres structures d'antennes dipôles telque l'antenne à deux dipôles méandre croisés et l'antenne à dipôle méandre. L'optimisation est faite dans le but d'obtenir des bons résultats, une adaptation entre l'antenne et la puce dans le cas où on a un tag avec puce, nous avons aussi présenté les résultats de simulation de toutes les antennes conçues dans le but de montrer l'effet des différents paramètres géométriques et physique.

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

Conclusion Générale

L'identification par radiofréquence (RFID) est devenue une technologie intégrée dans de nombreux aspects de notre vie quotidienne. Dans le cadre de ce projet de fin d'études, nous avons conçu, simulé et réalisé deux antennes bipolaires basées sur des motifs fractals pour les Tags RFID UHF et SHF.

Nous avons exploré la famille étendue des antennes utilisées dans les systèmes RFID passifs, en mettant l'accent sur les antennes dipôles. Nous avons présenté différents exemples d'antennes dipôles, en détaillant les étapes de conception et de simulation. En suivant ces étapes, nous avons développé une nouvelle structure d'antenne avec des paramètres spécifiques. L'optimisation a été effectuée dans le but d'obtenir des résultats de performance satisfaisants et d'assurer une adaptation optimale entre l'antenne et la puce, dans le cas où un tag avec une puce est utilisé. Les résultats de simulation de toutes les antennes conçues ont été présentés pour mettre en évidence l'effet des différents paramètres géométriques et physiques sur les performances des antennes.

Une fois que nos modèles ont été optimisés, nous avons procédé à l'étape de réalisation en utilisant la machine de gravure mécanique LPKF ProtoMat E44. Les mesures réalisées à l'aide d'un analyseur de réseaux vectoriels (VNA) ont montré une bonne concordance avec les résultats de simulation, notamment en ce qui concerne le coefficient de réflexion, en particulier autour de la fréquence de résonance de 2,45 GHz du système RFID.

Ces résultats obtenus par simulation et par mesures expérimentales valident notre approche de conception et démontrent l'efficacité des antennes dipôles à motifs fractals pour les applications RFID UHF et SHF. Ils fournissent une base solide avec l'arrivée du matériel pour poursuivre et élargir notre étude et explorer davantage les performances et les possibilités d'optimisation de ces antennes dans le même contexte du projet ainsi que la conception et la fabrication des différents produits constituant les systèmes RFID tel que des antennes de tag basé sur des matériaux souples pour les spécificité des domaines d'applications, des antennes de lecteurs et même des lecteurs complets, aussi de fabriquer des puces RFID, ...etc .

Bibliographie

Bibliographie

- [1] Fanny Schneider, «RFID : services améliorés » Travail de Bachelor , haute école de gestion de Genève ,2020.
- [2] Oubira Bilal .Djoualil Abdel halim, « Étude et conception d'un système d'accès Sécurisé parla technologie RFID » Mémoire de Master, Université 8Mai 1945, de Guelma ,2019.
- [3] Ndiaye Khadidiatou .LEBORGNE Aymeri, «Comprendre La Technologie RFID» RapportDe Projet, Réseaux et Télécommunications, Université de paris ,2017.
- [4] <https://www.kool-stuff.fr/quest-ce-que-le-rfid-a-quoi-ca-sert>, consulte le 21 4 2023.
- [5] <https://www.anfr.fr/liste-actualites/actualite/composants-frequences-usages-tout-savoir-sur-la-technologie-rfid>. Consulte le 21 4 2023.
- [6] « Les systèmes d'identification par radiofréquences (RFID) » Rapport d'expertise collective .paris, Janvier 2009.
- [7] Kerboub Marwen, Menidjel Karim, « Simulation et réalisations des antennes imprimées pour des applications RFID- UHF », Mémoire de Master, Université 8 Mai 1945 de Guelma, 2021.
- [8] Sanâa Zangui, «Détermination Et Modélisation Du Couplage En Champ Proche Magnétique Entre Systèmes Complexes», Ecole Doctorale d'Electronique, Electrotechnique, Automatique Thèse de l'Université de Lyon ,2011.
- [9] Comment fonctionne un Système RFID UHF ? | Dipole (dipolerfid.fr) consulte le 21 4 2023.
- [10] Fatima Zahra «Etude et conception d'antennes imprimées pour identification radio fréquence RFID UHF » thèse de doctorat en télécommunication, tlemcen,2013.
- [11] Anthony Ghiotto, «Conception D'antenne De Tag RFID UHF, Application a réalisation par jet de matière », thèse de doctorat, Institut Polytechnique de Grenoble, novembre 2008.

