

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد- تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd- Tlemcen –



THESE

Présentée pour l'obtention du **grade** de **DOCTEUR** 3^{ème} cycle LMD

En : Télécommunications

Spécialité : Signaux et systèmes de télécommunications

Par : BELGACEM Wahiba

Sujet

Conception d'antennes sur substrats souples pour des applications RFID UHF.

Soutenue publiquement en 2021 devant le jury composé de :

Mr. BENDIMERAD Fethi Tarik	Professeur	Univ. Tlemcen	Président
Mr. MERIAH Sidi Mohammed	Professeur	Univ. Tlemcen	Directeur
Mr. BOUSAHLA Miloud	Maitre de conférences (B)	Univ. Tlemcen	Co-Directeur
Mr. MERAD Lofti	Professeur	ESSA Tlemcen	Examineur
Mr. MEGNAFI Hichem	Maitre de Conférences (A)	ESSA Tlemcen	Examineur

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mon dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté, la force et la patience pour mener ce travail à terme.

Cette thèse de doctorat a été réalisée au sein du Laboratoire de Télécommunications de Tlemcen (LTT), Faculté de technologie, université de Tlemcen.

Je voudrais exprimer par ce modeste travail notre gratitude, notre reconnaissance, et nos grands remerciements à mon directeur de thèse Mr MERIAH sidi Mohammed, Professeur à l'université de Tlemcen, pour son dévouement d'encadrement incontestable, sa patience et de m'avoir facilité mon intégration dans son équipe de recherche.

Je tiens à remercier Mr BOUSAHLA Miloud, Co-encadreur de cette thèse, pour son soutien, ses conseils pertinents, son encouragement, et sa disponibilité avec le partage des idées.

J'adresse toute ma reconnaissance à Mr BENDIMERAD Fethi Tarik, Professeur à l'université de Tlemcen, qui me fait l'honneur d'être rapporteur de ma thèse et d'avoir bien voulu présider mon jury de thèse.

J'exprime mes profondes reconnaissances au Professeur MERAD Lotfi et au Docteur MEGNAFI Hicham, de l'Ecole Supérieur en Sciences Appliquées ESSA Tlemcen, pour avoir bien voulu examiner notre travail, et à l'intérêt qu'ils ont bien voulu porter à cette thèse de doctorat.

En fin, je tiens à exprimer toute ma gratitude à toute ma famille, mes amis et collègues du CEST, qui m'ont encouragé pour finaliser cette thèse et de m'avoir conduit à ce jour mémorable.

Résumé

La technologie d'identification par radiofréquence wearable (RFID) est devenue une alternative appropriée et plus évoluée au code à barres, elle est omniprésente et capable d'offrir un champs d'applications énormes dans la vie quotidienne des populations, tels que les articles parcourant la chaîne d'approvisionnement, l'inventaire intelligent, l'accès, le contrôle et le paiement sans contact. Face aux avancés technologiques et à la réduction des couts, les champs d'application de la RFID s'est largement étendu et de multiples secteurs d'activité bénéficie aujourd'hui de cette technologie. A cet égard, les antennes portables ou wearable ont attiré beaucoup d'attention ces dernières années en raison de leurs caractéristiques attrayantes. L'application de ces antennes dans le domaine de l'identification radiofréquence (RFID) a permis de ramener de nouvelles solutions au besoin grandissant en matière de traçabilité.

L'objectif principal de cette thèse est d'explorer des solutions dans la conception d'antennes RFID wearable sur des substrats souples, pour les étiquettes RFID passives, fonctionnant en champs proches et champs lointain dans la bande de fréquence ISM. Plusieurs structures sont alors proposées et réalisées. Les résultats obtenus, sous le logiciel CST Microwave Studio, sont très encourageants et ouvrent de nouvelles perspective de développement dans le domaine des systèmes RFID portables.

Mots clés: Technologie RFID, Antennes wearable, substrat flexible, bande médicale ISM.

ABSTRACT

Today, wearable and univocal technology of items worldwide is becoming a growing necessity, due to the rapid increase in global production and trade. In this regard, the birth of wearable radio frequency identification (RFID) technology has become an appropriate and more advanced alternative to bar code, it is ubiquitous and capable of offering a huge range of applications in the daily life of the population in the near future, such as articles browsing the supply chain, intelligent inventory, access, control and contactless payment, although RFID has archived the entry into the main stream of technology already provides a cost-effective solution in medium scenarios. The challenges associated with service are still waiting for an answer. Among these. The identification of small metal objects requires miniaturization of the size of RFID antennas. In addition, the design of miniaturized RFID tags must be located in the reading area that would allow small objects to be identified regardless of their orientation is always annoying about the other expenses of the dimensions of the tags, so that the design of RFID tags with an optimized reading distance. The main objective of this thesis is to explore solutions in the design of wearable RFID antennas on flexible substrates for passive RFID tags working in the ISM frequency band and for near and far field reader RFID antennas for identification of the TAG.

Key words: RFID technology, wearable antenna, flexible substrates, medical ISM band, CST software.

الملخص

اليوم، التكنولوجيا القابلة للارتداء في تطور ملحوظ شمل عدة مجالات في جميع أنحاء العالم، فقد أظهرت الحاجة المتزايدة، بسبب الزيادة العرض والطلب في الإنتاج والتجارة العالمية. في هذا الصدد، أصبح ولادة تقنية تحديد الترددات بدلاً مناسباً وأكثر تقدماً للرموز الشريطية، فهي موجودة في كل مكان وقادرة على (RFID) الراديوية القابلة للارتداء تقديم مجال ضخم من التطبيقات في الحياة اليومية للناس. في المستقبل، مثل هذه العناصر التي تعبر سلسلة التوريد، إمكانية أرشفة الدخول إلى RFID، و يوفر المخزون، التحكم الذكي والدفع بدون تلامس، على الرغم من توفر حلول التكنولوجيا السائدة بالفعل كحلاً فعالاً في التكلفة السيناريوهات المتوسطة و تحديات الخدمة لا تزال تنتظر الرد. من بين هذه تقنية يجب أن يكون تصميم RFID يتطلب التعرف على الأجسام المعدنية الصغيرة على تصغير حجم هوائيات المصغرة الموجودة في منطقة القراءة والتي من شأنها تحديد الأشياء الصغيرة بغض النظر عن اتجاهها RFID علامات RFID دائماً ما يكون غير مريح بمراعاة مسافة قراءة. الهدف من هذه الرسالة هو استكشاف الحلول في تصميم هوائيات في RFID وهوائيات قارئ ISM المنفصلة التي تعمل في نطاق تردد RFID القابلة للارتداء على ركائز مرنة لعلامات TAG. المجالات القريبة والبعيدة لتحديد

الكلمات المفتاحية:

(RFID) التكنولوجيا القابلة للارتداء، هوائيات يمكن ارتداؤها، ركيزة مرنة، نطاق الطيبي ISM، برنامج CST.

List des abréviations

RFID : Radio Frequency Identification.

BF : basse fréquence.

HF : haute fréquence

UHF: Ultra High Frequency

ISM: Industrial, Scientifique et Medical.

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

UWB: Ultra-Wide-Band.

ISO: International Organization for Standardization.

CST: computer simulation technology.

FIT: Finite Integration Technique.

PDMS: polydiméthylsiloxane

EM: électromagnétiques

VSWR : voltage *standing wave ratio*.

WBAN : Wireless Body Area Network

WIMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access.

Table des matières

Remerciements	II
Résumé	III
Sommaire..	V
Liste des figures	IX
Liste des tableaux	X
I. Introduction Générale	1

Chapitre I : Généralités sur la technologie wearable.

I.1 Introduction.....	4
I.2 Historique de développement de la technologie wearable	4
I.3 Marche de la technologie RFID wearable.....	6
I.4 Les fonctionnalités de la technologie portables (wearable)	7
I.5 Les caractéristiques de la technologie wearable	8
I.6 Les fonctionnalités de la technologie RFID.....	8
I.6.1 Architecture des tags RFID UHF	9
I.6.2 Description de l'architecture d'une puce RFID.....	10
I.6.2.1 Le tag RFID passif.....	12
I.6.2.2 Le tag RFID passif assisté par batterie :	12
I.6.2.3 Le tag RFID actif.....	12
I.7 Fréquences de fonctionnement d'un Tag RFID	12
I.8 Les performances des TAG RFID.....	15
I.9 Principe de fonctionnement d'un système RFID TAG UHF Passif	16
I.10. Protocole de communication entre le lecteur et la Tag RFID	17
I.11 Principe de récupération d'énergie en RFID UHF.....	18
I.12 Avantage et inconvénient de la technologie wearable.....	19
I.13 Conclusion	20

Chapitre II : Étude comparative entre les différents textiles wearable RFID fonctionnant à la bande ISM micro-onde.

II.1 Introduction.....	<u>24</u>
II.2 Les matériaux conducteurs flexibles intégrés dans des antennes miniatures imprimées.....	<u>25</u>
II.3. Les matériaux Textiles intelligents wearables pour système RFID.....	<u>26</u>
II.3.1 Textiles en fibres.....	<u>26</u>

II.3.2 Substrats flexibles intégrés dans des antennes micro rubans	27
II.3.2.1 substrats en papier conductrice	27
II.3.2.2 Substrats en plastiques	28
II.3.2.3 Substrats en polymères	29
II.3.2.4 Encre conductrice	30
II.4 Techniques de fabrication des antennes flexibles « wearable ».....	31
II.4.1 Technologie basée sur les guides d’ondes intégrés au substrat	31
II.4.2 Couture et broderie.....	32
II.4.3. Sérigraphie.....	33
II.4.4. Impression à jet d’encre	35
II. 5. Conception d’antennes RFID textiles imprimées sur substrats flexibles	36
II.5.1 Choix de l’antenne imprimée	37
II.5.2 Choix du matériau flexible.....	38
II.5.3. Conception d’une antenne RFID textile imprimée sur substrat de type Cotton, Cotton lavé, Polar fleece, Demin	39
II.5.3.1 Conception d’une antenne RFID textile imprimée sur substrat de type Rober, Resin, Djean, Polyamide, Polyester	41
II.5.3.2 Conception d’une antenne RFID textile imprimée sur substrat de type Kapton, Nylon, Silk, Courdura/lycra, Silicon, FR4	42
II.6. Conception d’une antenne RFID textile conformée imprimée sur substrat souple	44
II.7. Conclusion	47

Chapitre III : Conception d’antennes RFID en champ proche et en champ lointain opérants à la band ISM.

III.1 Introduction.....	50
III.2 Lecteur RFID	51
III.2.1 Architecture d’un lecteur RFID.....	51
III.2.2 Principe de fonctionnement d’un lecteur RFID.....	52
III.2.3 Allocations des bandes de fréquences dédiée aux applications d’un lecteur RFID	53
III.3 Système RFID UHF en champ proche	53
III.3.1. Communication RFID UHF en champ proche	55
III.3.2. Système à couplage inductive (Near Field system) pour le transfert d’information	56
III.6. Conception d’antennes lecteurs RFID-UHF en champ proche.....	57
III.7. Les systèmes RFID en champs lointain	60
III.7.1. Communication RFID Micro-ondes en champ lointain	60

III.7.2. Conception d'antennes RFID Micro-onde en champs lointain.....	61
III.7.3. Simulations et résultats.....	62
III.7.4. Conception d'antennes Tri-bandes pour lecteur RFID	66
III.8. Conclusion.....	70

Chapitre IV : Conception d'antennes TAG RFID Passif

IV.1. Introduction	73
IV.2 Processus de conception d'une antenne Tag RFID	74
IV.2.1 Méthodologie de conception d'antenne Tag RFID	74
IV.3 Techniques d'adaptation d'un tag RFID	75
IV.3.1 L'adaptation par éléments série	76
IV.3.2 L'adaptation par éléments parallèles.....	76
IV.3.3. L'adaptation par couplage.....	76
IV.4 Conception d'antennes	77
IV.4.1 Antenne dipôle alimenté par couplage.....	77
IV.4.2 Antenne tag RFID de forme spirale alimentée par T-match	81
IV.5 .Conclusion.....	84
Conclusion générale	86

Table des figures

Chapitre I : Généralités sur la technologie wearable.

Figure. I.1 Evolution de la technologie wearable cours des années 1980 à 1990	5
Figure. I.2. Évolution de la technologie RFID wearable cours des années 2000 à 2020	6
Figure. I.3 Prédiction de l'évolution du marché de la RFID dans le monde	7
Figure. I.4. Les fonctionnalités de la technologie wearable	8
Figure I.5 La décomposition d'un Tag RFID	9
Figure I.6 Les fonctionnalités et architecture d'une puce RFID UHF	10
Figure I.7 Exemples de tags RFID	11
Figure I.8 Architecture des systèmes RFID avec puce	12
Figure I.9 Les allocations des fréquences pour les étiquettes RFID	13
Figure I.10 Exemple d'un Tag RF	13
Figure I.11 Exemple d'un Tag UHF	14
Figure I.12 Exemple d'un Tag HF	14
Figure. I.14 : Principe de la rétro modulation (Backscattering) d'un tag RFID	17
Figure I.15 Schéma bloc des étapes de la récupération d'énergie RF	18

Chapitre II : Étude comparative entre les différents textiles wearable RFID fonctionnant à la bande ISM micro-onde.

Figure II.1. Natures des fibres des textiles	27
Figure II. 2. Substrat sous forme du papier filtrant.....	28
Figure.II.3. Encre conductrice	31
Figure II.4. Exemple d'une antenne en technologie basée sur les guides d'ondes intégrés au substrat souple	32
Figure II.5. Fibre textile brodé utilisé comme conducteur	33
Figure II. 6. Exemple d'une antenne brodée dans un gon	33
Figure II. 7. Fabrication d'une antenne souple avec Sérigraphie	34
Figure II.8. Exemple d'une antenne imprimé avec jet encre.	35
Figure II.9. Imprimante 3D jet d'encre	35
Figure II.10 : Structure d'une antenne imprimée	36
Figure II .11. Alimentation par ligne microruban	37
Figure.II.12. Géométrie de l'antenne RFID textile proposée.	39

Figure II.13. Coefficient de réflexion de l'antenne RFID proposée.....	40
Figure II.14. Coefficient de réflexion de l'antenne RFID proposée.....	41
Figure II.15. Coefficient de réflexion de l'antenne RFID proposée.....	42
Figure II.16. Structure de l'antenne RFID textile conformée proposée.....	44
Figure II.17. Coefficient de réflexion de l'antenne proposée.	44
Figure II.19. Coefficient de réflexion S11 de l'antenne proposée	45
Figure II.20. Diagramme de rayonnement de l'antenne proposée.	46
Figure II.21. Distribution de courant de l'antenne RFID proposée	46

Chapitre III : Conception d'antennes RFID en champ proche et en champ lointain opérants à la band ISM.

Figure III.1: principe de fonctionnement d'un lecteur RFID.....	51
Figure III.2. Lecteur RFID pc prox Dual-band.....	52
Figure III.3. Lecteur de carte RFID	52
Figure III.4 : Lecture RFID pour le control d'accès	52
Figure III.5 : principe de fonctionnement d'un Lecture RFID	53
Figure III.6. Définition des zones de champs	54
Figure. III.7: Principe du system de couplage inductive	57
Figure III. 8 : La structure de l'antenne boucle segmentée proposée.	58
Figure III.9. Coefficient de réflexion simulé en fonction de la fréquence.	59
Figure.III.10. VSWR de l'antenne proposée.	60
Figure III.11: Diagramme de rayonnement en coordonnées polaires calculé à la fréquence 900 MHz.	60
Figure III.12. Principe de communication RFID	61
Figure III.13. L'antenne fabriquée. (a) Vue de face, (b) Vue dessus.....	62
Figure III.14. Coefficient de réflexion mesurée et simulée de l'antenne RFID lecteur dual bande proposée. ...	63
Figure III.15. VSWR de l'antenne proposée.....	64
Figure III.16. Diagrammes de rayonnement 3D simulés à 2,4 GHz et 5.8 GHz de l'antenne proposée	64
Figure III.17. Gain simulé de l'antenne proposée par rapport à la fréquence.	65
Figure III.18. Diagramme de rayonnement 2D simulé à 2,4 et 5.8 GHz de l'antenne proposée	65
Figure III.19. Distribution du courant de l'antenne proposée à 2,4 GHz et 5.8 GHz.....	66
Figure. III.20 Géométrie de l'antenne Tri-bandes proposée.....	67
Figure III.21 L'antenne Tri bande fabriquée. (a) Vue de face, (b) Vue dessus.	67
Figure.III.22. Coefficient de réflexion mesurée et simulée de l'antenne tri-bande.	69
Figure III.23 Diagramme de rayonnement de l'antenne tri-bande aux fréquences (a) 867 MHz (b) 2,4 GHz (c) 5,8 GHz.....	70

Figure III.24 Gain simulé en fonction de la fréquence de l'antenne tri-bande proposée.	70
--	----

Chapitre IV : Conception d'antennes TAG RFID Passif

Figure IV.1. Méthodologie de Conception d'une antenne Tag RFID.....	75
Figure. IV.2. Modèle parallèle et modèle série de l'impédance d'entrée d'une puce RFID.....	75
Figure. IV.3. Modèle circuit d'un tag RFID constitué d'une antenne dipôle adaptée par une inductance série ..	76
Figure. IV.4. Modèle du circuit d'un tag RFID constitué d'une antenne dipôle adaptée par une inductance parallèle.....	77
Figure. IV.5. Modèle circuit d'un tag RFID constitué d'une antenne dipôle couplée à une boucle inductive	77
Figure. IV.6. Géométrie d'antenne dipôle RFID propose.	78
Figure. IV.7. Coefficient de réflexion de l'antenne dipôle proposé.....	79
Figure IV.8. La variation de l'impédance d'entrée de l'antenne RFID dipôle proposé.	80
Figure IV.9. VSWR de l'antenne RFID dipôle proposée.	80
Figure IV.10. le diagramme de rayonnement en 3D.	81
Figure IV.11. Le diagramme de rayonnement en 2D.....	81
Figure. IV.12. Géométrie d'antenne RFID spirale adapté avec la technique T-match.	82
Figure. IV.13. Coefficient de réflexion de l'antenne spiral.....	83
Figure. IV.14. VSWR de l'antenne RFID spiral proposée.	83
Figure IV.15. Diagramme de rayonnement en 3D de l'antenne RFID spiral.	84
Figure IV.16. Diagramme de rayonnement en coordonnées polaires 2D.	85

Table des Tableaux

Chapitre I : Généralités sur la technologie wearable.

Tableau. I.1. Les avantages et inconvénients de la technologie wearable.....	20
--	----

Chapitre II : Étude comparative entre les différents textiles wearable RFID fonctionnant à la bande ISM micro-onde.

Tableau II.1. Exigences générales relatives aux matériaux conducteurs pour les dispositifs flexibles .	25
Tableau II.2. Les matériaux conducteurs souples avec leur épaisseur et conductivité.....	26
Tableau II. 3. Caractéristiques des substrats en papier.....	28
Tableau II. 4. Caractéristiques des substrats en plastique	29
Tableau II.5. Caractéristique des différents substrats flexibles intégrés dans des antennes micro rubans	30
Tableau II.6. Paramètres de performance des différents substrats.	38
Tableau II.7. Les dimensions optimisées de l'antenne RFID proposée	39
Tableau II.8. Caractéristiques des substrats souples utilisés.	40
Le tableau II.10 résume les résultats de simulation obtenus de l'antenne RFID textile proposée avec les différents types de substrats souples.....	42

Chapitre III : Conception d'antennes RFID en champ proche et en champ lointain opérants à la band ISM.

Tableau III.1. Allocations des fréquences pour les systèmes RFID lecteur	53
Tableau III. 2 : les limites de la zone de champ proche réactif et le champ lointain.....	55
Tableau III.3. Paramètres de conception de l'antenne proposée.	58
Tableau III.4. Dimensions optimisées de l'antenne de lecteur bi-bande RFID proposée.....	62
Tableau III.5. Paramètres de conception de l'antenne tri-bande proposée.....	67

Chapitre IV : Conception d'antennes TAG RFID Passif

Tableau IV.1. Paramètres de conception de l'antenne dipôle proposée.....	78
Tableau IV.2 Paramètres de conception de l'antenne spiral proposée.....	82

Les avancées susceptibles et innovantes de la technologie portable ou wearable ont transformés la vie vers un avenir promoteur. Les principales caractéristiques de la technologie portable est une fonction mains libres qui permet aux personnes et aux employés d'accéder aux données tout en effectuant leurs activités et tâches quotidiennes. Les technologies portables doivent être intégrées de façon transparentes, confortables, portables et multifonctionnelles. Le champ d'application de la technologie portable est très large ; il touche plusieurs secteurs de la vie quotidienne des gens. Parmi les avantages de la technologie portable, les appareils portables doivent avoir une faible consommation d'énergie et des temps de transmission faibles, et la meilleure valeur ajoutée sera en mesure de recueillir, interpréter, transmettre et échanger des données avec d'autres appareils portables et entre les composants de soutien.

Les antennes portables ont attiré beaucoup d'attention ces dernières années en raison de leurs caractéristiques attrayantes et les possibilités de permettre une communication et une détection sans fil légères, flexibles, peu coûteuses et portables. Les antennes portables sont construites en utilisant différents types des matériaux conducteurs et diélectriques. Ces matériaux sont soigneusement choisis pour fournir une quantité raisonnable de déformations mécaniques (flexion, torsion et enroulement) avec une influence minimale en fonction des différentes conditions météorologiques (pluie, neige, glace, etc.) et une protection adéquate contre les rayonnements électromagnétiques. Récemment, d'autres types de tissus / matériaux non textiles ont été utilisé pour les antennes portables. Pour le cas des matériaux en tissu utilisation, la bonne caractérisation de ces textiles est très essentielle et le rendement et très efficace pour la détection. Les types de substrat utilisé dans l'antenne portable est primordial importance en termes de portabilité, de fonctionnement et de fabrication. Les substrats les plus flexibles utilisés ont une faible permittivité et une faible perte tangente. Il s'agit d'augmenter leur efficacité en présence du corps humain, au prix d'une plus grande taille d'antenne.

L'application des antennes portables ou wearable dans le domaine de l'identification radiofréquence (RFID) a permis de ramener de nouvelles solutions au besoin grandissant en matière de traçabilité. Face aux avancés technologiques et à la réduction des couts, le champs d'application de la RFID s'est largement étendu et de multiples secteurs d'activité bénéficie aujourd'hui de cette technologie. Le travail présenté dans cette thèse consiste en une contribution à la recherche sur les systèmes RFID combiné à la technologie wearable en vue

de développer de nouvelles applications tout en améliorant les performances du système d'identification.

Cette thèse est constituée de quatre chapitres :

Le premier chapitre présente une généralité sur la technologie RFID (wearable) et l'abordassions de la progression historique de cette technologie, en mettant l'accent sur les différentes classifications des dispositifs wearable. Par la suite, nous avons donnons les types et les fonctionnalités de la technologie portable, ainsi que leur champs d'applications. En fin, nous présentons leurs avantages et inconvénients.

Le deuxième chapitre est consacré à une présentation des différents types de matériaux qui peuvent être utilisés comme substrats flexibles, pour la conception d'une antenne RFID patch souples. Nous avons présenté les propriétés des matériaux diélectriques et conducteurs flexibles utilisés principalement dans la conception d'antennes wearables. Nous avons aussi étudié l'influence des caractéristiques diélectriques sur les performances des antennes en termes de gain, de diagramme de rayonnement, d'efficacité, d'adaptation d'impédance et de perte de retour.

Le troisième chapitre est consacré à la conception d'antennes RFID UHF fonctionnant à la bande UHF ISM. Nous avons présenté deux exemples d'antennes pour des applications en champ proche et en champ lointain. Une première antenne fonctionnant en champs proche dans la bande [860-960 MHz] est proposée. Une deuxième antenne RFID bi-bande fonctionnant en champs lointain à la bande ISM [2.4 au 2.45 GHz] et [5.8 au 5.85 GHz] est aussi proposée.

Le quatrième chapitre présente la conception de nouvelles antennes RFID Tag passifs dédiées aux applications portables intelligents. Elle peut fournir une nouvelle solution technique au problème d'identification. Nous présentons la méthodologie de conception et d'adaptation du tag RFID à l'antenne, suivi d'une analyse du problème d'adaptation, en étudiant la variation de l'impédance d'entrée et du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence. Nous proposons dans notre étude deux antennes tag RFID selon deux techniques d'adaptation de la puce.

Enfin, une conclusion résumera l'ensemble des travaux de cette thèse et présentera les perspectives envisagées.

Chapitre I

Généralités sur la technologie RFID

Portable ou wearable

Présentation de chapitre

La révolution de la technologie RFID portable « ou wearable » crée un monde de prédilection pour la créativité. Elle a touché plusieurs secteurs dans des univers aussi divers que la mode, la santé ou la communication, les montres connectées, les bracelets capteurs d'activité, les vêtements intelligents. Cette technologie utilise des textiles sous plusieurs formes, par exemple des fibres textiles synthétiques ou des capteurs pour mesurer un ensemble de paramètres physiologiques : température, humidité, respiration.

Nous avons consacré, ce premier chapitre, à une présentation générale sur la technologie portable RFID (wearable) et l'abordassions de la progression historique ainsi que le marché de cette technologie, en mettant l'accent sur les différentes classifications des dispositifs portable (wearable). Par la suite, nous avons présenté les types et les fonctionnalités de la technologie portable, ainsi que leurs champs d'applications. En fin, nous présentons leurs avantages et inconvénients de cette technologie.

I.1 Introduction

Dans ces dernières années, l'application de la technologie portable RFID (wearable) est très rapidement développée pour améliorer la qualité et l'efficacité de la vie quotidienne des personnes. Ces nouvelles technologies, présentent des avantages importants est un défi économique en vue des potentielles applications, et par conséquent de grands efforts doivent être fait pour rendre ces technologies fiables, moins cher, lavable, esthétique et facile à produire, et sans impact sur les personnes. À l'avenir, on s'attend à ce que tout le monde ait une tenue vestimentaire comme dispositif informatique, en plus du téléphone, tablette et ordinateur portable.

Parmi les avantages de la technologie portable RFID (wearable), les dispositifs portables ont une faible consommation d'énergie et de faibles délais de transmission, et la meilleure valeur ajoutée seront d'être capable de collecter, interpréter, transmettre et échanger des données avec d'autres dispositifs portables. En outre, le succès de la communication portable (wearable) dépend également des architectures du réseau de transmission. Autre considération importante pour la conception de la future communication portable est l'omniprésent de se connecter à Internet.

L'immense développement des technologies de l'information portable et textiles intelligents a changé la façon de concevoir le sport et le bien-être concepts. De nouveaux types de textiles performants, en particulier les textiles électroniques sont de nos jours utilisés dans plusieurs applications. Le textile est devenu la plate-forme de soutien pour intégrer les technologies, ajouter plus de fonctions à ce que nous portons et exploiter l'innovation de haute technologie. De cette façon, le textile, en ajoutant également des calculs technologies, est « intelligent » et permet aux gens d'être interactifs.

I.2 Historique de développement de la technologie portable (wearable)

Les appareils portables ont subi de nombreuses années de développement depuis les idées initiales, et les prototypes sont apparus dans les années 1960. L'historique de développements de technologie portable (wearable) se résume comme suit :

- **[1960-1970]** : Au cours des années 1960 et dans les années 1970, les dispositifs portables étaient à leur époque embryonnaire. Les gens ont conçu des dispositifs portables à des fins spéciales, intérêts ou événements. Au cours cette période, les dispositifs portables sont restés dans un champ à petite échelle et les gens ont rarement compris leurs rôles. En 1966, Edward Thorp, professeur à la Massachusetts Institute of Technology (MIT), a inventé une paire de chaussures qui pourraient être utilisées

pour tricher à la roulette. C'est le premier appareil portable dans le monde. En 1975, la société Hamilton Watch a lancée une "calculatrice", qui est la première calculatrice de poignet au monde. En 1977, le CC Collins a conçu un dispositif portable pour les aveugles, qui convertit les images capturées d'une caméra montée sur la tête et dans des grilles tactiles situées sur les gilets d'aveugles.

- [1980 -1990] : Au cours des années 1980 à 1990, les dispositifs portables ont fait leur entrée en stade primaire de développement. Les gens ont commencé à faire attention aux appareils portables. Bien que la technologie portable ait une grande amélioration, les dispositifs portables n'étaient toujours pas pratiques pour les consommateurs et pas amical pour les utilisateurs. En 1981, Steve Mann a conçu un appareil photo monté sur la tête qui, dans une certaine mesure, peut être considéré comme le pionnier des lunettes Google. Dans la même année, Steve Mann a conçu un ordinateur de style sac à dos avec texte, fonctions image et multimédia, affichant à travers le casque. En 1997, le Massachusetts Institute de Technologie, l'université Carnegie Mellon et l'institut Géorgie de Technologie ont organisés conjointement le premier congrès international Symposium sur les ordinateurs portables intelligents (ISWC). Ce qui a permis à l'informatique portable intelligente et les dispositifs portables d'attirer une large attention dans les universités et l'industrie.

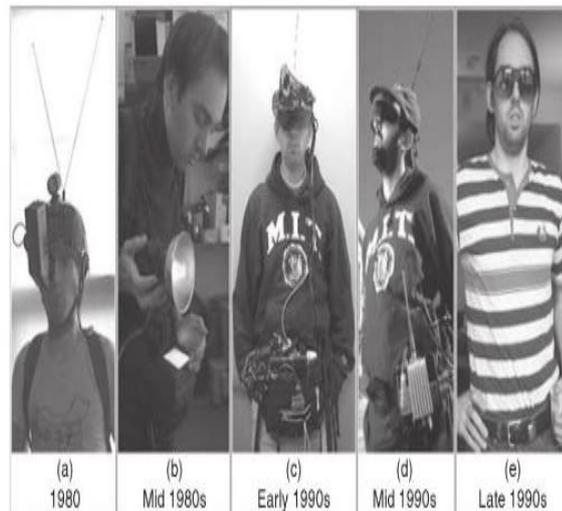


Figure. I.1 Evolution de la technologie wearable cours des années 1980 à 1990 [1].

- [2000-2018] : Depuis le 21ème siècle, les dispositifs portables sont entrés dans un stade avancé de développement et suscité une large préoccupation. Ils deviennent plus complexes, et sont conçus selon les besoins des utilisateurs ou du marché. Beaucoup des entreprises ont lancé des dispositifs portables conçus indépendamment, et ont

particulier les montres connectées, représenteront la majeure partie du marché en 2022 », liton sur presse-citron.net



Figure. I.3 Prévion de l'évolution du marché de la RFID dans le monde [3].

