

Table Des Matières

Dédicace	i
Remerciment	ii
Résumé.....	iii
Abstract.....	iv
Table des matières.....	v
Liste des Figures.....	viii
Liste des Tableaux.....	xi
Liste des Abréviations.....	xii
Introduction générale	1

Chapitre I : La technologie RFID

I.1 Introduction	3
I.2 Histoire de la technologie RFID et comparaison entre les technologies de l'identification disponibles.....	3
I.2.1 Historique	3
I.2.2 Code à barres et RFID	4
I.2.2.1 Code à barres	4
I.2.2.2 RFID.....	5
I.3 L'hierarchie et les régulations du système RFID.....	5
I.3.1 Composants fondamentaux du système RFID	5
I.3.1.1 Lecteur.....	6
I.3.1.2 Tag (ou Étiquette).....	8
I.3.1.3 Le middleware RFID	8
I.3.2 Classement des systèmes RFID.....	9
I.3.2.1 Le classement par la méthode de l'alimentation	10
I.3.2.2 Le classement par la programmation de la puce	13
I.3.2.2.1 Le tag à écriture unique (read-only - RO tag).....	13
I.3.2.2.2 Le tag à écriture unique et lecture multiple (Write Once Read Multiple – WORM tag)	13
I.3.2.2.3 Le tag à écriture/lecture multiple (Read/Write – RW tag).....	13
I.3.2.3 Classement par distance de communication.....	14
I.3.2.3.1 Système RFID en champ proche	14
I.3.2.3.1 Système RFID en champ lointain	14
I.3.3 Régulations des fréquences	16
I.3.4 Puissance autorisée.....	17
I.3.5 Les normes	18
I.4 La transmission.....	19
I.4.1 Transfert d'énergie	19
I.4.2 Communication entre lecteur et transpondeur	20

I.4.3	Technique de la modulation de charge.....	20
I.4.4	Mode de communication.....	20
I.4.4.1	Protocole TTF ou ITF	20
I.4.5	Les collisions.....	21
I.5	Performances du système	21
1.6	Les avantages de la technologie RFID dans la vie quotidienne	22
1.6.1	La RFID comme outil de paiement	22
1.6.2	La RFID dans les gestions de transport.....	23
1.6.3	La RFID et les documents d'identité.....	23
1.6.4	La RFID pour l'hôpital et l'implant RFID	24
1.6.5	La RFID pour tatouer les animaux domestiques et les logistiques.....	25
1.7	Les axes de recherche dans la technologie RFID	26
1.8	Conclusion.....	27

Chapitre II : Architecture d'antennes pour les tags RFID passifs

II.1	Introduction.....	28
II.2	Les paramètres fondamentaux d'une antenne	28
II.2.1	L'impédance	28
II.2.2	Le coefficient de réflexion et le coefficient de transmission	29
II.2.3	Électromagnétiques de RFID	30
II.2.4	Polarisation	31
II.2.5	La distance de lecture.....	32
II.3	La méthodologie de conception d'antenne des tags RFID UHF passif.....	33
II.3.1	Les contraintes pour la conception du tag RFID	34
II.3.1.1	La fréquence et la bande passante.....	34
II.3.1.2	La distance de lecture.....	35
II.4	Techniques d'adaptation d'impédance pour les tags RFID UHF passifs.....	35
II.4.1	T-match Structure	36
II.4.2	La boucle d'inductance à couplage mutuel.....	37
II.4.3	Structure de Nested-Slot	37
II.4.4	Structure Tip-loading	38
II.4.5	Dipôle replié.....	39
II.5	Simulation d'antennes des tags RFID UHF passif.....	39
II.5.1	Broad-band dipôle.....	39
II.5.1.1	Introduction.....	39
II.5.1.2	Conception de l'antenne	41
II.5.1.3	Simulation et résultats.....	43
II.5.1.3.1	Interprétation et comparaison entre les deux résultats	44
II.5.2	Étiquette du Dual-radiating-body RFID avec une directivité élevée.....	45
II.5.2.1	Simulation sous logiciel CST studio.....	46

II.5.3	Étiquette du micro ruban RFID pour l'opération de Sur-Métal	49
II.5.3.1	Conception de l'antenne	49
II.5.3.1.1	Simulation sous logiciel CST studio	50
II.6	CONCLUSION	52
Chapitre III : Simulation d'antennes tags commerciales		
III.1	Introduction	53
III.2	Les antennes dipôles	53
III.2.1	Dipôles imprimés.....	54
III.2.2	La résistance de rayonnement.....	55
III.3	Techniques de réduction de la taille	57
III.3.1	Méandre Dipôle	57
III.3.2	Configurations Inverted-F	59
III.4	Classification des étiquettes de RFID basées sur l'application	60
III.5	Simulation et conception d'antennes tags RFID	65
III.5.1	Antennes proposées	66
III.5.2	Simulations des antennes par le logiciel CST	70
III.5.2.1	Résultats de simulation	70
III.6	Conclusion.....	76
Chapitre IV: Conception d'un système RF RFID passif		
IV.1	Introduction	81
IV.2	Conception du système RF RFID.....	81
IV.2.1	Circuit du système RFID	81
IV.2.1.1	Conception du bloc modulateur d'un lecteur RFID	82
IV.2.1.1.1	Simulation d'une requête du lecteur	84
IV.2.1.2	Conception d'un tag RFID passif 900MHz.....	86
IV.2.1.2.1	conception de l'antenne	86
IV.2.1.2.2	Simulation du bloc redresseur	88
IV.2.1.2.2.1	Simulation du redresseur à diode simple	88
IV.2.1.2.3	Simulation du doubleur de tension	89
IV.2.1.2.4	Conception et simulation du bloc démodulateur	90
IV.2.1.2.5	Conception et simulation du bloc modulateur	92
IV.2.3	Synthèse du circuit RFID	93
IV.3	Conclusion.....	94
Conclusion générale.....		95
Bibliographie		96

Liste des Figures

Figure 1.1 : Un exemple de code à barres	4
Figure 1.2 : Des composants d'un tag RFID passif	5
Figure 1.3 : Éléments d'un système RFID	6
Figure 1.4 : Schéma synoptique fonctionnel d'un lecteur RFID (Front-end RF)	6
Figure 1.5 : Modulation type ASK dans un lecteur RFID	7
Figure 1.6 : Le rôle du middleware RFID	8
Figure 1.7 : Le classement des tags RFID	9
Figure 1.8 : Les méthodes de l'alimentation pour des tags	10
Figure 1.9 : Récapitulatifs des différents tags avec puce.	12
Figure 1.10 : Le champ magnétique du lecteur	14
Figure 1.11 : Spectre des fréquences RFID	17
Figure 1.12 : Le dispositif de paiement Pidion BIP-1300.....	22
Figure 1.13 : La RFID dans les transports en commun	23
Figure 1.14 : La RFID est présenté dans les documents d'identité.....	23
Figure 1.15 : Les technologies sans fil pour la gestion des patients au sein de l'hôpital et à la longue distance.....	24
Figure 1.16 : Suivre l'activité d'un chien à distance.....	25
Figure 1.17 : La RFID permet de faciliter la logistique.....	25
Figure 2.1 : Schémas équivalents d'une antenne en: (a) Transmission et (b) Réception.	29
Figure 2.2 : Différentes dispositions des tags dipolaires par rapport à la polarisation de l'antenne du lecteur.....	32
Figure 2.3 : Méthodologie de conception d'antenne des tags RFID UHF passifs.....	33
Figure 2.4 : Les influences de l'environnement sur l'onde électromagnétique selon les Différentes fréquences	34
Figure 2.5 : configuration T-match et le circuit équivalent.	36
Figure 2.6 : Le modèle de circuit équivalent de la configuration T-Match	36
Figure 2.7 : La boucle à couplage mutuel et le circuit équivalent.	37
Figure 2.8 : La configuration de Nested-slot	38
Figure 2.9 : Le dipôle raccourci par l'ajoutant des capacités aux bouts.	38
Figure 2.10 : a) Dipôle replié b) Tension en décomposant en modes différentiel et commun	39
Figure 2.11 : Représentation schématique d'un système RFID UHF	40
Figure 2.12 : (a) représentation schématique d'une étiquette RFID UHF, (b) Circuit équivalent mis en bloc d'éléments d'une étiquette RFID UHF	41
Figure 2.13 : Photographie de l'antenne d'étiquette réalisée	42

Figure 2.14 : La géométrie de l'étiquette proposée.	42
Figure 2.15 : l'antenne proposée en 3D par CST MWS.	43
Figure 2.16 : Tracé du coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence.	44
Figure 2.17 : Application de Tapis roulant de RFID.	45
Figure 2.18 : Disposition et photographie schématiques de l'antenne du dual-radiating-body RFID. ...	46
Figure 2.19 : l'antenne dual-radiating-body en 3D conçue sur CST MWS.	46
Figure 2.20 : coefficient de réflexion S_{11} de l'antenne.	47
Figure 2.21 Diagramme de rayonnement de l'antenne de dual-radiating-body en 2D (b) & 3D (a)	48
Figure 2.22 : Disposition et photographie schématiques de l'antenne du micro ruban RFID.	50
Figure 2.23 : Antenne H-shaped par logiciel CST.	50
Figure 2.24 : tracé de S_{11} en fonction de fréquence.	51
Figure 2.25 : Diagramme de rayonnement de l'antenne H-shaped.	52
Figure 3.1 : variété des étiquettes disponibles dans le commerce	53
Figure 3.2 : antenne dipôle.	54
Figure 3.3 : modèle de circuit simple d'antenne dipôle près de la résonance	54
Figure 3.4 : Relation entre cylindriques et de ruban dipôles	55
Figure 3.5 : Une antenne méandre ligne ($f = 915$ MHz) avec une alimentation de boucle à couplage inductif	56
Figure 3.6 : exemples des étiquettes tip-loaded capacitives	56
Figure 3.7 : exemple de l'étiquette of spiral-loaded	56
Figure 3.8 : la géométrie de la ligne antenne à méandre avec des spires multiples inégales.	57
Figure 3.9 : antenne de méandre- ligne equi-spaced ($f=953$ MHz) avec l'alimentation de T-match.	57
Figure 3.10 : antenne méandre ligne ($f = 915$ MHz) avec une alimentation de boucle à couplage inductif	58
Figure 3.11 : antenne méandre-ligne ($f=920$ MHz) d'A avec une barre de chargement.	58
Figure 3.12 : antenne multi-conducteurs ($f=900$ MHz) avec un double arrangement de T-match	58
Figure 3.13 : Une antenne méandre ligne en forme de texte ($f=870$ MHz) où sont obtenues les tours en attachant les lettres adjacentes du texte.	58
Figure 3.14 : Une étiquette méandre ligne multi-conducteurs ($f=900$ MHz) avec T-match de forme ...	59
Figure 3.15 : Antennes pliées ; les cercles indiquent la position où la puce est fixée. La droite a	59
Figure 3.16a : Dimension d'antenne A.	68
Figure 3.16b : Dimension d'antenne B.	69
Figure 3.16c : Dimension d'antenne C	69
Figure 3.16d : Dimension d'antenne D.	70
Figure 3.17a : structure de l'antenne A conçue par CST MWS	70
Figure 3.17b : structure de l'antenne B conçue par CST MWS	71
Figure 3.17c : structure de l'antenne C conçue par CST MWS.	71

Figure 3.17d : structure de l'antenne D conçue par CST MWS	71
Figure 3.18a : le coefficient de réflexion de l'antenne A	72
Figure 3.18b : le coefficient de réflexion de l'antenne B	72
Figure 3.18c : le coefficient de réflexion de l'antenne C	72
Figure 3.18d : le coefficient de réflexion de l'antenne D	73
Figure3.19a : diagramme de rayonnement 2D&3D (directivité) à f=915MHz pour l'antenne A.	73
Figure3.19b : diagramme de rayonnement 2D&3D (directivité) à f=950MHz pour l'antenne B	74
Figure 3.19c : diagramme de rayonnement 2D&3D (directivité) à f=915MHz pour l'antenne C	74
Figure 3.19c : diagramme de rayonnement 2D&3D (directivité) à f=915MHz pour l'antenne D	75
Figure 4.1 : Circuit du système RFID conçu par ADS	81
Figure 4.2 : Modulateur ASK à base d'un multiplieur	82
Figure 4.3 : Signal de la porteuse.....	83
Figure 4.4 : Signal modulant.....	83
Figure 4.5 : Signal modulé en ASK.....	84
Figure 4.6 : Circuit de l'émetteur du lecteur RFID.....	85
Figure 4.7 : Signal de la requête.	85
Figure 4.8 : Spectre du signal modulé.....	85
Figure 4.9 : L'antenne Patch	86
Figure 4.10 : coefficient de réflexion $ S_{11} $ de l'antenne	87
Figure 4.11 : Intégration d'antenne Patch sous ADS.....	87
Figure 4.12 : Circuit redresseur à simple diode	88
Figure 4.13 : Signal reçu par l'antenne tag	88
Figure 4.14 : Signal de sortie du simple redresseur	88
Figure 4.15 : Circuit doubleur de tension.	89
Figure 4.16 : Signal reçu aux bornes du diviseur de diode.....	90
Figure 4.17 : Signal de sortie du doubleur	90
Figure 4.18 : Le circuit de démodulation.....	91
Figure 4.19 : Signal démodulé.	91
Figure 4.20 : modulateur à base de transistor.	92
Figure 4.21 : Signal en bande de base.....	92
Figure 4.22 : Signal modulé en amplitude.....	93
Figure 4.23 : Signal de la requête avec la réponse du tag.....	94

Liste des Tableaux

Tableau 1.1 : Comparaison entre les différentes technologies de l'identification	5
Tableau 1.2 : les caractéristiques générales des transpondeurs passifs actuels	13
Tableau 1.3 : Comparatifs des performances des différents tags RFID UHF.....	15
Tableau 1.4 : Classement des tags RFID par le champ de rayonnement.....	18
Tableau 1.5 : Puissance autorisée en champ proche	20
Tableau 1.6 : Puissance autorisée en RFID en champ lointain.....	21
Tableau I.7 : Normes ISO/IEC régissant le fonctionnement de la RFID.....	22
Tableau 2.1 : Paramètres d'antenne du tag réalisé.....	43
Tableau 2.2 : paramètres de clef d'étiquette du Dual-radiating-body RFID.	48
Tableau 3.1 : un Antennes commercialisés par la société Dennison.	64
Tableau 3.2 : montre la classification des étiquettes dans une famille basée sur leurs applications.	65
Tableau 3.3 : Famille des étiquettes de RFID basées sur l'application.	65
Tableau 3.4 : valeur d'impédance utilisée pour les antennes.....	66
Tableau 3.5 : Conception d'antenne proposée basée sur des applications spécifiques.	68
Tableau 3.6 : Paramètres d'antenne simulée.....	75
Tableau 3.7 : comparaison simulée de valeur de coefficient de réflexion et d'impédance pour.....	76

Liste des abréviations

ASK	Amplitude Shift Key.
ADS	Advanced Design System de Agilent.
CMOS	Complémentaires Métal Oxyde Semi-conducteur.
CST	Computer Simulation Technology.
dB	decibels.
dBi	décibel isotropic.
FSK	Frequency Shift Keying.
FEM	Finite Element Method.
FDTD	Finite-Difference Time-Domain.
HF	Haut Frequency.
HDX	Half Duplex.
ISO	International Organisation for Standardisation.
ITF	Interrogator Talk First.
KHz	Kilo hertz.
LF	Low Frequency.
MHz	Méga hertz.
Mm	Milli mètre.
MoM	Method Of Moments.
NRZ	Non-Return-to-Zero Encoding.
PIFA	Planer Inverted F Antenna.
RF	Radio Frequency.
RFID	Radio Frequency Identification.
TOS	Taux d'Onde Stationnaire.
TTF	Tag Talk First.
UHF	Ultra Haut Fréquence.

Introduction générale

L'émergence de la technologie RFID (Radio Frequency Identification) a désormais une influence majeure sur nos modes de vie. En effet, sans que nous ne nous en soyons forcément aperçus, la RFID fait dorénavant partie intégrante de notre quotidien. Nous la retrouvons par exemple tous les matins en se rendant au travail (accès sécurisé aux bâtiments, transports en commun, etc.) ou en vacances (contrôles des bagages, remontées mécaniques, passeports, etc.).

Les applications correspondantes à cette technologie sont de plus en plus nombreuses et répandues. Toutefois, pour certaines applications comme l'antivol, la technologie HF (13,56 MHz) courte distance et certaines contraintes d'utilisation (discrétion du système, distance d'interrogation, résistance à la température de lavage, pression et séchage dans le cas du linge par exemple), ont jusqu'à présent été un frein au développement de solutions intégrées, discrètes et fiables. Récemment, le développement de tags robustes et miniatures à la fréquence RFID UHF Europe (0,865-0,868 GHz) a ouvert de nombreux champs d'applications et notamment celui de l'antivol en permettant de répondre déjà aux contraintes de discrétion pour les éléments rayonnants, de distance d'interrogation, et d'environnements sévères.

Dans la cadre de notre projet, nous nous sommes intéressé à concevoir des antennes en technologie micro ruban pour des applications RFID passif.

Ce mémoire est scindé en quatre chapitres avec une conclusion générale, fruit de ce que nous avons pu et su réaliser tout au long de ce modeste projet.

Dans le premier chapitre, nous réalisons une présentation générale de la RFID et des différents systèmes de la RFID disponibles. Nous ferons un état de l'art des systèmes RFID UHF passifs et nous discuterons les avantages de cette technologie.

Le second chapitre est consacré à la conception de l'antenne et les techniques de l'adaptation d'impédance entre la puce et l'antenne du tag RFID. Nous présentons aussi quelques conceptions pour le tag RFID utilisant le simulateur CST.

Le troisième chapitre est scindé en deux parties, la première partie concerne la classification les étiquettes existantes du RFID passif dans une famille ou une classe basée sur leur application d'utilisation, dans la deuxième partie nous avons simulés quelques antennes basé sur l'application par CST.

Introduction générale

Le quatrième chapitre est entièrement dédié à la conception de la partie RF d'un tag RFID passif fonctionnant à 900MHz. Nous présentons une modélisation de l'émetteur d'un lecteur RFID. Puis une conception des principaux blocs RF constituant un tag RFID passif.

Enfin, le mémoire se terminera par une conclusion générale qui résumera le travail exposés dans ce mémoire.

I.1 Introduction

L'abréviation **RFID** signifie “**R**adio **F**requency **I**Dentification”, c'est une technologie qui permet d'identifier un objet, d'en suivre le cheminement ou d'en connaître les caractéristiques à distance grâce à un tag (ou une étiquette) réfléchissant des ondes radio, attaché ou incorporé à l'objet. La technologie RFID permet la lecture des tags même sans ligne de vue directe et peut traverser de fines couches de matériaux (peinture, neige, etc...). Bien que le premier document sur la réflexion modulée (le principe de base de fonctionnement du tag RFID passive) ait été publié en 1948, cette technologie a connu de très nombreux développements avant qu'elle n'atteigne le niveau de maturité et de performance actuel [1].

Aujourd'hui la technologie RFID a de très nombreuses applications dans de très nombreux domaines et repose sur plusieurs normes et réglementations admises et utilisées au niveau international (ISO, classe 0, classe 1 et Gen 2 sont des exemples). Ce premier chapitre, est dédié à une présentation générale de la RFID et ses principales caractéristiques.

I.2 Histoire de la technologie RFID et comparaison entre les technologies de l'identification disponibles

I.2.1 Historique

On retrouve les premières traces d'un système RFID durant la seconde guerre mondiale. À cette époque, la RFID est utilisée par les militaires américains pour la reconnaissance des avions ennemis ou alliés. Il s'agissait de compléter la signature RADAR des avions en lisant un identifiant fixe permettant l'authentification des avions alliés. C'est à la fin des années 1960, que le premier brevet lié à la technologie RFID est déposé par Mario Cardullo aux États-Unis pour l'identification de locomotives [4].

En Europe, l'identification du bétail est la première application de la technologie RFID dans le secteur privé. S'ensuivent de nombreuses utilisations commerciales, notamment dans les chaînes de fabrication des constructeurs automobiles. Dans les années 1990, les progrès faits par la technologie et plus particulièrement par la technologie microélectronique ont conduit à l'avènement de la RFID. Dès lors, les premières normalisations ont débuté. Mais ce n'est qu'au début des années 2000 que la RFID a réellement explosée avec les événements du 11 septembre 2001 aux États-Unis. En effet, c'est à partir de cette date que les États-Unis ont mis en place les passeports électroniques. Depuis l'utilisation de la RFID a connu une croissance exponentielle. Son intégration dans la vie de tous les jours est maintenant une réalité : du passeport électronique à l'emprunt de livres dans les bibliothèques, en passant par l'identification des animaux domestiques, des forfaits de ski, des cartes

d'accès aux bâtiments ou bien encore son utilisation dans les transports en commun, cette technologie fait dorénavant partie intégrante de notre vie

I.2.2 Code à barres et RFID

I.2.2.1 Code à barres

Il existe plusieurs technologies possibles pour réaliser l'identification d'objets ou de personnes. La plus connue et la plus répandue est probablement la technologie Code à Barres dont le premier principe a été introduit en 1948 par Bernard Silver [6]. Un code-barre, ou code à barres est la représentation d'une donnée numérique ou alphanumérique sous forme d'un symbole constitué de barres et d'espaces dont l'épaisseur varie en fonction de la symbologie utilisée et des données ainsi codées comme la figure 1.1. Il existe des milliers de codes-barres différents; ceux-ci sont destinés à une lecture automatisée par un lecteur électronique, le lecteur de code-barres. Pour l'impression du code-barres, les technologies les plus utilisées sont l'impression laser et le transfert thermique [1] [6].



Figure 1.1 : Un exemple de code à barres [6].

La première utilisation du code à barres a été l'étiquetage des wagons de train, mais cela ne s'est pas avéré comme un succès commercial. En revanche, leur succès dans le domaine du commerce et la distribution a été impressionnant. Ils sont aujourd'hui incontournables pour automatiser les activités des supermarchés et de la vente et sont devenus universels.

le code à barres présente de nombreuses limitations et inconvénients parmi lesquels:

- Un lecteur de code à barres permet de scanner uniquement à courte distance.
- Le lecteur de code-barres ne peut pas lire les étiquettes mouillées.
- Quand le code à barre est hors de la vue du lecteur il ne peut pas être identifié.
- Le code à barre peut coder une quantité de données limitée, comparativement à la RFID.

I.2.2.2 RFID

Le tag RFID est composé d'une antenne et d'une puce RFID, généralement attaché sur les produits ou les objets à identifier (figure 1.2). De manière simple, on peut l'appeler une "étiquette intelligente". Pour lire les tags RFID, nous avons besoin d'un lecteur dédié RFID.

La communication entre le lecteur RFID et les tags RFID se fait par onde radiofréquence. Les tags RFID peuvent inclure d'autres composants en fonction du type d'application. Citons la carte à puce sans contact comme exemple de tag RFID spécifique aux applications sécurisées.

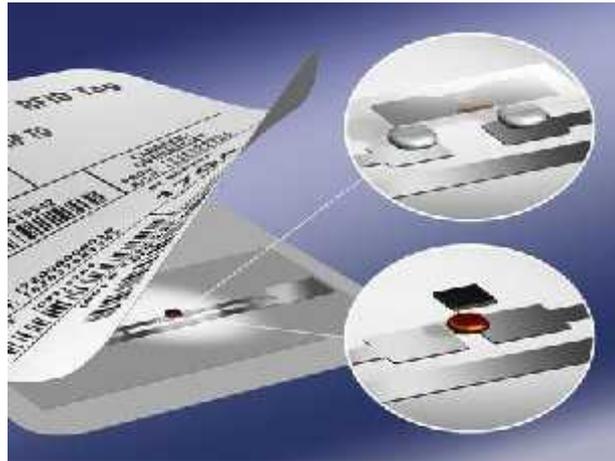


Figure 1.2 : Des composants d'un tag RFID passif [8]

Les avantages de la RFID sont:

- Le lecteur et le tag peuvent communiquer sur différentes fréquences.
- La longévité du tag RFID. Les tags passifs ont une durée de vie quasi-illimitée.
- Les tags RFID peuvent mémoriser de très grandes quantités de données.
- Le lecteur et les tags RFID ne nécessitent pas un alignement précis pour communiquer.
- Les tags RFID peuvent « supporter » les conditions rigoureuses.

I.3 L'hierarchie et les régulations du système RFID

I.3.1 Composants fondamentaux du système RFID

Un système RFID se compose principalement d'un lecteur, d'un ou plusieurs tags et d'un logiciel d'application. La figure 1.3 décrit le schéma général d'un système RFID. Le lecteur agit généralement en maître par rapport au tag; si le tag est dans la zone de lecture du lecteur, ce dernier l'active en lui envoyant une onde électromagnétique puis entame la communication et l'échange des données. Le lecteur est relié à un hôte d'application qui récupère l'information pour le logiciel d'application. Un lecteur RFID est donc chargé de l'interface avec le système global relatif à l'application et de la gestion de l'identification des tags qui se présentent à lui. Le tag est, quand à lui, constitué d'une antenne et d'une puce électronique miniature [3].



Figure 1.3: Éléments d'un système RFID [2].

I.3.1.1 Lecteur

Le lecteur RFID est un émetteur-récepteur radio spécialisé. Comme tous ces dispositifs, le lecteur doit générer des signaux à la fréquence porteuse (environ 900MHz pour les appareils UHF en général) et moduler ces signaux pour transmettre des informations aux tags. Il doit recevoir et identifier sélectivement des réponses à partir des tags. Pour cela il est doté de circuits de démodulation et de fonctions de traitement lui permettant d'adresser et communiquer sélectivement et individuellement avec tout tag dans son champ de lecture (imposé par le diagramme de rayonnement de l'antenne du lecteur). Le schéma synoptique général d'un tel système lecteur est représenté sur la figure 1.4 [3]. Les lecteurs RFID fonctionnent généralement dans les gammes de fréquence libre de licence (bandes ISM). Cela ne signifie pas que leur fonctionnement n'est pas réglementé, mais les différents dispositifs ne nécessitent pas de licence pour fonctionner dans une certaine bande de fréquences, tant qu'ils répondent à certaines exigences.

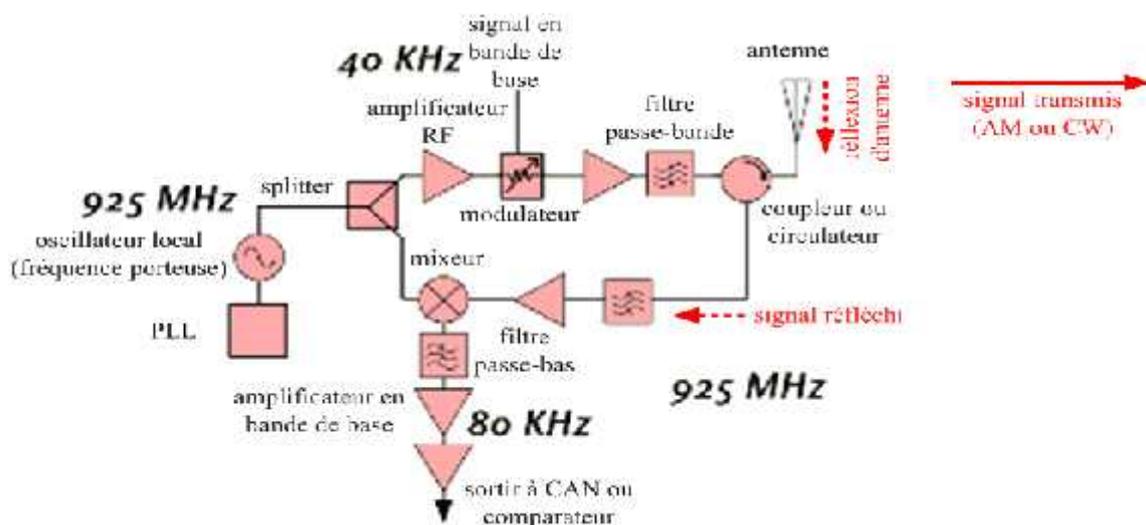


Figure 1.4 : Schéma synoptique fonctionnel d'un lecteur RFID (Front-end RF) [3].

Par exemple, la bande UHF en Europe est 866-869MHz, en Amérique du Nord est 902-928MHz, au Japon et certains pays asiatiques est 950 - 956MHz [3]. Les dispositifs utilisant la bande UHF fonctionnent selon un des deux modes: ils peuvent « basculer » selon un mode pseudo-aléatoire d'un canal de fréquence à un autre au sein de la bande autorisées (FHSS : Frequency Hoping Spread Spectrum), ou ils peuvent utiliser des techniques de modulation à large bande. Les deux approches sont destinées pour réduire l'interférence avec les canaux adjacents et les émissions radios voisines. La plupart des lecteurs RFID utilisent la première approche. Ainsi, l'oscillateur local est basé sur une Boucle à Verrouillage de Phase (PLL) qui doit être capable de passer rapidement d'une fréquence à une autre. Durant le saut de fréquence, il est commun d'éteindre le transmetteur, pour éviter la transmission à l'extérieur de la bande de rayonnement autorisée. Il est aussi possible de mettre deux synthétiseurs dans la partie radio, pour que l'un s'accorde sur le canal suivant pendant que l'autre émet, en permettant au lecteur de changer de canal sans perte de performance, mais cela ajoute de la complexité et accroît le prix du lecteur [3] [4] [5].

Les lecteurs de RFID font face à des exigences assez différentes de leurs frères de la norme 802.11 ou le téléphone cellulaire. En effet, les étiquettes passives sont des « radios » très muettes: elles n'ont aucune capacité de détecter un changement de fréquence et peuvent seulement détecter des changements dans l'amplitude du signal transmis pour la **modulation d'amplitude** (AM) comme dans la figure 1.5. Les modulations plus sophistiquées, et spectralement plus efficaces, comme la phase-shift keying (PSK) ou la modulation d'amplitude en quadrature (QPSK), ne sont pas utilisées pour les systèmes RFID passifs (bien que la norme ISO-18000-6C : EPC Global Class 1 Gen 2 défini des modulations plus performantes que la simple modulation AM). Par conséquent, le transmetteur pour un lecteur RFID peut être une structure très simple se composant d'un synthétiseur pour générer le signal à transmettre et un atténuateur variable, ou même un simple interrupteur de type ON-OFF.

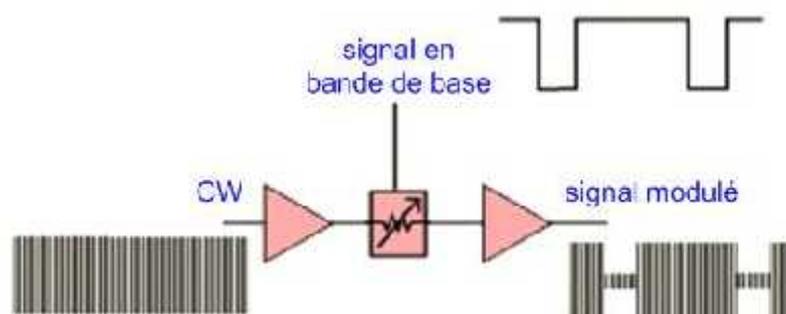


Figure 1.5 : Modulation type ASK dans un lecteur RFID [3].

Le système le plus simple est l'ASK schématisé ci-dessus. Il a un grand inconvénient: les transitions soudaines entre les états ON et OFF dans le signal numérique en bande de base sont potentiellement reproduites directement sur l'enveloppe du signal émis à haute fréquence. Il en

résulte une pollution spectrale qui peut être importante et se traduit par des interférences indésirables avec d'autres lecteurs RFID ou dispositifs sans fil. Toutefois les tags ne sont pas affectés par ce phénomène. Pour éviter de tels inconvénients, le signal en bande de base est généralement lissé et filtré pour éviter la génération de composantes spectrales inutiles. Au niveau de la réception, la fréquence réfléchi par le tag est identique à celle qui est envoyée par le lecteur. Ainsi la plupart des récepteurs sont homodynes ou le signal transmis est mélangé avec le signal reçu pour que la fréquence porteuse soit complètement rejetée et que seulement la fréquence de modulation du signal reçu reste.

I.3.1.2 Tag (ou Étiquette)

Le tag est extrêmement discret par sa finesse, sa taille est réduite (quelques centimètres), et sa masse est très petite. Grâce à son coût devenu faible, on peut envisager de l'utiliser en nombre, voire de le rendre jetable, bien que la réutilisation soit plus « écologiquement correcte ». Les dispositifs passifs, ne nécessitent aucune source d'énergie en dehors de celle fournie par le lecteur au moment de leur interrogation. Pour activer le tag, le lecteur doit envoyer un signal d'interrogation de puissance suffisante selon un protocole particulier auquel répond le tag. L'une des réponses les plus simples possibles est le renvoi d'une identification numérique, par exemple le tag du standard EPC-96 utilise 96 bits. Une table ou une base de données peut alors être consultée pour assurer un contrôle d'accès, un comptage ou un suivi donné sur une ligne de montage, ou une autre action spécifique [3].

Il n'y a pas encore si longtemps, la lecture des puces passives était limitée à une distance de quelques mètres, mais maintenant, grâce aux technologies utilisées, notamment la technologie CMOS faible consommation, dans les systèmes de communication en champ lointain, cette distance peut dépasser facilement la dizaine de mètres [14][15].