- [12] Dat Son Nguyen, « Développement des capteurs sans fil basés sur les tags RFID UHF passifs pour la détection de la qualité des aliments », Thèse Pour obtenir le grade de docteur de l'université de Grenoble, 2013.
- [13] Abdelhamid Bou-el-harmel, Ali BenBassou, Jamel belkadid, « adaptation d'impédance d'antennes dipôles planaires des tags RFID UHF par l'application de la technique T-match », Thèse de doctorat, université sidi Mohamed ben abdallah, école supérieure de technologie de Maroc, 2014.
- [14] Dat Son Nguyen, « Développement des capteurs sans fil basés sur les tags RFID UHF passifs pour la détection de la qualité des aliments », 2013.
- [15] 7 Things You Can Track in Hospitals Using RFID - atlasRFIDstore.
- [16] MR. Taibi Azzedine, « Protocoles délimiteurs de distance des systèmes RFID », étude comparative. Informatique réseaux de Msila, 2014.
- [17] Ziani Kerarti Samir, KADI Oussama, « Étude Et Conception D'un System De Présence Automatique Par RFID » Mémoire de Master de Tlemcen, 2018.
- [18] <https://www.cst.com>.
- [19] BERROUA Nora, GHERIS Akila, « Etude paramétrique et simulation de l'antenne patch sous CST » Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou, 2017.
- [20] Ziada Abdennour, « Conception et Réalisation des Antennes RFID » Mémoire de Master, Université 8 Mai 1945 de Guelma, 2022.
- [21] Benoit. B. Mandelbrot « The Fractal Geometry of Nature », New York, W.H. Freeman and Company, 1975.
- [22] Bhaskar S, Singh AK « Ligne méandre effilée croisant le dipôle circulairement antenne polarisée pour les applications d'étiquettes RFID UHF ». Article Int JRF Microw Comput 2018.

ANNEXE DE PROJET

III.1. PREMIER AXE

III.1.1. Idée du projet

Notre domaine d'activité relève de la catégorie des industries technologiques et des services. Les gestionnaires d'entrepôts sont confrontés à des problèmes liés à l'identification et à la vérification des pénuries ou des excès de stocks, à la perte de temps et d'efforts lors des inventaires ou de la recherche de produits, ainsi qu'aux problèmes de protection et de sécurité liés au mouvement des marchandises et aux stocks en général. Il existe un besoin de solution plus fiable et automatisée pour améliorer les opérations de stockage.

Nous fabriquerons des appareils spécifiques au système RFID et nous développerons des logiciels. Ils offriront une utilisation facile et simple pour l'utilisateur, permettant une vision globale et rapide des éléments de stock en peu de temps.

Le produit sera conçu en utilisant la technologie RFID pour être facile à utiliser, évolutif et personnalisable afin de répondre aux besoins diversifiés des entrepôts. Il comprendra la fabrication d'étiquettes RFID pouvant être attachées aux articles de stock, leur intégration avec des lecteurs RFID qui captent et transmettent les données, ainsi que des logiciels permettant l'analyse des données, le suivi des stocks et la génération de rapports. Le système utilisera la technologie RFID pour simplifier les opérations de gestion des stocks, renforcer les mesures de sécurité et fournir une visibilité en temps réel des niveaux et des mouvements des stocks.

III.1.2. VALEURS PROPOSEES

- Flexibilité d'utilisation sans complications opérationnelles.
- Précision dans l'organisation des stocks.
- Gain de temps dans les opérations quotidiennes.
- Protection et sécurité pour le mouvement des marchandises.
- Coût abordable.
- Amélioration des processus de travail.