La dynamique de la croissance du marché des « wearables » par rapport aux objets connectés fixes est portée par plusieurs tendances de fond : le développement de la mobilité personnelle et professionnelle, la miniaturisation et la flexibilisation des composants électroniques, la forte pénétration des « smart phones », l'allongement de l'autonomie des « smart phones » grâce à des batteries plus petites et plus puissantes [3].

I.4 Les fonctionnalités de la technologie portables (wearable)

Les technologies portables consistent à au moins cinq fonctions principales. Ces fonctions sont : les interfaces, communication, gestion de données, gestion de l'énergie et circuits intégrés. L'interface est un moyen de transfert de données entre le porteur et le dispositif. Les données peuvent être collectées via des capteurs, antennes, récepteurs de systèmes de positionnement global, appareils photo. La communication est le transfert des informations par fréquences radio, systèmes sans fil, infrarouge, technologie Bluetooth et réseau personnel. La gestion des données consiste à stocker et à traiter les données. La gestion de l'énergie est une autre fonction importante.

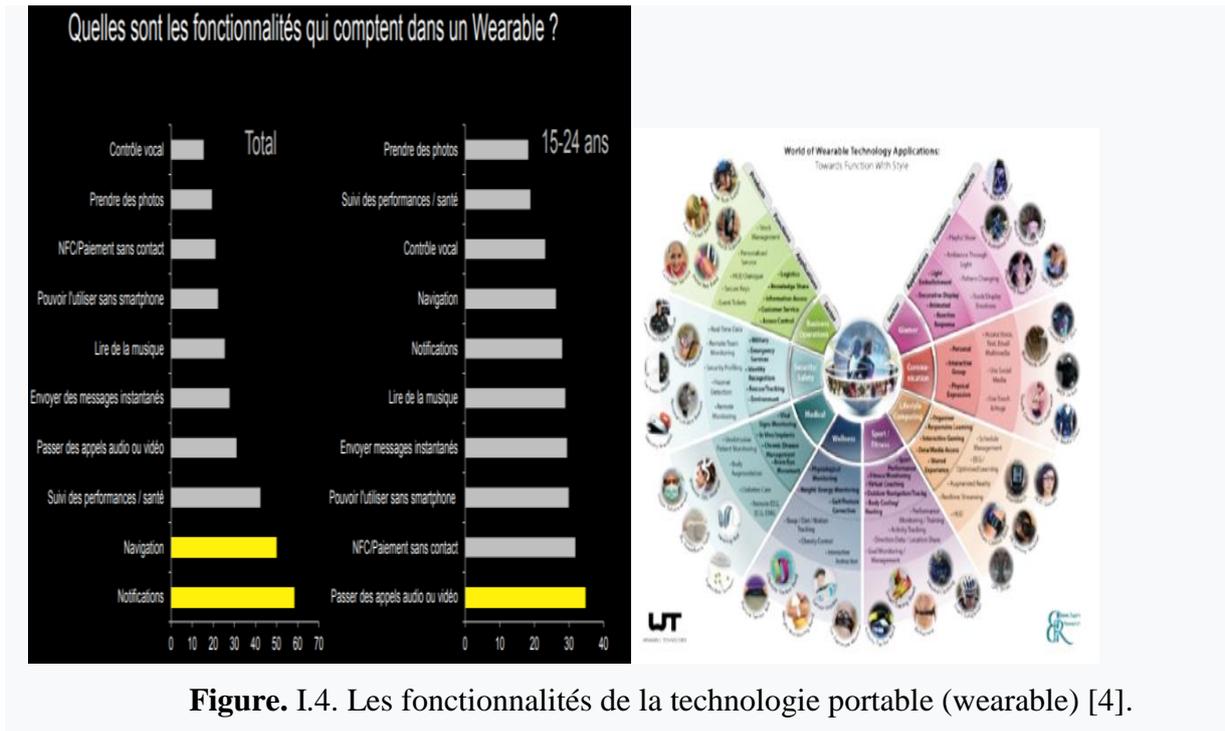


Figure. I.4. Les fonctionnalités de la technologie portable (wearable) [4].

I.5 Les caractéristiques de la technologie wearable

Les technologies portables ont des particularités caractéristiques par rapport aux autres dispositifs technologiques. La principale caractéristique de la technologie portable est une fonction mains libres qui permet aux gens et employés d'accéder aux données tout en effectuant leur activités quotidiennes et tâches.

Les technologies portables doivent être intégrées transparentes, confortable, portable, multifonctionnel, utile, fiable et pratique, fonctionnement mains libres, mobilité, réalité augmentée, capteurs et perception accessible, portable, stable, transmettre informations de manière efficace et être socialement acceptable. il existe plusieurs facteurs clés attributs qui jouent un rôle important dans la conception de technologies portables. Ces attributs sont la taille et dimension des appareils, position de l'appareil, puissance source, chaleur, poids, durabilité, lavabilité, enveloppant, fonctionnalité, convivialité, sensation, la connectivité des dessins [5].

I.6 Les fonctionnalités de la technologie RFID

Le système RFID permet un échange d'informations, au moyen d'un identifiant et d'un lecteur. Le lecteur RFID lit le tag ou l'étiquette RFID placé sur l'objet à tracer ou à identifier. L'information recueillie est ensuite traitée via un logiciel et sa base de données. Les étiquettes contiennent des micro puces qui stockent l'identification unique (ID) de chaque objet. L'ID est un numéro de série stocké dans la mémoire RFID. La puce est constituée d'un

circuit intégré et intégrée dans une puce de silicium [6]. La puce de mémoire RFID peut être permanente ou modifiable en fonction des caractéristiques de lecture / écriture. Les circuits de lecture seule et de réécriture sont différentes car les balises en lecture seule contiennent des données fixes et ne peuvent pas être modifiées sans une reprogrammation électronique [7]. D'autre part, les étiquettes de réécriture peuvent être programmées via le lecteur à tout moment sans aucune limite. Les étiquettes RFID peuvent être de différentes tailles et de formes en fonction de l'application et de l'environnement dans lequel il sera utilisé. Une variété de matériaux sont intégrés sur ces étiquettes. Par exemple, dans le cas des cartes de crédit, de petits morceaux de plastique sont collés sur divers objets et sur les étiquettes. Les étiquettes sont également incorporées dans une variété d'objets tels que des documents, des tissus, des matériaux de fabrication, etc... [8].

I.6.1 Architecture des tags RFID UHF

Un tag RFID est composé d'une antenne conçue pour fonctionner dans une bande de fréquence donnée, connectée à une puce électronique, qui stocke les données. Un circuit d'adaptation est nécessaire dans certains cas pour adapter l'impédance de l'antenne à celle de la puce [9].

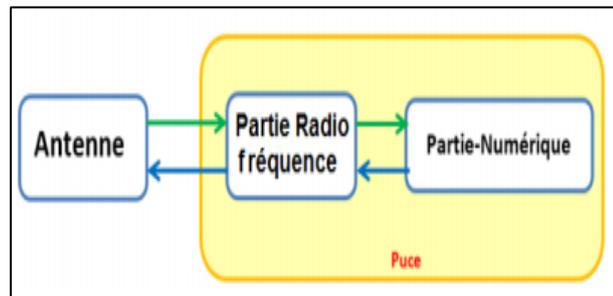


Figure I.5 La décomposition d'un Tag RFID [10].

Un tag RFID détient l'information (prix du produit, nom du manufacturier, date de péremption, etc.) sur une puce électronique miniaturisée, associée à une antenne qui assure la transmission de l'information vers le lecteur RFID via fréquence radio [9].

I.6.2 Description de l'architecture d'une puce RFID

La puce RFID contient trois fonctions principales : la récupération d'énergie, la réception du signal et la rétro-modulation. La figure I.6 présente les fonctionnalités et architecture d'une puce RFID UHF.

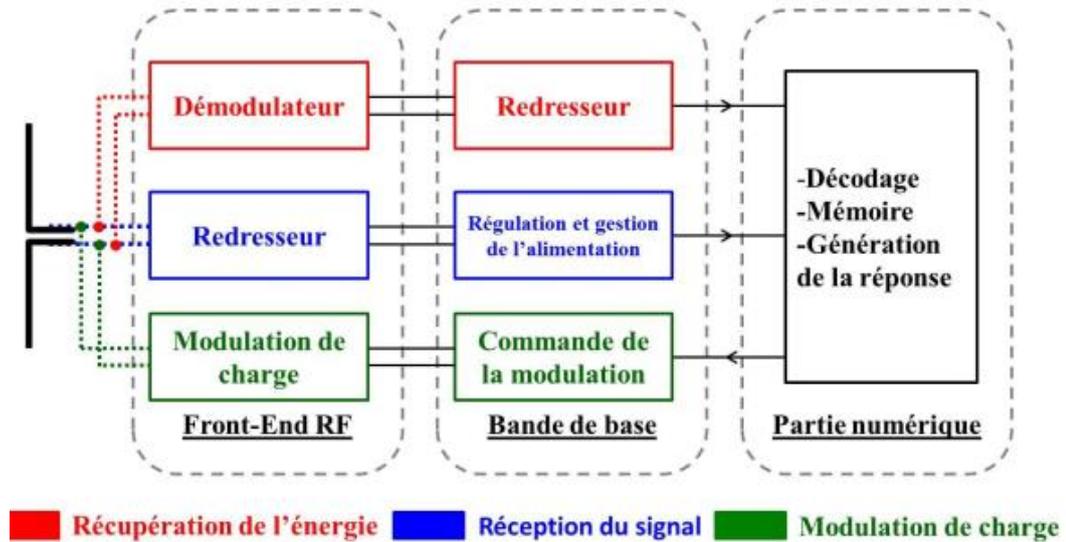


Figure I.6 Les fonctionnalités et architecture d'une puce RFID UHF [11].

La capacité d'information d'un Tag RFID est typiquement de 2 kB, mais la plupart ne contiennent qu'un numéro d'identification de 96 ou 128 bits. Le Tag RFID est extrêmement discret par sa finesse, taille réduite, et sa masse négligeable. Son coût étant devenu minimisé, on peut envisager de le rendre jetable, bien que la réutilisation soit plus écologiquement correcte [9].

Les tags RFID peuvent être classés en fonction de leur mode d'alimentation, leur fréquence d'utilisation, leur capacité cryptographique, leur protocole de communication, la présence ou non d'une puce électronique, leur performance de communication, leurs propriétés en lecture et/ou écriture, leur prix [9].



Figure I.7 Exemples de tags RFID [10].

Nous distinguerons trois catégories de tags RFID : les tags actifs, les tags passifs et les tags semi passifs.

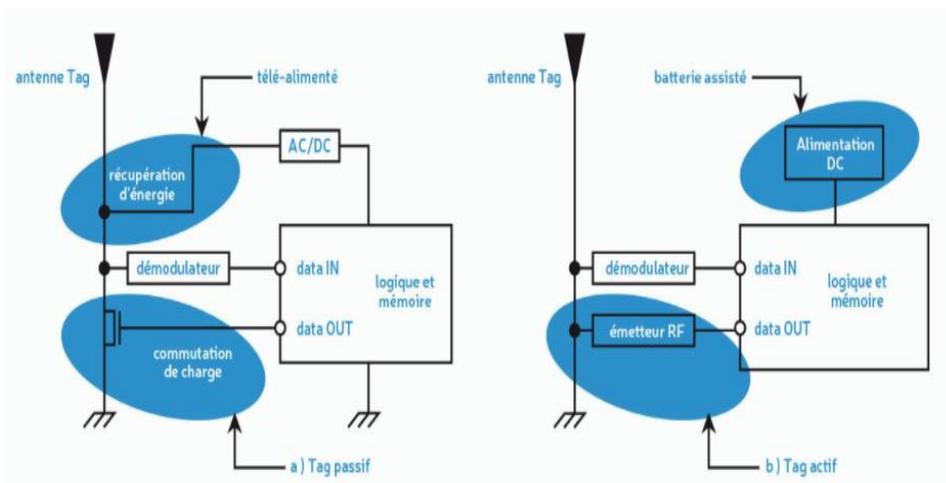


Figure I.8 Architecture des systèmes RFID avec puce [10].

I.6.2.1 Le tag RFID passif

Le tag passif utilise généralement l'onde électromagnétique issue de l'interrogateur pour alimenter le circuit électronique embarqué [10]

I.6.2.2 Le tag RFID passif assisté par batterie :

Il comporte une alimentation embarquée par des piles ou batteries. Cette dernière n'est pas utilisée pour alimenter un émetteur puisque le principe de communication reste la rétro modulation, mais pour alimenter le circuit électronique du tag ou tous autres circuits ou capteur connecté au circuit de base. Cette alimentation permet, en théorie, d'améliorer les performances. Ce tag est largement utilisé pour des applications nécessitant une capture d'information (température, choc, lumière, etc.) indépendante de la présence d'un interrogateur [12].

I.6.2.3 Le tag RFID actif

Possèdent une pile incorporée leur permettant d'émettre un signal de façon autonome. Avec cette source d'énergie, on peut obtenir des distances de saisie de quelques mètres. Ils présentent l'inconvénient d'être plus onéreux que les précédents, de nécessiter un certain entretien et d'être plus volumineux [13].

I.7 Fréquences de fonctionnement d'un Tag RFID

La portée des étiquettes RFID dépend de leur fréquence. Cette fréquence détermine la résistance aux interférences et d'autres attributs de performance [14]. L'utilisation / la sélection de l'étiquette RFID dépend de l'application ; différentes fréquences sont utilisées sur différentes étiquettes RFID [15]. L'EPC global et l'Organisation internationale de normalisation (ISO) sont les principales organisations qui travaillent à l'élaboration de normes internationales pour les technologies RFID dans la bande UHF. Ces deux organisations sont encore en évolution et ne sont pas totalement compatibles entre elles [16]. Afin d'éviter l'utilisation de normes de radiofréquences différentes, la plupart des communautés internationales sont tenues de se conformer aux normes de l'Union internationale des télécommunications (UIT). Voici les fréquences couramment utilisées :

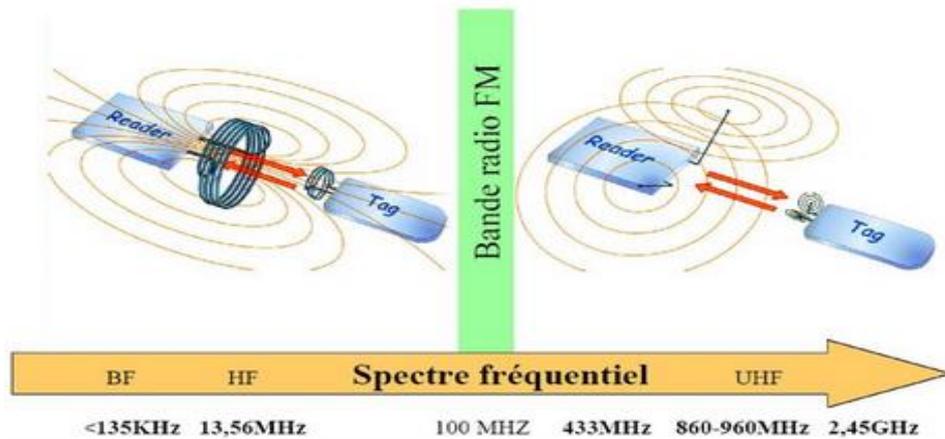


Figure I.9 Les allocations des fréquences pour les étiquètes RFID [17].

I.7.1. Les Fréquences Micro-ondes : fonctionne sur 2,45 GHz, il a un bon taux de lecture encore plus rapide que les tags UHF. Bien qu'à cette fréquence, les résultats du taux de lecture ne soient pas les mêmes sur les surfaces humides et à proximité des métaux, la fréquence produit de meilleurs résultats dans des applications telles que le suivi de véhicules (entrée et sortie avec barrières), avec environ 1 mètre de portée de lecture des étiquettes [6].

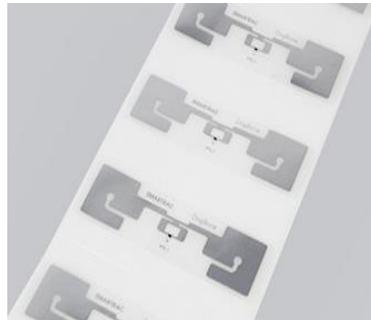


Figure I.10 Exemple d'un Tag RF.

I.7.2 L'Ultra Haute Fréquence UHF : fonctionne dans une plage de 860-930 MHz, elle peut identifier un grand nombre d'étiquettes à la fois avec un taux de lecture multiple rapide à un moment donné. Ainsi, il a une bonne vitesse de lecture considérable. Il a la même limitation que les bandes micro-ondes lorsqu'il est appliqué sur une surface humide et près du métal. Cependant, il est plus rapide que le transfert de données haute fréquence avec une portée de lecture de 3 mètres [18].

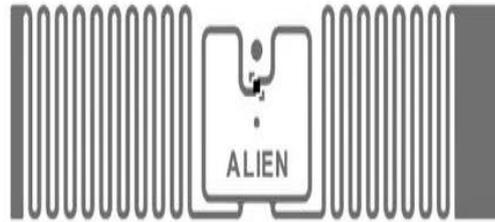


Figure I.11 Exemple d'un Tag UHF [19].

I.7.3. La Haute Fréquence HF : fonctionne à 13,56 MHz et a une plage de lecture inférieure à un mètre, mais elle est peu coûteuse et utile pour le contrôle d'accès, les identifications d'articles sur les points de vente, etc., car elle peut être implantée à l'intérieur de choses minces comme le papier [10-15].

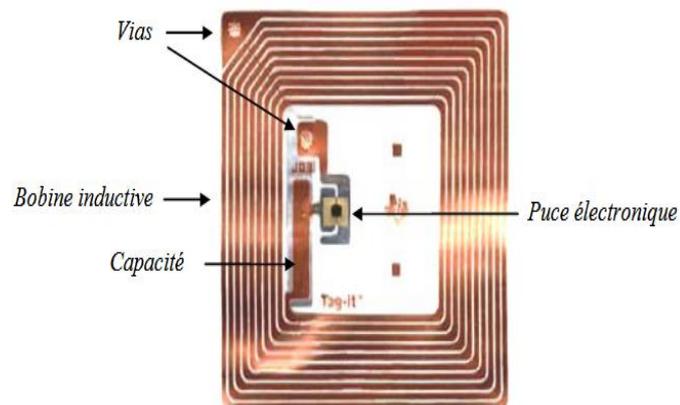


Figure I.12 Exemple d'un Tag HF [20].

I.7.4. La Basse fréquence : fonctionne sur 125 kHz, il a environ un demi-mètre de plage de lecture et est principalement utilisé pour les applications à courte plage de lecture [5,18]

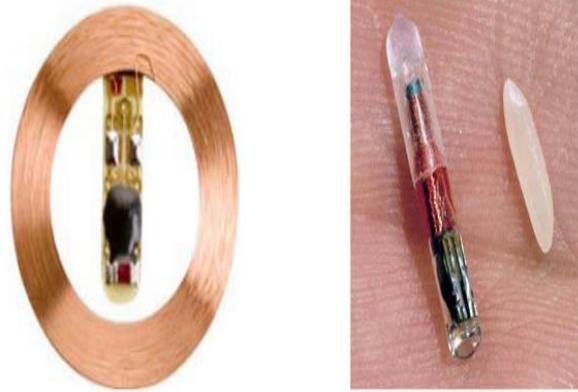


Figure I.13 Exemple d'un Tag basse fréquence [18].

I.8 Les performances des TAG RFID

Permis les performances des Tags RFID on peut distinguer [13] :

- La rapidité de lecture (de manière générale, elle augmente avec la fréquence).
- La possibilité de lire plusieurs étiquettes de manière quasi-simultanée (par exemple lors d'un passage sur tapis roulant.
- La distance de lecture, celle-ci varie selon plusieurs paramètres :
 - La bande de fréquences utilisée :
 - Les paramètres réglementaires relatifs à cette bande de fréquences, en particulier :
 - ✓ Puissance du lecteur.
 - ✓ Modulation et protocole d'émission.
 - ✓ Les performances des composants silicium utilisés et la sensibilité du lecteur.
 - ✓ Le recours éventuel à une batterie (qui peut porter cette distance à 100 m).
 - ✓ L'environnement d'utilisation et le déploiement effectué (niveau de bruit électromagnétique, présence d'humidité, matériaux de l'objet étiqueté, réflexions multiples, interférences entre lecteurs, géométrie, etc...).

I.9 Principe de fonctionnement d'un système RFID TAG UHF Passif

Un système RFID Tag fonctionne dans la bande UHF qui s'étale de 860-960 MHz, L'étiquette électronique est un support d'informations qui combine le traitement d'un signal et le stockage des données. Elle se base sur le principe communicationnel d'un émetteur et d'un récepteur dont le canal de transmission est les ondes radio. Un lecteur envoie une onde radio de fréquence plus ou moins élevée. L'énergie rayonnée est suffisamment importante pour alimenter l'étiquette (passive), qui va dès lors envoyer de la même façon un code d'identification numérique. L'interaction entre les champs magnétiques émis et reçus permet au récepteur de décoder la trame émise par le Tag RFID. La distance de détection va de quelques centimètres jusque quelques mètres, en fonction de la fréquence utilisée, ce qui permet des identifications éloignées. La plupart du temps les Tags sont passifs et ne peuvent qu'émettre un code unique. Leur durée de vie est pratiquement illimitée. Mais il existe des tags actifs, alimentés par pile, qui peuvent recevoir et stocker des données [21].

La communication entre le lecteur et l'étiquette s'effectue en quatre temps [13] :

- ❖ Le lecteur transmet par radio l'énergie nécessaire à l'activation du tag.
- ❖ Il lance alors une requête interrogeant les étiquettes à proximité.
- ❖ Il écoute les réponses et élimine les doublons ou les collisions entre réponses.
- ❖ Enfin, il transmet les résultats obtenus aux applications concernées.

Le lecteur transmet son interrogation vers le tag avec une modulation d'amplitude (ASK) à la fréquence de fonctionnement. Le signal émis sert aussi à alimenter la puce RFID sur le tag. La puce RFID contient un circuit de récupération d'énergie qui se charge de transformer la puissance E.M collectée par l'antenne tag en tension continue. Le lecteur continue, après la transmission de son interrogation, à émettre un signal non modulé toujours à la même fréquence (CW) pour maintenir la télé alimentation de la puce RFID. La réponse du tag est la rétro modulation ou « Backscattering » en anglais de ce signal. En effet, le signal (CW) envoyé par le lecteur est réfléchi par la puce en utilisant une modulation de charge. Le tag module le signal du lecteur sur deux valeurs d'impédances et le réfléchit vers le lecteur [11].

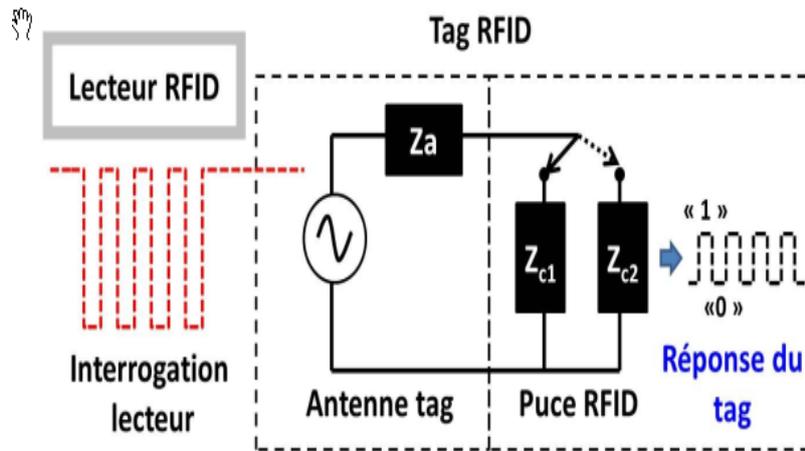


Figure. I.14 : Principe de la rétro modulation (Backscattering) d'un tag RFID [11].

I.10. Protocole de communication entre le lecteur et la Tag RFID

Les protocoles sont un ensemble donné de codes « langage » qui permet la communication entre l'étiquette et le lecteur. Il existe également des protocoles où un lecteur peut communiquer avec d'autres lecteurs à proximité. Les protocoles sont répartis dans les catégories suivantes [22] :

- **Protocoles ouverts** : ils sont normalisés par organismes ISO 18000-6 (A / B), ISO 14443 (A / B).
- **Protocoles exclusifs** : les lecteurs peuvent utiliser plusieurs protocoles pour activer des tags fonctionnant à différent plage de fréquence.
- **Protocoles de contenu de données** : Ces protocoles définissent la disposition de la structure de mémoire dans le CI de transpondeur.
- **Protocoles d'interface aérienne** : Ces protocoles dépendent de la façon dont l'étiquette et le lecteur communiquent basé sur la fréquence de fonctionnement, le débit, la modulation, les algorithmes anticollisions.

I.11 Principe de récupération d'énergie en RFID UHF

La récupération d'énergie RF se fait à l'aide de ce que l'on appelle une rectenna ou antenne redresseuse, qui convertit l'énergie radiofréquence en un courant continu. Elle est composée d'une antenne et d'un circuit de redressement. L'énergie des OEM est collectée au niveau de l'antenne. Ensuite, à l'aide d'un circuit de conditionnement, le signal est redressé puis envoyé dans une cellule de stockage ou directement à la charge [17].

Les trois phases de récupération d'énergie RF, illustrées dans la Figure I.15 sont :

1. La collecte de l'énergie des OEM, convertie en énergie électrique. Ceci a lieu au niveau de l'antenne.
2. Le conditionnement du signal avec un circuit de conditionnement.
3. le stockage de l'énergie à l'aide d'une capacité de charge ou d'une mini batterie ou son utilisation directe par la charge.

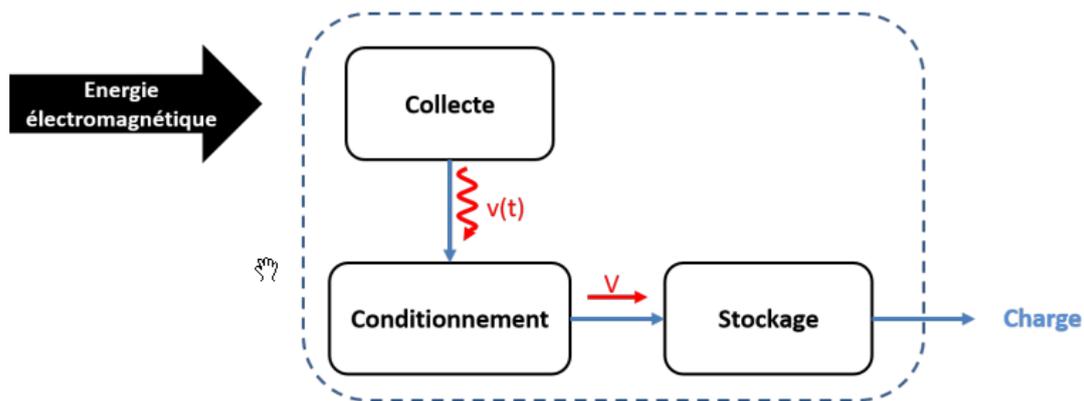


Figure I.15 Schéma bloc des étapes de la récupération d'énergie RF [17].

Ceci est de nos jours envisageable grâce aux avancées technologiques permettant d'avoir des circuits intégrés très basse consommation [17].

I.12 Avantage et inconvénient de la technologie portable (wearable).

Les avantages et inconvénients de la technologie portable (wearable) sont résumés dans le tableau suivant :

Les systèmes de supervisons	Avantages	Inconvénients
Vêtements intelligents	<p>1-Facilite d'utilisation.</p> <p>2-System de protection avec identification et traçabilité, détection la présence, la position et mouvement des personnes.</p> <p>3-la réhabilitation, auto surveillance, Sécurité et prévention dans le domaine militaire ; Sécurité, performance, communication.</p>	<p>1-Problèmes liés à la confidentialité.</p> <p>2-Les limites du moment où une technologie peut être classée comme étant portable peuvent être floues.</p> <p>3-Il ne supporte pas la chaleur.</p> <p>4-Aussi bien au lavage que lorsque les températures extérieures sont élevées : Attention aux taches de transpiration et odeur de sueur si vous le portez en petit haut.</p>
Textile intelligent	<p>1-La souplesse d'intégration.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Imperméable. • Élastique. • Indéformable. • Très résistant. • Doux et léger, il peut même ressembler à de la soie, en plus abordable. • Quasiment infroissable. <p>2-Transmettre informations de manière efficace.</p> <p>3-sucurisé les transactions à la future proche.</p> <p>4-Bonne durée d'utilisation.</p>	<p>1-Leur fabrication très difficile et très sensible parce que la construction a base des matériaux flexibles.</p> <p>2-Difficulté de la maintenance de system.</p>
Système de semelles	<p>1- Transmettre informations de manière efficace.</p> <p>2-Favoriser une meilleure compréhension du comportement humain</p>	<p>1-Des semelles intelligence nécessite des coûts important.</p> <p>2- En cas de panne, la procédure réparation et difficulté de récupération des codes et information enregistré.</p>

	complexe.	
La montre	<p>1-Très répandu dans les systèmes d'identification et la localisation médicale.</p> <p>2-La durabilité</p> <p>3-Un système pas coûteux.</p> <p>4-Robustesse des mesures de température.</p>	<p>1-les modèles sont nombreux et les fonctionnalités sont différentes.</p> <p>2- leur pile doit aussi être changée de temps à autre.</p>
Téléphone mobile	<p>1-Détection la présence, la position et mouvement des personnes.</p> <p>2-Le portable facilite la communication même dans des endroits isolés</p>	<p>1-Les batteries collées, soudées ou scellées empêchent leur remplacement.</p> <p>2-Les vis labellisées empêchent le démontage des appareils.</p> <p>3-L'absence de pièces de rechange rend impossible la réparation.</p> <p>4-L'utilisation de systèmes d'exploitation exclusifs et propriétaires rend leur fonctionnement hermétique.</p>
Camera intelligent	<p>1-Capable être collecter, interpréter, transmettre et échanger des données avec d'autres dispositifs portables</p>	<p>1-Le cout des camera portable un peu chère.</p>

Tableau. I.1 Les avantages et inconvénients de la technologie portable (wearable).

