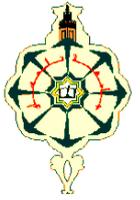




REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE ABOU BAKR BELKAID - TLEMCCEN

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DU GENIE ELECTRIQUE ET ELECTRONIQUE
LABORATOIRE DE TELECOMMUNICATIONS DE TLEMCCEN (LTT)

THESE DE DOCTORAT EN TELECOMMUNICATIONS
LMD (3^{ème} Cycle)

Présentée par :

Fatima Zahra MAROUF

Etude et Conception d'Antennes Imprimées pour Identification Radio Fréquence RFID UHF

Soutenue en 2013 devant le jury composé de :

Président :

CHIKH Mohammed Amine : Professeur à l'Université de Tlemcen

Examineurs :

KANDOUCI Malika : Professeur à l'Université de Sidi Bel Abbés

CHAMA Zouaoui : Professeur à l'Université de Sidi Bel Abbés

MAHDJOUR Zoubir : Maître de Conférences A à l'Université de Sidi Bel Abbés

MERIAH Sidi Mohammed : Professeur à l'Université de Tlemcen

Membre Invité :

SELADJI-HASSAINE Nawel : Maître Assistante A à l'Université de Tlemcen

Directeur de Thèse :

BENDIMERAD Fethi Tarik : Professeur à l'Université de Tlemcen

Remerciements

Ce travail de thèse a été réalisé au sein du laboratoire de recherche de Télécommunication de Tlemcen (LTI), dirigé par Monsieur BENDIMERAD F.T, à qui je dois tout le respect.

Tout d'abord je tiens à remercier d'une part Madame SELADJI N. Maitre Assistante A à l'université de Tlemcen, pour m'avoir fait bénéficier de ses grandes connaissances scientifiques ainsi que pour son temps, la patience qu'elle m'a accordée et les précieux conseils qu'elle m'a généreusement prodigués. Ses qualités professionnelles et personnelles sont un modèle pour moi, au-delà de mes hommages respectueux, je la prie de trouver ici, l'assurance de ma profonde reconnaissance.

De l'autre part j'adresse toute ma gratitude à mon directeur de thèse Monsieur BENDIMERAD F.T. Professeur à l'université de Tlemcen, pour m'avoir dirigé et guidé tout le long de ce travail. Ses conseils et remarques constructifs étaient très bénéfiques pour mon travail. Son soutien et ses encouragements permanents ainsi que sa disponibilité jusqu'à l'achèvement de ce travail m'ont été très favorables.

Mes sincères remerciements vont également à Monsieur CHIKH. M. A Professeur à l'université de Tlemcen pour m'avoir honorée en acceptant de présider le jury de soutenance, je le remercie également pour ses précieux conseils, son soutien et son aide continue.

J'exprime mes remerciements à Monsieur MERIAH. S. M Professeur à l'université de Tlemcen pour ses conseils et ses orientations, je le remercie également d'avoir accepté de faire partie du jury.

Mes vifs remerciements s'adressent également à Madame KANDOUCI. M Professeur à l'université de Sidi Bel Abbes, à Monsieur CHAMA. Z Professeur à l'université de Sidi Bel Abbes ainsi qu'à Monsieur MAHDJOUB. Z Maitre de Conférences A à l'université de Sidi Bel Abbes d'avoir accepté de juger ce travail.

Je dois toute la reconnaissance à Monsieur ZIANI Djalal pour son aide intense, ses encouragements et son soutien.

J'ai une mention très spéciale à ma tante CHIKH. N, pour son aide et son soutien.

J'adresse toute ma gratitude aux membres de ma famille, mes parents, ma sœur, mes frères ainsi que mon beau-frère.

Je remercie également ma tante, mes oncles et mes cousins pour leurs encouragements et leurs soutiens.

Je remercie chaleureusement mes chères amis BENDAHDANE. Z, SEKKAL. W, FEROUANI. S, BOUSSAID. F, SETTOUTI. N, MAMCHAOUIS, BRAHAMI. H. I, ZIANI.K.D, DEBBAL. M, YUCEF. A, BENDADDA.M, BAROUDI. M. Y, ABDELLAOUI.G, ROUISSET. M, BEMMOUSSET.C pour leurs aides, leurs soutiens ainsi que pour leurs encouragements.

Je n'oublie pas de remercier mes chères cousines YOUSFI. F. Z et YOUSFI. K pour leurs chaleureux accueils à Casa Blanca et à Alger, ainsi que pour leurs encouragements.

Je remercie finalement tous les collègues membres du laboratoire LTT.

Résumé

L'identification par Radio Fréquence (RFID) est une technologie émergente qui promet d'être omniprésente dans un futur proche, elle permet l'identification d'objets en échangeant des données à travers des signaux Radiofréquence.

Un système RFID est caractérisé par une station de base ou lecteur (Reader) cherchant à identifier des objets, et d'une étiquette (Tag) insérée au niveau de ces objets. Par ce travail, nous nous intéressons uniquement à la technologie UHF passive, plus particulièrement à la conception des antennes de tags RFID. Ces antennes devront assurer la liaison entre le lecteur et une puce électronique qui leur est attachée et dans laquelle seront mémorisées les données concernant l'objet portant l'étiquette.

Nous tentons par ce travail de montrer l'importance d'assurer une adaptation entre l'antenne du tag et la puce électronique pour une meilleure efficacité de la liaison.

Nous avons également fait la conception de certaines structures répondant à un cahier de charge particulier servant l'application médicale qui consiste à faire l'identification des patients hospitalisés grâce à un tag intégré dans un bracelet.

Mots-clés : Identification par radiofréquence (RFID), RFID UHF passives, Conception d'antennes tags, Pucés RFID UHF passives, Adaptation d'impédances, Antennes conformes. FIT, MOM.

Abstract

The Radio Frequency Identification (RFID) is an emerging technology that promises to be ubiquitous in the near future; it allows the identification of objects by exchanging data through Radio Frequency signals.

A RFID system includes a base station (reader) to identify objects, and a tag inserted on these objects. Through this work, we are interested only on the RFID passive UHF technology, especially on designing antennas for RFID tags. These antennas have to assure the communication between the reader and an electronic chip's tag which stores the labeled object's data.

In this work, we try to show the importance of ensuring a match between the tag antenna and the chip for a better efficiency of the communication between the two organs.

We have also designed some antennas' structures suitable for a medical application which consists to identify hospitalized patients by a tag inserted on wristband.

Key-words: Radio Frequency IDentification (RFID), passive UHF RFID, RFID tag Antenna design, passive UHF RFID chips, Impedance matching, Conformal Antennas. FIT, MOM

ملخص

محدد الهوية باستخدام موجات الراديو RFID ، هي تكنولوجيا باسئة تتعد بانتشار كبير في العالم و هذا في مستقبل قريب . هذه التكنولوجيا تسمح بتحديد هوية الاشياء من خلال تبادل البيانات والمعلومات من خلال موجات الراديو و تصنف ضمن التكنولوجيات اللاسلكية .

يتكون نظام RFID من ثلاثة أجزاء (يسية هي كالتالي : البطاقة التي تحتوي على جهاز الإرسال 'هوائي') ومن رقاقة تحتوي على المعلومات الخاصة بالبيئ المراد تعريفه، من محطة أساسية تسعى للتعرف على المعلومات المرسله من البطاقة و أخيرا من حاسوب يصمم برامج وقواعد البيانات .

من خلال هذا العمل سبتم بدراسة نوع من انواع هذه التكنولوجيا، سنعمل على تصمم بعض الهوائيات المحتواة في البطاقة، و التي ييم فمها بحزب بيانات التعرف عبر موجات الراديو الطويله جدا (JHF) حيث محاول إظهار أهمية صمان وجود تكافؤ بين مقاومتي الهوائي والرقاقة الالكرونية لتحسس أدائهما معا، يم التحقق من صحة نتائج المحاكاة العددية، بإساليب مختلفة من التحليل باستخدام الإداثر (IE3D) CST .

فنا ايضا بدراسة بعض الهوائيات المخصصة للمجال الطي، يتمثل في سوار ترتديه المريض للتعرف على المعلومات الخاصة^٤ .

الكات المفتاحية :

الهوائيات المطبوع تكنولوجيا RFID موجات الراديو القصيرة والطويلة - التصغه ، ضبط التحسس، تقنية التكامل المحدو : وطريقة العزو .

Table des matières

REMERCIEMENTS	II
RESUME.....	IV
ABSTRACT.....	V
ملخص.....	VI
TABLE DES MATIERES	7
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	11
INTRODUCTION GENERALE	18
I CHAPITRE I	20
I.1 Présentation de la technologie RFID	22
I.1.1 Ramifications de l'identification électronique	22
I.1.2 Définition.....	22
I.1.3 Historique.....	23
I.2 Composition d'un système RFID.....	25
I.2.1 L'élément déporté.....	25
I.2.2 L'élément fixe.....	26
I.2.3 L'hôte	27
I.2.4 Bref descriptif du mode de fonctionnement.....	28
I.3 Applications, fréquences d'utilisation et standardisation	28
I.3.1 Applications.....	28
I.3.2 Les fréquences allouées	34
I.3.3 Standardisation de la technologie RFID	36
I.4 Inquiétudes de la technologie	38
I.4.1 Au niveau « sécurité »	38
I.4.2 Au niveau «Santé»	39

I.4.3	Au niveau « Psychique»	39
I.5	Conclusion	39
	Références Bibliographiques du Chapitre I	41
II	CHAPITRE II.....	43
II.1	Introduction.....	45
II.2	Les types des systèmes RFID	46
II.2.1	Les systèmes à couplages inductifs (BF et HF).....	46
II.2.2	Les bandes de fréquence UHF et Micro-Ondes	49
II.2.3	Les systèmes RFID Ultra Large Bande (ULB)	53
II.3	État de l’art sur les systèmes RFID passifs	54
II.3.1	Liaisons montantes et liaisons descendantes.....	54
II.3.2	Architecture du Tag RFID UHF passif	60
II.3.3	Architecture d’un lecteur RFID UHF	67
II.3.4	Communication Tag Reader	71
II.4	Conclusion	74
	Références Bibliographiques du Chapitre II	75
III	CHAPITRE III	77
III.1	Introduction.....	79
III.2	Paramètres d’une antenne.....	79
III.2.1	Les paramètres de rayonnement	80
III.2.2	Les paramètres circuits.....	89
III.3	Les principaux types d’antennes tag RFID UHF passifs	93
III.3.1	Les antennes IFA.....	93
III.3.2	Les antennes imprimées (microrubans)	97
III.3.3	Les dipôles	99
III.4	La puce dans les systèmes RFID passifs	102
III.4.1	Modélisations électriques des puces RFID passives	102
III.5	Conclusion	103

Références Bibliographiques du Chapitre III	104
IV CHAPITRE IV	106
IV.1 Simulation électromagnétique	108
IV.2 Antennes adaptées à 50Ω	110
IV.2.1 Antenne Dipôle.....	110
IV.2.2 Antenne dipôle à méandre.....	115
IV.2.3 Antenne Monobande	116
IV.2.4 Antenne en F-inversée bi-bandes.....	118
IV.2.5 Antenne tri-bandes.....	120
IV.3 Antennes tags adaptées à la puce et techniques d'adaptation.....	123
IV.3.1 Introduction.....	123
IV.3.2 Quelques techniques d'adaptation d'impédance	126
IV.3.3 Miniaturisation d'antennes RFID.....	142
IV.4 Conclusion	156
Références Bibliographiques du Chapitre IV	157
V CHAPITRE V	159
V.1 Introduction.....	161
V.2 La technologie RFID dans le domaine médical.....	161
V.2.1 Le besoin de la technologie RFID dans les hôpitaux.....	161
V.2.2 Les applications RFID dans le domaine de la santé	162
V.3 La technologie RFID et les biocapteurs.....	163
V.4 Description de l'application convoitée	164
V.5 Configurations d'antennes	165
V.5.1 Dipôle bracelet	165
V.5.1 Patch bracelet.....	171
V.6 Conclusion	177
Références Bibliographiques du Chapitre V	178

CONCLUSION GENERALE	179
A. ANNEXE -A.....	181
A.1 Introduction.....	182
A.2 CST MICROWAVE STUDIO	182
A.3 Exemple de conception d’une antenne sous CST.....	185
A.4 Résultat de simulation	187
B. ANNEXE -B.....	190
B.1 Introduction.....	191
B.2 Le dispositif automatique des cellules de bord (<i>Automatic Edge Cell</i>).....	192
B.3 Optimisation électromagnétique	192
B.4 Résultats de simulation.....	192
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	195
ABRÉVIATIONS.....	202

Table des Illustrations

Chapitre I

Figures

Figure I-1: Harry Stochman le fondateur de la Radio Identification	24
Figure I-2 : Exemples d'éléments déportés dotés de Tags RFID.....	26
Figure I-3 : Exemples d'éléments fixes	27
Figure I-4 : Exemples d'hôtes	27
Figure I-5 : Simple illustration du principe de fonctionnement.....	28
Figure I-6 : Illustration de traçabilité des processus	29
Figure I-7 : illustration de traçages des biens	30
Figure I-8: domaines d'applications de la technologie RFID.....	34
Figure I-9: les bandes de fréquences allouées pour la technologie RFID	36

Tableaux

Tableau I-1 : récapitulatif des différentes bandes de fréquences allouées pour les systèmes RFID	35
--	----

Chapitre II

Figures

Figure II-1 : Fonctionnement du système RFID	45
Figure II-2 : Les bandes de fréquences RFID	46
Figure II-3 : système à couplages inductifs BF et HF	47
Figure II-4 : Exemple d'une étiquette ou Tag HF	47
Figure II-5 : Modélisation de l'étiquette par un circuit résonant série	48
Figure II-6 : Modélisation du Tag par un circuit résonant parallèle.....	48
Figure II-7 : Circuit LC parallèle, avec modulation d'inductance (a) et de capacité (b).....	49
Figure II-8 : Concept d'un système SAW RFID.....	50
Figure II-9 : Principe d'un système RFID sans puce basé sur une ligne à retards.....	50

Figure II-10 : Exemple de tag RFID UHF actif.....	51
Figure II-11 : Exemple de tag RFID semi passif	52
Figure II-12 : Exemple de tag RFID UHF passifs.....	52
Figure II-13 : Représentation schématique d'une communication RFID.....	55
Figure II-14 : Principales procédures de communication RFID	59
Figure II-15 : Schéma fonctionnel d'un tag UHF RFID	60
Figure II-16 : Schéma bloc d'un front-end d'un tag UHF passif	61
Figure II-17 : Schéma bloc de l'architecture d'un Tag RFID UHF	62
Figure II-18 : Réflexion de l'onde incidente [15].....	63
Figure II-19 : Exemples d'antennes tag RFID en industrie	65
Figure II-20 : Schéma bloc fonctionnel d'un lecteur RFID UHF.....	68
Figure II-21 : Chaîne d'émission classique UHF [15].....	68
Figure II-22 : Chaîne de réception classique UHF	69
Figure II-23 : Architecture bi-statique (a) et Architecture mono-statique (b).....	70
Figure II-24 : Bloc de compensation dans la chaîne d'émission/réception.....	70
Figure II-25 : exemples d'antennes de lecteur en industrie	71
Figure II-26 : Communication entre le lecteur et le tag en circuits électroniques	73

Tableaux

Tableau II-1 : Comparaison des différents systèmes RFID	53
Tableau II-2 : Comparaison des différents modes RFID.....	53

Chapitre III

Figures

Figure III-1 : Système des coordonnées pour l'analyse d'antenne	80
Figure III-2 : Tracé du diagramme en puissance et caractérisation des lobes et leurs largeurs	81
Figure III-3 : Représentation de la rotation dans le temps du vecteur champ électromagnétique d'une onde plane dans le plan xy ($E_z = 0$).....	83
Figure III-4 : Illustrations des régions du champ électromagnétique d'une antenne.....	86
Figure III-5 : Illustration d'antennes d'émission et de réception.....	87

Figure III-6 : Illustration de l'application radar	88
Figure III-7 : Schéma équivalent d'une antenne en émission.....	90
Figure III-8 : Schéma équivalent d'une antenne en réception	90
Figure III-9 : différentes configurations d'antennes IFA.....	94
Figure III-10 : abaque correspondante aux antennes IFA coplanaires PIFA.....	95
Figure III-11 : Antenne PIFA conventionnelle.....	95
Figure III-12 : un réseau d'antennes PIFA.....	96
Figure III-13 : Antenne PIFA triple bande	96
Figure III-14 : Géométrie d'une antenne patch	97
Figure III-15 : Exemple d'antenne patch carrée.....	98
Figure III-16 : Patch doté de fentes	98
Figure III-17 : Antenne patch avec fentes.....	99
Figure III-18 : La géométrie de base d'un dipôle	99
Figure III-19 : Antenne dipôle repliée	100
Figure III-20 : Antenne dipôle papillon.....	100
Figure III-21 : Antenne dipôle papillon avec couplage.....	101
Figure III-22 : Antenne dipôle évasée.....	101
Figure III-23 : Circuits électriques équivalent de la puce en un circuit parallèle (a) et un circuit série (b)	102

Chapitre IV

Figures

Figure IV-1 : Méthodologie de simulation d'antenne.....	108
Figure IV-2 : La configuration de l'antenne dipôle.....	112
Figure IV-3 : La discrétisation dans les deux méthodes d'analyses	112
Figure IV-4 : Le port discret sous CST MWS	113
Figure IV-5 : L'alimentation du dipôle	113
Figure IV-6 : Coefficient de réflexion S11 du dipôle imprimé	114
Figure IV-7 : Diagramme de rayonnement en (2-D et 3-D) du dipôle imprimé	114
Figure IV-8 : réalisation de l'antenne dipôle à ligne méandre [6]	115

Figure IV-9 : conception de l'antenne dipôle a ligne méandre sur CST.....	115
Figure IV-10 : comparaison entre les coefficients de réflexion S_{11} simulés et mesurés.....	116
Figure IV-11 : l'antenne papillon.....	116
Figure IV-12 : Comparaison du S_{11} de la structure avec et sans fentes.....	117
Figure IV-13 : Le diagramme de rayonnement.....	118
Figure IV-14 : Antenne PIFA bi-bande.....	118
Figure IV-15 : coefficient de réflexion à la fréquence 400 MHz.....	119
Figure IV-16 : coefficient de réflexion à la fréquence 2.4GHz.....	119
Figure IV-17 : Diagrammes de rayonnement dans les deux fréquences.....	120
Figure IV-18: Structure de l'antenne.....	121
Figure IV-19 : le coefficient de réflexion S_{11} avec les deux logiciels.....	121
Figure IV-20 : Les diagrammes de rayonnements en 2D et 3D à 960MHz.....	122
Figure IV-21 : Les diagrammes de rayonnements en 2D et 3D à 2.45 GHz.....	122
Figure IV-22 : Les diagrammes de rayonnements en 2D et 3D à 5.79GHz.....	122
Figure IV-23 : La configuration d'antenne adaptée en T et son circuit équivalent.....	126
Figure IV-24 : Influence du paramètre « a » sur la partie réelle de l'impédance d'entrée.....	127
Figure IV-25 : Influence du paramètre « a » sur la partie imaginaire de l'impédance d'entrée.....	127
Figure IV-26 : Influence du paramètre « b » sur la partie réelle de l'impédance d'entrée.....	128
Figure IV-27 : Influence du paramètre « b » sur la partie imaginaire de l'impédance d'entrée.....	128
Figure IV-28 : Optimisation du paramètre b.....	129
Figure IV-29 : Conception d'une antenne RFID adaptée en T (T-Match).....	129
Figure IV-30 : Coefficient de réflexion $ S_{11} $ de l'antenne adaptée en T.....	130
Figure IV-31 : Résultats de simulations de l'impédance de l'antenne (parties Imaginaire et réelle).....	130
Figure IV-32 : Facteur d'adaptation de l'antenne à la fréquence 915 MHz.....	131
Figure IV-33 : Diagramme de rayonnement 2-D & 3D à $f = 915$ MHz de l'antenne adaptée en T.....	131
Figure IV-34 : Configuration d'une antenne à boucle à couplage inductif et son circuit équivalent.....	132
Figure IV-35 : variation de a et b (parties imaginaires).....	134
Figure IV-36 : Conception de l'antenne dipôle à couplage inductif.....	134

Figure IV-37 : Coefficient de réflexion S11 de l'antenne dipôle à couplage inductif.....	135
Figure IV-38 : Résultats de simulations de l'impédance d'antenne boucle à couplage inductif (Imaginaire et Réel).....	135
Figure IV-39 : Facteur d'adaptation de l'antenne dipôle à couplage inductif.....	136
Figure IV-40 : Diagramme de rayonnement 2D & 3-D (Gain) à $f = 915$ MHz de l'antenne adaptée en boucle.....	136
Figure IV-41 Configuration d'antenne adaptée par fente.....	137
Figure IV-42 : Influence des paramètres de la fente sur la partie réelle de l'impédance d'entrée de l'antenne.....	138
Figure IV-43 : Influence des paramètres de la fente sur la partie imaginaire de l'impédance d'entrée de l'antenne.....	139
Figure IV-44 : Conception de l'antenne adaptée par fente (Nested Antenna).....	139
Figure IV-45 : Coefficient de réflexion S11 (dB) de l'antenne adaptée par fente en fonction de la fréquence (Ghz).....	140
Figure IV-46 : Résultats de simulations de l'impédance d'antenne adaptée par fente (Imaginaire et Réel).....	140
Figure IV-47 Coefficient de transmission de l'antenne adaptée par fente.....	141
Figure IV-48 : Diagramme de rayonnement 2D & 3-D (Gain) à $f = 915$ MHz de l'antenne adaptée par fente.....	141
Figure IV-49 : La géométrie de base d'une antenne dipôle a ligne Méandre.....	143
Figure IV-50 : Conception Antenne dipôle à ligne Méandre-1.....	145
Figure IV-51 : la Variation de de la partie réelle pour différentes valeurs de h	145
Figure IV-52 : la Variation de de la partie imaginaire pour différentes valeurs de h	146
Figure IV-53 : l'influence de w_2 sur la partie réelle de l'antenne.....	147
Figure IV-54 : l'influence de w_2 sur la partie imaginaire de l'antenne.....	147
Figure IV-55 : Optimisation sous le logiciel CST.....	148
Figure IV-56 : Résultats de simulations de l'impédance de l'antenne Méandre -1 (Imaginaire et Réelle)..	148
Figure IV-57 : Coefficient de réflexion S11 (dB) de l'antenne dipôle à ligne Méandre-1.....	149
Figure IV-58 : le Facteur d'adaptation de l'antenne Meandre-1.....	149
Figure IV-59 : Diagramme de rayonnement 2D & 3-D (Gain) à $f = 866$ MHz de l'antenne Meandre-1.	150

Figure IV-60 : La géométrie de base d'une antenne dipôle a ligne Méandre avec des spires inégales	151
Figure IV-61 : Conception Antenne dipôle à ligne Méandre-2	152
Figure IV-62 : la Variation de l'impédance de l'antenne pour différentes valeurs de « a. ».....	152
Figure IV-63 : La Variation de l'impédance de l'antenne pour différentes valeurs de b.	153
Figure IV-64 : Coefficient de réflexion S11 (dB) de l'antenne dipôle à ligne Méandre-2.....	154
Figure IV-65 Coefficient de transmission « τ ».....	154
Figure IV-66 : Résultats de simulations de l'impédance de l'antenne Méandre -2 (Imaginaire et Réel)	154
Figure IV-67 : Diagramme de rayonnement 2D & 3-D (Gain) à $f = 868$ MHz de l'antenne Meandre-2..	155

Tableaux

Tableau IV-1 : Dimensions de l'antenne papillon.....	117
Tableau IV-2 : Dimensions de l'antenne PIFA bi-bande	119
Tableau IV-3 : Dimensions de l'antenne tri-bandes	121
Tableau IV-4 : Récapitulatif des différents résultats de l'antenne « adaptée en T » à la fréquence 915 MHz	132
Tableau IV-5 : Récapitulatif des différents résultats de l'antenne « adaptée en boucle » à la fréquence 915 MHz.....	137
Tableau IV-6 : Récapitulatif des différents résultats de l'antenne « adaptée par fente » à la fréquence 915 MHz.....	142
Tableau IV-7 : Récapitulatif des différents résultats de l'antenne « Meandre-1 » à la fréquence 866 MHz	150
Tableau IV-8 : Récapitulatif des différents résultats de l'antenne « Meandre-2 » à la fréquence 868 MHz	155

Chapitre V

Figures

Figure V-1 : Illustration d'un système de surveillance de la santé à distance.....	161
Figure V-2 : Scénario d'un réseau mobile de santé	164
Figure V-3 : Schématisation du bracelet à concevoir	165
Figure V-4: La configuration de l'antenne.....	166
Figure V-5 : Influence de la longueur de l'antenne sur la partie réelle de l'impédance d'entrée de l'antenne	167

Figure V-6 : Influence de la longueur de l'antenne sur la partie imaginaire de l'impédance d'entrée de l'antenne.....	168
Figure V-7 : Influence de la longueur du stub sur la partie réelle de l'impédance d'entrée de l'antenne...	168
Figure V-8 : Influence de la longueur du stub sur la partie imaginaire de l'impédance d'entrée de l'antenne	169
Figure V-9 : le coefficient de réflexion S11	169
Figure V-10 : Facteur d'adaptation de l'antenne à $f = 870$ MHz.....	170
Figure V-11 : L'impédance complexe de l'antenne	170
Figure V-12 : Diagramme de rayonnement 2D à la fréquence 870MHz	171
Figure V-13 : La modélisation e l'antenne avec la main.....	172
Figure V-14 : Une coupe latérale de la modélisation de la main.....	173
Figure V-15 : Configuration de l'antenne Patch.....	173
Figure V-16 : La configuration finale de l'antenne Bracelet.....	174
Figure V-17 : Coefficient de réflexion	174
Figure V-18 : Le coefficient de transmission.....	175
Figure V-19 : L'impédance d'entrée de l'antenne.....	175
Figure V-20 : Le diagramme de rayonnement à la fréquence 860MHz.....	176
Figure V-21 : Le diagramme de rayonnement à la fréquence 915 MHz.....	176
Figure V-22 : Le diagramme de rayonnement à la fréquence 960MHz.....	176

Tableaux

Tableau V-1 : Tableau récapitulatif des différents résultats de l'antenne bracelet à la fréquence 870 MHz	171
Tableau V-2 : Paramètres physiques des anatomies des tissus	172
Tableau V-3 : Tableau récapitulatif des différents résultats de l'antenne Bracelet Patch à la fréquence 860 MHz	177

Introduction générale

La technologie connaît de nos jours son plein essor, touchant tous les secteurs. Les télécommunications viennent en premier lieu, car elles ne cessent de donner naissance à plusieurs standards comme les réseaux sans fil qui sont très répandus du fait qu'ils offrent aux utilisateurs le confort, la liberté et la mobilité.

Ces nouvelles technologies sont devenues omniprésentes dans notre société moderne, elles la développent davantage en ayant des différents effets sur les plans économiques et sociaux. Elles contribuent à la croissance économique, à l'échange des informations, et à leur diffusion. Les technologies d'identification en font partie. Ces dernières possèdent une large palette d'applications qui se répand sur une infinité de domaines allant de la distribution à la sécurité à la logistique à la traçabilité.

Les technologies d'identification ont débuté avec les codes-barres et par des identifications par contact comme les cartes bancaires, les cartes d'appels téléphoniques. Des développements récents des systèmes sans fil et de la micro-électronique ont contribué à la création de nouvelles technologies d'identification sans contact dite technologies de radio-identification (ou RFID pour *Radio-Frequency IDentification*). Ces nouvelles technologies, de par leur grande souplesse, rendent l'échange d'information nettement plus rapide et plus efficace.

Bien que les premiers systèmes RFID qui ont vu le jour fonctionnent essentiellement dans des bandes de fréquences basses, ils ont ouvert la voie au développement d'une nouvelle technologie RFID, plus performante et à faible coût, fonctionnant à des fréquences plus élevées : la technologie RFID UHF (*Ultra High Frequency*) passive. Cette dernière possède un mode de fonctionnement bien particulier.

Un système RFID est composé de deux entités majeures, l'étiquette et le lecteur. L'identification est réalisée grâce à des étiquettes RFID passives, appelées également «tags», qui sont associées aux produits à identifier. Ces tags sont constitués d'une puce électronique et d'une antenne. Contrairement aux systèmes de communication classiques, ils sont alimentés à distance et ne possèdent aucune source propre d'émission radiofréquence. Ils sont plutôt alimentés à partir d'une onde électromagnétique qui leur provient du lecteur lors de la présence du tag dans la zone de lecture de ce dernier.

Les antennes du tag et celles du lecteur sont responsables de l'établissement de la communication entre le lecteur et l'étiquette. Raison pour laquelle, leur conception requière de l'attention et de la précision afin d'obtenir une communication cohérente.

Le développement des antennes tags RFID UHF passifs est l'objet de nos travaux, nous nous intéressons à leur conception, notamment aux techniques d'adaptation des impédances d'entrées des antennes à celles des puces utilisées, ce qui représente une phase critique de cette conception qui reste difficile à atteindre.

Les domaines d'application de la technologie RFID sont nombreux, en particulier, le domaine médical nous a interpellé et intéressé. Nous avons opté pour une certaine application, qui a pour but de veiller sur la bonne santé des patients et de les identifier. Pour cela, nous avons étudié et conçu des antennes appropriées aux étiquettes de cette application.

Cette thèse décrit l'ensemble de nos travaux. Elle est constituée de la présente introduction, de cinq chapitres et d'une conclusion.

Dans le premier chapitre, nous présentons d'une façon générale les différentes technologies de radio-identification existantes RFID. Nous établissons un état de l'art sur les systèmes RFID UHF passifs en mettant en évidence les procédés physique, les avantages et les inconvénients de cette technologie.

Le deuxième chapitre est consacré à un type spécifique de la technologie RFID, il s'agit des systèmes RFID UHF passifs. Nous exposons un état de l'art sur ces systèmes, tout en abordant quelques architectures internes de chaque organe constituant le système.

Le troisième chapitre est scindé en deux parties, la première partie est un rappel des différentes propriétés fondamentales des antennes, tandis que la seconde partie représente une étude succincte sur les divers types d'antennes utilisés dans la conception d'antennes tag RFID.

Le quatrième chapitre présente l'ensemble des configurations d'antennes que nous avons nous même conçues pour les tags RFID. Nous développons en premier lieu des antennes adaptées à 50Ω et en second lieu les structures adaptées à des puces bien spécifiques commercialisées.

Le dernier chapitre est consacré à une application médicale de la technologie RFID que nous avons développée et présentée les différents résultats obtenus.

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

CHAPITRE I

La Technologie RFID

Présentation du chapitre

La technologie RFID (Radio Frequency IDentification) est une technologie radio qui promet d'être omniprésente dans la vie de l'individu dans un futur proche, nous avons trouvé intéressant de consacrer ce premier chapitre à une présentation générale de cette technologie.

Dans un premier temps, nous abordons les ramifications de l'identification électronique, ensuite nous présentons la progression historique qu'a subie cette technologie. L'accent est par la suite mis sur les différents éléments constituant un système RFID, il est agrémenté d'un bref descriptif du fonctionnement de ce système.

La technologie RFID offre un large éventail d'applications, à titre non exhaustif certains exemples seront cités, en mettant l'accent sur leurs diverses bandes de fréquences allouées. La connaissance des régulations et normes étant un point primordial, une partie de ce chapitre lui sera consacrée.

En dernier, nous attirons l'attention sur les différents problèmes, risques et inquiétudes que présente cette technologie, et nous terminons par une conclusion.