I.3.1.3 Le middleware RFID

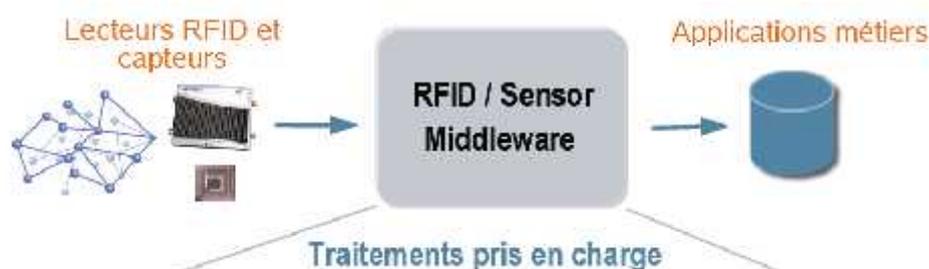


Figure 1.6 : Le rôle du middleware RFID [10].

En architecture informatique, un middleware (anglicisme) d'un système RFID [3] est une couche des logiciels qui crée un réseau d'échange d'informations entre différentes applications

informatiques comme dans la figure 1.7. Le réseau est mis en œuvre par l'utilisation d'une même technique d'échange d'information dans toutes les applications impliquées à l'aide de composants logiciels. Les composants logiciels du middleware assurent la communication entre les applications quelque soit les ordinateurs impliqués et quelque soit les caractéristiques matérielles et logicielles des réseaux informatiques, des protocoles réseau, des systèmes d'exploitation impliqués.

Le rôle du middleware RFID:

- Filtrage et validation des données brutes.
- Fusion des données émises par les différents capteurs.
- Transfert vers les applications métiers.
- Gestion du système (surveillance, niveaux de service, ...).

I.3.2 Classement des systèmes RFID

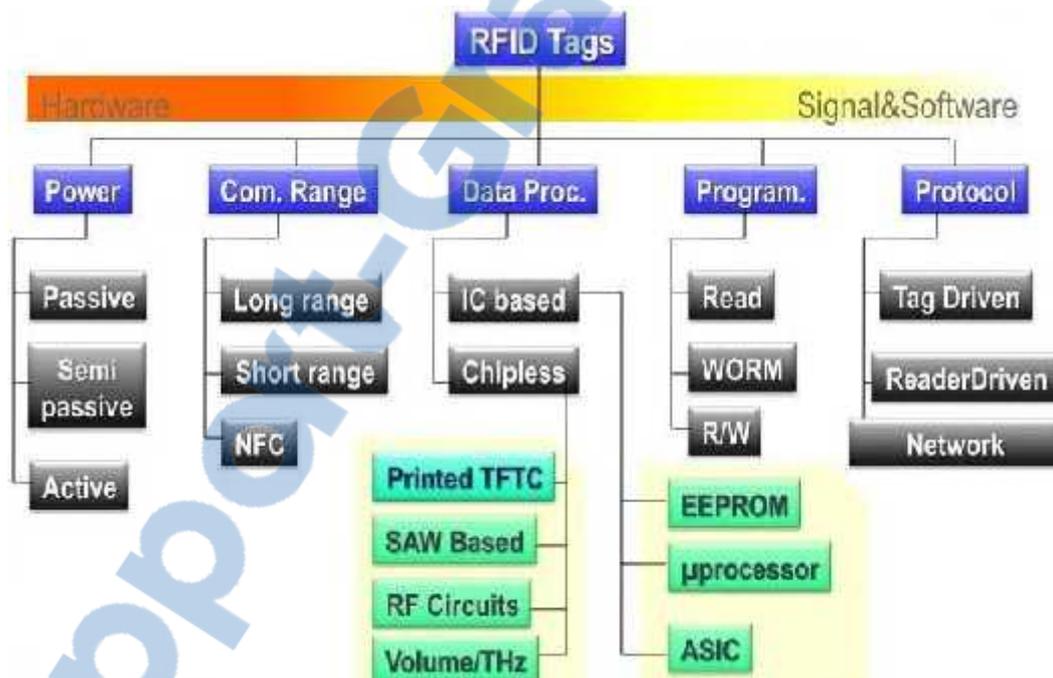


Figure 1.7 : Le classement des tags RFID [2].

Les différents systèmes RFID existants sont classés selon plusieurs critères définissant leurs catégories d'appartenance comme la figure 1.7 [2][3]. La communication avec un transpondeur peut se faire soit sous la forme d'une simple lecture (le lecteur peut par exemple rechercher une information d'identification: badges d'accès) ou de lectures et écritures multiples (suivi de produits frais, cartes de transport en commun ...). Il est également possible d'établir une classification des systèmes en fonction de leurs caractéristiques physiques (méthode d'alimentation, distance de lecture, le traitement des données, programmation de la puce, les protocoles de communications) comme le montre dans la

figure 1.7. Dans cette section, nous décrivons les classements du système RFID selon les critères ci-dessus.

I.3.2.1 Le classement par la méthode de l'alimentation

Pour la méthode de l'alimentation du tag RFID, nous avons 3 types de tag RFID passif, actif et semi-passif comme la figure 1.8. Le tag passif se compose:

- D'une antenne
- D'une puce de silicium
- D'un substrat et/ou d'une encapsulation

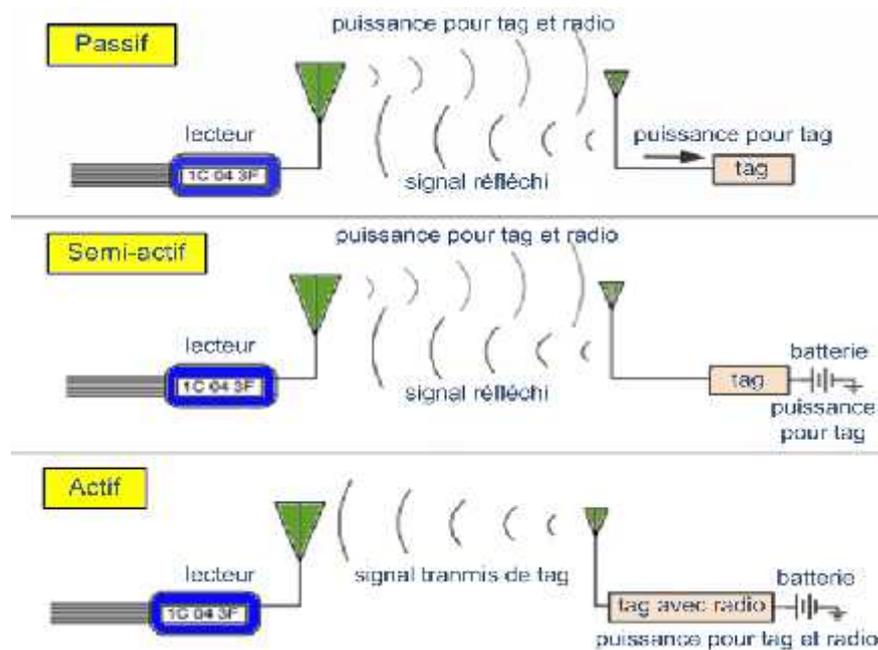


Figure 1.8 : Les méthodes de l'alimentation pour des tags RFID [3].

Tags actifs, semi-passifs, passifs ou sans puce de silicium

Les systèmes RFID UHF peuvent être différenciés selon le type de fonctionnement de leurs tags. Pour les tags disposant d'un circuit électronique, trois catégories sont distinguées selon la source d'alimentation de leur puce : les passifs, les actifs et les semi-passifs ou semi-actifs. D'autre part, une nouvelle famille est apparue récemment, celle des tags ne disposant pas de puce. Nous présentons ici, les avantages et les inconvénients de chacune d'entre elles.

• Les tags actifs

On parle de tags actifs quand ceux-ci possèdent leur propre alimentation (émetteur RF) généralement une petite pile qui permet d'augmenter la distance d'interrogation.

Avantage:

- Distance de fonctionnement entre le tag et l'antenne de l'ordre de 30 mètres.
- Batterie intégrée au tag.
- Capables de stocker une grande quantité d'informations.

Inconvénients:

- Interférence avec d'autres équipements RF (téléphones, radio, etc.).
- Durée de vie de la batterie.
- Coût élevé de fabrication.

- **Les tags passifs**

A contrario, un tag passif est un tag ne possédant pas sa propre alimentation. Il rétro-module l'onde issue du lecteur pour transmettre des informations. Il n'intègre pas d'émetteurs RF. Le tag passif utilise l'onde électromagnétique issue du lecteur pour alimenter le circuit électronique embarqué entraînant ainsi une diminution de la distance d'interrogation.

Avantage :

- Sans batterie.
- Faible coût de fabrication.
- Facilement intégrable.
- Durée de vie du tag.

Inconvénients :

- Distance de communications jusqu'à 10 mètres.
- Capacité d'informations disponibles faibles.
- Protocoles de communication simple (sécurité).

- **Les tags semi-passifs ou semi-actifs**

Un tag RFID semi-passif ou semi-actif est un tag comportant une alimentation embarquée (piles, batteries, etc.), mais cette dernière n'est pas utilisée pour alimenter un émetteur puisque le principe de communication reste la rétro-modulation (comme pour le tag passif). L'alimentation embarquée est utilisée afin d'alimenter le circuit électronique du tag ou tout autre circuit (capteur) connecté au circuit de base. Cette alimentation permet, en théorie, d'améliorer les performances du système. Ce type de tag est largement utilisé pour des applications nécessitant une capture d'information (température, choc, lumière, etc.).

Un récapitulatif des différents types de tags avec puce est présenté figure 1.9.

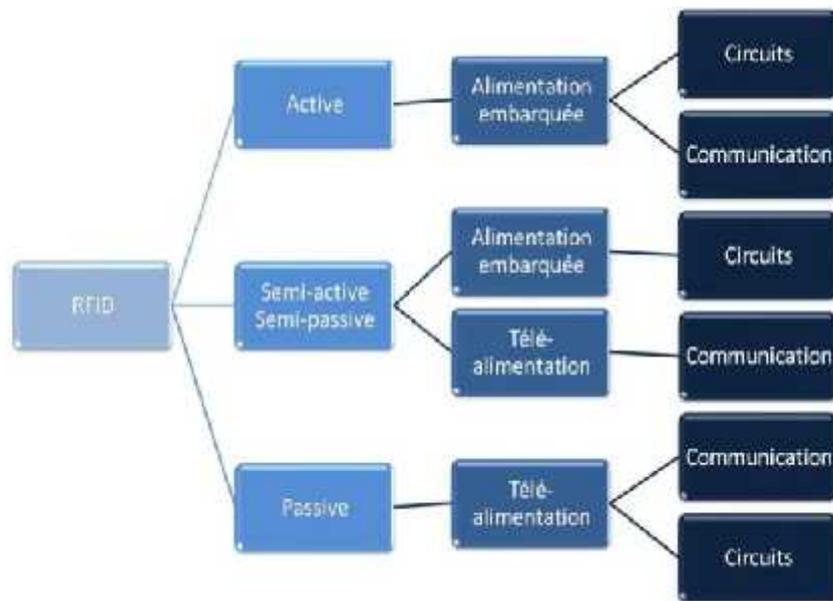


Figure 1.9 : Récapitulatifs des différents tags avec puce.

- **Les tags sans puce**

Enfin, il existe un dernier type de système RFID émergent. Ce type de système est encore en plein développement et est basé sur la technologie Ultra Large Bande (ULB). Comme son nom l'indique, un tag RFID sans puce est un tag qui ne fait pas usage de circuit intégré pour stocker des informations. L'information est contenue dans la géométrie de l'antenne du tag. L'avantage de cette technologie est de pouvoir localiser précisément les tags en plus de les identifier. En effet, en communication ULB, des impulsions ultra-courtes sont utilisées pour véhiculer les données, ce qui permet d'estimer avec précision la durée d'un trajet aller-retour, donnant ainsi des informations sur la distance entre le lecteur et le tag. Néanmoins, cette technologie n'est à l'heure actuelle pas très répandue. En effet, leurs fonctionnalités sont fortement limitées, du fait de leur quantité de données limitée et figée.

Le Tableau 1.1 dresse un comparatif qualitatif des différentes catégories de tags disposant d'un circuit électronique, en fonction de leurs distances de lecture, leurs débits de données, leurs durées de vie et de leurs coûts. Le choix d'alimentation d'un tag par rapport à un autre est fortement dépendant des besoins souhaités et donc de l'application RFID visée.

	Distance	Donnés	Durée de vie	Coût
Actif				
Semi-actif				
Passif				

Tableau 1.1 : Comparatifs des performances des différents tags RFID UHF.

I.3.2.2 Le classement par la programmation de la puce

I.3.2.2.1 Le tag à écriture unique (read-only - RO tag)

Le tag à écriture unique ne peut être programmé qu'une seule fois dans la puce RFID. Les données peuvent être enregistrées dans le mémoire de la puce lors de la fabrication. Cela se fait comme suit: les fusibles individuels sur la puce du tag sont écrits de façon permanente en utilisant des faisceaux laser. Après cette écriture, on ne peut plus changer les données sur la puce. Cette carte est appelée « factory programmed ». Les fournisseurs de tags programment des données sur le tag que les utilisateurs ne peuvent changer [12].

I.3.2.2.2 Le tag à écriture unique et lecture multiple (Write Once Read Multiple – WORM tag)

Les données du tag WORM ne peuvent être écrites qu'une seule fois. Elles ne sont pas obligatoirement enregistrées par le fournisseur, mais souvent par les utilisateurs qui développent leurs applications. En fait, les tags WORM peuvent être enregistrés un certain nombre de fois (environ 100 fois). Si le tag est enregistré un nombre de fois supérieur au maximum permis, la carte peut être endommagée de façon permanente. Leur prix acceptable, leur performance et les fonctions de sécurité des données font que ce type de tag RFID devient très populaire dans le domaine commercial aujourd'hui [12].

I.3.2.2.3 Le tag à écriture/lecture multiple (Read/Write – RW tag)

Le tag RW peut être programmé plusieurs fois (de 10.000 à 100.000 fois ou plus) ce qui est un grand avantage car les données peuvent être enregistrées par le lecteur. L'étiquette RW se compose d'une mémoire Flash (FRAM par exemple) qui permet de sauvegarder les données. La sécurité des

données est un défi pour le tag RW. En outre, ce type de tag est généralement le plus cher. Donc, les tags RW ne sont pas très utilisés dans les applications d'aujourd'hui [12].

I.3.2.3 Classement par distance de communication

En fonction de l'antenne du tag et du lecteur, les systèmes RFID peuvent être classés en deux grandes catégories comme la figure 1.9.

I.3.2.3.1 Système RFID en champ proche

Dans cette situation, il est plus naturel de parler de couplage électromagnétique entre un tag et le lecteur comme montré dans la figure 1.10. Ce couplage est souvent assuré par deux bobines, une au niveau du lecteur et l'autre au niveau du tag. On parle alors de champ proche car la distance de communication est limitée à quelques dizaines de cm au maximum. Dans les systèmes RFID en champ proche, la transmission de la puissance ainsi que les données à partir du lecteur sont assurées grâce au couplage mutuel à travers le champ magnétique pour un couplage inductif ou le champ électrique à travers un couplage capacitif. Dans la pratique c'est souvent le couplage magnétique qui est mis en œuvre à cause de sa simplicité. Le principal inconvénient des systèmes RFID en champ proche est la relative faible distance de lecture.

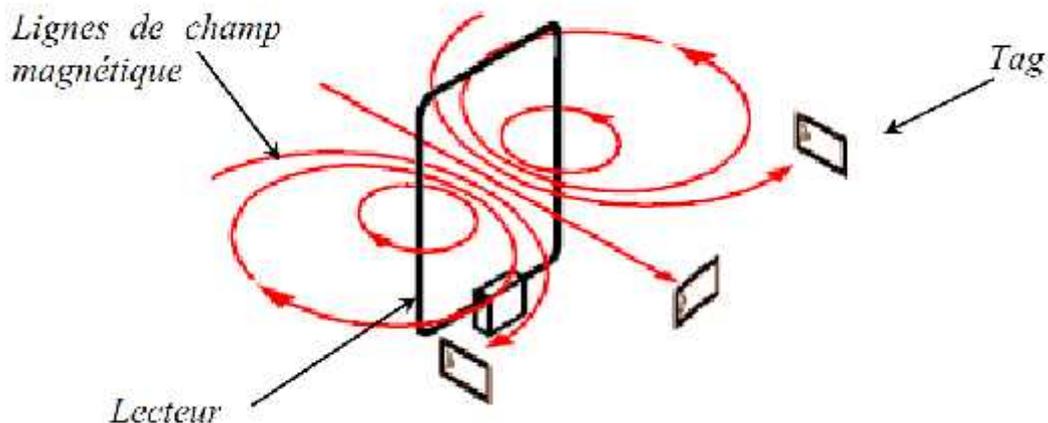


Figure 1.10 : Le champ magnétique du lecteur [7].

Le mode de fonctionnement en couplage magnétique concerne les systèmes travaillant aux fréquences entre 9kHz et 135kHz en basses fréquences et 13.56MHz en haute fréquence. Aujourd'hui, nous utilisons des systèmes de couplage magnétique fonctionnant jusqu'à 29MHz.

I.3.2.3.1 Système RFID en champ lointain

Contrairement aux systèmes à champ proche, les systèmes RFID en champ lointain ont la capacité de transmettre des informations entre le lecteur et le tag par les ondes électromagnétiques et donc sur des distances beaucoup plus grandes, qui peuvent dépasser la dizaine de mètres. Le lecteur transmet de l'énergie au tag, une partie de cette énergie est reçue et absorbée par le tag pour s'auto-

alimenter alors qu'une autre partie est réfléchi par l'antenne du tag. Grâce à une commutation électronique réalisée par le chip RFID, l'antenne du tag voit une commutation de charge ce qui modifie le niveau du signal réfléchi par le tag. C'est cette opération appelée "backscattering" (ou rétro-modulation) qui permet la communication des données du tag vers le lecteur.

Les systèmes RFID en champ lointain fonctionnant aux fréquences typiquement supérieures à 100 MHz, la plupart du temps en bande UHF (Ultra High Frequency) comme 868 MHz, 915 MHz ou 955 MHz ou les bandes ISM à 5.8 GHz ou 2.45 GHz. La distance de lecture pour les systèmes RFID en champ lointain est affectée par la densité de l'énergie reçue par le tag et la sensibilité du lecteur pour le signal réfléchi à partir de l'étiquette

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

Tableau 1.2 : Classement des tags RFID par le champ de rayonnement.

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

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

I.3.3 Régulations des fréquences

Comme pour tout système radio, les systèmes RFID doivent obéir à des règles comme l'allocation des fréquences et la puissance autorisée. Ils n'utilisent que les fréquences allouées aux applications industrielles, scientifiques ou médicales appelées bandes ISM (Industrial Scientific Medical). Ces bandes de fréquences sont libres. L'inconvénient majeur réside dans le fait que de nombreuses autres technologies les utilisent. Nous présentons ici, les différentes bandes de fréquence utilisées en RFID

- **Basses Fréquences (BF) et Hautes Fréquences (HF)**

Les fréquences comprises entre **120-135 KHz** sont appelées Basses Fréquences ou dans la littérature anglo-saxonne LF pour Low Frequency. Utilisant le champ magnétique proche, elles permettent d'avoir une portée de l'ordre de quelques centimètres à un mètre.

Les caractéristiques physiques des tags BF font d'eux des candidats idéaux pour être supportés partout type de matériaux : textiles, plastiques, etc.

La fréquence **13,56 MHz** appartient aux Hautes Fréquences ou HF pour High Frequency. Utilisant également le champ magnétique proche, elle est couramment utilisée avec des étiquettes au format carte à puce (smart card), par exemple dans les bibliothèques (entrées/sorties des livres, inventaire, emplacement), ou pour le contrôle d'accès, avec des distances de lecture de l'ordre de quelques centimètres à un mètre.

- **Ultra Hautes Fréquences (UHF) et Micro-ondes**

Les bandes de fréquences 0,86-0,96 GHz et 2,4-2,5 GHz appartiennent à la famille UHF. Cependant pour les distinguer, il est d'usage d'utiliser le terme UHF pour les systèmes fonctionnant aux alentours de 0,9 GHz et d'appeler fréquences micro-ondes la bande proche de 2,4 GHz. Dès lors que l'application nécessite de grandes distances de lecture ou un débit d'information important, ce sont les systèmes RFID fonctionnant en UHF ou micro-ondes qui sont choisis. La communication entre les antennes de l'émetteur et du récepteur ne se fait alors plus par couplage magnétique mais par propagation électromagnétique.

L'inconvénient avec le principe de propagation des ondes électromagnétiques est que le système devient plus sensible aux perturbations (proximité de liquide ou de métaux) qu'avec le phénomène de couplage magnétique. Il existe également d'autres bandes de fréquences moins utilisées, par exemple les fréquences allant de 5,7 à 5,8 GHz ou encore la fréquence 0,433 GHz. En figure 1.11, est donné le spectre des différentes fréquences les plus utilisées.

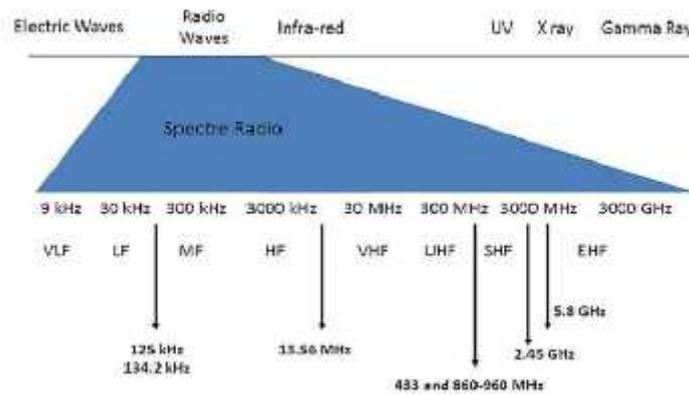


Figure 1.11 : Spectre des fréquences RFID.

I.3.4 Puissance autorisée

Dans le Tableau 1.3, nous donnons les différentes réglementations données par l'ETSI (European Telecommunications Standards Institute) concernant les systèmes RFID fonctionnant en champ proche.

Référence ETSI	Bande de fréquence concernée	Puissance d'émission max autorisée
EN 300.330	9KHz-30 MHz	42 dBμA/m à 10m

Tableau 1.3 : Puissance autorisée en champ proche.

On constate que pour les systèmes fonctionnant en champ proche, c'est la valeur de l'intensité du champ électrique (en A/m) mesurée à 10 mètres de l'antenne d'émission qui est donnée comme limite.

Pour les systèmes RFID fonctionnant en champ lointain, la puissance d'émission maximale autorisée est exprimée en Watt (W). Selon la zone géographique (Europe ou États-Unis), cette puissance n'est pas calculée de la même façon. En Europe, on parle de Watt ERP (Effective Radiated Power). Aux États-Unis, cette puissance est normalisée par rapport à une antenne de référence isotrope. L'unité est donc le watt EIRP (Equivalent Isotropic Radiated Power).

Le rapport entre les deux unités est $1 \text{ W ERP} = 1,62 \text{ W EIRP}$. Les différentes puissances sont données dans le Tableau I.4.

Région	Bande de fréquence	Puissance d'émission autorisée
Europe	865-865,6 MHz	100 mW ERP
	865,6-867,6 MHz	2 W ERP
	867,6-868 MHz	500 mW ERP
Etats-Unis	902-928 MHz	4 W EIRP
Japon	952-954 MHz	4 W EIRP

Tableau 1.4 : Puissance autorisée en RFID en champ lointain.

Comme pour tout système destiné à être commercialisé, il existe plusieurs normes régissant le domaine de la RFID dans le but de faciliter l'interopérabilité et donc l'accès au marché.

I.3.5 Les normes

L'interopérabilité des équipements RFID (lecteurs et tags) exige une normalisation quant à leur mode de fonctionnement. Pour une fréquence d'utilisation donnée, n'importe quel tag doit être lu par n'importe quel lecteur. C'est la définition du protocole de communication de l'interface-air.

L'ISO (International Organisation for Standardization) et l'IEC (International Electrotechnical Commission) [13] sont des organismes qui établissent des standards d'opérations pour différentes technologies. Ils travaillent ensemble notamment pour toutes standardisations concernant les technologies de l'information.

- **La norme ISO/IEC**

L'ISO/IEC a rédigé des normes relatives à l'identification et la gestion des objets ou équipements dans la série des protocoles d'interface ISO 18000 conçus pour des opérations de logistique. Ces normes couvrent toute la gamme des fréquences utilisées dans le monde en matière de RFID. Les différentes normes sont regroupées dans les Tableau I.5.

Il est à noter que la norme ISO/IEC 18000-5, pour un fonctionnement à 5,8 GHz a été abandonnée faute de consensus.

Normes	Objectif
ISO/IEC18000-1	Architecture générale et paramètres à normaliser.
ISO/IEC 18000-2	Paramètres pour les communications par interface air jusqu'à 125 KHz.
ISO/IEC 18000-3	Paramètres pour les communications par interface air à 13,56 MHz.
ISO/IEC 18000-4	Paramètres pour les communications par interface air à 2,45 GHz.
ISO/IEC 18000-6	Paramètres pour les communications par interface air entre 0,86-0,96 GHz.
ISO/IEC 18000-7	Paramètres pour les communications par interface air à 0,433 GHz.

Tableau I.5 : Normes ISO/IEC régissant le fonctionnement de la RFID.

I.4 La transmission

I.4.1 Transfert d'énergie

Pour que le transpondeur (ou étiquette radio) puisse fonctionner il faut qu'il soit alimenté et cela est possible grâce à la télé alimentation. Le transpondeur reçoit une énergie alternative qui est redressée, filtrée et réglée pour obtenir une tension continue ; La qualité et la quantité du transfert d'énergie dépendent des fréquences sur lesquelles sont accordées les deux circuits d'antennes (lecteur et transpondeur) et de quelques autres paramètres physiques.

Pour assurer l'intégralité de la communication, il est impératif que le transpondeur reste dans le champ magnétique du lecteur pendant toute la durée de la transaction et que l'énergie minimum nécessaire à l'application soit maintenue.

Le transfert d'énergie et l'échange de données peuvent s'effectuer de deux manières :

- **mode non simultané** : la première phase consiste à charger en énergie, via les ondes envoyées par le lecteur, la capacité d'alimentation présente dans le transpondeur, permettant ainsi l'alimentation de l'ensemble du transpondeur ; Après cette première phase, le transpondeur est apte à recevoir les ordres de commande et à communiquer ; Puis il est à nouveau nécessaire de lui fournir de l'énergie pour continuer la communication et ainsi de suite.

- **mode simultané** : dans ce mode, les ondes venant du lecteur sont capables d'assurer simultanément, la fourniture d'énergie et la communication.

I.4.2 Communication entre lecteur et transpondeur

Dans le sens lecteur vers transpondeur, le lecteur va employer un codage binaire et un système de modulation de la porteuse (ex FSK : modulation de fréquence ou modulation d'amplitude ASK) tout en assurant la télé-alimentation du transpondeur.

Dans le sens transpondeur vers lecteur, le transpondeur, qui n'est pas un émetteur, va devoir être capable de se faire comprendre du lecteur, pour cela il va utiliser la technique de la modulation de charge, technique mise en œuvre dans la plupart des transpondeurs du marché.

I.4.3 Technique de la modulation de charge

Le lecteur va fournir une porteuse non modulée au transpondeur, de façon à ce qu'il soit toujours télé-alimenté, Le transpondeur va à son rythme moduler en tout ou rien la charge résistive électrique équivalente qu'il représente. En faisant cela, il va modifier la consommation d'énergie qu'il représente dans le champ magnétique et, du fait du couplage magnétique existant entre le transpondeur et le lecteur, il va y avoir modification de la valeur de courant circulant dans le circuit de l'antenne du lecteur. Dans ce cas là, le transpondeur n'émet pas de signal à proprement parlé.

I.4.4 Mode de communication

Une communication commence dès que le premier interlocuteur parle. Le tout étant maintenant de savoir qui du lecteur ou du transpondeur va, peut ou doit parler en premier.

I.4.4.1 Protocole TTF ou ITF

Qui parle le premier : le tag ou l'interrogateur ?

Cette question, a priori anodine, prend tout son sens lorsque plusieurs étiquettes se trouvent simultanément dans le champ de l'interrogateur où lorsque les étiquettes ne sont pas statiques et qu'elles ne font que passer dans le champ rayonné par l'antenne de l'interrogateur. Dans le cas, rencontré très souvent en RFID, où les étiquettes sont batteryless (sans source d'énergie embarquée), il est clair que la première chose à faire pour l'interrogateur est de transmettre de l'énergie à (aux) l'étiquette(s). Pour cela, l'interrogateur émet un signal à fréquence fixe (sans modulation).

A ce moment, la communication entre l'interrogateur et l'étiquette n'a pas, à proprement parler, débuté. Une fois la puce de l'étiquette alimentée, elle peut soit transmettre immédiatement une information à l'interrogateur (protocole TTF pour Tag Talk First) ou répondre à une requête de l'interrogateur (protocole ITF pour Interrogator Talk First).

Le choix d'un protocole ou de l'autre dépend fortement de la gestion de la ressource radio et de

la gestion de la présence éventuelle de plusieurs étiquettes dans le champ rayonné par l'interrogateur (protocole d'anticollision). Pour se faire une idée de l'implication sur la gestion des collisions du choix d'un protocole ou de l'autre, imaginons une salle de classe. L'enseignant joue le rôle de l'interrogateur, les élèves celui des étiquettes RFID.

Pour les systèmes TTF, nous pouvons imaginer qu'en début de cours, chaque étudiant entrant dans l'amphithéâtre donne son nom. Bien sûr, mis à part quelques retardataires, les étudiants arrivent en cours à l'heure et chacun donnant son nom quasiment en même temps, nous pouvons douter que l'enseignant (l'interrogateur) puisse comprendre chaque nom individuellement et identifier chacun des étudiants (étiquettes). Pour essayer de palier ce problème, il est possible de demander aux étudiants de ne donner leur nom qu'après avoir écouté et s'être assuré que personne d'autre n'a pris la parole. Cette variante du protocole TTF est appelée TOTAL pour Tag Only Talk After Listening.

Pour des systèmes ITF, c'est l'enseignant (interrogateur) qui pose la première question et demande aux élèves de donner leur nom. Tous les étudiants présents dans l'amphithéâtre répondent alors à la requête de l'enseignant. Comme dans le cas précédent, il peut être difficile, voire impossible, à l'enseignant d'identifier chaque élève puisque ceux-ci répondront à la requête de façon simultanée. A la vue de cet exemple, nous pouvons conclure que les deux protocoles sont incompatibles. De plus, la présence d'une étiquette TTF dans le champ d'un interrogateur ITF peut amener des perturbations brouillant la communication des étiquettes ITF.

I.4.5 Les collisions

L'une des principales difficultés rencontrées par les fabricants de systèmes RFID réside dans le traitement des collisions. Le phénomène de collision se produit lorsque plusieurs tags tentent de dialoguer simultanément avec un même lecteur créant des conflits lors de l'émission de messages par les différents tags vers le lecteur. La manière de détecter la présence d'une collision et enfin les algorithmes anticollisions permettant de limiter la présence de collisions durant les différents échanges entre tous les équipements RFID.

I.5 Performances du système

- **Distance de lecture** : La distance de lecture réelle dépend du type de transpondeur, un bruit électromagnétique, l'orientation du transpondeur, le type d'antenne. En général, un transpondeur de verre de 32 mm peut être lu avec un lecteur fixe et de l'antenne de grille à partir d'une distance d'environ 1m. Larger transpondeurs peuvent atteindre JUSQU'À 2m gammes avec les lecteurs portables qui offrent gammes inférieures jusqu'à 250mm.



- **La précision des données** : un contrôle de redondance cyclique algorithmique de 16 bits est utilisé pour s'assurer que seules les données valide est envoyé par le lecteur à son contrôleur associé.
- **Sélection de l'antenne** : Parmi les types d'antennes, l'une donnant les grandes distances de lecture est sélectionné. Bruit électromagnétique affecte le modèle de lecture.
- **L'orientation du tag** : Pour une portée maximale, l'orientation de l'antenne par rapport au transpondeur doit être optimisée pour un couplage maximum. L'orientation en ligne avec une antenne ferrite produit les plus grandes distances de lecture de 2mm transpondeur de verre.
- **Vitesse de lecture**: De nombreuses applications nécessitent que ce transpondeur doive rester dans le champ de lecture. Depuis un lecteur fixe norme achève un cycle de buter 120ms, transpondeurs doivent rester dans les limites d'un modèle de lecture pour au moins ce laps de temps

1.6 Les avantages de la technologie RFID dans la vie quotidienne

1.6.1 La RFID comme outil de paiement



Figure 1.12 : Le dispositif de paiement Pidion BIP-1300 [11].

Le paiement est un des défis importants de la RFID. Parmi les applications de la RFID dans ce domaine, le modèle Pidion BIP-1300 se présente comme un dispositif de type PDA (Personal Digital Assistant), qui accepte des techniques de paiement diverses, comme les cartes bancaires à puce ou à bande (figure 1.12). Il est également équipé d'un module RFID permettant la lecture de cartes sans contact [9][12] via la connexion WiFi 802.11b/g, Bluetooth Class 2 ou encore GSM Edge en direct avec les banques et les instituts de paiement. Le paiement sans contact peut aussi s'effectuer via une montre.