I.13 Conclusion

Les dispositifs portables deviendront le courant dominant du développement d'appareils intelligents mobiles, et de façon spectaculaire vont changer le mode de vie moderne. Actuellement, le développement de dispositifs portables est encore à son stade immature et les principales fonctions se concentrent sur le calcul, la navigation, la télécommande image et autres services connexes. Cependant, ces services peuvent également

être atteints sur les téléphones intelligents. Ce premier chapitre représente un état de l'art sur la technologie portable (wearable). Par la suite, nous avons présenté les caractéristiques, la classification et les performances de ce système. En troisième lieu, nous donnons les avantages et les inconvénients de cette technologie.

References

Livre:

- [1] J.Mc.Cann and D.Bryson "Smart Clothes and wearable technology", vol. I. Cambridge: CB216 AH, UK.

Standards:

- [2] S.M. Gregor "Wearable technologies enabling the next wave of internet of things innovation" Chinese American Semiconductor Professional Association CASPA, 2013 Broadcom Corporation.
- [3] K. Grant, N. Tiles "Smart Wearable Devices", Valable sur le site : <http://844742903db/wearables-data.pdf> 160444.
- [4] A.J. Perez "Recent Advances in Wearable Sensing Technologies" MDPI Journal, Sensors 2021, 21, 6828. <https://doi.org/10.3390/s21206828>.
- [5] H.Jiang, Xin Chen, Shuwei Zhang, Xin Zhang, Weiqiang Kong, T.Zhang "Software for Wearable devices Challenges and Opportunities" Department of Computing, The Hong Kong Polytechnic University, Kowloon, Hong Kong .
- [6] Application Notes, "Introduction to RFID Technology" CAENRFID: The Art of Identification (2008).
- [7] S. Garfinkel, B. Rosenberg, "RFID Application, Security, and Privacy", USA, (2005), ISBN : 0-321-29096-8.
- [8] T. Frank, H. Brad, M. Anand, B. Hersh, C. Anita, K. John, "RFID Security", (2006) ISBN : 1-59749-047-4.
- [9] M.J. Uddin "Design and Application of Radio Frequency Identification Systems" European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.33 No.3 (2009), pp.438-453.
- [10] F.Z.Marouf « Etude et conception d'antenne imprimé identification radio fréquence RFID UHF » Université de Tlemcen, soutenue en 2013.
- [11] M. Daiki "Contribution au développement d'antennes lecteurs champ proche pour les systèmes RFID UHF passifs" Laboratoire LCIS de l'École Doctorale EEATS a Université de Grenoble, Thèse soutenue publiquement le « 17 Mars 2015.
- [12] D. NGUYEN "Développement de Capteurs sans fil basés sur les Tags RFID UHF passifs pour la détection de la Qualité des aliments" Laboratoire de Conception et d'Intégration des Systèmes de l'École Doctorale "Electronique, Electrotechnique, Automatique et Traitement du Signal, Soutenu le 27 Septembre 2013.

- [13] W.Belgacem'' étude et Conception des tags RFID pour des applications médicales ''université de Tlemcen, soutenu juin 2014.
- [14] E. Zeisel and R. Sabella, "RFID", Exam Cram, (2006),ISBN: 0-7897-3504-0.
- [15] A. Narayanan, S. Singh & M. Somasekharan, "Implementing RFID in Library: Methodologies, Advantages and Disadvantages", (2005).
- [16] S. Department of Homeland Security, "Enhanced Security Controls needed for US-Visit's System using RFID Technology", Department of Homeland Security (Office of Inspector General), (2006), OIG-06-39.
- [17] A.SAFRAOU '' Conception d'une solution RFID UHF pour l'optimisation de la logistique de bouteilles métalliques'' Informatique, Télécommunications et Electronique Ecole doctorale EDITE de Paris, soutenu le 4 avril 2018.
- [18] L. Srivastava, RFID : Technology, Applications and Policy Implications, Présentation, International Télécommunication Union, Kenya, (2005).
- [19] L. Yang'' Design and development of novel Radio Frequency Identification Tag Structures ''Georgia Institute of Technology, Conductive Inkjet-Printed Antennas on Flexible Low-Cost, 2009.
- [20] A.Ghiotto «Conception d'antennes de tags RFID UHF, application a la réalisation par jet de matière » polytechnique de Grenoble, soutenu le 26 Novembre 2008.
- [21] E. S. Tedjini, Perret, «Radio-Frequency Identification Systems and Advances in Tag Design», Radio Science Bulletin No, vol.331, pp.9-20, 2009.
- [22] F.Z.GOURARI '' Étude et Conception d'antennes RFID UHF -modèle électrique et miniaturisation' 'Université Aboubakr Belkaïd , soutenue en 2018.

Chapitre II

**Étude comparative entre les différents
matériaux flexibles « wearable »**

Présentation du chapitre

Le développement des dispositifs mobiles portables modernes présentent le besoin énorme d'une antenne portable (wearable) avec une taille miniature. La conception de ces antennes nécessite l'utilisation de matériaux flexibles comme diélectrique permettant une utilisation sur le corps humain pour des applications militaires, de surveillance et médicales. L'objectif de ce chapitre est de présenter un état de l'art sur les différents matériaux flexibles, et aussi d'étudier le rayonnement d'une antenne RFID textile imprimée sur différents type de substrats souples, pour une application en bande ISM, autour de la fréquence 2,4 GHz. Les résultats de simulation sont obtenus en utilisant le logiciel CST.

II.1 Introduction

Au cours des dernières décennies, la technologie flexible ou portable (wearable) a connu une croissance rapide dans les industries, telles que les soins de santé, l'énergie, l'aérospatiale, l'automatisation industrielle, l'armée et la défense, etc... Elle est maintenant la gamme de divers dispositifs, qui sont généralement à base de substrats composés de substances organiques. Ces substrats caractérisés par leur flexibilité, leur légèreté et durabilité, et aussi de leur faible énergie. Elles sont devenues très utiles pour leur énorme pertinence dans le domaine des produits médicaux ainsi que pour la défense et l'électronique portable [1-4].

Les antennes flexibles sont l'un des composants essentiels de la réalisation d'appareils portables. Dû à leur léger poids, leur flexibilité, leur faible coût, elles sont idéales pour la communication sans fil. Le choix du matériau dépend du type d'application que soit à l'intérieur ou à l'extérieur, de la fréquence, et dans le cas d'intégration transparente dans les tenues des porteurs de la robustesse aux intempéries. L'antenne a besoin de faibles pertes dans les matériaux diélectriques et les matériaux hautement conducteurs pour avoir une meilleure efficacité de rayonnement EM. Il existe plusieurs nouvelles variantes de matériaux conducteurs tels que le cuivre, le tissu conducteur, encres métalliques, polymères conducteurs et la fibre conductrice intégrée en polydiméthylsiloxane (PDMS), qui peuvent être utilisées dans la fabrication des antennes portables. D'autre part, d'autres matériaux de substrat tels que le polymère flexible Kapton, PET, PEN, PANI, cristal liquide polymère, matière organique, matériaux magnétiques de ferrite, tissu, et le papier sont de bonnes solutions comme substrats, en raison de leurs fonctionnalités flexibles [5-9].

Les antennes flexibles se composent d'une couche conductrice et d'un support diélectrique. L'antenne patch flexible de base est une couche de bande conductrice mince placée sur le dessus d'un substrat flexible. Cette pièce conductrice doit maintenir une conductivité adéquate même lorsqu'elle est étirée ou déformée. Les propriétés des antennes flexibles dépendent de leurs applications, de la flexibilité requise et de la fréquence de fonctionnement [10-11].

Dans ce chapitre, les différents types de matériaux qui peuvent être utilisés comme substrats flexibles, pour la conception d'une antenne RFID patch souples, sont analysés et

comparés. Nous allons présenter les propriétés des matériaux diélectriques et conducteurs flexibles utilisés principalement dans la conception d'antennes portables (wearables). Nous allons aussi étudier l'influence des caractéristiques diélectriques sur les performances des antennes en termes de gain, de diagramme de rayonnement, d'efficacité, d'adaptation d'impédance et de perte de retour.

II.2 Les matériaux conducteurs flexibles intégrés dans des antennes miniatures imprimées.

Le tableau II.1 présente certaines propriétés importantes requises pour les dispositifs portables flexibles tels que les antennes flexibles et les étiquettes RFID [5]. Il est clair que les matériaux conducteurs ont besoin d'un niveau élevé de conductivité, de déformabilité et d'élasticité, ainsi que la haute capacité d'intégration avec les textiles. Ils doivent simultanément avoir un faible niveau de résistivité et d'absorption d'humidité.

Propriétés	Niveau
Résistivité	Faible
Déformabilité	Elevée
Pliage / froissement	Elevé
Adhésion	Elevée
Absorption d'humidité	Faible
Élasticité	Elevée
Dégradation environnementale	Faible
Intégration avec les textiles	Elevée

Tableau II.1. Exigences générales relatives aux matériaux conducteurs pour les dispositifs flexibles [5].

Généralement, pour les antennes flexibles, la conductivité doit être élevée, tandis que l'épaisseur du substrat (textile tissu / film polymère) doit être constante. Aussi, une faible perméabilité (μr) et une faible tangente de perte ($\tan \delta$) sont préférables. Il est bien connu que l'antenne électro-textile a moins de gain, d'efficacité, et de bande passante en raison de sa conductivité relativement plus faible. Le tableau II.2 présente quelques matériaux conducteurs souples avec leur épaisseur et conductivité.

Matière de métal conducteur	La hauteur h (mm)	conductivité σ (S/m)
EgaIn liquide fillet	0.08	2.5×10^5
polyleurethane Nano partical composite sheet	0.0065	1.1×10^6
Zoflex+copper	0.175	1.93×10^5
Silver flakes +Fluorine Rubber	N.A	8.5×10^4
AgNW/PDMS	0.5	8.1×10^5
Copper coated taffetas	0.15	3.4×10^6

Tableau II.2. Les matériaux conducteurs souples avec leur épaisseur et conductivité [5].

II.3. Les matériaux Textiles intelligents portables (wearables) pour système RFID

Les textiles intelligents sont des textiles capables de détecter et d'analyser un signal afin d'y répondre d'une manière adaptée. Comme de nombreux systèmes électroniques différents peuvent être connectés à n'importe quel vêtement, un système portable devient plus polyvalent et l'utilisateur peut changer son apparence en fonction des changements environnementaux et des préférences individuelles. Les progrès actuels dans les technologies textiles, les nouveaux matériaux, les nanotechnologies et l'électronique miniaturisée rendent les systèmes portables plus réalisables.

II.3.1 Textiles en fibres

Des tissus construit en fibres peuvent jouer un rôle mécanique, thermique, acoustique ou d'étanchéité, un rôle de protection contre le rayonnement solaire ou électromagnétique, ou encore contre le feu [6]. Les fibres organiques sont de natures naturelles ou chimiques très variées de types artificielles ou synthétiques (Figure II.1).

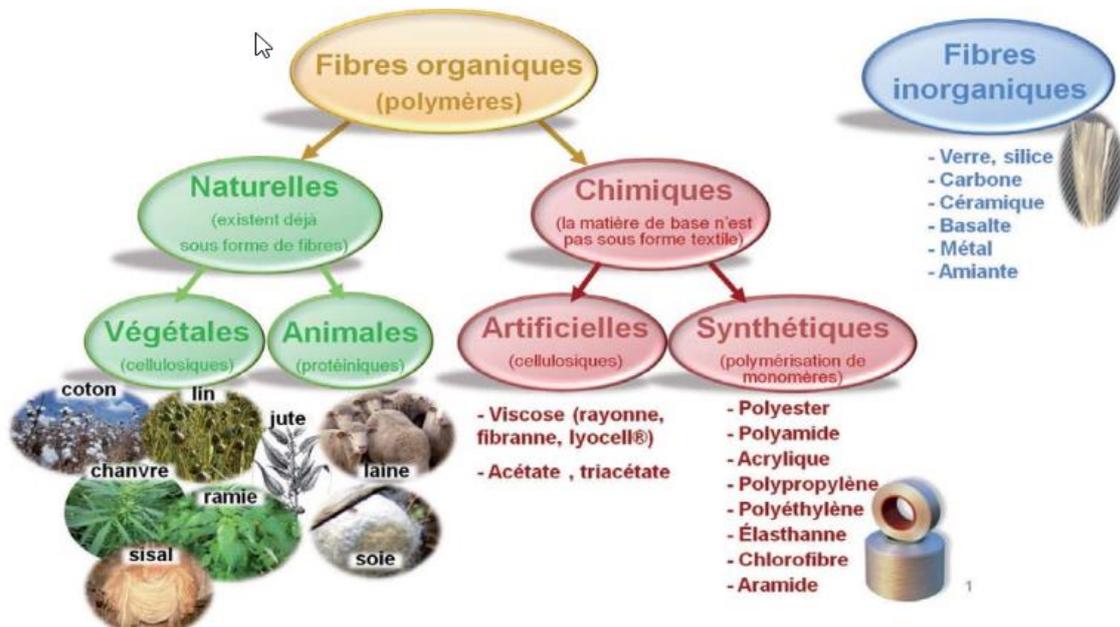


Figure II.1. Natures des fibres des textiles [6].

II.3.2 Substrats flexibles intégrés dans des antennes micro rubans.

Il existe deux caractéristiques structurelles majeures qui forment une antenne patch : un matériau conducteur utilisé comme élément rayonnant ou plan de masse et un matériau diélectrique comme substrat qui supporte l'élément rayonnant. Les matériaux diélectriques populaires comprennent les polymères, le papier, la mousse, le plastique, les tissus textiles et le PCB souple [7].

Ces matériaux souples peuvent être soigneusement choisis pour résister à la déformation physique telle que la flexion, l'étirement et même la torsion tout en maintenant le confort des utilisateurs.

II.3.2.1 substrats en papier conductrice

Plusieurs travaux ont porté sur l'usage du papier en tant que substrat diélectrique [6]. Le papier est formé essentiellement de cellulose. Cette matière fait partie de la grande famille des glucides. Les végétaux les synthétisent à partir de dioxyde de carbone et d'eau, grâce à un catalyseur naturel qui n'est autre que la lumière solaire. La transformation de la cellulose extraite du bois a de nombreuses applications dans l'industrie papetière. Bien que le procédé

de fabrication soit très ancien, les traitements et les additifs ne cessent d'évoluer et de se diversifier afin d'améliorer les propriétés de surface du papier [6].



Figure II. 2. Substrat sous forme du papier filtrant.

Le tableau II.3 donne les caractéristiques des différents substrats en papiers rigides.

Type de papier	ϵ_r	Tan(δ)
Papier brillant pour électronique imprimée (203 μm)	2.65	0.039
carton type FBB (493 μm)	2.55	0.047
papier type étiquette (48 μm)	2.24	0.045
papier type étiquette collé sur carton type FBB (548 μm)	2.16	0.018
Couche barrière sur étiquette collée sur le carton (556 μm)	2	0.062

Tableau II. 3. Caractéristiques des substrats en papier [6].

II.3.2.2 Substrats en plastiques

Le terme "plastique" englobe des matériaux organiques constitués de macromolécules et qui sont produits par la modification de substances naturelles extraites du pétrole, gaz naturel ou charbon. On distingue essentiellement deux types de plastiques : les thermodurcissables et les thermoplastiques. Les plastiques peuvent être considérés comme de bons candidats au rôle de substrats d'antennes et d'étiquettes intelligentes [6].

Le tableau II.4 donne les caractéristiques des différents substrats en plastique.

Matériau	$\epsilon_r \pm 0.02$ à 2.45 GHz	$(\tan \delta \pm 0.02) \times 10^{-3}$ à 2.45 GHz
HDPE (High Densité Polyéthylène)	2.16	1.0
LDPE (Low Densité Polyéthylène)	2.10	1.7
PC (polycarbonate)	2.64	1.8
ABS (Acrylonitrile Butadiène Styène)	2.53	2.1
PMMA (Poly Méthyle Méthacrylate)	2.47	2.4
PA12 (Polyamide)	2.88	2.5
PBT (Poly Butylène Téréphtalate)	2.82	3.5
PS (Polystyrène)	2.38	6.0

Tableau II. 4. Caractéristiques des substrats en plastique [6].

II.3.2.3 Substrats en polymères

Le tableau II.5 présente une étude sur les caractéristiques des différents substrats flexibles pour les applications d'antennes patch qui sont construites à partir de polymères diélectriques PI, PET, PDMS, PTFE et LCP [7]. Tous ces matériaux ont des capacités de pliage éprouvées et leurs caractéristiques ont été rapportées dans différents articles [7]. Le Kapton est une variante de PI qui est très largement utilisé pour les antennes, et qui a une haute stabilité thermique et électrique. Par rapport à tous les autres matériaux rapportés, Rogers Ultra Laminate et LCP sont classés comme le plus stable électriquement et thermiquement, et d'être résistif à l'eau et à l'huile [7].

Propriétés (Physiques/Mécanique)					Propriétés (Electrique)			Propriétés (Thermique /Chimique)	
Substrats	Densité (g/cc)	Résistance à la traction X- Direction à 23_C (Kpsi)	Module de traction X- Direction à 23_C (Kpsi)	Diélectrique Constants 100 Hz–1 MHz	Diélectrique Résistant (V/mil)	Tan δ 100 Hz–1 MHz	CLTE - 15 C to 300 C (ppm/_C)	Absorption Humide (%) at 23 _C	Rétrécissement (%) 30 min, 150 _C
PI <u>Kapton</u> HN, FN, HPP- ST	1.42– 1.53 Haut	22–33 Haut	330–400 Haut	3.4–3.9 Haut	3500– 7000 Haut	0.0013– 0.0040 Faible	20 Faible	1.3–2.5 Haut	0.03–1.25 Faible
PET Melinex 401 Polyester	.3–1.4 Haut	25–40 Haut	. 280–580 Haut	3.0 Haut	. 4000– 4500 Haut	0.002 Faible	. 19–20 Faible	0.1–0.7 Faible	0.5–1.1 Faible
PDMS Sylgard 184	0.97 Haut	0.25–1.3 Haut	0.522– 0.126 Faible	2.3–2.8 Faible	342–551 Faible	0.0015– 0.0035 Faible	340 Haut	0.1 Faible	0.03 -2.7 Haut
LCP	1.4 Haut	29.0 Haut	327 Haut	2.9–3.14 Haut	3500 Haut	0.0025 Faible	17 Faible	0.04 Faible	0.03 Faible
Rogers Laminate RO3000	2.0–3.0 Haut	20.3–29.5 Haut	65–300 Haut	3.0–10.2 Haut	780 Faible	0.0004– 0.0035 Faible	10–17 Faible	0.02–0.05 Faible	0.05–0.1 Faible

Tableau II.5. Caractéristique des différents substrats flexibles intégrés dans des antennes microrubans [7].

II.3.2.4 Encre conductrice

L'encre conductrice (figure II.3) peut être réalisée à travers différents procédés d'impression. Chacun d'entre eux présente des caractéristiques spécifiques avec des avantages et des inconvénients selon les besoins des composants électroniques à réaliser : épaisseur du film d'encre, résolution, pression, vitesse de production. Les procédés d'impression, outre l'intérêt important de leur vitesse de production, permettent l'utilisation de supports/substrats très divers. Les procédés utilisés sont la sérigraphie, l'offset, le jet d'encre, l'héliogravure et la flexographie [6-9].

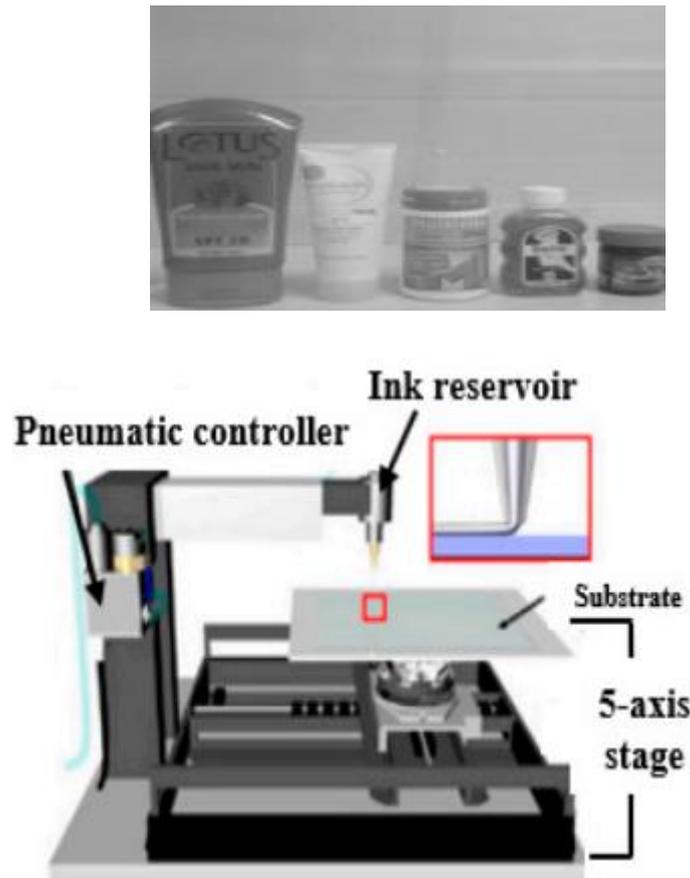


Figure.II.3. Encre conductrice [9].

II.4 Techniques de fabrication des antennes flexibles « wearables »

Les méthodes de fabrication comprennent la gravure par voie humide [10-12], impression jet d'encre [13], sérigraphie [14] et broderie [15]. Ces techniques sont utilisées dans la fabrication d'antennes pour assurer un faible coût, une durabilité et un confort pour les porteurs dans leurs tenues quotidiennes. Une bonne vue d'ensemble de ces techniques de fabrication est fournie dans [5].

II.4.1 Technologie basée sur les guides d'ondes intégrés au substrat

Une nouvelle méthode utilisée pour la fabrication d'antenne imprimée portable basée sur un guide d'ondes intégré au niveau du substrat (SIW) est présentée dans [16-17]. Cette méthode assure le confinement des champs électriques à l'intérieur de la cavité par l'utilisation de via court-circuit sur ses murs latéraux, soutenus par un plan de masse. Cela augmente le facteur de qualité de la structure, et améliore simultanément l'isolation entre l'antenne et le corps porteur [18].

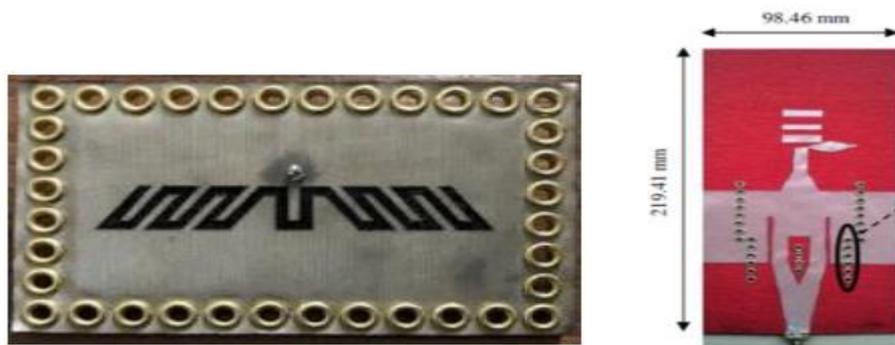


Figure II.4. Exemple d'une antenne en technologie basée sur les guides d'ondes intégrés au substrat souple [18].

II.4.2 Couture et broderie

En utilisant la méthode conventionnelle, un fil textile conducteur peut être utilisé pour tisser ou tricoter les motifs conducteurs de l'antenne avant d'être fixé sur tout matériau non conducteur d'un substrat textile, comme le montre les figures II.5 et II.6. Alternativement, ces antennes peuvent également être directement brodées sur le tissu non conducteur à l'aide d'une machine à broder assistée par ordinateur [15], comme le montre la figure II.7. En effet, Elektrisola e-fils a été brodée sur un substrat Kevlar à l'aide d'une machine à coudre de haute précision. Cette technique a été aussi démontrée lors de la fabrication d'une antenne souple portable pour application e-tag [5].

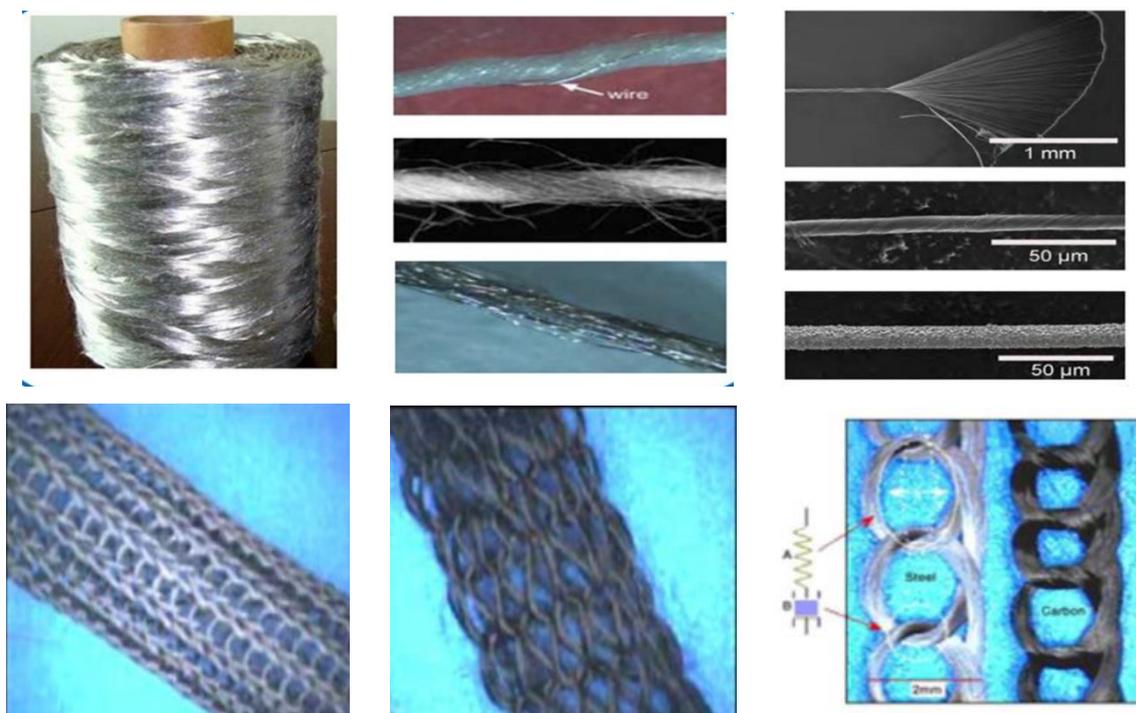


Figure II.5. Fibre textile brodé utilisé comme conducteur [15]

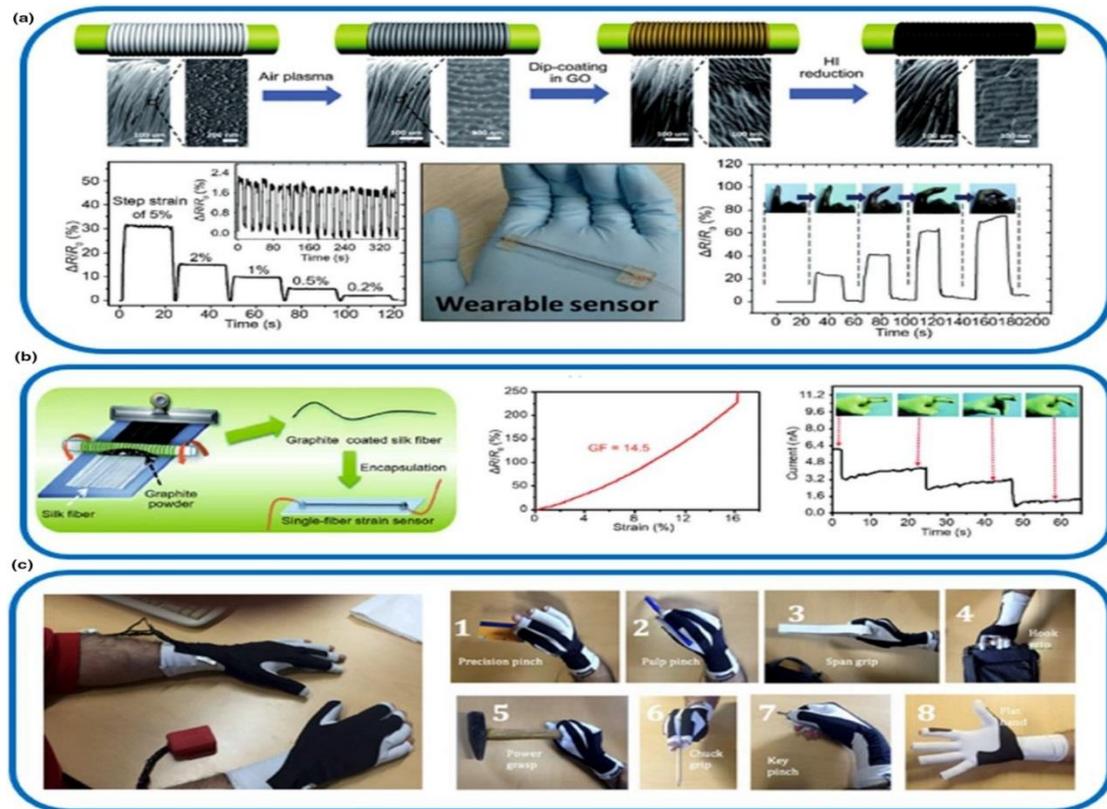
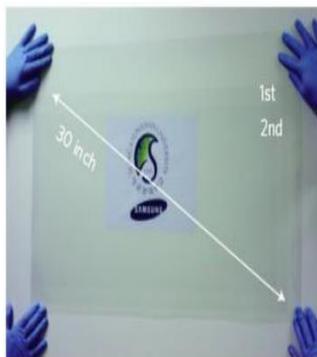


Figure II. 6. Exemple d'une antenne brodée dans un gon [15]

II.4.3. Sérigraphie

La sérigraphie est également une autre solution viable pour la fabrication à faible coût d'antennes souples portables (figure II.7). Dans ce procédé de fabrication, l'encre est pressée à l'aide d'une lame à travers un écran qui se compose d'un maillage de fils de tissu [10]. Par exemple, une antenne E-shape a été sérigraphiée sur un tissu polyester multicouche [14]. La caractéristique du tissu fournit une antenne plus efficace pour les applications portables, avec un gain mesuré de 3,5 dBi pour Application WiMAX [5].