Sommaire

CHAPITRE I	20
I.1 Présentation de la technologie RFID	22
I.1.1 Ramifications de l'identification électronique	22
I.1.2 Définition.....	22
I.1.3 Historique.....	23
I.2 Composition d'un système RFID.....	25
I.2.1 L'élément déporté.....	25
I.2.2 L'élément fixe.....	26
I.2.3 L'hôte	27
I.2.4 Bref descriptif du mode de fonctionnement.....	28
I.3 Applications, fréquences d'utilisation et standardisation	28
I.3.1 Applications.....	28
I.3.2 Les fréquences allouées	34
I.3.3 Standardisation de la technologie RFID	36
I.4 Inquiétudes de la technologie	38
I.4.1 Au niveau « sécurité »	38
I.4.2 Au niveau «Santé»	39
I.4.3 Au niveau « Psychique»	39
I.5 Conclusion	39
Références Bibliographiques du Chapitre I	41

I.1 Présentation de la technologie RFID

I.1.1 Ramifications de l'identification électronique

L'identification électronique se divise en deux branches: l'identification électronique « avec contact » et l'identification « sans contact » (*Contactless*) dont fait partie la technologie RFID (*Radio Frequency IDentification*) [1].

L'identification avec contact s'effectue à l'aide de systèmes où la transmission de données est faite avec des contacts électriques. Les cartes à puces actuellement utilisées en Algérie en sont un exemple.

L'identification sans contact présente plusieurs ramifications [1] :

- Les systèmes à vision optique qui nécessitent une visibilité directe et qui ont une distance de lecture de moins d'un mètre quel que soit le type de lecteur utilisé: œil, caméra, laser, scanner (avec éventuellement un logiciel de reconnaissance de caractères), etc. Les codes-barres en sont de bons exemples.

- Les systèmes à liaison infrarouge qui utilisent les longueurs d'onde aux environs de 800 nm, sont utilisés sur une distance allant du centimètre jusqu'à quelques mètres. Pour satisfaire ces distances avec un grand débit d'informations, le faisceau émis doit avoir une très forte directivité. Nous pouvons citer en exemple : les liaisons IRDA (*Infra Red Data Association*), et certains systèmes de télépéage.

- Les systèmes à liaisons en fréquence radio qui sont divisés en plusieurs branches dépendant des applications (distance d'utilisation) et des caractéristiques techniques (fréquences, etc.) désirées. Par exemple : l'identification des individus.

I.1.2 Définition

La RFID (*Radio Frequency IDentification*) est une technologie d'identification automatique qui utilise le rayonnement radiofréquence. Elle sert à identifier des objets porteurs d'étiquettes lorsqu'ils passent à proximité d'un lecteur. Une communication s'établit, et les données contenues dans l'étiquette sont transférées vers le lecteur. Elles peuvent également être modifiées suite à une commande particulière.

I.1.3 Historique

La radio-identification est une technologie d'identification relativement moderne qui a été développée récemment. Cependant, la première application RFID fut utilisée pendant la seconde guerre mondiale lorsque Watson et Watt avaient développé une application dans le domaine militaire permettant de vérifier l'appartenance « amie » ou « ennemie » des avions arrivant dans l'espace aérien Britannique et cela en 1935. Ce système dit IFF (*Identify: Friend or Foe*) reste le principe de base utilisé de nos jours pour le contrôle du trafic aérien [2].

A partir des années 40, l'idée de l'identification radio fréquence commence à germer avec les travaux de Harry Stockman [3], suivi des travaux de F. L. Vernon [4] en 1952 et ceux de D.B. Harris [5]. Leurs articles sont considérés comme les fondements de la technologie RFID et décrivent les principes qui sont toujours utilisés aujourd'hui [6].

En 1966, la société SENSORMATIC a été créée, fournisseur d'une application de surveillance ou d'objets de biens appelée EAS (*Electronic Article Surveillance*) dont le principe est bien connu. Quand un objet quitte un certain périmètre, ceci est détecté et une alarme est déclenchée. Cependant, durant cette période s'étalant des années soixante jusqu'au des années soixante-dix, l'usage des RFID reste essentiellement militaire et surtout orienté vers le contrôle d'accès [6].

Le dépôt du brevet américain de Mario Cardullo d'un transpondeur télé-alimenté passif à mémoire, en 1973, a été le premier véritable ancêtre de la RFID moderne [7]. Son brevet couvre l'utilisation de fréquences radioélectriques, utilisant le son et la lumière comme supports de transmission. Le plan d'affaires (*Business Plan*) original, présenté aux investisseurs en 1969, couvrait des applications : dans les transport (identification de véhicule automobile, système de péage automatique, plaque d'immatriculation électronique, suivi de véhicule, surveillance des performances des véhicules), dans le secteur bancaire (carte de crédit électronique), dans la sécurité (identification du personnel, portails automatiques, surveillance) et dans le domaine médical (identification, dossier du patient).

En 1975, la démonstration de la rétrodiffusion des étiquettes (tags) RFID, à la fois passives et semi-passives a été réalisée par Steven Depp, Alfred Koelle et Robert Freyman au laboratoire scientifique de Los Alamos [8,9]. Le système portable fonctionne à la fréquence 915 MHz. Cette technique est utilisée par la majorité des transpondeurs (tags) RFID fonctionnant en UHF (Ultra Hautes Fréquences) et micro-ondes.

A la fin des années 70, l'utilisation de la RFID pour l'identification de bétail commence en Europe et aux Etats-Unis.

Les années 80 ont été marquées par l'invention des microsystemes et l'avancée de la technologie qui ont conduit à l'utilisation de tags passifs. L'absence de source d'énergie embarquée rend le tag moins coûteux mais l'oblige à obtenir de l'énergie qui lui sera transmise par le lecteur. Les distances de lecture obtenues sont alors de quelques centimètres.

Il a fallu attendre l'année 1990 pour commencer la standardisation des puces RFIDs. L'organisme ISO (*International Organization for Standardization*) se penche d'abord sur les puces puis sur les lecteurs et commence son travail de normalisation. Aujourd'hui encore la technologie RFID n'est pas encore complètement encadrée par une réglementation à l'échelle mondiale.

L'année 1999 a connu la Création du centre « *Auto-ID Center* », formé par le MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) et des partenaires industriels ; une organisation sans but lucratif ayant pour mission la standardisation et la construction d'une infrastructure pour un réseau mondial de la RFID.

En 2003, les associations EAN (*Efficient Article Numbering Association*) International, Auto-ID Center, UCC (*Uniform Code Council*) [9] et des industriels créent le standard EPC (*Electronic Product Code*) global Version 1.0 ; intégrant les technologies RFID et Internet pour mettre en place le réseau de traçabilité des objets [10].

En 2004, L'administration américaine de nourriture FDA (*Food and Drugs Administration*) autorise l'implantation sous cutanée de transpondeur RFID pour des fins médicales.

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

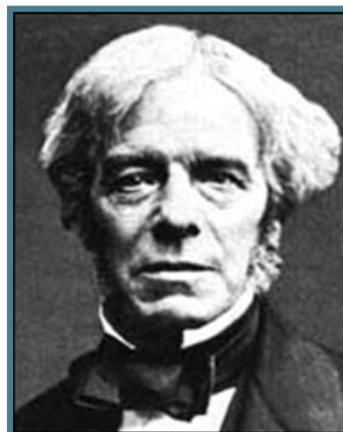


Figure I-1: Harry Stochman le fondateur de la Radio Identification

I.2 Composition d'un système RFID

Typiquement un système RFID est constitué d'un élément déporté, d'un élément fixe et éventuellement d'un hôte :

I.2.1 L'élément déporté

Couramment dit en langue française identifiant, étiquette, ou Transpondeur (pour **trans**metteur – **répondeur**) ; appelé aussi en anglais Tag ou Label. Dans la littérature, nous pouvons trouver les acronymes suivants [1] :

- PIT (*Programmable Identification Tag*) ;
- Data Carrier : porteur de données ;
- ICC (*Integrated Circuit Card*) ;
- PICC ou VICC (*Proximity Integrated Circuit Card and Vicinity Integrated Circuit Card*).

Ces acronymes sont liés plutôt au mode de fonctionnement, nous reviendrons dessus par la suite.

La Figure I-2 montre quelques tags d'éléments déportés disponibles sur le marché.



Figure I-2 : Exemples d'éléments déportés dotés de Tags RFID

I.2.2 L'élément fixe

Appelé interrogateur, lecteur (*Reader*), ou Modem (**Mod**ulateur /**Dém**odulateur), ceci dit le terme le plus approprié semble être Station de base [1].

Ils existent d'autres appellations comme « Coupleur », CD (*Coupling Device*), PCD (*Proximity Coupling Device*) ou VCD (*Vicinity Coupling Device*) ; dépendants du mode de fonctionnement [1] .

NB : le terme fixe est utilisé par abus de langage parce qu'il peut être déporté.

Comme le montre la Figure I-3, des lecteurs peuvent être de différents types.



Figure I-3 : Exemples d'éléments fixes

I.2.3 L'hôte

Souvent, en amont à la station de base on peut trouver un système dit hôte (host) qui peut être un simple ordinateur, un serveur ou un ordinateur lié à un serveur, un progiciel, une base de données, etc... [1], ainsi qu'on peut le voir dans la Figure I-4 .



Figure I-4 : Exemples d'hôtes

I.2.4 Bref descriptif du mode de fonctionnement

La technologie RFID est basée sur l'émission de champ électromagnétique par le lecteur qui est reçu par l'antenne d'une ou de plusieurs étiquettes. Le lecteur émet un signal selon une fréquence déterminée vers une ou plusieurs étiquettes situées dans son champ de lecture (Figure I-5).

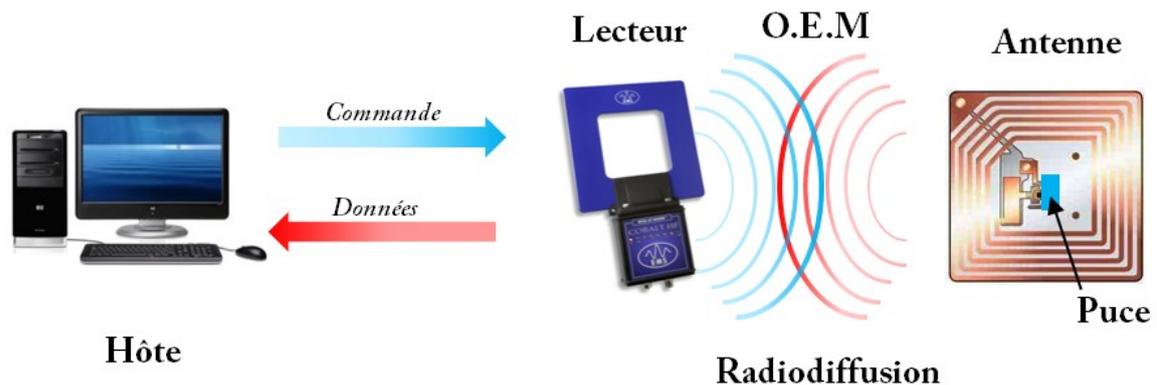


Figure I-5 : Simple illustration du principe de fonctionnement

Ce champ électromagnétique se considère comme étant un support d'énergie d'activation de ces étiquettes.

Une fois les étiquettes activées par le lecteur, elles transmettent alors en retour un signal et donc un dialogue s'établit entre les deux entités, selon un protocole de communication prédéfini, et des données pourront être échangées.

I.3 Applications, fréquences d'utilisation et standardisation

I.3.1 Applications

Les applications des systèmes RFID ne sont pas dénombrables, l'éventail s'élargit de jour en jour par la naissance de nouvelles idées développant de nouveaux systèmes.

Parmi la large palette d'applications existantes, nous allons nous contenter de présenter quelques-unes déjà mises en place [11-13] :

1.3.1.1 Traçabilité logistique et traçabilité produit

– La traçabilité logistique (*Tracking*) est une forme de traçabilité qui désigne le suivi quantitatif des produits. Elle porte surtout sur le positionnement géographique des unités logistiques (Figure I-6). Quelques exemples :

- Service/unité logistique interne : Les transpondeurs à l'usage d'une seule personne font partie de ceux ayant une mémoire et généralement au moins un capteur, comme ceux embarqués dans les camions qui enregistrent la masse à vide, la masse chargée et la distance parcourue pour chaque transport.
- Logistique en circuit fermé : pour le suivi des bouteilles de gaz, des conteneurs, des livres dans les bibliothèques, des DVD en location ou tout autre article où il y a recyclage interne des tags.

– La traçabilité produit (*Tracing*) est une forme de traçabilité qui désigne le suivi qualitatif des produits (Figure I-7). Elle dépend surtout du bon enregistrement et de l'exhaustivité des données liées au produit. Comme exemple nous citons :

- La recherche des causes d'un problème qualité. La traçabilité produit porte surtout sur les caractéristiques des unités consommateurs.
- Le développement d'assouvissement du besoin de traçabilité des industriels, la chaîne d'approvisionnement (*Supply Chain*) est très gourmande en quantité de transpondeurs.



Figure I-6 : Illustration de traçabilité des processus



Figure I-7 : illustration de traçages des biens

I.3.1.2 Production industrielle de biens, surveillance et maintenance

Il s'agit d'une application qui veille sur le bon archivage des documents, sur la protection de l'environnement, par exemple :

- Les systèmes d'archivage : la société MAGELLAN a commercialisé un système d'archivage de documents. Chaque document ou feuille est doté d'étiquette. Simultanément, le lecteur permet d'inventorier 100 000 documents sur une armoire, ou de récupérer des fichiers stockés dans une boîte d'archives, le tout en quelques secondes [14].
- La gestion du patrimoine et surveillance de l'environnement : La société AGRHOUSE a commercialisé un système de détection des besoins d'irrigation avec des tags actifs RFID couplés à des capteurs hygrométriques, lesquels permettent le déclenchement d'une alerte dès que le seuil d'hydratation de cultures (de pommes de terre ou de maïs) baisse significativement. Ce système donne ainsi les besoins spécifiques d'une culture, qui varient considérablement d'un terrain à l'autre, voire au sein d'un même champ [15].
- Automatisation / contrôle des processus : l'intégration des étiquettes dans les articles au début de la chaîne de fabrication pourra permettre non seulement d'enregistrer le passage à chaque étape du processus, mais aussi de pouvoir conserver la trace d'éventuel réglage, test, remise en conformité, mise à jour, et ce tout au long de la vie du produit. Sur la chaîne de production, ces informations peuvent être aussi récupérées, utilisées et enregistrées par les automates ou opérateurs.

- Nourriture et biens de consommation : afin d'être sûr d'avoir apporté tous les ingrédients à la fabrication d'une nourriture alimentaire, les éléments introduits sont tracés. Cela suppose une identification préalable effectuée soit par les fournisseurs, soit au premier lieu de stockage.

1.3.1.3 Sécurité des produits qualité des biens

Il s'agit de certains aspects liés à la sécurité, pour les produits qu'on trouve dans les hypermarchés par exemple. Ces produits peuvent être tracés de la réception à la sortie suite à un achat, pour faciliter la logistique, grâce aux étiquettes RFID collées ou imprimées sur les produits en question [7]. Il peut également s'agir de produits électroniques (électroménagers), ou textiles (bobines de fil) ou de véhicules (des systèmes anti démarrage, mesures de poids en charge, anti-intrusion), ou plutôt dans les aéroports (mettre des étiquettes RFID sur les bagages permettant ainsi de réduire le taux d'erreur d'acheminement).

On arrive également à lutter contre la contrefaçon de certains produits comme les médicaments par exemple, grâce à l'utilisation de la technologie RFID, en insérant un numéro unique UID (*Unique Identification Number*) sur les boîtes.

Quant à l'aspect qualité, cette technologie pourrait être exploitée pour effectuer un inventaire automatique qui permettrait d'alerter sur l'approche de la date limite de consommation d'un produit.

1.3.1.4 Contrôle d'accès et traçabilité des hommes et des animaux

Ceci englobe certaines applications comme :

- Étiquetage et billetterie : cette application est déjà largement répandue dans les transports par le biais de cartes d'abonnement à RFID. Il sera très intéressant de l'étendre et de la mettre en œuvre dans les billets des événements qu'ils soient sportifs ou culturels tels que les billets de matchs de football, les concerts, des jeux olympiques, etc [7] [13]. L'élimination des contrefaçons est privilégiée dans ce cas.
- Systèmes de contrôle d'accès : il s'agit de l'une des applications les plus usuelles, elle permet en plus d'accéder aux données biométriques de l'individu incluses dans les étiquettes.
- Traçabilité animale : l'identification des bétails est l'une des plus anciennes applications qui remonte aux années 80. La nouveauté est que avec les étiquettes actuelles dotées de mémoire, il est possible d'enregistrer des informations médicales (vaccination) ou même alimentaires en plaçant des lecteurs à côté des mangeoires.

- La traçabilité individuelle : Cela peut s'agir d'une traçabilité géographique ou traçabilité des achats, des activités, etc.

I.3.1.5 Cartes de fidélité, de membre, ou de paiement

Ces applications facilitent aux utilisateurs l'accès aux différents services, par exemples :

- Cartes de fidélité à technologie RFID : leur mise en application élimine le remplissage des formulaires interminables pour la garantie par exemple. Actuellement, elles sont compatibles avec la technologie NFC (*Near Field Communication*), et donc liées au téléphone portable.
- Cartes de membre ou d'adhérent : grâce aux étiquettes, l'utilisateur pourra être identifié, et donc il peut accéder à un service, pour lequel il sera facturé par la suite [7].
- Les cartes bancaires sans contact : comme la carte de fidélité, la carte bancaire sans contact devient également compatible avec la technologie NFC.
- Paiement et publicité par téléphone mobile : cela correspond aux nouvelles fonctionnalités apportées par la NFC.

I.3.1.6 Santé

Dans le domaine de la santé, la technologie RFID persiste dans certaines applications comme :

- Assistance aux handicapés : on a inventé un dispositif appelé « Tell Mate » qui sert les non-voyants ou malvoyants à identifier leurs objets les plus usuelles ; et ceci en affectant à chaque objet une étiquette, il faut ensuite enregistrer un commentaire audio correspondant à cet objet. Dès que l'utilisateur le souhaite, il présente l'objet à son lecteur pour obtenir son commentaire associé [16].
- Gestion des hôpitaux : les appareillages disponibles dans les hôpitaux peuvent contenir des étiquettes permettant de tracer leurs nettoyage, désinfection, stérilisation et disponibilité. Autre application très intéressante est d'assurer la traçabilité du don du sang grâce à un système qui contient un capteur de température permettant un contrôle permanent le long de la chaîne de réservation.
- Les implants : il s'agit de faire l'identification des patients grâce au numéro d'identification unique l'UID des étiquettes. En effet, il est possible de localiser et de suivre un patient (ayant des problèmes de mémoire comme l'Alzheimer, etc.), via son implant, dans un hôpital équipé d'un système de localisation en temps réel RTLS (*Real Time Locating System*).

- Surveillance médicale : des bracelets peuvent être attribués aux patients remplaçant les feuilles de soins. Ils contiennent le numéro du médecin traitant ainsi que celui de l'infirmière, et sont reliés à une base de données qui stocke les dossiers des malades. Le système peut être accessible via des PDAs (*Personal Digital Assistant*) ou autres (tablettes PC, etc).
- Implants intelligents : la greffe d'implants sous-cutanés a commencé dans des hôpitaux américains et européens [17]. Certains implants peuvent non seulement contenir le dossier médical du porteur, mais aussi des capteurs effectuant des mesures de glucose, de température, etc.

I.3.1.7 Sport

La technologie RFID a touché certaines applications sportives par exemple :

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

I.3.1.8 Services publics

Les services publics ont été également affectés par la RFID, par exemples :

- Maintenance des services publics : certains compteurs d'eau, d'électricité ou de gaz ou autre portent actuellement des étiquettes pour pouvoir être relevés depuis la rue.
- Système de télépéage : le système du péage électronique permet d'automatiser les paiements et de réduire les chaînes de foules.
- Cartes d'identité et passeports : le passeport intègre une image du visage ainsi que les empreintes digitales de huit doigts stockées dans une puce RFID.
- Cartes de sécurité sociale : dotées de puces contenant les informations de chaque personne.

I.3.1.9 Autres Applications

Les applications citées auparavant représentent une liste non exhaustive, de nombreuses applications peuvent être ajoutées. En voici quelques exemples récents et autres futures :

- La protection par autodestruction : c'est une technologie autodestructive d'ordinateur, basée sur le Wi-Fi et sur des étiquettes RFID [18]. Dans le cas où un ordinateur est déplacé hors de la zone autorisée, un logiciel en bloque l'accès avant de détruire les données qu'il contient.

Les développements des sciences comme la microélectronique, la nanotechnologie et les MEMS (*Micro-Electro-Mechanical Systems*), la chimie organique et les nouvelles sources d'alimentation (batteries ou générateurs) nous ouvrent un champ de larges perspectives comme par exemples :

- Les étiquettes seront capables de la reconnaissance vocale, ce qui nous permettra de communiquer avec elles.
- Dans un futur proche, les maisons intelligentes vont être commercialisées avec l'atout des diminutions des coûts.
- Le téléphone portable, étant un objet quasi-indispensable, fait un très bon support de communication publicitaire, il va devenir dans un future proche un concentrateur d'applications parce qu'il va jouer le rôle d'un moyen de paiement, de cartes de fidélités, cartes de transport, etc.

Toutes ces applications et ces exemples nous montrent l'omniprésence de cette technologie dans la vie actuelle de l'individu (Figure I-8).

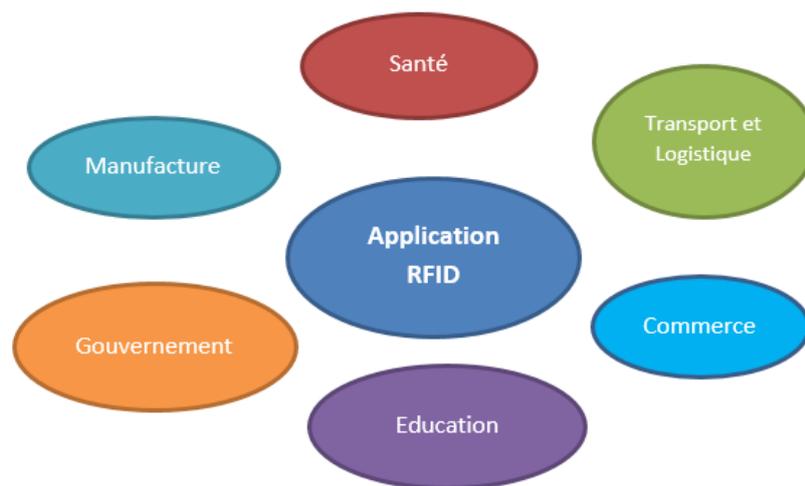


Figure I-8: domaines d'applications de la technologie RFID

I.3.2 Les fréquences allouées

La technologie RFID utilise les ondes radio pour assurer la communication entre étiquettes et lecteurs. Or les différentes fréquences sont attribuées par des organismes de régulation qui fixent des règles très précises d'utilisation de chacune des fréquences.

Les systèmes RFID peuvent être conçus pour rayonner dans la bande basse fréquences BF jusqu'à la bande super haute fréquence SHF. Ce fonctionnement a été standardisé afin d'éviter les interférences avec les autres dispositifs électromagnétiques :

- Basses fréquences : 100 à 500 KHz avec une distance de lecture de quelques centimètres ; fréquences particulièrement utilisées en milieux industriels ainsi que pour le suivi animalier. Cette bande permet une lecture en tout milieu mais à courte distance (quelques décimètres au maximum).

- Moyennes fréquences : 10 à 15 MHz avec une distance de lecture de 50 à 80 cm ; il s'agit de fréquences particulièrement utilisées en suivi de flux logistiques des bibliothèques et en contrôle d'accès. Ces fréquences permettent une lecture à moyenne distance (de l'ordre d'un mètre), mais elles sont plus sensibles aux présences proches des métaux ou des liquides.

- Hautes fréquences : de la bande UHF (de 850 à 950 MHz) à la bande SHF (de 2,4 - 5,8 GHz) pour une distance de lecture de plusieurs mètres (sachant que la distance peut être réduite par la présence du métal). Ces fréquences conviendront particulièrement au suivi des flux logistiques.

Cette bande promet d'être intéressante grâce aux distances attendues (de l'ordre de quelques mètres) qu'elle peut atteindre. Mais, elles sont beaucoup plus susceptibles aux présences des métaux ou des liquides.

Le Tableau I-1 détaille les bandes de fréquences allouées aux applications RFID [19]:

Bande de fréquence	Description
<135KHz	Basse fréquence pour des besoins d'identification et traçabilité de matériel et machines en milieu industriel
6.765 à 6.795 MHz	Fréquence moyenne d'ISM (<i>Industriel Scientifc Medical</i>)
7.400 à 8.800 MHz	Fréquence moyenne utilisée pour l'EAS (<i>European Article Surveillance</i>)
13.553 à 13.567 MHz	Fréquence moyenne 13.56 MHz, ISM utilisé pour carte à puce sans contact, la traçabilité....
26.957 à 27.283 MHz	Fréquence moyenne pour l'identification des objets
433 MHz	ISM UHF, identification à moyenne distance
868 à 870 MHz	UHF SRD(<i>Short-Range Devices</i>)
902 à 928 MHz	UHF SRD largement utilisée en identification RFID
2.400 à 2.483 GHz	SHF ISM utilisé pour l'identification des véhicules
5.725 à 5.875 GHz	SHF ISM, rarement utilisé dans les systèmes passifs, fréquemment rencontrés dans les systèmes actifs

Tableau I-1 : récapitulatif des différentes bandes de fréquences allouées pour les systèmes RFID

Il faut cependant préciser que les bandes ISM et SRD n'ont pas de licence de la part de l'organisme UIT (Union Internationale de Télécommunications).

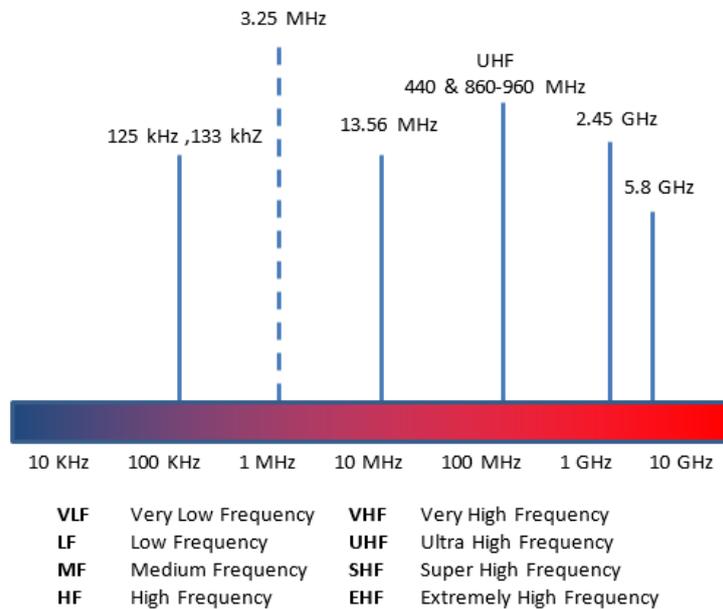


Figure I-9: les bandes de fréquences allouées pour la technologie RFID

La Figure I-9 résume les différents bandes de fréquences allouées aux systèmes RFID de la bande métrique au-dessous de 135 KHz, les courtes et les microondes ; la plus haute fréquence étant de 10 GHz.

I.3.3 Standardisation de la technologie RFID

L'importance des normes dans notre vie quotidienne est incertaine, au-delà des produits et équipements industriels, la normalisation couvre de nouveaux champs : services, risques, management...etc. garantissant ainsi l'interopérabilité et la mondialisation des marchés.

Par conséquent, tous système destiné à être commercialisé devra non seulement présenter un bon fonctionnement mais aussi devra satisfaire de nombreuses normes nationales ou internationales et régulations afin de protéger l'utilisateur des dangers que cette technologie peut éventuellement provoquer au niveau de la santé et du respect des libertés.

Sachant que :

- ♦ Une norme dite aussi *standard* correspond à un document ou une série de documents définissant des choix techniques permettant de concevoir des produits ayant un haut degré d'interopérabilité. Nombreux sont les organismes et les instances européens (en

France : AFNOR, en Allemagne : DIN, aux Etats unis : ANSI) ou internationaux (ISO, CENELEC, ECMA, ETSI) qui sont habilités à élaborer des normes.

- ◆ Une norme et son respect ne deviennent obligatoires que lorsque l'état l'impose sous forme d'une loi, d'un arrêté ou d'un décret [20].
- ◆ Une réglementation consiste, de même qu'une norme, en un document provenant d'un organisme directement rattaché à l'état dont son respect est primordiale via des lois, des décrets ou arrêtés ministériels [20].

Le principal objectif des normes en RFID est d'harmoniser ce secteur, afin de faciliter l'accès au marché et donc d'augmenter les volumes de ventes. Raisons pour lesquelles, la technologie RFID ne peut s'affranchir de ces règlements qui font partie de son environnement.

A ce jour, seulement deux organisations proposent des normes pour les systèmes RFID, il s'agit de :

- a. ISO (*International Organization for Standardization*) : située à Genève (Suisse), responsable de générer des standards applicable dans le monde entier, assurant ainsi la conformité des systèmes aux différentes réglementations sur les fréquences et la puissance de sortie pour chaque pays [21]. L'ISO a pu normaliser plusieurs applications en RFID telles que la chaîne d'approvisionnement et l'identification des éléments et les différents types de conteneurs logistiques [21].

Les différents standards ISO existants sont les suivants :

- ◆ Standards ISO pour les PC et VC : ISO 14443 pour les cartes à proximité et ISO 15693 pour 'Vicinity Cards', les deux étant recommandés à fonctionner à 13.56 MHz.
- ◆ Standards ISO pour interface RFID Air : la série des standards ISO 18000 est un ensemble de spécifications RFID proposées pour les articles de gestion. Elle comprend les différentes caractéristiques qui couvrent toutes les fréquences, y compris les standards ISO pour identification des bétails : ISO 11748 / 11785.
- ◆ Standards ISO pour l'approvisionnement : utilisés pour l'identification des différents types de conteneurs et leurs traçages, ainsi que le traçage des articles individuels.

- b. EPC global (*Electronic Product Code*) : l'association EAN, le Centre d'Auto Identification (Auto ID Center), le conseil Américain UCC (Uniform Code Council) et des industriels ont créé le standard EPC (*EPC global Version 1.0*) intégrant les technologies RFID et Internet pour mettre en place le réseau de traçabilité des objets [22-24]. Le standard EPC se compose d'un système de codification séquentielle des produits, d'un standard d'étiquette RFID et d'un réseau de partage d'informations, qui est l'EPC Network. Ces trois éléments constituent ainsi des solutions de traçabilité et de gestion de la chaîne d'approvisionnement (*Supply Chain*). Le système EPC est compatible avec les standards EAN/UCC [21].
- c. Les normes sanitaires :

Les systèmes de communications radiofréquences se considèrent comme étant des systèmes ouverts [24]. En plus des normes de régulation de rayonnement et de pollution des ondes radio, ces derniers présentant des problèmes de santé dus aux rayonnements, il faut prendre en compte ces contraintes.

Après des études approfondies sur ces problèmes, quelques organismes régissant ces paramètres et contraintes ont vu le jour :

- ICNIRP (*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*) au niveau mondial ;
- CENELEC-UTE (Union Technique de l'Electricité) au niveau français ;
- ANSI, l'IEEE aux Etats-Unis ;
- La norme EN 50357.

I.4 Inquiétudes de la technologie

Comme toute nouvelle technologie qui s'intègre dans une société ; la RFID crée des majeurs concernant la sécurité des dispositifs et des individus en terme sanitaire et médicale et en terme psychologique.

I.4.1 Au niveau « sécurité »

A l'heure actuelle, aucun système sécuritaire ne s'est avéré inviolable ; tous ont subis des interceptions de données ou du brouillage ou interférences ou autres.

L'espionnage des systèmes radiofréquences est favorisé, l'interception des communications étant simple à mettre en œuvre. Des expériences ont montré que l'accès aux données d'une carte bancaire reste possible [25].