1.6.2 La RFID dans les gestions de transport

L'amélioration de la gestion des flux grâce à la RFID se remarque aussi dans le domaine des transports comme la figure 1.13 La société de services Steria a mis en place à l'aéroport Charles de Gaulle à Paris un système qui permet de gérer la flotte de taxis, et de proposer des taxis en adéquation avec le trafic de passagers. Ce système fonctionne grâce à une puce RFID située sur les taxis, et un capteur placé à l'entrée du garage des taxis. Un système identique est en place à l'aéroport de Heathrow à Londres, et prochainement à l'aéroport de Lyon St-Exupéry [11].



Figure 1.13 : La RFID dans les transports en commun [11].

1.6.3 La RFID et les documents d'identité



Figure 1.14 : La RFID est présente dans les documents d'identité.

L'identification des individus passe aussi par l'authentification des papiers d'identité comme dans la figure 1.14. La RFID est alors un moyen d'une part de s'assurer de la validité des documents, mais aussi de s'assurer que les informations contenues dans le passeport sont également sous forme de données numérique [23]. Il est à noter que des questions de sécurité importantes se posent quant à la

l'intégrité des données contenues dans les tags RFID des passeports. Des hackers ont, dès 2006, rendu public les failles de sécurité qui pèsent sur les passeports équipés de RFID.

1.6.4 La RFID pour l'hôpital et l'implant RFID

Dans le domaine de la santé, la localisation des patients et le suivi des processus de soins trouvent une synergie toute particulière grâce aux applications rendues possibles par la RFID. La société Versus Technology a intégré des tags RFID dans ses solutions logicielles de suivi des plannings et de la logistique à destination des cliniques et des hôpitaux. Personnel comme patients sont ainsi équipés de tags qui permettent à la fois de les situer précisément de tags qui permettent à la fois de les situer précisément 370783914547D6C48895370783914547D6C48895 dans l'établissement, et de vérifier que les parcours de soins sont correctement effectués comme la figure 1.15.



Figure 1.15 : Les technologies sans fil pour la gestion des patients au sein de l'hôpital et à la longue distance [5].

Le contrôle et la surveillance des patients peuvent également s'effectuer par le biais de puces RFID attachées ou implantées dans le corps humain de manière sous cutanée. C'est ce qu'a proposé la société Verichip, qui implante chez des patients volontaires des puces en vue d'assurer leur suivi médical ou lors de leur hospitalisation [5]. Cependant, cette technologie d'implantation a été décriée pour son potentiel de surveillance de l'individu, et l'intrusivité de son concept. Il est à noter que des sociétés comme Nonatec proposent ce type de produit pour des animaux domestiques ou d'élevage.

1.6.5. La RFID pour tatouer les animaux domestiques et les logistiques

La société Sniftag propose d'adapter le RFID pour les besoins des animaux de compagnie, et de leur maîtres. Accroché au collier d'un chien, un boîtier contenant un tag RFID permet de constituer des historiques des différentes activités, de son alimentation, ou encore de son état de santé comme dans la figure 1.16 [5]. Il est également possible de suivre son chien à distance, via un portail Internet, pour connaître l'activité d'un animal pendant que le maître est absent.



Figure 1.16 : Suivre l'activité d'un chien à distance.

Un des secteurs d'activité dans lequel la technologie RFID est utilisée depuis longtemps est celui de la logistique (Figure 1.16). Rapidement, les codes à barre ont été remplacés par les tags RFID, et dans des domaines aussi divers que la fabrication de médicaments, ou encore ici dans celui de la gestion de marchandises [5]. L'avantage de la RFID est ici déterminant, car la RFID UHF a une portée qui permet de repérer des tags actifs à plusieurs centaines de mètres. Cela permet par exemple d'effectuer des inventaires et de surveiller les marchandises en temps réel.



Figure 1.17 : La RFID permet de faciliter la logistique.

1.7 Les axes de recherche dans la technologie RFID

Ces dernières années, la technologie RFID est apparue avec ses importantes applications dans plusieurs domaines de la vie quotidienne. Pour l'instant, les principaux axes de recherche dans la technologie RFID s'articulent autour de:

➤ Miniaturisation de l'étiquette RFID et développement des outils de conception automatisés: Les logiciels de conception automatisée facilitent le processus de conception pour le designer. Les contraintes techniques et les critères de conception (tels que la fréquence de travail, la distance de lecture, la taille maximale, etc) seront pris en compte par le logiciel pour arriver aux conceptions finales à partir des structures initiales [16].

➤ Réduction du coût des étiquettes RFID par un choix approprié des technologies de fabrication, par exemple en utilisant les nouvelles technologies de fabrication tels que le jet d'encre et la sérigraphie. [17]

➤ Intégration d'autres fonctionnalités dans les étiquettes RFID. La RFID est une technologie sans fil entièrement compatible avec l'intégration des capteurs. Donc, il est devenu essentiel de combiner la technologie RFID au développement des réseaux de capteurs sans fil (Wireless Sensor Network). Ainsi, la tendance actuelle est d'intégrer la fonction capteur dans les technologies d'identification (en particulier RFID) [18]

➤ Les étiquettes RFID sans puce: Elles visent à abaisser le coût des étiquettes RFID. Parmi les approches possibles, on peut utiliser des matériaux de type SAW (Surface Acoustic Wave) ou exploiter les paramètres électromagnétiques comme la Surface Équivalente Radar (SER), la polarisation, le temps du groupe... afin d'améliorer le niveau du signal de lecture et la quantité de d'information mémorisée sur un tag sans puce.

Il existe aussi des travaux pour exploiter des systèmes à fréquence très élevée dans le domaine THz et pour des applications militaires [19].

➤ La sécurité des données et les réglementations de la RFID: Les algorithmes pour augmenter la fiabilité et réduire le risque des intrusions dans les systèmes RFID. En outre, les réglementations RFID contribuent à unifier les normes et les performances des systèmes RFID [20]

➤ Applications M2M ou Internet of Things: La tendance de l'intégration de toutes les technologies d'identification sans fil dans des applications telles que les réseaux de capteurs sans fil (Wireless Sensor Network) ou réseau intelligent (Smart Grid) est une des orientations de recherches potentielles pour améliorer la qualité de vie. Les travaux de recherche récents mentionnent «Internet of Things» comme une des tendances et perspectives dans cette révolution [21].

1.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une vue générale sur la technologie RFID et ses avantages, notamment dans les applications civiles.

En outre, nous avons présenté la structure et les normes d'un système RFID. De ce travail nous pouvons mieux identifier les caractéristiques et les propriétés de chaque composant.

Nous avons aussi présenté brièvement les axes de recherche actuels qui sont envisagés pour le développement de la RFID et ses applications.

II.1 Introduction

RFID est devenue une technologie dominante [22] dans la vie quotidienne. La recherche électromagnétique concerne principalement la conception des antennes d'étiquettes ayant une haute efficacité et de petite taille [23].

Dans ce chapitre, nous allons présenter les paramètres fondamentaux d'une antenne, ainsi que les différentes techniques d'adaptation d'impédance entre la puce et l'antenne du tag RFID.

Aussi, dans ce chapitre nous allons concevoir trois structures antennes pour les tags RFID UHF passifs, en utilisant le logiciel CST et en se basant sur certains travaux présentés dans la littérature.

II.2 Les paramètres fondamentaux d'une antenne

II.2.1 L'impédance

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

$$Z_a = R_a + jX_a \quad (2.1)$$

La partie réelle dans l'équation (2.1) est composée de la résistance de rayonnement R_r et de la résistance des pertes R_l . L'énergie dissipée dans R_r correspond à l'énergie rayonnée par l'antenne. L'énergie dissipée par R_l correspond quant à elle aux pertes de conduction, aux pertes diélectriques et aux pertes d'onde de surface de l'antenne.

$$R_a = R_r + R_l \quad (2.2)$$

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

$$Z_g = R_g + jX_g \quad (2.3)$$

Le schéma équivalent d'une antenne en transmission est représenté sur la figure. 2.1a.

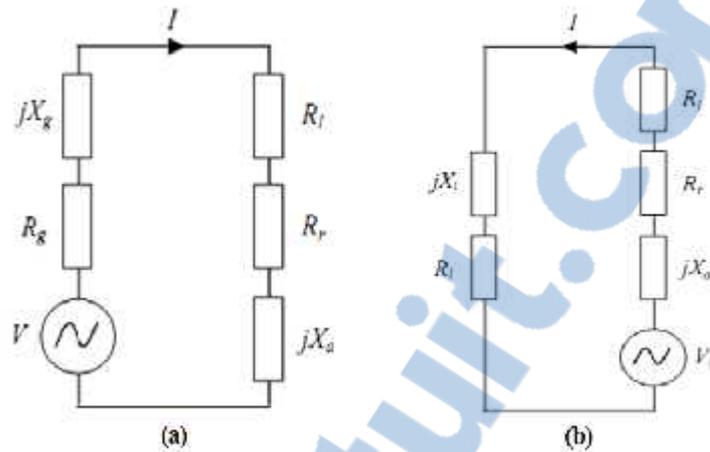


Figure 2.1 : Schémas équivalents d'une antenne en: (a) Transmission et (b) Réception

Dans le cas de la réception, l'antenne est connectée à une charge ayant une impédance Z_1 composée d'une partie réelle R_1 et d'une partie imaginaire X_1 .

$$Z_1 = R_1 + jX_1 \tag{2.4}$$

Le schéma équivalent d'une antenne en réception est représenté sur la fig. 2.1b. V_0 représente la tension générée par l'antenne. Dans le cas de l'adaptation, elle est reliée à la densité de puissance S de l'onde incidente par l'équation (2.1-2.2):

Où G est le gain de l'antenne, λ est la longueur d'onde à la fréquence considérée.

II.2.2 Le coefficient de réflexion et le coefficient de transmission

Communément, une antenne est conçue pour être adaptée à l'impédance caractéristique Z_0 réelle d'une ligne de transmission (généralement 50 ou 75 Ω) afin de minimiser le taux d'onde stationnaire (TOS). On définit alors le coefficient de réflexion d'une antenne par (2.1-2.2):

$$\Gamma = \frac{Z_a - Z_0}{Z_a + Z_0} \tag{2.6}$$

Le TOS est quant à lui donné par (2.7):

$$TOS = \frac{1 + |\Gamma|^2}{1 - |\Gamma|^2} \tag{2.7}$$

On peut définir le coefficient de transmission en puissance T par (2.8). Il correspond au rapport de la puissance transférée à une charge sur la puissance totale maximum pouvant lui être transférée.

$$T = 1 - |\Gamma|^2 \quad (2.8)$$

A partir de (2.6) et (2.8), on peut obtenir la relation (2.9) reliant le coefficient de transmission aux impédances d'une antenne et de sa charge (Z_a et Z_l) en considérant l'antenne en réception (figure 2.1b). Cette relation est très utile en RFID, car elle correspond au rapport de la puissance transférée à une puce RFID sur la puissance totale maximum pouvant lui être transférée.

$$T = \frac{4R_a R_l}{|Z_a + Z_l|^2} \quad (2.9)$$

II.2.3 Électromagnétiques de RFID

La mise en œuvre la plus courante de l'antenne de l'étiquette RFID UHF passive utilise un simple dipôle ou une variante de celui-ci par exemple, double dipôle, dipôle replié [24] [25]. Le dipôle est constitué d'un radiateur efficace par la conception qu'il soit des multiples impairs de $\lambda/2$ où λ est la longueur d'onde à la fréquence centrale de fonctionnement. La performance d'étiquette, cependant, dépend des caractéristiques de rayonnement et le transfert de puissance entre l'antenne et la puce d'étiquette.

Si une antenne est considérée comme un dispositif qui accepte une puissance de dispositif et le rayonne dans l'espace, alors le rendement de rayonnement d'une antenne peut être définie comme rapport de puissance rayonné dans l'espace et la puissance totale admise [24][27]. Il est également connu que l'efficacité de l'antenne

$$P_{\text{rayonné}} = A_{\text{dmis}} * \eta \quad (2.10)$$

Pas toute la puissance acceptée par l'antenne peut être rayonnée par celui-ci, une certaine puissance est perdue car elle est soit absorbée par le substrat (pertes diélectriques) ou la masse (pertes de masse) ou converti en chaleur.

Une antenne d'étiquette peut avoir une bonne efficacité de rayonnement et toujours être pauvre en performance s'il y a décalage considérable entre la charge et l'impédance d'antenne. Un décalage se traduira par l'énergie RF qui est réfléchi vers l'émetteur sans mise sous tension la puce RFID.

Par conséquent, il est important d'adapter l'impédance d'antenne au conjugué complexe de l'impédance de la puce pour réaliser un bon transfert de puissance à partir de l'antenne à la charge. Par définition [24], le gain d'une antenne (généralement exprimée en dBi) est le rapport de l'énergie

rayonnée dans la direction notamment lorsque l'antenne est excitée avec une certaine quantité de puissance d'entrée vers l'antenne isotrope théorique excitée par la même quantité.

Supposant que le système de RFID utilisé dans un environnement de canal idéal, les équations de Friis [24][26] peuvent être utilisées pour déterminer la puissance reçue par le lecteur de l'étiquette pour une distance donnée.

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi r)^2} \quad (2.11)$$

Où P_r est la puissance reçue par l'antenne de lecteur à l'antenne d'étiquette. Elle est calculée à une distance r du lecteur. La puissance transmise par le lecteur est donnée par P_t . Les gains du lecteur et d'antenne d'étiquette sont donnés par le G_t et le G_r respectivement.

Dans les applications réelles cependant, il pourrait y avoir incompatibilité de polarisation (p) entre le lecteur et les antennes du tag, et pas non plus toute la puissance absorbée par le récepteur est disponible à la charge en raison de désadaptation d'impédance (q). En introduisant ces facteurs dans la relation (2.11), l'équation de Friis modifiée est écrite comme indiqué dans l'équation 2.12

$$P_r = pq \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi r)^2} \quad (2.12)$$

II.2.4 Polarisation

Les champs électromagnétiques ont une orientation spatiale qui peut être constante ou variable dans le temps et cette orientation définit la polarisation de l'onde [3]. Les champs électriques incidents sur un conducteur génèrent des courants de surface parallèles à eux. Si le champ incident sur une antenne est majoritairement perpendiculaire à la polarisation de l'antenne, alors le signal généré sera très faible et ne permettra pas le fonctionnement du tag dans le cas de la RFID. La plupart des antennes que nous avons examinées sont allongées (notamment de forme dipolaire) dans une direction et communiqueront facilement avec les champs polarisés le long de cette direction.

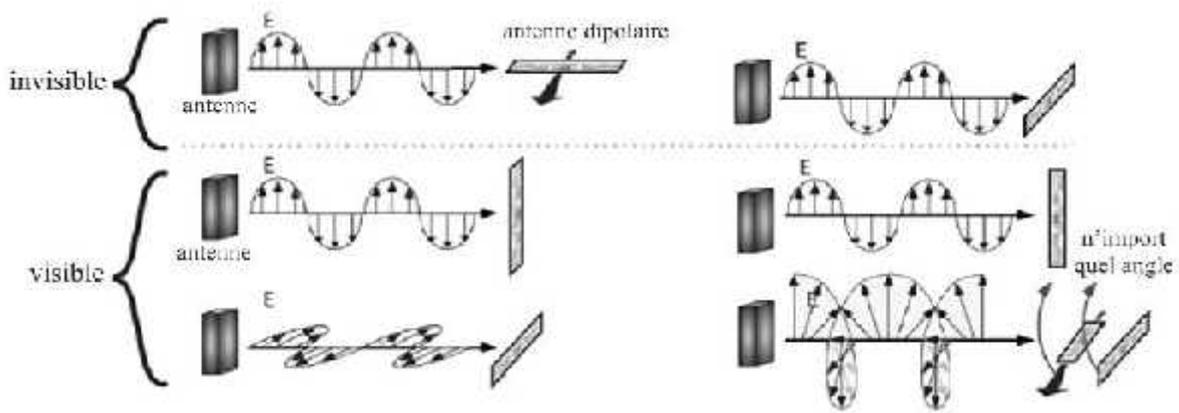


Figure 2.2 : Différentes dispositions des tags dipolaires par rapport à la polarisation de l’antenne du lecteur [3].

Cela signifie que quelques combinaisons de polarisation et d’orientation permettront aux tags d’être lus et d’autres combinaisons laisseront les tags quasi-invisibles à l’illumination du lecteur (figure. 2.2) [24][3]. En conséquence, les antennes de tag dipolaires doivent être alignées selon la polarisation de l’antenne de lecteur pour être lues

II.2.5 La distance de lecture

La distance de lecture est un des facteurs les plus importants pour évaluer la performance de la conception de l’antenne d’un tag. Cette distance, connue également sous le nom de « read-range » est donnée par la formule (2.13) [1][28]

$$d_{max} = \frac{c}{4f} \sqrt{\frac{EIRP_R}{P_{th}} G_{tag}(\theta, \phi)} \tag{2.13}$$

Ou $G_{tag}(\theta, \phi)$ est le gain de l’antenne du tag

$$G(\theta, \phi) = e \cdot D(\theta, \phi) (1 - |\Gamma|^2) \tag{2.14}$$

e est l’efficacité de rayonnement qui tient compte de la polarisation de l’onde, $D(\theta, \phi)$ est la directivité de l’antenne du tag et Γ est le coefficient de réflexion de l’antenne.

Le coefficient de transmission τ est donné comme dans l’équation (2.9):

$$\tau = \frac{4R_{puce}R_A}{Z_{puce} + Z_A} \tag{2.15}$$

Selon la formule ci-dessus, la distance de lecture dépend des paramètres suivants: fréquence (f), puissance isotrope rayonnée équivalente (EIRP), sensibilité de la puce (P_{th}), le coefficient de

transmission (Γ) et le gain de l'antenne (G). Les trois premiers paramètres sont fixés au départ et seront inchangés au cours de la conception. Puisque le coefficient de transmission dépend de l'adaptation de l'impédance entre la puce et l'antenne, la distance de lecture sera affectée de manière significative si l'adaptation entre la puce et l'antenne n'est pas assurée.

D'autre part, le gain de l'antenne dépend de la structure retenue lors de la conception et influe sur la distance de lecture du système. En outre, la distance de lecture dépend aussi de l'objet sur lequel le tag est placé. En effet, la constante diélectrique, la tangente des pertes, l'épaisseur de l'objet ... sont des facteurs qui ont beaucoup d'influence sur le gain de l'antenne, la fréquence de résonance et l'adaptation de l'impédance.

II.3 La méthodologie de conception d'antenne des tags RFID UHF passif

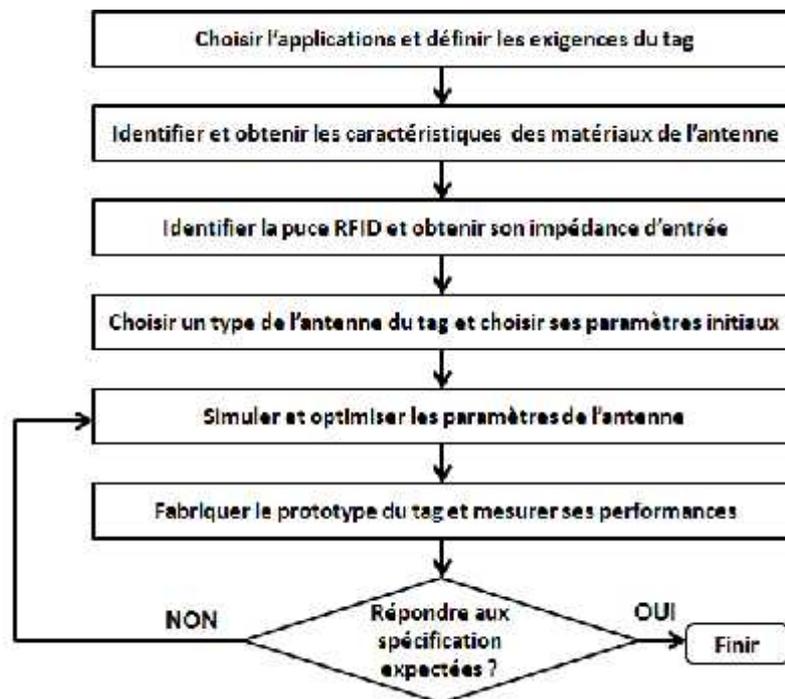


Figure 2.3 : Méthodologie de conception d'antenne des tags RFID UHF passifs.[28].

La conception d'antenne de tag RFID UHF passif nécessite de mettre en œuvre une méthodologie de développement dont l'organigramme est présenté dans la figure 2.3 [28]. Lors de la sélection des applications RFID, les exigences et contraintes du système seront mises en correspondance avec les exigences de l'étiquette. L'étiquette sera conçue le plus souvent à l'aide de logiciel de simulation électromagnétique 3D afin d'optimiser les performances comme la distance de lecture, le gain, l'impédance de l'antenne... Une fois la conception terminée, nous réalisons les antennes et les mesurons pour s'assurer si la conception satisfait aux besoins de l'application.

S'il est satisfait, le processus de conception sera réussi. Dans le cas contraire, il faut continuer à l'adapter et l'optimiser jusqu'à ce que les exigences soient satisfaites.

II.3.1 Les contraintes pour la conception du tag RFID

Pour que le système RFID fonctionne bien, une condition préalable est la nécessité de définir clairement les exigences de conception. Chaque situation a des besoins différents qui dépendent en fonction de l'objet d'application, les réglementations de chaque pays, la capacité d'interagir avec les autres systèmes de télécommunication [1].

II.3.1.1 La fréquence et la bande passante

La fréquence est choisie en fonction de l'application. En effet aussi bien les hautes fréquences que les basses fréquences peuvent être envisagées. Cependant, les caractéristiques de chaque gamme de fréquence sont très différentes en termes d'application. En effet, l'environnement ou les obstacles entre l'étiquette et le lecteur peuvent influencer sur la performance du système. Les fréquences LF et HF sont utilisées normalement dans les environnements comme les matériaux diélectriques (papier, plastique, céramique, etc....) qui peuvent laisser pénétrer dans les champs électromagnétiques. Ils sont également utilisés pour des matériaux à fortes pertes diélectriques ou des milieux métalliques car la pénétration de l'onde électromagnétique est souvent suffisante. Néanmoins, la distance de lecteur demeure modeste, le plus souvent bien inférieure au mètre, car il s'agit d'un couplage magnétique [28].

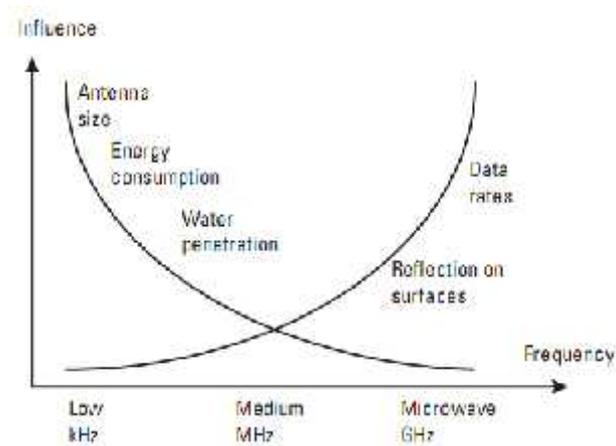


Figure 2.4 : Les influences de l'environnement sur l'onde électromagnétique selon les Différentes fréquences [25].

Dans la région de plus haute fréquence (UHF ou supérieur), le champ électrique devient plus important et on utilise un phénomène de propagation pour communiquer entre le lecteur et le tag. Des distances de lecture de plusieurs mètres sont alors envisageables. Par ailleurs la sensibilité de l'antenne

à son voisinage immédiat permet de concevoir des capteurs empoilant cette sensibilité à un ou plusieurs paramètres de l'environnement.

II.3.1.2 La distance de lecture

La distance de lecture d'un système RFID dépend de la configuration des composants du système et les paramètres suivants [1][24]:

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

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

II.4 Techniques d'adaptation d'impédance pour les tags RFID UHF passifs

Le premier avantage de l'adaptation d'impédance entre l'antenne du tag et la puce est de récupérer suffisamment d'énergie pour générer une tension continue suffisante pour alimenter la puce RFID (en particulier l'unité de traitement numérique qui gère le protocole de communication).

II.4.1 T-match Structure

Une approche possible pour l'adaptation d'une antenne à la puce RFID qui a généralement une impédance capacitive, est d'ajouter une structure d'adaptation inductive. Une structure possible utilise une combinaison d'inductances en parallèle et en série. Une telle approche est montrée à la figure 2.5 [23]. Les inductances parallèle et série sont réalisées par des longueurs de ligne conductrice raccordant l'antenne à la puce.

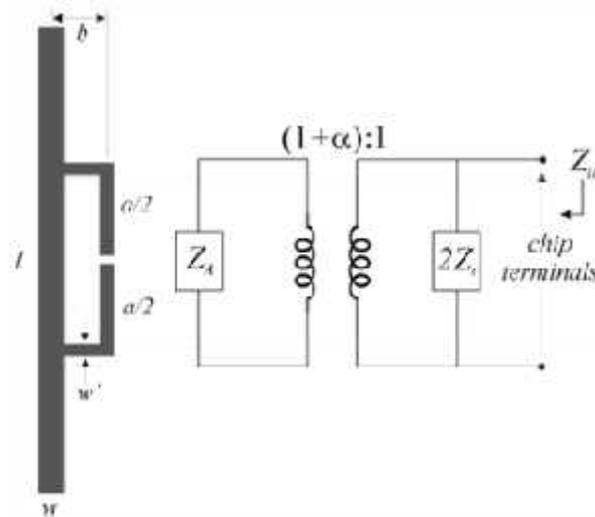


Figure 2.5 : La configuration T-match et le circuit équivalent [23].

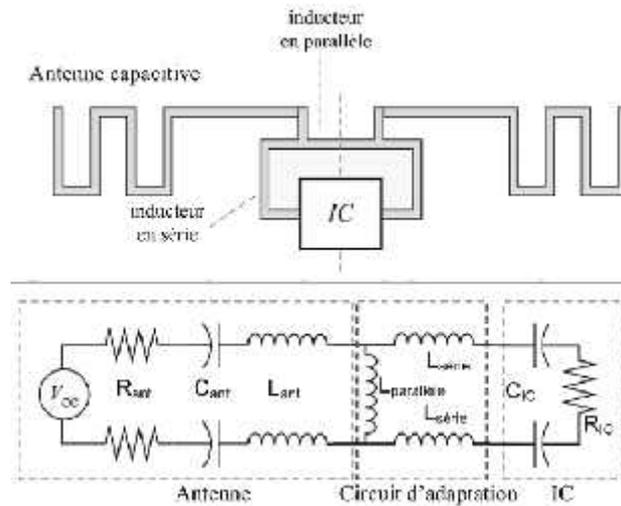


Figure 2.6 : Le modèle de circuit équivalent de la configuration T-Match [3].

L'impédance équivalente vue à partir de la puce:

$$Z_{in} = \frac{2Z_t (1+\alpha)^2 Z_a}{2Z_t + 1+\alpha)^2 Z_a} \tag{2.17}$$

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

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

II.4.2 La boucle d'inductance à couplage mutuel

Le fonctionnement de cette configuration est presque identique à la configuration T-Match, mais nous utilisons une boucle proche de l'antenne pour exploiter le couplage mutuel afin d'ajuster l'impédance de la structure (fig. 2.7). Les paramètres de l'adaptation de l'impédance sont les dimensions de la boucle ainsi que de l'antenne et la distance entre la boucle et l'antenne. L'impédance équivalente vue à partir de la puce [23]:

$$Z_{in} = Z_{loop} + \frac{2 \Gamma M^2}{Z_A} \quad (2.18)$$

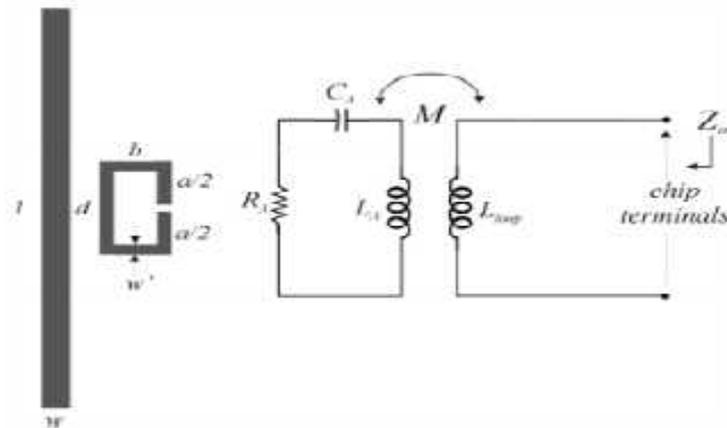


Figure 2.7 : La boucle à couplage mutuel et le circuit équivalent [23].

II.4.3 Structure de Nested-Slot

C'est une approche complètement différente en comparaison avec celles au dessus: au sein de la structure de l'antenne plate, des fentes pour l'adaptation sont créées comme dans la figure. 2.8. Les fentes sont équivalentes aux résistances et inductances qui permettent de stocker et de rayonner l'énergie électromagnétique. Avec plusieurs degrés de liberté, cette configuration contribue à la réduction de la taille et à la réalisation de structures multi-bandes.

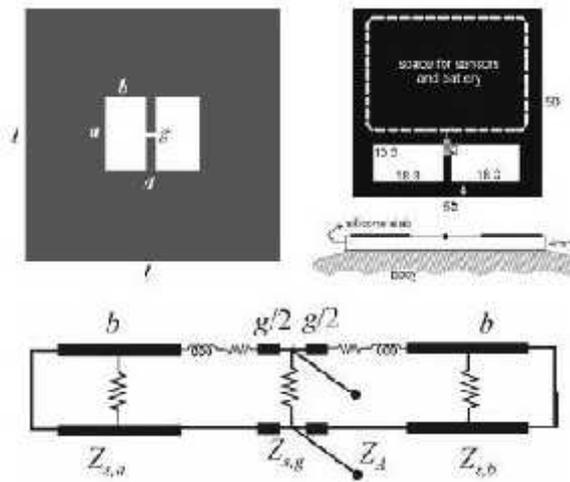


Figure 2.8 : La configuration de Nested-slot [23].

II.4.4 Structure Tip-loading

Une autre méthode consiste à utiliser une antenne plus courte avec une impédance convenable puis de lui ajouter une structure de grande taille à ses extrémités (figure 2.9). Cette grande structure est connue comme le « tip-loading capacitive » [3] et a globalement un effet capacitif. Un dipôle tip-loading semble plus inductif qu'un dipôle conventionnel de la même longueur et est donc plus facile à adapter.

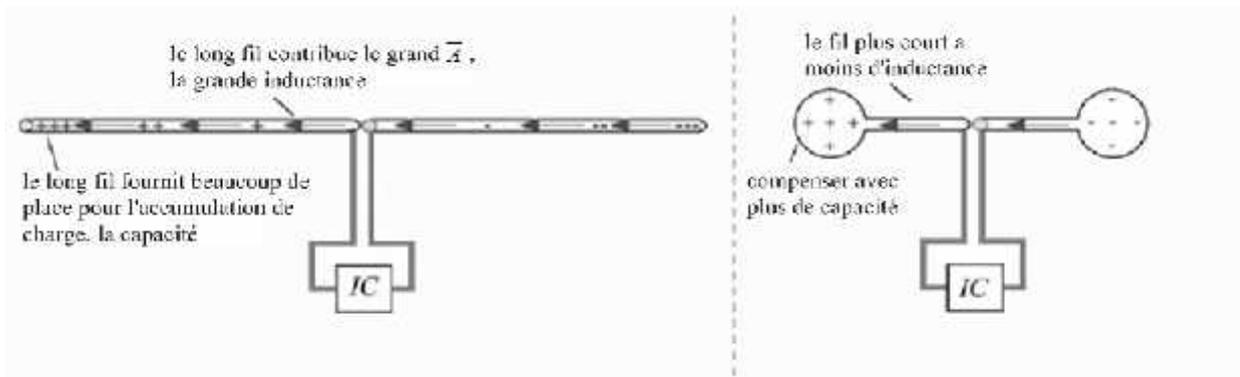


Figure 2.9 : Le dipôle raccourci par l'ajoutant des capacités aux bouts [3].

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

II.4.5 Dipôle replié

Le dipôle replié peut être analysé en décomposant la tension appliquée en parties différentielle et commune. La partie différentielle lorsque les deux fils reçoivent des tensions opposées, et la partie commune, lorsque les segments à gauche et à droite reçoivent la même tension (figure 2.10b).

Les tensions différentielles se propagent le long de ce qui ressemble à une ligne de transmission bifilaire; puisque le courant sur le fil à gauche est toujours égal en grandeur et en direction opposée à celui sur le fil de droite. Le rayonnement de ces courants s'annule et donc la ligne de transmission n'a aucune résistance de radiation associée à cela.