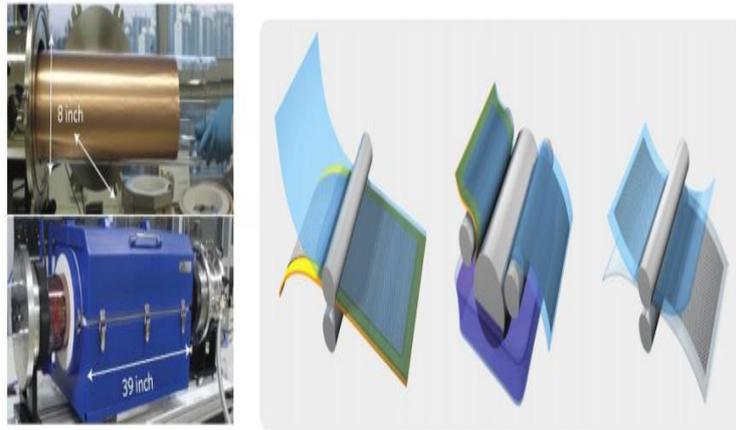


Figure II. 7. Fabrication d'une antenne souple avec Sérigraphie [16].

II.4.4. Impression à jet d'encre

L'impression jet d'encre est l'une des techniques de fabrication préférées sur substrats souples tels que Kapton, PET et Basalte (figure II.8). La précision et la vitesse de prototypage des antennes est rapide. Dans cette méthode, des gouttelettes d'encre de nanoparticules conductrices aussi petites qu'un pico litres sont déposées de la buse d'une imprimante spécialisée sur le support flexible. Après le dépôt, la couche d'argent est thermiquement durcie jusqu'à 150 °C pour s'assurer que les traces d'encre sont conductrices [5].

Une antenne patch a été imprimée sur un tissu de coton de polyester pour fonctionner dans la bande ISM (2,45 GHz) [13]. Une couche d'interface utilisant la pâte à base de polyuréthane est utilisée pour éviter l'impression directe sur le support de coton avec une rugosité de surface élevée. Comme la pâte est traitable aux UV, les dommages au substrat sont minimisés. Pour éviter le post-chauffage pendant l'impression jet d'encre, un système de frittage et de dépôt a été introduit dans [13].

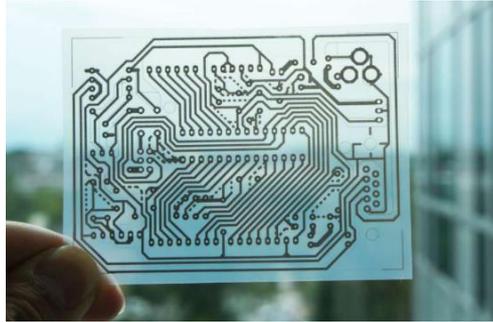


Figure II.8. Exemple d'une antenne imprimé avec jet encre.

Un dispositif portable de suivi avec une antenne intégrée sur des substrats de coton et de polyester a été proposé [19]. En outre, l'imprimante dimatix très précise a été utilisée pour imprimer le système tectonique sur les deux substrats lors de l'application de la couche d'interface diélectrique (figure II.9). Ceci pour éviter que l'encre ne s'étale sur le support du tissu.

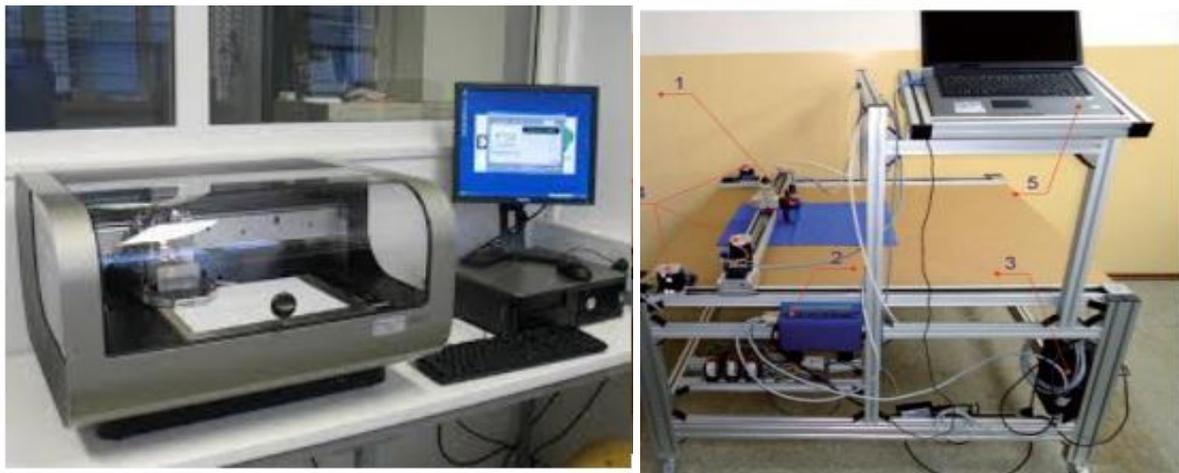


Figure II.9. Imprimante 3D jet d'encre [5].

La fabrication d'antennes portables est difficile et nécessite un prototypage à faible coût, une certaine précision dans la fabrication, une facilité de production de masse. Pour soutenir la réalisation des antennes portables, plusieurs techniques ont été proposées [20]. La méthode SIW améliore l'isolation entre l'antenne et le corps du porteur, mais souffre d'un processus de fabrication complexe. L'antenne brodée est bien adaptée pour une intégration transparente de l'antenne avec les vêtements, mais souffre de la faible conductivité et ne permet pas de contrôler l'épaisseur du conducteur, en plus d'une mauvaise résolution d'impression [20].

II. 5. Conception d'antennes RFID textiles imprimées sur substrats flexibles

L'utilisation de logiciels de simulation électromagnétique est incontournable dans la conception d'antennes. Il permet de concevoir des antennes selon un cahier de charge désiré. Cette étape peut être très coûteuse en termes de temps et de ressources.

II.5.1 Choix de l'antenne imprimée

L'antenne imprimée est un dispositif qui permet de transformer une onde guidée en une onde rayonnée dans l'espace et aussi de transformer une onde captée de l'espace en une onde guidée dirigée vers un récepteur.

L'antenne imprimée présente une grande facilité d'analyse et de fabrication, elle se compose d'un plan de masse qui est une surface conductrice (cuivre) recouvrant la partie inférieure du substrat et d'un élément rayonnant (patch) qui peut prendre plusieurs formes, rectangulaire, carrée, circulaire etc. La figure II.10 montre la structure de base la plus populaire de l'antenne imprimée constituée d'un patch de forme rectangulaire.

Plusieurs paramètres permettent d'évaluer ses performances, nous pouvons citer : l'impédance d'entrée, le coefficient de réflexion, la directivité, le gain, l'efficacité et les diagrammes de rayonnement [21].

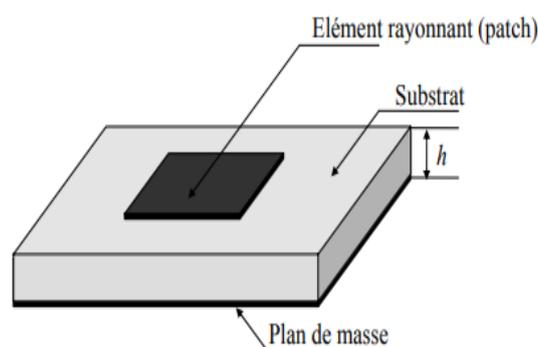


Figure II.10 : Structure d'une antenne imprimée [22].

La figure II.11 montre une antenne imprimée alimentée par ligne microruban. La longueur de la bande conductrice est plus petite par rapport au patch et cette technique d'alimentation à l'avantage qu'elle peut être gravée sur le même substrat pour fournir une structure plane. Par conséquent, c'est une technique d'alimentation facile, puisqu'elle fournit la facilité de fabrication et la simplicité de modélisation, ainsi que l'adaptation

d'impédance. Cependant, certaines applications nécessitent un substrat épais, ce qui engendre l'augmentation des ondes de surface et de rayonnement parasite, entraînant une dégradation de la bande passante [23].

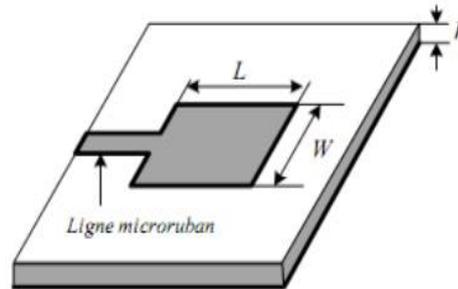


Figure II .11. Alimentation par ligne microruban [21].

II.5.2 Choix du matériau flexible

La conception d'antennes souples passe avant tout par le choix de matériau flexible et disponible en plusieurs épaisseurs.

La bande passante et les performances d'efficacité d'une antenne microruban sont principalement déterminées par la constante diélectrique du substrat flexible et son épaisseur. Un constant diélectrique faible réduit les pertes d'ondes de surface liées à la propagation des ondes guidées dans les substrats. Le facteur de qualité associé au rayonnement est inversement proportionnel à la hauteur du substrat.

L'épaisseur du matériau diélectrique est donc cruciale dans la conception des antennes. Pour une permittivité relative fixe, l'épaisseur du substrat peut être choisie pour maximiser la bande passante de l'antenne imprimée. Cependant, la valeur peut ne pas optimiser l'efficacité de l'antenne. Par conséquent, le choix de l'épaisseur du matériau diélectrique est un compromis entre l'efficacité et la bande passante de l'antenne.

Les tissus conducteurs pour le patch et les plans de masse doivent avoir une surface électrique très basse résistivité afin de minimiser les pertes électriques et ainsi augmenter le rendement de l'antenne. Il y a plusieurs tissus textiles conducteurs, ainsi que des fils, disponibles sur le marché qui ont été avec succès utilisé dans les antennes planes. Les tissus enduits peuvent être moins performants que les tissus ayant des fibres conductrices. Après avoir choisi les matières textiles, leur assemblage peut également être critique, car l'allongement et la flexion provoque des déformations mécaniques qui interfèrent avec le comportement de l'antenne.

La présence d'au moins un matériau textile présentant une résistance à la traction élevée, une rigidité à la flexion élevée et une géométrie stable stabilise le cadre de l'antenne. Lors de la connexion des différentes couches constituant l'antenne, le positionnement des tissus textiles doit tenir compte des différences entre les faces droite et arrière en termes de rugosité et densité des éléments conducteurs, afin de minimiser les pertes.

Enfin, les performances des antennes avec des substrats souples peuvent être améliorées avec des solutions d'optimisation et les progrès importants déjà réalisés dans le développement des antennes portables. Une étude plus approfondie et une meilleure caractérisation des matières textiles ordinaires et conductrices peuvent encore offrir des améliorations pertinentes à la conception de ces antennes et à l'optimisation de leur comportement.

Nous allons étudier, dans cette section, l'influence des paramètres du substrat sur les performances de l'antenne en prenant différents types de substrats souples.

II.5.3. Conception d'une antenne RFID textile imprimée sur substrat de type Cotton, Cotton lavé, Polar fleece, Demin

Les antennes flexibles ont besoin de fonctionner avec une dégradation minimale à proximité du corps humain. Ces exigences vont rendre la conception des antennes portables difficiles, en particulier lorsque l'on considère des aspects tels que leur taille et compacité, les effets de la déformation structurale et du couplage au corps humain, et aussi la complexité et la précision de la fabrication.

La figure II.12 montre la géométrie de l'antenne conçue. Les paramètres de performance des différents substrats sont fournis dans le tableau II.6. Les dimensions optimisées de l'antenne RFID proposée sont données dans le Tableau II.7.

Substrate	ϵ_r	Tng (d)	H
Cotton	1.63215	0.08049	1.5
Cotton lavé	1.51	0.02	1.6
Polar fleece	1.218318	0.00183	1.5
Demin	1.87813	0.05942	1.5

Tableau II.6. Caractéristiques des différents substrats souples.

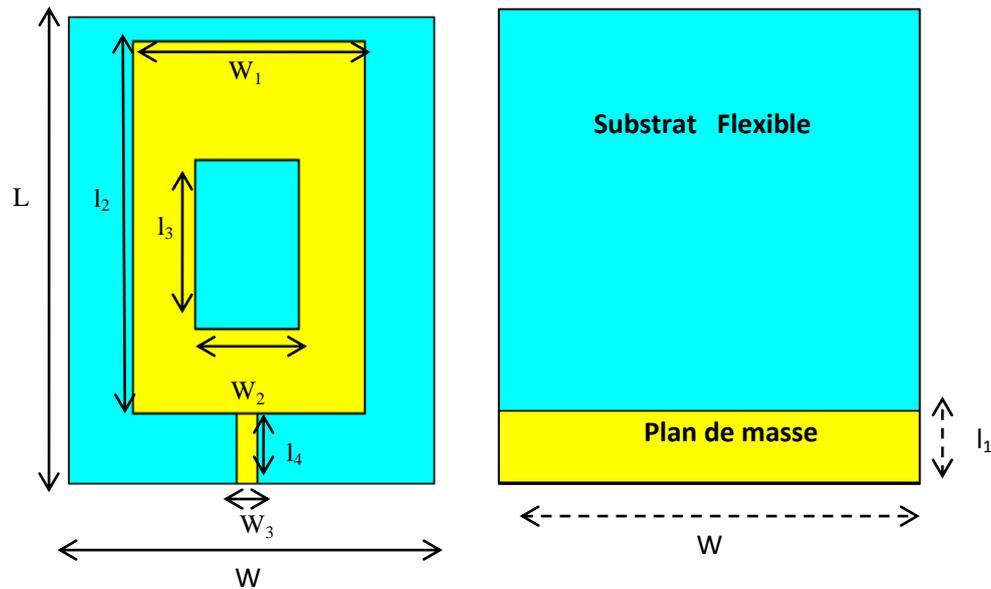


Figure.II.12. Géométrie de l'antenne RFID textile proposée.

Parameters	Dimensions [mm]														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
L	65	59	59	59	59	59	58	59	59	52	52	52	52	59	50
l_1	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
W	57	57	57	57	57	57	36	57	49	50	42	50	52	57	40
l_2	42	35	44	39.5	39.25	41	34.5	29	34	32	26	30	30.5	35	32
W_1	29	26	31.5	30	32	32	26	30	24	25	16	24	25	25	22
l_3	13	15	20	17	7	15	15	15	16	20	13	15	20	16	14
W_2	5	5	5	5	5	10	5	5	14	15	10	15	15	15	12
l_4	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
W_3	2.81	2.81	2.81	2.81	2.81	2.81	2	2.81	2	2.81	2.81	2.81	2.81	2.81	2

TABLEAU II.7. Les dimensions optimisées de l'antenne RFID proposée .

L'étude comparative en terme de coefficient de réflexion (S_{11}) de l'antenne proposée est illustrée à la figure II.13. Comme nous pouvons le remarquer sur cette figure l'antenne résonne à la fréquence de résonance souhaitée 2.45 GHz, avec des meilleurs pics de -29,37dB pour le coton, -13.02 dB pour le coton lavé, -39.39 dB pour le polar fleecé et -29.73 dB pour la matière de denim. L'antenne présente une bonne caractéristique d'adaptation d'impédance et une large bande passante pour les différents substrats [1.62-2.93 GHz], [1.79- 3.5 GHz], [1.58-2.84 GHz], [1.72-2.91 GHz].

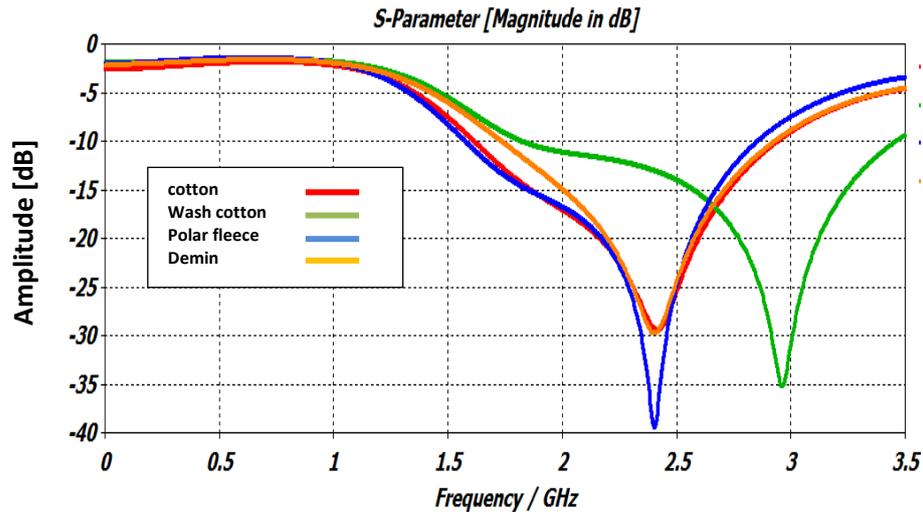


Figure II.13. Coefficient de réflexion de l'antenne RFID proposée.

II.5.3.1 Conception d'une antenne RFID textile imprimée sur substrat de type Rober, Resin, Djean, Polyamide, Polyster

Nous avons simulé une antenne RFID imprimée avec 5 nouveaux types de substrats souples. Les caractéristiques de ces substrats sont résumées dans le tableau suivant :

Substrate	ϵ_r	Tng (d)	h [mm]
Rober	3	0.05	0.78
Resin	3.5	0.06	1.6
Djean	1.68	0.025	1
Polyamide	1.54927	0.01463	1.5
Polyster	1.9	0.03	0.78

Tableau II.8. Caractéristiques des substrats souples utilisés.

Les résultats de simulation de l'antenne proposée en termes de coefficients de réflexions, pour les cinq types de substrats, sont représentés sur la figure II.14. Nous remarquons que le matériau du substrat diélectrique Rober présente une excellente adaptation avec un coefficient de réflexion de -44.30 dB, nous remarquons aussi que l'adaptation de l'antenne varie en fonction du matériau du substrat utilisé.

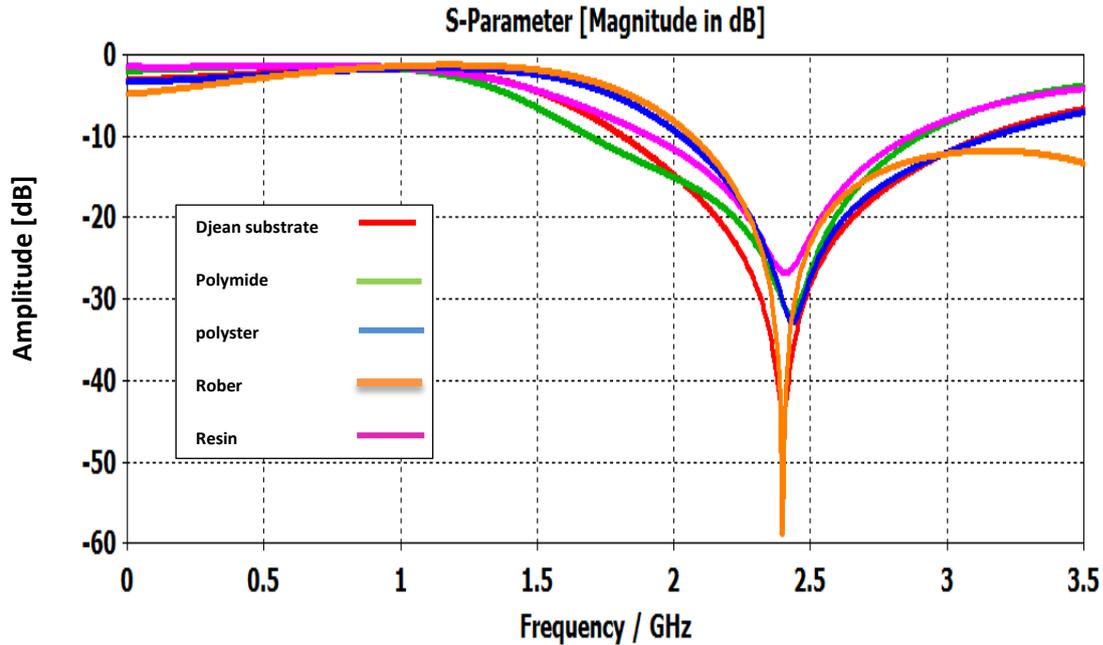


Figure II.14. Coefficient de réflexion de l'antenne RFID proposée.

I.5.3.2 Conception d'une antenne RFID textile imprimée sur substrat de type Kapton, Nylon, Silk, Courdura/lycra, Silicon, FR4

Le tableau II.9 montre les propriétés diélectriques des tissus textiles utilisés dans cette simulation.

Substrate	ϵ_r	Tng (d)	h [mm]
Kapton	3.5	0.02	0.5
Nylon	3.5	0.03	0.5
Silk	1.75	0.012	0.5
Courdura/lycra	1.5	0.093	0.5
Silicon	2.65	0.01	3.2
FR4	4.3	0.025	1.5

La figure II.15 montre les coefficients de réflexion de l'antenne textile proposée. Nous observons que l'antenne est bien adaptée dans la bande ISM avec un coefficient de réflexion de -21.17 dB, -12.94 dB, -24 dB et -32.90 pour Kapton, nylon, silk, cordon respectivement.

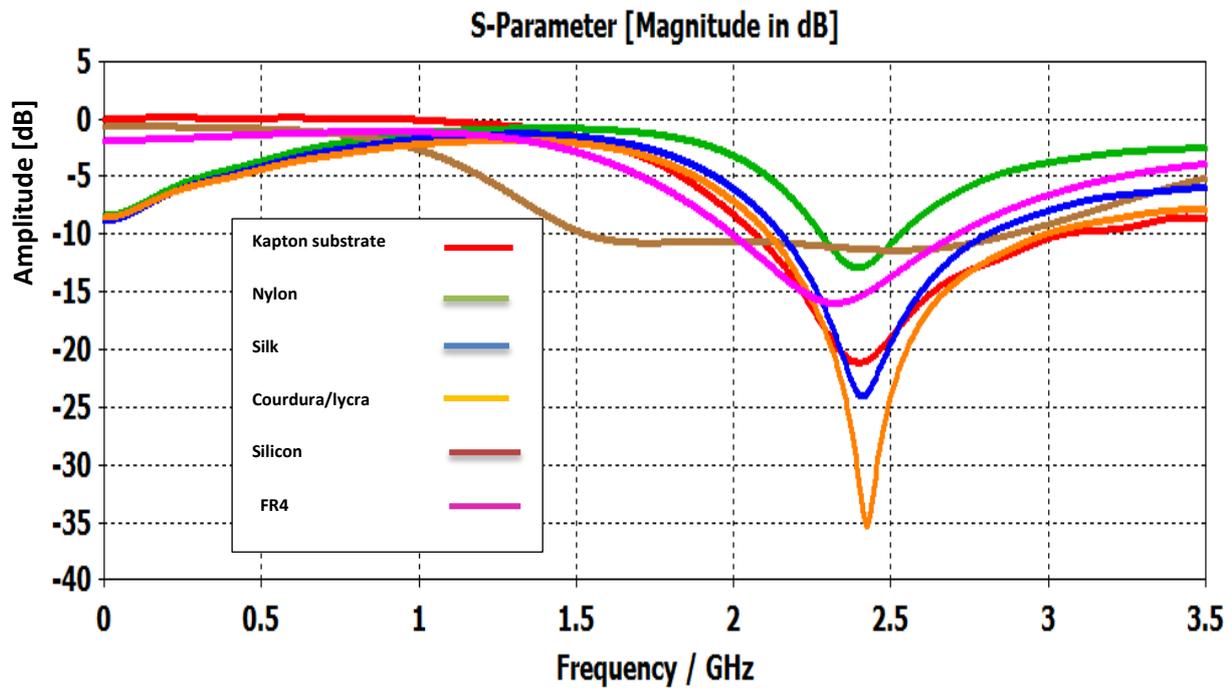


Figure II.15. Coefficient de réflexion de l'antenne RFID proposée.

Le tableau II.10. Résume les résultats de simulation obtenus de l'antenne RFID textile proposée avec les différents types de substrats souples.

Résultats de Simulation de l'Antenne RFID			
Materiel de substrate	Frequence (GHz)	Coefficient de réflexion (dB)	Bande passante
substrat1 : Cotton	2.45	- 29.19	[1.618-2.93]
substrat2 : Cotton lavé	2.45	-12.98	[1.827-3.447]
substrat 3 : Polar fleece	2.45	-39.29	[1.578- 2.842]
substrat 4:Demin	2.45	-29.71	[1.737-2.918]
substrat 5 : Rober	2.45	-32.07	[1.845-3.189]
substrat 6 : Resin	2.45	-30.52	[1.69-2.903]
substrat 7 : Djean	2.45	-30.38	[2.030-3.168]
substrat 8 : Polyamide	2.45	- 55.78	[2.070-3.50]

substrat 9 : Polyster	2.45	-26.73	[1.91-2.856]
substrat 10 : Kapton	2.45	-21.17	[2.072-3.058]
substrat 11 : Nylon	2.45	-12.94	[2.282-2.529]
substrat 12 : Silk	2.45	-24	[2.159-2.793]
substrat 13 : Courdura/lycra	2.45	-32.90	[2.119-2.989]
substrat 14 : Silicon	2.45	-13.63	[1.434-3.460]
substrat 15 :FR4	2.45	-19.21	[2.036-2.775]

Tableau II.12. Résultats de simulation de l'antenne proposée pour les différents types de substrats souples utilisés.

II.6. Conception d'une antenne RFID textile conformée imprimée sur substrat souple

Une deuxième étude sur les effets de courbures du substrat sur les performances de l'antenne est présentée dans cette partie.

La figure II.16 montre la structure de l'antenne RFID textile conformée proposée. Cette antenne est imprimée sur un substrat souple de type djeans. La représentation du coefficient de réflexion est montrée sur la figure II.17.

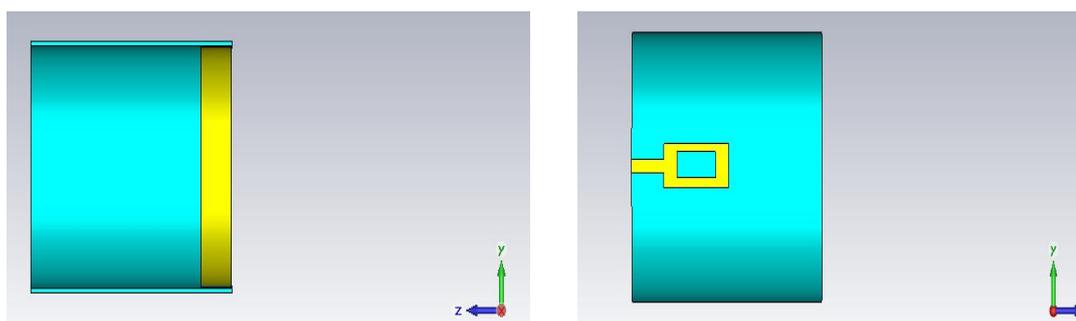


Figure II.16. Structure de l'antenne RFID textile conformée proposée.

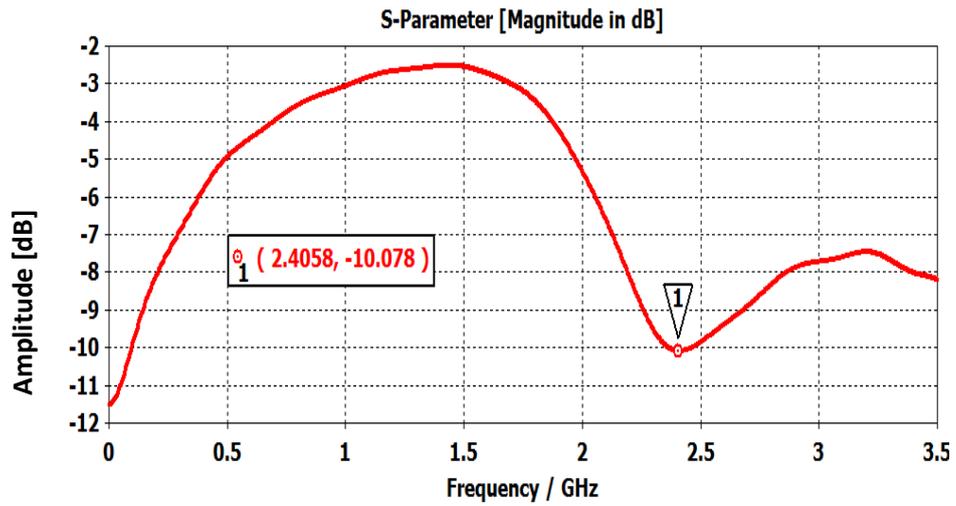
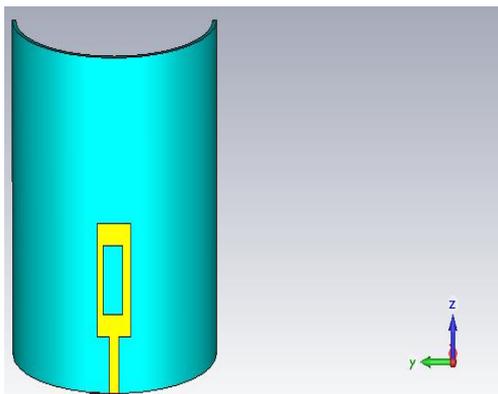
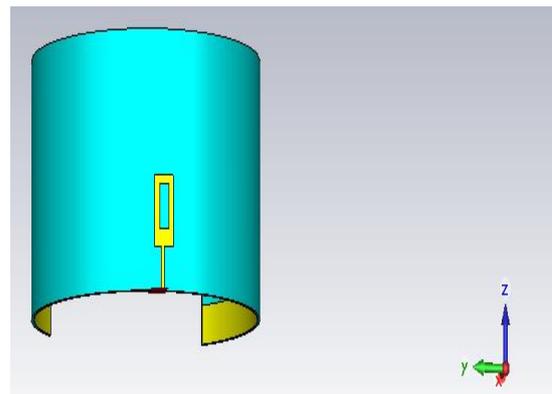


Figure II.17. Coefficient de réflexion de l'antenne proposée.