A son tour, l'utilisateur devra être sensibilisé à la sécurité du système en le supposant inviolable, parce que ce type de défaillance humaine devra être toujours prise en compte, quel que soit le progrès de la technologie.

I.4.2 Au niveau «Santé»

Les normes sanitaires relatives aux rayonnements électromagnétiques sont encore imprécises.

Jusqu'à présent, plusieurs recherches auprès des émissions UHF SHF sont menées en vain, entre temps, les dernières études épidémiologiques confirment le rapport entre la proximité d'antennes relais et le cancer [26].

L'apparition des systèmes couplés comme les NFC ou l'implant de systèmes RFID aux humains suscitent une attention des chercheurs, surtout que la manière d'émission des ondes se fait incessamment comme pour la géo localisation (RTLS), les téléphones portables, etc.

Des décisions seront prises dans le futur, suite à la mise en cause de cette technologie : abandon de la technologie, renforcement des normes sanitaires, ou peut-être d'autres solutions?

I.4.3 Au niveau « Psychique »

La technologie RFID a certainement mis en cause la vie privée de l'individu. L'organisme EPC et les implémentations des puces sous cutanée dès la naissance des humains constituent un véritable risque de destruction de la vie privée de la personne.

Des communautés se sont formées afin de défendre cela, revendiquant le bon encadrement du système RFID.

Une nouvelle fonction baptisée « *Kill bit* » a été ajoutée dans la norme ISO « 18000-6 » pour l'interface hertzienne. Elle est aussi appelée commande de confidentialité, elle peut désactiver définitivement le circuit intégré si cela est souhaité par l'individu mais jusqu'à présent nous ne pouvons parier à son efficacité surtout que cette norme n'a été validée que très récemment [27].

I.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé en premier lieu les ramifications de l'identification électronique. Cette dernière se divise en deux branches, celle qui a suscité notre intérêt est l'identification sans contact dite RFID. Nous avons présenté par la suite le principe de cette technologie et sa progression au fil des années. Nous avons décrit brièvement les éléments constituant un système complet RFID, ainsi que leurs principes de fonctionnement. La majeure partie de ce chapitre a été consacrée aux nombreuses applications RFID s'étalant sur des

domaines très variés, les fréquences qui leur sont allouées, ainsi que leurs standardisations. Enfin, nous avons souligné les inquiétudes auxquelles sont confrontées les utilisateurs de tels systèmes.

Dans le chapitre suivant, nous allons aborder les différents types de la technologie RFID, en présentant un état de l'art sur les systèmes RFID passifs, objet de notre travail de thèse.

Références Bibliographiques du Chapitre I

- [1] D. Paret, *RFID At Ultra And Super High Frequencies Theory And Application*, New York: John Wiley & Sons, 2009.
- [2] D. Bechevet, «Contribution au Developpement de Tag RFID UHF et microondes sur materiaux plastiques,» Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, 2005.
- [3] H. Stockman, «Communication by Means of Reflected Power,» *Proceedings of the IRE (Institute of Radio Engineers)*, vol. 36, pp. 1196-1204, Octobre September 2006.
- [4] F. Vernon, «Application of the Microwave, Homodyne,» *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, pp. 4-110, 1952.
- [5] D. Harris, «Radio Transmission Systems With Modulatable Passive Responder». United States Patents Office Brevet 2927321, 1 Mars 1960.
- [6] Hunt et D. V, «Rfid-A Guide To Radio Frequency Identification,» *John Wiley & Sons*, 2007.
- [7] F. Letient, «Etat de l'art et applications des RFID,» Travail d'Etude et de Synthèse Technique, Grenoble, Juin 2008.
- [8] R. Cover, «Physical Markup Language (PML) Core Specification Version 1.0 for EPC Objects,» Novembre 2003. [En ligne]. Available: <http://xml.coverpages.org/ni2003-11-10-b.html>.
- [9] O. m. d. douanes, La référence unique de l'envoi (RUE) de l'OMD (Organisation mondiale des douanes), CE RFID, 2004.
- [10] M. C. Pydynowski, «Somark Innovations Announces Successful Live Animal Tests of Biocompatible Chipless,» Juin 2007. [En ligne].
- [11] T. Frey, «Integration of Serial-level Data into Existing Business Information Systems,» European Commission, December 2007.
- [12] S. B. Miles, E. S. Sanjay et R. W. John, *Rfid Technology And Applications*, New York: Massachusetts Institute of Technology, Cambridge University Press, May 2008.
- [13] W. Leif et M. Gerhard, «A Roadmap for RFID Applications and Technologies,» 2008. [En ligne]. Available: <http://www.rfid-in-action.eu/public/results/roadmap.html>.
- [14] «<http://www.magellan-rfid.com>,» magellan-rfid, [En ligne]. Available: http://www.magellan-rfid.com/applications/document_tracking.
- [15] AGRIBOUSE, «agrihouse.com,» [En ligne]. Available: <http://www.agrihouse.com>.
- [16] E. P. Morgen, «RFID Tags Guide the Blind,» 1 janv 2008. [En ligne]. Available: <http://www.spectrum.ieee.org/biomedical/devices/rfid-tags-guide-the-blind>.
- [17] HEALTHLINKPHR, «healthlinkphr.com,» [En ligne]. Available: <http://www.healthlinkphr.com/>.
- [18] BACKSTOPP, «backstopp.com,» [En ligne]. Available: <http://www.backstopp.com/>.

- [19] M. Bharadwaj, «A Novel Planar Microstrip Antenna Design for UHF RFID,» Thèse de Doctorat, Electronics and Communication Engineering ,India, May 2008.
- [20] CENTRE NATIONAL-RFID, «centrenational-rfid.com,» [En ligne]. Available: <http://www.centrenational-rfid.com>.
- [21] W. Eldor, B. Daniel, D. Markus et R. Michael, «RFID Standards and Radio Regulations,» CE RFID, July25,2008.
- [22] CE RFID, «RFID Reference Model, Coordinating European Efforts for promotion the European RFID,» 2009.
- [23] F. Klaus, RFID Handbook Fundamentals And Applications In Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification And Near-Field Communication, John Wiley & Sons, 2010.
- [24] C. Tételin, «des normes internationales en RFID,un tour d'horizon,» Lille, 26 Décembre 2010.
- [25] J. Xeni, «How to hack RFID-enabled credit cards for \$8,» 19 Mars 2008. [En ligne]. Available: <http://www.boingboing.net/2008/03/19/bbtv-how-to-hack-an.html>.
- [26] O. Gerd, «Etudes épidémiologiques sur l'incidence des cas de cancer à proximité des antennes relais,» Janv 2008. [En ligne]. Available: http://www.robindestoits.org/Etudes-epidemiologiques-sur-l-incidence-des-cas-de-cancer-1997-2007-a-proximite-d-antennes-relais-par-le-Dr-erd_a349.html.
- [27] Information technology, «Radio frequency identification for item management Parameters for air interface communications at 860 MHz to 960 MHz,» European Commission, 2010.

CHAPITRE II

Architectures des Systèmes RFID Passifs

Présentation du chapitre

La technologie RFID est une technologie d'identification constituée de deux organes principaux, nous allons classer cette technologie selon divers paramètres, tout en mettant l'accent sur un type bien particulier qui est la technologie RFID passive. Nous étudierons les architectures des éléments qui composent ce système, nous nous étalons également sur les protocoles qui régissent la communication entre le lecteur et le tag.

Sommaire

CHAPITRE II	43
II.1 Introduction	45
II.2 Les types des systèmes RFID	46
II.2.1 Les systèmes à couplages inductifs (BF et HF).....	46
II.2.2 Les bandes de fréquence UHF et Micro-Ondes	49
II.2.3 Les systèmes RFID Ultra Large Bande (ULB)	53
II.3 État de l'art sur les systèmes RFID passifs	54
II.3.1 Liaisons montantes et liaisons descendantes.....	54
II.3.2 Architecture du Tag RFID UHF passif	60
II.3.3 Architecture d'un lecteur RFID UHF	67
II.3.4 Communication Tag Reader	71
II.4 Conclusion	74
Références Bibliographiques du Chapitre II	75

II.1 Introduction

La technologie radiofréquence est une technologie d'identification qui promet d'envahir l'industrie grâce à ses différents atouts.

Un système d'identification Radiofréquence RFID est constitué typiquement de deux entités qui communiquent entre elles :

- Une étiquette intelligente ou « Tag », associée à l'élément à identifier. Elle est capable de répondre à une demande venant d'un lecteur.
- Une station de base ou lecteur RFID, qui a comme tâche d'identifier l'étiquette. Le lecteur envoie une onde électromagnétique à l'élément à identifier. En retour, il reçoit l'information renvoyée par le tag.

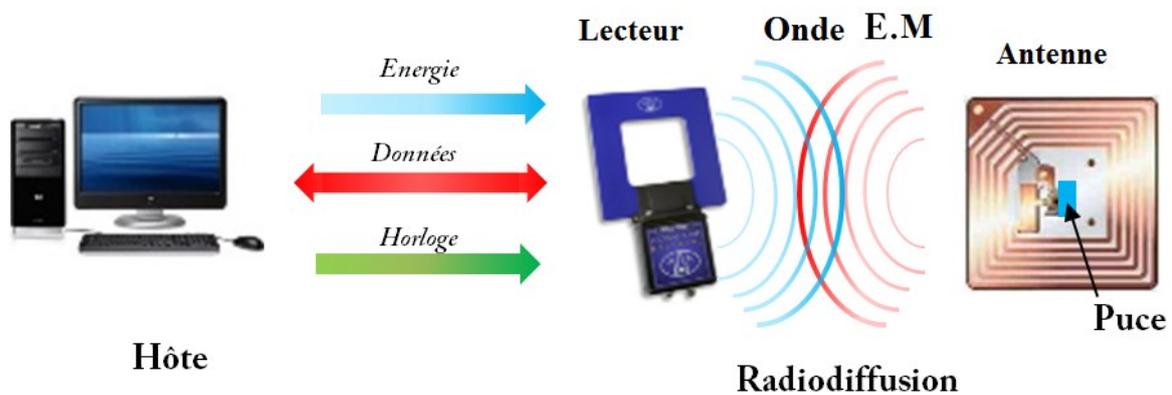


Figure II-1 : Fonctionnement du système RFID

La Figure II-1 décrit le fonctionnement général d'un système RFID. Nous pouvons résumer, la communication entre le tag et le lecteur comme suit :

- En premier lieu, l'hôte doit être en mesure de gérer le ou les lecteurs et de générer les commandes adéquates.
- La communication entre le lecteur et l'étiquette se fait par des signaux radiofréquences :
 - ❖ Le signal porteur d'information est généré par le lecteur (sur demande de l'hôte).
 - ❖ Le signal porteur est émis depuis l'antenne du lecteur.
 - ❖ L'étiquette reçoit le signal émis, le modifie et le retransmet modulé.
 - ❖ L'antenne du lecteur reçoit le signal modulé, elle le démodule et l'envoie au lecteur.

- Le lecteur décode le signal en informations numériques.
- L'hôte récupère les informations reçues. Ces dernières peuvent être filtrées, modifiées ou agrégées avant d'être transmises vers l'hôte.

II.2 Les types des systèmes RFID

Les différents systèmes RFID se distinguent par la fréquence des ondes radio, les moyens utilisés pour alimenter les étiquettes et par les protocoles de communication entre l'étiquette et le lecteur. Le choix de la fréquence, la source d'énergie et le protocole a des implications importantes sur la portée et le coût [1].

Les principes physiques mis en œuvre dépendent intrinsèquement des fréquences de fonctionnement, par conséquent les systèmes RFID ont une très grande diversité offrant ainsi tout un large éventail d'applications. Nous introduisons chacune de ces technologies en les classant selon leurs principes physiques utilisés et leurs caractéristiques.

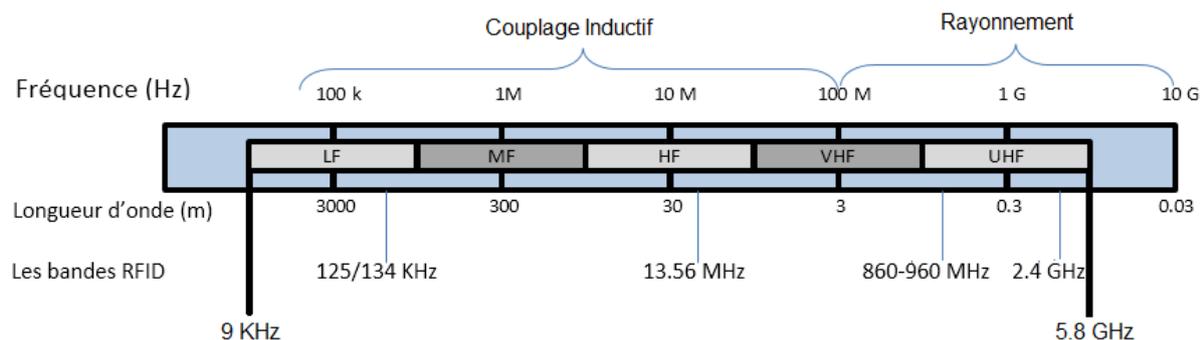


Figure II-2 : Les bandes de fréquences RFID

La Figure II-2 présente les bandes de fréquences comprises entre 9 kHz et 5.8 GHz, dans lesquelles les dispositifs RFID fonctionnent. Ainsi en fonction de la plage de fréquences utilisée, la communication s'effectue soit grâce au phénomène de couplage magnétique ou électrique, soit grâce au phénomène de propagation d'onde électromagnétique (EM).

II.2.1 Les systèmes à couplages inductifs (BF et HF)

Les systèmes RFID pour lesquels la longueur d'onde est plus grande que la taille de leur antenne sont typiquement inductifs. Cette famille de RFID comprend les systèmes **B**asse **F**réquences (**BF**) et **H**aute **F**réquences (**HF**).

Les étiquettes des systèmes BF utilisent des antennes magnétiques qui sont constituées d'une bobine inductive d'inductance L jouant le rôle d'antenne, d'une capacité C permettant de faire

résonner le circuit LC à la fréquence de travail et d'une puce électronique contenant l'identifiant du tag [1-3].

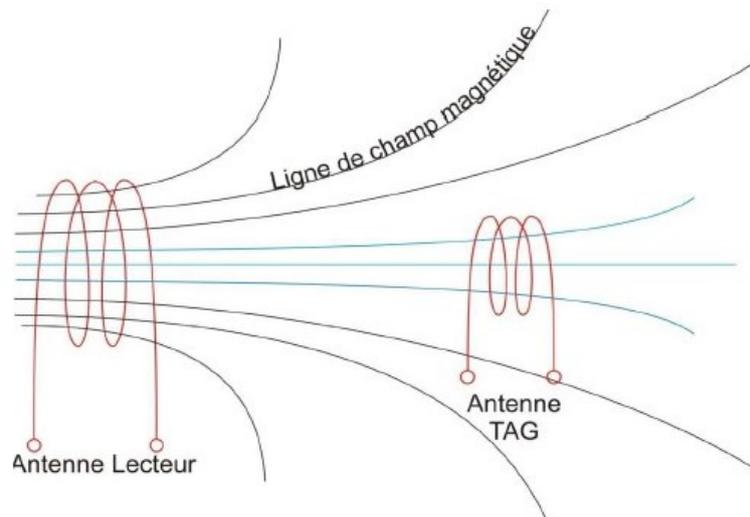


Figure II-3 : système à couplages inductifs BF et HF

Le couplage à champ proche favorise un grand transfert de puissance entre le lecteur et l'étiquette. Ces systèmes présentent l'avantage de pouvoir pénétrer les tissus biologiques au détriment d'une portée très limitée de l'ordre de quelques centimètres. Ces systèmes sont particulièrement appropriés à des applications requérant une très grande sécurité (par exemple : applications médicales ou vétérinaires).

Les systèmes RFID en bande HF quant à eux, intéressent particulièrement les industriels parce qu'ils offrent une bonne pénétration du signal à travers les obstacles avec une portée atteignant le mètre, ce qui leur a permis d'être plus répandus que les systèmes BF.

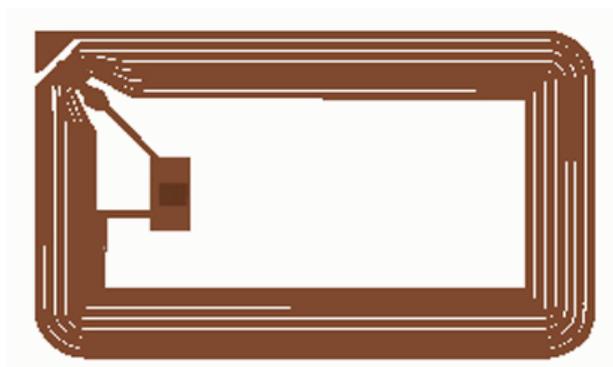


Figure II-4 : Exemple d'une étiquette ou Tag HF

Pour ces bandes (BF et HF), la modulation se fait en variant le couplage magnétique entre le lecteur et l'étiquette. La puce est responsable de cette modulation, en effet, elle modifie un des éléments du circuit de résonance LC de l'étiquette qui peut être modélisée sous forme de circuit série ou parallèle :

- **Circuit de résonance série :**

Dans cette configuration (Figure II-5), on a une impédance minimale à la fréquence de résonance, ce qui se traduit par un courant maximal à cette fréquence. Cette configuration est très rentable lorsque l'étiquette se trouve à proximité du lecteur.

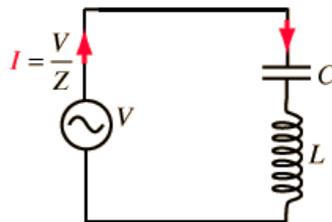


Figure II-5 : Modélisation de l'étiquette par un circuit résonant série

- **Circuit de résonance parallèle :**

Contrairement à la première configuration, celle-ci présente une impédance maximale à la fréquence de résonance, offrant ainsi une tension maximale et un courant minimal, mais qui reste suffisamment important pour avoir un bon facteur de qualité Q du circuit de résonance LC. Cette configuration est celle qui est la plus utilisée.

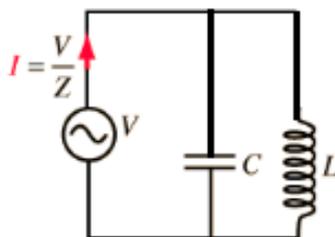


Figure II-6 : Modélisation du Tag par un circuit résonant parallèle

Deux sous configurations peuvent en résulter de la modulation de ce dernier mode, soit en agissant sur l'inductance L du circuit LC, ou sur sa capacité C (Figure II-7).

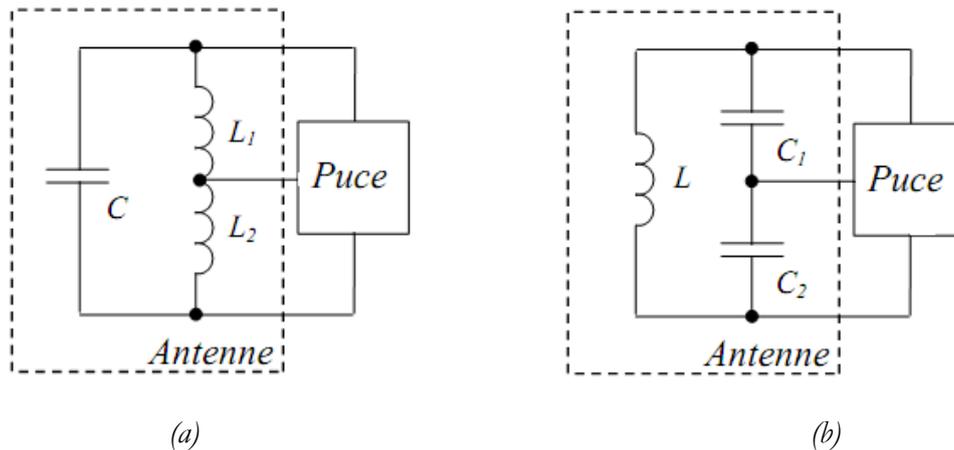


Figure II-7 : Circuit LC parallèle, avec modulation d'inductance (a) et de capacité (b)

II.2.2 Les bandes de fréquence UHF et Micro-Ondes

Ces bandes permettent d'atteindre des distances de lecture plus étendues et un débit plus important par rapport à la bande HF au détriment d'une mauvaise pénétration des signaux à travers les tissus.

Deux types de systèmes se distinguent dans ces bandes : les systèmes qui fonctionnent sans puce électronique, et les systèmes fonctionnant avec des étiquettes dotées de puces électroniques [4].

II.2.2.1 Les systèmes sans puce

Les étiquettes de tels systèmes ne possèdent pas de circuits électroniques, elles utilisent plutôt des principes d'identification physiques ou chimiques tels que la technologie SAW (*Surface Acoustic Wave*) [5]. Ce dernier implique des étiquettes qui disposent d'un ou de plusieurs réflecteurs positionnés sur un matériau piézoélectrique¹ et d'une antenne jointe à un transducteur capable de transformer les ondes radiofréquences en ondes acoustiques (et vice-versa) [5-6].

II.2.2.1.1 Exemple d'un système RFID sans puce (SAW)

Le lecteur émet une impulsion d'interrogation, l'antenne la reçoit et la transforme en ondes acoustiques. Ces dernières seront réfléchies par des réflecteurs déposés selon une certaine configuration déterminant le code d'identification. Au niveau de chaque réflecteur, une fraction de l'onde acoustique est réfléchi, elle est ensuite reconvertie en impulsion radiofréquence retransmise au lecteur par l'antenne. Ainsi, selon la disposition des réflecteurs, un code sera établi

¹ La piézoélectricité est la propriété de certains corps de se polariser électriquement (générer un champ ou un potentiel électrique) sous l'action d'une contrainte mécanique.

permettant l'identification d'un transpondeur [7] . La Figure II-8 décrit le fonctionnement de ce système. L'atout de ce type de système est qu'il permet de lutter contre les trajets multiples, son point faible est qu'il présente un temps de lecture assez long.

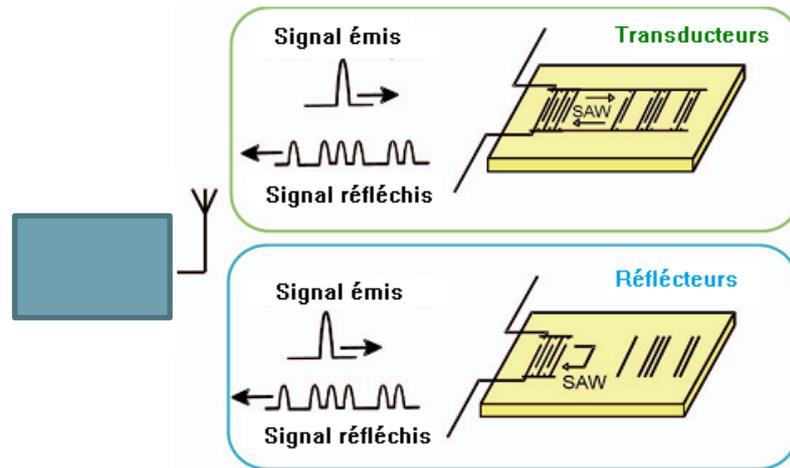


Figure II-8 : Concept d'un système SAW RFID

II.2.2.1.2 Exemple d'un système RFID sans puce à lignes à retard

Il existe d'autres types de systèmes RFID sans puce qui consistent en une antenne reliée à une ligne de transmission à retard (Figure II-9). Le lecteur génère une impulsion, qui est reçue par l'antenne du tag connectée à une ligne de transmission sur laquelle des réflecteurs sont arrangés.

Le positionnement de ces réflecteurs sur la ligne de transmission va correspondre à un code particulier permettant l'identification (comme dans le cas du tag SAW). Ce type n'est pas mis en œuvre à cause de la grande taille du transpondeur [5].

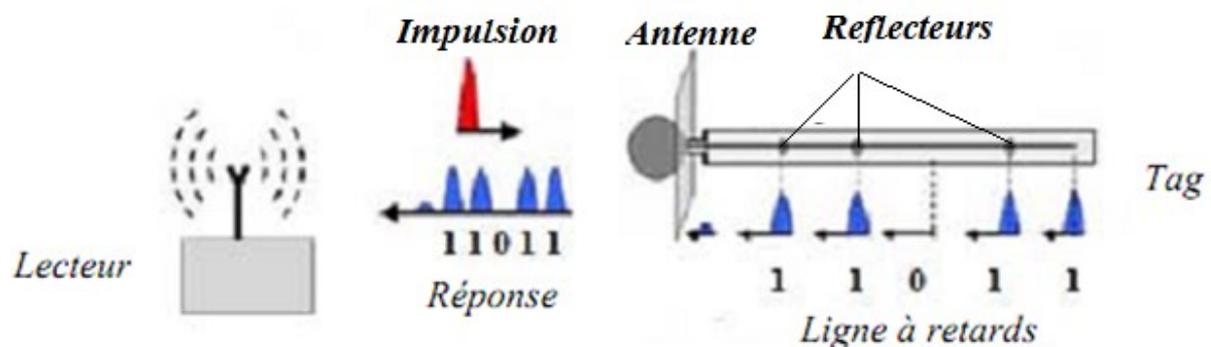


Figure II-9 : Principe d'un système RFID sans puce basé sur une ligne à retards

Bien que le coût de ce type de système RFID soit très compétitif, il reste très peu applicable car la quantité de codes générés est très restreinte.

II.2.2.2 Les systèmes avec puce

Nous pouvons différencier les systèmes RFID UHF dotés d'une puce selon la source d'alimentation de l'étiquette ou du tag. Nous distinguerons alors entre trois catégories : les tags actifs, les tags passifs sans batterie assistée et les tags passifs avec batterie assistée (semi-passifs) [4].

II.2.2.2.1 Les systèmes actifs

Les étiquettes actives possèdent une pile incorporée leur permettant d'émettre un signal de façon autonome. Avec cette source d'énergie, on peut obtenir des distances de lecture de quelques mètres, convenables aux applications de télémétrie, pour communiquer un grand nombre d'informations sur de grandes distances. Ils présentent l'inconvénient d'être plus onéreux que les autres systèmes, de nécessiter un certain entretien et d'être plus volumineux.

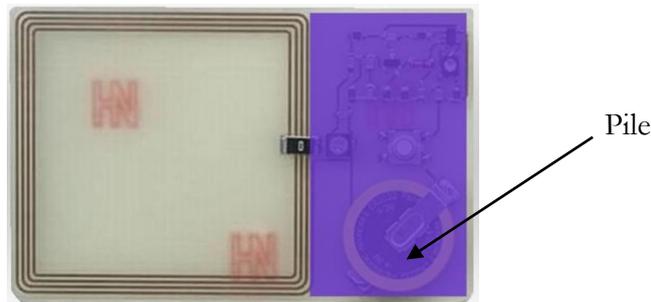


Figure II-10 : Exemple de tag RFID UHF actif

II.2.2.2.2 Les systèmes semi-passifs

Ces étiquettes disposent d'une batterie propre à elles, cependant leur principe de fonctionnement est basé sur le principe de la modulation par rétro-réflexion pour communiquer les données aux lecteurs (Figure II-11).

Bien que le coût de ce type de tags soit moins élevé par rapport aux tags actifs, ils présentent quelques désavantages qui les ont écartés de l'industrie comme leur manque de fiabilité étant donné l'impossibilité de tester le niveau de la batterie, leurs coûts qui restent élevés, sans oublier leurs impacts dangereux sur l'environnement à cause des substances nuisibles contenues dans les batteries.



Figure II-11 : Exemple de tag RFID semi passif

II.2.2.2.3 Les systèmes passifs

Les étiquettes RFID passives sont de loin les plus déployées en raison de leur faible coût, leur taille miniaturisée, leur faible profil et la simplicité de leur architecture.

Elles ne comprennent ni batterie ni transmetteur à leur bord, d'où leur compacité et leur simplicité. Elles s'alimentent à partir de l'énergie électromagnétique qui leur est transmise par le lecteur RFID, et utilisent le principe de modulation par rétro-réflexion afin d'envoyer les données aux lecteurs. Cependant, la portée de lecture de ce type de tags reste très limitée.

Le tag passif est constitué d'une antenne lui permettant de communiquer avec le lecteur et d'une puce électronique qui stocke les données à transmettre. Tous ces éléments réunis dans un assemblage « *Packaging* » comme le montre Figure II-12.

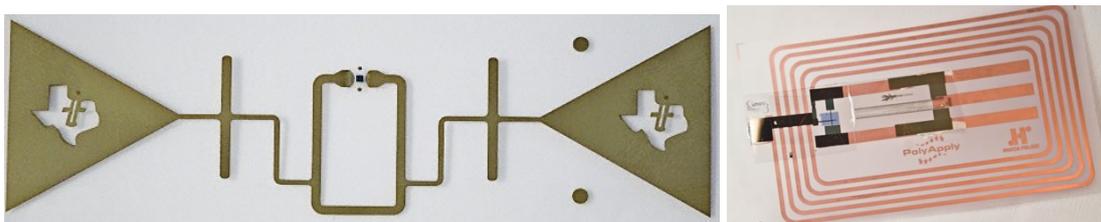


Figure II-12 : Exemple de tag RFID UHF passifs

Nous reviendrons plus en détails sur ce type d'étiquettes passives aux prochains paragraphes.

II.2.3 Les systèmes RFID Ultra Large Bande (ULB)

Récemment, un intérêt croissant est apporté à l'Ultra Large Bande (ULB) en radio identification parce qu'elle facilite l'obtention d'une très grande précision de positionnement irréalisable avec la bande conventionnée à cause de son étroitesse. Elle offre également une sécurité élevée due à la faible probabilité d'interception, une faible consommation, une conception simple, un faible coût et une immunité aux trajets multiples [8-9].

En guise de conclusion, pour cette première partie de ce chapitre, nous allons faire un récapitulatif sur les différents types RFID existants. Le classement est fait selon les fréquences, les distances de lectures, les débits de transfert des données, leurs potentialités de pénétrer les tissus ainsi que leurs coûts. Ces paramètres sont classés dans le Tableau II-1.

Type	Fréquence	Distance	Données	pénétration	Coûts
BF	125 KHz	+	+	++++	++++
HF	13,56 MHz	++	++	+++	++
UHF	860-960 MHz	+++	+++	++	++
Micro-ondes	2.45 GHz	++	++++	+	++++
ULB	3.1-10.6 GHz	+	+++	+	+++

Tableau II-1 : Comparaison des différents systèmes RFID

Le second tableau (Tableau II-2) présente une comparaison cette fois-ci entre les différents modes de fonctionnement de tags RFID : actifs, semi-passifs et passifs.

Type	Distance	Données	Durée de vie	Coût
Actif	+++	+++	+	+++
Semi Passif	++	++	++	++
Passif	+	+	+++	+

Tableau II-2 : Comparaison des différents modes RFID

Nous remarquons que l'attention est portée sur les systèmes passifs grâce à leurs bas coûts et à leurs longue durée de vie.

Ceci n'écarte pas pour autant les autres technologies du marché parce que chacune d'elles présente des avantages. Cependant, la technologie RFID UHF passive reste la plus convoitée dans le domaine de la traçabilité, vu son faible coût et ses performances en termes de débit, de distance de lecture et de rapidité de lecture. Nous allons établir un état de l'art sur cette technologie.

II.3 État de l'art sur les systèmes RFID passifs

Après avoir présenté l'intérêt suprême et les avantages offerts par les systèmes RFID passifs, nous allons nous étaler sur les différents protocoles de communication entre les organes constituant le système ainsi que leurs architectures.

II.3.1 Liaisons montantes et liaisons descendantes

L'échange d'informations entre le tag RFID et la station de base est soumis à des protocoles, sachant que ces protocoles diffèrent selon le sens de la communication.