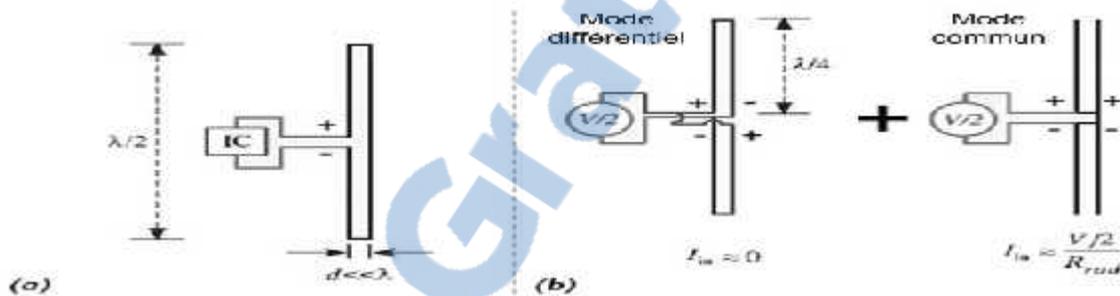


Figure 2.10: a) Dipôle replié b) Tension en décomposant en modes différentiel et commun [2.3].

II.5 Simulation d'antennes des tags RFID UHF passif

II.5.1 Broad-band dipôle

II.5.1.1 Introduction

RFID est une technologie émergente qui a gagnée un intérêt croissant des communautés scientifiques et industrielles [1]. Dans la plupart des applications les systèmes RFID UHF sont préférés. Le mécanisme de fonctionnement est illustré sur la figure 2.11, ses composants de base sont un interrogateur (l'antenne du lecteur) et un transpondeur (une étiquette de rétrodiffusion) [1].

Un rôle principal est joué par l'étiquette dont l'efficacité influe fortement sur les performances du système. Afin de maximiser la gamme lisible d'étiquette et l'efficacité du système global, une grande attention doit être accordée à la conception de l'antenne d'étiquette [31].

L'étiquette doit posséder de bonnes propriétés de rayonnement (diagramme de rayonnement isotrope et gain élevé) et être adapter à la puce de l'étiquette pour le transfert maximum de puissance.

$$Z_{in, antenna} = Z_{in, puce}^* \quad (2.19)$$

Où $Z_{in,antenne}$ est l'impédance d'entrée de l'antenne, et $Z_{in,puce}^*$ est le conjugué de l'impédance d'entrée de la puce. En se référant à la figure 2.12, où le comportement capacitif de puces commerciales communes a été mis en évidence, l'expression suivante peut être dérivée pour l'impédance d'antenne.

$$Z_{in,puce} = R_{puce} W + \frac{1}{j\omega C_{puce} W} \quad (2.20)$$

$$Z_{in,antenne} = R + j\omega L_{antenne} = R - \frac{1}{j\omega C_{puce}} \quad (2.21)$$

Où W est la pulsation, R et $W L_{antenne}$ sont la résistance et la réactance de l'antenne, alors que R_{puce} et $-\frac{1}{j\omega C_{puce}}$ sont la résistance et la réactance de la puce. La condition (2.21) peut être satisfaite en ajoutant un réseau d'adaptation entre l'antenne et la puce ou par une conception appropriée de l'antenne [31].

Il convient de souligner qu'une adaptation d'impédance raisonnable doit être garantie partout dans les bandes où les différentes régions du monde localisent le spectre des signaux RFID UHF, et par conséquent dans la bande de fréquence {860-960 MHz}.

Les résultats numériques rapportés démontrent que l'étiquette proposée montre une excellente adaptation d'impédance au-dessus de la largeur de bande entière UHF RFID.

En outre, l'antenne a été réalisée et examinée, une distance de lecture de 9 m a été mesurée en employant un système de lecteur pour la largeur de bande européenne [30].

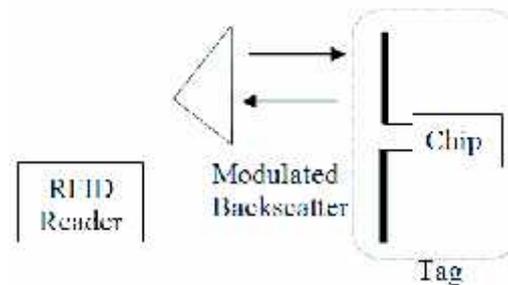


Figure 2.11 : Représentation schématique d'un système RFID UHF

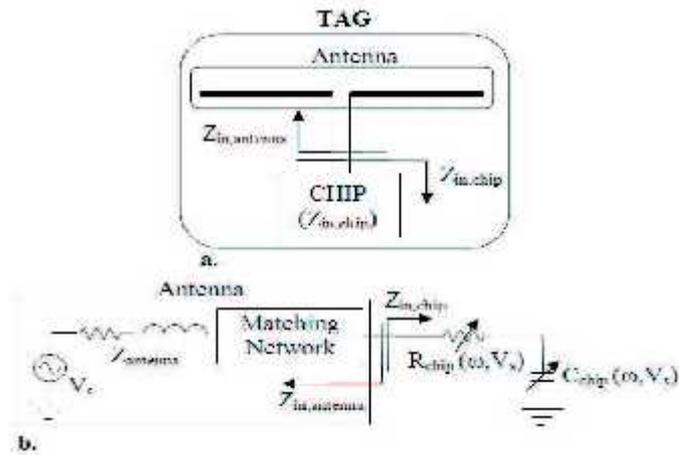


Figure 2.12 : (a) représentation schématique d'une étiquette RFID UHF, (b) Circuit équivalent mis en bloc d'éléments d'une étiquette RFID UHF.

II.5.1.2 Conception de l'antenne

L'antenne du tag proposée est illustrée sur la figure 2.13, elle a été proposée par [30]. Le corps de rayonnement principal se compose de deux monopoles réalisés sous forme de bande fermée sur une zone pseudo-circulaire conçu comme composition de trois cercles.

Afin d'obtenir un comportement inductif de l'impédance d'entrée de l'antenne ainsi pour satisfaire (2.21), la géométrie de la figure 2.14 (a) modifié en ajoutant deux boucles inductives. La disposition obtenue de cette façon est illustrée sur la figure 2.14 (b). Les deux zones circulaires ont été placés à une distance de $\lambda/4$ du port d'antenne.

Nous avons exécuté une simulation numérique en utilisant le logiciel CST. Comme accentué sur la figure 2.14 (c), afin de tenir compte le comportement capacitif de la puce, des analyses numériques ont été effectuées en utilisant un condensateur mis en bloc en série avec le port d'entrée de l'antenne et en employant R comme impédance de normalisation du coefficient de réflexion.

La valeur du condensateur localisée a été mis en référence à l'UHF Gen 2 Circuit intégré produit par Texas Instruments (numéro de la pièce RI-UHF-11111-01, RI-UHF-00001-01) et à l'Européen.

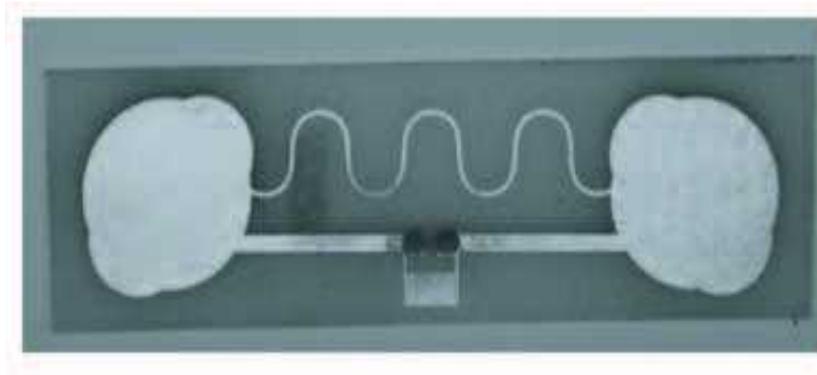


Figure 2.13 : Photographie de l'antenne d'étiquette réalisée.

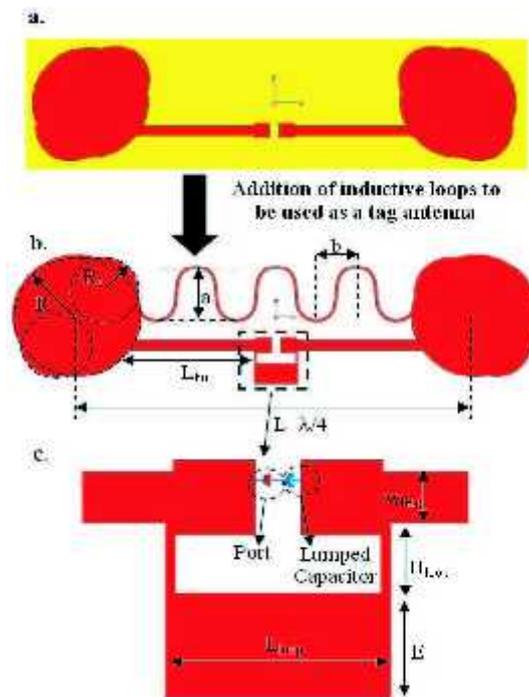


Figure 2.14 : La géométrie de l'étiquette proposée. (a) Principal corps Rayonnant, (b) la disposition de l'étiquette proposée et les paramètres géométriques, (c) Stratégie adoptée pour modéliser la puce [30].

Une couche mince de cuivre de 0.05 mm qui constitue l'antenne est imprimée sur un substrat FR-4 (constante diélectrique 4.3) avec une épaisseur de 1.58 mm.

Le condensateur mis en bloc a été utilisé pour tenir compte de la partie imaginaire de l'impédance d'entrée de la puce.

Le coefficient de réflexion de l'antenne est illustré dans la figure 2.15 (c), il est évident que la boucle influence fortement sur le niveau de l'adaptation d'impédance entre l'antenne et la puce. Quant à la fréquence de travail du dipôle et sa largeur de bande relative d'impédance, ils sont essentiellement déterminés par les dimensions (valeur absolue de R et de R_1) et la forme de la zone pseudo-circulaire

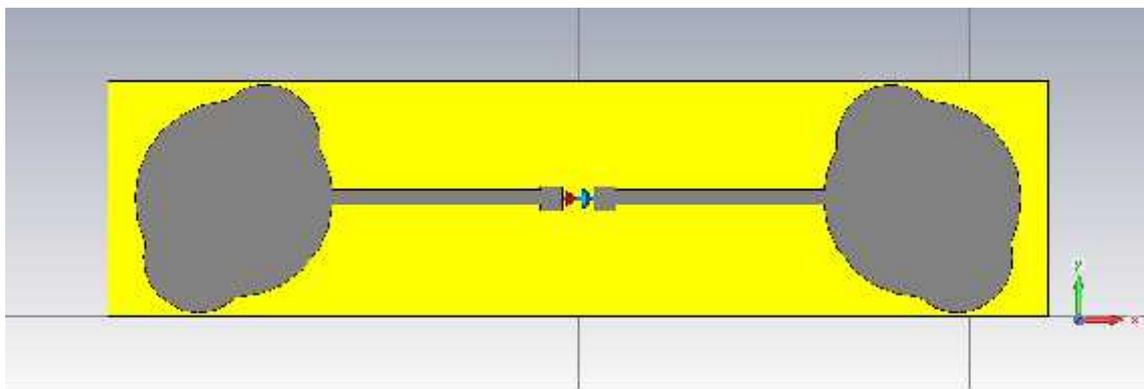
(Rapport R-à-R1). En se référant à la figure 2.14, la combinaison des paramètres d'antenne résultant dans le comportement désiré pour l'impédance d'entrée de l'antenne est donnée dans le tableau 2.1.

R	R1	L	L_{line}	L_{loop}	E	W_{line}	H_{loop}	a	B
12.6	7	88	26.7	9.8	4.8	2.3	3.1	11	7.8

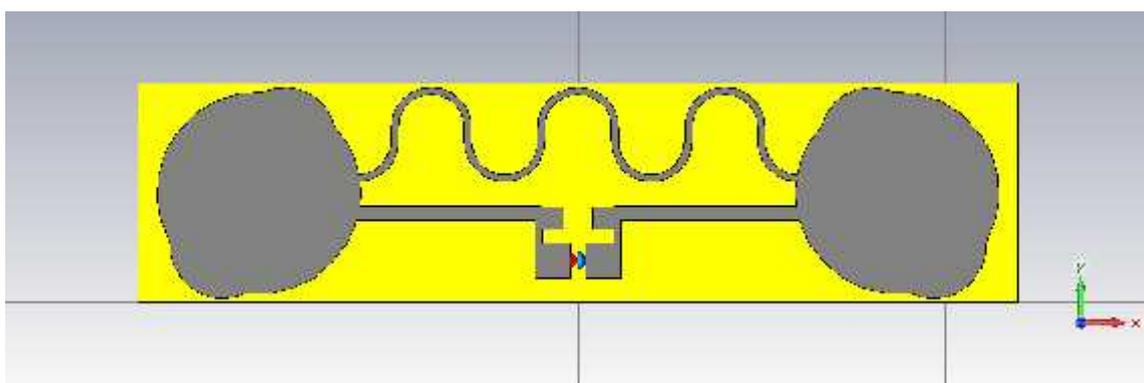
Tableau 2.1 : Paramètres d'antenne du tag réalisé. Toutes les dimensions sont en mm.

II.5.1.3 Simulation et résultats

La figure ci-dessous représente l'antenne proposée en vu de face en trois dimensions 3D par logiciel CST MWS



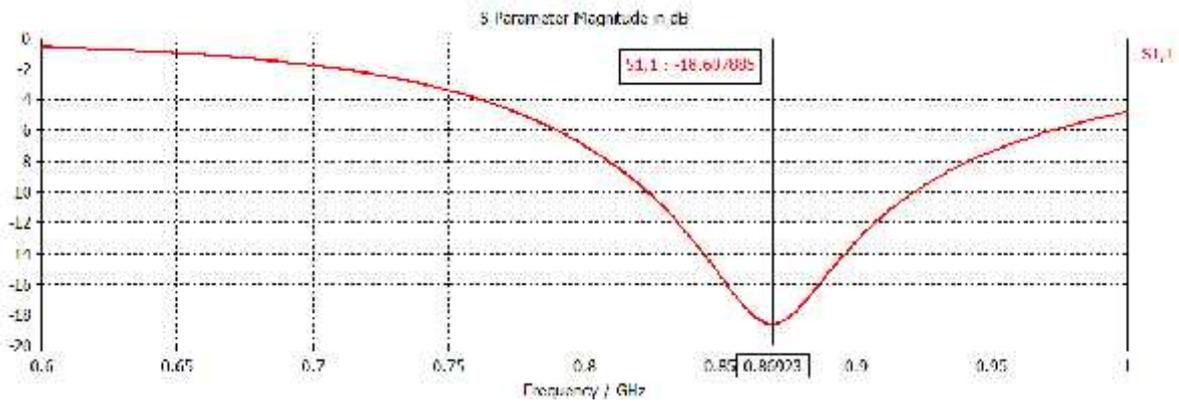
(a)



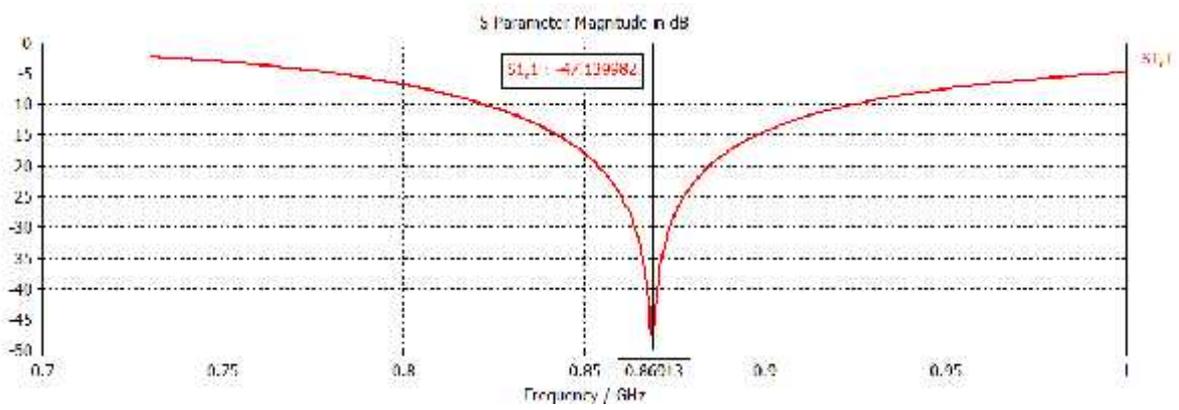
(b)

Figure 2.15: l'antenne proposée en 3D par CST MWS.

Le coefficient de réflexion $|S_{11}|$ obtenu après la simulation de cette antenne avec le logiciel CST MWS est représenté dans la figure ci-dessous



(a)



(b)

Figure 2.16 : Tracé du coefficient de réflexion $|S_{11}|$ en fonction de la fréquence pour les deux structures (a)et(b).

II.5.1.3.1 Interprétation et comparaison entre les deux résultats

Pour la première structure (a), nous avons une adaptation de -18.60 dB pour une fréquence de résonance 869 MHz et pour la deuxième structure (b) une bonne adaptation de -47.13 dB

Les valeurs utilisées pour R_{puce} et C_{puce} sont ceux qui correspondent à une puissance d'entrée de -13dBm (typique de minimum lu).

$$Z_{in,chip} \omega = 2 \ 869MHz = 9.4 - j64.26 \tag{2.22}$$

$$R_{chip} \ 869MHz = 9.4 \ , C_{chip} \ 869MHz = 2.86pF \tag{2.23}$$

Les mesures expérimentales démontrent que l'étiquette proposée garantit distance de lecture de 9 m.

II.5.2 Étiquette du Dual-radiating-body RFID avec une directivité élevée

Dans la majorité d'applications on permet à l'étiquette d'apparaître en position presque arbitraire dans le domaine de l'antenne de lecteur. Un diagramme de rayonnement omnidirectionnel, qui est habituellement produit par une antenne de dipôle-shape, est largement adopté dans des conceptions d'étiquette de RFID.

Comme un compromis pour la performance omnidirectionnelle, une telle antenne n'a pas une grande directivité et peut difficilement présenter une performance à longue portée. Dans quelques applications spécifiques, comme dans situations de comme le Tapis roulant comme indiqué dans la figure 2.17, le placement des antennes d'étiquette et du lecteur sont fixe. Les performances de l'antenne haute directivité est donc plus préféré à la capacité de lecture omnidirectionnelle, afin de stimuler la lecture s'étendent ou Minimisez équivalamment la consommation électrique de lecteur sur la même distance de lecture. Certains La recherche a été rapportée en ajoutant des barres (bars) chargements à la structure de dipôle pour déformer le diagramme de rayonnement vers une forme directionnelle [33], mais l'amélioration de la directivité réalisée est limitée, généralement inférieure à 2,0 dBi, en raison de l'accouplement faible.

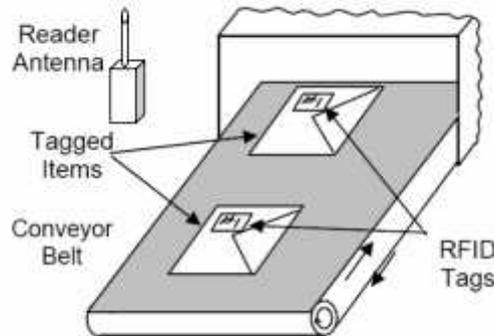


Figure 2.17 : Application de Tapis roulant de RFID.

La structure Inductif-couplée offre la possibilité d'alimenter plus d'un élément rayonnant en même temps. Chaque élément rayonnant se couple directement avec la boucle d'alimentation et ont un couplage fort. La figure 2.18 montre la configuration de l'antenne de dual-radiating-body. Deux bras de ligne en méandre sont placées de chaque côté de la boucle d'alimentation.

L'impédance de la puce est $Z_{IC} = 30 - j172$, l'antenne fait de cuivre avec une épaisseur 0.02 mm.

Le substrat constitué de polyester d'épaisseur 0.1 mm (avec $\epsilon_r=3.2$)

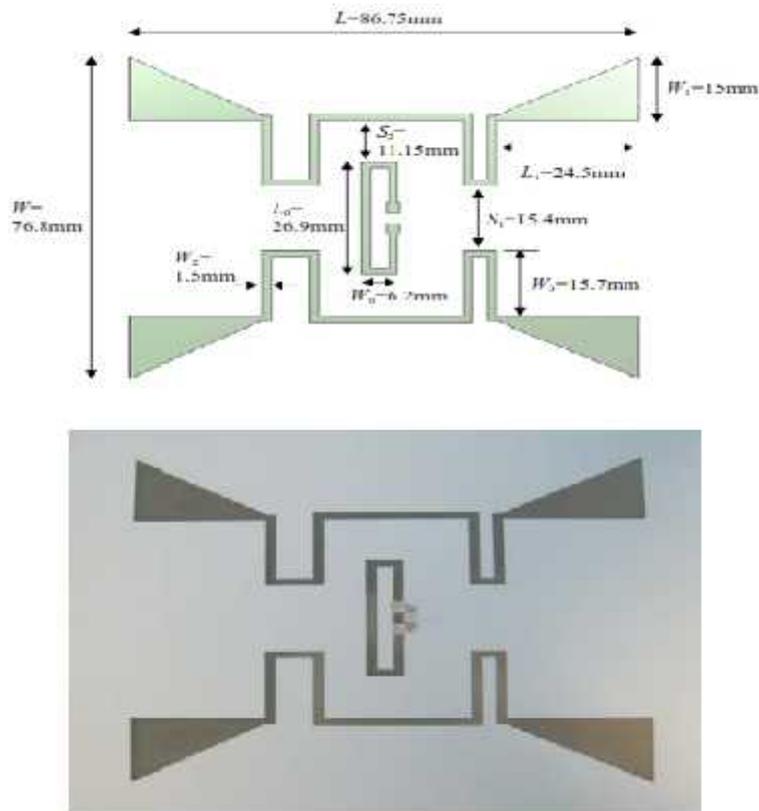


Figure 2.18 : Disposition et photographie schématiques de l'antenne du dual-radiating-body RFID [35].

II.5.2.1 Simulation sous logiciel CST studio

Nous avons simulé cette antenne avec le logiciel CST. La figure 2.19 présente l'antenne dual-radiating-body prise en perspective en trois dimensions 3D le logiciel CST.

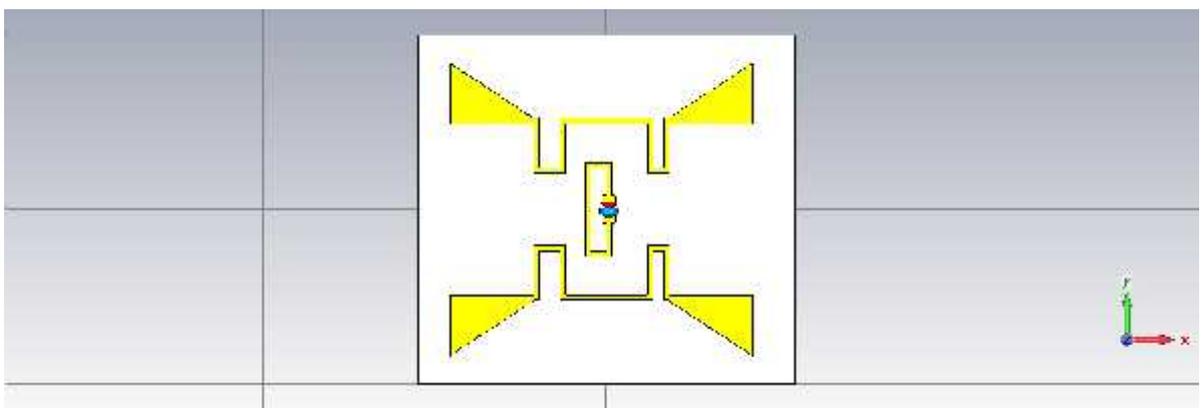


Figure 2.19 : l'antenne dual-radiating-body en 3D conçue sur CST MWS.

Le coefficient de réflexion S_{11} obtenu après la simulation de cette antenne avec le logiciel CST MWS est représenté dans la figure se dissous

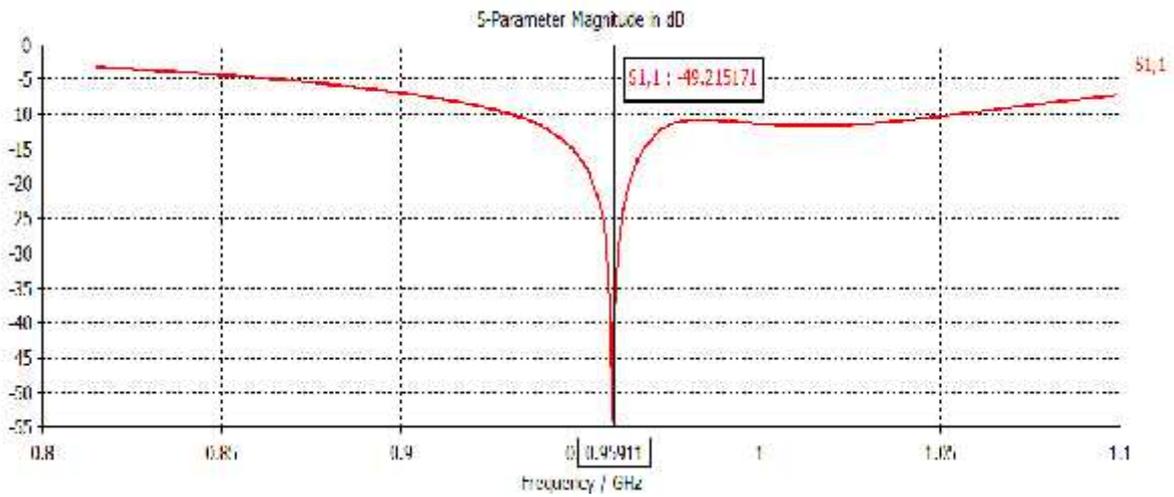
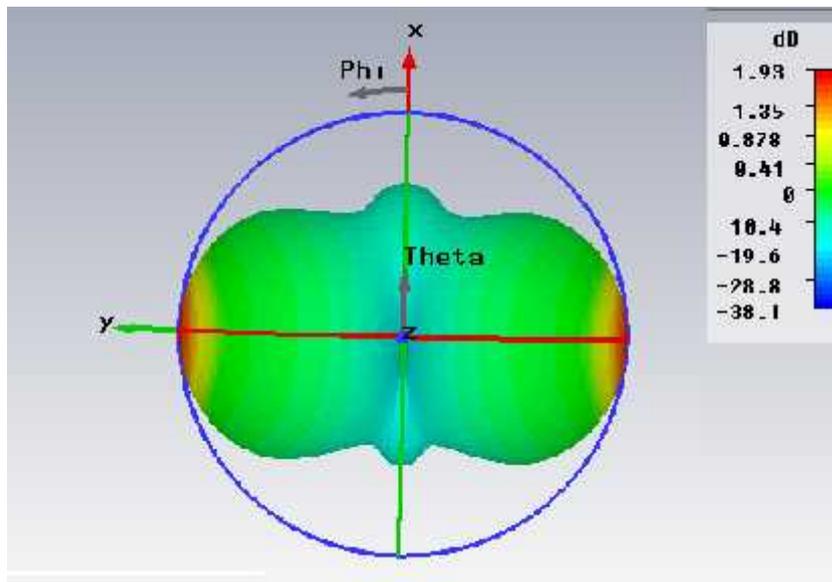


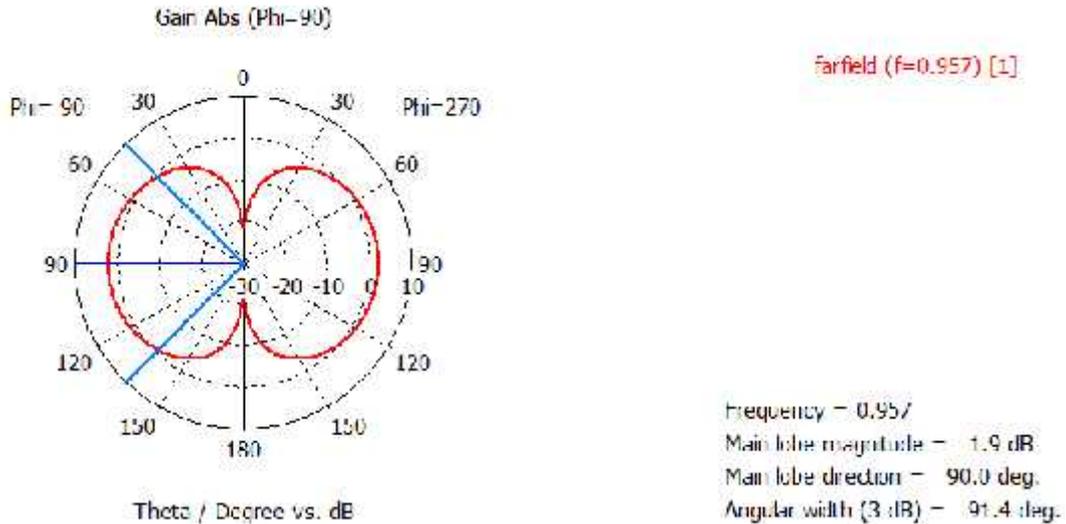
Figure 2.20 : coefficient de réflexion $|S_{11}|$ de l'antenne.

Nous remarquons que la fréquence de résonance de cette antenne est de 957 MHz, elle est très proche de la fréquence espérée qui est de 960 MHz, avec une bonne adaptation de -49 dB.

Les représentations des diagrammes de rayonnement en 2-D et 3-D pour cette structure sont montrées respectivement dans les figures suivantes.



(a)



(b)

Figure 2.21 : Diagramme de rayonnement de l'antenne de dual-radiating-body en 2D (b) & 3D (a).

L'impédance de l'antenne proposée est $29.1+j175$ à 915 MHz est réalisée à 957 MHz.

Les valeurs principales de l'antenne d'étiquette RFID sont récapitulées dans le Tableau 2.2.

EIRP	Gain(G)	Antenne(Z_{ant})	Chip(Z_{puce})	P_t
4W	5.03 dBi	$29.1+j175.2$	$30-j172$	-15 dBm

Tableau 2.2 : paramètres clef de l'étiquette du Dual-radiating-body RFID.

En raison de la directivité élevée, la distance de lecture de l'étiquette proposée est fortement améliorée. La distance de la lecture est de 16.5 m avec une antenne de lecteur polarisée linéairement, ou de 11.7 m avec une antenne de lecteur polarisée circulairement. Une désadaptation de polarisation entre circulaire et linéaire est de -3 dB.

Le P_{ref} est la puissance de référence transmis par l'antenne du lecteur est à 20% de la valeur maximale autorisée (une PIRE de 4 W) [38].

Le maximum distance de la lecture peut être calculé à partir de la relation suivante :

$$r_{max} = r_{ref} \sqrt{\frac{P_{max}}{P_{ref}}} \tag{2.24}$$

Où r_{\max} est la distance de la lecture maximal, r_{ref} est la distance réelle entre le lecteur et l'antenne d'étiquette. La distance de la lecture maximale mesurée est de 10.4 m avec l'antenne circulairement polarisée, qui est proche de la plage théorique.

II.5.3 Étiquette du micro ruban RFID pour l'opération de Sur-Métal

La plupart des étiquettes commerciales RFID UHF sont basées sur l'antenne dipôle, et elle est bien connue que la performance d'étiquette dégrade de manière significative lorsque l'étiquette est placée près d'une surface conductrice [34]. Cette situation est regrettable, car l'industrie continue à chercher un moyen peu coûteux.

Souvent, l'industrie dispose simplement d'un matériau faiblement diélectrique d'épaisseur de 3 à 6 mm tel qu'un substrat de mousse, Une séparation de mousse de 3,2 mm au-dessus de la surface de métal peut produire une dégradation des performances de 16 dB ou plus sur la performance en espace libre d'une étiquette de RFID à base d'un dipôle

Les antennes patch micro ruban sont une classe bien connue. Ces antennes présentent de bonnes performances pour un fonctionnement sur-métal. Une antenne de micro ruban se compose d'un élément primaire de rayonnement, d'un substrat diélectrique, un plan de masse, et d'un élément d'alimentation.

II.5.3.1 Conception de l'antenne

La structure de T-match est largement utilisé dans des antennes dipôle comme une méthode d'adaptation d'impédance pour fournir une adaptation conjugué à l'impédance de la puce (impédance chip) IC. Une antenne micro ruban a été proposée dans cette section pour un fonctionnement sur-métal de la RFID

La figure 2.22 montre que la géométrie de l'antenne, où la puce est reliée au centre de la ligne T-match sur la surface coplanaire de l'antenne micro ruban. L'antenne a été imprimée sur un substrat de papier de 0.17 mm, et puis empilée sur une mousse d'épaisseur de 5.3 mm avec la constante diélectrique 1.04.