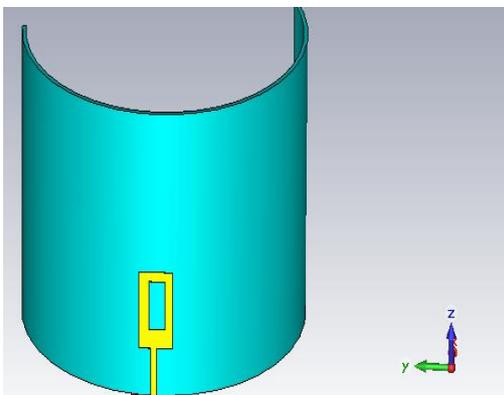
Pour voir l'influence de la courbure sur les performances de l'antenne, nous avons varié le rayon de courbure du demi-cylindre sur lequel est imprimée l'antenne (figure II.18).



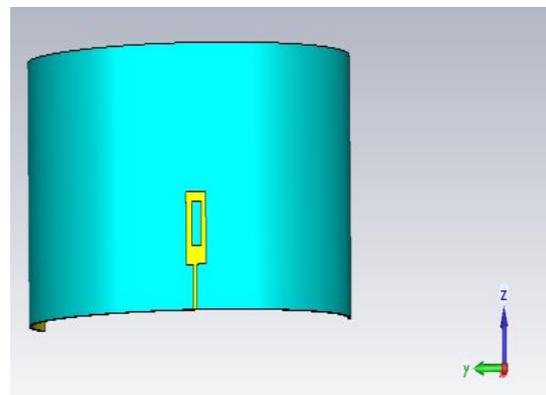
R=25



R=35



R=50



R=70

Figure II.18. Structure de l'antenne RFID textile conformée proposée pour différentes valeurs du rayon R

Les résultats de simulation du coefficient de réflexion S11 et du diagramme de rayonnement sont présentés sur les figures II.19 et II.20. Nous observons que l'adaptation et le rayonnement changent en fonction du rayon de courbure.

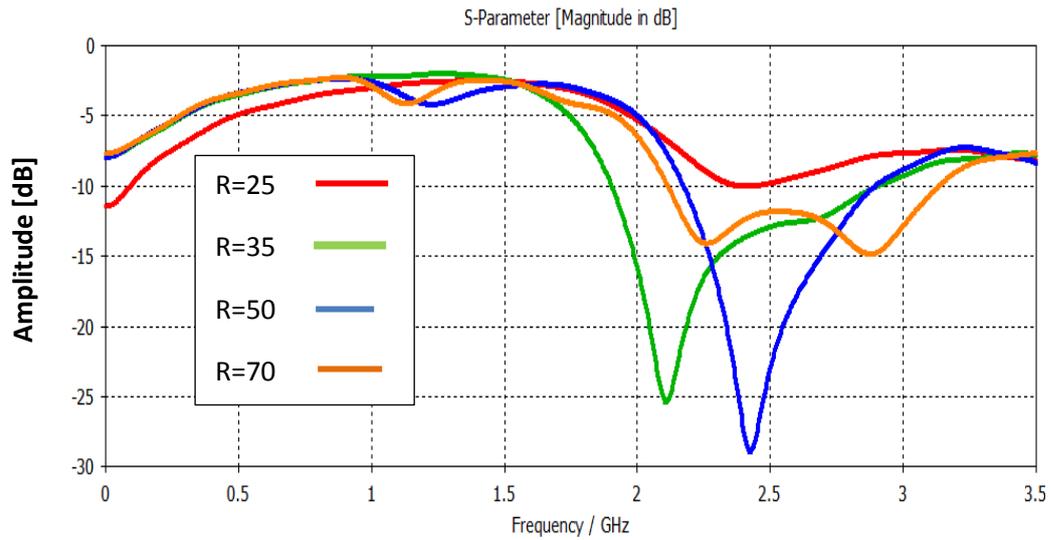
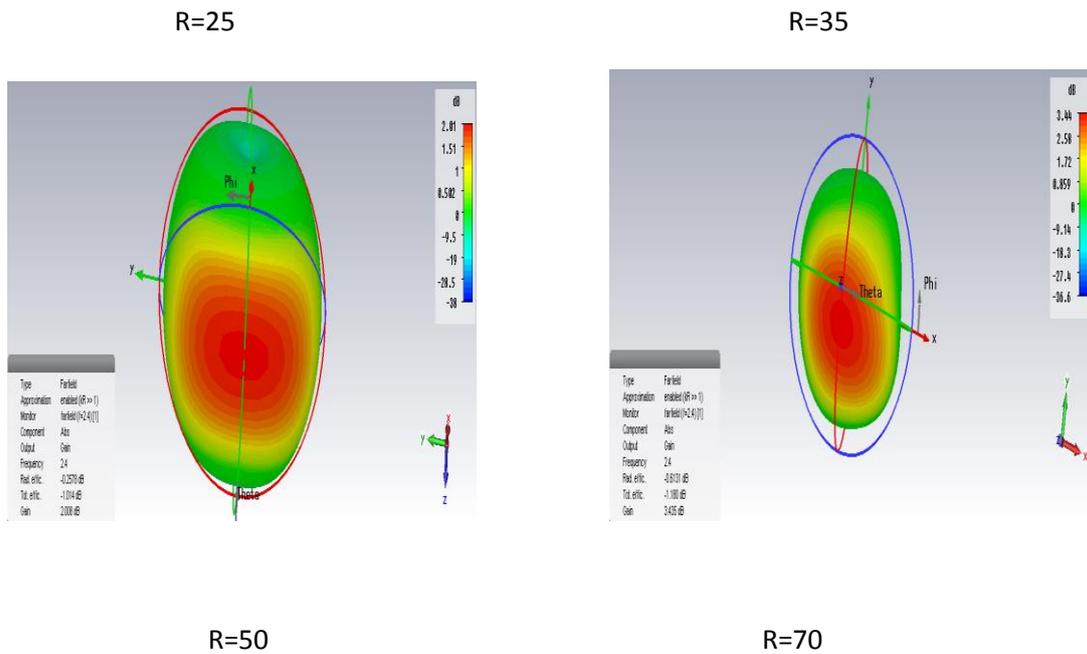


Figure II.19. Coefficient de réflexion S11 de l'antenne proposée



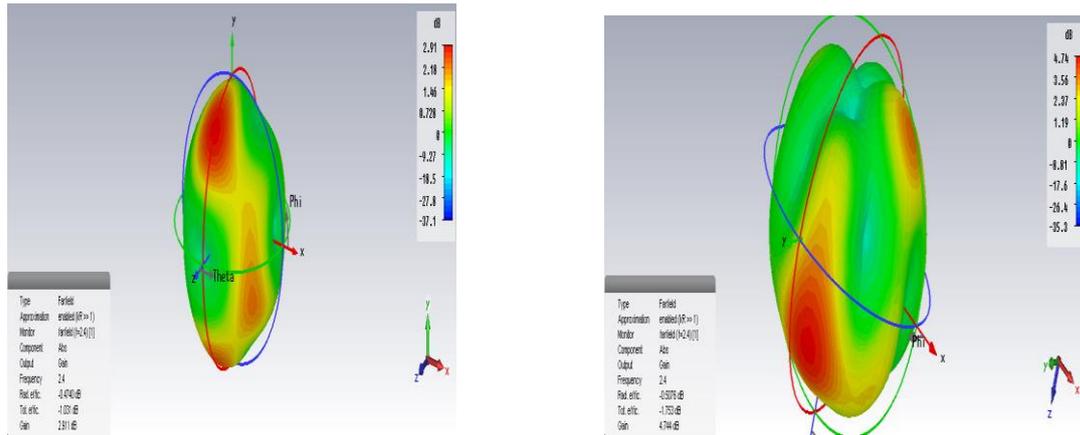


Figure II.20. Diagramme de rayonnement de l'antenne proposée.

Sur la figure 21 nous présentons les distributions de courant de l'antenne proposée. La densité de courant maximale est observée dans le patch circulaire, dans la ligne de transmission et autour de la fente rectangulaire .

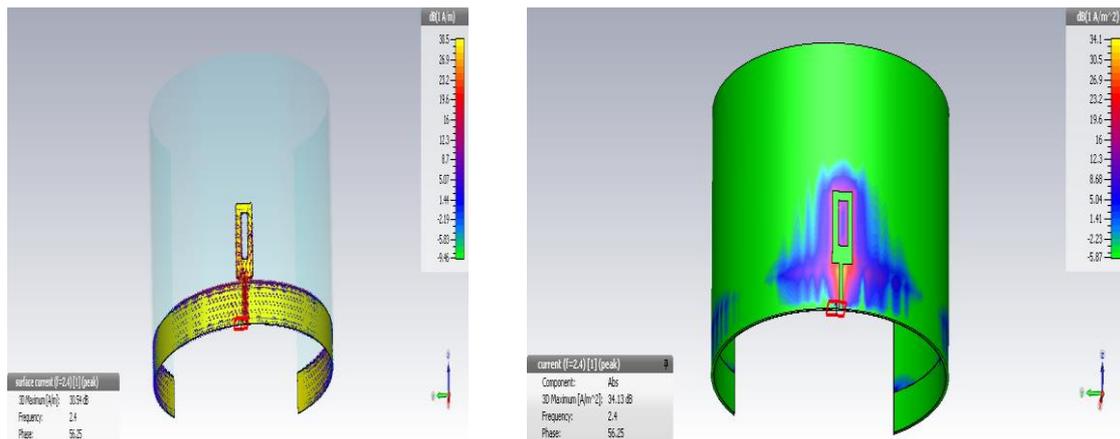


Figure II.21. Distribution de courant de l'antenne RFID proposée

II.7. Conclusion

La flexibilité des substrats est un aspect important qui à son tour va permettre d'assurer une flexibilité de l'antenne sans dégradation dans la transmission de l'information. Ce chapitre a mis l'accent sur les propriétés physiques, électriques et chimiques des matériaux flexibles, qui sont utilisés comme substrats pour antenne souple au cours des dernières décennies. L'antenne flexible proposée a été étudiée dans la bande ISM pour les plages de fréquences de fonctionnement autour de 2.45 GHz. Les caractéristiques de l'antenne flexible telles que le coefficient de réflexion, le gain et le diagramme de rayonnement sont considérablement affectés par la courbure du substrat.

References

- [1] Mobashsher, A. Toaha, M.T. Islam, and N. Misran. "A novel high-gain dual-band antenna for RFID reader applications." *Antennas and Wireless Propagation Letters*, pp. 653-656, 2010.
- [2] Wong, Shih-Huang Y. Kin-Lu. "Dual-Band F-Shaped Monopole Antenna for 2.415. 2 GHz WLAN Application." *IEEE international symposium on Antennas and Propagation*, vol. 4, pp. 72-75, 2002.
- [3] A. Giotto, « Conception d'antennes de tags RFID UHF, application à la réalisation par jet de matière », thèse de doctorat de l'Institut polytechnique de Grenoble, 26 novembre 2008.
- [4] A.Vena « Contribution au developement de la technologie RFID sans puce à haute capacité de codage » Université de Grenoble, soutenue en 28 Juin 2012,
- [5] K. N. Paracha, S. K. Abdul Rahim, and P. J. Soh, Mohsen Khalily '' Wearable Antennas: A Review of Materials, Structures and Innovative Features for Autonomous Communication and Sensing '' 2017 IEEE. Translations and content mining are permitted for academic research only.
- [6] Inés KHARRAT ''Modélisation et réalisation d'un système de récupération d'énergie imprimé Caractérisation hyperfréquence des matériaux papiers utilisés ''université de Grenoble, soutenu le 7 août 2006.
- [7] M.Ali Khan, R.Raad , F.Tubbal , P.Theoharis ,S. Liu and J.Foroughi ''Bending Analysis of Polymer-Based Flexible Antennas for Wearable, General IoT Applications: A Review '' *Polymers* 2021, 13, 357. <https://doi.org/10.3390/polym13030357>.
- [8] B. Shrestha, A.Elsherbeni,L.Ukkonen .'' UHF RFID reader antenna for near-field and far-field operations.'' *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, December 2011.
- [9] P. Mane, S. A. Patil, and P. C. Dhanawade, "Comparative Study of Microstrip Antenna for Different Substrate Material at Different Frequencies," *Int. J. Emerg. Eng. Res. Technol.*, vol. 2, no. 9, pp. 18–23, 2014.
- [10] S. M. Saeed, C. A. Balanis, C. R. Birtcher, A. C. Durgun, and H. N. Shaman, "Wearable Flexible Reconfigurable Antenna Integrated With Artificial Magnetic Conductor," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 16, pp. 2396- 2399, 2017.

- [11] M. Joler and M. Boljkovac, "A Sleeve-Badge Circularly Polarized Textile Antenna," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 66, pp. 1576-1579, 2018.
- [12] Z. Stempien, E. Rybicki, A. Patykowska, T. Rybicki, and M. I. Szykowska, "Shape-programmed inkjet-printed silver electro-conductive layers on textile surfaces," *Journal of Industrial Textiles*, vol. 47, pp. 1321-1341, 2017.
- [13] Z. Stempien, E. Rybicki, A. Patykowska, T. Rybicki, and M. I. Szykowska, "Shape-programmed inkjet-printed silver electro-conductive layers on textile surfaces," *Journal of Industrial Textiles*, vol. 0, p. 152808371769061, 2017.
- [14] Jilong Wang, Chunhong Lu, and Kun Zhang "Textile-Based Strain Sensor for Human Motion Detection" *Energy Environ. Mater.* 2020, vol 3, pp80–100;
- [15] A.Kiourti and John L. Volakis "Wearable Antennas, Sensors and a Novel Class of Textiles "Forum for Electromagnetic Research Methods and Application Technologies (FERMAT).
- [16] M. Bozzi, A. Georgiadis, and K. Wu, "Review of substrate-integrated waveguide circuits and antennas," *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, vol. 5, p. 909, 2011.
- [17] F. Ghanem, R. Langley, and L. Ford, "Propagation control using SIW technology," in *2010 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, 2010, pp. 1-4.
- [18] H.Errifi, A.Baghdad, Ab.Badri, A.Sahel. "Radiation Characteristics Enhancement of Microstrip Triangular Patch Antenna using Several Array Structures." *International Journal of Wireless and Microwave Technologies (IJWMT)*, Vol. 5, No. 3, pp. 1 -17, May 2015. DOI:10.5815/ijwmt.2015.03.01.
- [19] Tsitoha Andriamiharivolamena "Contribution to the development of integrated antennas to clothes. Application to military jackets", , Soutenué en March 2015.
- [20] N. HASSAINE "Conception d'antennes micro rubans miniatures pour différents standards de communications sans fil" Université de Tlemcen, soutenue en 2020.
- [21] M.BOUSAHLA "Analyse et synthèse de réseaux plans ou conformés d'antennes imprimées par méta-heuristiques floues" Université de Tlemcen, Soutenué en 2012.
- [22] Belgacem Nassima "Contribution à l'Optimisation, la Conception et la Réalisation des Nouvelles Topologies d'Antennes d'Emission et de Réception Multi-bandes pour les Communications Sans fil Modernes", Université de Tlemcen, Soutenué en Avril 2019.
- [23] A. Khidre, S. Member, K. Lee, F. Yang, S. Member, and A. Z. Elsherbeni, "Circular Polarization Reconfigurable Wideband E - Shaped Patch Antenna for Wireless Applications," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, no. c, pp. 1–5, 2011.
- [24] Y. Kim, J. Zhu, B. Yeom, M. Di Prima, X. Su, J.-G. Kim, et al., "Stretchable nanoparticle conductors with self-organized conductive pathways," *Nature*, vol. 500, pp. 59-63, 2013.

Chapitre III

**Conception d'antennes pour lecteurs
RFID opérants dans la bande ISM**

Présentation du chapitre III

La technologie d'identification par radiofréquence (RFID) est une technologie performante qui fait partie de notre vie quotidienne. La RFID est une technique d'identification utilisée dans diverses industries, notamment les produits pharmaceutiques, l'agriculture, l'automobile, l'agriculture, ect.... Il utilise des ondes électromagnétiques pour capturer et interpréter les données. Pour que la technologie fonctionne, nous devons disposer d'une étiquette RFID et d'un lecteur RFID.

Ce chapitre est consacré à la conception d'antennes RFID UHF fonctionnant à la bande UHF ISM. Dans ce chapitre, nous allons présenter deux exemples d'antennes pour des applications en champ proche et en champ lointain. Une première antenne fonctionnant en champs proche dans la bande [860-960 MHz] est proposée. Une deuxième antenne RFID bi-bande fonctionnant en champs lointain à la bande ISM [2.4 au 2.45 GHz] et [5.8 au 5.85 GHz] est aussi proposée.

III.1 Introduction

Les techniques d'identification par radiofréquence (RFID) jouent un rôle vital dans la détection des objets à identifier au moyen d'une faible puissance et d'une technologie rentable. Le system RFID est capable de tracer des paramètres biomédicaux en temps réel tels que la température, la pression artérielle, le rythme cardiaque, la teneur en glucose, le comportement humain, etc. et l'emplacement des patients dans l'environnement médical ou résidentiel. Actuellement, la RFID est prédominante en raison de ses vastes applications, mais la plupart du temps, ces systèmes ne sont pas visibles pour les utilisateurs. Le système RFID comprend essentiellement un lecteur (ou interrogateur) et une étiquette (ou transpondeur) ou les étiquettes intelligentes sont capturées par un lecteur via des ondes radio. Les tags RFID sont des unités de traitement du signal, et peuvent être intégrés aux appareils RFID pour obtenir de meilleures performances. Elle présentent plusieurs avantages par rapport aux systèmes qui utilisent le suivi des actifs par code à barres ou la surveillance du corps humain dans le domaine médical, et sont utilisées dans de nombreuses industries pour effectuer des tâches telles que: gestion des stocks, actif suivi, suivi du personnel, contrôle de l'accès aux zones réglementées, badges d'identification, gestion de la chaîne d'approvisionnement, prévention des contrefaçons dans l'industrie pharmaceutique.

La technologie RFID est en pleine croissance et développement dans la vie quotidienne des peuples, elle couvre la bande ISM pour l'identification des personnes opère jusqu'à la bande UHF de [866 MHz à 869 MHz] et atteint des distances de lecture d'une dizaine de centimètres pour les applications en champ proche et pour les applications en champ lointain fonctionnant dans la bande micro-onde [2400 MHz, 2450 MHz], notamment grâce au développement des antennes RFID lecteur répondants aux contraintes des différentes applications ISM.

L'objectif principal de ce chapitre est la conception d'antennes pour les applications RFID fonctionnant en champs proche et champ lointain. Le chapitre comprendra aussi la conception d'antennes RFID multi bandes afin d'améliorer les performances d'utilisation de la technologie RFID dans la bande ISM.

III.2 Lecteur RFID

Le lecteur ou interrogateur est l'unité principale, qui fournit l'énergie électromagnétique à l'étiquette. Il transmet et reçoit les signaux radio vers et depuis l'étiquette. Le lecteur est contrôlé soit par un système informatique, soit par l'exécution de programmes informatiques. Il permet la gestion de la communication avec le tag (activation, connexion, lecture, écriture, autorisation, Gestion du transport de données (fréquence, vitesse de transfert, modulation, puissance de transmission, Codage, décodage, contrôle et stockage des données. Dans les marchés ou les magasins généraux, les lecteurs fixes sont connectés aux câbles téléphoniques, tandis que les lecteurs portables sont utilisés dans les appareils mobiles. Il constitue d'une antenne de réception de données, une unité de contrôle et une interface de transmission de données vers un terminal. Le meilleur avantage de la technologie RFID est la portée de lecture longue et courte, la base de données portable, la lecture / écriture de plusieurs étiquettes, le suivi des personnes, des articles et des équipements en temps réel.

III.2.1 Architecture d'un lecteur RFID

Un lecteur RFID est constitué d'une antenne est un composant RF qui a pour rôle la conversion de l'énergie guidée en énergie rayonnante qui se propagera dans l'espace libre, et réciproquement de convertir l'énergie RF présente en sa proximité en énergie guidée et d'une station de base est le cœur du lecteur RFID. Elle transfère, traite, traduit les commandes et les informations reçues pour le système hôte [1]. La figure.1 représente l'architecture d'un lecteur RFID.

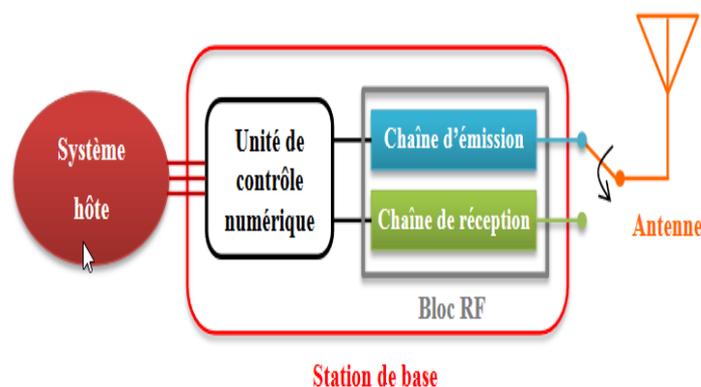


Figure III.1: principe de fonctionnement d'un lecteur RFID [1].

Les lecteurs RFID sont présentés sous plusieurs formes miniatures pour un fonctionnement multiple. Ils fournissent une large gamme de fonctionnalités dans tous les secteurs de la vie. Les figures suivantes montrent quelques exemples des lecteurs RFID.



Figure III.2. Lecteur RFID pc prox Dual-band.

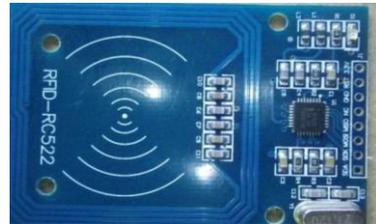


Figure III.3. Lecteur de carte RFID.



Figure III.4 : Lecture RFID pour le control d'accès [2].

III.2.2 Principe de fonctionnement d'un lecteur RFID

Un lecteur RFID envoie une onde électromagnétique porteuse d'un signal selon une fréquence donnée vers un ou plusieurs tags situés sur des objets à identifier ou à contrôler. En retour, le lecteur reçoit l'information renvoyée par ces objets après un dialogue établi selon un protocole de communications prédéfinies, et les données sont échangées. Une étiquette RFID contient l'identité à transmettre, et est fixée sur ces objets, qui réagit à la réception du signal envoyé par le lecteur en envoyant vers ce dernier l'information demandée [2].

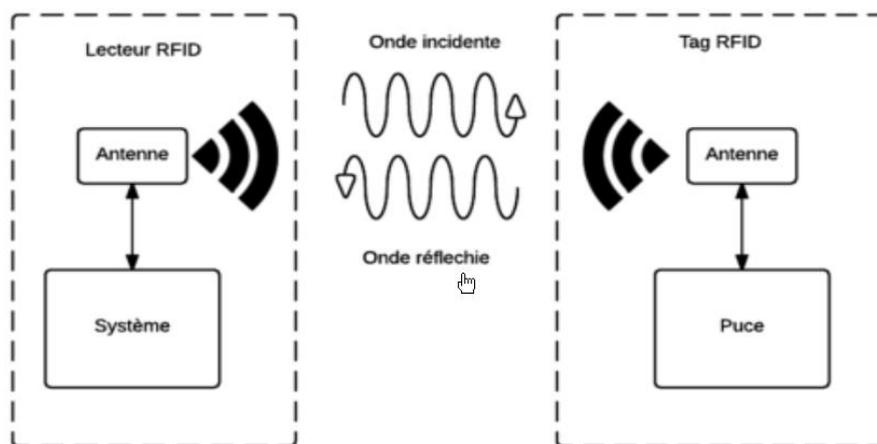


Figure III.5 : principe de fonctionnement d'un Lecteur RFID [3].

III.2.3 Allocations des bandes de fréquences dédiée aux applications d'un lecteur RFID

Le choix de la fréquence est dicté essentiellement par les exigences fonctionnelles telles que le choix du tag passif ou actif, ou bien encore le choix du couplage inductif ou radiatif ainsi que les contraintes géométriques, telles que la distance séparant le lecteur du tag RFID. Les bandes de fréquences utilisées par les dispositifs RFID font partie des bandes non soumises à licence. Ces bandes, réservées aux applications ISM (Industrielles, Scientifiques et Médicales), sont néanmoins réglementées [4].

Tableau III.1. Allocations des fréquences pour les systèmes RFID lecteur [1].

	LF	HF	UHF	SHF
Bande	125-134 KHz	13.56 MHz	860-960 MHz	2.45-5.8 GHz
Longueur d'onde	2400 m	22 m	33 cm	9 cm
Zone de champ	Proche	Proche	Proche/Lointain	Lointain
Effet de peau	220 μm	22 μm	3 μm	1.3 μm
Portée	$\approx 1\text{m}$	$\approx 1\text{m}$	10-50m	>100m
Débit	$\approx 9.6\text{ kbps}$	$\approx 64\text{ kbps}$	$\approx 640\text{ kbps}$	1-2 Mbps

III.3 Système RFID UHF en champ proche

Les systèmes RFID UHF en champ proche utilisent généralement l'un des deux mécanismes de couplage entre les étiquettes et le lecteur. Le premier est le couplage magnétique, où la plupart de l'énergie réactive est stockée dans le champ magnétique. Le second est un couplage électrique, où le champ électrique stocke la plupart de la réactive énergie. Analyse détaillée des interactions entre les antennes lecture sont importantes dans ces systèmes. Il est à noter que les performances de ces systèmes RFID en champ proche dépendent du lecteur, et en particulier antenne utilisée [4].

Les zones de champ proche sont composées des zones de Rayleigh, la zone intermédiaire est notée de Fresnel, alors que la zone de champ lointain est notée de Fraunhofer.

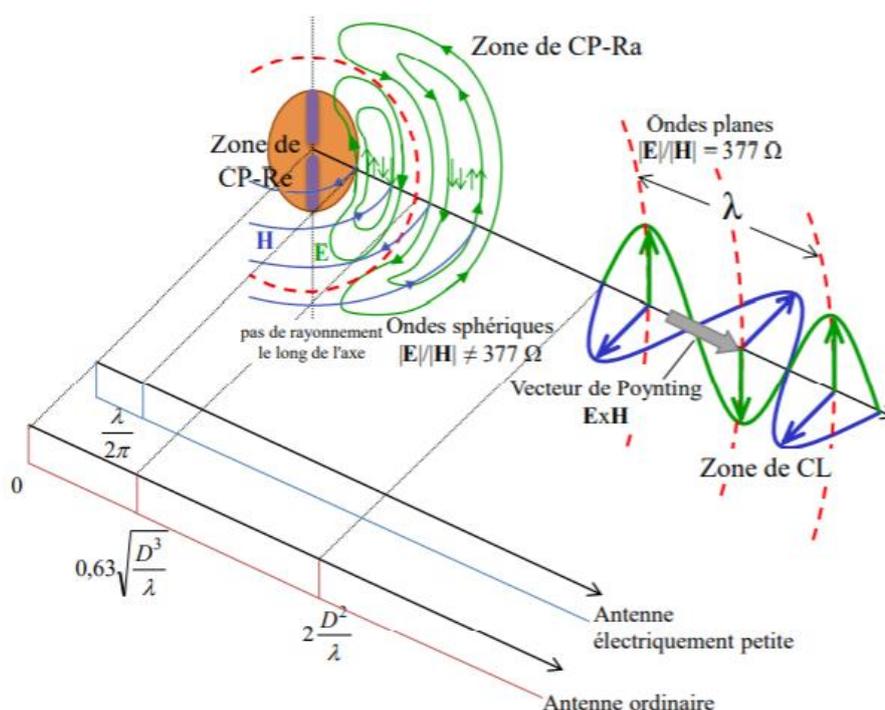


Figure III.6. Définition des zones de champs [5].

La région de champ proche peut être divisée en deux autres zones : une région champ proche réactif (CP-Re) et une région champ proche radiatif (CP-Ra) [5]. La région de l'espace qui limite les champs est définie selon le rapport entre la dimension la plus grande de l'antenne, D , et la longueur d'onde, λ , comme représenté par figure III.6. Il est important de

noter que les antennes électriquement petites ($D \ll \lambda$) n'ont pas de zone de champ proche radiatif et que la zone de champ proche réactif est très réduite.

Le tableau III. 2 résume les distances qui limitent chaque région de champ proche et lointain.

Antenne	Région	Distance à l'antenne r
Antenne où $D \gg \lambda$	Champ proche réactif	0 à $0,62\sqrt{D^3/\lambda}$
	Champ proche radiatif	0 à $0,62\sqrt{D^3/\lambda}$ à $2D^2/\lambda$
	Champ lointain	$2D^2/\lambda$ à ∞
Antenne où $D \ll \lambda$	Champ proche réactif	0 à $\lambda/2\pi$
	Champ lointain	$\lambda/2\pi$ à ∞

Tableau III. 2 : les limites de la zone de champ proche réactif et le champ lointain [1].

III.3.1. Communication RFID UHF en champ proche

La communication RFID en champ proche nécessite une distribution de champ magnétique fort et uniforme pour les applications RFID-UHF. Le système lecteurs RFID UHF est basé sur un couplage inductif est préférable pour la plupart des applications, puisque la plupart de l'énergie réactive est stockée dans le champ magnétique. Il fonctionne à proximité immédiate de métaux et des liquides mais il est affecté par l'environnement d'objets à haute perméabilité magnétique. Pour le calcul de la distance de lecture en champs proche, nous utilisons la formule de Friis [6]. La distance de lecture est limitée par la distance maximale à laquelle le Tag peut recevoir assez de puissance pour son activation, et la distance maximale à laquelle le Lecteur peut détecter ce signal rétrodiffusé. Lorsque la puissance d'émission est fixe, la distance de lecture maximale du système RFID est principalement limitée par le gain de l'antenne et la fréquence de fonctionnement. La distance de lecture est également sensible à l'orientation du Tag, La densité de puissance incidente S_{inc} , à une distance d du Tag, est exprimée comme suit [6] :

$$S_{inc} = \frac{p_T^{lecteur} G_{lecteur}}{4\pi d^2} \quad (1)$$

Avec : d : la distance entre le Tag et le Lecteur.

$p_T^{lecteur}$: Puissance transmise par le Lecteur RFID (Watt).

$G_{lecteur}$: Gain de l'antenne du Lecteur (sans unité).