III.1.3. L'équipe de travail

L'équipe de travail est composée de :

- L'étudiant Messelem Oussama, spécialisé en réseaux de Télécommunications.
- L'étudiant Zemouli Amin, spécialisé en réseaux de Télécommunications.
- L'étudiante Redjimi Manel, spécialisé en réseaux de Télécommunications.
- L'étudiante Benaamara Touba Riane ,spécialisé en réseaux de Télécommunications.

III.1.4. Objectifs du projet

À court terme :

- Acquérir des clients initiaux et établir des relations solides avec eux, tout en réalisant des bénéfices initiaux.
- Élargir la base de clients et augmenter le taux de rétention des clients.
- Bâtir une solide réputation et se démarquer sur le marché.
- Établir des partenariats avec des institutions économiques.

À long terme :

- Entrer sur de nouveaux marchés.
- Réaliser une fabrication entièrement accréditée à 100%.
- Vendre des appareils à d'autres prestataires de services.
- Exporter les appareils vers des marchés étrangers.

III.1.5. Calendrier de réalisation du projet

	Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Identification des besoins du projet (sélection du siège et de l'équipe de travail...)	✓	✓									
2	Demander l'équipement et le matériel nécessaires.			✓								
3	Construction d'installations de production				✓	✓	✓					
4	Construire et tester des modèles expérimentaux. Début de la production du premier lot							✓	✓			
5	Préparation de la campagne de marketing et de promotion.									✓		
6	Lancer des produits ou des services et fournir un service après-vente et de soutien à la clientèle.										✓	✓

Tableau III.1 : Calendrier approximatif

III.2. DEUXIEME AXE

III.2.1. Domaines d'innovation

Le domaine de l'innovation se manifeste par la fourniture d'un produit complet comprenant les étiquettes, le lecteur et le logiciel, sans avoir besoin d'acheter des appareils RFID et d'embaucher des programmeurs. Nous offrons une solution complète, allant de la fabrication des étiquettes à l'équipement des lecteurs appropriés, et nous développons et personnalisons également le logiciel pour répondre aux exigences. De plus, nous soutenons la langue arabe pour faciliter les opérations. Le développement d'applications mobiles facilite l'accès aux données de n'importe où. Nous visons également à développer le logiciel pour qu'il inclue des fonctionnalités telles que des analyses prédictives basées sur les données de stock, offrant des prévisions sur les tendances de la demande future et aidant à la planification préalable de la gestion des stocks.

III.3. TROISIEME AXE

III.3.1. Présentation du secteur du marché

Selon le rapport de la liste des établissements de commerce pour l'année 2020 publié par le ministère du Commerce et de l'Industrie, il y a 957,620 entreprises commerciales enregistrées opérant en Algérie. Le secteur commercial occupe la première place avec 528,328 entreprises, soit 55,1% du total des entreprises recensées (ces entreprises possèdent des entrepôts pour leurs produits). Selon les statistiques à la fin du mois de juin 2022, le nombre d'entreprises est passé à 1, 320,664. Le nombre est en augmentation. La croissance démographique en Algérie, avec l'augmentation de la population dans les communautés et les villes, entraîne une augmentation de la demande de biens et de produits. Par conséquent, les entreprises ont besoin d'espaces de stockage supplémentaires pour répondre à cette demande croissante. Notre produit vise principalement les entrepôts de taille moyenne à grande (entreprises et magasins en général). Une superficie de stockage qui commence à partir de 500 mètres carrés.