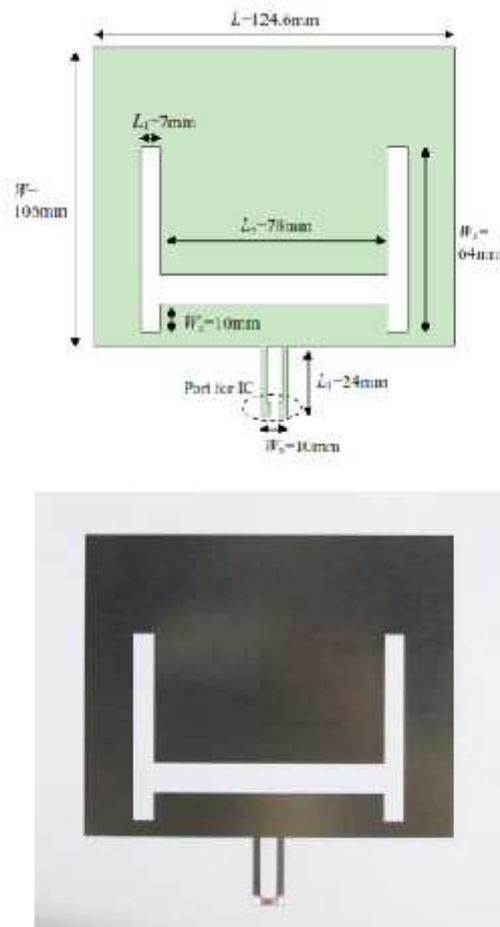


Figure 2.22 : Disposition et photographie schématiques de l'antenne du micro ruban RFID [35].

II.5.3.1.1 Simulation sous logiciel CST studio

L'antenne H-shaped prise en perspective en trois dimensions 3D avec le logiciel CST.

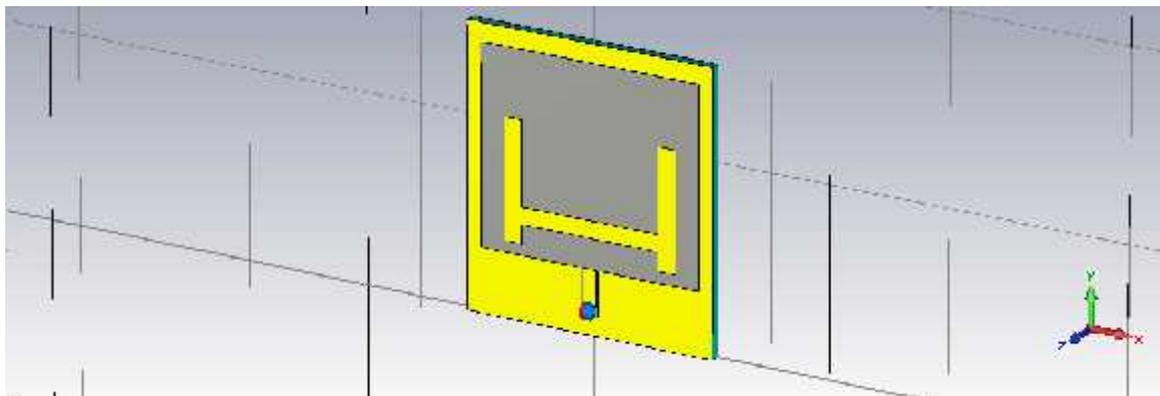


Figure 2.23 - Antenne H-shaped par le logiciel CST.

Le coefficient de réflexion S11 est donné dans la figure ci-dessous

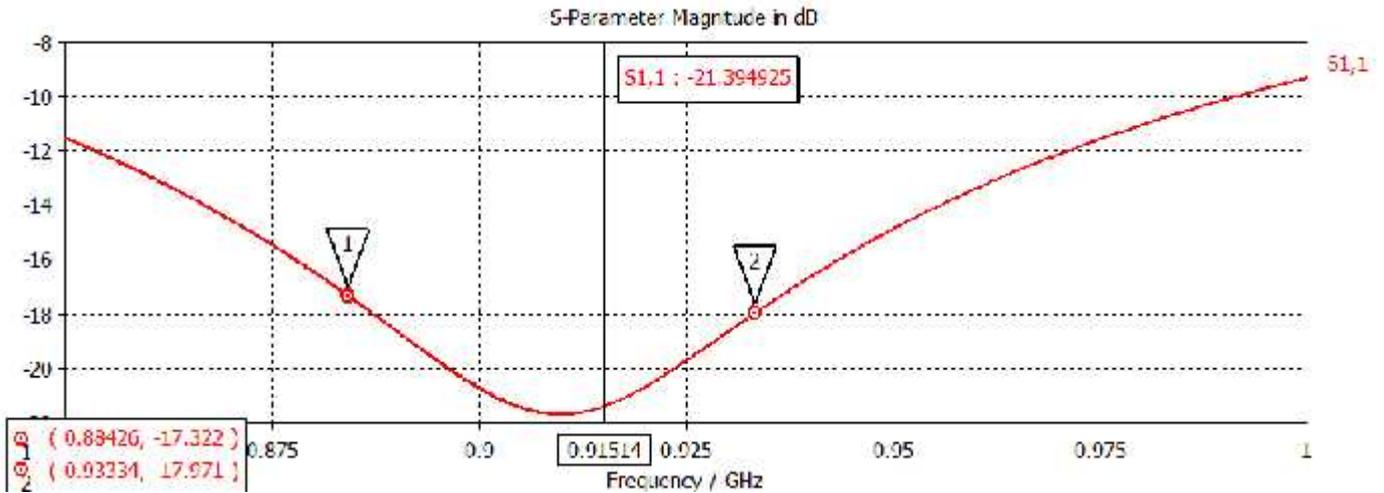
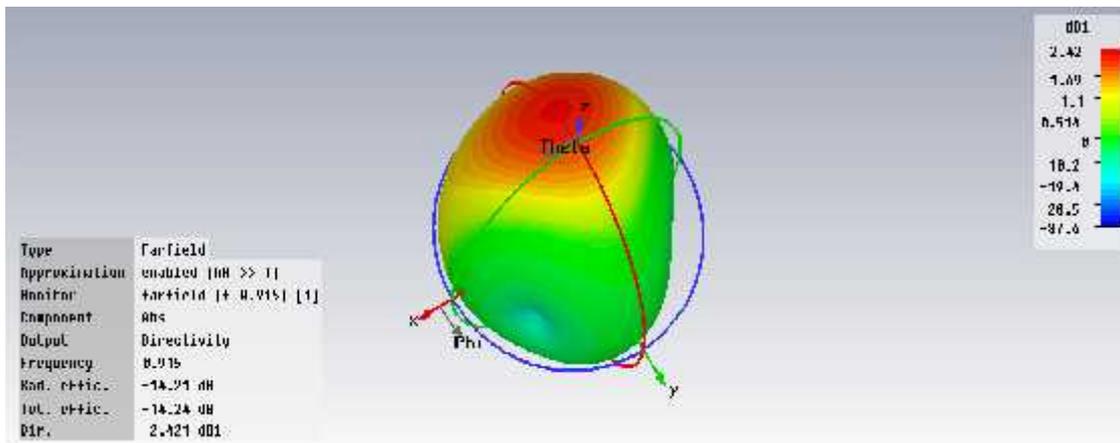


Figure 2.24 : tracé de S11 en fonction de fréquence.

Les dimensions de substrat et le plan de masse sont 18 cm X 18 cm. L'impédance de l'antenne proposée est $22.3+j167.2$ à 915 MHz, et $Z_{IC}=30-j172$ à 915 MHz.

Nous avons obtenu un coefficient de réflexion de $|S_{11}|$ -21.39dB à la fréquence 915 MHz (la fréquence de travail) désiré.

La figure 2.25 présente le diagramme de rayonnement dans la fréquence de résonance 915MHz.



(a)

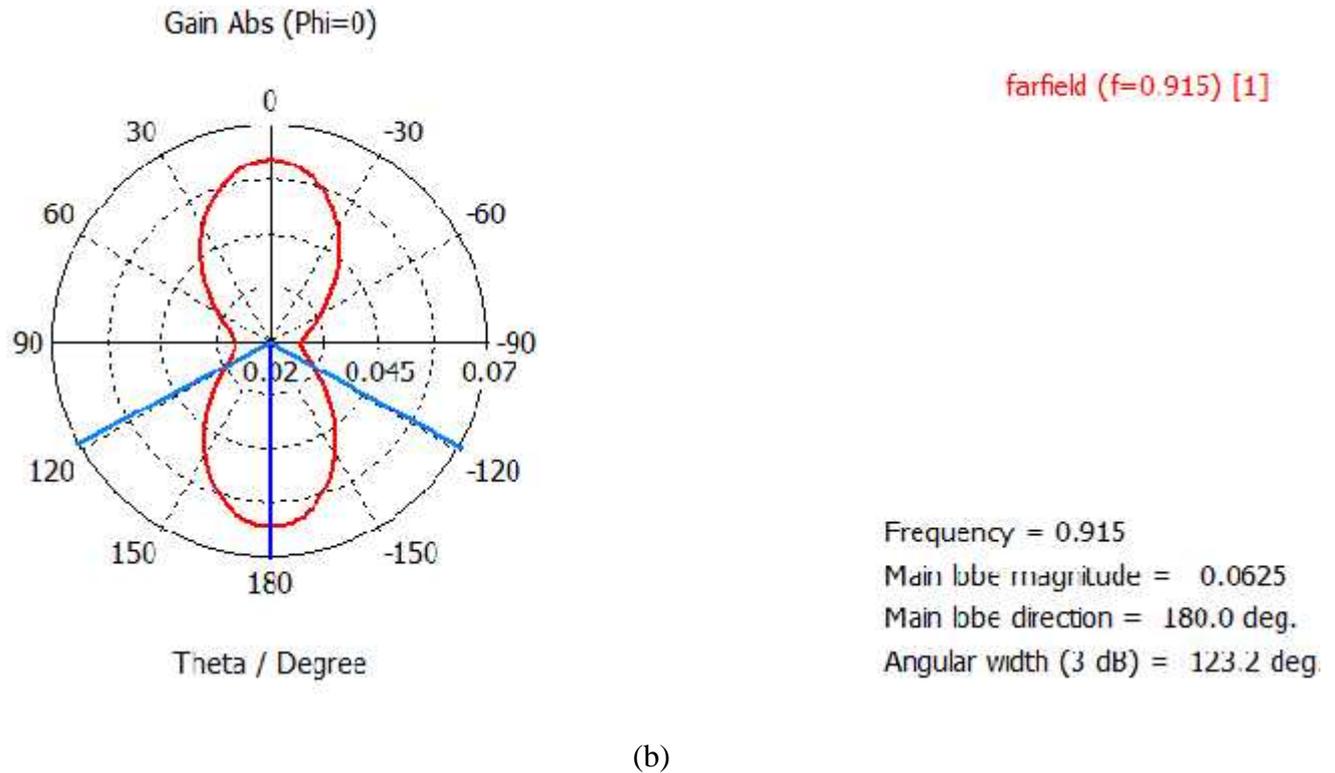


Figure 2.25 : Diagramme de rayonnement de l'antenne H-shaped 2D (a) et 3D (b).

II.6 CONCLUSION

Dans ce chapitre nous nous sommes intéressés tout d'abord aux différents paramètres fondamentaux des antennes, en mettant l'accent sur quelques paramètres importants en systèmes RFID passifs. Après un aperçu assez détaillé sur la technologie RFID dans le chapitre 1, nous nous sommes focalisé sur les méthodes de conception d'antennes pour les tags RFID UHF passifs.

Avec la méthodologie et les techniques de conception de la littérature, nous utilisons ces approches pour concevoir des tags RFID passifs pour les applications dans la bande UHF.

De plus, en seconde partie nous avons simulé et étudié trois modules passifs d'étiquette RFID UHF, à savoir l'étiquette RFID broad-band dipôle, étiquette RFID dual-radiating-body, et l'étiquette RFID micro ruban, sont alors développées, visant à différentes exécutions - dimension compacte, directivité élevée, et capacité d'étiqueter les objets métalliques.

Les configurations proposées d'étiquette RFID peuvent trouver des applications attrayantes dans beaucoup de services dans l'industrie.

III.1 Introduction

Les antennes UHF RFID passives sont principalement basées sur une configuration de dipôle « imprimée » [36]. La figure 3.1 montre plusieurs étiquettes « tags » commerciales. Comme le montre la figure 3.1, les étiquettes ont des géométries intéressantes telles que les dipôles, les fentes, les courbes, etc. La puce RFID est attachée à une boucle à l'intérieur de la structure d'antenne. La plupart des dispositifs sont conçus pour un but fonctionnel, c.-à-d qu'elles affectent le comportement de l'antenne pour atteindre un but de conception spécifique.

En ce chapitre, une étude littéraire est examinée pour classer les étiquettes RFID passif existantes dans une famille ou une classe basée sur leur application d'utilisation. Le chapitre est divisé en quatre parts : la première partie présente la géométrie dipôle et la résistance de rayonnement. La deuxième partie accentue les techniques de réduction de la taille telles que les dipôles de méandre et la configuration F-inverted. La troisième section traite la classification des étiquettes de RFID dans une famille basée sur leur application. Et la dernière section les résultats de simulation des étiquettes conçues en utilisant le simulateur CST.

III.2 Les antennes dipôles

L'antenne dipôle classique (figure 3.2) est constituée de deux fils métalliques cylindriques de longueur égale placés dans une ligne avec une source de courant alternatif dans le milieu.

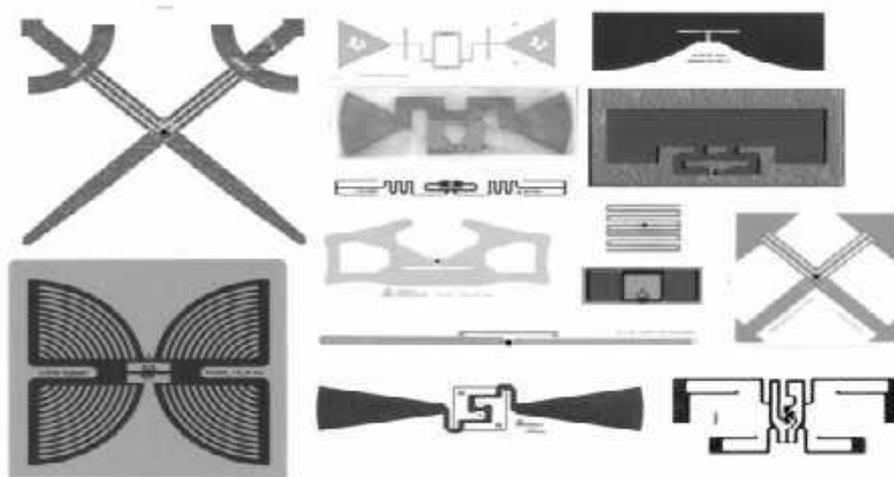


Figure 3.1 : variété des étiquettes disponibles dans le commerce [36].

Les antennes RFID ne sont pas généralement fabriquées à partir des tubes cylindriques, mais sont plutôt faites de géométrie "imprimé" qui ressemble à un dipôle. Typiquement, les antennes RFID

sont imprimées en utilisant l'argent conducteur ou des encres métalliques. Au lieu d'une structure tridimensionnelle du dipôle classique, les antennes RFID sont une structure bidimensionnelle où toute l'encre ou de métal conducteur réside dans un seul plan.

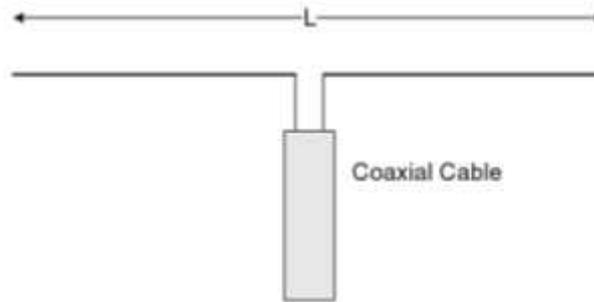


Figure 3.2 : antenne dipôle [37].

La prévision de l'impédance de l'antenne dipôle est très difficile. Cependant, sur une courte plage de fréquences proches de la résonance, le modèle de circuit peut dans une certaine mesure précisément prévoir l'impédance de dipôle. Un modèle de circuit de la série RLC [36] comme la montre la figure 3.3 fonctionne très bien pour la partie de réactance de l'impédance de dipôle. Le modèle comme décrit par [36] prises raisonnablement bien sur une gamme courte de fréquences près de la résonance, 915 MHz (norme (standard) RFID Nord-américaine).

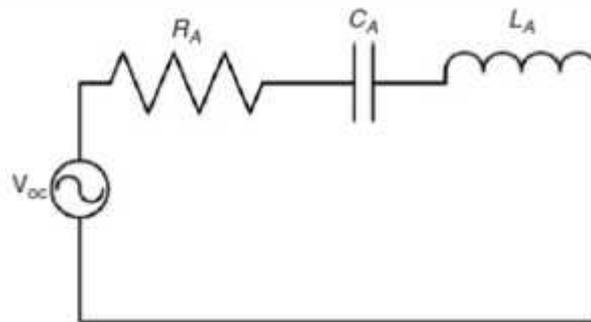


Figure 3.3 : modèle de circuit simple d'antenne dipôle près de la résonance [36].

III.2.1 Dipôles imprimés

Presque toutes les antennes RFID sont une certaine variante d'un dipôle imprimé. Le dipôle imprimé n'est pas habituellement imprimé à l'aide par exemple d'une imprimante à jet d'encre, mais cela signifie tout simplement que l'antenne est mince et plate, une structure bidimensionnelle.

Ainsi, quelle est la conséquence de l'utilisation d'un dipôle plat au lieu d'un dipôle rond ? La réponse est «perte de largeur de bande». Comme on le voit dans la figure 3.4, il existe une relation approximative entre un dipôle de fil de rayon r et un dipôle imprimé avec la largeur W : $W = 4r$ [36].

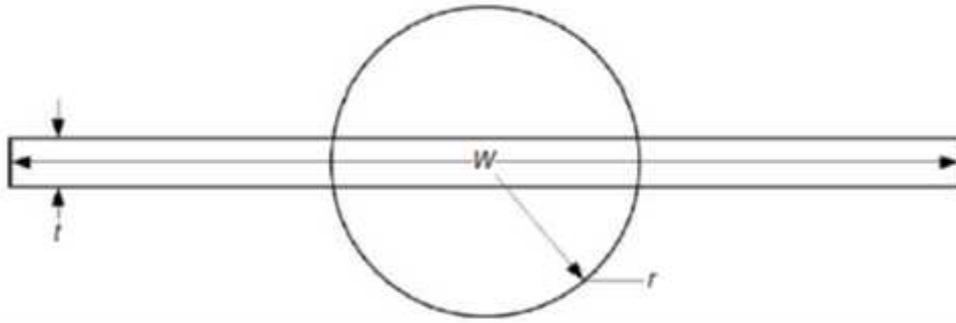


Figure 3.4 : Relation entre cylindriques et de ruban dipôles [36].

Dipôles imprimés plus larges ont plus grandes bandes passantes [36]. Cependant, des dipôles plus larges occupent plus d'espace, et si le dipôle est fabriqué à partir de l'encre argentée, le coût peut augmenter rapidement. Par conséquent, il existe un compromis entre la bande passante (rendement) et le coût lors de la conception de l'antenne RFID [36].

III.2.2 La résistance de rayonnement

Dans cette section nous allons voir comment la résistance de rayonnement (puissance rayonnée) affecte les tags RFID. La puissance absorbée par la résistance de rayonnement transmis sous forme d'énergie EM. La résistance radiative est directement proportionnelle à la longueur d'antenne [19]. Le rayonnement résistif dissipe juste la puissance absorbée sous forme de chaleur. Si nous intégrons la place de champ électrique sur tous les angles solides, nous avons pu obtenir la puissance rayonnée totale.

Une formule simple pour la le rayonnement de la résistance est donnée par [38] :

$$R_A = 80\alpha^2 \left(\frac{\pi L}{\lambda}\right)^2 \quad (20)$$

Dans cette équation, L est la longueur totale du dipôle et α est le terme dépendant de la répartition du courant le long du dipôle. Si le courant est uniforme alors, $\alpha = 1$. Si le courant est triangulaire que $\alpha = 0.5$ et si le courant est une demi-onde sinusoïdale alors $\alpha = 0.62$. Le but est d'augmenter l'efficacité de la largeur de bande de l'antenne de sorte que l'énergie électromagnétique peut être transmise ou reçue facilement.

Une méthode proposée par [37] utilise la structure de dipôle qui est droite au milieu dans lequel la partie en méandres est poussée vers l'extrémité du dipôle comme on le voit sur la figure 3.5.

La deuxième méthode proposée s'appelle Tip-Loading capacitive, où l'extrémité du dipôle a une grande surface métallique suivant les indications de la figure 3.6. La dernière méthode pour

augmenter la valeur du Q comme proposée par [39] est d'utiliser un inducteur en spirale suivant les indications du schéma 3.7.

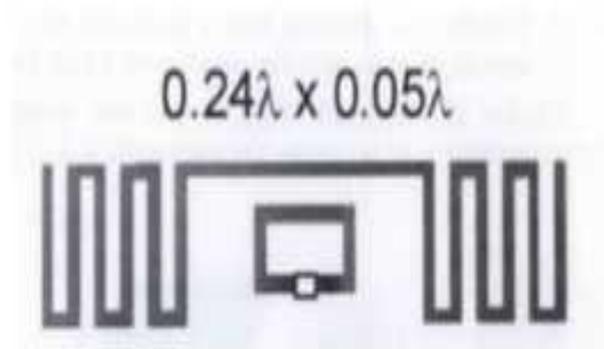


Figure 3.5 : Une antenne méandre ligne ($f = 915$ MHz) avec une alimentation de boucle à couplage inductif [39]

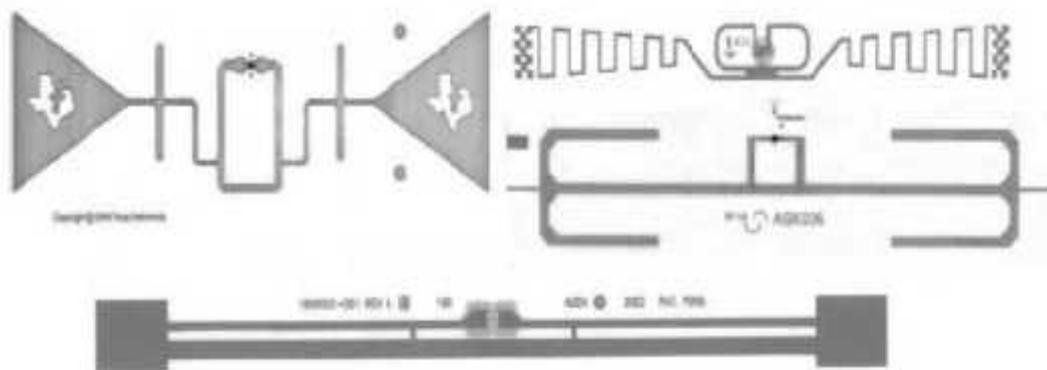


Figure 3.6 : Exemples des étiquettes tip-loaded capacitives [36].



Figure 3.7 : Exemple de l'étiquette de spiral-loaded [36].

III.3 Techniques de réduction de la taille

La plupart des étiquettes RFID UHF doivent être attachées à de petits objets. Le dipôle tel que décrit dans la section 3.2.1 doit être réduit dans la longueur pour s'adapter à la zone de l'étiquette et ne pas dégrader ainsi l'efficacité de rayonnement. Deux méthodes pour réaliser ceci les configurations méandre et F-inverted. Les deux configurations exigent un pliage simple ou multiple du corps rayonnant, afin d'adapter à la longueur requise pour réaliser une résonance à une fréquence particulière.

III.3.1 Méandre Dipôle

Les bras d'antenne dipôle sont pliés le long d'un chemin serpentin comme proposé par [23] et représenté sur la figure 3.8. Des résonances sont atteintes à des fréquences inférieures par rapport aux dipôles droites. En outre, la bande passante est réduite avec un faible rendement.

La longueur totale de l'antenne en forme de méandre-ligne augmente avec la réactance, et la hauteur du segment en méandres contrôle la résistance.

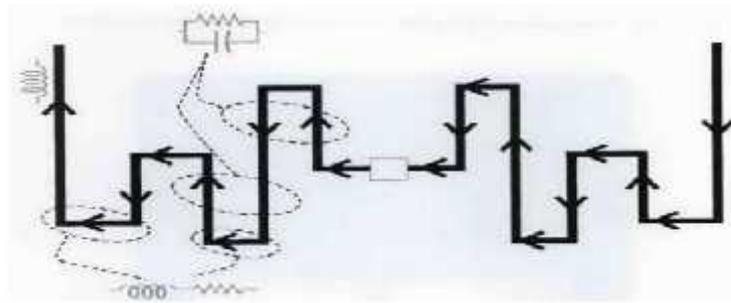


Figure 3.8 : la géométrie de la ligne antenne à méandre avec des spires multiples inégales.

Des lignes horizontales permettent de contrôler la résistance de rayonnement, tandis que les lignes verticales adjacentes agissent comme des éléments de stockage d'énergie, et la longueur totale du conducteur affecte l'inductance [23].

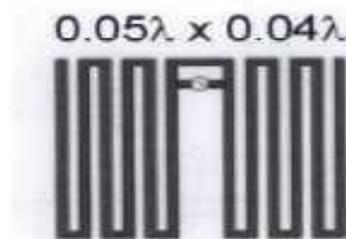


Figure 3.9 : Antenne de méandre- ligne equi-spaced ($f=953$ MHz) avec l'alimentation de T-match [40].

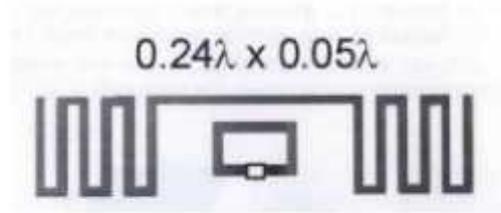


Figure 3.10 : antenne méandre ligne ($f = 915$ MHz) avec une alimentation de boucle à couplage inductif [37].

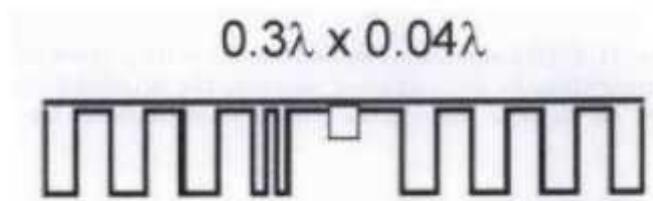


Figure 3.11 : antenne méandre-ligne ($f=920$ MHz) avec une barre de chargement.

La réactance et la résistance de l'antenne peuvent être contrôlées par la coupe de l'antenne méandre ligne et la barre par percer des trous [38].

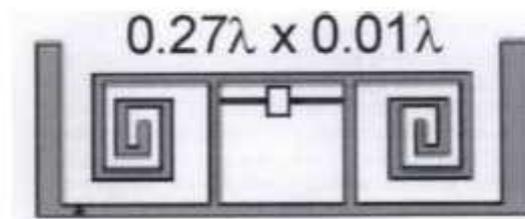


Figure 3.12 : antenne multi-conducteurs ($f=900$ MHz) avec un double arrangement de T-match et un pliage en spirale, utilisé pour réaliser l'inductance nécessaire, Le matériel supplémentaire à la fin permet d'augmenter la bande passante de l'antenne [41].

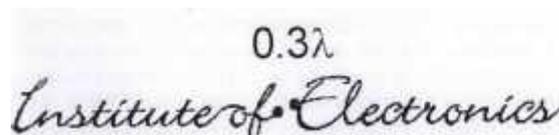


Figure 3.13 : Une antenne méandre ligne en forme de texte ($f=870$ MHz) où sont obtenues les tours en attachant les lettres adjacentes du texte [42].

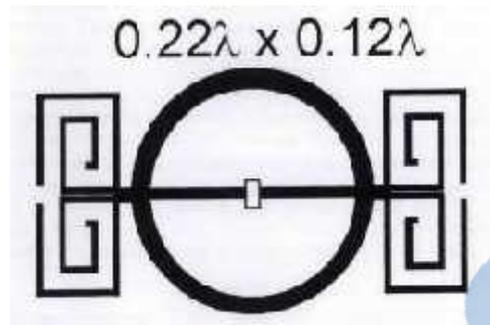


Figure 3.14 : Une étiquette méandre ligne multi-conducteurs ($f=900$ MHz) avec T-match de forme circulaire double [42].

III.3.2 Configurations Inverted-F

La taille du fil de monopôle vertical est pliée en un fil qui est parallèle au plan de masse et ressemble à une structure inverted-L [23] qui a généralement une faible résistance et une réactance capacitive élevée. Une T-match est appliquée à cette structure résultante dans une configuration F-type suivant les indications de la figure 3.15. Dans la structure inversée, les éléments rayonnants sont des conducteurs qui sont orthogonaux au plan de masse. Le conducteur plié, avec son image (dans le cadre du plan de masse) rapporte un mode de courant de ligne de transmission, produisant la perte de puissance de rayonnement négligeable. La largeur de bande d'antenne peut être améliorée en remplaçant le fil par les grandes bandes (PIFA) comme le montre la figure 3.15.

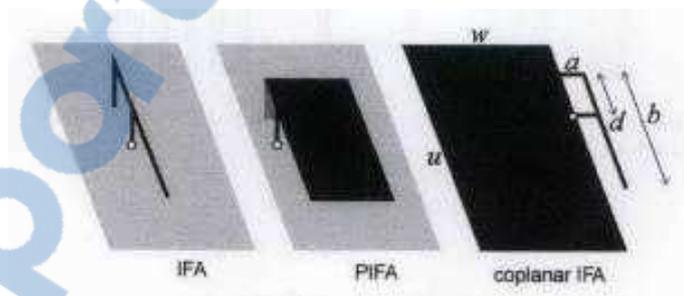


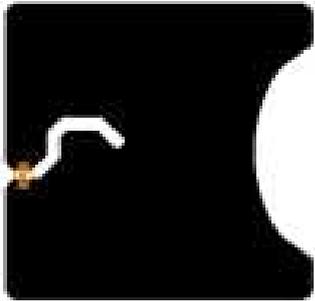
Figure 3.15 : Antennes pliées ; les cercles indiquent la position où la puce est fixée. [23].

III.4 Classification des étiquettes de RFID basées sur l'application

Le classement des tags RFID en fonction de leur application est un objectif difficile, car chaque conception d'antenne du tag RFID est basée sur les critères de performance d'étiquette tels que la distance de lecture, sensibilité de la puce, la sensibilité de l'orientation, etc. Comme vu dans le tableau 3.1.

étiquette	Type d'antenne	Dimensions (mm)	Les applications	Paramètres de l'antenne liée aux documents de la littérature
1.		95 x 8.15	applications générales, avec une distance de lecture moyenne	Modifié T-Match, aucune méandres. Par conséquent, une faible fréquence de résonance [43], [44].
2.		70 x 14.5	Lecture à distance	Modifié T-Match, avec méandres. Par conséquent, une bonne fréquence de résonance [43], [45].

<p>3.</p>		<p>70 x 14.5</p>	<p>Gestion des stocks, faible distance de lecture</p>	<p>Modifié T-Match, avec méandres et Tip-Loading capacitive aux extrémités (section 3.1.2) Par conséquent, une bonne fréquence de résonance, bonne résistance de rayonnement, plus métal utilisé [43], [46].</p>
<p>4.</p>		<p>50 x 30</p>	<p>Idéal pour le denim de coton et médias basé sur les propriétés mécaniques de l'antenne.</p>	<p>Modifié T-Match, avec moins méandre et Tip-Loading capacitive aux extrémités (section 3.1.2) Par conséquent, fréquence de résonance inférieure, bon rayonnement, coût accru [43], [47].</p>

<p>5.</p>		<p>70 x 70</p>	<p>Rayonnement uniforme motif. Idéal pour support de la carte.</p>	<p>Configuration PIFA. Grande surface métallique. bonne fréquence de résonance, résistance de rayonnement élevé, le coût accru [43], [48]. .</p>
<p>6.</p>		<p>16 x 16</p>	<p>Très compact. Utilisés pour le métal soutient.</p>	<p>IC poussé dans un coin. Petit méandre. petit taille. bon fréquence de résonance , résistance de rayonnement élevé. Coûts accru (surface métallique) [43], [49].</p>

<p>7.</p>		<p>22 x 22</p>	<p>pour pharmaceutique les produits d' différentes tailles et formes.</p>	<p>Configuration PIFA. Grande surface métallique. bon fréquence de résonance , la résistance de rayonnement élevé, coûts accru [43], [50]</p>
<p>8.</p>		<p>20 x 10</p>	<p>Excellente sur le verre soutien. Employée au Etats-Unis et au Japon.</p>	<p>Méandres unilatérale, structure de monopole, bonne fréquence de résonance, coût raisonnable [43], [47].</p>
<p>9.</p>		<p>29.99 x 50</p>	<p>Pour la vente au détail de divers produits.</p>	<p>Spiral chargé tag. excellente résistance rayonnement [43].</p>

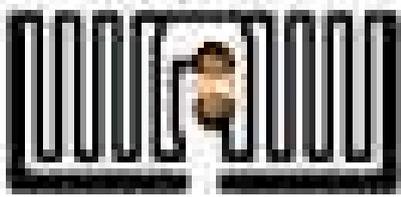
<p>10.</p>		<p>18 x 40</p>	<p>Longue portée de la distance de lecture. principalement utilisé dans domaine médical raison de la petite taille et l'atténuation des effets de liquides.</p>	<p>Modifié T-Match, avec méandres supérieur et Tip-Loading capacitive aux extrémités Par conséquent, une bonne fréquence de résonance, coût accru[43],[50].</p>
<p>11.</p>		<p>Inconnu. a compté être plus grand que la plupart des étiquettes dans la taille.</p>	<p>Orientation Insensible.</p>	<p>Double-dipôle étiquette RFID. Capable de traiter avec désadaptation de polarisation, bonne résonance. cependant coût accru (2 RF se nourrit la puce, plus la surface métal) [43], [36].</p>

Tableau 3.1 : Antennes commercialisés par la société Dennison [43].