La puissance reçue par le Tag p_R^{Tag} est égale au produit de la densité de puissance émise par le Lecteur et la surface effective de l'antenne du Tag $A_{e\text{-tag}}$.

$$p_R^{\text{Tag}} = S_{\text{INC}} A_{e\text{-tag}} x. \quad (2)$$

Avec

$$A_{e\text{-tag}} = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_{\text{Tag}}. \quad (3)$$

Alors la puissance reçue au niveau du Tag RFID est donnée par l'équation de Friis

$$p_R^{\text{Tag}} = \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 p_R^{\text{lecteur}} G_{\text{Tag}} x. \quad (4)$$

Avec :

p_R^{Tag} : Puissance reçue au niveau du Tag RFID (Watt).

G_{Tag} : Gain de l'antenne du Tag (sans unité) λ : Longueur d'onde dans l'espace libre (m).

x : Coefficient d'adaptation de polarisation entre l'antenne du lecteur et l'antenne.

La distance maximale de lecture est obtenue p_R^{Tag} quand est égale au seuil de puissance de la puce $p_{\text{sueil}}^{\text{Tag}}$

$$d = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{p_T^{\text{Lecteur}} \cdot G_{\text{Lecteur}} \cdot G_{\text{Tag}} \cdot T \cdot x}{p_{\text{sueil}}^{\text{Tag}}}} \quad (5)$$

Avec

T : le coefficient de transmission en puissance et $p_{\text{sueil}}^{\text{Tag}}$ est le seuil d'activation minimum de la puce RFID.

La puissance reçue par le lecteur est :

$$p_R^{\text{Lecteur}} = P_{\text{EIRP}} G_{\text{Lecteur}} G_{\text{Tag}} \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \delta x \quad (6)$$

Avec :

σ : est la surface équivalente.

P_{EIRP} : Puissance Isotrope Rayonnée Effective PIRE.

Quand la puissance reçue est égale à la sensibilité du Lecteur, la distance maximale de lecture pour la liaison de rétro-modulation est exprimée par :

$$d_{\text{rétrodiff}} = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt[4]{\frac{p_{\text{T}}^{\text{Lecteur}} \cdot G_{\text{Lecteur}}^2 \cdot G_{\text{Tag}}^2 \cdot \delta \cdot x}{p_{\text{Sueil}}^{\text{Tag}}}} \quad (7)$$

I.5.3. Système à couplage inductive (Near Field system) pour le transfert d'information

Pour alimenter à distance les étiquettes RFID, on utilise le couplage inductif, dont le principe est simple. La circulation d'un courant alternatif dans une spire, qui est dans notre cas constitue une antenne, donne naissance à un champ magnétique alternatif. Celui-ci induit la présence d'un flux dans une seconde inductance placée à proximité. D'après la loi de Faraday, ce flux crée une force électromotrice qui est à l'origine du passage d'un courant dans cette antenne. Lorsque l'étiquette est proche du lecteur, la mutuelle est importante et donc le lecteur voit augmenter sa charge. Au contraire, si l'étiquette est éloignée, l'impédance ramenée diminue. Le lecteur se comporte comme s'il était seul si le transpondeur est trop loin et que l'impédance ramenée devient négligeable devant sa propre impédance [7].

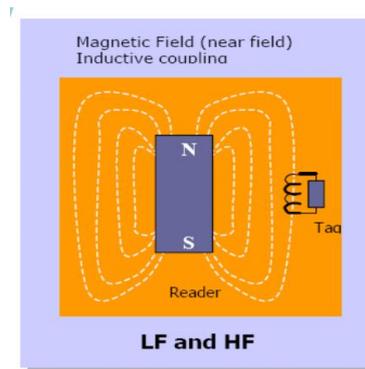


Figure. III.7: Principe du system de couplage inductive [8].

III.6. Conception d'antennes lecteurs RFID-UHF en champ proche

La technique de segmentation est la plus utilisée dans la conception d'antenne lecteur RFID-UHF champ proche. Chaque segment génère un champ magnétique individuel. Ces segments sont disposés de telle sorte que les champs magnétiques individuels sont cumulés, pour former un champ magnétique total utilisé pour lire les Tags RFID. En segmentant l'antenne boucle, son périmètre devient supérieur à la longueur d'onde guidée afin d'avoir une répartition uniforme du courant et obtenir ainsi la distance de lecture souhaitée. Les antennes

boucles segmentées ont été construits pour fonctionner à la fréquence de résonance souhaitée tout en assurant un bon couplage magnétique. Ces structures ont des périmètres équivalents à 2λ en bande UHF. L'antenne est réalisée sur un substrat FR4, et les dimensions totales de la boucle sont 17 cm par 18 cm. La géométrie de l'antenne boucle segmentée en champ proche est présentée dans la figure III.8.

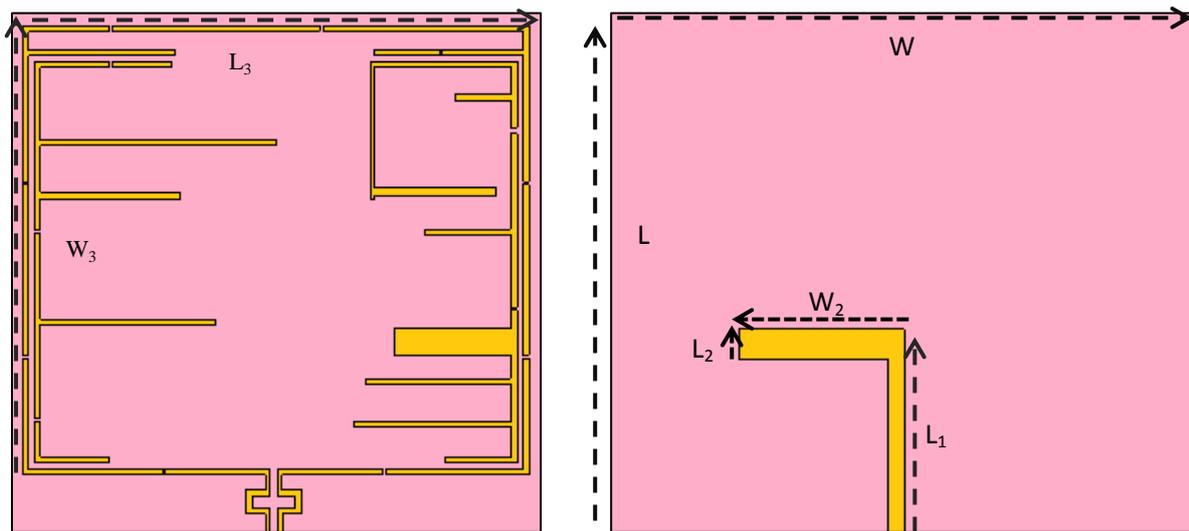


Figure III. 8 : La structure de l'antenne boucle segmentée proposée.

Un résumé des paramètres de l'antenne RFID portable est présenté dans le tableau III.3.

Tableau III.3. Paramètres de conception de l'antenne proposée.

Dimensions	Valeurs (mm)
L	18
W	17.5
L1	60
W1	15
L2	10
W2	50
L3	17.5
W3	17

La simulation en terme de coefficient de réflexion a été effectuée sous le logiciel CST- Micro wave Studio. Le graphe du coefficient de réflexion S11 est tracé en fonction de la

variation de la gamme de fréquences qui s'étale de 0 GHz à 1.2 GHz, et est illustré par la figure III.9.

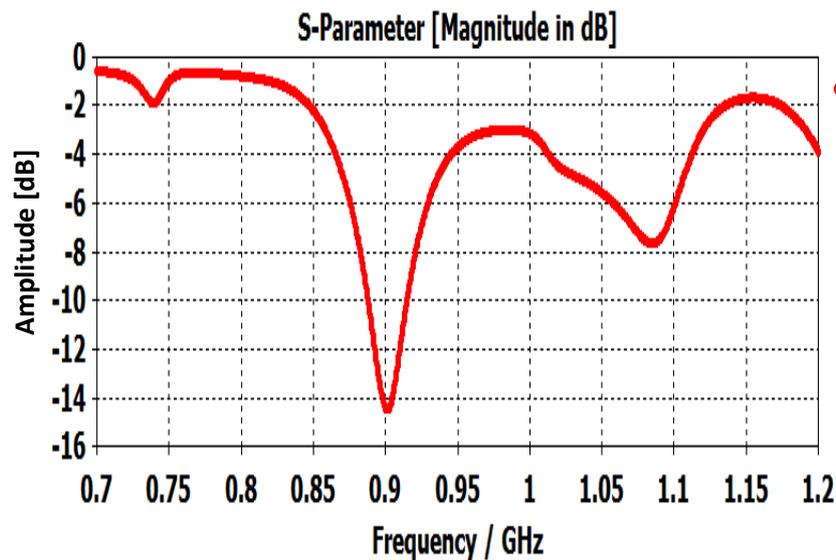


Figure III.9. Coefficient de réflexion simulé en fonction de la fréquence.

Une meilleure adaptation du coefficient de réflexion en champs proche a été obtenue à -14 dB pour la fréquence 900 MHz, et d'une bande passante de 30 MHz entre 890 MHz et 920 MHz.

La valeur idéale obtenue du rapport VSWR est de 1.47 pour la fréquence $f=900$ MHz, le graphe de Taux d'ondes stationnaire VSWR présenté dans la figure III.10.

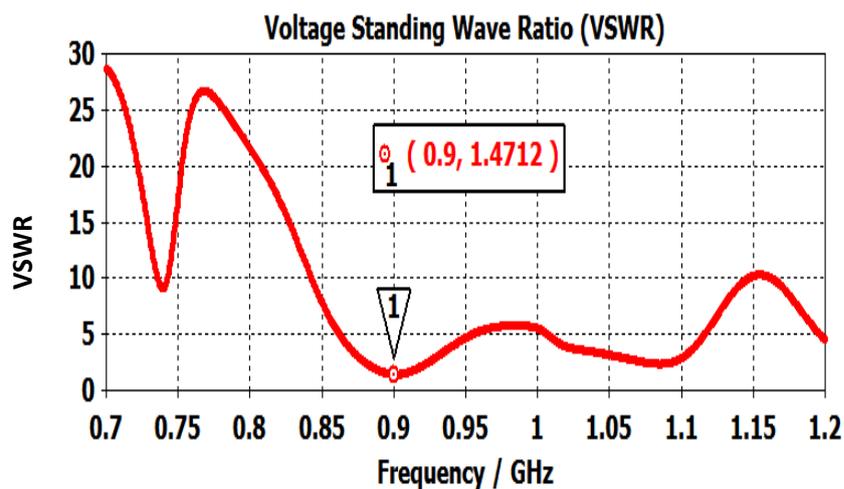


Figure.III.10. VSWR de l'antenne proposée.

Les diagrammes de rayonnement simulés à 900 MHz en 2D et en 3D sont représentés sur la Figure III.11. Nous constatons que le gain est positif, et le diagramme de rayonnement est omni directionnel dans le plan E et le plan H.

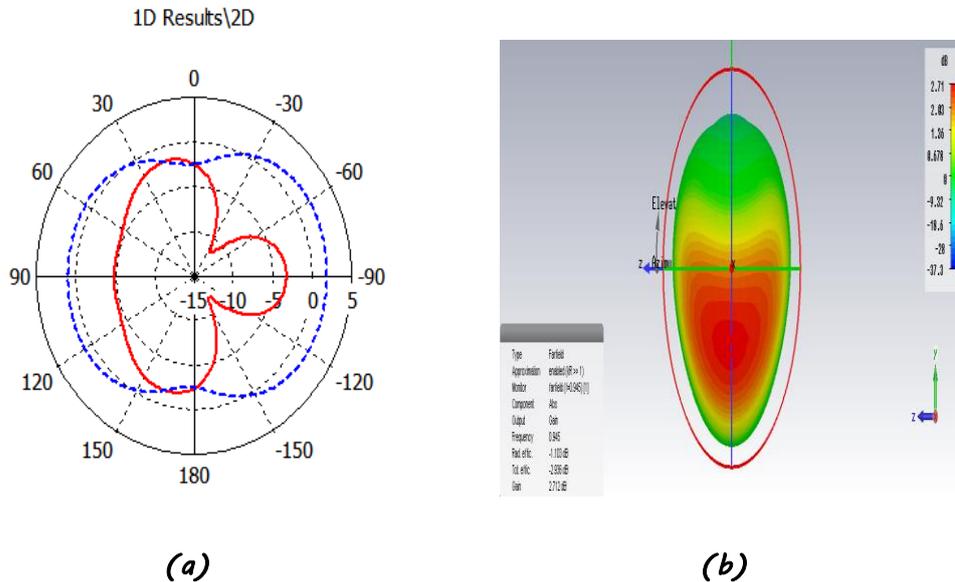


Figure III.11: Diagramme de rayonnement en coordonnées polaires calculé à la fréquence 900 MHz.

III.7. Les systèmes RFID en champs lointain

Les systèmes RFID en champs lointains utilisent généralement des plages de lecture ISM micro-ondes 2.4 GHz et 5.8 GHz, et l'énergie électromagnétique est rayonnée de manière radiale dans le champ lointain. La puissance diminue alors avec l'augmentation de la distance. Etant donné que la distance de lecture est de plusieurs mètres. Les applications typiques de ce type de couplage comprennent les processus de chaîne logistique, pharmaceutiques, de santé, etc.

III.7.1. Communication RFID Micro-ondes en champ lointain

Le système RFID micro-ondes sont des systèmes télé alimenté, la communication de ce système est bidirectionnelle, impose qu'elle est effectuée à grand distance avec un débit d'échange d'information très élevé. La propagation d'onde décroît en $1/r$ avec r la distance par rapport au récepteur. Le transfert de la communication utilise un transfert d'énergie continu qu'il sera récupéré par le tag pour s'alimenter. Le principe de la communication a été montré dans la figure III.12 [9].

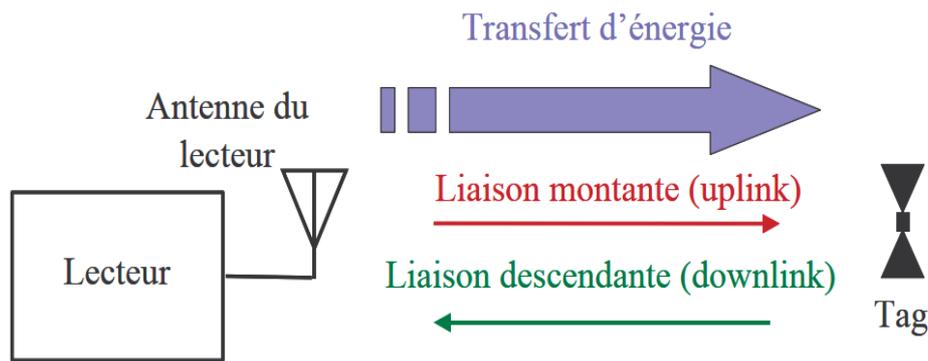


Figure III.12. Principe de communication RFID [9].

III.7.2. Conception d'antennes RFID Micro-onde en champs lointain

Une nouvelle conception d'antenne de lecteur RFID bi-bande est proposée en bande ISM à 2,4 GHz et 5,8 GHz. L'antenne est conçue sur le substrat FR4 de dimension surfacique 34 x 34 x 1,5 mm, avec une constante diélectrique $\epsilon_r = 4,3$ et une tangente de perte ($\text{tg}(\delta)$) = 0,025. Les dimensions de l'antenne patch sont données par 18 x 22 mm². Dans les paramètres de l'étude, l'antenne patch micro bande est constituée de fente pour adapter la résonance de l'antenne à la fréquence souhaitée. Pour la simplicité de fabrication, nous avons utilisé l'alimentation par ligne micro-ruban, les antennes du lecteur RFID sont représentées sur la figure III.13. La réalisation du prototype de l'antenne proposée va nous permettre de vérifier et de valider les résultats obtenus par simulation. L'antenne lecteur RFID bi-bande a été fabriquée dans le laboratoire TTL. Les photographies du prototype fabriqué de l'antenne sont présentées sur la figure III.13. Avec une vue avant et une vue arrière sur la figure III.13.a et la figure 13.b, respectivement. Un analyseur de réseau a été utilisé pour la procédure de mesure afin d'observer les caractéristiques de réflexion.

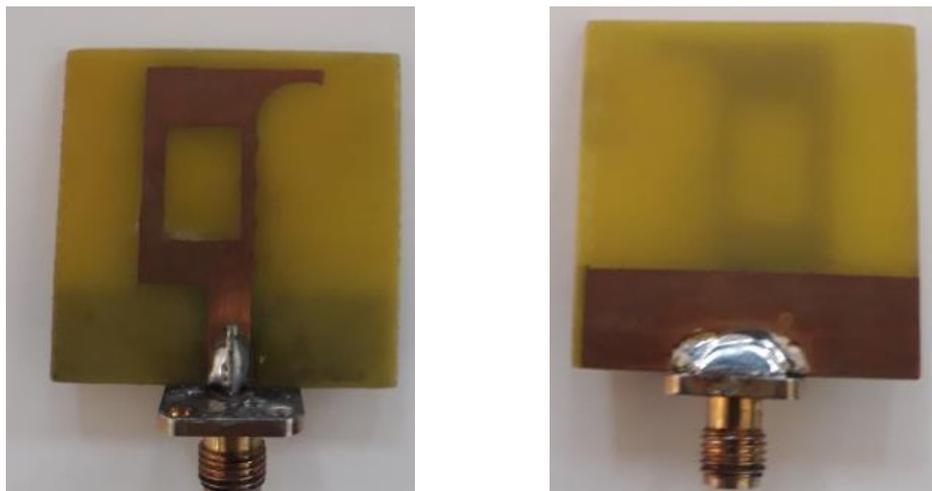


Figure III.13. L'antenne fabriquée. (a) Vue de face, (b) Vue dessus.

Tableau III.4. Dimensions optimisées de l'antenne de lecteur bi-bande RFID proposée.

Paramètres	Dimensions
	[mm]
	[ANT ₃]
H	34
h ₁	9
h ₂	12
h ₃	10
h ₄	18
W	34
W ₁	22
W ₂	8
W ₃	3.89
R1=R2....=R5	5

III.7.3. Simulations et résultats

La figure III.14 montre le résultat de simulation du coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence. Cette antenne présente une bonne adaptation avec des niveaux de -18,96 dB et -12,07 dB aux fréquences de fonctionnement respectives de 2,4 GHz et 5,8 GHz. La figure III.15 montre le résultat de la simulation du rapport d'onde stationnaire de tension (VSWR) en fonction de la fréquence. La simulation montre que les meilleures valeurs de VSWR sont de 1,26 à 2,4 GHz et de 1,66 à 5,8 GHz. La comparaison du coefficient S11

mesurées et simulées de l'antenne proposée sont données à la figure III.14. Nous remarquons que coefficient S11 mesuré est en accord avec celui simulé sur toute la bande de fonctionnement avec un écart acceptable pour la fréquence de résonance 2,4 GHz en raison de la Tolérance fabrication et l'effet du câble d'alimentation.

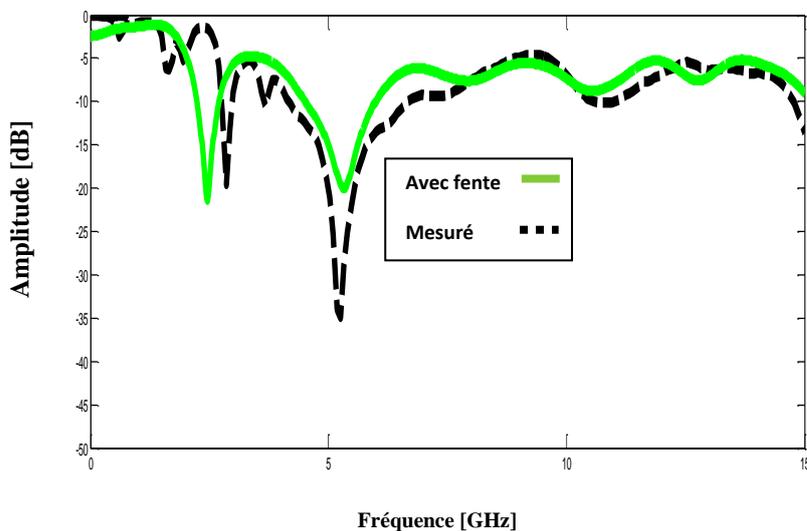


Figure III.14. Coefficient de réflexion mesurée et simulée de l'antenne RFID lecteur dual bande proposée.

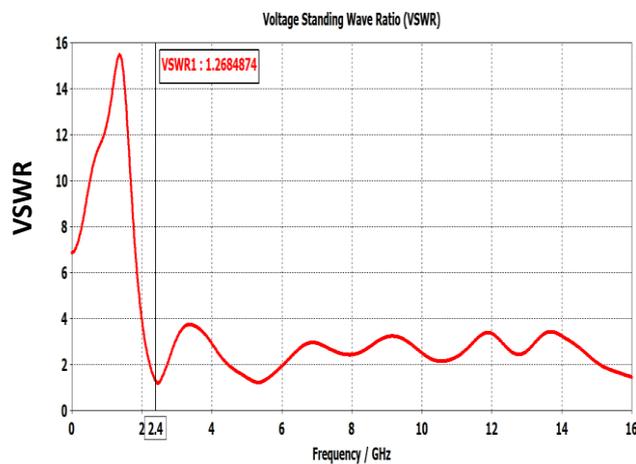


Figure III.15. VSWR de l'antenne proposée.

Les figures III.16. Illustrent le diagramme de rayonnement 3D de l'antenne proposée aux fréquences de résonance 2,4 et 5,8 GHz. On voit que la puissance rayonnée est concentrée le long du plan x-z pour les deux fréquences.

Le gain de l'antenne proposée est égal à 1,7 dBi à 2,4 GHz et 5 dBi à 5,8 GHz. Ce gain répond aux exigences des applications RFID en champ lointain. La figure III.17 montre le gain réalisé aux bandes de fréquences de fonctionnement pour l'antenne proposée.

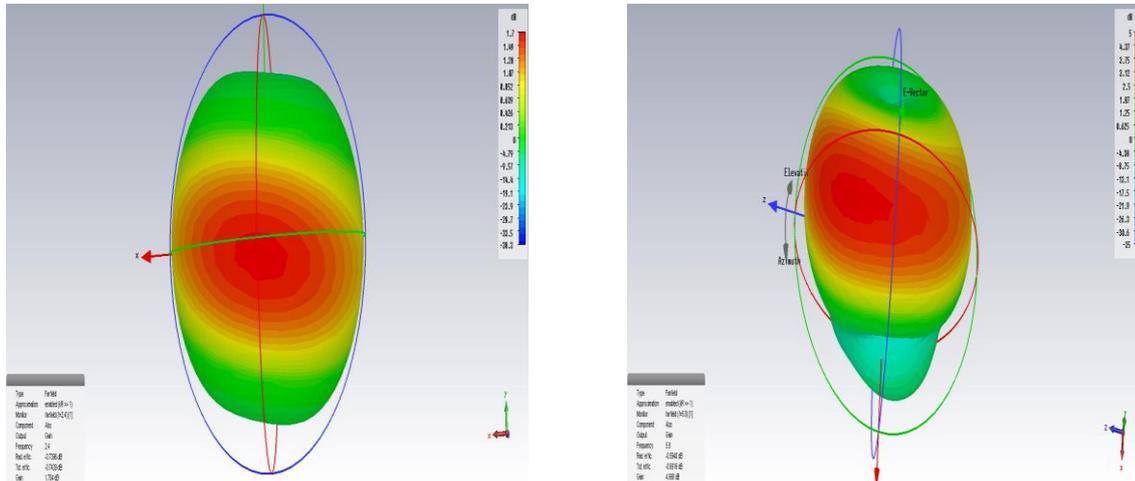


Figure III.16. Diagrammes de rayonnement 3D simulés à 2,4 GHz et 5.8 GHz de l'antenne proposée.

Nous constatons que le gain a nettement diminué entre la structure de taille normale et celle miniaturisée. En effet, nous passons d'un gain de 6.18 dBi à 2.4 GHz pour la structure initiale à un gain de 3.44 dBi pour l'antenne miniaturisée. Néanmoins, ce résultat reste très acceptable.

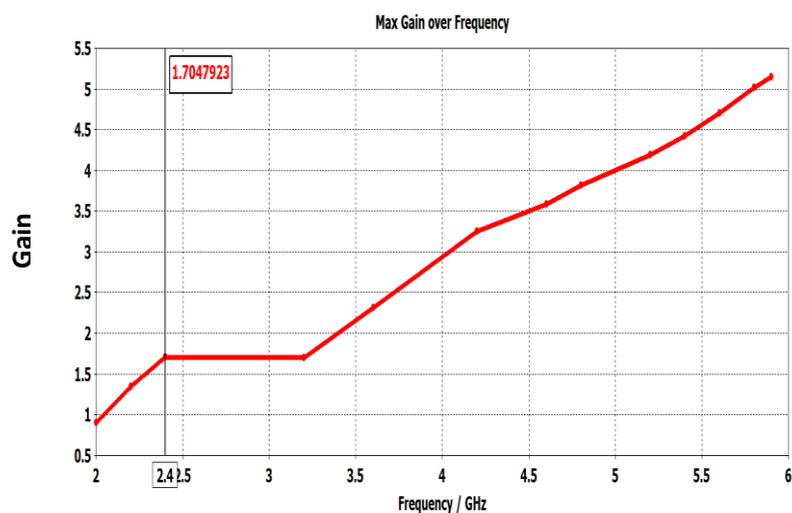


Figure III.17. Gain simulé de l'antenne proposée par rapport à la fréquence.

Les figures III.18.a et III.18.b représentent les diagrammes de rayonnement 2D dans le plan E et le plan H aux fréquences de résonance 2,4 GHz et 5,8 GHz respectivement. On voit que l'antenne rayonne de manière bidirectionnelle à la fréquence 2,4 GHz dans les deux plans E et H, et fournit un diagramme de rayonnement quasi-omnidirectionnel pour la fréquence 5,8 GHz.

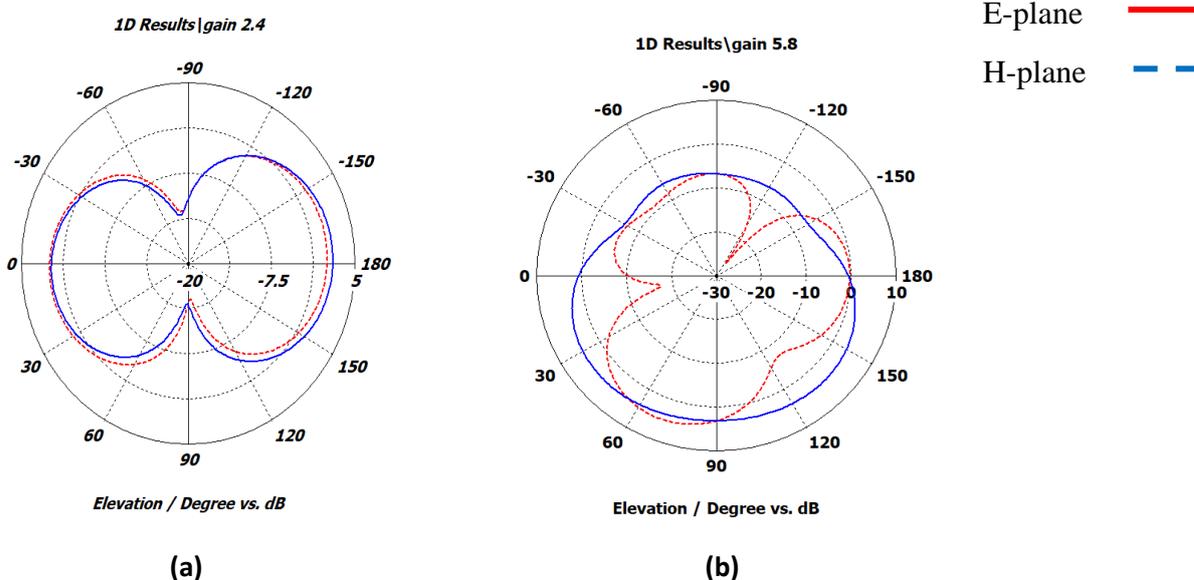


Figure III.18. Diagramme de rayonnement 2D simulé à 2,4 et 5.8 GHz de l'antenne proposée.

Les figures III.19 montrent les distributions de courant simulées aux fréquences 2,4 GHz et 5,8 GHz. On constate que le courant est concentré au bordure de la ligne micro-ruban et autour de la fente. Une concentration plus dense du courant est observée à 2,4 GHz.

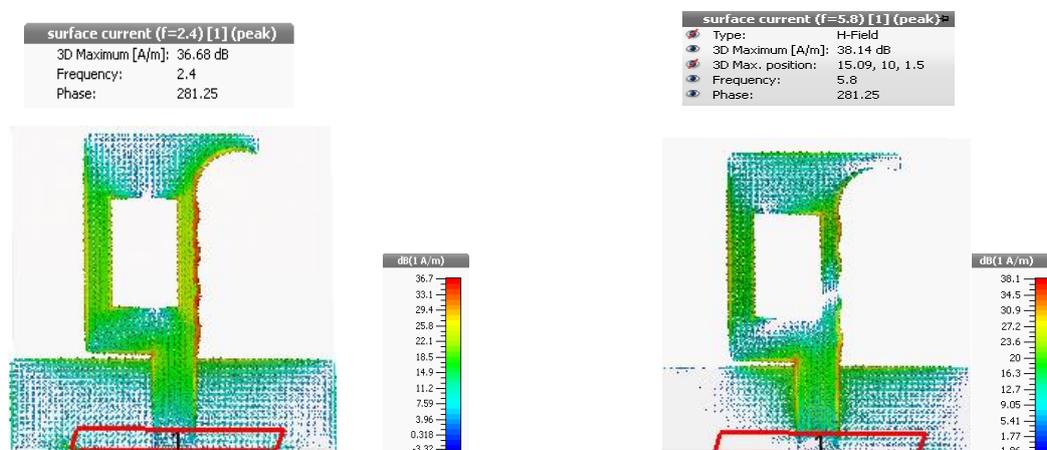


Figure III.19. Distribution du courant de l'antenne proposée à 2,4 GHz et 5.8 GHz.