En effet, une communication consiste en un transfert de données associé à un transfert d'énergie. Les échanges de données ayant lieu entre une station de base (lecteur) et un tag sont de deux sortes :

II.3.1.1 Liaisons montante (Forward link) :

Il s'agit de la liaison allant de la station de base au tag RFID. Elle est dite communication Montante, elle a pour missions :

- D'assurer le transport de l'énergie vers le tag afin que celui-ci puisse assurer la tâche qui lui incombe.
- De servir de support à l'envoi de données de la station base vers le tag.
- D'assurer la présence d'un support physique à la communication du tag vers la station de base.

La communication montante est par principe assurée par la station de base qui émet une onde radiofréquence, celle-ci est par conséquent dotée d'un émetteur (**Transmitter**). De par la présence de cet émetteur, la liaison montante est dite « active ». De plus la station de base comporte également à son bord un récepteur (**Receiver**), elle se comporte donc comme un TRANSCIEVER.

Dans le sens montant, la station de base doit se faire comprendre par le tag au travers d'un codage numérique (binaire), d'un protocole de communication et d'un système de modulation de

la fréquence porteuse. Cette modulation ne doit pas affecter considérablement la qualité d'une éventuelle hypothétique télé-alimentation simultanée. Pour cela on peut employer des techniques de modulation de fréquence (FSK : *Frequency Shift Keying*), ou encore de nombreuses modulations d'amplitudes (ASK : *Amplitude Shift Keying*) (ASK 100%).

Dans la plupart des cas usuels d'applications RFID qu'on peut trouver dans le commerce, la valeur de l'énergie transférée est suffisante pour assurer la télé-alimentation du tag tout en assurant la liaison montante de la communication de la station de base vers le transpondeur.

II.3.1.2 Liaisons descendantes (Return Link) :

Il s'agit de la liaison allant du tag vers la station de base. Afin d'assurer cette communication, la base station fournit un support de transmission sous la forme d'une fréquence, le tag réussit à se faire comprendre par la station de base en modulant ses caractéristiques électriques. Pour cela deux techniques basées sur le principe physique de modulation de l'impédance de charge de l'antenne (en résistance et en réactance) sont habituellement utilisées dans la plupart des tags. Étant donné que les répercussions physiques sont différentes selon les valeurs des fréquences mises en jeu en RFID, on parle de :

- Couplage magnétique dans le cas des systèmes RFID LF et HF ;
- Rétro réflexion ou re-rayonnement (ou *Back-scattering*) de l'onde incidente dans le cas des systèmes RFID UHF (*Ultra High Frequency*) et SHF (*Super High Frequency*).

La Figure II-13 décrit le fonctionnement général d'un système RFID.

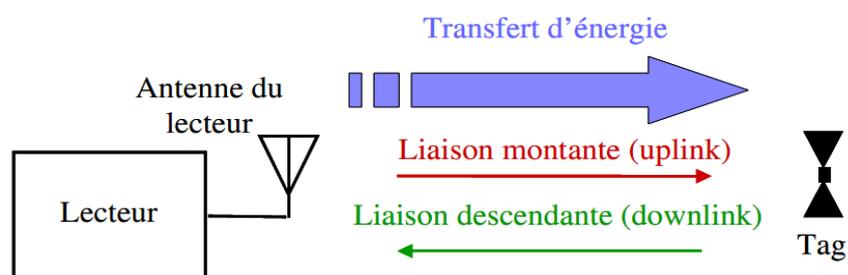


Figure II-13 : Représentation schématique d'une communication RFID

II.3.1.3 Communications de données et principe de communication

Le document de l'ISO 7498 « *Information Processing Systems / Open System Interconnexion- Basic Reference Model* », habituellement appelé modèle ISO/OSI, définit un modèle décrivant le découpage de tâches et la formalisation des flux d'échanges entre celles-ci, en particulier pour les

systèmes communicants. Cette norme permet la constitution de systèmes et des réseaux normalisés au sein desquels peuvent venir s'intégrer une variété de systèmes hétérogènes.

II.3.1.4 Techniques d'accès

L'accès à la couche physique (air), est toujours un problème épineux lorsque plusieurs éléments peuvent prétendre à son accès en même temps, ce qui sera fréquemment le cas dans les systèmes RFID lors des réponses simultanées de plusieurs tags (phase de collision). Nous présentons dans ce qui suit quelques techniques d'accès adaptées aux applications RFID [4] :

– **Accès Multiple par Détection de Porteuse (CSMA : Carrier Sense Multiple Access)** : Le protocole à accès multiple du type CSMA est une technique à accès multiple dans laquelle les stations souhaitant produire ou émettre des données modèrent leur propre usage de la ressource commune de communication à l'aide d'une solution basée sur la détection de la présence ou non de la porteuse d'un autre usager. En technologie RFID, ceci permet à la station de base ou au tag de sentir (*carrier sense*) si une autre station ou tag est en train d'utiliser le canal de transmission avant qu'elle-même ne l'utilise. Ce principe est utilisé dans les dispositifs pour les stations de bases RFID en Europe dits LBT (*Listen Before Talk*).

– **Accès Multiple par Détection de Porteuse avec Détecteur de Collision (CSMA/CD : Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection)** : Ce type d'accès permet à la station de base ou au tag de sentir si une autre station de base est en train d'utiliser le canal de communication avant qu'elle-même ne transmette et détecte la présence de collisions si cela est le cas. Ce principe est également très utilisé en RFID au niveau des stations de bases fonctionnant selon un mode « écoutez avant de parler » (*Listen Before Talk* (LBT)) et gérant les collisions dues à la présence simultanée de nombreux tags dans le champ électromagnétique.

– **Accès Multiple par une Division Multiple (CDMA : Code Division Multiple Access)** : C'est une technique différente qui consiste à sectionner chaque transmission en paquets et à assigner un code unique à chacun de ses paquets. Tous les paquets codés sont alors combinés mathématiquement en un signal, et lors de la réception, chaque récepteur extrait uniquement les paquets le concernant. Les accès multiples à l'intérieur d'un simple canal de transmission dépendent uniquement de l'emploi des modulations codées indépendamment.

– **Accès Multiple par une Distribution du Temps (TDMA : Time Distributed Medium Access)** : Elle a pour but de réaliser un accès au milieu distribué temporellement pour chacun des participants et de ce fait, d'éviter structurellement la création des collisions. De plus, avec cette technique, il est aisé de concevoir des systèmes en temps réel puisque les temps de latence sont connus et à bandes connues.

– **Accès Multiple Fléxible par une Distribution du Temps (FTDMA : Flexible Time Division Multiple Access)** : Elle permet l'accès au milieu via un principe de mini-créneaux de temps (*mini slotting*). Pendant ce mini-créneau, l'accès au milieu est concédé dynamiquement sur une base de priorité attribuée aux participants ayant des données à transmettre via une hiérarchie liée à la valeur d'un identifiant unique UID (*Uniform IDentifier*), contenu dans l'entête du message. Le but de ce principe est d'assurer une communication limitée en temps et en bande passante.

II.3.1.5 Principe de communication et modes de déclenchement de la communication tag/reader

Dans le cas des systèmes passifs, il ne peut y avoir de communication sans une alimentation du tag, donc sans présence initiale de porteuse radiofréquence. La station de base doit donc toujours commencer la première en émettant sa porteuse, mais cette communication est soumise à des modes de déclenchement réel de la communication [4]:

- ♦ *Tag Talks First* (TTF) et *Answer To Reset* (ATR)

Cette première approche correspond au fait que dès qu'un tag entre dans la zone d'action de la station de base et qu'il est alimenté après avoir effectué sa remise à zéro (passer sans plus attendre dans un état logique particulier souvent baptisé « *Ready* » ou « *Reset Interne* »), sans autre forme de procès il commence immédiatement à communiquer pour signaler sa présence, d'où l'appellation TTF (*Tag Talks First*). La présence de l'onde porteuse montante du lecteur effectue sans le savoir ce qu'on appelle une requête, le tag entrant dans le champ effectue alors une réponse à cette requête du type ATR (*Answer To Reset*). Ce type de déclenchement (TTF) fonctionne très bien si l'on est sûr qu'il n'y aura jamais plus d'un tag à la fois dans la zone d'influence de la station de base.

- ♦ *Reader Talks First* (RTF) et *Answer to reQuest* (ATQ)

Afin d'éviter, d'atténuer et de pouvoir gérer les problèmes de collisions de signaux, il est nécessaire de disposer de tags possédants un comportement spécifique. En effet, lors de leurs entrées dans la zone d'influence de la station de base, les tags effectuent leurs Reset internes dans lequel ils doivent attendre patiemment un ordre particulier de la station de base (*Answer to reQuest* (ATQ)) pour répondre à celle-ci et lui signifier leur présences d'où les noms de *Reader Talks First*. Sur le principe, comparativement aux tags TTF, les tags RTF comportent à leurs bords une circuiterie logique supplémentaire leur permettant d'interpréter la commande de la requête.

- ♦ Coexistence de tags « TTF » et « RTF »

La présence simultanée dans le champ électromagnétique des tags du type RTF et TTF engendre un grand problème, par exemple si la station de base a déjà commencé de communiquer volontairement avec un tag RTF et qu'un tag TTF rentre sournoisement dans le champ et commence à signaler sa présence. Pour éviter cette situation, l'usage des tags du type TTF peut être limité uniquement aux applications dans lesquelles les étiquettes ne s'éloignent pas de leurs sites.

II.3.1.6 Gestion de l'échange

Deux types de procédures de communication entre le lecteur et le tag se distinguent : une utilisant un transfert continu d'énergie et l'autre d'une manière séquentielle.

- **Half duplex (HDX)** : Correspond à un mode alterné de communication dans lequel les liaisons de données montantes et descendantes ne sont pas simultanées, et par conséquent dans lequel les messages montants et descendants ne peuvent, par principe, pas se télescoper.
- **Full duplex (FDX)** : En ce mode les échanges de données lors des liaisons montantes et descendantes s'effectuent simultanément. Dans le cas des applications RFID utilisant une seule fréquence porteuse, plusieurs solutions peuvent être envisagées.

L'atout de ce mode d'échange est d'obtenir des temps de transactions plus rapide pour permettre de satisfaire certaines applications au détriment de la complexité électronique de la station de base devant le traitement simultané des protocoles de communications montantes ou descendantes ainsi que les erreurs de transmissions toujours possibles [4]. L'ensemble des procédures d'échange sont représentées sur la Figure II-14.

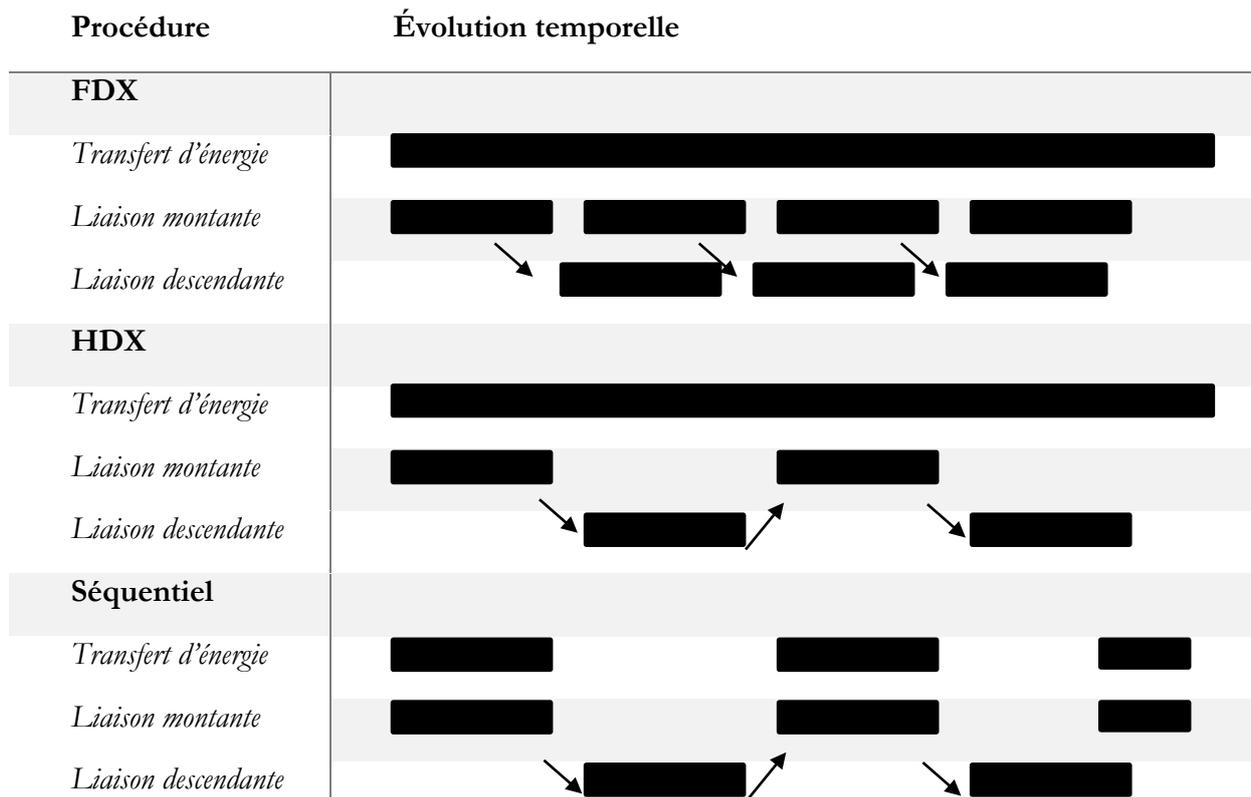


Figure II-14 : Principales procédures de communication RFID

Il est à noter qu'en technologie RFID, 95% des systèmes utilisent le mode *Half Duplex*, ce qui signifie que le tag et la station de base communiquent entre eux alternativement, c'est à dire par tranches de temps.

Et en ce mode, le protocole de communication entre un lecteur et un tag est scindé en trois parties :

- ♦ *Une phase réveil du tag* : la station de base envoie une onde électromagnétique vers le tag lui permettant de s'alimenter en énergie nécessaire à son fonctionnement et de se mettre dans un état d'attente aux instructions à venir de la station de base.
- ♦ *Une phase d'instruction* : la station de base envoie une requête au tag à travers une porteuse. Elle se traduit par une variation en phase ou en amplitude de l'onde électromagnétique envoyée. Entre-temps, la station de base doit assurer l'alimentation du tag. Afin d'assurer un bon fonctionnement, un choix du codage de l'information, de la technique de modulation et des temps de transmissions devra être très judicieux.
- ♦ *Une phase de lecture* : le tag répond à la requête de la station de base. Après réception des instructions du lecteur, le tag se met en mode rétro-modulation. Un compromis doit être trouvé entre ce transfert de données descendant et la puissance que le tag

doit continuer à absorber afin d'assurer son alimentation. La rétro-modulation est un point critique de la conception des tags RFID.

Nous allons aborder dans le reste de ce chapitre des différentes architectures des entités fondamentales formant le système RFID UHF passif.

II.3.2 Architecture du Tag RFID UHF passif

Un tag RFID UHF passif est constitué d'une antenne et d'une puce électronique. Cette dernière comprend une partie radiofréquence (*Front-end radio*), et une partie numérique [2]. Un schéma représentatif d'un tag UHF est illustré dans la Figure II-15.

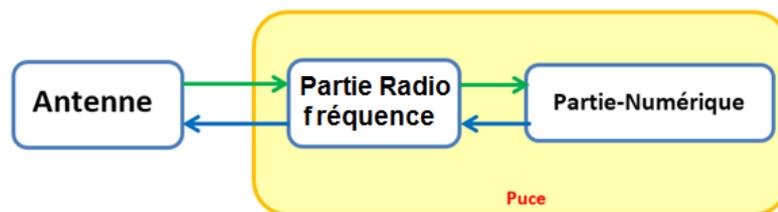


Figure II-15 : Schéma fonctionnel d'un tag UHF RFID

II.3.2.1 Architecture de la puce d'un Tag RFID

Comme le montrait la Figure II-15, la puce est constituée d'une partie numérique et d'une partie radiofréquence (*front-end*) :

- La partie numérique : constituée d'une machine à états qui a comme tâche d'analyser les requêtes reçues, de coder/décoder les informations et d'envoyer les réponses de ces requêtes au front-end radio. La partie numérique est activée par le front end radio lorsque l'antenne reçoit une énergie suffisante de la part de la station de base.
- La partie radiofréquence (*front-end*) : il s'agit d'un circuit entre l'antenne et la première fréquence intermédiaire qui assume trois fonctions principales : la récupération d'énergie, la réception du signal et la rétro-modulation. Nous présentons un schéma bloc des différentes tâches réalisées par le front-end dans la Figure II-16.

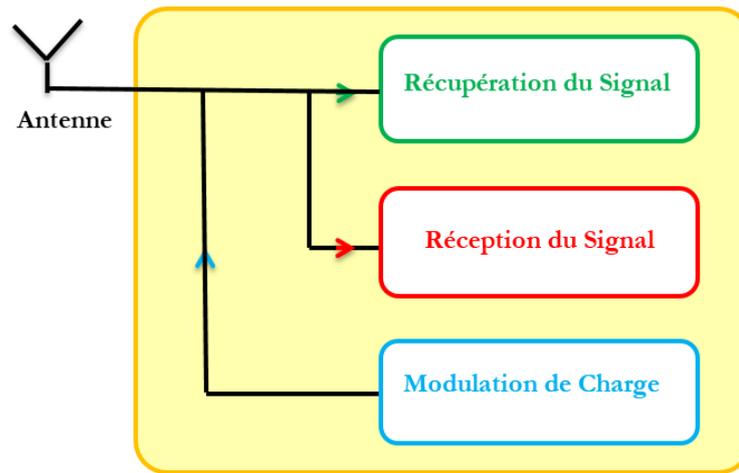


Figure II-16 : Schéma bloc d'un front-end d'un tag UHF passif

Les différentes fonctionnalités de la partie radiofréquence de la puce se résument par :

- En général, la fonction de récupération d'énergie est effectuée par un redresseur qui permet de récupérer une tension continue à partir de la porteuse radiofréquence captée par l'antenne, cette tension est sensée alimenter le tag. Fréquemment, le redresseur est lié à un régulateur ou à un limiteur de tension permettant la stabilité de la tension et la protection de la puce des risques de surtension [10-11].
Le redressement pourrait être réalisé par plusieurs architectures électroniques qui sont présentées et comparées dans la référence [12].
Durant la phase de rétro-modulation, une capacité réservoir en sortie du redresseur garantit l'alimentation de la puce [2].
- La fonction de récupération du signal requête transmis par le lecteur est généralement assurée par une chaîne de réception classique comprenant un démodulateur, un filtre en bande de base et un convertisseur analogique/numérique. Les fonctions de décodage et de traitement de l'information sont réalisées en numérique, le plus souvent à l'aide d'un système logique simple [10,13-14]. Le type de démodulation utilisé est l'ASK (*Amplitude Shift Keying*)
- En dernier, la fonction de rétro-modulation est réalisée par un système de modulation de la charge à l'entrée de l'antenne. Cette dernière est généralement commandée par la partie numérique du tag. Les différentes techniques de modulation de charge seront détaillées ultérieurement.

En récapitulatif de ce que nous venons de voir, nous dressons un schéma bloc représentant un exemple d'architecture d'un tag RFID UHF (Figure II-17). Il est constitué d'une partie radiofréquence (*Front-End RF*), une partie analogique basse fréquence où se fait le traitement en bande de base et une partie numérique.

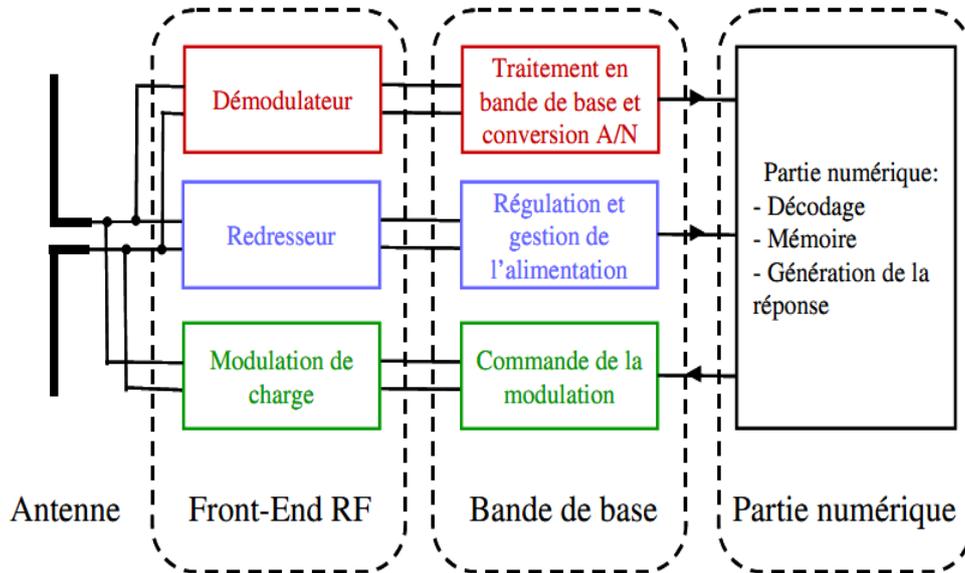


Figure II-17 : Schéma bloc de l'architecture d'un Tag RFID UHF

II.3.2.2 Techniques de rétro-modulation

La technique de modulation de charge se définit comme étant une variation du coefficient de réflexion au niveau de l'interface entre l'antenne du tag et la puce.

Physiquement, elle se traduit par une variation de l'impédance d'entrée de la puce, créant ainsi une désadaptation d'impédance avec l'antenne. Or, la modification de l'impédance consiste à faire varier sa partie réelle ou sa partie imaginaire. Ainsi, selon le signal binaire commandant la modulation de charge et selon le type de modulation utilisé, le signal incident est plus ou moins réfléchi comme le montre la Figure II-18. Sur cette dernière, l'impédance Z_t représente une charge adaptée à l'impédance de l'antenne. Si nous effectuons une modulation de la partie réelle de la charge Figure II-18 (a), alors nous réalisons une modulation en amplitude ASK (*Amplitude Shift Keying*) et s'il s'agit de modifier la partie imaginaire Figure II-18 (b), on obtient une modulation en phase de type PSK (*Phase Shift Keying*).

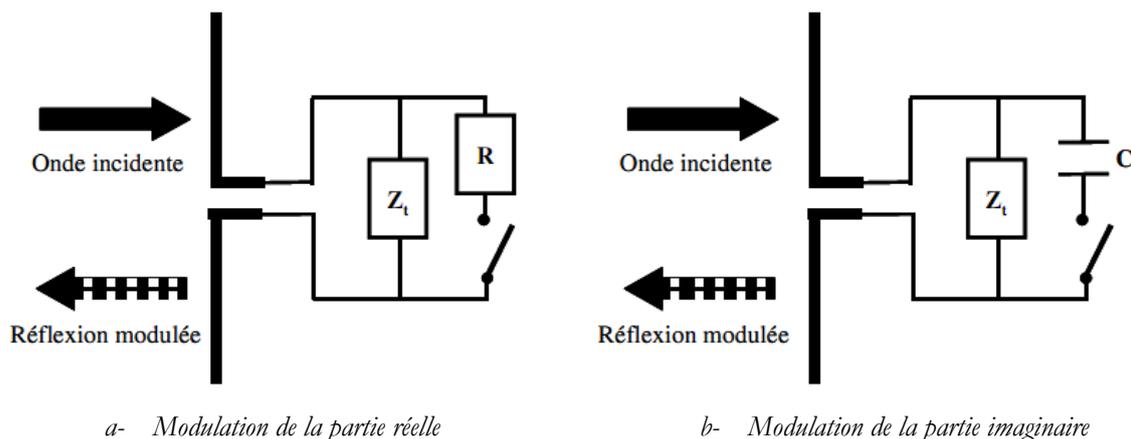


Figure II-18 : Réflexion de l'onde incidente [15]

La qualité de la modulation dépend de la facilité avec laquelle nous pouvons différencier les deux états binaires lors de la démodulation. En ce qui concerne la modulation ASK, avoir une différence d'amplitude maximum entre l'état haut et l'état bas est le cas idéal. Ce cas est obtenu, lors du passage de l'adaptation parfaite de l'antenne au cas où l'antenne est court-circuitée. Tandis que, dans le cas où il y a réflexion totale de l'onde incidente, la récupération d'énergie devient impossible ; raison pour laquelle l'indice de la modulation ASK est souvent choisi de manière à avoir un compromis entre la récupération de l'énergie et la qualité de la transmission de données.

Cependant, dans la modulation PSK, c'est un déphasage maximum qu'on cherche à obtenir pour différencier l'état haut de l'état bas. Cette technique présente l'avantage de générer la même

quantité d'énergie au tag, quel que soit l'état binaire du signal modulant au détriment d'une détection difficile de la rétro-modulation et d'un coût plus important au niveau du lecteur [16].

Les normes autorisent les deux types de modulation cités auparavant (ASK et PSK) pour la rétro-modulation. Cependant, lors de la modulation, il est très pénible d'obtenir une variation purement réelle ou purement imaginaire [15]. En industrie, la plupart des tags RFID UHF existants réalisent une modulation mixte, en amplitude et en phase.

Pour la grande majorité des tags UHF commercialisés, le dispositif assurant la rétro-modulation utilise un interrupteur commandé par le signal numérique modulant [10,13-14]. Cependant, il existe certaines architectures utilisant plutôt des dispositifs à base de capacités variables pour réaliser la rétro-modulation.

Notons que, quelle que soit la technique de rétro-modulation choisie, la qualité de la réponse du tag dépend directement de l'antenne associée à la puce RFID.

II.3.2.3 Antenne tag UHF RFID

Le choix de l'antenne d'un tag est considéré comme étant l'élément clé dans l'établissement de la communication RFID.

Cette antenne dépend intrinsèquement de l'application visée. En effet, le type de l'antenne utilisé est imposé par la nature de l'objet à identifier, sa taille ainsi que sa localisation. Si par exemple, l'application désirée exige l'identification d'un objet quelle que soit sa position par rapport au lecteur, le concepteur devra choisir une antenne omnidirectionnelle à intégrer dans le tag. Cependant, l'application peut exiger une portée plus longue, imposant une directivité plus importante pour l'antenne.

Le second élément à prendre en considération est la texture de l'objet à identifier. S'il est métallique par exemple, les antennes imprimées où en F-inversés sont adéquates parce qu'elles assurent une meilleure immunité face à l'influence du métal [17]. D'autres applications exigent un substrat spécifique pour l'antenne elle-même, comme par exemple un substrat papier ou plastique [18], ou même en métamatériaux pour les antennes intégrées [19]. Enfin, il y a d'autres paramètres à tenir en compte, comme par exemple le coût de fabrication et les dimensions des antennes.

Bien évidemment, il y a d'autres critères qu'il faut prendre en compte lors de la conception d'une antenne dédiée à une application spécifique, il s'agit bien des critères de performance pour choisir une antenne appropriée à un tag. Nous avons vu précédemment que les fonctions de récupération d'énergie et de rétro-modulation dépendent directement de la qualité de l'adaptation

entre les impédances de la puce et de l'antenne. Il est donc primordial de respecter les caractéristiques propres de l'antenne comme son impédance d'entrée, sa bande passante et son diagramme de rayonnement, lors de la conception globale du système RFID [20].

En réalité, la quasi-totalité des tags RFID UHF et micro-ondes réalisés utilise des antennes du type dipôle ou dipôle modifié [4,15]. La Figure II-19 présente quelques exemples d'antennes de tag RFID UHF et micro-ondes.

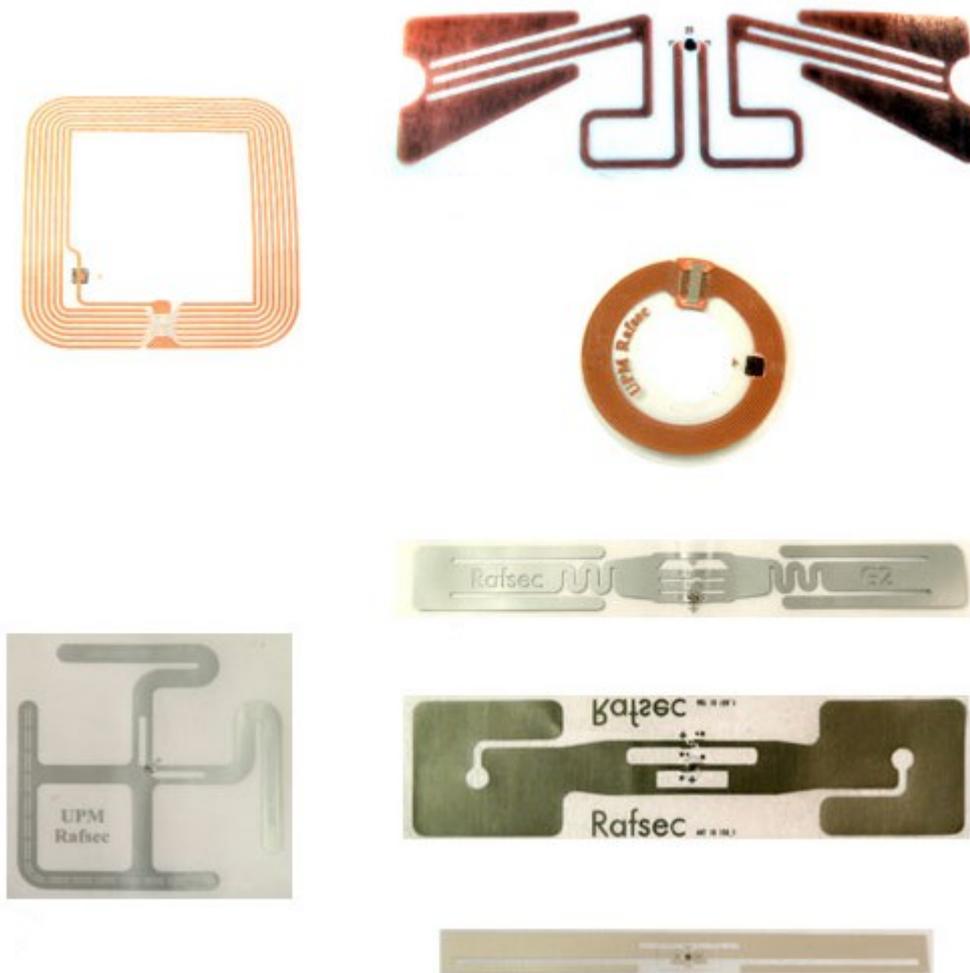


Figure II-19 : Exemples d'antennes tag RFID en industrie

II.3.2.4 Packaging de la puce RFID

L'assemblage ou « *Packaging* » du tag RFID influence directement sur son impédance d'entrée. Selon la technologie de packaging utilisée, des effets parasites de nature résistive, capacitive ou inductive sont obtenus et doivent donc être pris en compte lors de la conception du tag. Nous y reviendrons en détail dans la partie évoquant la fabrication des tags RFID.

II.3.2.5 Fabrication des tags RFID UHF Passifs

Comme nous venons de le mentionner, un tag RFID UHF passif est constitué d'une puce électronique, d'une antenne et d'un packaging. Le choix de chaque paramètre dépend intrinsèquement de l'application désirée. Le critère de choix de la puce est en fonction de la fréquence de travail convoité et de ses performances. Les paramètres favorisant l'utilisation d'une antenne à la place d'une autre sont le gain, l'efficacité mais surtout les dimensions de celle-ci. En ce qui concerne le packaging, c'est bien ses caractéristiques mécaniques telles que la robustesse, la tenue en température et en humidité qui le déterminent. En outre, le paramètre coût reste toujours à considérer, en effet, les fabricants ont tendance à utiliser des procédés bas coût pour aboutir aux objectifs des industriels.