Comme vu dans le tableau 3.1 les incrustations RFID sont fabriqués en fonction de leurs applications d'utilisation comme le détail, l'habillement, les soins de santé, les produits pharmaceutiques, la lecture à distance, les supports métalliques, etc.

Application	Numéro d'étiquette
1) Large bande tag (bande passante RFID universelle)	2, 4, 11, A
2) Étiquette d'usage général (habillement, livres)	1, 9, B
3) Médical, soins de santé	6, 7, 8, 10, 11, C
4) Étiquette de bagages	3, D
5) Carte sans contact	5,

Tableau 3.2 : montre la classification des étiquettes dans une famille basée sur leurs applications. Les numéros de tag 'A, B, C, et D'.

III.5 Simulation et conception d'antennes tags RFID

Des étiquettes passives de RFID sont généralement analysées par la modélisation en utilisant des outils de simulation électromagnétiques tels que la méthode des moments (MoM) pour des conceptions des plans, et la méthode d'élément fini (FEM) ou les méthodes (FDTD) pour d'autres modèles.

Des outils d'analyse d'EM rapide tels que le logiciel CST est très importants pour la conception efficace d'étiquette. Par exemple, les paramètres géométriques (hauteur, largeur) d'une antenne dipôle méandre conçue par CST peuvent être étudiés pour voir comment les changements incrémental affectent les performances d'étiquette (impédance, fréquence, etc.).

En cette partie nous allons simuler des étiquettes conçues basées sur l'application suivant les indications du tableau 3.3 sont présentées.

Application	Nombre d'étiquette
1. Larges étiquette d'usage universel d'étiquette de bande (largeur de bande universelle de RFID)	A
2. (habillement, livres)	B
3. médicaux, soins de santé	C
4. Étiquette de bagages	D

Tableau 3.3 : Famille des étiquettes de RFID basées sur l'application.

III.5.1 Antennes proposées

Dans cette section les antennes proposées sont basées sur l'application comme vue dans le tableau 3.3. Les antennes sont choisies en fonction des techniques d'adaptation d'impédance et réduction de la taille [23][51] comme la T-match, méandre, tip-loading capacitif, etc. L'objectif est de concevoir des antennes qui fournissent des caractéristiques de performance optimales d'étiquette pour une application donnée.

La première étape dans le processus de conception consiste à choisir les matériaux pour l'étiquette. Les antennes proposées sont faites en métal de cuivre (copper) d'une épaisseur de 0.05 mm. Le substrat choisi pour les conceptions est Rogers RT-Duroid 5880 avec une épaisseur de 1.58 mm (62-mil). Le métal de cuivre est choisi en raison de ses bonnes propriétés conductrices et qui a un coût relativement bas.

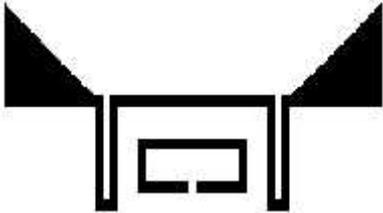
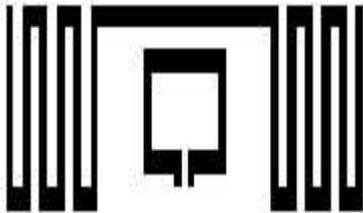
Le substrat Rogers RT-Duroid est choisi en raison de ses fonctions telles que la basse perte électrique, faible absorption humidité, isotrope, les propriétés électriques uniformes sur la fréquence et une excellente résistance chimique [51].

Numéro d'étiquette	Impédance	Fréquence d'opération
B.D	16-j148	915MHz
A.C	34-j142	915MHz

Tableau 3.4 : valeur d'impédance utilisée pour des antennes

Comme vu dans le tableau 3.4, les impédances de la puce ont une partie faible-résistive et une partie haut-capacitive. Par conséquent, l'impédance d'antenne doit avoir une partie bas résistive et une haut-inductive par exemple, l'antenne B exigerait une impédance de $16+j148$ doit être parfaitement adapté à l'impédance de la puce.

Nous avons numérisé les antennes proposées dans le tableau 3.5 avec une brève description sur les techniques d'adaptation d'impédance et la réduction de la taille telles que la T-match, méandre, Tip-loading capacitif, résistance de rayonnement élevée, etc.

étiquette	Type d'antenne	Dimensions (mm)	Applications	Réduction de la taille d'antenne et Techniques d'adaptation d'impédance
A.		97.5 x 34.7	Étiquette à bande large (largeur de bande universelle de RFID, 868-960 mégahertz)	Boucle à couplage inductif, méandres minime, capacitif pointe chargé. Par conséquent, la largeur de bande accrue.
B.		94 x 18.5	Étiquette d'usage universel (habillement, livres)	Inductif boucle Match, avec méandres. Par conséquent, la bonne fréquence de résonance.
C.		120 x 40	Médical, soins de santé	Dipôle plié à deux fils, et tip-loadig capacitif. Par conséquent, distance de la lecture accrue, bonne résistance de rayonnements, coût accru - plus de métal utilisé.

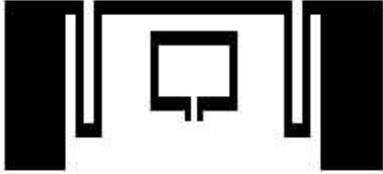
D		94 x 24.5	Étiquette de bagages	Inductif boucle Match, avec moins méandre et tip-loading aux extrémités. Par conséquent, la fréquence de résonance inférieure, bon rayonnement et augmentation des coûts.
---	---	-----------	----------------------	---

Table 3.5 : Conception d'antenne proposée basée sur des applications spécifiques [52].

Les dimensions exactes des antennes proposées sont individuellement montrées sur la figure 3.16.

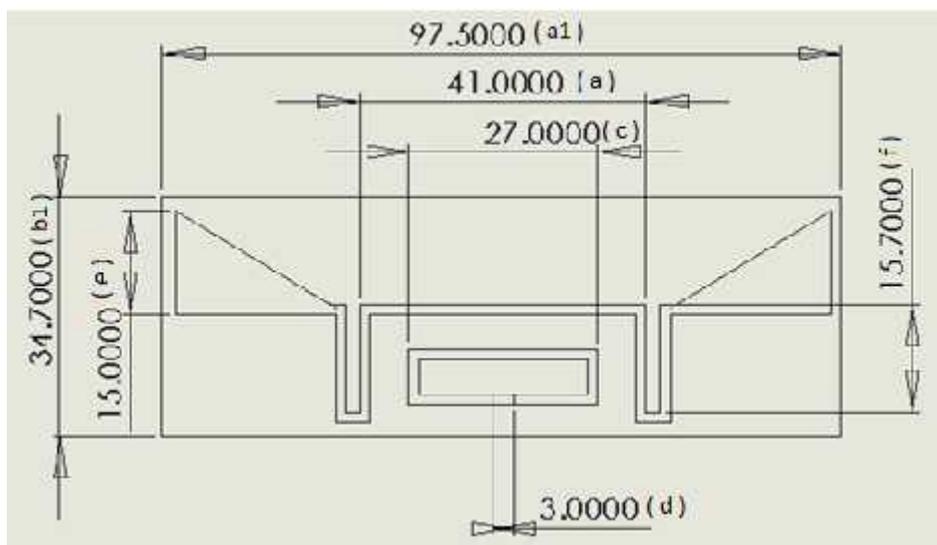


Figure 3.16a : Dimension de l'antenne A [52].

Les dimensions sont $a1 = 97.5$ mm, $b1 = 34.7$ mm, $a = 41$ mm, $b = 15$ mm, $c = 27$ mm, $d = 2$ mm, $e = 15$ mm et $f = 15.7$ mm. Les dimensions $a1$ et $b1$ représentent le substrat et d représente les dimensions de la puce. L'épaisseur du conducteur de l'antenne est de 0.05 mm et l'épaisseur du substrat est de 1.58 mm.

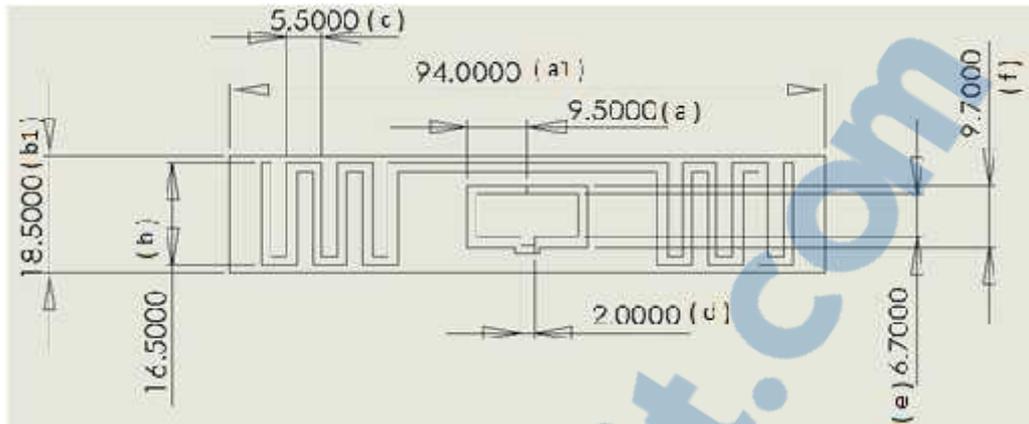


Figure 3.16b : Dimension de l'antenne B [52].

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

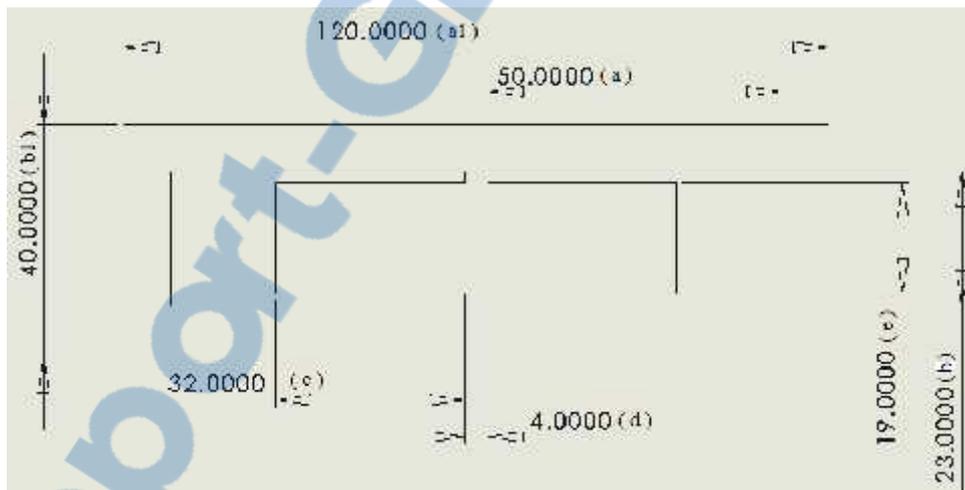


Figure 3.16c : Dimension de l'antenne C [52].

Les dimensions sont $a_1 = 120$ mm, $b_1 = 40$ mm, $a = 50$ mm, $b = 23$ mm, $c = 32$ mm, $d = 4$ mm et $e = 19$ mm. Les dimensions a_1 et b_1 représentent le substrat et d représente les dimensions de la puce. L'épaisseur du conducteur de l'antenne est de 0.05 mm et l'épaisseur de substrat est de 1.58 mm.

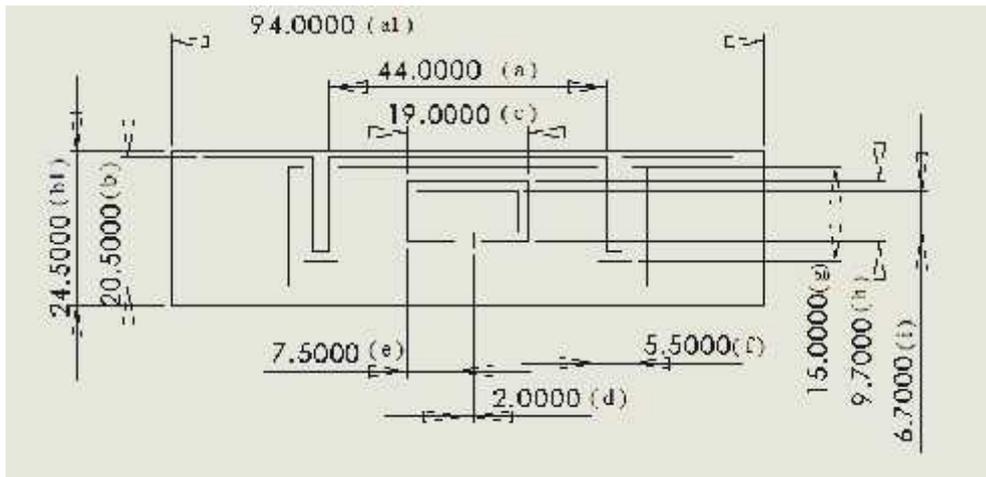


Figure 3.16d : Dimension de l'antenne D [52].

Les dimensions sont $a_1 = 94$ mm, $b_1 = 24.5$ mm, $a = 44$ mm, $b = 20.5$ mm, $c = 19$ mm, $d = 2$ mm, $e = 7.5$ mm, $f = 5.5$ mm, $g = 15$ mm, $h = 9.7$ mm et $i = 6.7$ mm. Les dimensions a_1 et b_1 représentent le substrat et d représente les dimensions de la puce. L'épaisseur du conducteur de l'antenne est de 0.05 mm et l'épaisseur de substrat est de 1.58 mm.

III.5.2 Simulations des antennes par le logiciel CST

Cette section accentue les paramètres d'antenne tels que le coefficient de réflexion, impédance de charge, la distance de la lecture, etc.

III.5.2.1 Résultats de simulation

Nous avons réalisé la conception de ces antennes à l'aide du logiciel CST MWS, la figure 3.17 représente les structures conçues sous le logiciel CST

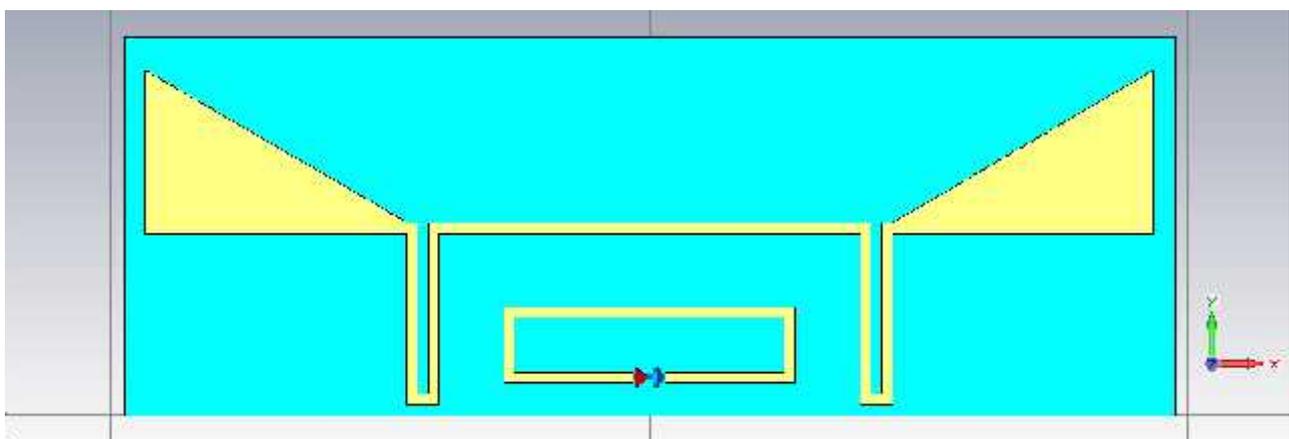


Figure 3.17a : structure de l'antenne A conçue par CST MWS.

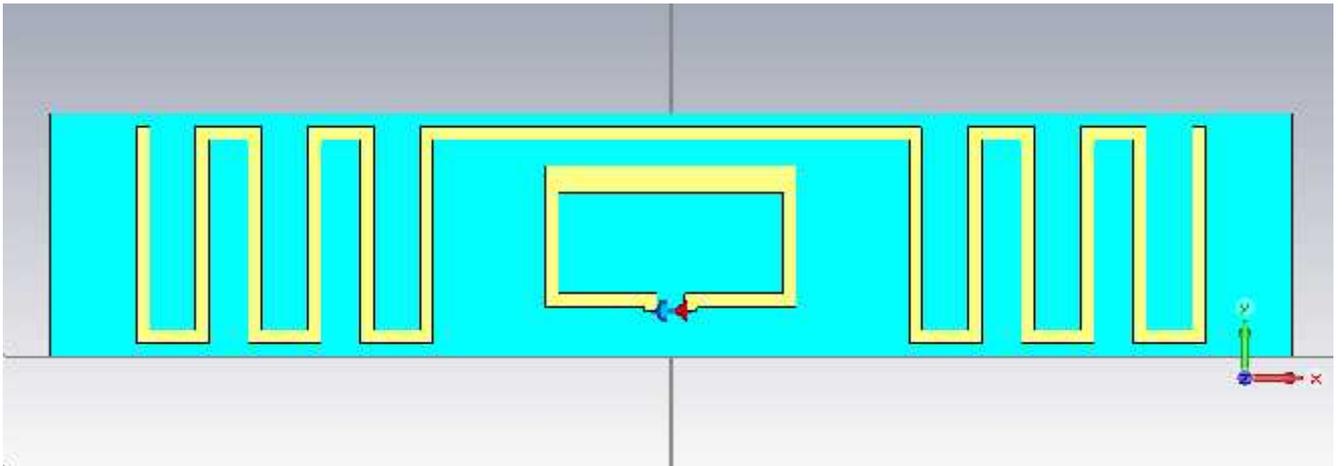


Figure 3.17b : structure de l'antenne B conçue par CST MWS.

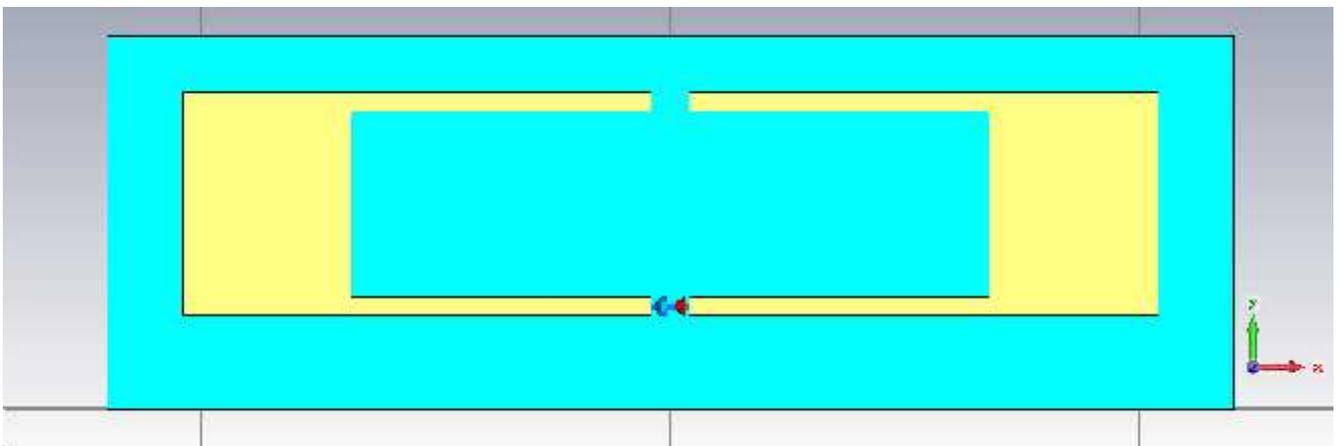


Figure 3.17c : structure de l'antenne C conçue par CST MWS.

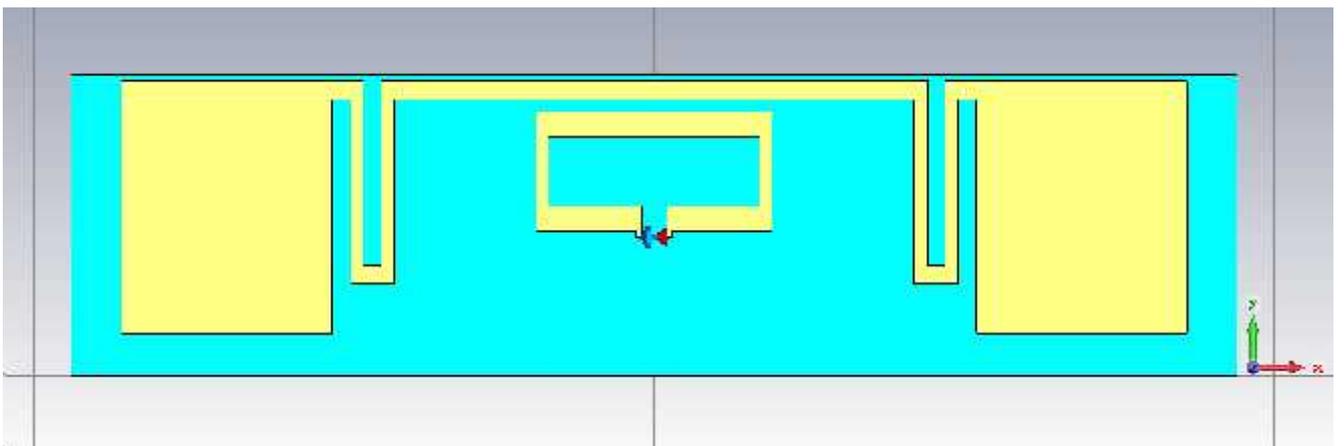


Figure 3.17d : structure de l'antenne D conçue par CST MWS.

Le coefficient de réflexion en ce qui concerne la fréquence de conceptions d'antenne A-D est montrée sur le schéma 3.18 ci-dessous.



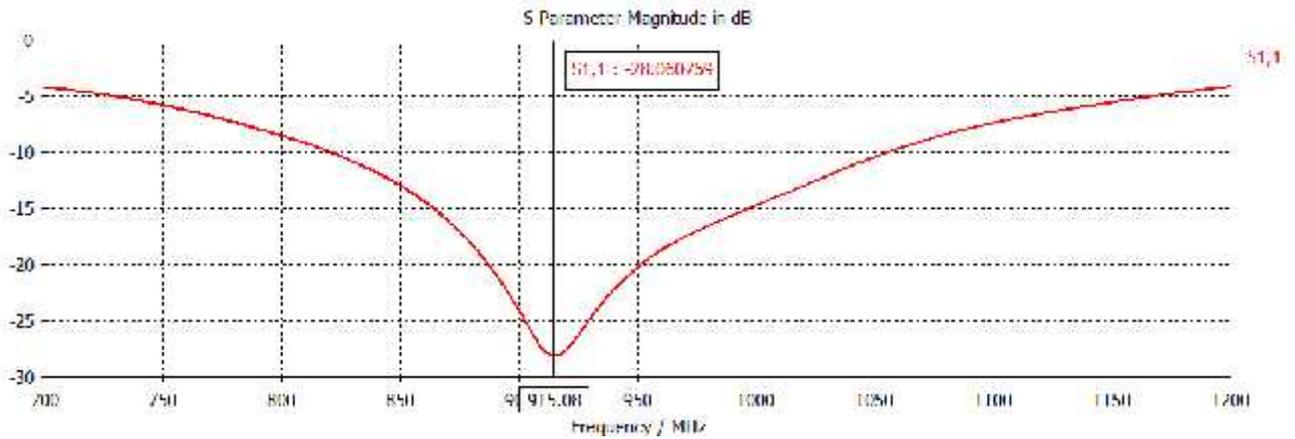


Figure 3.18a : Coefficient de réflexion de l'antenne A.

Dans ce cas, nous obtenons une adaptation de -28.06 dB à la fréquence de résonance 915MHz

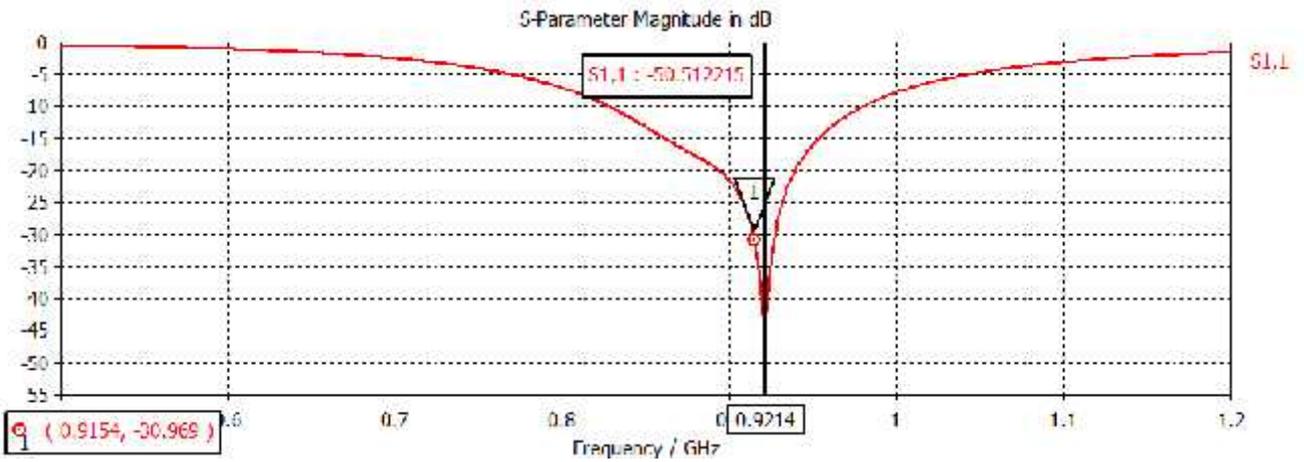


Figure 3.18b : Coefficient de réflexion de l'antenne B.

Nous observons que la fréquence de résonance est de 921 MHz avec une très bonne adaptation de -50.51 dB et une adaptation de -30.96 à la fréquence désiré 915MHz pour l'antenne C (figure 3.18c).

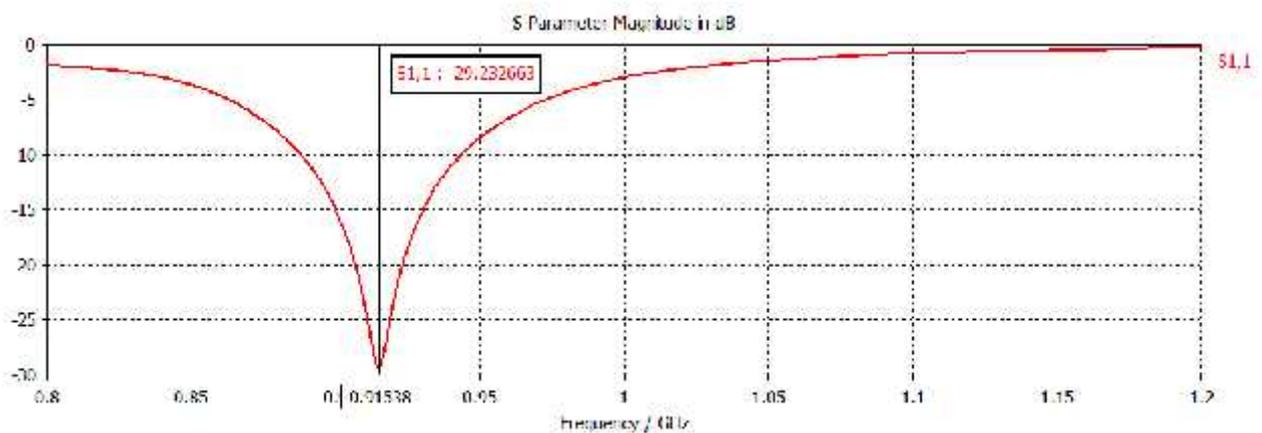


Figure 3.18c : Coefficient de réflexion de l'antenne C.

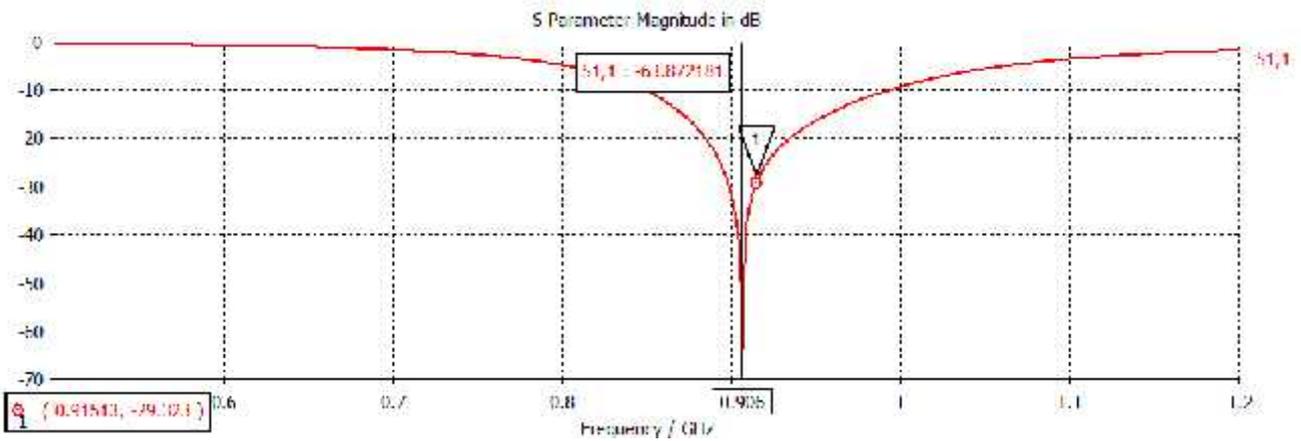


Figure 3.18d : Coefficient de réflexion de l'antenne D.

La simulation de la dernière structure par le logiciel CST donne un coefficient de réflexion avec une résonance à la fréquence 906MHz avec une très bonne adaptation de -63.87 MHz (figure 3.18d).

Les diagrammes de rayonnement sont montrés sur la figure 3.19

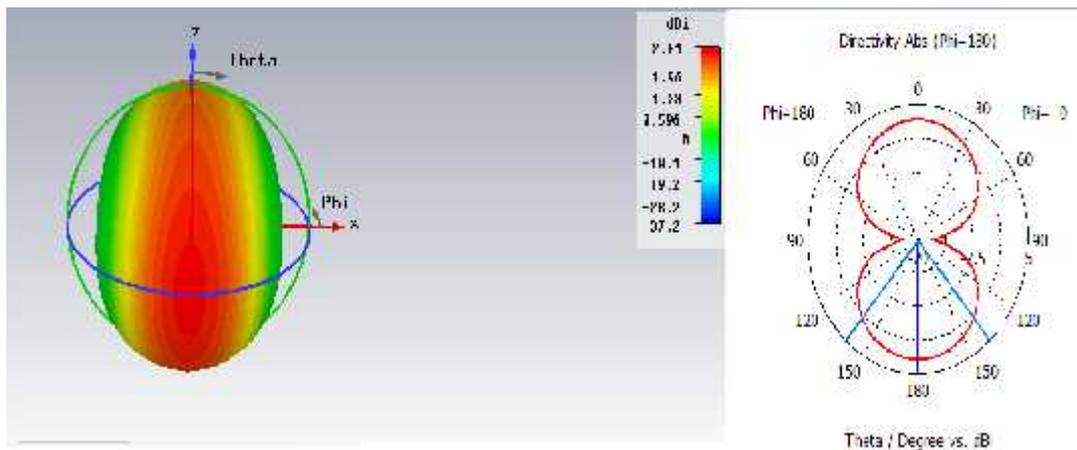


Figure3.19a : diagramme de rayonnement 2D&3D (directivité) à f=915MHz pour l'antenne A.

La valeur absolue de la directivité de cette antenne est de 2.01dBi à la fréquence de résonance 915MHz

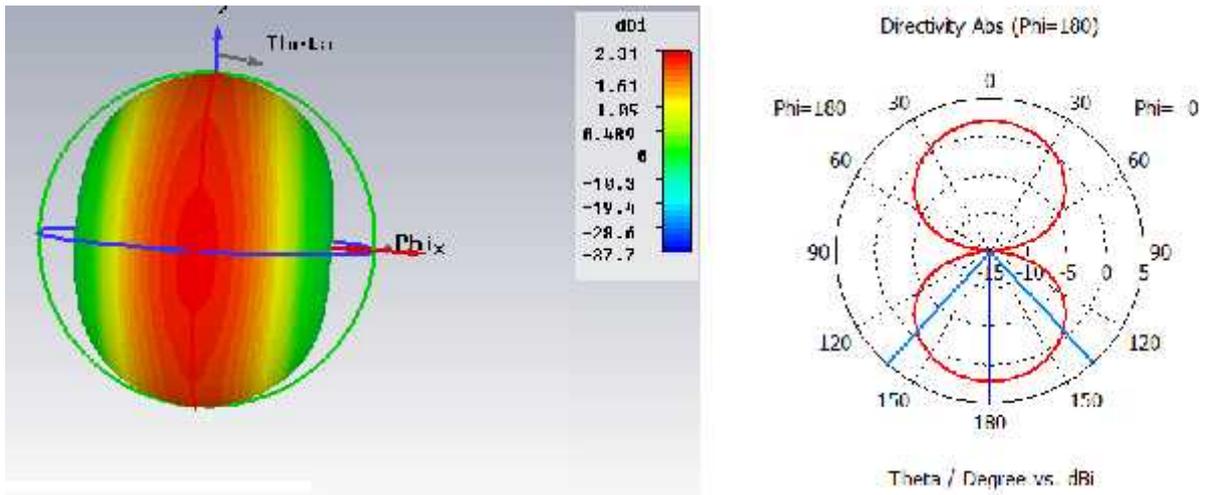


Figure 3.19b : diagramme de rayonnement 2D&3D (directivité) à $f=950\text{MHz}$ pour l'antenne B.