III.7.4. Conception d'antennes Tri-bandes pour lecteur RFID

La conception d'antennes micro rubans multi bandes est un réel défi. Nous allons présenter dans cette partie une nouvelle antenne capable de fonctionner en trois bandes de fréquences. La conception de cette antenne a été élaborée en trois étapes. Tout d'abord, nous allons simuler une antenne patch rectangulaire classique (Ant1) qui résonne à la fréquence de bande inférieure, à savoir la fréquence 867 MHz, et qui est conçue à l'aide du logiciel CST Microwave Studio. Ensuite, pour ajouter la fréquence de résonance de la deuxième bande à des fréquences plus élevées, trois petits patches en demi-cercle de rayon « r » ont été retirés un par un du coin inférieur droit du patch rectangulaire. Pour obtenir la fréquence de résonance de la troisième bande, deux autres patches demi-cercle ont également été retirés du même coin du patch et une fente rectangulaire de géométrie optimale a été gravée horizontalement à un emplacement approprié sur le patch rayonnant. Une fois les fréquences de résonance des bandes souhaitées atteintes, une autre fente rectangulaire a été insérée verticalement dans le patch rayonnant afin d'ajuster chaque fréquence de résonance en utilisant la technique de troncature exactement au centre des bandes souhaitées (figure III.20). Afin de valider la conception et les résultats simulés obtenus à partir du logiciel CST Microwave Studio, un prototype de l'antenne proposée a été fabriqué et sa perte de retour a été mesurée à l'aide de l'analyseur de réseau vectoriel Agilent RF, comme illustré à la figure III.21.

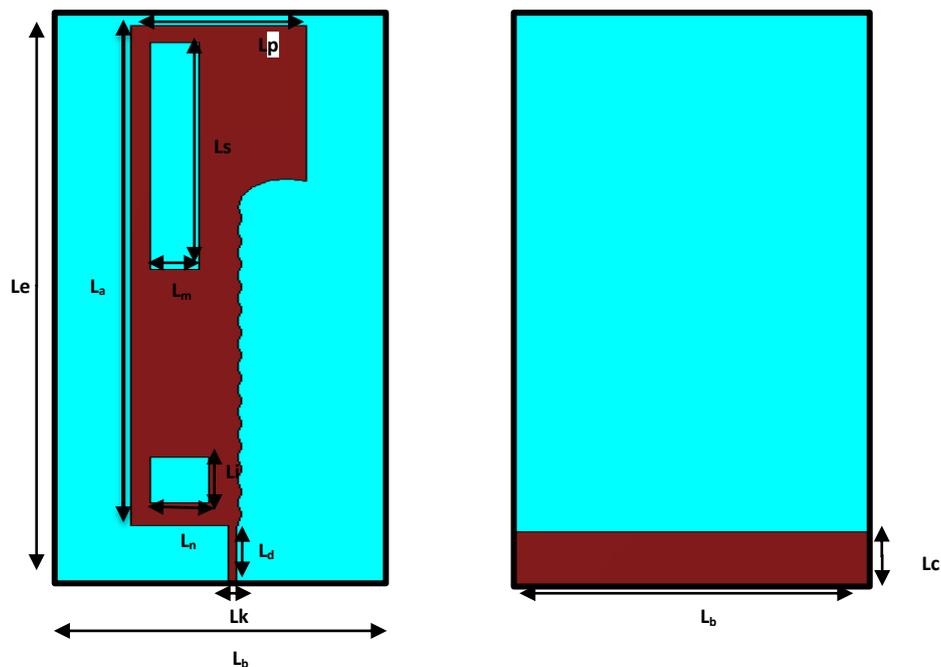


Figure. III.20 Géométrie de l'antenne Tri-bandes proposée.

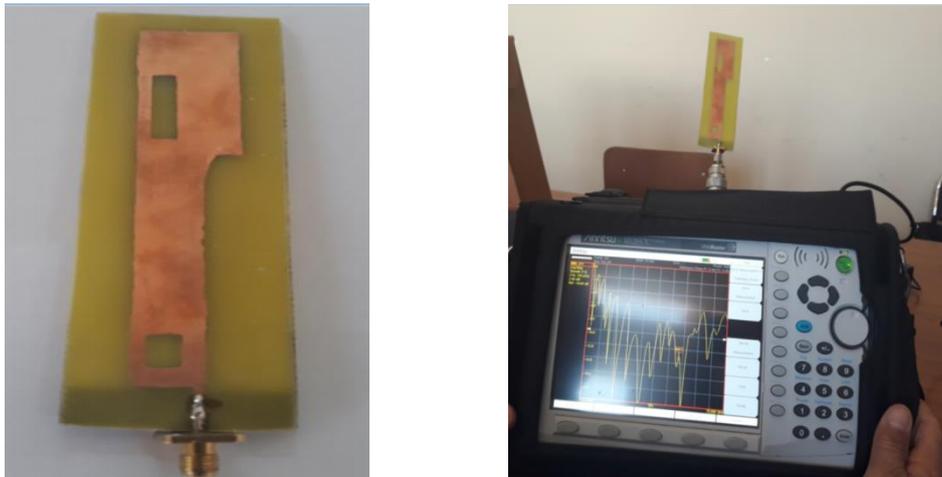


Figure III.21 L'antenne Tri bande fabriquée. (a) Vue de face, (b) Vue dessus.

Tableau III.5. Paramètres de conception de l'antenne tri-bande proposée.

Dimensions	Valeurs (mm)
L_a	98
L_b	34
L_c	9
L_d	10
L_e	93
L_f	3
L_m	5
L_n	6
L_k	1
L_s	20
L_p	20
L_i	8

Le résultat de la simulation du coefficient de réflexion (S_{11}) de notre antenne tri-bande est illustré à la figure III.22. Comme on peut le remarquer sur cette figure, l'antenne résonne simultanément aux trois fréquences de résonance souhaitées, 867 MHz, 2,45 GHz et 5,8 GHz, avec des valeurs de -11,5 dB, -14,80 dB et -21 dB respectivement. On peut également remarquer que l'antenne présente une bonne caractéristique d'adaptation

d'impédance à l'intérieur des trois bandes de résonance. Pour la première fréquence 867 MHz, l'antenne couvre des fréquences de 867 MHz à 919 MHz avec une bande passante de 52 MHz. La bande passante autour de la deuxième fréquence 2,4 GHz est d'environ 490 MHz (de 2 à 2,49 GHz). Et à la troisième résonance 5,8 GHz, l'antenne couvre des fréquences de 5,25 GHz à 6,21 GHz avec une bande passante de 960 MHz. Les résultats simulés répondent bien aux exigences en bande passante pour les applications RFID. Le tracé du coefficient de réflexion mesuré et simulé, pour la gamme de fréquences de 0 GHz à 15 GHz, est illustré aussi sur la figure III.22. Les résultats mesurés et simulés montrent une bonne concordance pour les trois bandes de fréquences de fonctionnement.

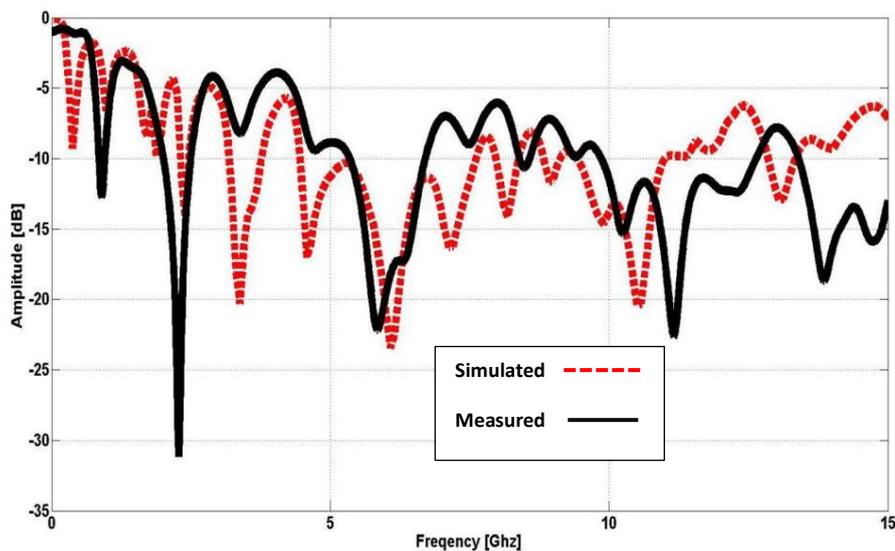


Figure.III.22. Coefficient de réflexion mesurée et simulée de l'antenne tri-bande.

Les figures III.23 montrent les diagrammes de rayonnement 3D simulés en champ lointain (en dB) pour le gain et la directivité de l'antenne tri-bande à trois fréquences de résonance de 867 MHz, 2,4 GHz et 5,8 GHz. On observe à partir de ces figures que le rayonnement diffère dans le plan de rayonnement et est quasi-omnidirectionnel pour les trois bandes de fréquences. Par conséquent, l'antenne proposée a de bonnes caractéristiques de rayonnement avec un gain acceptable dans les deux plans principaux (plan E et plan H).

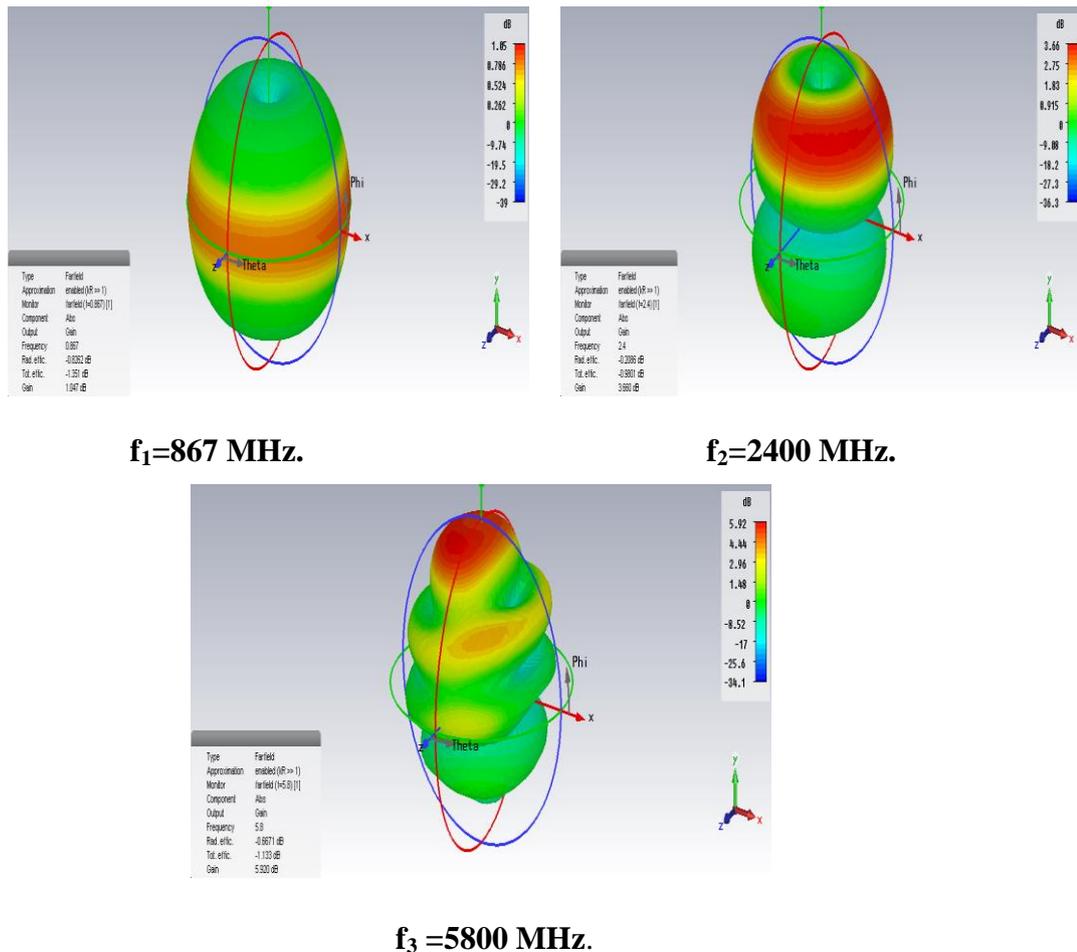


Figure III.23 Diagramme de rayonnement de l'antenne tri-bande aux fréquences (a) 867 MHz (b) 2,4 GHz (c) 5,8 GHz.

La figure III.24 montre le gain simulé en fonction de la fréquence de l'antenne tri-bande proposée. A partir de cette figure, on peut noter que le gain est positif dans les trois bandes souhaitées et varie entre 1,047 dBi et 5,91 dBi de 867 MHz à 5,8 GHz. Le gain maximum, entre les trois fréquences, est obtenu pour la fréquence de 5,8 GHz.

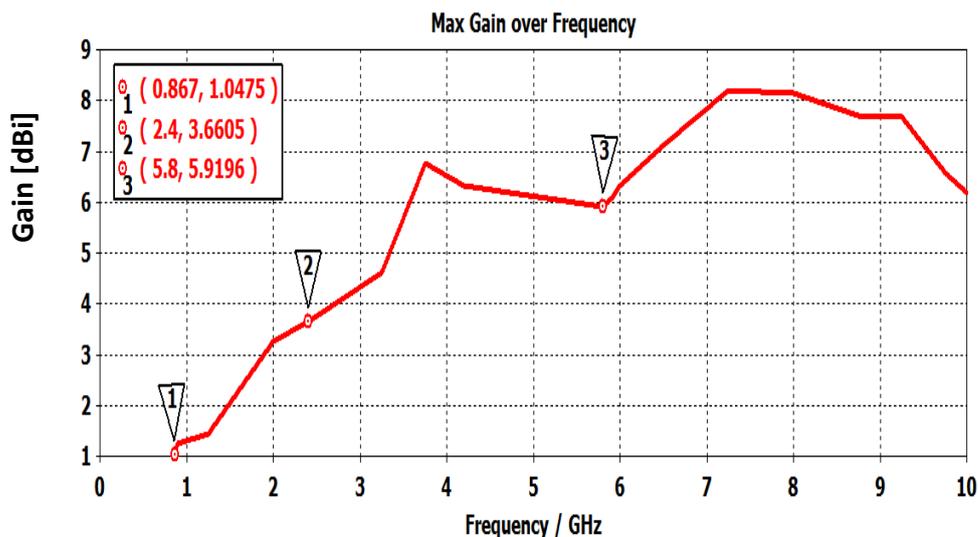


Figure III.24 Gain simulé en fonction de la fréquence de l'antenne tri-bande proposée.

III.8. Conclusion

Le troisième chapitre a été consacré à la conception de deux types d'antennes destinées à des applications lecteur RFID. Une nouvelle antenne RFID UHF lecteur en champs proche opérant à la bande ISM UHF 866 MHz a été présentée avec utilisant la technique des coins tronqués et des fentes rectangulaires dans le patch, de bonnes performances ont été obtenues en termes de coefficient de réflexion (S11), de bande passante, de gain, de diagrammes de rayonnement et de rapport d'onde de tension (VSWR). Pour la deuxième antenne, nous avons présenté une nouvelle conception d'antenne RFID lecteur tri-bande. Antenne dipôle proposé est conçue pour fonctionner aux fréquences 0,867 GHz, 2,4 GHz et 5,8 GHz pour les applications en bande ISM en champ lointain. Cette antenne a été mesurée au niveau laboratoire LTT de l'université de Tlemcen en utilisant un analyseur de réseaux. Les mesures effectuées sont en adéquation avec les résultats de simulation, ceci nous a permis de valider les résultats obtenus.

Référence

- [1] A.Coelho « Conception d'antennes et méthode de caractérisation des systèmes RFID UHF en champ proche et en champ lointain» Université de Grenoble, Soutenu en 07 octobre 2015.
- [2] M.Khaldi « Conception et implémentation du système « Radio Frequency Identification» à l'aide d'une carte Arduino et lecteur RFID» Université Djilali Bounaama Khemis Miliana, soutenu en 2017.
- [3] F.Z.GOURARI'' Étude et Conception d'antennes RFID UHF -modèle électrique et miniaturisation''Université Aboubakr Belkaïd, soutenue en 2018.
- [4] M. Daiki'' Contribution au développement d'antennes lecteurs champ proche pour les systèmes RFID UHF passifs'' Laboratoire LCIS de l'École Doctorale EATS a Université de Grenoble, Thèse soutenue publiquement le « 17 Mars 2015.
- [5] A.Souza '' Conception d'antennes et méthode de caractérisation des systèmes RFID UHF en champ proche et en champ lointain '' Laboratoire IMEP-LAHC en collaboration avec le laboratoire nationale de métrologie et d'essais dans l'École Doctorale EEATS a Université de Grenoble, Soutenu le 07 octobre 2015
- [6] M.DHAOUADI'' Conception et optimisation des antennes RFID UHF en vue d'améliorer la fiabilité des systèmes RFID'' Ecole Supérieure des Communications de Tunis, soutenu en 2014.
- [7] I.FAUGERAS ''Couplage inductif multi-antennes : application au transfert d'énergie et d'informations pour un dispositif d'identification radiofréquence ''Université de LILLE 1, soutenu le 26 janvier 1999.
- [8] A.Bouchouareb «L'identification par radio fréquence principe et applications» École de technologie supérieure, Montréal QC, Novembre 2007.
- [9] Rami KHORI'' Modelisation comportementale en VHDL-AMS du lien pour simulation et l'optimisation des systemes RFID UHF et micro-ondes ''institut national de Grenoble, soutenu en 2010.
- [10] F.Z.Marouf « Etude et conception d'antenne imprimé identification radio fréquence RFID UHF »Université de Tlemcen, soutenue en 2013.
- [11] A.Vena '' Contribution au développement de la technologie RFID sans puce à haute capacité de codage '' Université de Grenoble, soutenue en 28 Juin 2012,

Chapitre IV

**Conception d'antennes TAG RFID
Passif**

Présentation du chapitre

Le monde progresse avec de grandes avancées dans l'application de la technologie portable (wearable) sur le système RFID Tag portables, afin de fournir des services améliorant la qualité de vie des êtres vivants.

L'objectif de ce chapitre est la conception de nouvelles antennes RFID Tag passifs dédiées aux applications portables intelligents. Elle peut fournir une nouvelle solution technique au problème d'identification. En effet, les informations sur les données personnelles combinées à l'analyse prédictive, peuvent créer un système de suivi basé sur les données envoyées à l'antenne lecteur. Nous présenterons la méthodologie de conception et d'adaptation du tag RFID à l'antenne, suivie d'une analyse du problème d'adaptation en étudiant la variation de l'impédance d'entrée et du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence. Nous proposons dans notre étude deux antennes tag RFID selon deux techniques d'adaptation de la puce.

IV.1 Introduction

L'identification par radiofréquence (RFID) est une technologie florissante utilisée pour la méthode d'identification automatique des objets. Elle attire de plus en plus d'attention récemment. Un nombre considérable d'études ont été menées sur la conception de l'antenne d'étiquette RFID pour des applications pratiques. Lorsqu'elle est utilisée à une fréquence plus élevée telle que la bande UHF, l'antenne RFID a une portée de lecture plus longue, une vitesse de lecture plus rapide et une collision inférieure. Cependant, comme l'étiquette RFID est toujours directement attachée à des objets tels que des conteneurs métalliques ou des boîtes en plastique, les paramètres de l'antenne de l'étiquette peuvent être sérieusement détériorés. Comme l'impédance d'entrée, le diagramme de rayonnement, la bande passante et la perte de retour. Ces changements conduisent à de mauvaises performances de l'antenne Tag RFID.

Ces dernières années, l'application des systèmes passifs RFID fonctionnant dans la bande UHF a connu une croissance progressive. Les étiquettes RFID UHF sont généralement conçues pour fonctionner sur une seule bande de fréquences UHF. Cependant, en raison des réglementations différentes dans le monde, les bandes de fréquences UHF-RFID ont des emplacements différents dans le spectre et varient dans les différentes régions du monde. Par conséquent, la conception d'étiquettes RFID UHF capables de couvrir toutes les bandes réglementées, offrant des performances de lecture appropriées, devient un défi important. La création de plusieurs solutions ont été proposées pour concevoir des antennes UHF fonctionnant à la surface de certains objets. Étant donné que les objets métalliques sont très courants dans le transport, et que la surface métallique a l'impact le plus grave sur l'antenne UHF, la conception d'une antenne d'étiquette RFID UHF anti-métallique est le travail le plus crucial pour les ingénieurs d'antennes.

L'objectif principal de quatrième chapitre est la conception des antennes Tag RFID passif fonctionnement en bande UHF. Le chapitre présente une étude sur la méthodologie de conception et des techniques d'adaptation d'impédance, et les résultats de simulations avec le logiciel CST studio.

IV.2 Processus de conception d'une antenne Tag RFID

IV.2.1 Méthodologie de conception d'antenne Tag RFID

L'utilisation de logiciels de simulation électromagnétique est incontournable dans la conception d'antennes. Il permet de réaliser l'optimisation des antennes aux paramètres désirés. Cette étape peut être très coûteuse en termes de temps et de ressources. La méthodologie de conception passe par plusieurs étapes, comme est illustrée sur la Figure IV.1 Plusieurs étapes sont nécessaires [1] :

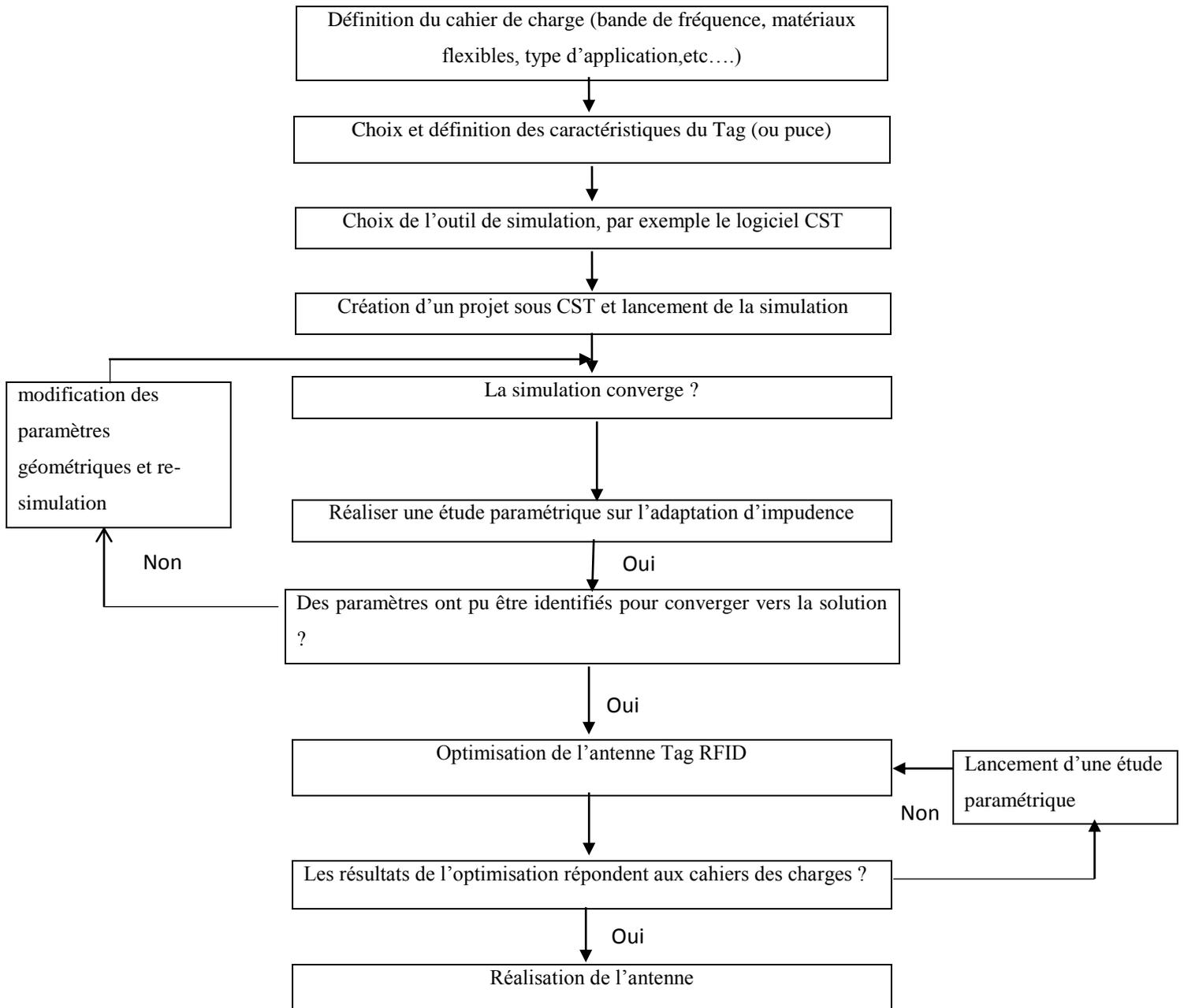


Figure IV.1. Méthodologie de Conception d'une antenne Tag RFID [1].

IV.3 Techniques d'adaptation d'un tag RFID

L'impédance d'entrée d'une puce RFID à l'état de repos correspond à l'impédance de son circuit d'alimentation transformant l'énergie radiofréquence en énergie continue. Le premier avantage de l'adaptation d'impédance entre l'antenne du tag et la puce est de récupérer suffisamment d'énergie pour générer une tension continue suffisante pour alimenter la puce RFID. Une puce RFID (ou chip RFID) peut être modélisée électriquement, par un circuit série ou parallèle comme représenté par la Figure IV.2 [2-3].

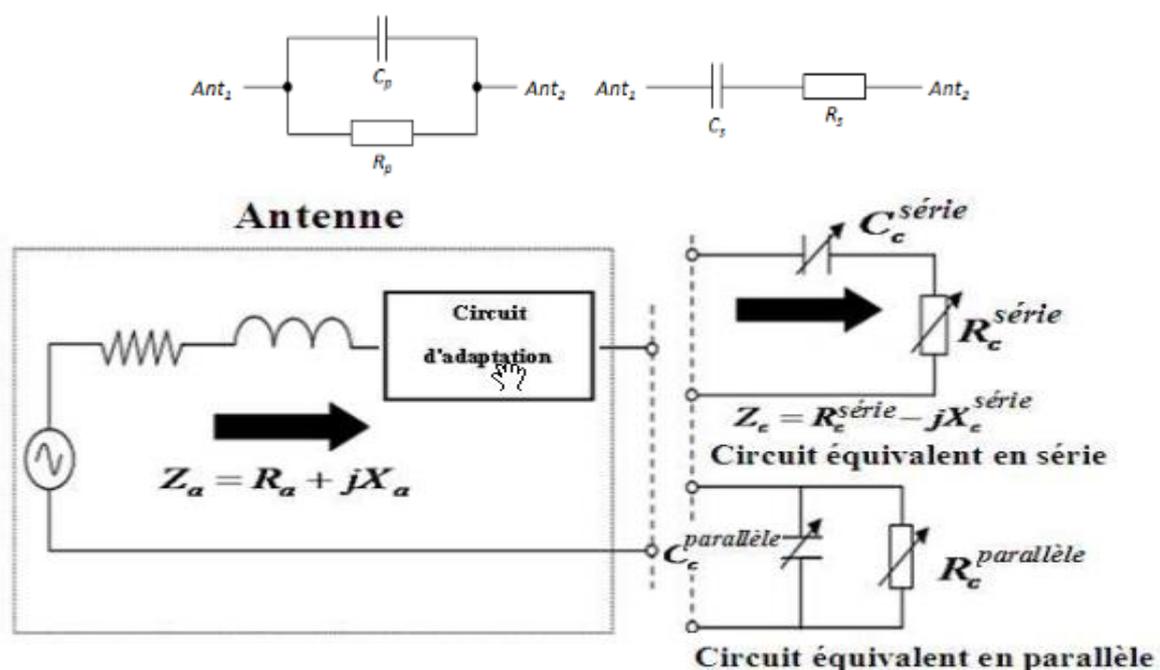


Figure. IV.2. Modèle parallèle et modèle série de l'impédance d'entrée d'une puce RFID [3].

Pour des raisons de coût, l'adaptation d'une antenne de tags RFID ne peut être réalisée par l'adjonction d'éléments discrets. Il existe trois types de techniques d'adaptation pouvant être mise en œuvre : l'adaptation par éléments série, par éléments parallèles et par couplage magnétique. Nous trouvons d'autres techniques notamment présentés dans les références [4].

IV.3.1 L'adaptation par éléments série

L'adaptation d'une antenne peut être réalisée par l'adjonction d'un élément inductif en série tel qu'illustré sur la figure IV.3. Ce méandre apporte un effet inductif permettant l'adaptation de l'antenne aux caractéristiques de la puce. Ce type d'adaptation présente l'avantage de pouvoir diminuer la taille totale de l'antenne par son repliement [4,5].

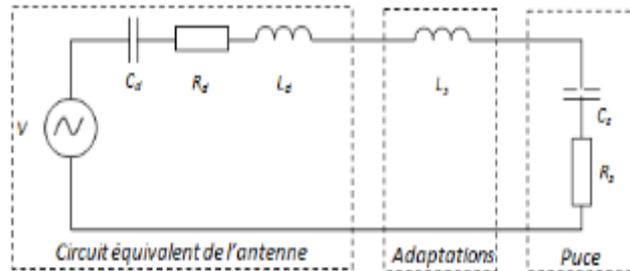


Figure. IV.3. Modèle circuit d'un tag RFID constitué d'une antenne dipôle adaptée par une inductance série [2].

IV.3.2 L'adaptation par éléments parallèles

Une autre méthode permettant de réaliser l'adaptation est de placer un élément inductif en parallèle avec le port de l'antenne figure IV.4 [6].

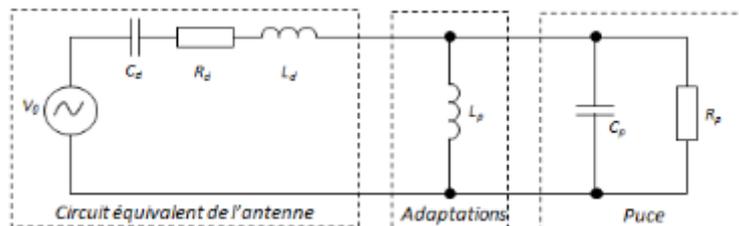


Figure. IV.4. Modèle du circuit d'un tag RFID constitué d'une antenne dipôle adaptée par une inductance parallèle.

IV.3.3. L'adaptation par couplage

La dernière méthode consiste à réaliser l'adaptation par couplage magnétique tel qu'illustré sur la figure IV.5. La puce RFID est connectée à une boucle elle-même couplée à l'antenne. En modifiant le couplage entre l'antenne et la boucle, il est alors possible de réaliser l'adaptation d'impédance. Ce type d'adaptation présente plusieurs intérêts. Dans un

premier temps La boucle permet d'optimiser le fonctionnement du tag en champ proche. Dans un second temps, ce type d'antenne peut permettre d'obtenir un coût réduit du tag en permettant la réalisation de la boucle et de l'antenne séparément évitant ainsi de réaliser la connexion par procédé flip-chip de la puce à l'antenne directement [7].