Chaque puce dispose de certaines caractéristiques propres à elles. C'est la raison pour laquelle chaque antenne de tag RFID fonctionne avec une puce bien particulière. Afin de concevoir un tag pour telle ou telle application, il faudra bien choisir la puce adéquate selon les critères suivants :

- La norme : nombreuse sont les normes qui mettent en œuvre différents protocoles de communication. Le tag RFID devra répondre à une certaine norme qui impose le choix d'un certain type de puce RFID, afin d'assurer une certaine application et permettre l'interopérabilité avec les lecteurs.
- La capacité mémoire : la plupart des applications RFID exigent l'enregistrement d'information sur le tag. Ainsi les puces RFID doivent disposer d'une certaine capacité mémoire, qui diffère d'une application à autre selon les besoins.
- Le coût : étant un critère très important, les concepteurs doivent en tenir compte en utilisant un simple procédé de fabrication et en choisissant un type de packaging non onéreux.
- Les performances : lors de leurs fonctionnements, les puces RFID consomment plus ou moins de puissance, ce qui détermine leurs portées.

La plupart des puces RFID sont dotées d'un seul port d'entrée, il sert à connecter une antenne. Toutefois, il existe un autre type de puces comportant deux ports d'entrée permettant la connexion de deux antennes. Ce dernier type favorise la diversité en polarisation et en diagramme de rayonnement du tag RFID et contribue à l'amélioration de la lecture. Il est approprié à certaines applications où l'orientation du tag RFID est incertaine. Ceci dit, ce type de puce est très intéressant mais au désavantage du coût de ce tag, qui s'est élevé non seulement à cause de l'utilisation de ce type de puce mais aussi par la présence de deux antennes [2].

En industrie, il existe des puces RFID rassemblés sous plusieurs types de packaging dont [4]:

- Le packaging die : généralement, c'est le type de packaging le plus utilisé, il est caractérisé par sa petite taille. Il implique l'utilisation d'un matériau adhésif pour connecter l'antenne.
- Le packaging en boîtiers standards : très peu déployé, il consiste à connecter la puce à l'antenne par une soudure à l'étain ou un ICP (*Isotropic Conductive Paste*) une colle conductrice isotropique.
- Le packaging strap : la fixation de l'antenne se réalise soit par l'utilisation d'un adhésif, ou encore par un procédé ultrasonique.
- Le packaging ring : ce dernier type consiste à réaliser la connexion par un couplage inductif entre la puce et l'antenne.

Le choix du packaging de la puce RFID a des conséquences directes sur le procédé d'assemblage du couple antenne – puce, ainsi que sur le coût final du tag.

II.3.3 Architecture d'un lecteur RFID UHF

Un lecteur RFID constitue l'interface entre l'hôte et les tags RFID, il est censé assurer deux principaux rôles : la gestion de l'application et la mise en place de la communication.

La première fonction consiste à réaliser la gestion de la communication avec les tags RFID. Elle veille sur l'implémentation d'un logiciel approprié à l'application et sur le contrôle des protocoles de communication utilisés. Cette fonction s'effectue par une unité de contrôle numérique, composée éventuellement d'un microprocesseur, d'une mémoire et d'une interface de commande de la partie responsable de l'établissement de la communication. Cette unité de contrôle garantit donc la génération et la mise en forme du signal numérique contenant l'information à transmettre au tag et traite en retour, la réponse de celui-ci. Ainsi, en plus de l'implémentation du protocole de communication, l'unité numérique est en mesure de coder/décoder des signaux et probablement de crypter/décrypter ou toute autre fonction imposée par l'application requise.

L'établissement de la communication est quant à lui réalisé par un front-end Radiofréquence constitué d'un émetteur et d'un récepteur. La partie Radiofréquence est donc responsable de générer une porteuse en mesure de la télé-alimentation du tag, de la modulation du signal numérique généré par l'unité de contrôle et enfin, de la démodulation de la réponse du tag.

La réception et l'émission des données ainsi que la propagation de l'énergie RF qui télé-alimente les tags sont réalisées par une ou plusieurs antennes.

Les différentes fonctionnalités du lecteur citées au préalable sont résumées dans le schéma bloc de la Figure II-20.

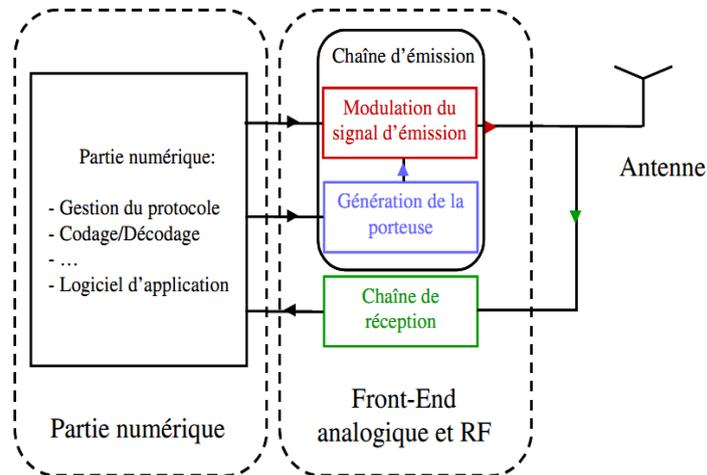


Figure II-20 : Schéma bloc fonctionnel d'un lecteur RFID UHF

La partie RF du lecteur étant celle qui nous intéresse le plus, nous la décrivons en plus de détails dans ce qui va suivre.

II.3.3.1 Description de la chaîne d'émission

La Figure II-21 illustre un schéma bloc d'une chaîne d'émission classique d'un lecteur RFID. La partie numérique émet des données codées, ces dernières sont filtrées en bande de base ensuite modulées grâce à une porteuse générée par un oscillateur appelé PLL (*Phase Locked Loop*). Par la suite, le signal modulé est amplifié et filtré avant d'être envoyé.

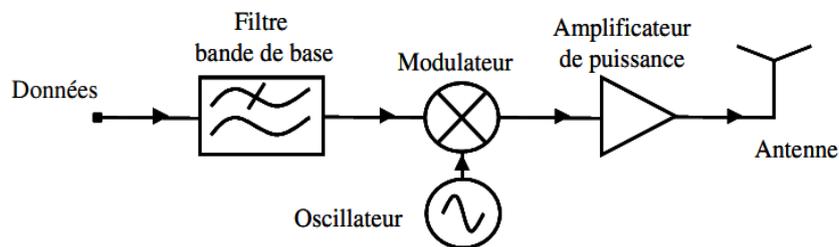


Figure II-21 : Chaîne d'émission classique UHF [15]

Parmi les différents types de modulation normalisée pour la liaison montante, les deux techniques les plus répandues, sont la modulation d'amplitude (ASK) et la modulation de la

largeur d'impulsion (PWM : *Pulse Width Modulation*). Elles permettent une démodulation facile à réaliser, ce qui allège l'architecture du tag [16].

II.3.3.2 Description de la chaîne de réception

Nous illustrons par un schéma bloc simplifié de la Figure II-22, l'architecture d'une chaîne réceptrice. Le signal reçu est d'abord amplifié à l'aide d'un amplificateur faible bruit (LNA- *Low Noise Amplifier*), filtré, et démodulé (souvent par un démodulateur I/Q (*In phase & Quadrature Phase*)) et enfin numérisé par un convertisseur analogique / numérique.

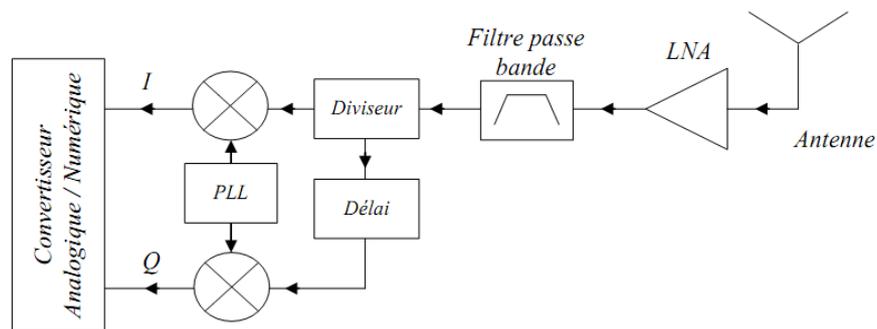


Figure II-22 : Chaîne de réception classique UHF

II.3.3.3 Antennes d'émission et de réception

L'émission et la réception des signaux peuvent être envisagées selon deux scénarios :

- Le premier scénario est un système à deux antennes, l'une pour l'émission et l'autre pour la réception. Cette architecture est baptisée bi statique et demande une bonne isolation entre les deux antennes. Souvent, ce type d'architecture est constitué de deux antennes à polarisation circulaire croisée (polarisation droite et polarisation gauche).
- le second est un système utilisant une seule antenne assurant à la fois l'émission et la réception. Ce type est appelé mono-statique. La séparation des signaux émis et reçus se fait à l'aide d'un coupleur directionnel ou d'un circulateur.

La Figure II-23 présente les architectures bi-statiques et mono-statiques de lecteurs RFID.

La première architecture permet d'éviter les soucis d'interférences entre les deux chaînes en dépit d'un encombrement gênant Figure II-23(a). Raison pour laquelle, la plupart des lecteurs RFID optent pour la seconde architecture et profitent de la réciprocité de l'antenne en émission et réception simultanément.

Dans la seconde architecture Figure II-23 (b), la séparation des signaux émis et reçus se fait grâce à un coupleur directionnel ou d'un circulateur. Cependant, les coupleurs directionnels et les

circulateurs ne sont pas parfaits. L'isolation entre les voies montante et descendante n'est alors pas suffisante et la perturbation qui s'ajoute au signal reçu peut limiter la sensibilité de la réception et en conséquence dégrader considérablement les performances globales du système.

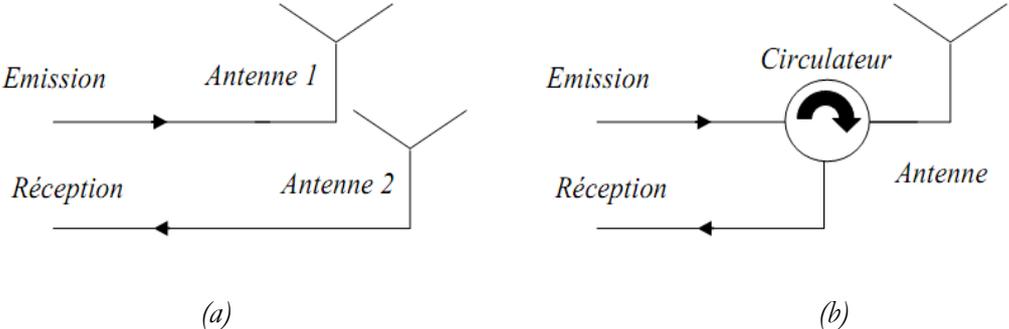


Figure II-23 : Architecture bi-statique (a) et Architecture mono-statique (b)

Cette imperfection est généralement soulevée à l'aide d'un bloc de compensation présenté dans [3-4] illustré dans la Figure II-24.

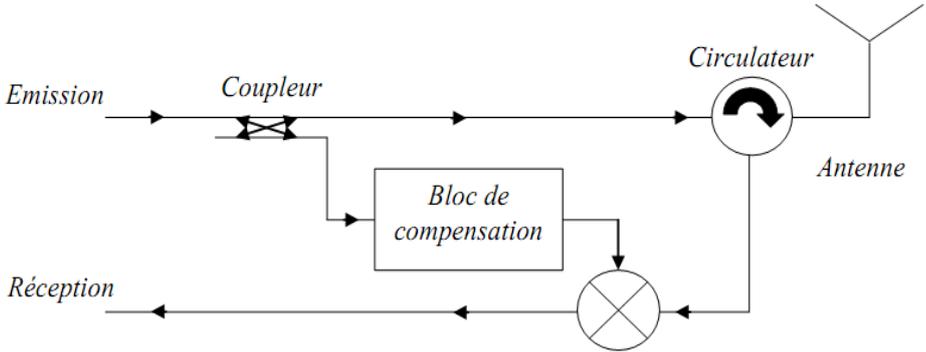


Figure II-24 : Bloc de compensation dans la chaîne d'émission/réception

La Figure II-25 illustre quelques exemples d'antennes utilisées pour les lecteurs trouvés en industrie.



Figure II-25 : exemples d'antennes de lecteur en industrie

II.3.4 Communication Tag Reader

La communication du Tag avec le Reader s'établit graduellement, le tag devra recevoir de l'énergie afin qu'il puisse activer l'antenne qu'elle lui est associée :

II.3.4.1 Alimentation du Tag

Les systèmes RFID qui ont reçu le plus d'importance sont les systèmes dits « Systèmes à longue portée ». La portée de ces derniers est supérieure à un mètre, ils fonctionnent aux fréquences UHF suivantes :

- 400 MHz ;
- 660 MHz ;
- 860 MHz en Europe ;
- 915 MHz aux Etats-Unis ;
- 960 MHz en Asie ;
- et aux fréquences microondes de 2.45 et 5.8 GHz.

A ce stade, nous trouvons important d'introduire des notions principales d'échange de puissance comme : la densité de puissance, la Puissance Isotropique Effective EIRP (*Effective Isotropic Radiative Power*) et la Puissance Rayonnée Equivalente ERP (*Equivalent Radiated Power*) [3].

Concrètement, quand une onde électromagnétique EM se propage dans un certain milieu de manière sphérique à partir de l'endroit de sa création, elle transporte l'énergie dans l'espace environnant [18]. Plus l'onde EM se propage dans l'espace et plus la distance R qui la sépare de sa source initiale augmente et l'énergie sera divisée sur la surface sphérique qui l'entoure, on parle alors de densité de rayonnement S .

Selon le type de l'antenne utilisée, la densité de rayonnement s'exprime différemment :

- Si l'antenne est isotrope, le rayonnement se propage de la même manière dans toutes les directions de l'espace. La densité de rayonnement est alors donnée par l'équation (II-1) :

$$S = \frac{P_{EIRP}}{4\pi R^2} \quad (\text{II-1})$$

- Si l'antenne n'est pas isotrope, la dissipation de l'énergie se fait en grande partie selon un certain lobe principal dans une certaine direction. Si G est le gain de l'équation (II-2):

$$P = \frac{P_{EIRP}}{G} \quad (\text{II-2})$$

Où G représente le gain de l'antenne.

Nous déduisons que plus le gain est grand et plus la puissance injectée à l'antenne est petite.

L'estimation de l'énergie suffisante pour un bon fonctionnement RFID étant un paramètre important, il est recommandé de prendre en considération les différentes pertes lors de la propagation, ces pertes sont exprimées par l'équation de FRIIS (équation (II-3)) [21].

Nous nous contentons dans cette partie d'exprimer les pertes de transmission entre le Tag et le Reader, nous y reviendrons en plus de détail dans le prochain chapitre lorsque nous détaillerons les différents paramètres caractéristiques des antennes.

L'équation de FRIIS relie la puissance émise P_L par le Reader dans tout l'espace, la puissance reçue par le tag notée P_T par son antenne, la distance entre l'antenne du lecteur et celle du tag (R), la fréquence de fonctionnement (λ) et les gains (de l'antenne du lecteur et celle du tag):

$$\frac{P_T}{P_L} = \left(G_L \cdot \frac{1}{4\pi R^2}\right) \cdot \left(G_T \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi}\right) = G_L \cdot G_T \cdot \left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2 \quad (\text{II-3})$$

La perte en espace libre est définie par :

$$a_F = 10 \cdot \log\left(\frac{P_L}{P_T}\right) \quad (\text{II-4})$$

On obtient donc les équations suivantes :

$$a_F = 20 \cdot \log\left(\frac{4\pi R f}{c}\right) - 10 \cdot \log(G_L) - 10 \cdot \log(G_T) \quad (\text{II-5})$$

$$a_F = -147.6 + 20.\log(R) + 20.\log(f) - 10.\log(G_L) - 10.\log(G_T) \quad (\text{II-6})$$

Où c est la vitesse de la lumière.

En industrie, il est recommandé de concevoir des puces électroniques ayant une consommation de 5 W au maximum. Une portée de 3 mètres peut être atteinte en UHF et une portée d'un peu plus de 1 mètre est réalisée à la fréquence à 2.45 GHz. Si la puce du tag consomme plus qu'elle ne le devrait, la portée obtenue se détériorera en conséquence. Si nous souhaitons avoir une portée plus importante, il est souhaitable d'insérer une batterie au bord du tag pour assurer plus d'énergie et ainsi assurer la portée désirée.

II.3.4.2 Transmission de données du tag au lecteur

Nous résumons le processus de la transmission entre le tag et le lecteur en illustrant l'ensemble des dispositifs sur la Figure II-26.

Soit la P_1 la puissance émise par l'antenne du lecteur vers le tag. Cette puissance va s'atténuer durant son parcours, et donc seulement une partie de cette puissance est captée par l'antenne du tag.

L'antenne tag reçoit donc la puissance P'_1 , en forme de tension HF, qui sera transmise à son tour vers la puce électronique, après avoir été redressée par les diodes D_1 et D_2 . Souvent P'_1 sert comme un stimulateur de puce si elle se retrouve en mode « sommeil ».

En retour, une portion de la puissance P'_1 est réfléchiée par l'antenne tag sous forme de puissance P_2 . Les caractéristiques de réflexion de l'antenne peuvent être altérées par la modulation de la charge à ses bornes, d'où l'utilisation d'une résistance R_L connectée en parallèle aux bornes de l'antenne, pour une meilleure adaptation.

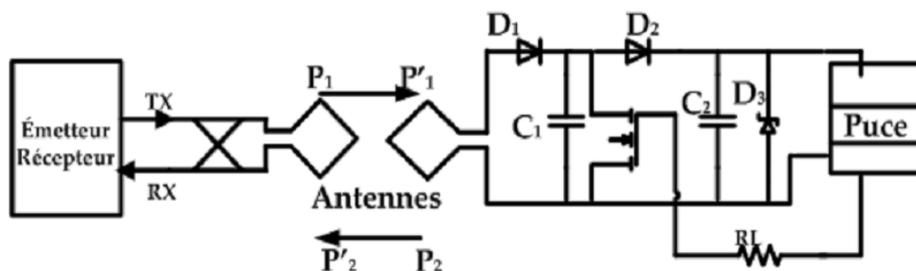


Figure II-26 : Communication entre le lecteur et le tag en circuits électroniques

II.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons en premier lieu présenté les différents types de systèmes RFID existants, nous les avons classés selon leurs fréquences de fonctionnement et selon leur fonctionnement. Nous nous sommes étalés par la suite sur les systèmes RFID passifs étant l'objet de notre sujet de thèse. Nous avons présenté la constitution de ce type de systèmes (tag et reader) ; le mode de communications entre ces organes et les différents protocoles qui les régissent, nous avons abordé également leur architecture interne.

Les antennes étant des éléments indispensables dans l'établissement de la communication entre le tag et le lecteur, nous avons trouvé judicieux de leur consacrer tout un chapitre afin d'étudier les paramètres et performances à considérer lors de la conception.

Références Bibliographiques du Chapitre II

- [1] M. Dobkin Daniel, *The RF in RFID: Passive RFID UHF In Prcatice*, Oxford: Newnes, 2008.
- [2] A. Ghiotto, «Conception D'Antennes De Tags Rfid Uhf, Application A La Realisation Par Jet De Matiere,» Thèse de Doctorat, Institut polytechnique de Grenoble, 26 Novembre 2008.
- [3] K.Finkenzeller, *RFID Handbook*, Munich: John Wiley & Sons, 2007.
- [4] D. Paret, *RFID At Ultra And Super High Frequencies : Theory And Application*, New York: John Wiley & Sons, 2009.
- [5] A. Stelzer, «Multi Reader/Multi-Tag SAW RFID Systems Combining Tagging, Sensing, and Ranging for Industrial Applications,» *Frequency Control Symposium, 2008 IEEE International*, pp. 263 - 272, 2008.
- [6] M. Schußler, «Performance Evaluation of Left-Handed Delay Lines For RFID Backscatter Applications,» *Microwave Symposium Digest, 2008 IEEE MTT-S International*, pp. 177-180, 2008.
- [7] A. Hagelauer, «SAW and CMOS RFID Transponder-Based Wireless Systems and Their Applications,» *Frequency Control Symposium (FCS), 2012 IEEE International*, pp. 1-6, 2012.
- [8] S. H. Y. Zhou, «Study Of a Uniplanar Monopole Antenna For Passive Chipless UWB-RFID Localization System,» *IEEE Transactions On Antennas And Propagation*, vol. 58, pp. 271-278, 2010.
- [9] P. Gentner, «A Passive Ultra Wideband Tag For Radio Frequency -Identification Or Wireless Sensor Networks,» *IEEE International Conference on Ultra-Wideband (ICUWB)*, pp. 417-420, 2012.
- [10] R. Vauche, «A Remotely UHF Powered UWB Transmitter For High Precision Localization Of RFID Tag,» *IEEE Journal Of Solid-State Circuits*, vol. 40, pp. 1193-2202, November 2005.
- [11] I. Vita, «Design Criteria for the RF Section of UHF and Microwave Passive RFID Transponders,» *IEEE Transactions On Microwave Theory And Techniques*, vol. 53, pp. 2978-2990, September 2005.
- [12] Z. Zheng, «Brief Comparison of Different Rectifier Structures For HF And UHF RFID,» University of Adelaide, 2004.
- [13] U. Karthaus, «Fully Integrated Passive UHF RFID Transponder IC With 16.7 mW Minimum RF Input Power,» *IEEE Journal Of Solid-State Circuits*, vol. 38, pp. 1602-1608, October 2005.
- [14] W. G. Yeoh, «A CMOS 2.45-GHz Radio Frequency Identification Tag IC with ReaWrite Memory,» *Radio Frequency Integrated Circuits (RFIC) Symposium, Digest of Papers, IEEE*, pp. 365-368, 2005.

- [15] F. Klaus, RFID Handbook Fundamentals And Applications In Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification And Near-Field, Communication, USA: John Wiley & Sons, 2010.
- [16] C. Jari-Pascal, «Analysis and Optimization of Passive UHF RFID Systems,» Thèse de Doctorat, Lausanne, EPFL, 2006.
- [17] L. Sydänheimo, «Effects Of Size And Shape Of Metallic Objects On Performance Of Passive Radio Frequency Identification,» International Journal Advanced Manufacturing Technology , SPRINGER, vol. 30, pp. 897–905, 2006.
- [18] B. Delphine, «Contribution au Developpement de Tag RFID UHF et Microondes sur Materiaux Plastiques,» Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, 2005.
- [19] A. Dhouibi, «Low-Profile Substrate-Integrated Lens Antenna Using Metamaterials,» Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE, vol. 12, pp. 43-46, 2013.
- [20] M. Gaetano, «The Art of UHF RFID Antenna Design: Impedance-Matching and Size-Reduction Techniques,» IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 50, pp. 66-79, 2009.
- [21] C. Balanis, Antenna Theory: Analysis and Design, New York: John Wiley & Sons, 2005.

CHAPITRE III

Antennes pour Tags

RFID Passifs

Présentation Du chapitre

L'élaboration de toute communication dépend en grande partie des performances des antennes mises en jeu, c'est la raison pour laquelle une étude détaillée de ces éléments est primordiale.

Ce chapitre a comme but de rappeler l'essentiel de la théorie des antennes et d'exposer quelques types d'antennes mis en œuvre en technologie RFID.

Sommaire

CHAPITRE III	77
III.1 Introduction.....	79
III.2 Paramètres d'une antenne.....	79
III.2.1 Les paramètres de rayonnement	80
III.2.2 Les paramètres circuits.....	89
III.3 Les principaux types d'antennes tag RFID UHF passifs	93
III.3.1 Les antennes IFA.....	93
III.3.2 Les antennes imprimées (microrubans)	97
III.3.3 Les dipôles	99
III.4 La puce dans les systèmes RFID passifs	102
III.4.1 Modélisations électriques des puces RFID passives	102
III.5 Conclusion	103
Références Bibliographiques du Chapitre III	104

III.1 Introduction

Ayant été désignées comme les composants les plus indispensables à la transmission et à la réception des ondes électromagnétiques EM, les antennes jouent un rôle fondamental dans les systèmes qui les utilisent comme support de transmission [1-3]. En effet, les antennes permettent d'assurer la liaison entre deux zones distinctes représentées, dans le cas de notre application par le tag RFID et le lecteur (*Reader*). Ce moyen de transmission est avantageux du point de vue économique notamment lorsque que les zones à relier sont éloignées [4].

En général, une antenne est un transducteur entre une ligne de transmission connectée à un générateur et le milieu où l'onde va se propager. Par conséquent, une antenne est un dispositif qui permet de recevoir et d'émettre les ondes radioélectriques [1-7].

Ainsi, on peut définir une antenne en émission ou en réception selon son mode de fonctionnement. Une antenne en émission est un composant qui assure la transmission de l'énergie entre une source et l'espace libre dans lequel cette énergie va se propager. Réciproquement, une antenne en réception est un dispositif qui assure la transmission de l'énergie d'une onde se propageant dans l'espace à un appareil récepteur [8].

En technologie RFID, le tag est doté d'une antenne, qui représente l'interface entre la puce et le lecteur. Elle désigne un paramètre décisif dans la performance de ce système, parce qu'elle représente le moyen de rayonner le signal de données à communiquer au reader.

Dans ce chapitre, nous allons tout d'abord énumérer les différents paramètres et caractéristiques des antennes, ainsi que leurs performances. Des exemples de structures d'antennes utilisées dans les tags RFID passifs seront présentés par la suite.

III.2 Paramètres d'une antenne

Nombreux sont les paramètres qui permettent la description des caractéristiques et des performances des antennes. Les plus importants décrivent leurs caractéristiques en adaptation, l'antenne est considérée alors comme un élément de circuit électrique, dans ce cas on parle des *paramètres électriques*. Un autre point important caractérise les antennes du point de vue propagation des ondes électromagnétiques, on parle dans ce cas de paramètres de rayonnement. La plupart de ces caractéristiques sont définies à partir de la notion de puissance qu'elle soit absorbée ou rayonnée [1-4].

III.2.1 Les paramètres de rayonnement

Une représentation graphique en trois dimensions, paramétrée en fonction de la direction, permet de présenter au mieux les caractéristiques de rayonnement. Sur la Figure III-1, nous pouvons observer une sphère partielle. Sur cette sphère, nous avons évalué les composantes du champ électrique qui permettent de caractériser le rayonnement d'une antenne [1-3].

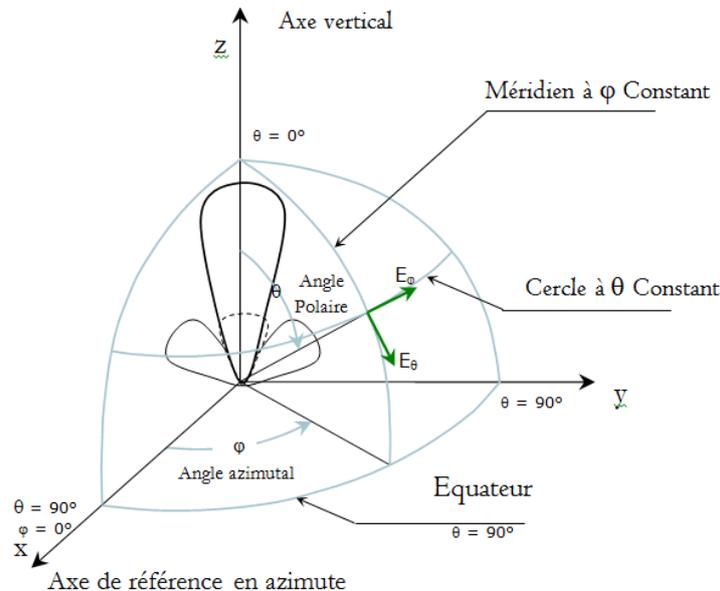


Figure III-1 : Système des coordonnées pour l'analyse d'antenne

A grande distance r d'une antenne supposée à l'origine du système de référence, l'onde rayonnée est sphérique et présente localement les propriétés d'une onde plane. Dans le système des coordonnées sphériques, le champ électrique s'écrit sous la forme suivante :

$$\vec{E}(r, \theta, \varphi) = \alpha \cdot \frac{\exp(-jkr)}{r} \cdot (E_\theta(\theta, \varphi) \cdot \vec{u}_\theta + E_\varphi(\theta, \varphi) \cdot \vec{u}_\varphi) \quad (\text{III-1})$$

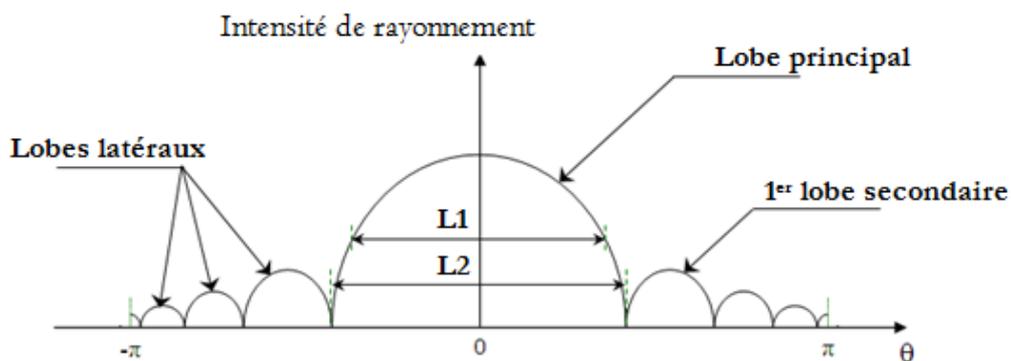
- (r, θ, φ) sont les coordonnées du point M dans un repère de coordonnées sphériques associé au point O ;
- \vec{k} est le vecteur d'onde : $\vec{k} = 2 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot \vec{u}_r$;
- \vec{u}_θ , \vec{u}_φ et \vec{u}_r sont les vecteurs attachés à M et correspondant au repère précédemment illustré ;
- E_θ et E_φ sont deux composantes du champ électrique ne dépendant que de (θ, φ) ;
- α est un coefficient complexe indépendant de r, θ et φ .

On définit la caractéristique de rayonnement de l'antenne par la fonction caractéristique $\vec{F}(\theta, \varphi)$, telle que :

$$\vec{F}(\theta, \varphi) = E_{\theta}(\theta, \varphi) \cdot \vec{u}_{\theta} + E_{\varphi}(\theta, \varphi) \cdot \vec{u}_{\varphi} \quad (\text{III-2})$$

III.2.1.1 Le diagramme de rayonnement

Le diagramme de rayonnement d'une antenne est la distribution spatiale d'une grandeur qui caractérise le champ électromagnétique rayonné par l'antenne. Cette distribution est exprimée le plus souvent par la fonction caractéristique. Il est cependant plus intéressant de considérer l'intensité de rayonnement (proportionnelle au carré de la norme de \vec{E}), en fonction des angles de déviation (θ, φ) dans l'espace. C'est une représentation qui nous donne les directions de rayonnement les plus efficaces de l'antenne. Ces diagrammes sont caractérisés par un lobe principal et des lobes [1-3] (Figure III-2).



L1 : largeur à mi puissance

L2 : largeur du lobe principale

Figure III-2 : Tracé du diagramme en puissance et caractérisation des lobes et leurs largeurs

III.2.1.1.1 Le lobe principal

Comme le montre la Figure III-2, la quasi-totalité de la puissance est concentrée dans la direction du maximum de rayonnement, formant ce qu'on appelle le lobe principal, caractérisé par sa largeur totale et sa largeur à mi-puissance, ou à -3 dB (ou à $1/2$ pour un diagramme en amplitude).

III.2.1.1.2 Lobes secondaires

Appelés également lobes latéraux, ils correspondent à des remontées du diagramme de rayonnement en dehors du lobe principal. Ils sont caractérisés par leur niveau relatif et éventuellement par leur forme et leur position (Figure III-2).

Le diagramme de rayonnement d'une antenne est indépendant de la distance (source - point M). Il dépend par contre des deux composantes du champ électrique suivant \vec{u}_θ et \vec{u}_ϕ . Ceci, nous amène à évoquer un point important qui est la polarisation [1-3].