La valeur absolue de la directivité de cette antenne est de 2.31dBi à la fréquence de résonance 921MHz .

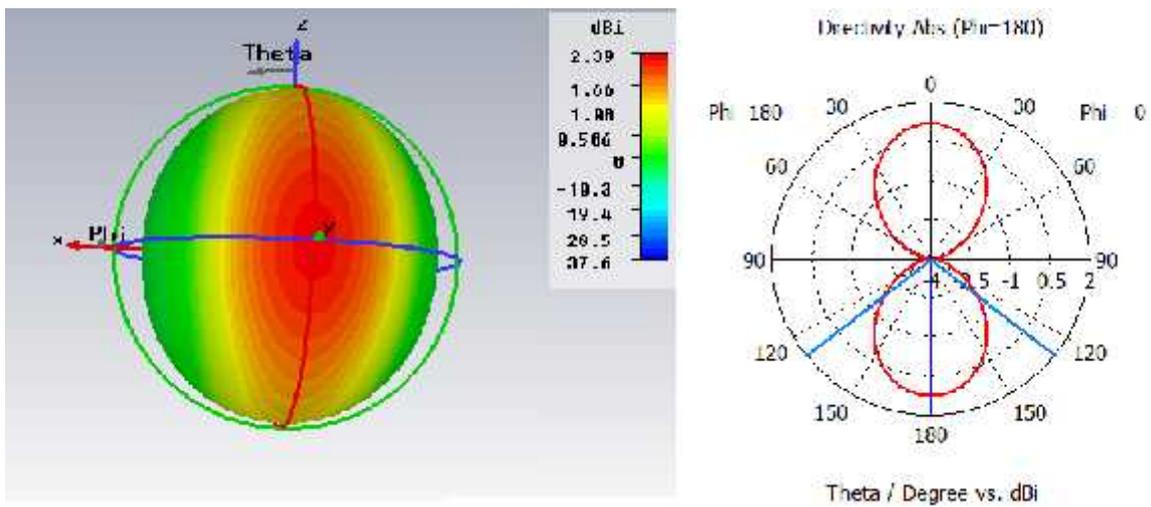


Figure 3.19c : diagramme de rayonnement 2D&3D (directivité) à $f=915\text{MHz}$ pour l'antenne C.

La valeur absolue de la directivité de cette antenne est de 2.39dBi à la fréquence de résonance 915MHz .

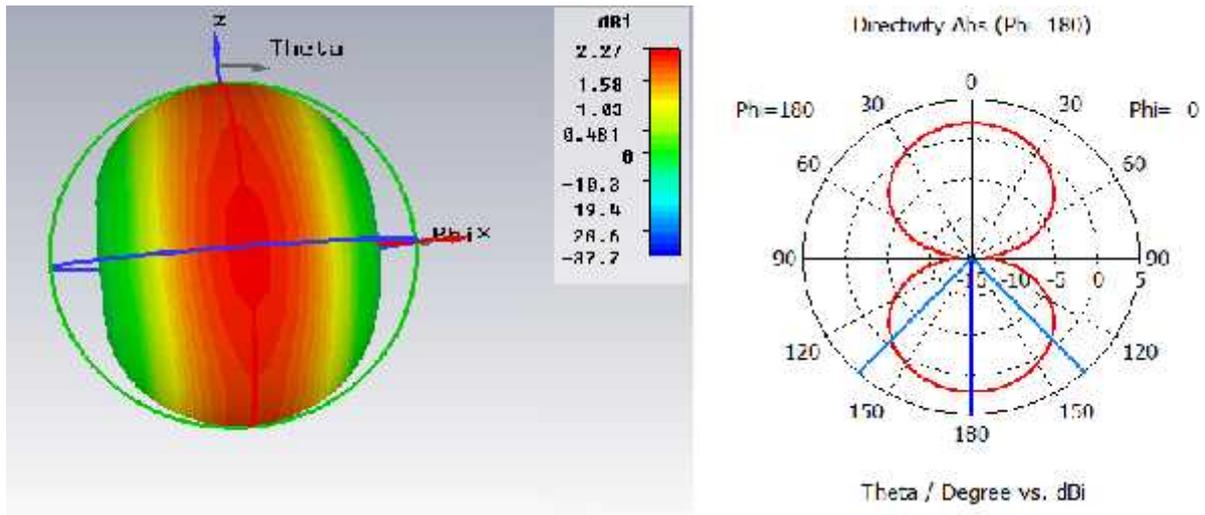


Figure 3.19d : diagramme de rayonnement 2D&3D (directivité) à f=915MHz pour l'antenne D.

La valeur absolue de la directivité de cette antenne est de 2.27dBi à la fréquence de résonance 906MHz.

L'efficacité de rayonnement d'antenne est donnée par la formule [19]. Ici, G est le gain de l'antenne et D est la directivité. La distance de lecture lue est indiquée par la relation de Friis en espace libre, formule donnée par les équations (16), (17) [5].

La puce à employer est NXP UCODE G2XM ($P_{th} = -15\text{dBm}$). Le lecteur utilisé est Convergence Systems Ltd CS203 ($P_{th} = -13\text{dBm}$, $G_t = -6\text{dBi}$), le gain de l'antenne comme donné ci-dessus et $\cong 0.33\text{m}$. Les résultats sont affichés dans le tableau 3.6. La comparaison d'adaptation d'impédance pour la conception d'antenne est montrée dans le tableau 3.7.

$$r_{max} = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_t G_t G_r \tau}{P_{th}}} \quad (16)$$

antenne	Impédance (ohm)	Coefficient de réflexion (dB)	Gain (dB)	Directivité (dBi)	La distance de la lecture théorique (m)
Antenne A	10.99 + j180.9	-28.06	3.37dB	6.78dBi	9.86
Antenne B	18.10 + j146.5	-50.51	3.37dB	2.31dBi	11.76
Antenne C	14.18 + j141.2	-29.23	2.32dB	2.39dBi	8.21
Antenne D	21.05 + j148.5	-63.87	1.58dB	2.27dBi	12.68

Tableau 3.6 : Paramètres d'antenne simulée.

L'antenne	Coefficient de réflexion dB	Valeur d'impédance simulée	Valeur d'impédance désirée
Antenne A	-28.06	10.99 + j180.9	16+j148
Antenne B	-50.51	18.10 + j146.5	16+j148
Antenne C	-29.23	14.18 + j141.2	16+j122
Antenne D	-63.87	21.05 + j148.5	16+j148

Le tableau 3.7 : Comparaison entre le coefficient de réflexion et les impédances (simulée et désirée) pour chaque antenne conçue.

Les paramètres d'antennes tels que coefficient de réflexion, impédance de charge, la distance de la lecture ont été calculés et présentés dans le tableau 3.6. La comparaison entre la valeur de l'impédance désirée et la valeur simulée est montrée dans le tableau 3.7.

Le coefficient de réflexion pour toutes les antennes conçues est plus que du 10dB (la condition standard) [5].

III.6 Conclusion

En ce chapitre, un aperçu littéraire est examiné pour classifier les étiquettes existantes du RFID passifs.

La première section a présenté à la géométrie de dipôle et le rayonnement de la résistance nécessaire pour comprendre comment des étiquettes sont fabriquées en industrie.

En deuxième section, nous avons étudié les techniques de réduction de la taille telles que les dipôles de méandre et les configurations inverted-F.

Enfin les résultats de simulation des étiquettes conçues ont été présentés. Le logiciel de simulation CST a été employé pour simuler les antennes proposées.

IV.1 Introduction

L'objectif de ce chapitre est de concevoir la partie RF d'un tag RFID passif qu'il doit fonctionner à la fréquence 900MHz pour la norme ISO 18000-6c.

Ensuite nous allons réaliser un modulateur ASK qui modélise le lecteur RFID en utilisant le logiciel ADS. Puis nous allons passer à la conception et la simulation des circuits RF d'un tag RFID passif à la fréquence 900MHz en utilisant le logiciel ADS.

Le logiciel d'Agilent ADS (Advanced Design System de Agilent), est dédié à la simulation des circuits et des systèmes hyperfréquences. Cet outil performant est largement utilisé dans l'industrie et dans les laboratoires de recherche.

IV.2 Conception du système RF RFID

IV.2.1 Circuit du système RFID

Un exemple de circuit Radiofréquence RF RFID est donné par la figure 4.1.

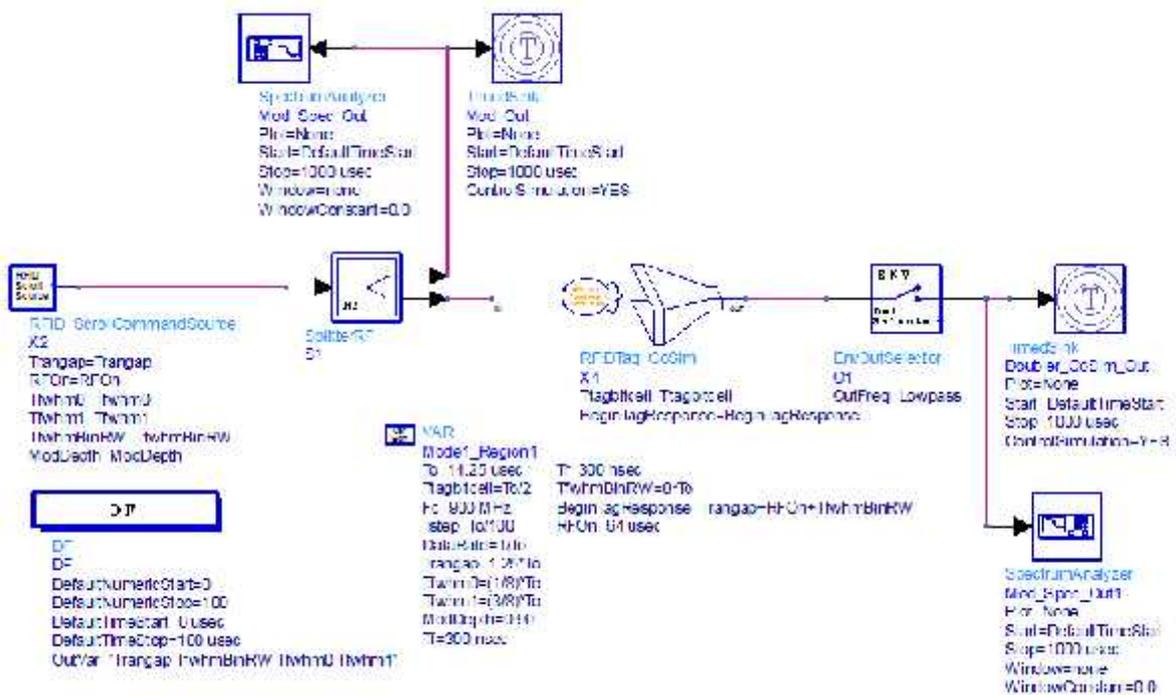


Figure 4.1 : Circuit du système RFID conçu par ADS.

➤ **Flot de conception d'étiquette RFID**

1. Optimiser et adapter l'antenne / tag : quel est le meilleur point d'alimentation de l'antenne ? Pour avoir une meilleure adaptation.
2. Utiliser le modèle de diode Schottky non linéaire pour simuler Vout.

3. Convertir en configuration "doubleur de tension" pour maximiser V_{out} .
4. La conception d'Antenne patch en utilisant Momentom et l'exportation vers le schéma à l'aide Advanced Model Composer AMC à réglage de profondeur au point d'alimentation.
5. Intégrer l'antenne avec la puce et optimiser le point d'alimentation.

Nous allons concevoir le système RFID, et pour pouvoir simuler le système il faut étudier et simuler tous les blocs du système.

IV.2.1.1 Conception du bloc modulateur d'un lecteur RFID

Notre but est la conception d'un tag RFID, mais pour pouvoir le simuler et s'assurer de son fonctionnement, nous avons besoin d'une source de signal RFID. Le lecteur RFID est constitué d'un émetteur et d'un récepteur. Dans ce qui suit, nous allons faire la conception de la partie RF du bloc émetteur d'un lecteur RFID.

Nous considérons que le lecteur utilise la modulation d'amplitude ASK pour émettre les requêtes au tag RFID UHF. L'idée la plus simple pour réaliser une modulation d'amplitude consiste à utiliser un multiplieur de tensions comme illustré sur la figure 4.2.

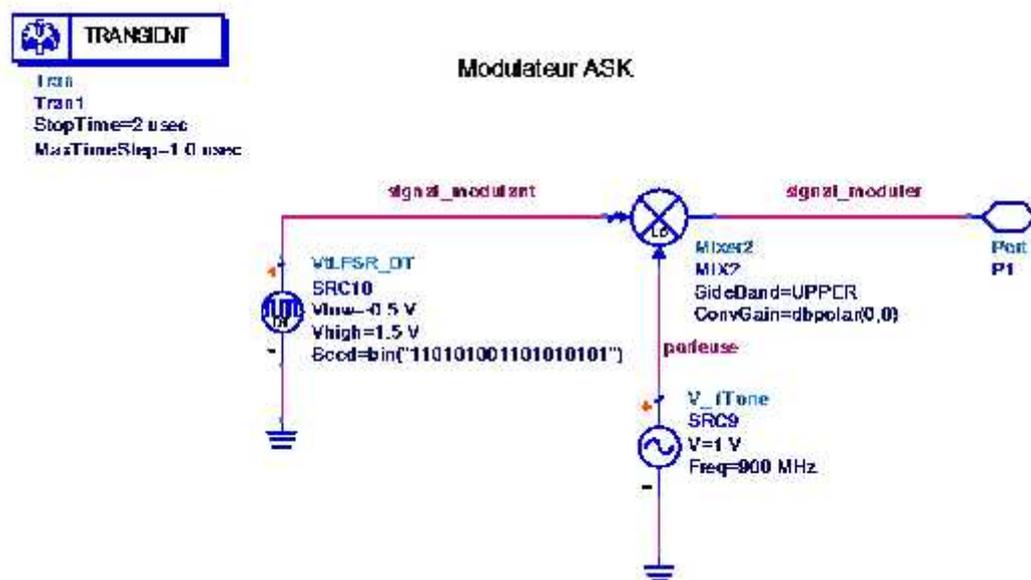


Figure 4.2 : Modulateur ASK à base d'un multiplieur.

La modulation en amplitude consiste à moduler directement la porteuse par le signal binaire en bande de base. Nous avons injecté deux signaux dans le multiplieur, le premier est connecté à l'entrée « LO » qui représente la porteuse, et le deuxième est un signal en bande de base qui joue le rôle du signal numérique qu'on veut le moduler en amplitude.

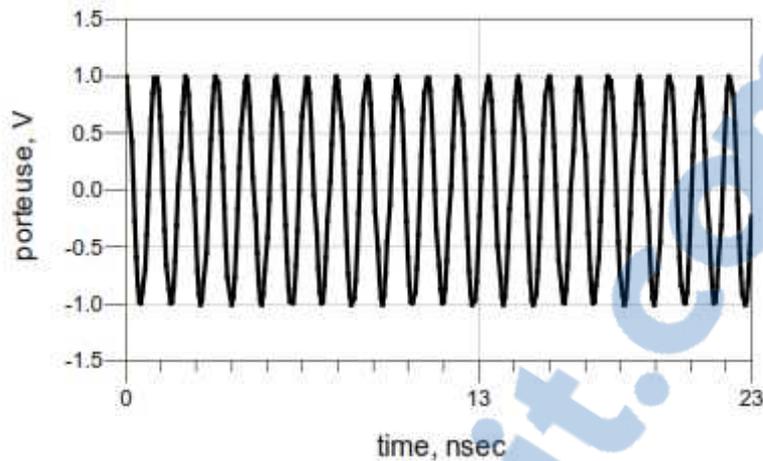


Figure 4.3 : Signal de la porteuse.

Une porteuse sert de support pour transporter le signal utile. Le signal de la porteuse est représenté sur la figure 4.3, c'est un signal sinusoïdal d'une fréquence de 900MHz.

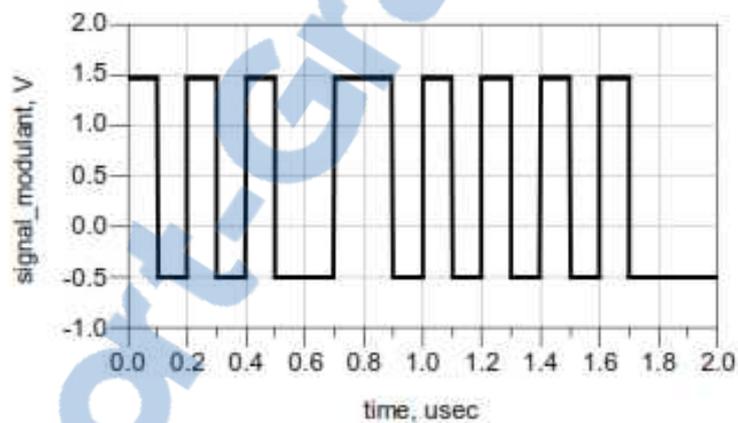


Figure 4.4 : Signal modulant.

Le signal modulant est représenté sur la figure 4.4, ce signal contient de l'information, à valeurs réelles exprimées en V. Nous avons codé ce signal en deux états binaires « 1 » et « 0 » et avec un code de non-retour à zéro « NRZ ». Le signal modulant agit sur l'amplitude, on parle alors de modulation d'amplitude. Le signal modulant peut-être analogique de forme quelconque, ou numérique.

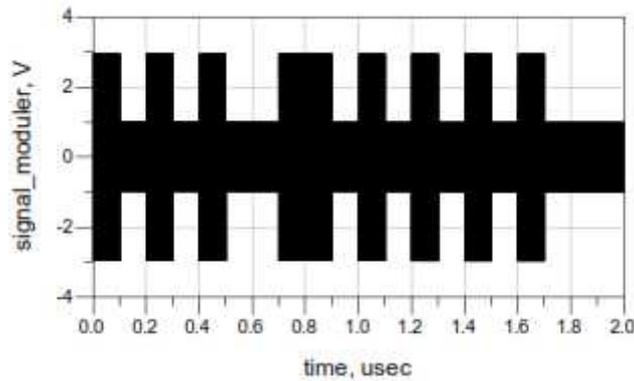


Figure 4.5: Signal modulé en ASK.

Un signal modulé en amplitude contient dans l'une de ses enveloppes (supérieure ou inférieure) l'information du signal à transmettre. La figure 4.5 représente l'évolution du signal modulé, on distingue l'enveloppe extérieure du signal qui est égal au signal modulant et à l'intérieur un signal qui est la porteuse.

Le signal modulé obtenu à la sortie garde la même fréquence que celle de la porteuse et ces deux signaux sont en phase. En revanche, l'amplitude instantanée du signal modulé varie linéairement avec le signal modulant. Alors on a bien une modulation numérique en amplitude ASK.

De la figure (4.5) on remarque qu'on a une tension de 2,5V, cela est dû que chaque multiplieur en ADS comprend un coefficient « k » en V^{-1} qui représente le facteur multiplicatif du multiplieur utilisé. Pour notre multiplicateur son facteur multiplicatif est égal à $2V^{-1}$.

Ce signal modulé en amplitude représentera le signal transmis du lecteur RFID au tag RFID à travers l'antenne du lecteur.

IV.2.1.1.1 Simulation d'une requête du lecteur

Nous voulons simuler la requête que le lecteur va envoyer au tag RFID, le circuit de la figure 4.6 va représenter le lecteur RFID (le composant **RFID_ScrollCommandSource**).

Nous allons utiliser le composant « Timed Expression », nous lui introduisons une fonction qui permet de générer la requête. Le composant « N-Tone » permet de générer le signal de la porteuse pour la fréquence 900MHz. Cette requête va être multipliée avec la porteuse pour moduler cette requête, en sortie nous aurons un signal modulé.

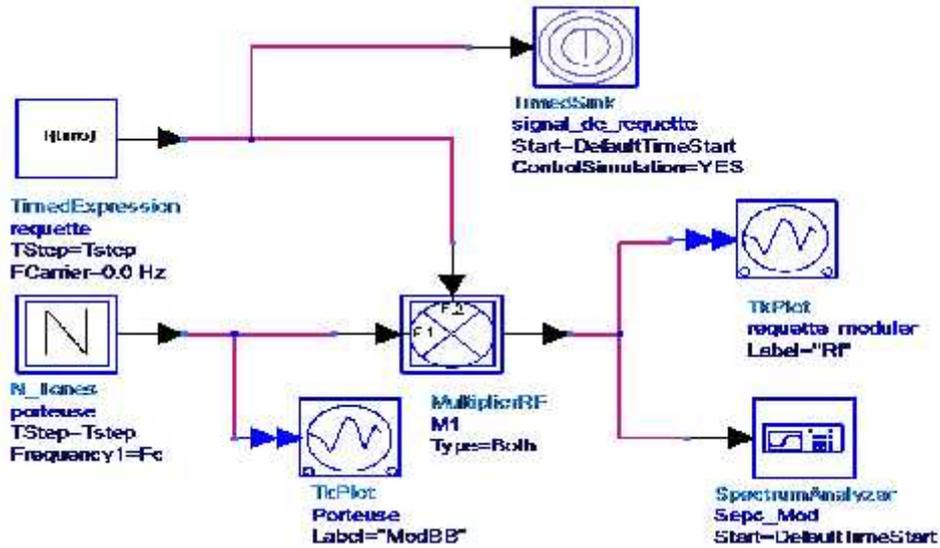


Figure 4.6 : Circuit de l'émetteur du lecteur RFID.

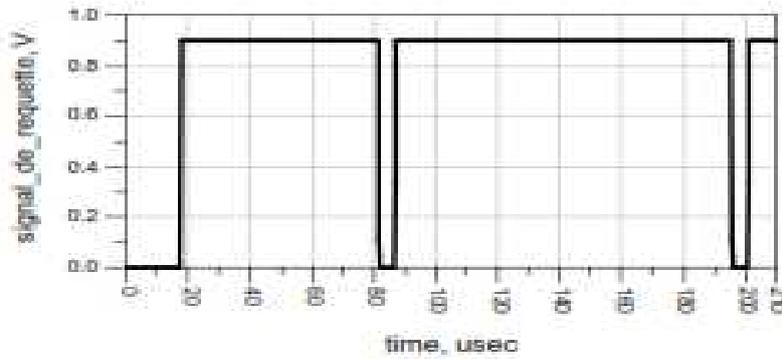


Figure 4.7 : Signal de la requête.

La visualisation de cette requête est faite par le « TimedSink », qui est présentée à la figure 4.7. C'est une requête proposée par nous même pour faire fonctionner le système.

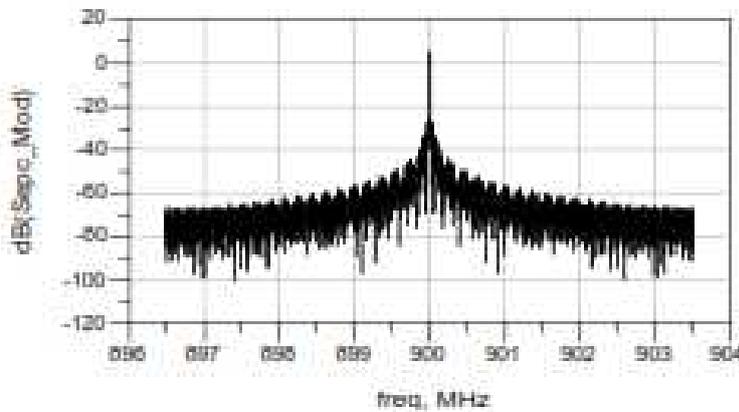


Figure 4.8 : Spectre du signal modulé.

La figure 4.8 représente le spectre du signal modulé, on observe que la forme du signal est un sinus cardinal centré à la fréquence 900MHz. Cette figure a été visualisée par « Spectrum Analyzer ».

IV.2.1.2 Conception d'un tag RFID passif 900MHz

Dans cette partie nous allons concevoir la partie RF du tag RFID passif fonctionnant à la fréquence 900MHz. Les tags passifs ne disposent pas de batterie : ils puisent leur énergie à travers le signal électromagnétique du lecteur qui permet d'activer le tag et lui permet ainsi d'émettre les informations.

Les tags passifs (**RFIDTag_CoSim**) sont constitués d'antenne (émettrice-réceptrice) dans notre travail c'est un patch, d'un redresseur pour créer une tension plus ou moins constante qui est utilisée pour alimenter le circuit logique du tag RFID. Aussi d'un démodulateur pour récupérer le signal informatif et d'un modulateur.

IV.2.1.2.1 conception de l'antenne

La figure 4.9 illustre la réalisation d'antenne patch sous Momentum.

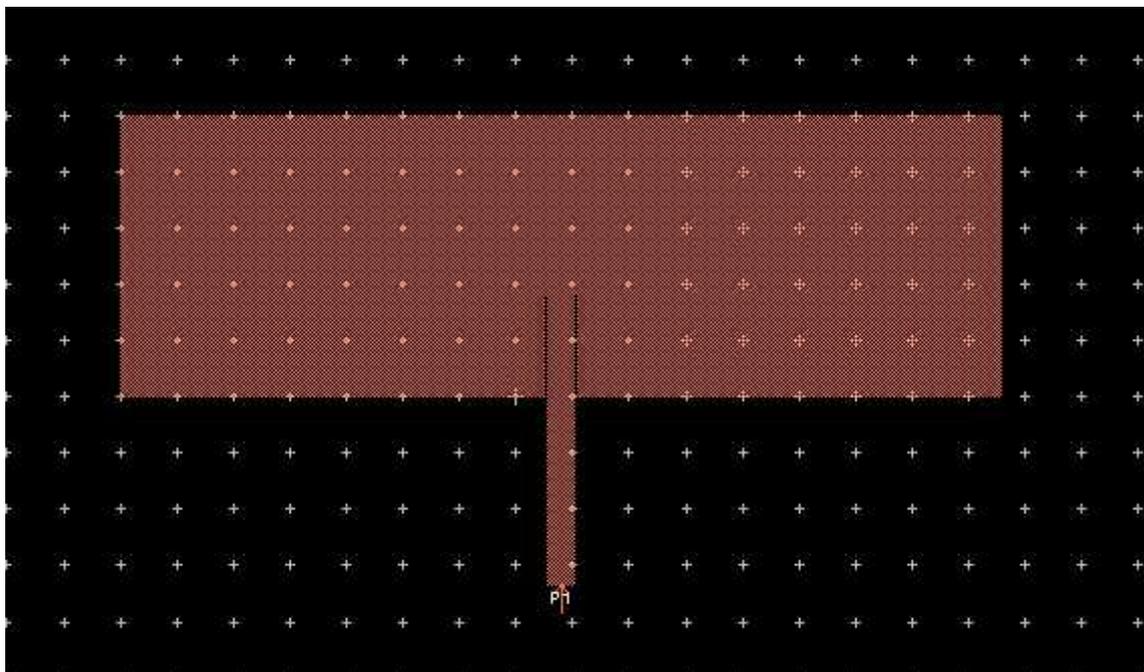


Figure 4.9 : L'antenne Patch.

Les résultats de conception de ce patch avec le simulateur Momentum est représenté dans la figure 2.10 suivante :

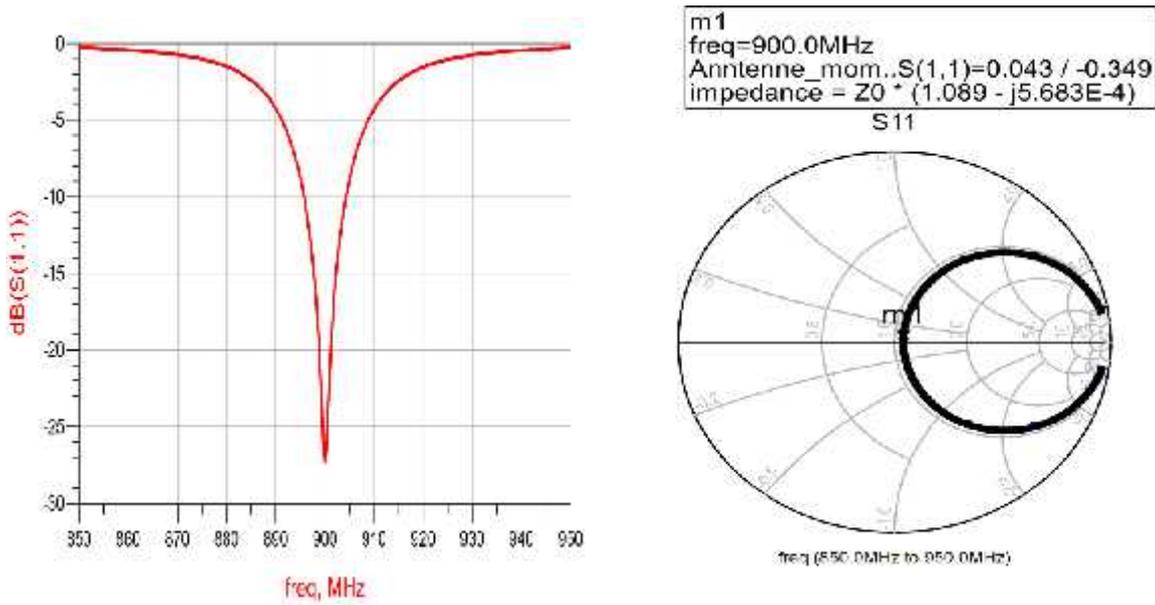


Figure 2.10 : coefficient de réflexion $|S_{11}|$ de l'antenne.

Nous remarquons que la fréquence de résonance est de 900 MHz c'est la fréquence désirée, avec une bonne adaptation de -27 dB.

Nous allons exporter cette antenne vers ADS à l'aide de l'AMC comme la montre la figure suivant :

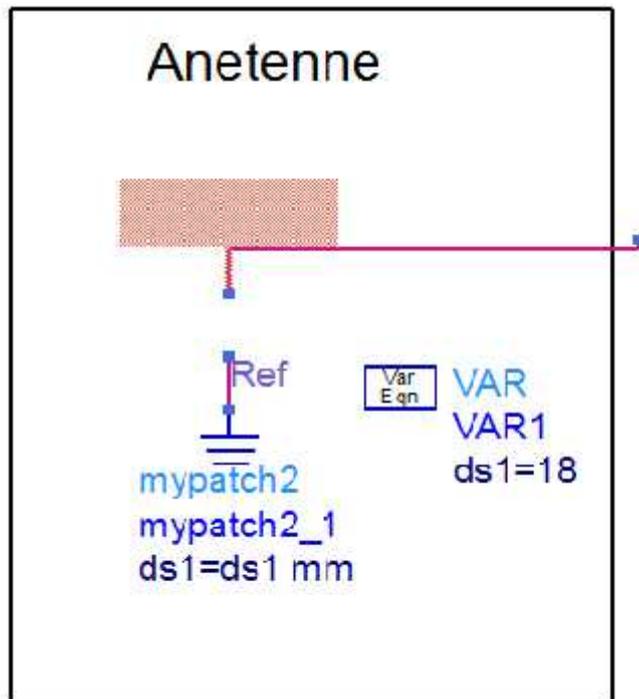


Figure 4.11 : Intégration d'antenne Patch sous ADS.

IV.2.1.2.2 Simulation du bloc redresseur

IV.2.1.2.2.1 Simulation du redresseur à diode simple

La figure 4.12 illustre le circuit redresseur à simple diode utilisant une diode comme dispositif de redressement, et une capacité en parallèle avec une résistance. Nous avons à l'entrée de la diode, le signal capté par l'antenne du tag RFID qui été transmis par le lecteur RFID.

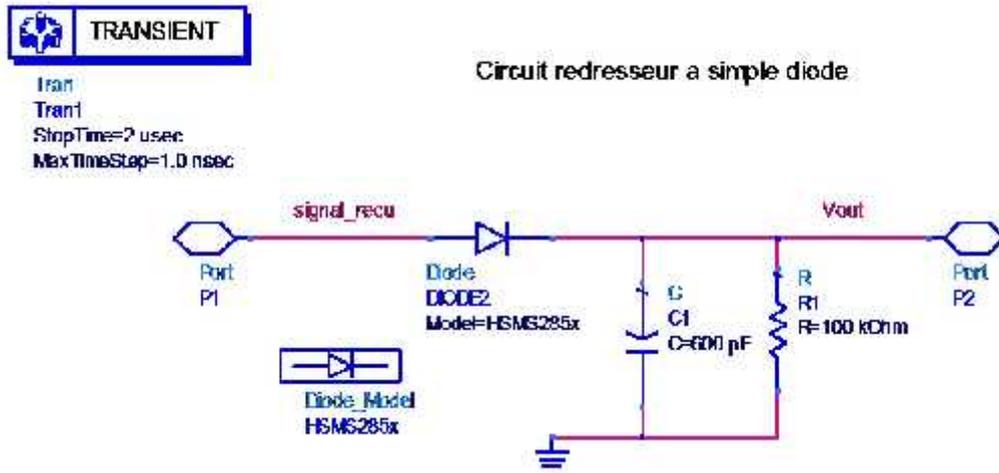


Figure 4.12 : Circuit redresseur à simple diode.