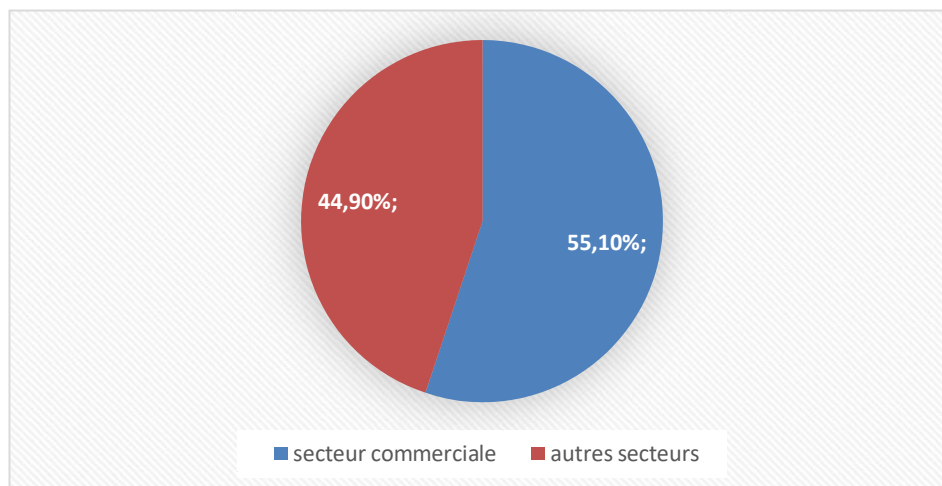


Figure III.1 : Les entreprises Algériennes recensées qui possèdent des entrepôts pour leurs produits en 2020

III.3.2. Mesure de l'intensité de la concurrence

Pour les produits de technologie RFID il n'y a pas de concurrents sur le marché national, les appareils sont importés de l'étranger, y compris les entreprises qui les fabriquent sont : Impinj - Alien Technology - Zebra Technologies - Avery Dennison.

Ces entreprises ne ciblent pas un domaine particulier et seulement la fabrication, de sorte que leurs produits n'ont pas beaucoup de caractéristiques du domaine de stockage.

Pour les concurrents indirects, il s'agit de systèmes de stockage traditionnels tels que ceux utilisant le code à barres (code de barre) mais ce sont de vieux systèmes qui ne peuvent pas gérer les grands magasins parce qu'ils coûtent cher en ressources financières et humaines dans la gestion des stocks et ne suivent pas le développement dans le domaine du commerce électronique.

III.3.3. Stratégie de marketing

Notre marketing est basé sur le ciblage direct des gestionnaires d'entrepôt en vous faisant vivre une expérience du produit et de ce que vous pouvez offrir.

En plus de participer à des salons et événements de l'industrie pour présenter nos solutions et interagir avec les clients potentiels.

En plus de développer du contenu vidéo dans les médias sociaux sur les avantages de l'utilisation du produit.

Voir les commentaires positifs et les certificats afin d'améliorer notre réputation commerciale sur le marché et d'influencer les décisions d'achat.