III.2.1.2 La polarisation

La polarisation du champ électromagnétique rayonné par une antenne est donnée par la direction et la variation du champ électrique \vec{E} ou magnétique \vec{H} par rapport au temps.

La décomposition du vecteur champ électrique \vec{E} d'une onde plane TEM (*Transverse ElectroMagnétique*) qui se propage dans la direction +z se présente sous la forme de deux composantes (selon x et selon y) [1]:

$$\vec{E}(z, t) = \hat{a}_x E_x(z, t) + \hat{a}_y E_y(z, t) \quad (\text{III-3})$$

Où :

$$E_x(z, t) = \text{Re}(E_{x0} e^{j(\omega t - kz)}) = E_{x0} \cos(\omega t - kz) \quad (\text{III-4})$$

$$E_y(z, t) = \text{Re}(E_{y0} e^{j(\omega t - kz + \delta)}) = E_{y0} \cos(\omega t - kz + \delta) \quad (\text{III-5})$$

Avec :

- E_{x0} et E_{y0} , sont les amplitudes respectives de la composante en x et en y du champ électrique ;
- δ est la différence de phase entre les deux composantes ;
- \hat{a}_x et \hat{a}_y , sont les vecteurs unitaires selon les deux directions.

Afin de connaître le type de polarisation, on définit un paramètre de taux d'ellipticité AR correspondant au rapport de b l'axe majeur sur a l'axe mineur de l'ellipse (Figure III-3).

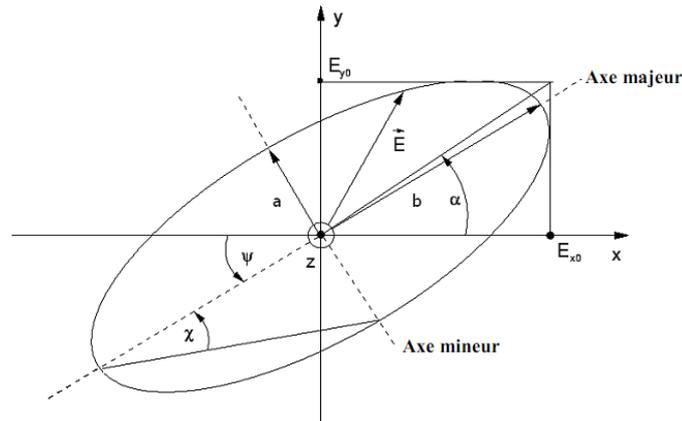


Figure III-3 : Représentation de la rotation dans le temps du vecteur champ électromagnétique d'une onde plane dans le plan xy ($E_z = 0$)

Le taux d'ellipticité est compris entre $1 < AR < \infty$.

$$AR = \frac{b}{a} = \frac{1}{\tan\left(\frac{1}{2} * \sin^{-1}\left(\frac{2 * E_{x0} * E_{y0} * \sin \delta}{E_{x0}^2 + E_{y0}^2}\right)\right)} \quad (\text{III-6})$$

Selon la valeur de AR, 3 types de polarisation sont distingués :

- La polarisation linéaire : si le champ \vec{E} garde une direction constante dans le temps, on parle d'une polarisation rectiligne. Elle correspond à un taux d'ellipticité $AR = \infty$.
- La polarisation circulaire : si la direction du champ \vec{E} varie avec le temps de telle sorte à ce qu'en un point donné de l'espace, les positions successives de l'extrémité du vecteur champ \vec{E} décrivent un cercle. Elle correspond à un taux d'ellipticité $AR = 1$. Cependant, on considère communément que la polarisation est circulaire pour $1 < AR < 2$ (soit $AR_{(dB)} < 3\text{dB}$)
- La polarisation elliptique : une onde électromagnétique est polarisée elliptiquement si l'extrémité du vecteur champ électrique décrit une ellipse dans le temps. Elle correspond à un taux d'ellipticité $1 < AR < \infty$ (communément $2 < AR < \infty$).

III.2.1.3 Le gain

Le gain est une quantité descriptive de la performance d'une antenne. Il se définit comme le rapport de l'intensité maximale de rayonnement obtenue au sommet du lobe principal sur l'intensité de rayonnement dans la même direction qui serait produite pour une source électromagnétique isotrope alimentée par la même puissance d'entrée. Il se résume par la formule suivante [1-7] :

$$G_{max} = 4\pi \frac{\text{Densité de puissance rayonnée dans la direction du maximum/Unité d'Angle Solide}}{\text{Puissance totale acceptée}} \quad (\text{III-7})$$

Le gain est une grandeur sans dimension, il est généralement exprimé par sa valeur en décibels :

$$G_{dB} = 10 \cdot \text{Log}_{10}(G) \quad (\text{III-8})$$

III.2.1.4 Directivité

La directivité d'une antenne caractérise la manière dont cette antenne concentre son rayonnement dans des directions privilégiées. Suivant ce critère, il est possible de distinguer les antennes peu directives (dont le rayonnement est largement réparti dans l'espace) des antennes directives (où le rayonnement est localisé dans une région réduite de l'espace).

Pour la direction de rayonnement maximal, la directivité est définie comme étant le quotient entre l'intensité de rayonnement dans cette direction et la valeur moyenne de cette intensité de rayonnement pour toutes les directions de l'espace [1-5].

$$D_{max}(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{\text{l'intensité du maximum de rayonnement}}{\text{Puissance totale rayonnée}} \quad (\text{III-9})$$

Comme le gain, cette grandeur est également mesurée en décibels :

$$D_{dB} = 10 \cdot \text{Log}_{10}(D_{max}(\theta, \varphi)) \quad (\text{III-10})$$

III.2.1.5 L'efficacité de rayonnement

L'efficacité de rayonnement totale e_t d'une antenne est une grandeur utilisée afin de prendre en considération les pertes à l'entrée de l'antenne ainsi que dans la structure de cette dernière. En effet, les pertes peuvent être causées par les réflexions provenant d'une mauvaise adaptation de l'antenne au circuit qui lui est associé, mais également par les propriétés intrinsèques des matériaux diélectriques et conducteurs qui la constituent. Elle est donnée par [1-5] :

$$e_t = e_r e_c e_d \quad (\text{III-11})$$

Où :

e_r, e_c, e_d sont les efficacités dues à la réflexion, aux propriétés conductrices et aux propriétés diélectriques respectivement.

Il reste toujours difficile de dissocier les efficacités diélectriques et conductrices d'un matériau, c'est la raison pour laquelle elles ont été rassemblées en un seul terme e_{cd} .

Donc l'équation (III-11) devient :

$$e_t = e_r e_{cd} \quad (\text{III-12})$$

La puissance rayonnée par une antenne P_{rad} , est reliée à la puissance acceptée par l'antenne P_{in} par le paramètre e_{cd} :

$$P_{rad} = e_{cd} P_{in} \quad (\text{III-13})$$

De même, La relation entre le gain d'une antenne et sa directivité est donnée par :

$$G(\theta, \varphi) = e_{cd} D(\theta, \varphi) \quad (\text{III-14})$$

Le coefficient de qualité de rayonnement Q_{rad} peut également être défini en fonction du coefficient de qualité Q d'une antenne, il est exprimé par :

$$Q = e_{cd} Q_{rad} \quad (\text{III-15})$$

L'efficacité e_{cd} est reliée aux paramètres électriques de l'antenne, elle est définie comme le rapport entre la puissance dissipée par la résistance de rayonnement sur la puissance totale dissipée, de ce fait :

$$e_{cd} = \frac{R_r}{R_r + R_p} \quad (\text{III-16})$$

Ou R_r : Résistance de rayonnement

R_p : Résistance exprimant les pertes par conduction

III.2.1.6 Les régions du champ électromagnétique

Le champ électromagnétique rayonné par une antenne peut être divisé en plusieurs régions comme illustré sur la Figure III-4, où a désigne la plus grande dimension de l'antenne [4-7].

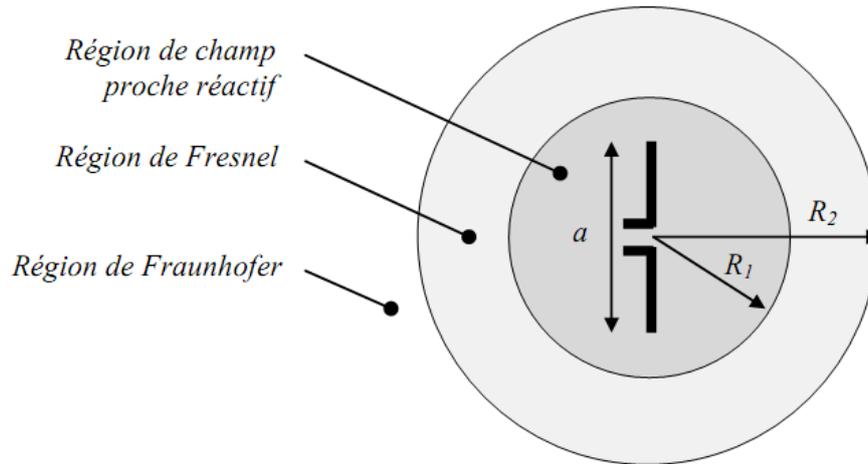


Figure III-4 : Illustrations des régions du champ électromagnétique d'une antenne

Ces régions sont délimitées par les sphères de rayon R_1 et R_2 respectivement définies par [1] [4-7]:

$$R_1 = 0.62 \sqrt{\frac{a^3}{\lambda}} \quad (\text{III-17})$$

$$R_2 = \frac{2a^2}{\lambda} \quad (\text{III-18})$$

- Le champ électromagnétique dans la zone proche dite zone de **Rayleigh**, est de nature quasi-statique.
- La zone de **Fresnel** (ou région de champ proche radiatif), est une région intermédiaire entre la région du champ proche et la région du champ lointain. Cette zone peut ne pas exister s'il s'agit d'une antenne de taille miniature $< \frac{\lambda}{4}$.

Dans cette région, la distribution du champ électromagnétique dépend de la distance par rapport à l'antenne.

- La zone de **Fraunhofer** (ou région de champ lointain) est définie comme étant la zone pour laquelle le champ électromagnétique rayonné par l'antenne ne dépend pas de la distance par rapport à elle.

III.2.1.7 Affaiblissement d'une liaison Radio

L'affaiblissement d'une liaison entre deux antennes séparées par une distance « d » en espace libre est exprimé par l'équation de FRIIS. La distance en question est supposée suffisamment grande pour permettre l'utilisation de l'expression à champ éloigné. De plus, les polarisations des antennes (émettrices et réceptrices) sont supposées de même nature. Les gains des deux antennes sont notés par G_e et G_r [1,4-7].

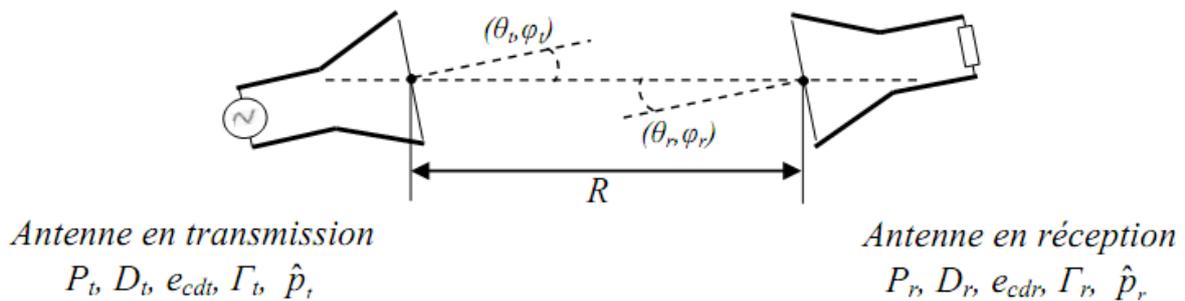


Figure III-5 : Illustration d'antennes d'émission et de réception

La formule complète de FRIIS est donnée par :

$$\frac{P_r}{P_t} = e_{cdt} e_{cdr} (1 - |\Gamma_t|^2) (1 - |\Gamma_r|^2) \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 D_t(\theta_t, \varphi_t) D_r(\theta_r, \varphi_r) |\hat{p}_t \cdot \hat{p}_r|^2 \quad (\text{III-19})$$

Où P_t et P_r : représentent la puissance de transmission et de réflexion respectivement.

D_t et D_r : représentent la directivité de l'antenne en transmission et de réflexion.

Γ_t et Γ_r : représentent le coefficient de réflexion de l'antenne en transmission et en réflexion.

\hat{p}_t et \hat{p}_r : représentent les vecteurs unitaires de l'onde transmise et réfléchi respectivement.

Le terme $\left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2$ est appelé facteur de perte en espace libre (ou PL pour Path Loss).

III.2.1.8 L'équation Radar

L'équation radar traduit l'influence des phénomènes physiques sur la puissance rayonnée, la propagation de l'onde, jusqu'à la réception du signal réfléchi (écho). L'équation du radar permet donc de réaliser une estimation des performances d'un système radar.

La notion de la section radar σ ou RCS (*Radar Cross Section*) s'introduit comme étant l'aire équivalente qui intercepte une quantité de puissance et la rayonne de façon isotropique, produisant la même densité de puissance réfléchiée par la cible au niveau du récepteur [1,4-7,9].

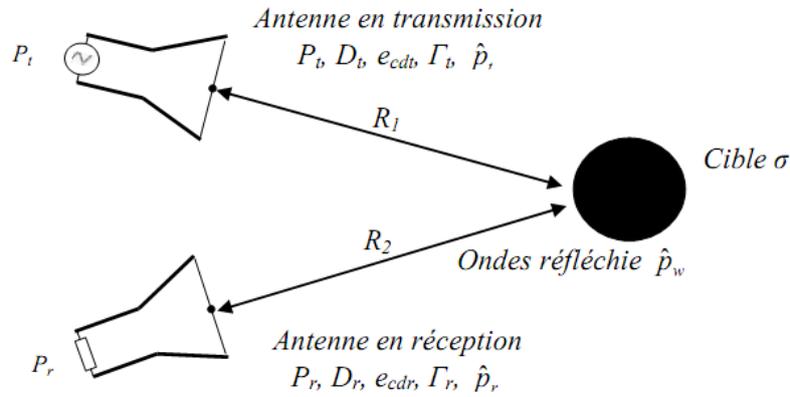


Figure III-6 : Illustration de l'application radar

La Figure III-6 illustre mieux le système.

La section Radar peut être calculée par [1] :

$$\sigma = \lim_{R \rightarrow \infty} [4\pi R^2 \frac{S_r}{S_i}] \quad (\text{III-20})$$

S_i : représente la densité de puissance de l'onde incidente ;

S_r : la densité de puissance de l'onde réfléchiée.

L'équation Radar est donc exprimée par :

$$\frac{P_r}{P_t} = e_{cdt} e_{cdr} (1 - |\Gamma_t|^2)(1 - |\Gamma_r|^2) \left(\frac{\lambda}{4\pi R_1 R_2} \right)^2 \sigma \frac{D_t(\theta_t, \varphi_t) D_r(\theta_r, \varphi_r)}{4\pi} |\hat{p}_w \cdot \hat{p}_r|^2 \quad (\text{III-21})$$

\hat{p}_w : est le vecteur unitaire de la polarisation de l'onde réfléchiée.

\hat{p}_r : représente le vecteur de la polarisation de l'antenne de réception.

III.2.1.9 La section Radar

La section radar d'une antenne est une notion très importante dans le domaine de la technologie RFID [1,4,5,9,10].

$$\sigma = |\sqrt{\sigma^s} - (1 + \Gamma_a)\sqrt{\sigma^a} e^{j\varphi}|^2 \quad (\text{III-22})$$

Où σ : est la section radar d'une antenne terminée par une charge Z_l ;

σ^s : est la section radar due au mode structurel ;

σ^a : la section radar due au mode antenne ;

Γ_a : le coefficient d'adaptation entre l'antenne et la charge ;

φ est la phase relative entre l'onde réfléchiée par le mode structurel et l'onde réfléchiée par le mode antenne.

Le mode structurel d'une antenne correspond à l'antenne en court-circuit et l'autre mode correspond à l'antenne connectée à une charge Z_l .

III.2.2 Les paramètres circuits

La connaissance des paramètres électriques (circuits) est cruciale pour déterminer les caractéristiques d'adaptation de l'antenne.

III.2.2.1 Impédance d'entrée

L'impédance d'entrée est une grandeur de première importance pour la conception du circuit associé à l'antenne. Sa connaissance est nécessaire, notamment pour adapter l'antenne au générateur qui l'alimente ou, en réception, pour un transfert maximum de puissance active à la charge [1,4-5,9-10].

Pour une modélisation électrique, une antenne est caractérisée par son impédance complexe Z_a . Cette impédance est constituée d'une partie réelle R_a et d'une partie imaginaire X_a équation (III-23).

$$Z_a = R_a + jX_a \quad (\text{III-23})$$

Quant à elle, la partie réelle R_a est composée d'une résistance de rayonnement R_r qui correspond à l'énergie rayonnée par l'antenne et d'une résistance de pertes R_p correspondante aux pertes de conduction, aux pertes diélectriques et aux pertes d'onde de surface de l'antenne (Equation (III-24)).

$$R_a = R_r + R_p \quad (\text{III-24})$$

En émission, le générateur possède également une impédance de sortie Z_g constituée d'une partie réelle R_g et d'une partie imaginaire X_g (III-25).

$$Z_g = R_g + jX_g \quad (\text{III-25})$$

Nous dressons un schéma équivalent d'une antenne en émission :

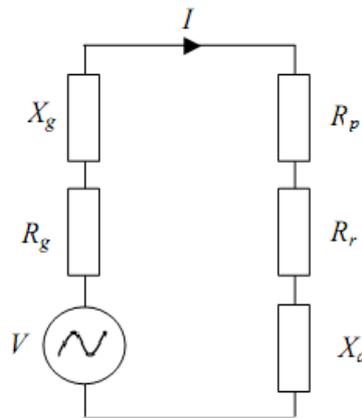


Figure III-7 : Schéma équivalent d'une antenne en émission

Et en réception, l'antenne est connectée à une charge ayant une impédance Z_l composée également d'une partie réelle R_l et d'une partie imaginaire X_l .

$$Z_l = R_l + X_l \quad (\text{III-26})$$

De même, le schéma équivalent d'une antenne en réception est représenté sur la Figure III-8.

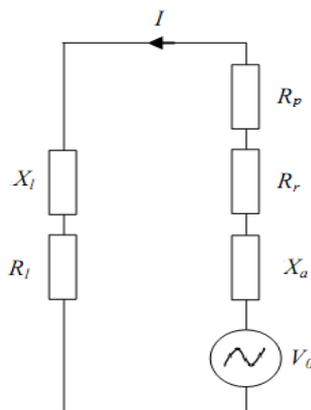


Figure III-8 : Schéma équivalent d'une antenne en réception

Dans cette figure, V_0 représente la tension aux bornes de l'antenne, elle est exprimée en fonction de la densité de puissance S de l'onde incidente par [1,9-10]:

$$\frac{|V_0|^2}{8R_a} = S \frac{\lambda^2}{4\pi} G \quad (\text{III-27})$$

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

III.2.2.2 Adaptation d'une antenne

Considérons une antenne d'impédance d'entrée Z_a reliée à une ligne d'impédance caractéristique Z_c . Le coefficient de réflexion Γ de cette antenne est alors donné par la relation suivante [1] [4-5] [9-10]:

$$\Gamma = \frac{Z_e - Z_c}{Z_e + Z_c} \quad (\text{III-28})$$

L'adaptation de l'antenne à sa ligne d'alimentation est obtenue lorsque $Z_a = Z_c^*$. Dans ce cas, il n'y a pas de perte de puissance. Ainsi à l'émission, la puissance fournie par l'émetteur est la même que celle délivrée à l'antenne. A la réception, la puissance captée par l'antenne est égale à la puissance fournie au récepteur.

L'adaptation d'une antenne peut être aussi caractérisée par le Rapport d'Ondes Stationnaires (R.O.S.). L'expression de celui-ci est la suivante :

$$R.O.S = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (\text{III-29})$$

Dans la pratique, l'adaptation est délicate par rapport à la géométrie de l'antenne, la fréquence de résonance, l'emplacement de la ligne d'alimentation ou encore l'impédance d'entrée. Ces paramètres jouent un rôle très important dans le fonctionnement d'une antenne.

Dans le cas où il n'existe pas de ligne de transmission entre l'antenne et la charge, qui présente une impédance complexe, il faut maximiser la puissance transmise à la charge. Le coefficient de réflexion en puissance Γ^* est défini par [1,4-5,9-10] :

$$\Gamma^* = \frac{Z_l - Z_a^*}{Z_l + Z_a} \quad (\text{III-30})$$

Γ^* : représente le rapport entre la puissance réfléchie par la charge et la puissance totale qui pourrait lui être transmise.

Le coefficient de réflexion est un nombre sans dimension et son équivalent en décibel est le coefficient S_{11} , toujours de signe négatif.

$$S_{11} = 20 \log(\Gamma) \quad (\text{III-31})$$

III.2.2.3 Le coefficient de transmission

La formule (III-32) définit le coefficient de transmission en puissance T. Il correspond au rapport de la puissance transférée à une charge sur la puissance totale maximum pouvant lui être transférée [1,4-5,9-10].

$$T = 1 - |\Gamma^*|^2 \quad (\text{III-32})$$

Le coefficient de transmission peut également être exprimé en fonction des impédances d'une antenne et de sa charge Z_a et Z_l en considérant l'antenne en réception (Figure III-8). Cette relation est d'une grande importance en RFID, parce qu'elle correspond au rapport entre la puissance transférée à une puce RFID et la puissance totale maximum pouvant lui être transmise.

$$T = \frac{4R_a R_l}{|Z_l + Z_a|^2} \quad (\text{III-33})$$

III.2.2.4 La bande passante

La largeur de bande d'une antenne est considérée comme étant l'ensemble des fréquences comprises entre une fréquence minimale F_{min} et une fréquence maximale F_{max} . C'est un paramètre exprimé en pourcentage (%) est qui se calcule en générale de la façon suivante [1,4-5,9-10] :

$$Bw = \frac{\Delta f}{f} \cdot 100 \quad (\text{III-34})$$

Les différentes caractéristiques des antennes ne variant pas de la même manière avec la fréquence, la détermination de la largeur de bande d'une antenne n'est donc pas unique. Les paramètres habituellement considérés pour la déterminer sont relatifs aux diagrammes de rayonnement (gain, direction et largeur du lobe principal, polarisation) et/ou à l'impédance (impédance d'entrée, efficacité de rayonnement, coefficient de réflexion, ROS...).

En RFID, la bande passante est directement reliée aux critères de performances attendues pour un tag RFID. Le niveau de puissance transmis acceptable T est défini en fonction de la distance de lecture souhaitée pour une application donnée.

III.2.2.5 Le coefficient de qualité

Le coefficient de qualité Q d'un circuit résonant est exprimé par [1] [4-5] [9-10]:

$$Q = 2\pi \frac{\text{energie stockée par cycle}}{\text{energie rayonnée et dissipée par cycle}} \quad (\text{III-35})$$

Pour une antenne, l'énergie perdue correspond à l'énergie rayonnée et à l'énergie dissipée par les pertes de conduction et par les pertes diélectriques (Equation (III-35)).

Dans notre travail, nous allons plutôt faire appel à quelques paramètres dont la connaissance permet un meilleur fonctionnement, il s'agit bien du :

- Coefficient de réflexion S_{11} ;
- Coefficient de transmission T ;
- Impédance d'entrée Z_a ;
- La portée ;
- Le diagramme de rayonnement ;
- La bande passante ;
- Et le gain.

La seconde partie de ce chapitre sera consacrée aux types d'antennes de tags RFID UHF passifs.

III.3 Les principaux types d'antennes tag RFID UHF passifs

Dans la littérature, nous rencontrons le plus souvent trois principaux types d'antennes pour les tags RFID UHF passifs [1-3,11-12] :

- les antennes IFA (*Inverted F Antenna*) ;
- les antennes patchs ;
- les antennes dipôles.

En effectuant des combinaisons de ces structures d'antennes ou en apportant quelques modifications, nous pouvons obtenir des antennes dérivées également présentées en technologie RFID.

Nous allons décrire chacune de ces structures, tout en présentant quelques exemples parus dans différentes manifestations scientifiques.

III.3.1 Les antennes IFA

III.3.1.1 Présentation des antennes IFA

Les antennes IFA sont des antennes miniatures (leur grandeur est de l'ordre de $\lambda/4$), leur atout réside dans un rayonnement quasi-isotrope, convoité dans certaines applications RFID pour lesquelles l'orientation du tag par rapport au lecteur est inconnue [13].

La bande passante de ces antennes peut être améliorée davantage en remplaçant les fils de l'antenne IFA avec de larges bandes, on obtient ainsi des antennes planaires en F inversée dites PIFA.

Les géométries primaires de telles antennes, sont représentées sur la Figure III-9 [13].

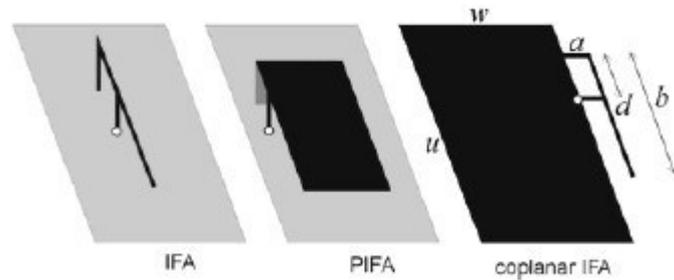


Figure III-9 : différentes configurations d'antennes IFA

A cause de la présence du plan de masse dans ce type d'antennes, elles sont plutôt appropriées à des applications d'identification d'objets ayant une grande conductivité notamment les objets métalliques, en outre elles sont adaptées pour être une plateforme d'insertion d'autres composants électroniques, tel que des capteurs, d'autres antennes, etc [1,4,6,9-10].

Ces antennes peuvent fonctionner en mode multibande si nous introduisons des fils conducteurs orthogonaux au plan de la masse.

Ces antennes sont plutôt appropriées aux applications des systèmes RFID actifs, parce que leur coût est relativement élevé.

Afin de faire varier les impédances d'entrées de ces antennes, nous pouvons modifier les paramètres géométriques a , b et d (Figure III-9). Comme le montre l'abaque de la Figure III-10 [13], la valeur de la réactance inductive s'accroît avec les paramètres b et d ; cependant la résistance est relative à la dimension d . Par conséquent, il est possible de trouver une zone correspondante à une impédance d'entrée donnée et ainsi des dimensions correspondantes [13].

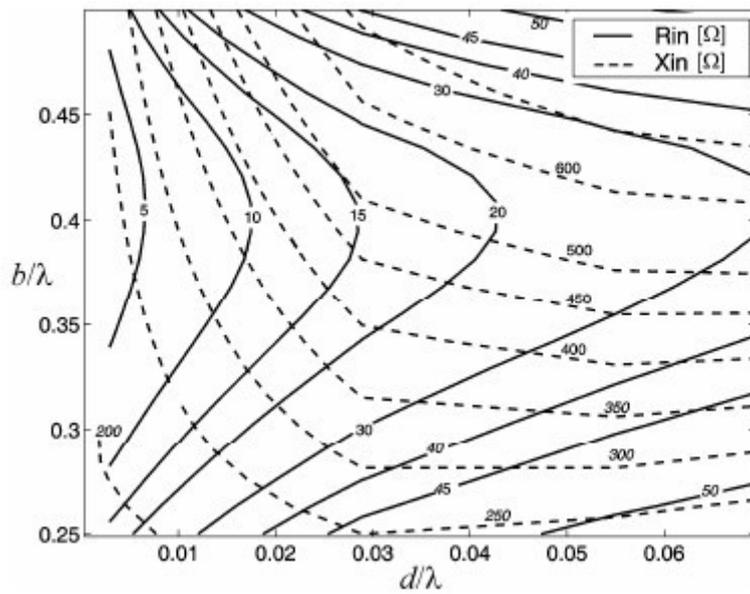


Figure III-10 : abaque correspondante aux antennes IFA coplanaires PIFA

N.B : à noter que l'abaque a été obtenu en fixant les paramètres à :

$$w = \frac{\lambda}{4}$$

$$u = \frac{\lambda}{2}$$

$$a = \frac{\lambda}{10}$$

III.3.1.2 Quelques configurations d'antennes IFA's dans la littérature

L'antenne IFA a été soumise à certaines modifications, aussi bien au niveau de l'élément rayonnant que sur le plan de masse (insertion de fentes, repliement de l'élément rayonnant, insertion de court-circuit...), ce qui a mené à une diversité de géométries et de modes de résonance. Nous présentons quelques géométries parues dans la littérature scientifique :

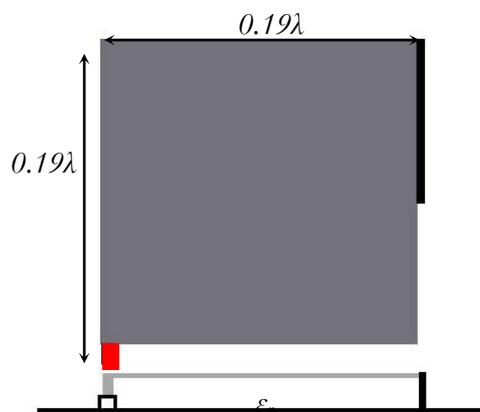


Figure III-11 : Antenne PIFA conventionnelle

La Figure III-11 montre une antenne PIFA conventionnelle, son élément rayonnant est d'une forme carrée, il est plié afin d'avoir une taille miniaturisée qui a atteint la valeur de 0.19λ , avec une fréquence de résonance 970Mhz [14].

Il est aussi possible de réaliser un réseau PIFA, comme a fait *Min-Chuan Tsai* dans son article [15]. Il s'agit d'une antenne qui fonctionne à la fréquence 900MHz, la taille du réseau est de 0.5λ , tandis que chaque PIFA a une dimension de $0.15 \lambda \times 0.18 \lambda$, comme on peut le voir dans la Figure III-12.

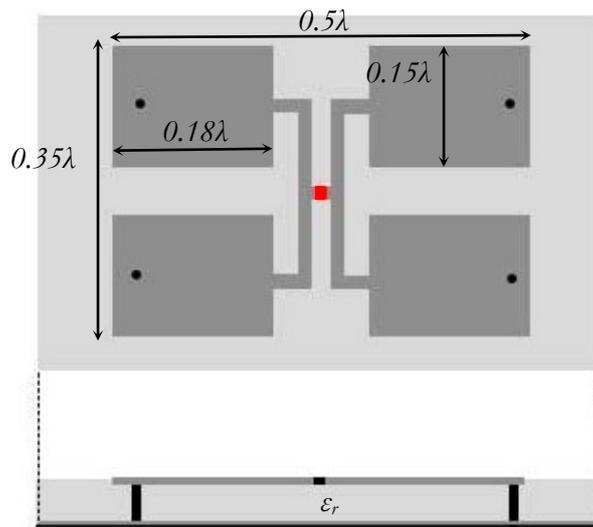


Figure III-12 : un réseau d'antennes PIFA

Comme nous l'avons cité auparavant, l'antenne PIFA peut avoir un fonctionnement multi bandes. Un des exemples est celui de l'antenne qui a fait l'objet de l'article [16]. Les auteurs ont abouti à un tel fonctionnement en insérant des encoches en U au niveau du patch, chacune de ces encoches est responsable de la génération d'une nouvelle résonance (Figure III-13). Les dimensions de cette antenne sont de l'ordre de 0.25λ . Cette structure présente de bonnes performances aux fréquences 430MHz, 910MHz et 2.45GHz.