Pour avoir une tension d'alimentation relativement constante au cours d'un cycle RF, la constante de temps RC doit être d'une durée très grande.

Le circuit redresseur à simple diode est le schéma le plus simple et le plus économique de fabrication.

La figure 4.13 désigne le signal reçu au niveau de l'antenne du tag RFID, on remarque que la tension du signal reçu à diminuer par rapport au signal envoyé par le lecteur RFID figure (4.4), cela est dû à la distance entre le lecteur et le tag.

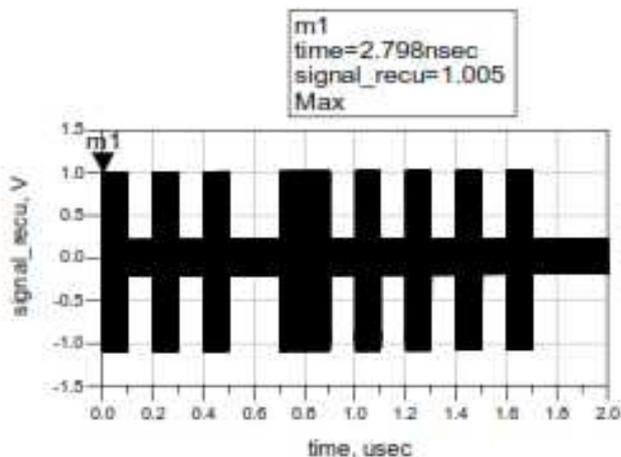


Figure 4.13 : Signal reçu par l'antenne tag.

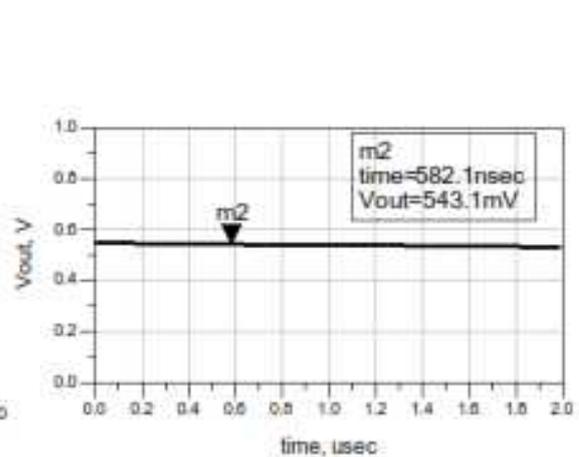


Figure 4.14 : Signal de sortie du simple redresseur.

En nous référant à la figure 4.14, nous pouvons voir que la tension de sortie du redresseur à simple diode n'est pas la tension crête du signal d'entrée, mais la différence entre la tension crête du signal d'entrée et la tension seuil de la diode. On constate que la tension de sortie est égale à 0.54 V, à partir d'une tension de 1 Volt, or le circuit logique doit disposer d'une tension supérieure ou égale à un 1V pour qu'il fonctionne à partir d'une tension plus faible récupérer par l'antenne.

IV.2.1.2.3 Simulation du doubleur de tension

Une approche très fréquente pour pouvoir obtenir des tensions plus élevées à partir d'un redresseur est l'utilisation d'un doubleur de tension, illustrée à la figure 4.15.

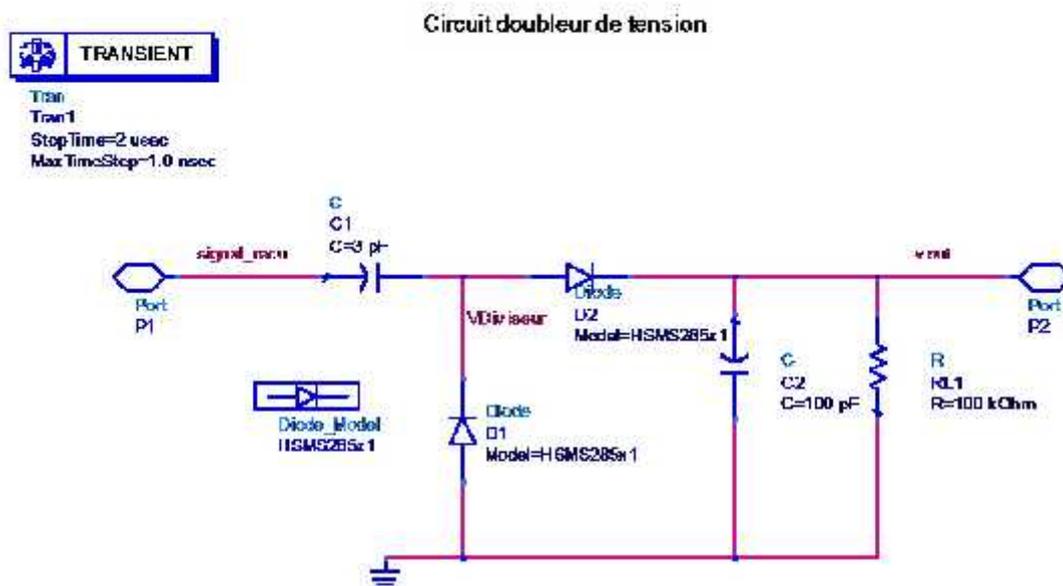


Figure 4.15 : Circuit doubleur de tension.

Le principe fonctionnement de circuit est comme suit :

Pendant l'alternance négative, la diode D1 est passante et le condensateur C1 se charge jusqu'à V_{max} de la tension d'entrée, la diode D2 est bloquée.

Pendant l'alternance positive, la diode D1 est bloquée, la tension V_{max} de l'entrée s'ajoute à la tension du condensateur C1 pour atteindre le double de V_{max} , ce qui constitue une source de tension qui alimente le condensateur C2 à travers la diode D2, par $2V_{max}$

La figure 4.16 représente la tension aux bornes du diviseur de diode, on remarque que le signal d'entrée décaler vers la partie positive. La tension de sortie aux bornes du condensateur C2 est donnée sur la figure 4.17.

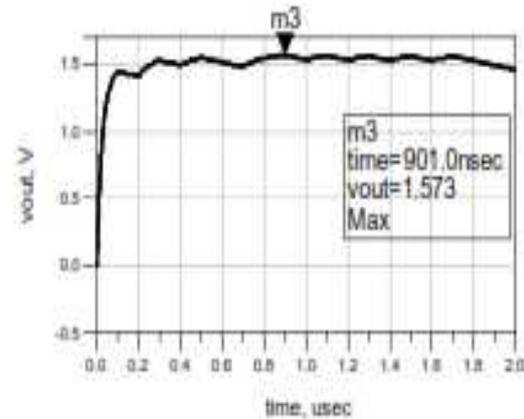
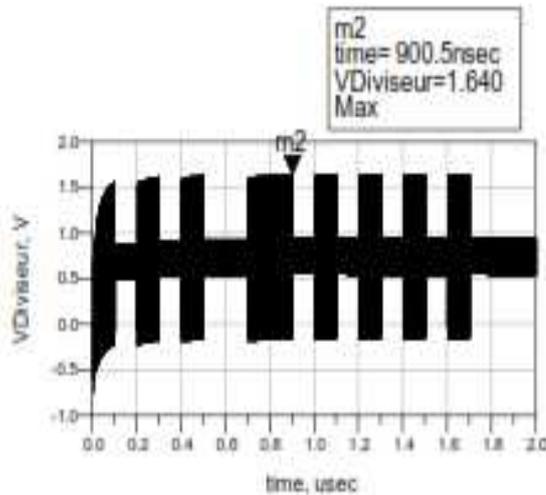


Figure 4.16 : Signal reçu aux bornes du diviseur de diode.

Figure 4.17 : Signal de sortie du doubleur.

On observe de cette figure qu'on a une tension de sortie constante de 1.57V, on peut constater qu'elle n'est pas égale à $2V_{max}$, mais elle est égale à $2(V_{max}-V_d)$ ou V_d est la tension seuil de la diode.

Généralement on utilise les diodes Schottky, pour leurs faibles tensions de conduction qui est égale à 0.2V contrairement aux diodes PN. Il est possible de mettre plusieurs cellules en cascade pour produire un multiplicateur de tension, afin d'obtenir une tension en sortie plus élevée.

Un circuit multiplicateur de tension est un ensemble de condensateurs et de diodes de redressement souvent utilisé pour générer des tensions continues élevées. Ce type de circuit utilise le principe qui consiste à charger des condensateurs en parallèle, à partir de l'entrée d'une tension alternative, et à additionner les tensions au sein de ces condensateurs en série afin d'obtenir des tensions continues supérieures à la tension de source.

IV.2.1.2.4 Conception et simulation du bloc démodulateur

Le démodulateur est un circuit électronique qui extrait le signal utile (modulant) à partir d'un signal modulé. Le démodulateur d'amplitude le plus simple et le plus approprié pour un tag passif est le détecteur d'enveloppe comme est représenté sur figure 4.18.

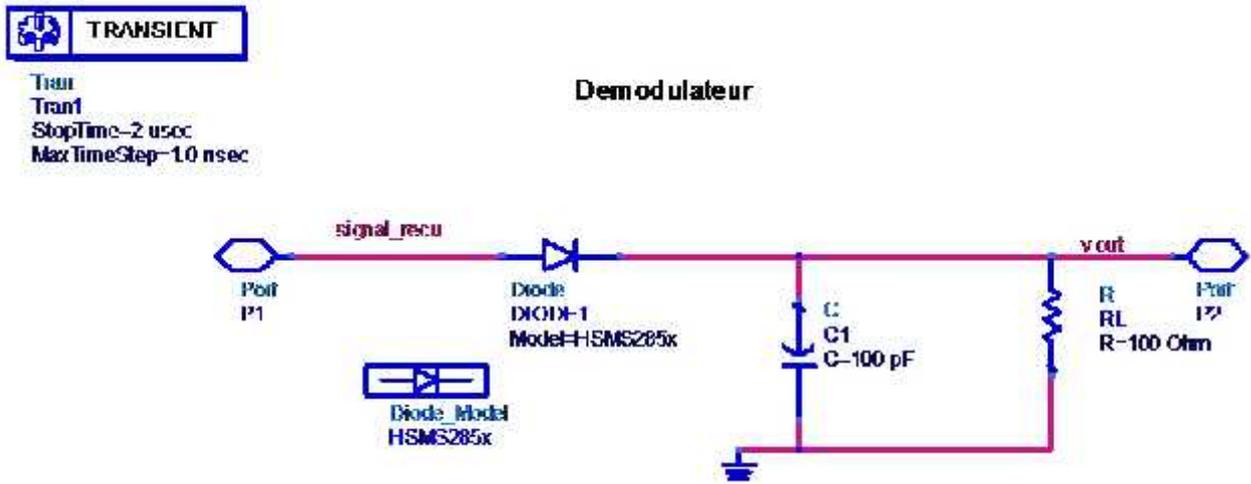


Figure 4.18 : Le circuit de démodulation.

L'introduction d'un condensateur de capacité C en dérivation avec la résistance R permet de :

- Supprimer le signal de haute fréquence de la porteuse.
- Garder le signal de basse fréquence du signal modulant.

Le circuit RC placé en série, constitue un filtre passe-bas. Ce filtre laisse passer les basses fréquences et atténue les hautes fréquences, c'est-à-dire les fréquences supérieures à la fréquence de coupure.

On utilise le filtre passe-bas pour réduire l'amplitude des composantes fréquentielles supérieures à la celle de la fréquence de coupure. La constante de temps de charge doit être petite par rapport à la période de la porteuse.

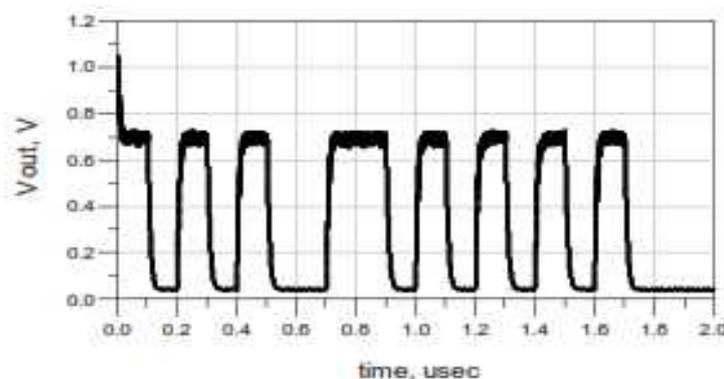


Figure 4.19 : Signal démodulé.

La suite de charges et de décharges du condensateur donne une courbe qui reste proche de l'enveloppe de la tension modulée ce qui entraîne un choix judicieusement des valeurs de R et de C. Le signal obtenu sur la figure (4.19) correspond pratiquement au signal modulant.

IV.2.1.2.5 Conception et simulation du bloc modulateur

Pour que le tag RFID transmette les données au lecteur RFID, nous avons supposé qu'il utilise une modulation d'amplitude en utilisant un transistor bipolaire NPN, comme il est représenté sur la figure 4.20.

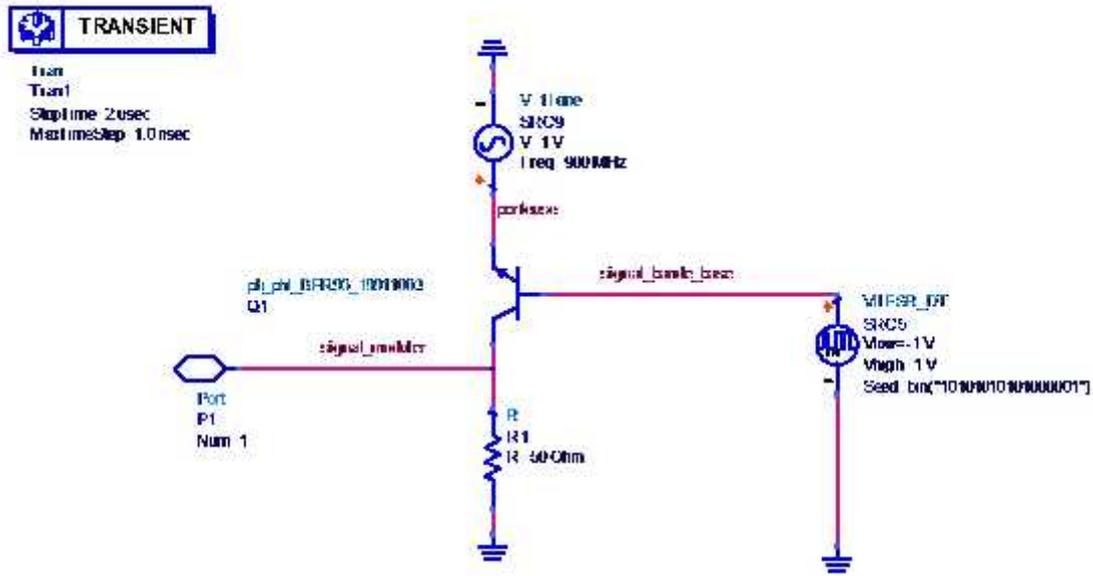


Figure 4.20 : modulateur à base de transistor.

Le signal modulant qui contient la réponse au lecteur, est appliqué à la base du transistor et la porteuse est appliqué sur l'émetteur, la sortie de cette modulation se présente sur la résistance du collecteur.

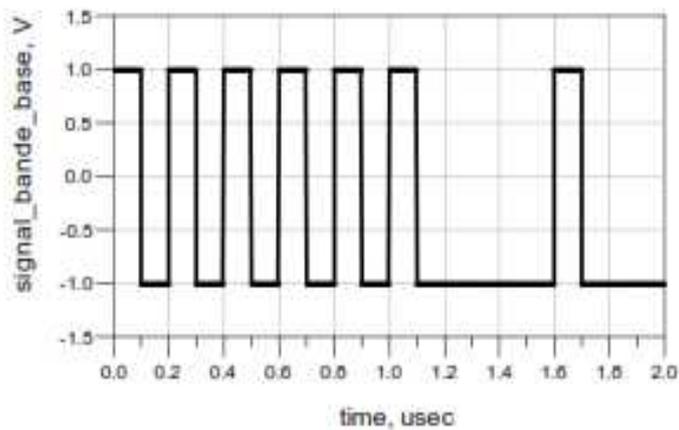


Figure 4.21 : Signal en bande de base.

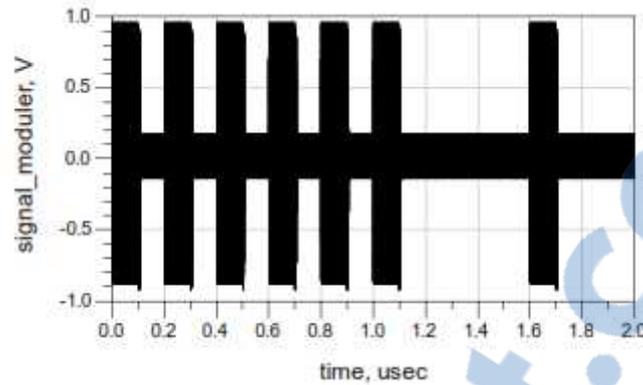


Figure 4.22: Signal modulé en amplitude.

La figure 4.21 montre le signal en bande de base, nous allons considérer que ce signal va être l'information que contient le circuit logique et qui va être transmise au lecteur RFID. Avant d'envoyer cette information, il faut la moduler avec une porteuse de 900MHz, la figure 4.22 présente le signal modulé en amplitude, celui-ci va être transmis par l'antenne du tag pour atteindre le lecteur.

IV.2.3 Synthèse du circuit RFID

De ce qui précède, et les résultats obtenus plus haut nous permettent d'établir le système RFID passif qui fonctionne selon le mode de communication RTF, et le protocole de communication HDX.

Le circuit lecteur RFID va émettre une requête vers le circuit tag RFID passif. En retour il reçoit l'information renvoyée par ce dernier.

Le lecteur va envoyer une requête modulée. Une fois l'information transmise par modulation ASK, maintenant l'antenne du tag RFID va retranscrire intégralement l'information.

Le signal émis par le lecteur va être transmis au tag par l'intermédiaire d'un coupleur, vu qu'ADS ne permet pas de recevoir le signal par rayonnement.

Le circuit redresseur reçoit le signal modulé, ce qui permet d'avoir un signal relativement constant pour alimenter le tag. Le même signal est reçu également par le démodulateur pour extraire l'information.

Le circuit modulateur va transmettre l'information (la réponse à la requête) par l'intermédiaire d'un transistor, ce transistor permet de moduler le signal informatif à travers l'antenne.

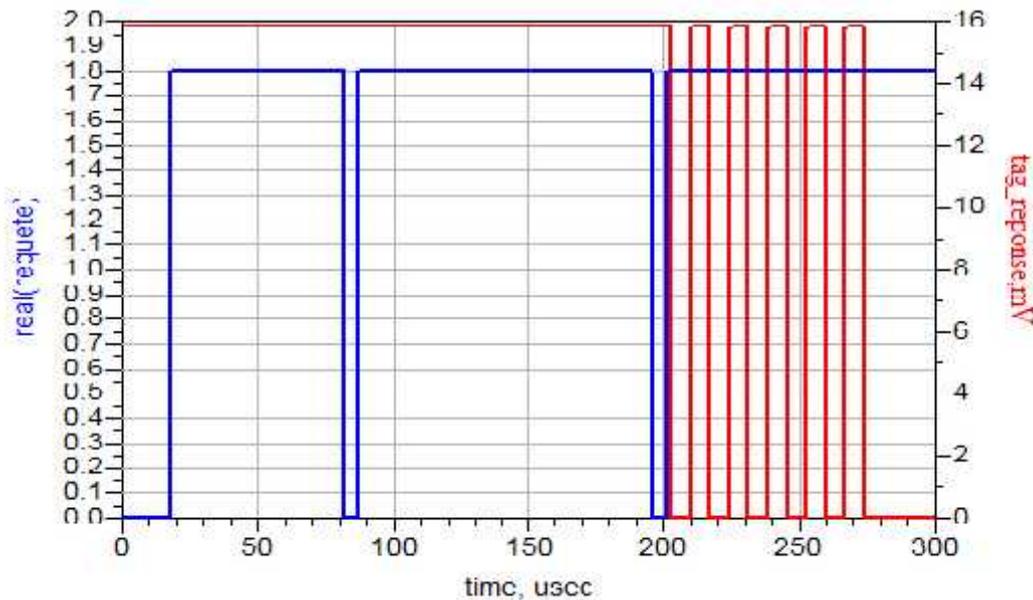


Figure 4.23 : Signal de la requête avec la réponse du tag.

Sur la figure 4.23, le signal en bleu représente la requête envoyée par le lecteur, et le signal en rouge représente la réponse du tag qui commence à émettre les informations.

Cette figure nous permet de distinguer les différentes phases de communication entre le lecteur RFID et le tag RFID passif en utilisant un transfert d'énergie alterné HDX et le mode RTF.

On constate que dans la liaison montante le lecteur envoie la requête durant une certaine période. Après la fin de réception de la requête (l'instant 200us pour cet exemple) le tag commence à répondre au lecteur.

IV.3 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons proposé et simulé les circuits des différents blocs de la partie RF d'un tag RFID : l'antenne patch, un redresseur à diode, un démodulateur à détecteur d'enveloppe et un modulateur à base de transistor. Pour compléter cette simulation nous avons modélisé l'émetteur d'un lecteur RFID. Nous avons aussi visualisé les deux requêtes du lecteur et du tag.

Les intérêts de la conception d'étiquette RFID utilisant ADS et Momentum sont :

- Le modèle AMC (Advanced Model Composer) permet d'exporter les données de simulation de l'antenne et le composant de disposition "layout component" de Momentum à ADS
- Le modèle AMC peut inclure un paramètre qui varie la géométrie de l'antenne; ce qui simplifie le processus de conception et permet un réglage et une optimisation.
- Une adaptation Optimale est obtenue en connectant le composant de disposition AMC au circuit de lecteur d'ADS et de réglage ou d'optimisation.

Conclusion générale

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

Ce présent travail nous a permis d'étudier l'état de l'art de la technologie RFID, ainsi que les différentes applications qui ont été réalisé dans ce domaine.

Un système RFID constitué d'un lecteur et d'un tag, est une technique d'identification à distance basée sur les ondes radio. Il existe deux grandes familles de tags RFID : les tags actifs et les tags passifs.

Un tag passif c'est un circuit qui ne contient pas une source d'énergie à son bord. Il s'auto alimente de l'énergie reçu à partir du lecteur.

Nous avons aussi proposé et conçu des structures d'antenne imprimé pour le tag RFID UHF passif à partir des travaux publiés dans la littérature.

Ainsi nous avons présenté la classification des tags RFID suivant leurs applications, Nous avons observé l'adaptation de quelques antennes pour différentes applications.

En plus, nous sommes passés à la conception des circuits du tag RFID passif bloc par bloc. Pour valider l'ensemble des étages constituant un tag RFID passif nous étions amenés à concevoir un modulateur ASK qui modélise le bloc émetteur du lecteur RFID.

Le bloc redresseur à diode simple permet d'obtenir une tension continue en sortie. Cette tension est faible, pour cela un circuit doubleur est nécessaire, ce dernier donne une tension suffisante pour l'alimentation du circuit logique.

Le bloc démodulateur qui est un détecteur d'enveloppe à diode permet d'extraire la requête envoyé par le lecteur.

Un bloc modulateur à base de transistor, module la réponse qui doit être transmise au lecteur.

A la fin nous avons mis en œuvre un circuit équivalent du système RFID passif, qui fonctionne selon le mode de communication RTF et le protocole « half duplex ».

En perspective à ce travail, nous souhaitons :

- Etendre notre étude à d'autres types d'antennes Tag RFID.
- Réalisation d'un système radio fréquence RFID passif.

Bibliographie

- [1]. Klaus Finkenzeller, "RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification", 2nd edition, John Wiley & Sons, 2003.
- [2]. S. Tedjini, E. Perret, «Radio-Frequency Identification Systems and Advances in Tag Design», Invited paper, Radio Science Bulletin No 331, pp. 9-20, December 2009, <http://ursitest.intec.ugent.be/files/RSBdecember09rincolour.PDF>.
- [3]. Daniel Dobkin, "RF in RFID: Passive RFID UHF in Practice", Newnes, 2008.
- [4]. [Http://www.rfidjournal.com](http://www.rfidjournal.com).
- [5]. IDTechEx, <http://www.idtechex.com/>.
- [6]. [Http://www.gs1.org/barcodes/technical/bar_code_printing_methods](http://www.gs1.org/barcodes/technical/bar_code_printing_methods).
- [7]. Anthony Ghiotto, "Conception d'Antennes de Tags RFID UHF, Application à la Réalisation par Jet de Matière", Thèse de Doctorat, Institut Polytechnique de Grenoble, Novembre 2008
- [8]. [Http://www.polygait.calpoly.edu/tutorial.htm](http://www.polygait.calpoly.edu/tutorial.htm)
- [9]. BRIDGE project report, "Economic impact of RFID", April 2008.
- [10]. Y. Zhang, L.T. Yang, J. Chen, "RFID and Sensor networks", Auerbach, 2010.
- [11]. Wikipedia Encyclopedia, <http://www.wikipedia.com> .
- [12]. Harvey Lehpamer, "Design Principles", Artech House, 2008.
- [13]. ISO, <http://www.iso.org/iso/fr/home.htm>.
- [14]. Tagsys, <Http://www.tagsysrfid.com/>.
- [15]. Bielomatik, <http://www.rf-looptag.com/>.
- [16]. Etienne PERRET, Smail TEDJINI Hamza CHAABANE, "Towards UHF RFID Robust Design Tag," in 2010 IEEE Conference on RFID, Orlando, 2010, pp. 223 - 229
- [17]. A. Rida, et al., "Conductive Inkjet-Printed Antennas on Flexible Low-Cost PaperBased Substrates for RFID and WSN Applications," Antennas and Propagation Magazine, IEEE, vol. 51, pp. 13-23, 2009
- [18]. E. Abad, et al., "Flexible tag microlab development: Gas sensors integration in RFID flexible tags for food logistic," Sensors and Actuators B: Chemical, vol. 127, pp. 2-7, 2007
- [19]. S. Preradovic and N. C. Karmakar, "Chipless RFID: Bar Code of the Future," Microwave Magazine, IEEE, vol. 11, pp. 87-97, 2010
- [20]. N. C. Wu, et al., "Challenges to global RFID adoption," Technovation, vol. 26, pp. 1317-1323, 2006
- [21]. L. Atzori, et al., "The Internet of Things: A survey," Comput. Netw., vol. 54, pp.2787-2805, 2010.

- [22]. R. Want, "An introduction to RFID technology," *IEEE Pervasive Computing*, 5, 1, pp. 25-33, Jan. –Mar. 2006.
- [23]. G. Marrocco, "The art of UHF RFID antenna design: impedance-matching and size reduction techniques," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 50, no.1, pp.66-79, 2008.
- [24]. Constantine A. Balanis, "Antenna theory: Analysis and Design", 2nd edition, John Wiley & Sons, 1996.
- [25]. D. M. Pozar, "Microwave Engineering", John Wiley & Sons, second edition, 1998
- [26]. Lo, Y. T., and Lee S. W., *Antenna handbook: Antenna theory*, Vol.2, International Thompson Publishing, Inc, 1993.
- [27]. Stutzman, W.L., and Thiele, G.A., *Antenna Theory and Design*, John Wiley & Sons, Inc, 1998.
- [28]. P. V. Nikitin and K. V. S. Rao, "Theory and measurement of backscattering from RFID tags", *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, Vol. 48, No. 6, December 2006, pp.212-218.
- [29]. M. Fairley, "RFID Smart Labels – A 'How to' Guide to Manufacturing and Performance for the Label Converter", second edition, *Labels and Labeling*, 2007.
- [30]. G. Monti, L. Catarinucci, and L. Tarricone "Broad-Band Dipole For RFID Applications" *Progress In Electromagnetics Research C*, Vol. 12, 163{172, 2010.
- [31]. Yang, L., A. Rida, M. M. Tentzeris, and A. Mortazawi, *Design and Development of RFID and RFID-enabled Sensors on Flexible Low Cost Substrates*, Morgan & Claypool Publishers, 2009.
- [32]. Rao, K. V. S., et al., "Antenna design for UHF RFID tags: A review and a practical application," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, Vol. 53, No. 12, 3870{3876, Dec. 2005.
- [33]. K. Rao, P. Nikitin, S. Lam, "Antenna design for UHF RFID tags: a review and a practical application," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 53, no.12, Dec. 2005.
- [34]. D. Dobkins, and S. Weigand, "Environmental effects on RFID tag antennas," in *IEEE MTT-S International Microwave Symposium*, Long Beach, CA, pp. 4-7, June 2005
- [35]. Li Yang, "Design And Developement Of Novel Radio Frequency Identification (RFID) Tag Structures", *Thèse de Doctorat*, Georgia Institute of Technology, December 2009
- [36]. M. Bolic, D. Simplot-Ryl, and I. Stojmenovic, *RF Systems: Research Trends and Challenges*. Wiley Online Library: John Wiley & Sons, 2010.
- [37]. B.C. Wadell, *Transmission Line Design Handbook*, Artech House, Wilmington, DE, 1991.
- [38]. C. Cho, H. Choo and I. Park, "Design of novel RFID tag antennas for metallic objects," *IEEE Int. AP-S Symp. Antennas Propag.*, Albuquerque, NM, pp. 3245-3248, 2006
- [39]. W. Choi, H.W. Son, C. Shin, J.-H. Bae, G. Choi, "RFID tag antenna with a meandered dipole and inductively coupled feed," *IEEE Ijnt. AP-S Symp. Antennas Propag*, Albuquerque, NM, pp. 619-622, 2006.

- [40]. A. Toccafondi, P. Braconi, "Compact load-bars meander line antenna for UTHF RFID transponder," European Conf. on Antennas and Propag., Nice, France, 2006.
- [41]. M. Keskilammi, M. Kivikoski, "Using text as a meander line for RFID transponder antennas," IEEE Antennas and Propag, vol. 3, pp. 372-374, 2004.
- [42]. H. Hirvonen, P. Pursula, K. Jaakkola and K. Laukkanen, "Planar Inverted-F Antenna for Radio Frequency Identification," Electronics Letters, 40, 14, July 2004, pp. 848850.
- [43]. Avery Dennison, UHF RFID Inlays, http://rfid.averydennison.com/product_cat/uhfrfid-inlays, Accessed Oct.13, 2011.
- [43]. A.E. Abdulhadi, R. Abhari, "Dual printed meander monopole antennas for passive UHF RFID tags," IEEE AP-S Int. Symp. Antennas Prop., Spokane, WA, pp. 988-991, 2011.
- [44] J.W. Lee et al., "Design consideration of UHF RFID tag for increased reading range," IEEE MTT-S Int. Microwave Symp., pp. 1588-1591, 2006.
- [45] T. Hu, L. Caifeng, Z. Wang, "Design and analysis of UHF tag antenna structure," China-Japan Joint Microw. Conf., pp. 1-4, 2011.
- [46] G. Jihui, et al., "A design of RFID tag antenna for clothing," Cross Strait QuadRegional Radio Science and Wireless Technology Conf., pp. 1075-1077, 2011.
- [47] Y. Nishioka, et al., "Novel antenna configuration for HF- and UHF band hybrid cardtype RFID Tags," European Conf. on Antennas and Propag., pp. 1-5, 2010.
- [48]. K. Riad, A. Ataollah, "UHF RFID transponders antenna design for metal and wood surfaces," IEEE Int. Conf. on RFID, pp. 270 - 277, 2009. 123
- [49]. R. Bhattacharyya, et al., "RFID tag antenna based sensing: does your beverage glass need a refill?" IEEE Int. Conf. on RFID, pp. 126–133, 2010.
- [50]. Internet resource, Rogers Corp., <http://www.rogerscorp.com/documents/606/acm/RTduroid-5870-5880-Data-Sheet.aspx>, accessed March 15, 2012.
- [51]. K.V.S. Rao, P.V. Nikitin, and S. Lam, "Antenna design for UHF RFID tags: a review and a practical application," IEEE Trans. on Antennas and Propag, vol. 53, pp. 38703876, Dec.2005.
- [52]. Munam Butt, "Design Systemization of RFID Tag Antenna Design Based on Optimization Techniques and Impedance Matching Charts", Thèse de Doctorat, Faculty of Engineering, University of Ottawa, Ontario, Canada, April, 2012.
- [53]. F.Z. MAROUF, "Etude et Conception d'Antenne Imprimées pour Identification RadioFréquence RFID UHF", Thèse de Doctorat, Faculty of Technology University Tlemcen, 2013.
- [54]. BENARRADJ. H, " Antenne UHF et Antenne ULB pour des applications RFID passives", projet fin d'étude, Faculty of Technology, University Tlemcen, 2013.
- [55]. BOUKROUNA, W. KORCH, N, " Etude et simulation din système RFID" projet fin d'étude, Faculty of Electronic et Informatique, University Alger, 2013.