III.4. QUATRIEME AXE

III.4.1. Processus de production

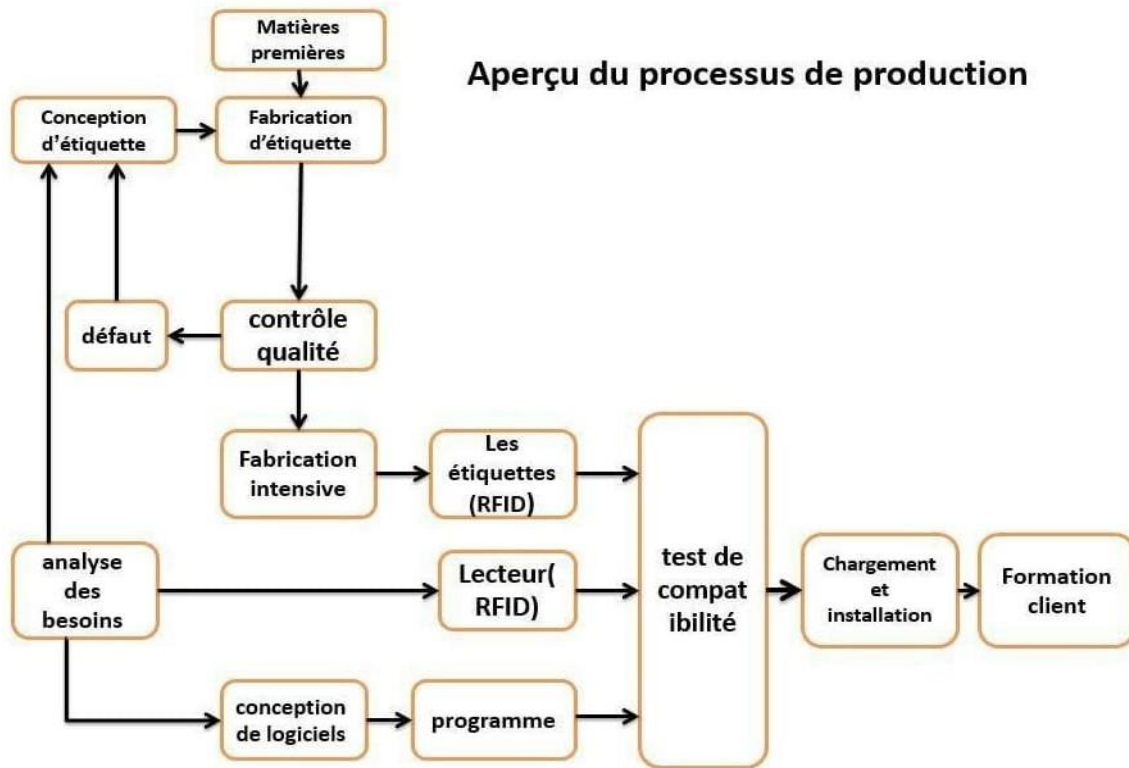


Figure III.2 : Aperçu du processus de production.

III.4.2. Approvisionnement

Il s'agit d'une politique d'achat qui consiste à choisir des matériaux de haute qualité tout en maintenant l'efficacité des coûts. Nous avons besoin de quatre principaux fournisseurs pour la fabrication de l'étiquette : du papier ou du plastique, de l'adhésif, de l'antenne et de la puce. De plus, nous avons besoin de machines qui fabriquent l'étiquette, avec un processus semi-automatique.

En ce qui concerne le lecteur, nous obtenons des appareils de lecture prêts à l'emploi, et pour le logiciel, il est réalisé à l'aide d'ordinateurs.

Les principaux fournisseurs sont ceux de puces électroniques ainsi que différents matériaux premiers, et également les fournisseurs de lecteurs d'étiquettes.

Les conditions de paiement sont effectuées par des paiements partiels à l'avance, et le délai de livraison dépend du délai nécessaire pour la fabrication des puces et de la logistique d'expédition.

III.4.3. Main-d'œuvre

Le projet peut créer environ 30 à 50 emplois qui nécessitent des spécialisations minutieuses en ce qui concerne les ingénieurs et techniciens responsables de la conception des étiquettes (5), les travailleurs techniques dans les processus de fabrication (5). Spécialistes de l'électronique et des circuits (5). Développeurs et ingénieurs de logiciels pour le développement de logiciels (7).

III.4.4. PRINCIPAUX PARTENARIATS

Les partenariats sont essentiels à la réussite de notre projet. Les plus importants sont les fournisseurs de puces RFID où une entreprise bien établie sera sélectionnée sur le marché, les fournisseurs de lecteurs RFID ainsi que les fournisseurs de matières premières.

III.5. CINQUIEME AXE

III.5.1. Coûts et fardeaux

Les coûts supérieurs sont :

- Les coûts de la marque
- Papier + cuivre + puce + matériau adhésif
- Coût des équipements de fabrication
- Les coûts du lecteur
- Coût de l'ordinateur pour développer le programme

III.5.2. Chiffre d'affaires

	REALISATION	PREVISION				
Produit A destiné Client	N	N+1	N+2	N+3	N+4	N+5
Quantité produit A	30	45	60	75	110	140
Prix HT produit A	85000.00	85000 Da	85000 Da	85000da	85000da	85000da
Ventes produit A	125000.00	125000 Da	125000da	125000da	125000da	125000da
Chiffre d'affaires global	3750000.00	5625000 Da 17500000da	7500000da	9375000da	13750000da	

Tableau III.2 : détail chiffre d'affaires

III.6. SIXIEME AXE

III.6.1. Explication du produit

Le produit se compose d'étiquettes sans fil Chaque étiquette contient un numéro unique attaché aux produits stockés. Les étiquettes sont lues à travers un lecteur portable ou fixe, qui à son tour les envoie à un logiciel qui montre l'information adaptée à l'infrastructure des clients, réduit la paperasserie (numérisation) ainsi que la surveillance à distance et les données mises à jour instantanément.



Figure III.3 : principe de fonctionnement

➤ **Étiquette - (RFID tag)**

L'étiquette est une étiquette attachée à l'élément à définir contenant un identifiant unique (ID), l'étiquette est lue sans fil via le lecteur (RFID Reader).