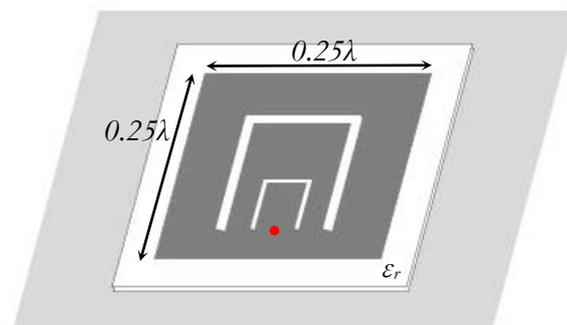


Figure III-13 : Antenne PIFA triple bande

III.3.2 Les antennes imprimées (microrubans)

III.3.2.1 Présentation d'antennes patches

Une antenne imprimée (appelée aussi antenne micro ruban ou patch) est constituée d'un élément rayonnant de forme arbitraire, gravé sur la face supérieure d'un substrat diélectrique, caractérisé par une permittivité relative (ϵ_r) et sa tangente de perte ($\tan \delta$). Tandis que l'autre face est le plus souvent complètement ou partiellement métallisée formant ainsi le plan de masse (Figure III-14) [1,4,9-11].

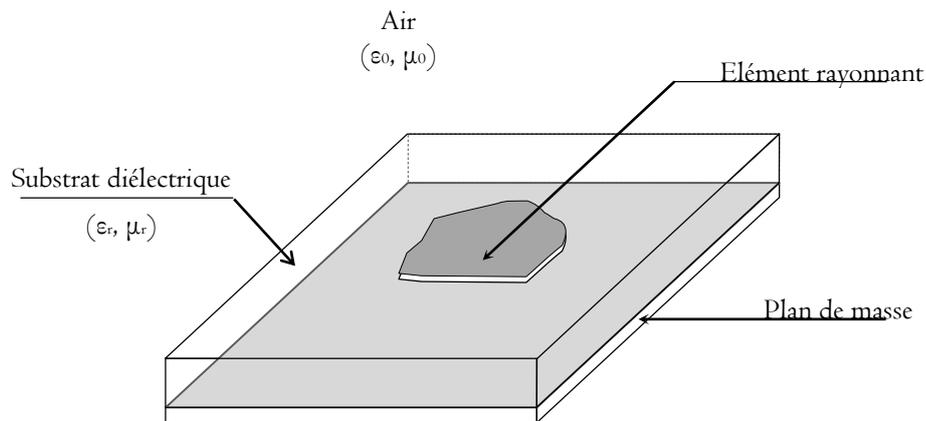


Figure III-14 : Géométrie d'une antenne patch

L'analyse de ce type d'antennes se fait soit par des méthodes numériques (*full work*) qui sont plus précises et plus rigoureuses ou par des modèles moins complexes mais beaucoup plus simples comme le modèle de la ligne de transmission ou celui de la cavité [1,4,9-11].

Ce type d'antenne permet d'avoir des polarisations circulaires ou linéaires en offrant un rayonnement directionnel. Les patches sont plus utilisés dans l'industrie en comparaison avec les antennes IFA, pour des raisons de conceptions ainsi que pour des raisons économiques.

III.3.2.2 Quelques Structures d'antennes patch pour Tas RFID

Comme nous l'avons déjà précisé, une antenne imprimée peut prendre plusieurs formes qu'elles soient régulières ou pas, les figures suivantes nous montrent quelques exemples [11-12] :

Cette première géométrie représentée sur la Figure III-15 est d'une taille de 0.5λ [10], elle est utilisée pour des applications d'identification d'objets métalliques, la fréquence de fonctionnement étant de 860MHz.

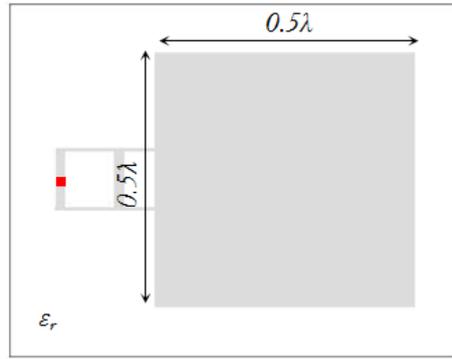


Figure III-15 : Exemple d'antenne patch carrée

L'antenne ci-dessous(Figure III-16) [17], présente une antenne patch dotée de plusieurs fentes, sa plus grande dimension est de 0.43λ , le but des auteurs était de concevoir une antenne destinée à des applications médicales fonctionnant à la fréquence 860MHz.

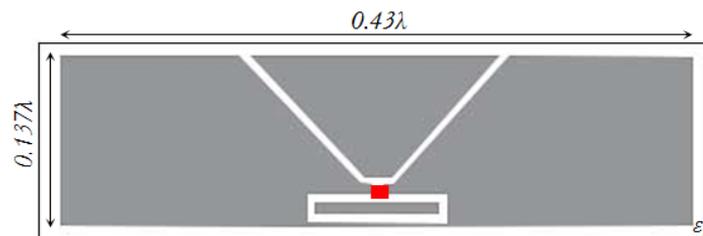


Figure III-16 : Patch doté de fentes

La dernière structure [13] est une antenne patch présentant une fente en forme de H; cette dernière a un caractère inductif (sans génération d'une résonance supplémentaire) qui lutte contre l'effet capacitif de la puce. La variation des dimensions de la fente a et b influe considérablement sur l'impédance de l'entrée.

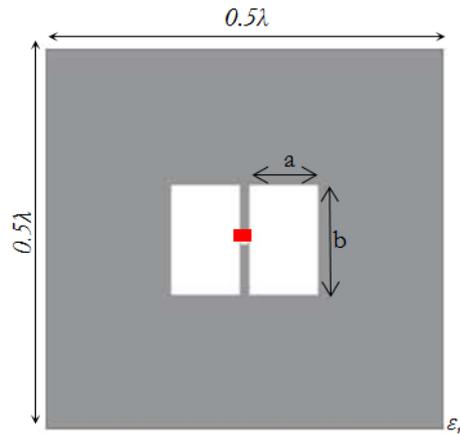


Figure III-17 : Antenne patch avec fentes

III.3.3 Les dipôles

III.3.3.1 Présentation des antennes dipôles

Ces antennes sont de loin les plus utilisées, grâce à plusieurs caractéristiques, notamment leur symétrie, leurs facilité d'intégration et surtout leurs faibles couts. Elles possèdent un rayonnement omnidirectionnel, et une polarisation linéaire [1,4-5,9-10]. La géométrie de base est présentée sur la Figure III-18.

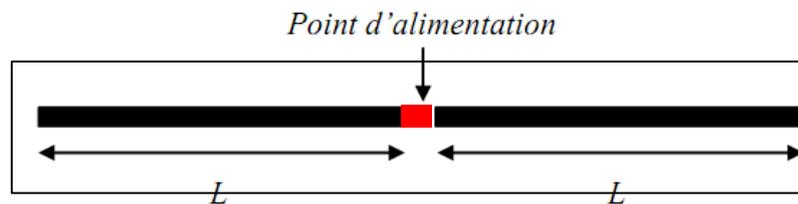


Figure III-18 : La géométrie de base d'un dipôle

III.3.3.2 Les dipôles présents en technologie RFID

Il existe une très grande diversité d'antennes dipôle de différentes formes, nous présentons quelques-unes :

L'une des techniques qui permet à la fois et la miniaturisation et la variation de la valeur de l'impédance complexe est le repliement, cette technique est très répandue et très efficace.

La première géométrie est un exemple de repliement, il s'agit d'une antenne de dimensions $(0.3\lambda \times 0.04\lambda)$ et qui fonctionne à la fréquence 900MHz [13].

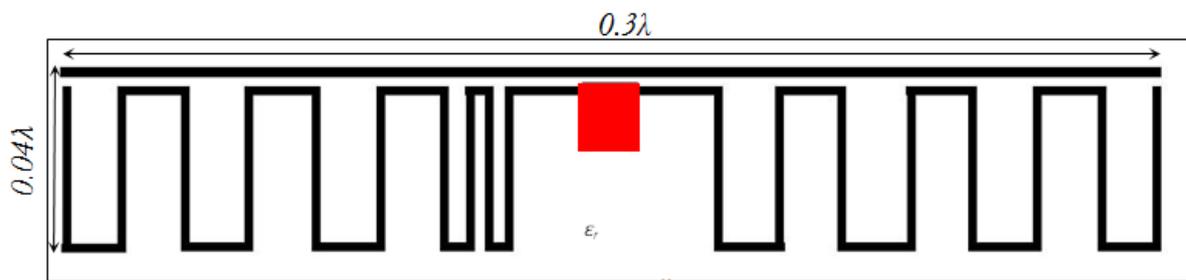


Figure III-19 : Antenne dipôle repliée

Les antennes repliées peuvent être périodiques, comme elles peuvent ne pas l'être.

La structure suivante est une antenne qui a fait l'objet de l'article [18]. Il s'agit d'une antenne papillon (Figure III-20), destinée à des applications médicales, dont la dimension est de 0.65λ . La fréquence de fonctionnement est de 860 MHz

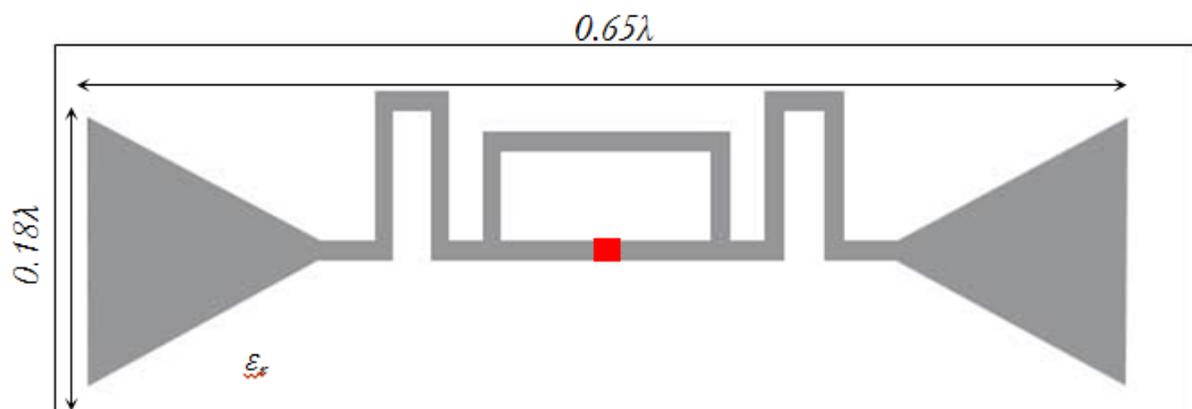


Figure III-20 : Antenne dipôle papillon

L'antenne illustrée par la Figure III-21 présentée par les auteurs de la référence [19], est une autre forme d'antenne papillon ayant une structure assez particulière. Dans chaque aile les auteurs ont inséré des via en métal afin de la rattacher à une autre antenne identique au-dessous d'elle, cette antenne à pour application l'identification d'objets métalliques et elle résonne à la fréquence 860 MHz.

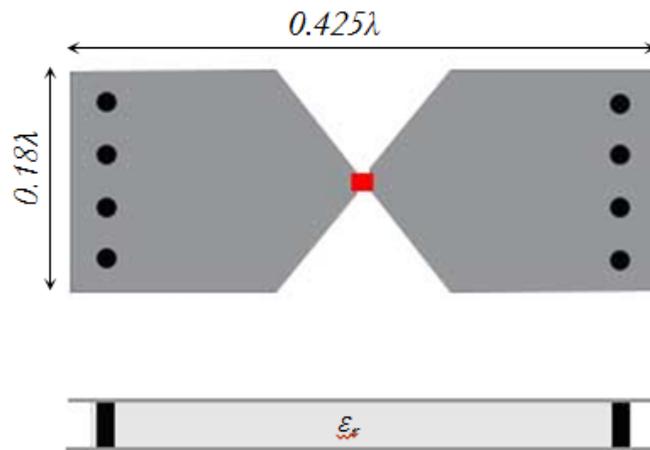


Figure III-21 : Antenne dipôle papillon avec couplage

La dernière structure est une antenne évasée (*tapered*), parue dans l'article [13] et qui résonne à la fréquence 915 MHz. Elle est représentée par la Figure III-22.

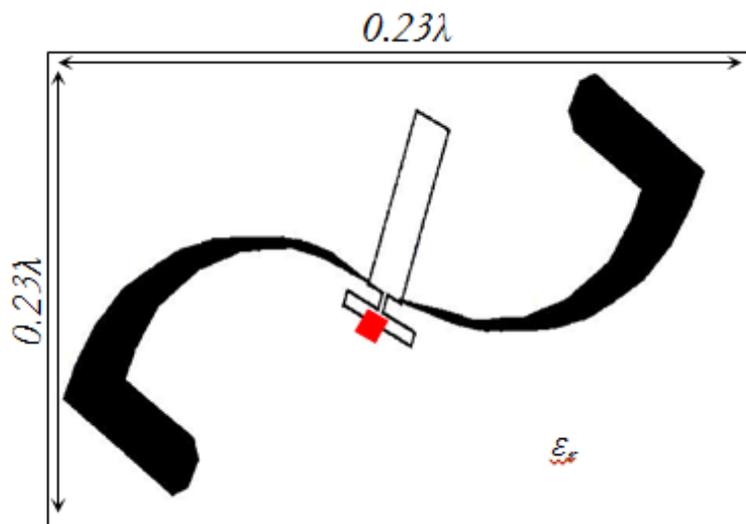


Figure III-22 : Antenne dipôle évasée

Il existe plein d'autres types d'antennes conçues pour des tags RFID passifs, nous nous limitons à ce qui a été présenté.

A ce stade, nous n'avons pas encore évoqué la présence de la puce dans le tag et son impact sur la conception de l'antenne. Cette puce insérée généralement dans une position particulière de

la structure de l'antenne a pour rôles de mémoriser les informations concernant l'élément à identifier.

III.4 La puce dans les systèmes RFID passifs

La connaissance de la valeur de l'impédance d'entrée de l'antenne est primordiale lors de la conception des antennes RFID. Cette valeur devra être forcément égale au conjugué de la valeur de l'impédance de la puce, afin de pouvoir transmettre un maximum de puissance à la puce pour l'activer [12].

Nous avons vu préalablement, plusieurs techniques de packaging permettant la réalisation du tag (fixation de la puce sur son antenne). Nous avons choisi de faire usage dans l'ensemble de nos travaux de trois différents types de puces : la puce XRAG2 en packaging strap) [20], la puce Phillips EPC 1.19 [21] en un standard de packaging SMT (TLLGA) et la puce Allian Higgs-2 [22]. Chacune de ses puces présente une valeur déférente d'impédances. Nous reviendrons sur ce point dans le prochain chapitre.

III.4.1 Modélisations électriques des puces RFID passives

La puce possède une impédance d'entrée Z_c qui est complexe, elle a une partie réelle de quelques ohms à plusieurs centaines d'ohms, tandis que la partie imaginaire est négative à cause de l'effet capacitif en entrée du détecteur convertissant l'énergie électromagnétique en énergie continue, qui permet l'alimentation de la puce RFID [6-12].

Une puce peut être modélisée électriquement, par un circuit série ou parallèle comme représenté par la Figure III-23.

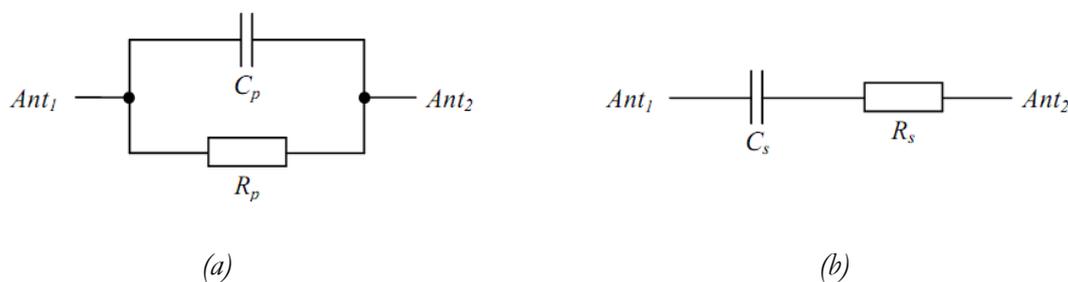


Figure III-23 : Circuits électriques équivalent de la puce en un circuit parallèle (a) et un circuit série (b)

L'impédance d'entrée dépend de la puissance en entrée de la puce à cause du circuit qui régule l'alimentation et qui la protège des surtensions.

Les deux circuits présentés sur la Figure III-23 sont équivalents; les valeurs Z_c ou Y_c sont données par le fournisseur. Cependant les valeurs de ces composants peuvent être calculées à partir des équations (III-36) et (III-37) :

$$R_p = \frac{Re(Z_c)^2 + Im(Z_c)^2}{Re(Z_c)^2} \text{ et } C_p = \frac{Im(Z_c)}{2\pi.f.(Im(Z_c)^2 + Re(Z_c)^2)} \quad (\text{III-36})$$

$$R_s = Re(Z_c) \text{ et } C_s = \frac{1}{2\pi.f.Im(Z_c)} \quad (\text{III-37})$$

Ces valeurs doivent être prises en considération lors de la simulation électromagnétique de la structure.

Le système RFID dans son ensemble doit être optimisé pour des distances élevées correspondant à des puissances en entrée faible. Il faut donc considérer lors de la conception l'impédance d'entrée de la puce pour de faible puissance en entrée.

III.5 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 passif, notamment l'équation et la section radar, ainsi que l'équation de FRIIS.

Le fonctionnement d'une antenne en une fréquence est déduit à partir de ses paramètres d'impédance, de coefficient de réflexion et le rapport d'onde stationnaire. De même la connaissance de la plage de fréquences sur laquelle fonctionne l'antenne (bande passante) conformément aux normes n'est pas à négliger.

Il existe également un autre ensemble de performances d'antennes qui font référence aux rayonnements dont le diagramme de rayonnement, le gain, la directivité... [2].

En seconde partie, nous avons abordé les grandes familles d'antennes mises en œuvre dans les systèmes RFID passifs : les dipôles, les antennes patch et les antennes IFA ainsi que toutes leurs dérivées. Ces antennes ont été illustrées par différents exemples disponibles dans la littérature scientifique.

Dans le prochain chapitre, nous évoquerons nos propres configurations inspirées des différentes familles présentées, tout en respectant les paramètres déjà étudiés dans ce chapitre.

Références Bibliographiques du Chapitre III

- [1] A.Constantine, *Antenna Theory, Analysis and Design*, New Jersey: John Wiley & Sons, 2005.
- [2] J. D. KRAWS, *Antennas for All Applications*, New York: Tata Mc Graw-Hill, 2001.
- [3] Z. N. Chen, *Broad Band Planar Antennas : Design and Application*, England: John Wiley & Sons, 2006.
- [4] J. C. Liberti, *Smart Antennas for Wireless Communications*, New Jersey: Prentice Jersey, 1999.
- [5] P. A. Rizzi, *Microwave Engeneering*, Canada: Prentice Jersey, 1988.
- [6] Z. N. Chen, *Antennas for Portable Devices*, New York: Johns Wiley & Sons, 2007.
- [7] Y. Huang, *Antennas From Theory to Practice*, Chichester: John Wiley & Sons , 2008.
- [8] B. Nathan, *Radio Propagation and Adaptive Antennas for Wireless Communications Links*, New Jersey: John Wiley & Sons, 2007.
- [9] G. Anthony, «Conception D'Antennes De Tags RFID UHF, Application A La Realisation Par Jet De Matiere,» Thèse de Doctorat, Institut polytechnique de Grenoble, 26 Novembre 2008.
- [10] A. Ghiotto, «Miniaturized Patch Antenna for the Radio Frequency Identification of Metallic Objects,» *Microwave Symposium Digest, 2008 IEEE MTT-S International*, vol. 10, pp. 583-586, 2008.
- [11] D. Guha, *Microstrip and Printed Antennas : New Trends, Techniques and Applications*, Chichester: John Wiley & Sons , 2011.
- [12] N. C. Karmakar, *Handbook of Smart Antennas for RFID Systems*, New Jersey: John Wiley & Sons, 2010.
- [13] M. Gaetano, «The Art of UHF RFID Antenna Design:Impedance-Matching and Size-Reduction Techniques,» *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 50, pp. 66-79, 2009.
- [14] M. Hirvonen, «Planar Inverted-F Antenna For Radio Frequency Identification,» *IEEE Electronics Letters*, vol. 40, 8th July 2004.
- [15] T. Min-Chuan, «UHF RFID PIFA Array Tag Antenna for Human Body Applications,» *Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC), 2012 15th International Symposium on*, pp. 434-437, Dec 31, 2012.
- [16] K. Jae-Hyeong, «A Practical Approach to Robust Design of a RFID Triple-Band PIFA Structure,» *IEEE Transactions On Magnetics*, vol. 46, pp. 3333-3336, August 2010.
- [17] M. Ziai, «UHF RFID Tag Antenna Design for On-Body Applications,» *Loughborough Antennas & Propagation Conference IEEE*, pp. 185-188, 8-9 November2010.
- [18] L. Catarinucci, «Prototyping Flexible UHF RFID Tags Through Rapid and Effective Unconventional Techniques: Validation on Label Type Sensor Tag,» *IEEE International Conference on RFID -Technologies and Applications (RFID - TA)*, pp. 176-181, 2012.

- [19] L. Ken-Huang, «A Looped-Bowtie RFID Tag Antenna Design for Metallic Objects,» IEEE Transactions On Antennas And Propagation, vol. 61, pp. 499-505, February 2013.
- [20] S. Companies, «Application note AN2631 " XRAG2 UHF antenna reference design",» STMicroelectronics group of companies, Oct 2007.
- [21] T. I. Incorporated, «SMT EPC Gen2 IC RI-UHF-IC116-00,» Texas Instruments Incorporated, July 2008.
- [22] A. T. Corporation, «Product Overview Alien Higgs™-2 EPC Class 1 Gen 2 RFID Tag IC,» Alien Technology , Butterfeld Blvd, july 2008.
- [23] R. Peter, Microwave Engineering; Passive Circuits, Prentice-Hall International, Inc, 1988.

CHAPITRE IV

Conceptions d'Antennes Tag RFID Passifs

Présentation Du chapitre

Le quatrième chapitre est entièrement dédié à la conception d'antennes pour tags RFID UHF passifs. La conception de ces antennes est différente de la conception des antennes conventionnelles car l'application est quasiment différente. En plus de permettre la transmission des données par rétro-réflexion, l'antenne joue un rôle éminent dans l'alimentation de la puce RFID.

De par le principe de réciprocité, la puce électronique contenue dans le tag RFID est remplacée par une alimentation lors des simulations. Dans un premier temps, nous présenterons quelques géométries d'antennes adaptées à une alimentation à 50Ω . Dans un second temps, nous passerons à des antennes plus appropriées à cette technologie, il s'agit d'antennes adaptées aux puces. Pour cela nous allons utiliser quelques techniques permettant d'atteindre cet objectif.

Sommaire

CHAPITRE IV	106
IV.1 Simulation électromagnétique	108
IV.2 Antennes adaptées à 50Ω	110
IV.2.1 Antenne Dipôle.....	110
IV.2.2 Antenne dipôle à méandre	115
IV.2.3 Antenne Monobande	116
IV.2.4 Antenne en F-inversée bi-bandes.....	118
IV.2.5 Antenne tri-bandes.....	120
IV.3 Antennes tags adaptées à la puce et techniques d'adaptation.....	123
IV.3.1 Introduction.....	123
IV.3.2 Quelques techniques d'adaptation d'impédance	126
IV.3.3 Miniaturisation d'antennes RFID.....	142
IV.4 Conclusion	156
Références Bibliographiques du Chapitre IV	157

IV.1 Simulation électromagnétique

L'utilisation de logiciels de simulation électromagnétique est incontournable dans la conception d'antennes. Elle permet d'analyser le comportement d'une structure et d'optimiser son fonctionnement par rapport aux paramètres et aux cahiers de charges désirés avant d'entamer la phase réalisation. Cette étape peut être très onéreuse en termes de temps et de ressources.

Dans nos méthodologies de conception, nous allons utiliser dans la plupart des cas le logiciel de conception électromagnétique (EM) CST *Microwave Studio* (*Computer Simulation Technology*) qui met en œuvre la méthode des intégrales finies (FIT) [1] associées aux conditions aux limites pour résoudre un problème électromagnétique (Annexe -A). L'utilisation d'un tel logiciel demande beaucoup d'expérience et de maîtrise afin d'optimiser le temps de conception. La méthodologie de conception mise en œuvre est illustrée par la Figure IV-1.

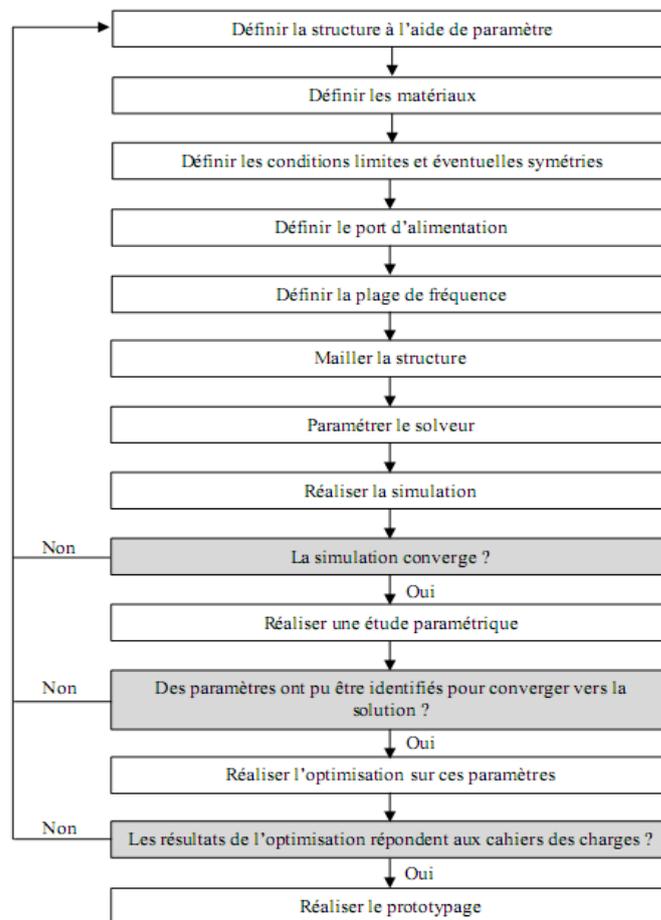


Figure IV-1 : Méthodologie de simulation d'antenne.

Ainsi qu'on peut le voir, plusieurs étapes sont nécessaires à suivre :

- La définition de la structure de l'antenne à l'aide de paramètres : Différentes fonctions du logiciel permettent de définir des structures simples et d'effectuer des opérations booléennes sur ces structures. Un programme en Visual Basic (ou bien Macro), un langage de programmation orienté objet, permet également de définir des structures plus complexes en utilisant les classes d'objets proposées par le logiciel.
- La définition des matériaux diélectriques et conducteurs caractérisant la structure.
- La définition des conditions aux limites : Plusieurs types de conditions aux limites peuvent être définis, il peut s'agir d'un espace fermé (box) comme c'est le cas pour les résonateurs par exemple, ou alors d'un espace ouvert (cas des antennes). Il est également possible de définir des symétries électriques ou magnétiques permettant de diviser le domaine de calcul et donc de diminuer le temps de simulation.
- La définition du port d'alimentation : Deux types de ports sont disponibles sous CST, le port guide d'onde utilisé pour alimenter les lignes micro-rubans ou coplanaires et les câbles coaxiaux, ainsi que le port discret adapté aux structures nécessitant des sources discrètes (comme les puces RFID).
- La définition de la plage de fréquence : Afin d'optimiser le temps de calcul de structures résonantes, il faut exclure du domaine de calcul les fréquences de résonance des modes supérieurs.
- La définition du maillage : CST Microwave Studio possède un générateur de maillage dont on peut paramétrer la densité. Le contrôle du maillage représente une étape très importante. Plus le nombre de mailles est important plus le temps de calcul est élevé. Cependant un nombre de mailles faible peut générer des résultats erronés. Dans le but d'optimiser le maillage, il faut utiliser la fonction de sous maillage permettant de densifier le maillage à chaque interface ainsi que le maillage local.
- Vérifier et analyser les résultats de simulations : Il faut vérifier que les résultats obtenus correspondent bien à ce qui est attendu en théorie afin de valider la simulation.
- Effectuer une étude paramétrique : Afin d'identifier des paramètres géométriques de l'antenne pouvant améliorer les propriétés désirées, il est possible de lancer une étude paramétrique qui permettra de voir l'influence d'un ou de plusieurs paramètres sur les propriétés de l'antenne. Cette étape permet de converger vers une solution plus satisfaisante.
- Effectuer une optimisation : en plus d'une étude paramétrique, le CST offre la possibilité d'utiliser des outils d'optimisation qui permettent d'aller vers les meilleures performances selon un certain gabarit.

– Comme étape finale, nous pouvons exporter la structure pour le prototypage une fois que les caractéristiques voulues sont obtenues.

Ce chapitre sera consacré à nos différentes conceptions d'antennes d'étiquettes RFID passives, ces dernières présentent la particularité d'avoir à leurs bords une puce électronique. Cette puce contient une mémoire qui est sensée enregistrer des données relatives à l'objet à identifier, elle est caractérisée par une certaine impédance complexe.

L'intégration de la puce aux bornes de l'antenne d'étiquette est d'une certaine complexité, raison pour laquelle, nous avons penché au début de notre thèse envers une conception plus simple. Elle consiste à alimenter l'antenne avec une impédance réelle de 50Ω .

IV.2 Antennes adaptées à 50Ω

Nous avons mentionné au second chapitre qu'il existait deux grandes familles de tags RFID, les tags RFID actifs et les tags RFID passifs et que cette seconde catégorie étant beaucoup plus intéressante en termes de conception et de coût.

Les antennes appropriées à ce type de tags sont le plus souvent planaires [2], car dans la plupart des cas, elles sont déposées sur des surfaces planes.

Comme nous l'avons vu auparavant, un tag passif est constitué d'une puce électronique et une antenne. La réalisation des circuits électroniques est soumise à des normalisations internationales optimisées grâce aux technologies microélectronique.

Nous avons débuté notre étude pratique avec les antennes adaptées à une alimentation à 50Ω , pour leurs simplicités. Nous sommes parvenus à concevoir plusieurs types d'antennes qui fonctionnent avec des modes différents, comme par exemple l'antenne monobande et multibandes. Nous dressons l'ensemble de ces structures ainsi que leurs résultats dans ce qui va suivre :

IV.2.1 Antenne Dipôle

Les antennes dipôles sont largement utilisées dans les systèmes radio en les comparant avec les antennes ligne traditionnelles grâce à leurs atouts (petit volume, faible poids et faible coût), elles sont nettement plus appropriées aux applications sensibles (récepteurs mobiles, récepteurs radio pour véhicules, et Tag RFID).

Nous avons trouvé judicieux de commencer nos configurations par l'antenne dipôle référence, en abordant toutes les étapes préalables à la conception.

Une antenne dipôle standard présente un diagramme de rayonnement quasi-omnidirectionnel.

Pour obtenir une bonne performance d'un dipôle, sa longueur devra être de l'ordre de la demi-longueur d'onde. Une bonne estimation est de 0,47 fois la longueur d'onde [3]. On peut donc calculer la longueur du dipôle résonant avec l'équation (IV-1) :

$$l_{rad} = 0.47 \lambda = 0.47 \frac{v}{f} \quad (IV-1)$$

Où v représente la vitesse de propagation dans le milieu sur les brins du dipôle. Cette vitesse dépend de la constante diélectrique effective du milieu entourant le dipôle. Elle se calcule à partir de l'équation (IV-2) :

$$v = \frac{c_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (IV-2)$$

Où c_0 est la vitesse de la lumière dans le vide et ϵ_{eff} est la constante diélectrique effective du milieu environnant [4] , sa valeur est donnée par l'équation (IV-3) pour une valeur de $W/h > 1$.

$$\epsilon_{reff}(W) = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (IV-3)$$

Où W et h sont respectivement la largeur du dipôle et l'épaisseur du substrat de permittivité relative ϵ_r .