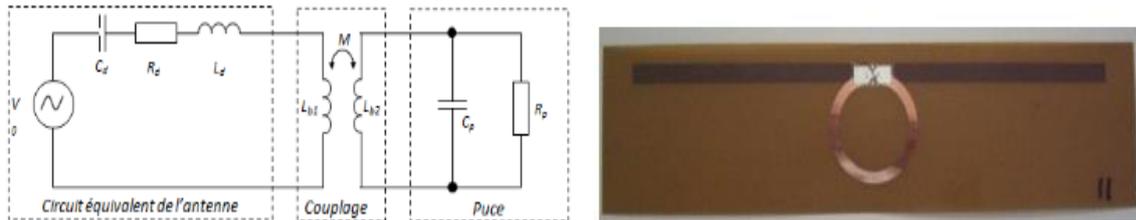


Figure. IV.5.Modèle circuit d'un tag RFID constitué d'une antenne dipôle couplée à une boucle inductive [2].

IV.4 Conception d'antennes

IV.4.1 Antenne dipôle alimenté par couplage

Nous proposons une nouvelle géométrie d'antenne Tag RFID dipôle adaptée à une puce RFID dont l'impédance complexe est $Z = (132-j165)$. L'antenne dipôle dédiée à l'application RFID UHF passif fonctionnant à la fréquence $f=830$ MHz. Elle est conçue sur un substrat FR4 leur caractéristique $\epsilon_r = 4.3$, $\text{tg}(\delta) = 0.025$ et l'épaisseur $h = 0.8$ mm. La simulation a été effectuée sous le logiciel CST. Les dimensions de l'antenne Tag dipôle sont présentées dans le tableau IV.1.

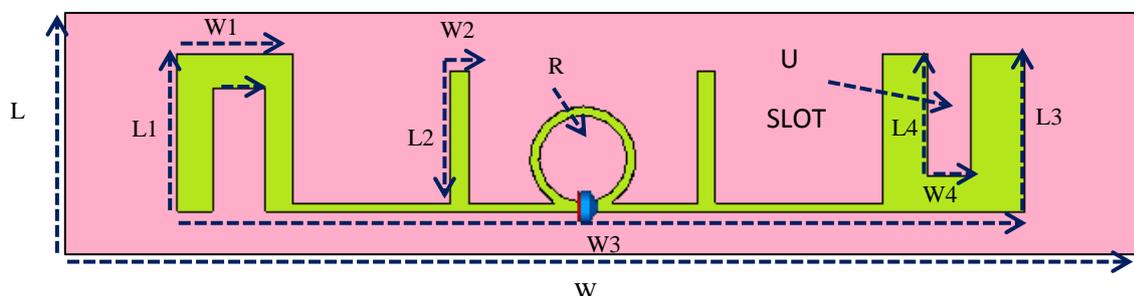
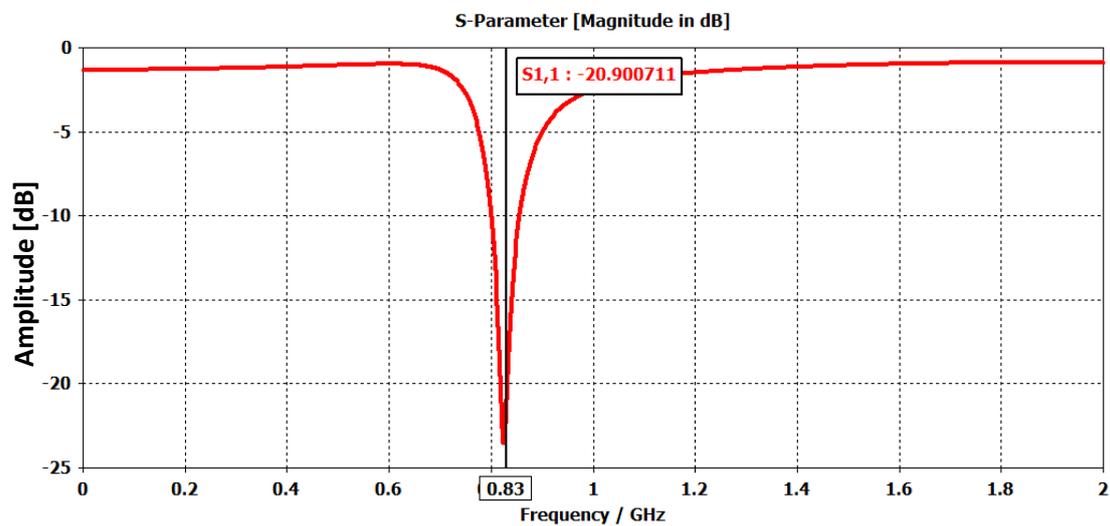


Figure. IV.6. Géométrie d'antenne dipôle RFID propose.

Tableau IV.1. Paramètres de conception de l'antenne proposée.

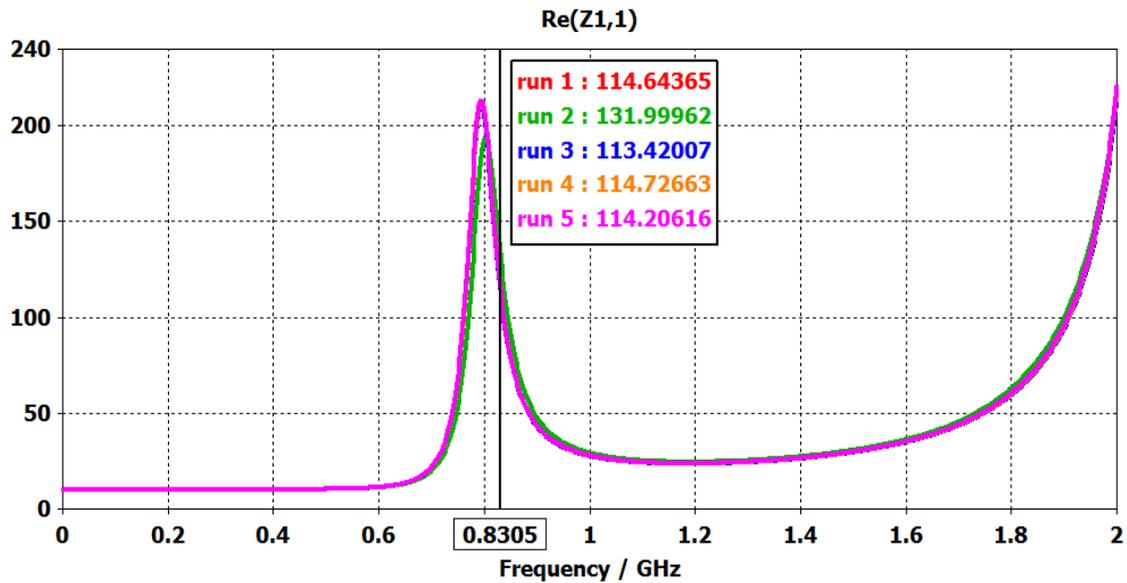
Dimensions	Valeurs (mm)
L	130
W	30
L1	18
W1	13
L2	15
W2	2
L3	18
W3	94
L4	15
W4	5
R	6

Les résultats de simulation de l'antenne dipôle RFID UHF sont respectivement représentés sur les figures IV.7 et IV.8, dans la gamme de fréquence [0- 2 GHz].

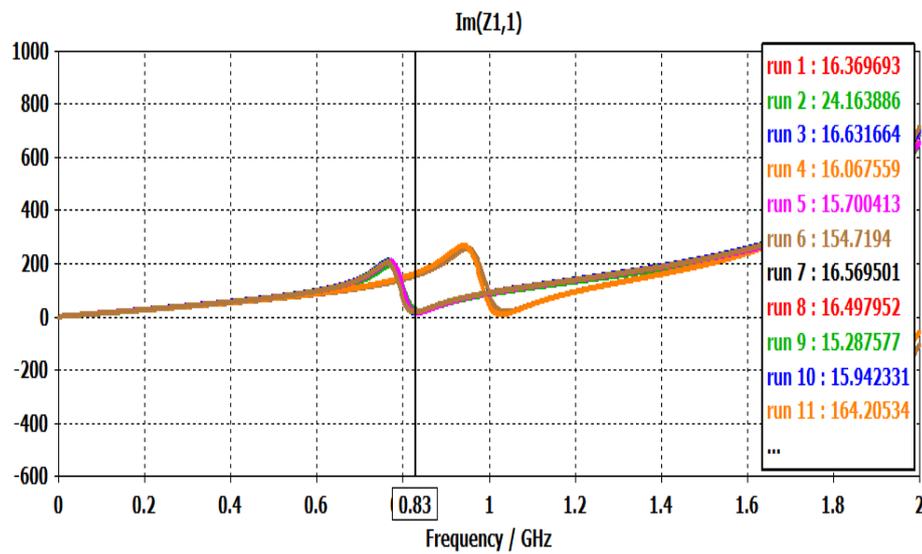
**Figure. IV.7.** Coefficient de réflexion de l'antenne dipôle proposé.

La figure IV.7 présente le coefficient de réflexion de l'antenne dipôle et nous constatons que la résonance de l'antenne est égale à 830 MHz, une meilleure adaptation a été enregistrée à -20.90 dB.

Dans la figure IV.8, Nous avons réalisé une optimisation des paramètres de l'antenne dipôle pour arriver à une adaptation de l'impédance d'entrée de l'antenne en terme de la partie real et la partie imaginaire, qui doit être égale au conjugué de celle de la puce.



(a) Partie real



(b) Partie imaginaire

Figure IV.8. La variation de l'impédance d'entrée de l'antenne RFID dipôle proposé.

La figure IV.9 présente la variation de VSWR en fonction de la fréquence. La valeur idéale du rapport VSWR est égale à 1.20, et elle est obtenue à la fréquence $f=830$ MHz.

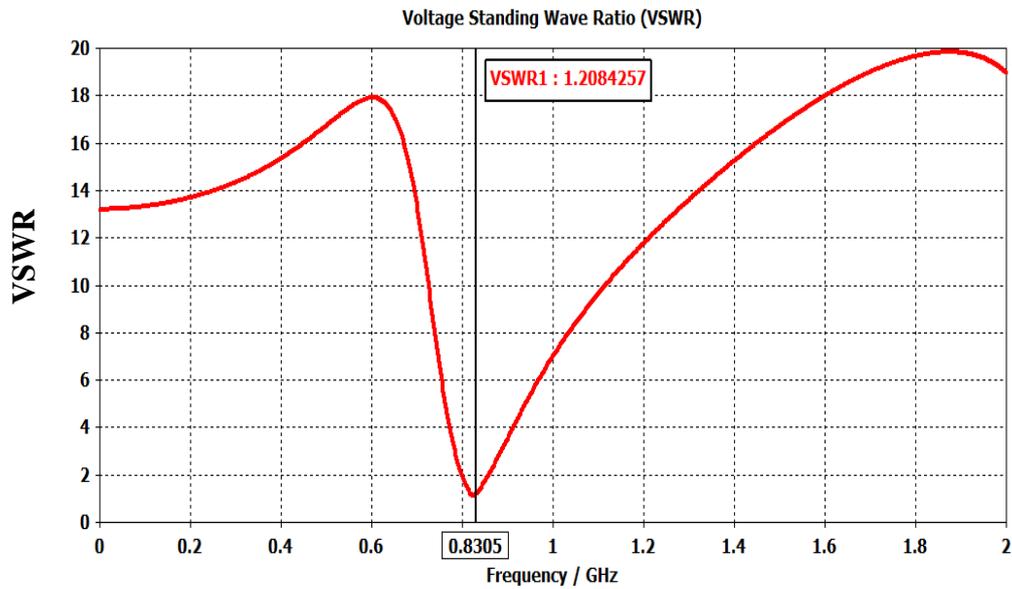


Figure IV.9. VSWR de l'antenne RFID dipôle proposée.

Le diagramme de rayonnement de l'antenne pour la fréquence de résonance désiré à 830 MHz est présenté à la figure IV.10. L'antenne présente un rayonnement quasi-omnidirectionnel avec un gain acceptable de 1.44 dBi.

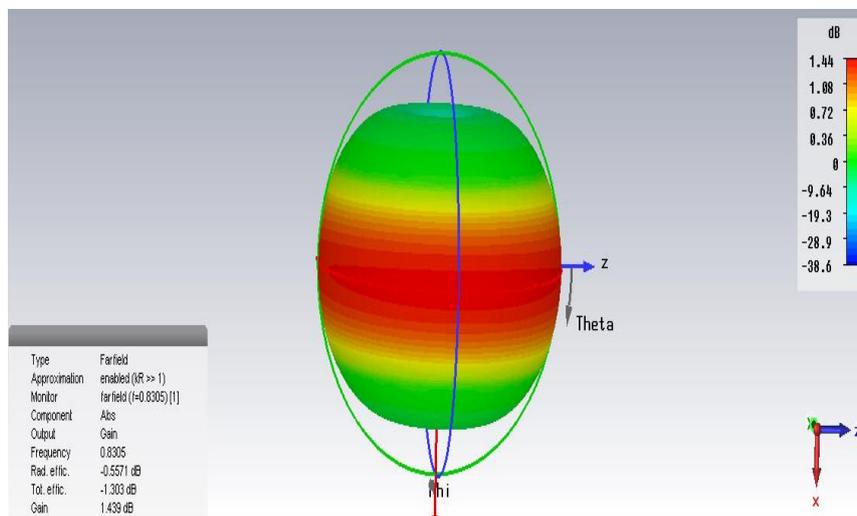


Figure IV.10. le diagramme de rayonnement en 3D.

Sur la Figure IV.11, nous avons présenté les diagrammes de rayonnements polaires dans les plans E et H. A cette fréquence 830 MHz, le rayonnement est quasi-omnidirectionnel

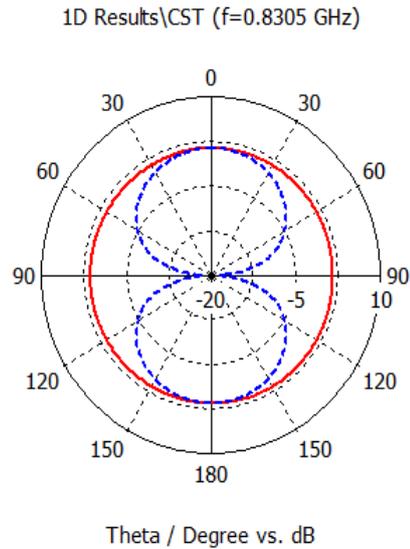


Figure IV.11. Le diagramme de rayonnement en 2D.

IV.4.2 Antenne tag RFID de forme spirale alimentée par T-match

Une nouvelle géométrie d'antenne TAG de forme spirale adaptée par la technique T-match est aussi proposée. L'antenne spirale a été introduite au sein de la classe des antennes indépendantes de la fréquence. La bande de fréquence d'une antenne spirale est liée à la longueur des brins rayonnants [8]. Le prototype proposé dépend des paramètres géométriques de l'étiquette et de la technique d'optimisation [9].

L'antenne RFID Tag spirale adaptée avec la technique T-match est présentée dans la Figure IV.12. Elle est conçue sur un substrat souple d'une permittivité relative $\epsilon_r=4.32$ et d'une constante de pertes $\delta=0.0018$, avec une épaisseur égale à 1.5 mm. Les dimensions de l'antenne Tag spirale proposé est présentée dans le tableau IV.2.

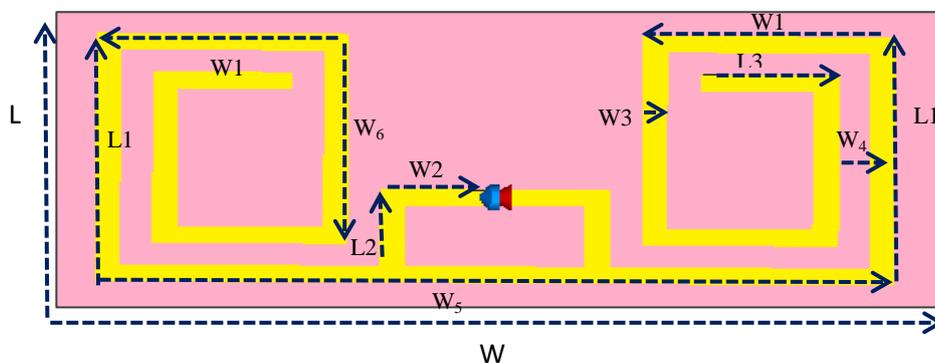
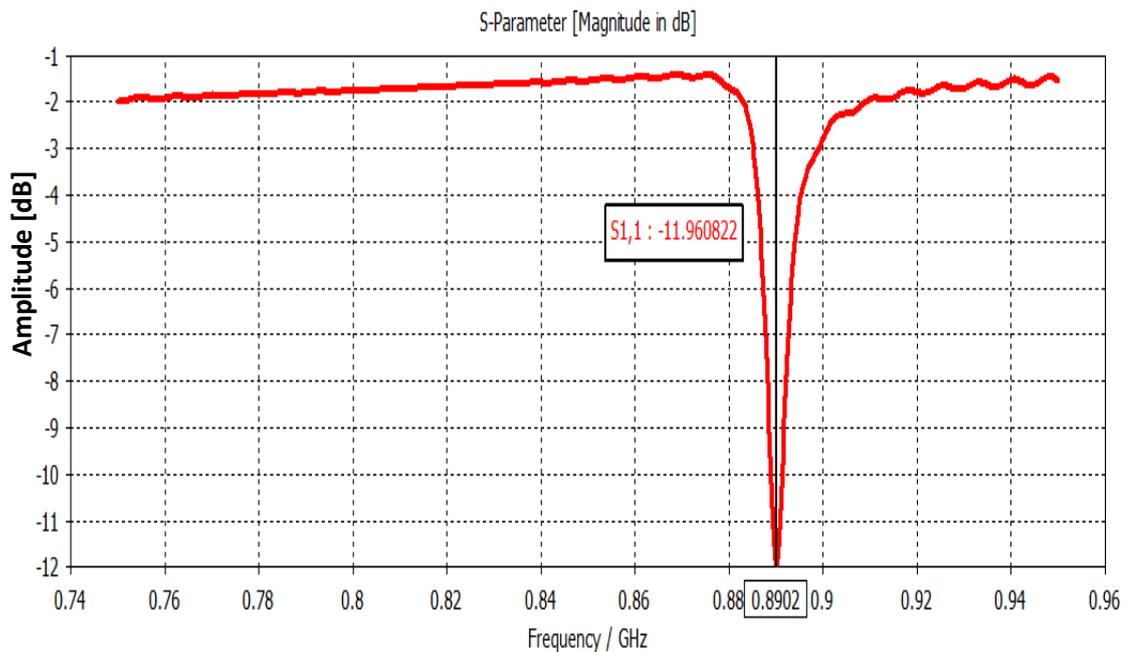


Figure. IV.12. Géométrie d'antenne RFID spirale adapté avec la technique T-match.

Tableau IV.2 Paramètres de conception de l'antenne proposée.

Dimensions	Valeurs (mm)
L	20
W	30
L1	15
W1	10
L2	5
W2	5.5
L3	7
W3	1
W4	1.5
W5	20
W6	8.5

Le coefficient de réflexion de l'antenne RFID spiral, fonctionnant à la bande UHF 890 MHz, est représenté à la figure IV.13. Les résultats obtenus avec logiciel CST montrent une meilleure précision sur l'adaptation de l'antenne avec un pic à -11.81 dB pour une fréquence de résonance de 890 GHz.

**Figure. IV.13.** Coefficient de réflexion de l'antenne spiral.

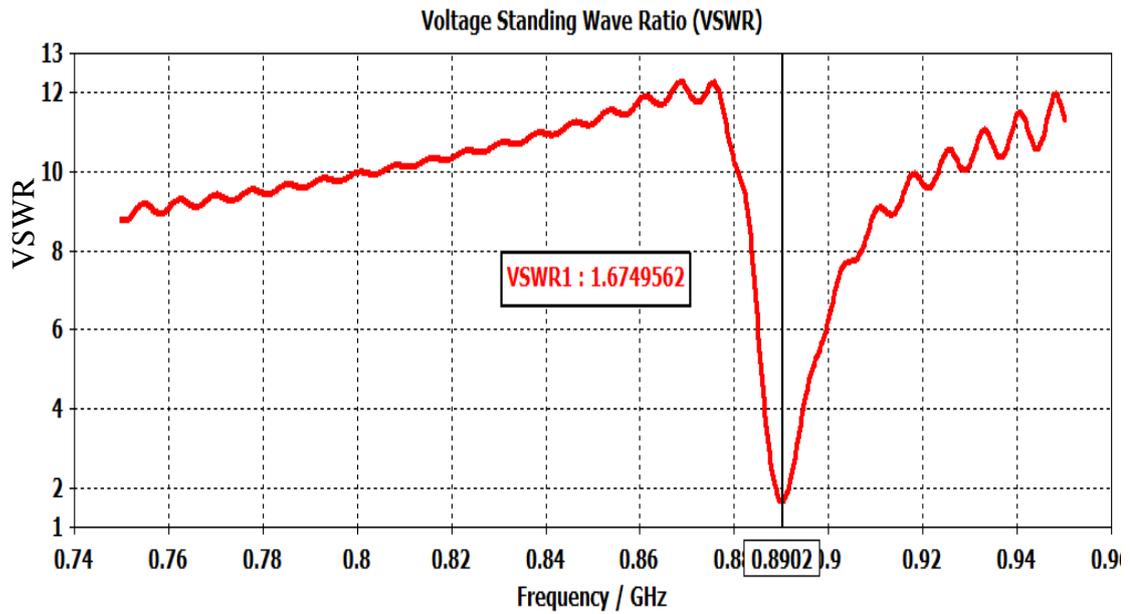


Figure. IV.14. VSWR de l'antenne RFID spiral proposée.

La figure IV.14 présente la variation du VSWR en fonction de la fréquence. La valeur idéale du rapport VSWR est égale à 1.67, et elle est obtenue à la fréquence $f=890$ MHz.

Les diagrammes de rayonnement simulés de l'antenne Tag RFID spiral opérant à 0.89 GHz sont représentés sur les figures IV.15 et IV.16. Nous constatons que le gain est de 1.75 dBi et que le diagramme de rayonnement est bidirectionnel dans le plan E et le plan H.

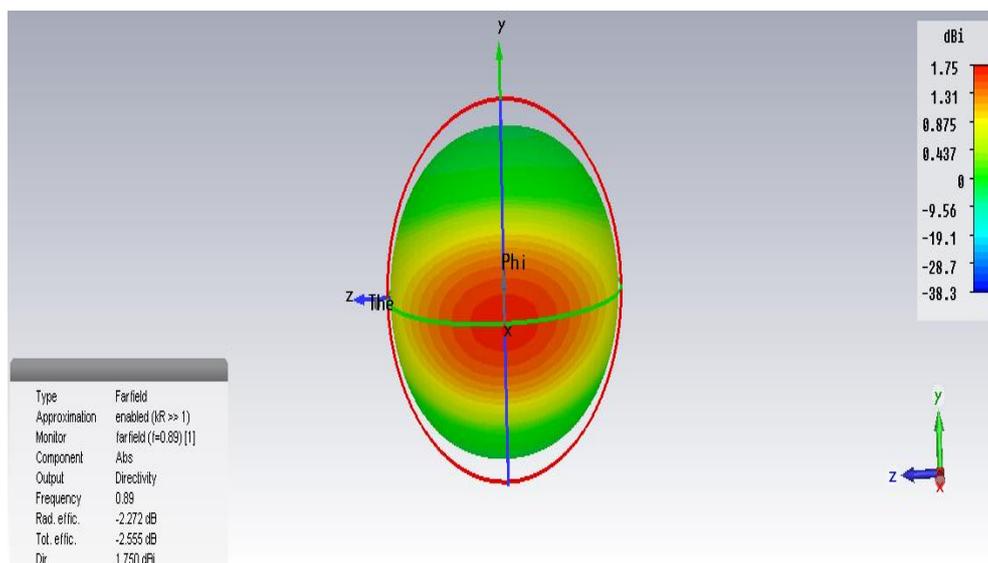


Figure IV.15. Diagramme de rayonnement en 3D de l'antenne RFID spiral.

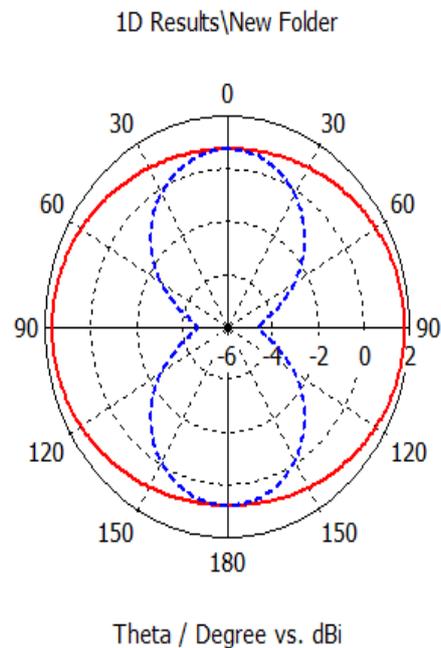


Figure IV.16. Diagramme de rayonnement en coordonnées polaires 2D.

IV.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la conception de deux antennes tags RFID UHF passif plus particulièrement à leurs adaptations d'impédance. Nous avons étudié l'adaptation d'impédance d'une antenne dipôle RFID avec couplage inductif, et le cas d'une antenne spirale avec techniques d'adaptations T match conçue en utilisant un substrat souple portable (wearable), et dédié aux applications UHF passif opérant à la bande 890 MHz.

Les résultats de simulation sont effectués sous le logiciel CST studio suite, et sont très encourageants en termes de coefficient d'adaptation S11, VSWR, Gain, et du diagramme de rayonnement.

Reference

- [1] A.Ghiotto «Conception d'antennes de tags RFID UHF, application a la réalisation par jet de matière » polytechnique de Grenoble, soutenu le 26 Novembre 2008.
- [2] A.Ghiotto, T. Vuong, K.Wu, S. Tedjini'' Adaptation d'impédances d'antennes aux impédances de circuits de tags RFID UHF passifs '' 16 èmes Journées Nationales Micro-ondes 27-28-29 Mai 2009 Grenoble
- [3] M.DHAOUADI'' Conception et optimisation des antennes RFID UHF en vue d'améliorer la fiabilité des systèmes RFID'' Ecole Supérieure des Communications de Tunis, soutenu en 2014.
- [4] G. Marrocco, ''the Art of UHF RFID Antenna Design Impedance Matching and Size-Reduction Techniques'', IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 50, No 1, February 2008.
- [5] F.Z.Marouf « Etude et conception d'antenne imprimé identification radio fréquence RFID UHF »Université de Tlemcen, soutenue en 2013.
- [6] M. Daiki'' Contribution au développement d'antennes lecteurs champ proche pour les systèmes RFID UHF passifs'' Laboratoire LCIS de l'École Doctorale EEATS a Université de Grenoble, Thèse soutenue publiquement le « 17 Mars 2015.
- [7] A.Vena « Contribution au développement de la technologie RFID sans puce à haute capacité de codage » Université de Grenoble, soutenue en 28 Juin 2012.
- [8] F.Z.GOURARI '' Étude et Conception d'antennes RFID UHF -modèle électrique et miniaturisation'' Université Aboubakr Belkaïd, soutenue en 2018.
- [9] A.BOU-EL-HARMEL, A.BENBASSOU, J.BELKADID '' Adaptation d'impédance d'antennes dipôles planaires des tags RFID UHF par l'application de la technique T-match''Conference: WITS, April 2014.

Conclusion Générale

Dans ce travail de thèse, la conception et la réalisation d'antennes RFID wearable passifs en utilisant des substrats souples dans la bande ISM a été présentée et discutée.

La composition d'un système RFID d'étiquettes de radiofréquence est représenté d'un côté par un lecteur et d'un autre côté d'un tag RFID. Une étiquette RFID typique consiste en une antenne et un circuit intégré (puce). La puce est généralement placée au centre de l'antenne de l'étiquette. L'impédance complexe de l'antenne tag RFID a une partie imaginaire généralement négative et beaucoup plus grande que celle de la partie réelle. Au cours de la conception de l'antenne d'étiquette RFID, la conjugaison inductive conjuguée entre l'antenne et la puce est l'un des facteurs importants qui déterminent les performances du système RFID. La condition d'adaptation affecte directement la distance maximale à laquelle un lecteur RFID peut détecter le signal rétrodiffusé à partir de l'étiquette.

La première partie de cette thèse était consacrée à une étude comparative entre les différents textiles portables de l'antenne patch micro ruban RFID pour les applications dans la bande ISM. Les résultats de simulation obtenus, sous le logiciel CST, montrent bien la possibilité d'application de ces matériaux dans la conception d'antennes. La difficulté majeure réside dans la réalisation pratique de ces antennes.

Dans la deuxième partie, nous nous sommes intéressé à la conception d'antennes pour le lecteur RFID. Nous avons présenté deux exemples d'antennes pour des applications en champ proche et en champ lointain. Une première antenne fonctionnant en champs proche dans la bande [860-960 MHz] est proposée. Une deuxième antenne RFID bi-bande fonctionnant en champs lointain à la bande ISM [2.4-2.45 GHz] et [5.8-5.85 GHz] est aussi proposée.

Dans la troisième partie, Nous sommes passé à la conception de nouvelles antennes RFID Tag passifs dédiées aux applications portables intelligents. Nous avons présenté la méthodologie de conception et d'adaptation du tag RFID à l'antenne, suivi d'une analyse du problème d'adaptation, et en étudiant la variation de l'impédance d'entrée et du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence. Nous avons alors proposé dans cette étude deux antennes tag RFID selon deux techniques d'adaptation de la puce. Les résultats obtenus sont très encourageants, ce qui nous a permis d'acquérir un savoir-faire dans ce domaine.

Conclusion Générale

En perspectives, nous envisageons :

- 1- La réalisation des différentes antennes proposée dans cette thèse.
- 2- Entamer des recherches sur les technologies RFID 4.0.
- 3- Proposition de nouveaux prototypes d'antennes sur de nouveaux substrats wearables.
- 4- Utilisation de nouvelles techniques pour l'amélioration de la porte du lecteur RFID (métamatériaux ou superstrats diélectriques).