Figure III.4 : Étiquette - (RFID tag)

➤ **Lecteur d'étiquettes – RFID Reader**

Le lecteur lit (ID) dans les marqueurs à distance sans fil et les envoie au logiciel avec Arduino. Ce modèle, montré dans la photo de la figure III.5, est un lecteur de lecture à distance rapprochée. En raison, du manque des moyens de construction d'un lecteur et d'un tag passif UHF et SHF (lecture à distance du champ lointain) on a utilisé une antenne haute fréquence à 13.56 MHz (lecture à distance du champ rapproché).

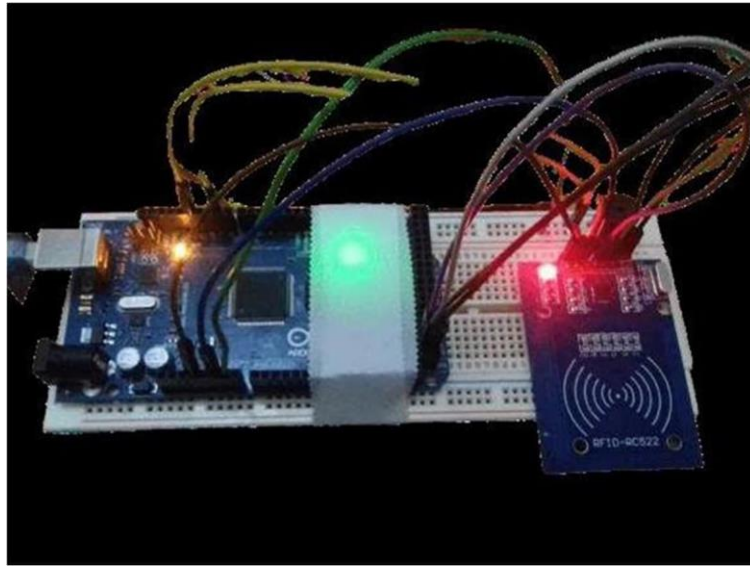


Figure III.5 : Lecteur d'étiquettes.

➤ Programme

Le logiciel d'interface graphique ; réalisé sous environnement PYTHON, affiche les renseignements sur les étiquettes immédiatement après la lecture par le lecteur, comme le type et le nom. Il a de multiples avantages et évolutif.



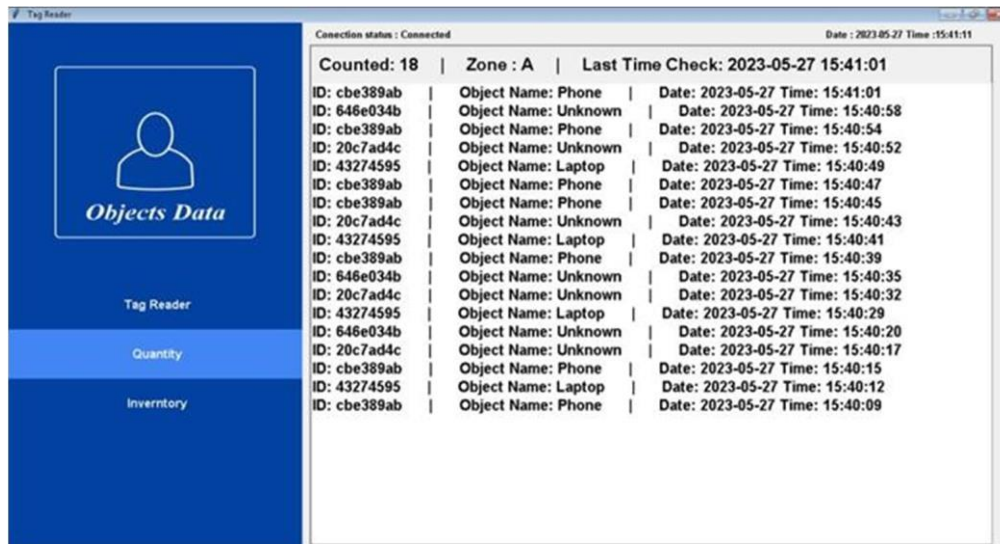


Figure III.6 : logiciel réalisé sous environnement PYTHON

III.7. SEPTIEME AXE : BMC