Le dipôle étant considéré comme une ligne de transmission, nous pouvons calculer son impédance caractéristique Z_c par les formules suivantes selon la valeur du rapport W/h [2] :

Pour des lignes étroites ($W/h < 3,3$) :

$$Z_c = \frac{119.9 \pi}{\sqrt{2(\epsilon_r + 1)}} \times \left\{ \ln \left(4 \frac{h}{W} + \sqrt{16 \left(\frac{h}{W} \right)^2 + 2} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \right) \left(\ln \frac{\pi}{2} + \frac{1}{\epsilon_r} \ln \frac{\pi}{4} \right) \right\} \quad (IV-4)$$

Pour des lignes larges ($W/h > 3,3$) :

$$Z_c = \frac{119.9 \pi}{2\sqrt{\epsilon_r}} \left\{ \frac{W}{2h} + \frac{\ln 4}{\pi} + \frac{\ln \left(\frac{e \pi^2}{16} \right)}{2\pi} \cdot \left(\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r^2} \right) + \frac{\epsilon_r + 1}{2\pi\epsilon_r} \times \left(\ln \frac{\pi e}{2} + \ln \left(\frac{W}{2h} + 0.94 \right) \right) \right\}^{-1} \quad (IV-5)$$

Nous avons conçu une antenne dipôle déposée sur un substrat de type FR-4 de permittivité relative $\epsilon_r = 4.3$, de constante de pertes $\delta = 0.0019$, d'épaisseur $h = 1.6 \text{ mm}$ et de taille $143 \times 43 \text{ mm}^2$.

La fréquence de résonance désirée est de 860 MHz. L'alimentation de cette antenne se fait au centre du dipôle, l'ouverture d'alimentation est de 1mm.

Les autres paramètres géométriques de cette antenne sont montrés dans la Figure IV-2 avec $l=124$ mm et $w=3$ mm.

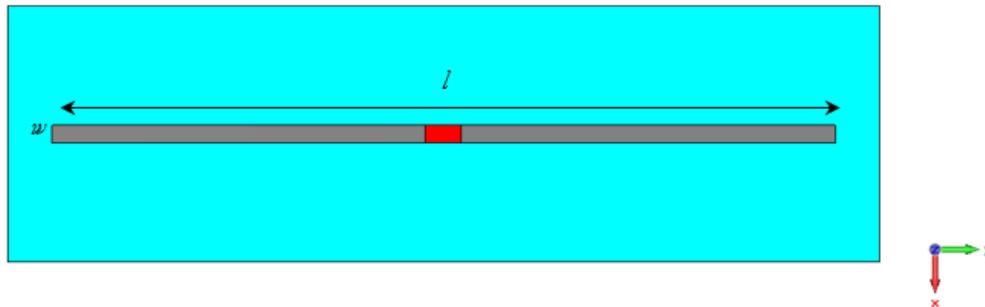


Figure IV-2 : La configuration de l'antenne dipôle

Les résultats de la simulation sont obtenus à l'aide du logiciel de simulation CST MWS (Annexe A). Ce dernier possède plusieurs méthodes d'analyse, les plus utilisées pour les structures plus ou moins complexes telles que les antennes imprimées sont la technique d'intégration finie FIT dans le domaine temporel , et dans le domaine fréquentiel .

Chaque méthode d'analyse (temporelle et fréquentielle) se caractérise par des discrétisations différentes du domaine de calcul. Dans le cas de la technique d'intégrale finie, nous avons une discrétisation volumique ayant pour élément des cubes hexaédriques (Figure IV-3(a)). Cependant, pour la méthode fréquentielle, un maillage surfacique avec une discrétisation tétraédrique est appliqué (Figure IV-3(b)).

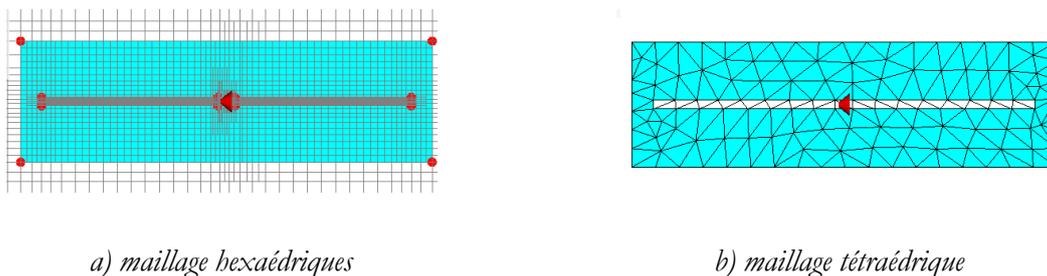


Figure IV-3 : La discrétisation dans les deux méthodes d'analyses

La manière d'alimenter une antenne tag RFID lors des simulations nous a posé un véritable dilemme du fait que l'antenne d'étiquette RFID se trouve en réception, et ne dispose pas de source d'alimentation propre à elle. Il a fallu appliquer le principe de la réciprocité de CARSON [5], pour résoudre ce problème.

Ce théorème déduit des équations de MAXWELL, affirme que les propriétés des antennes en émission ou en réception peuvent être indifféremment utilisées, définies et évaluées. Autrement dit, si nous considérons deux antennes, une en émission et l'autre en réception, alors le rôle de chaque antenne, peut être inversé en permutant simplement les deux accès, à condition que l'antenne soit adaptée à la source ou à sa charge pour le cas d'émission et réception respectivement.

Par conséquent la puce va être considérée comme étant une charge dans une antenne d'émission, ceci dit, nous allons insérer au niveau de l'ouverture une impédance complexe.

L'alimentation par impédance en CST fait appel au deuxième type d'alimentation qui est l'alimentation avec un port discret.

Le port discret est défini par un point de début et un point de terminaison. Ces deux points seront reliés par un fil parfaitement conducteur et la source d'alimentation de ce port sera dans le centre de ce fil [1], la Figure IV-4 est une illustration d'un port différentiel.

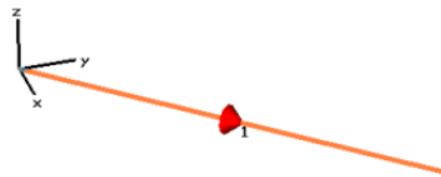


Figure IV-4 : Le port discret sous CST MWS

Notre dipôle est alimenté avec une impédance de 50Ω , comme le montre la Figure IV-5.

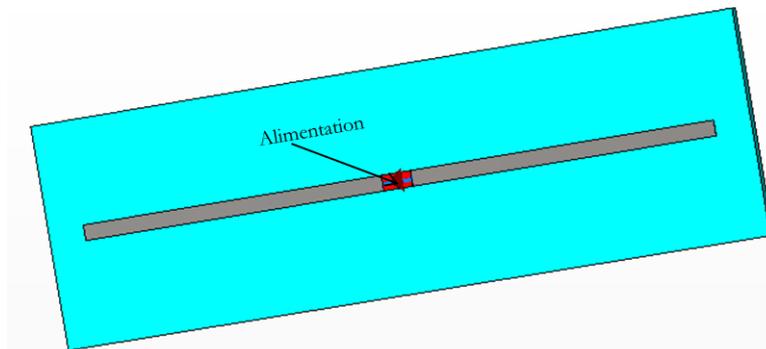


Figure IV-5 : L'alimentation du dipôle

La Figure IV-6 illustre le module du coefficient de réflexion $|S_{11}|$ de l'antenne dipôle ainsi conçue. L'antenne est simulée par les deux méthodes de calculs (temporelle  et fréquentielle ) . Nous remarquons une résonance à la fréquence 861MHz pour la méthode temporelle, avec un niveau de S_{11} de -34.21 dB tandis que la fréquence de la structure avec la méthode fréquentielle

est de 865MHz, avec une adaptation de -22.26 dB. Les résultats sont très proches en terme de fréquence, avec une différence de niveaux pour le paramètre $|S_{11}|$. Cette dernière est due à la différence du maillage entre les deux méthodes utilisées.

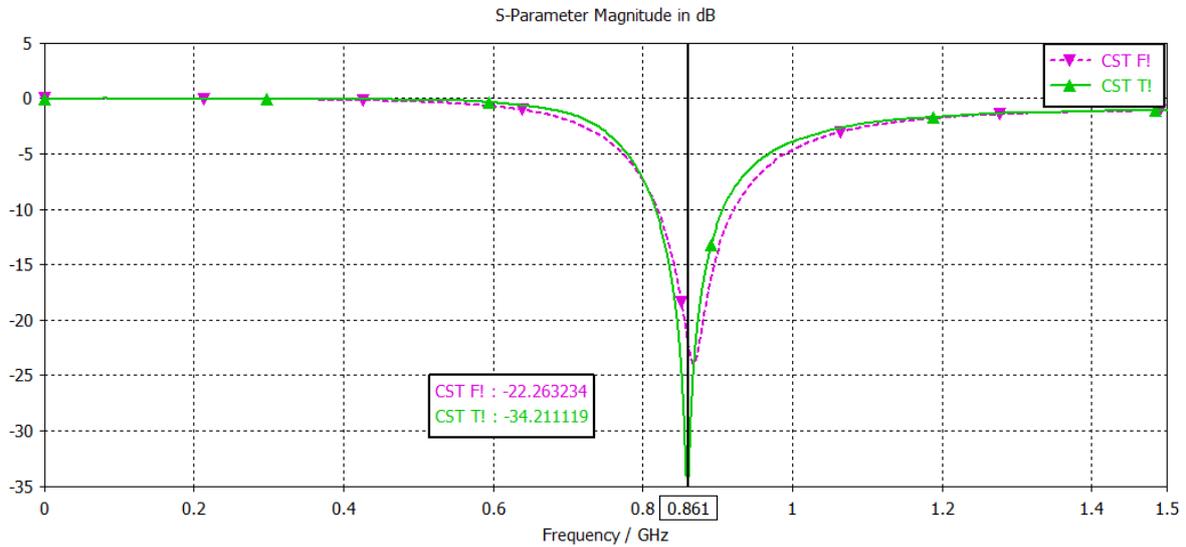


Figure IV-6 : Coefficient de réflexion S11 du dipôle imprimé

Le gain de cette antenne est illustré par la Figure IV-7, il est de 1.93 dB. Le dipôle présente un rayonnement de forme omnidirectionnel dans le plan x-z ($\phi=0$) et un rayonnement bidirectionnel dans le plan y-z ($\phi=90$) avec présence de valeurs nulles dans les directions -90° et 90° .

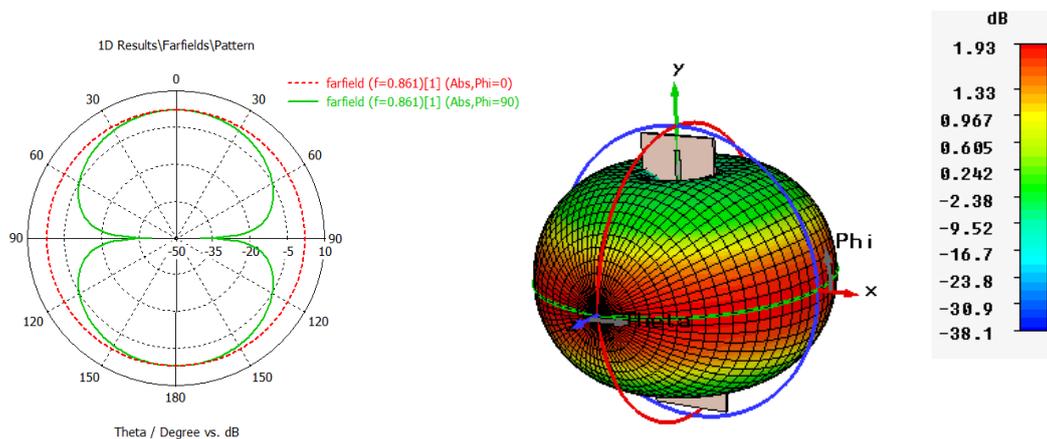


Figure IV-7 : Diagramme de rayonnement en (2-D et 3-D) du dipôle imprimé

IV.2.2 Antenne dipôle à méandre

Avant de passer à la présentation de nos propres configurations, nous allons considérer la structure d'antenne présentée par Ghiotto dans la référence [6], pour une comparaison des résultats, afin de valider notre utilisation du logiciel de conception CST.

La structure se présente sous la forme d'un dipôle à ligne méandre, telle qu'on peut le voir dans la Figure IV-8.

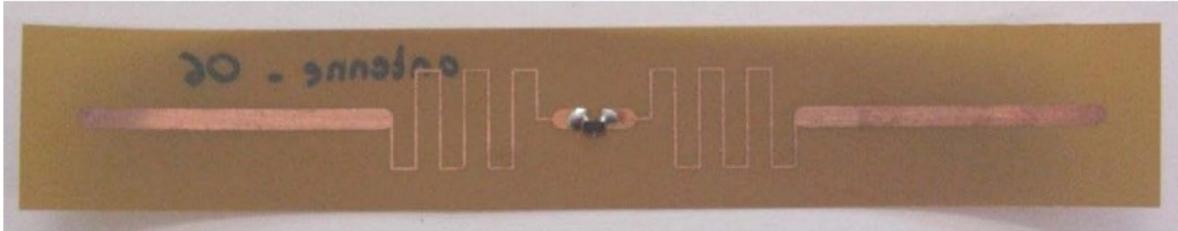


Figure IV-8 : réalisation de l'antenne dipôle à ligne méandre [6]

Nous avons réalisé la conception de cette antenne à l'aide du logiciel CST, La Figure IV-9 représente la structure conçue sous le logiciel CST :

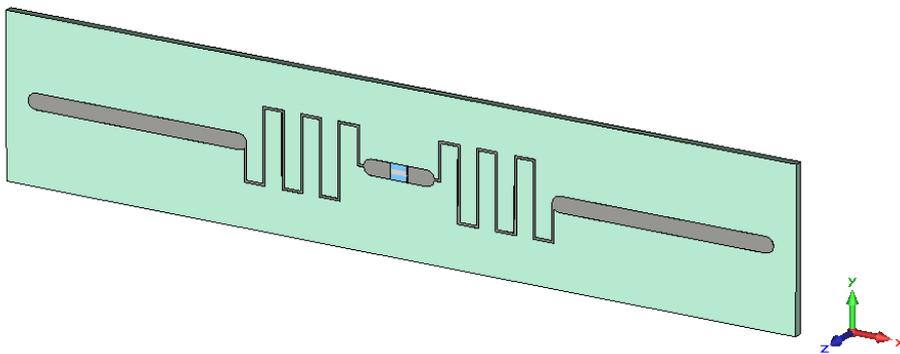


Figure IV-9 : conception de l'antenne dipôle a ligne méandre sur CST

On s'intéresse particulièrement au paramètre $|S_{11}|$ de la structure, parce qu'il nous permet de visualiser les fréquences de résonance et le niveau d'adaptation à chaque fréquence. La Figure IV-10 illustre la variation de ce paramètre en fonction de la fréquence. Nous y représentons à la fois nos résultats de simulations et ceux mesurés et extraits de la référence [6].

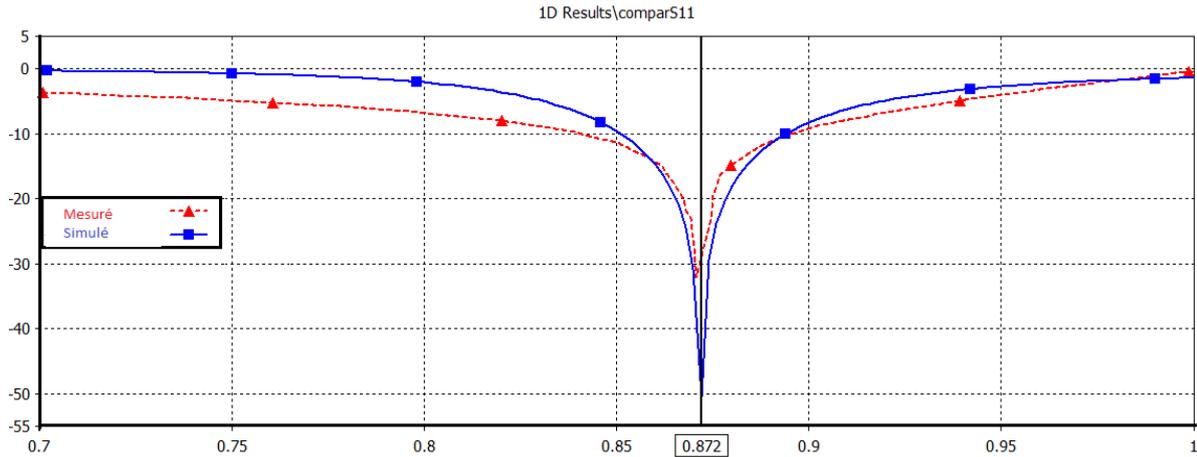


Figure IV-10 : comparaison entre les coefficients de réflexion S_{11} simulés et mesurés

Nous constatons que la résonance de cette antenne est à la fréquence 872MHz avec un niveau d'adaptation de -50.48dB. En comparant ces valeurs avec ceux de Ghiotto, nous remarquons un léger décalage en terme de fréquence et en termes de niveau du paramètre S_{11} , cela dis les résultats restent très comparables.

IV.2.3 Antenne Monobande

La géométrie de cette antenne se présente sous la forme d'un dipôle en forme de papillon, sa forme permet une large bande passante, nous avons doté cette configuration de deux fentes pour améliorer ses performances. Cette antenne est destinée à fonctionner en bande SHF à la fréquence 5.8 GHz normalisée pour applications RFID. Elle est déposée sur un substrat de type FR4 de permittivité $\xi_r = 4.4$, d'une hauteur $h=1.6\text{mm}$. La taille du substrat est $12 \times 7 \text{ mm}^2$.

La Figure IV-11 illustre la structure conçue sous CST, les différentes valeurs des paramètres sont résumées dans le Tableau IV-1.

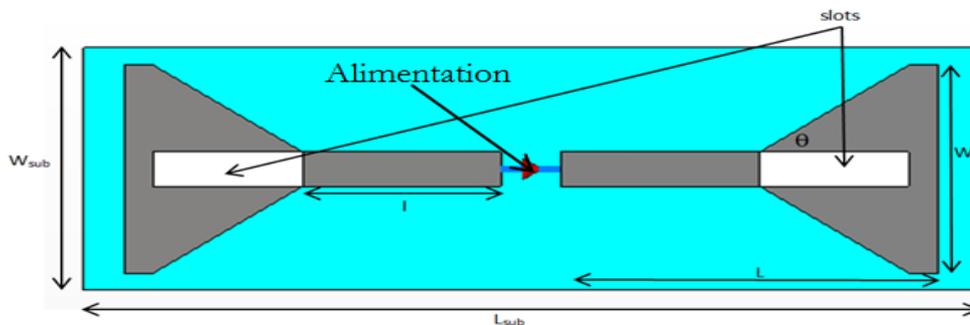


Figure IV-11 : l'antenne papillon

Paramètres	L	W	I	W _s	Θ(°)
Valeurs (mm)	5.18	5	2.18	2	60

Tableau IV-1 : Dimensions de l'antenne papillon

La Figure IV-12 représente les tracés du module du coefficient de réflexion $|S_{11}|$, avant et après l'insertion des fentes. L'effet de fentes est si significatif, elles ont considérablement contribué à améliorer le niveau du paramètre S11.

L'antenne papillon initiale présente un niveau de $|S_{11}|$ de $-9.91\text{dB} > -10\text{dB}$, une valeur médiocre pour un tel paramètre. L'insertion des fentes a permis un léger décalage en fréquence, par contre elle a réduit significativement le niveau de $|S_{11}|$ à la valeur -35.27dB . La bande passante est dans ce cas de 13%.

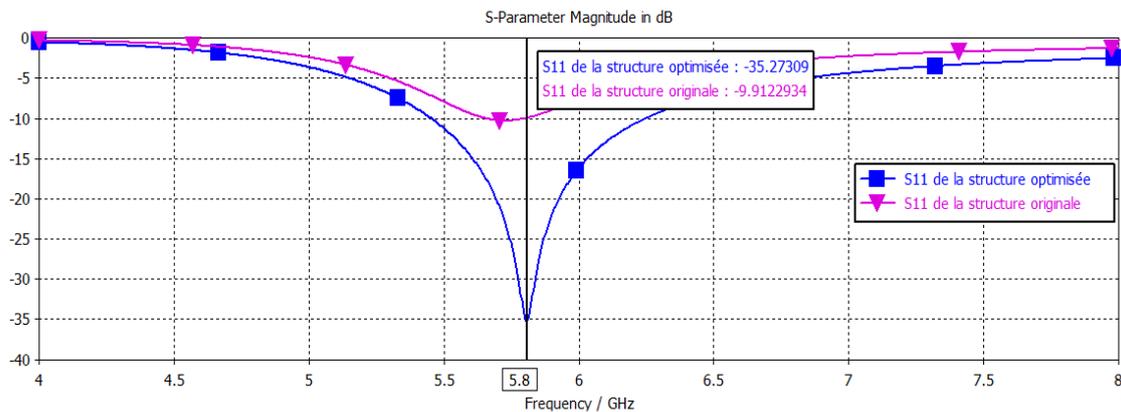


Figure IV-12 : Comparaison du S11 de la structure avec et sans fentes

La Figure IV-13 illustre le diagramme de rayonnement de l'antenne à la fréquence de résonance qui est 5.8GHz. Nous représentons ce rayonnement en polaire sur les deux plans principaux ainsi qu'une représentation en 3D. Nous pouvons dire que l'antenne présente un rayonnement quasi-omnidirectionnel comme celui d'un dipôle, avec un gain acceptable de 2 dBi.

Cette structure a un bon rendement en termes de coefficient de réflexion évalué à -10dB ainsi qu'un diagramme de rayonnement quasi-omnidirectionnel à la fréquence 5.8GHz. Cette structure a fait l'objet d'une publication internationale [7].

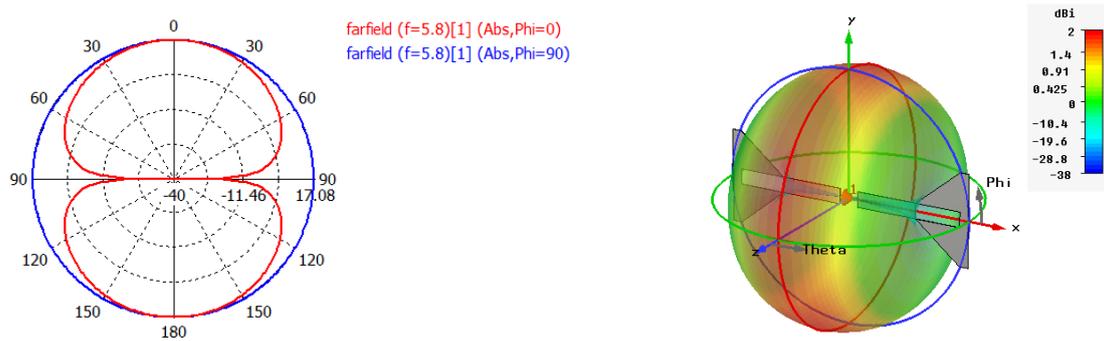


Figure IV-13 : Le diagramme de rayonnement

IV.2.4 Antenne en F-inversée bi-bandes

Il a été mentionné auparavant (Chapitre III) qu'une antenne PIFA permettait d'atteindre un fonctionnement multibandes. Nous avons donc tiré profit de cette caractéristique pour concevoir une antenne bi bandes.

La Figure IV-14 représente la configuration PIFA conçue, le substrat utilisé est de type FR4, de hauteur $h=2.4$ mm, avec une permittivité relative de $\zeta_r=4.4$ et une tangente de perte $\delta = 0,019$.

Cette antenne possède un plan de masse partiel. Cette structure est conçue pour résonner aux fréquences UHF RFID 400 MHz et 2.4GHz.

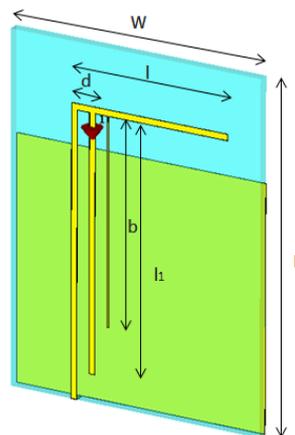


Figure IV-14 : Antenne PIFA bi-bande

Le Tableau IV-2 présente les dimensions des paramètres de l'antenne.

Paramètres	L	W	I	b	d	I1
Valeurs (mm)	70	50	30	60	4	50

Tableau IV-2 : Dimensions de l'antenne PIFA bi-bande

La Figure IV-15 et la Figure IV-16 montrent les coefficients de réflexion ainsi que les fréquences de résonance. A la première fréquence (en bande UHF 400MHz), nous avons obtenu un niveau de $|S_{11}| = -19.91\text{dB}$, sans dis qu'à la seconde fréquence en bande SHF 2.4 GHz, nous avons eu un $|S_{11}| = -18.70\text{ dB}$. Nous pouvons en déduire que cette antenne assure une bonne transmission dans les deux bandes avec une bande passante relative de 1% et de 5.6% respectivement.

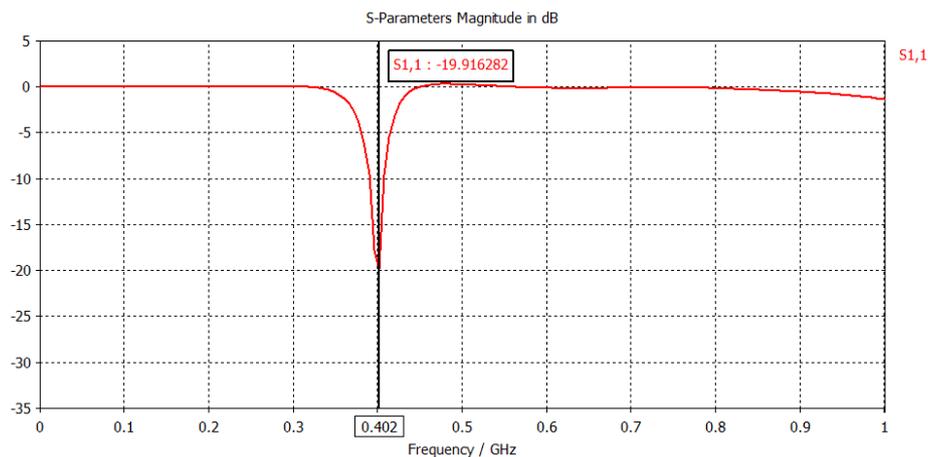


Figure IV-15 : coefficient de réflexion à la fréquence 400 MHz

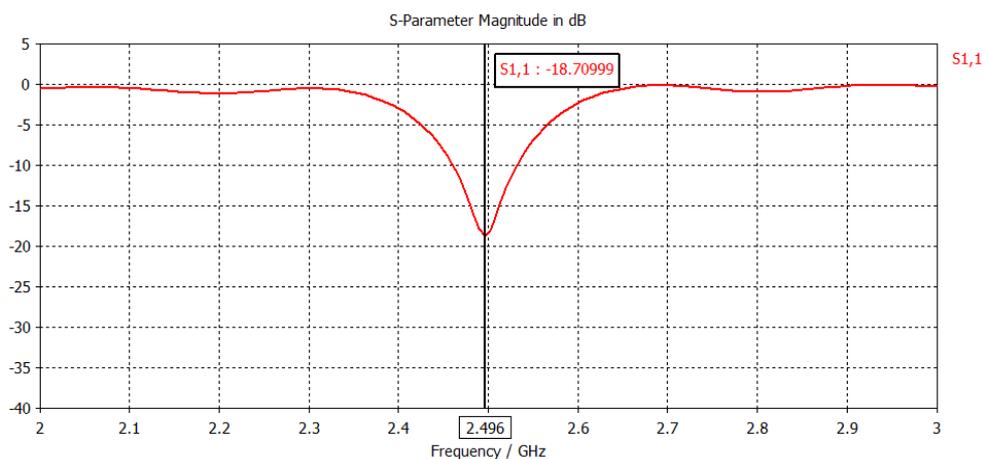


Figure IV-16 : coefficient de réflexion à la fréquence 2.4GHz

La Figure IV-17 présente les diagrammes de rayonnement dans les deux fréquences de résonances, elle présente des diagrammes bidirectionnels sur l'un des deux plans principaux et omnidirectionnels sur l'autre avec une directivité de 2.38 dBi et 3.96dBi aux fréquences 400MHz et 2.4GHz respectivement. Cette configuration d'antenne PIFA a fait sujet d'une publication internationale [8].

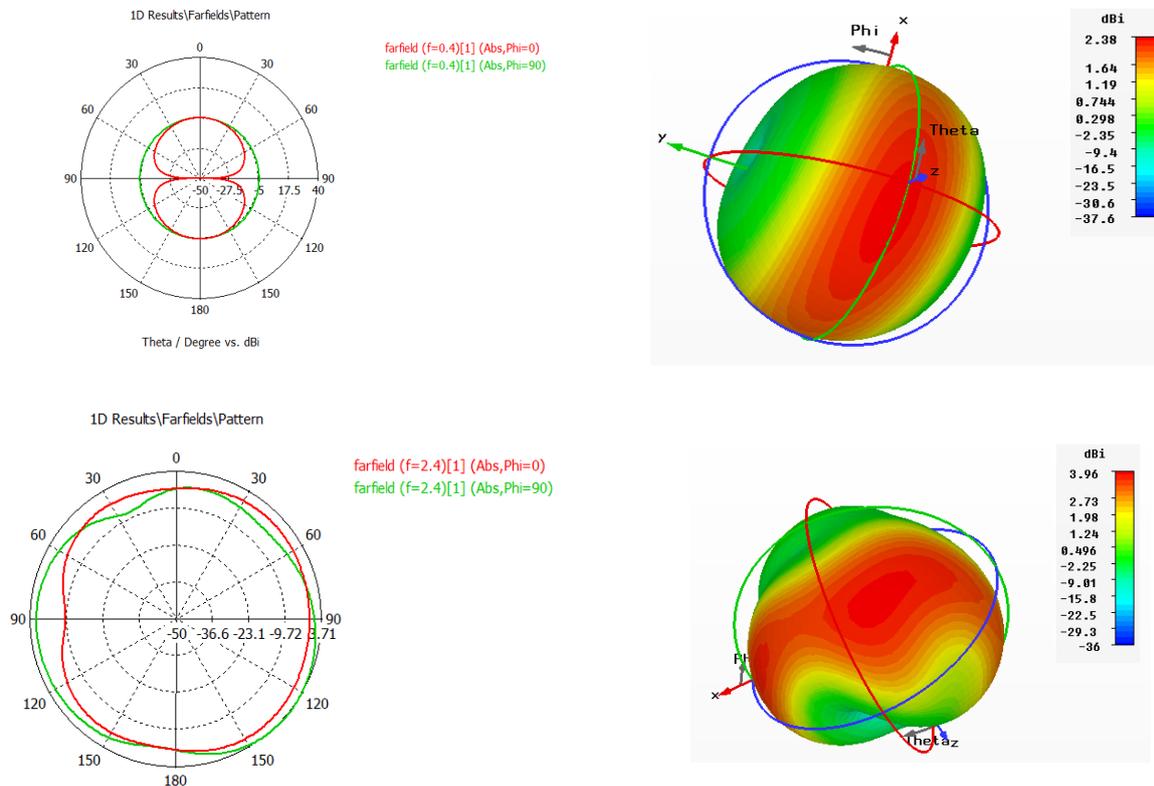


Figure IV-17 : Diagrammes de rayonnement dans les deux fréquences

IV.2.5 Antenne tri-bandes

Le fonctionnement multibande est très attrayant, du fait qu'avec une seule antenne nous puissions servir plusieurs applications en même temps. Pour cette raison, nous avons trouvé intéressant de concevoir une antenne tri-bande. Il s'agit d'un dipôle doté de plusieurs brins responsables de la génération de plusieurs fréquences de résonances tel qu'on peut le voir dans la Figure IV-18.

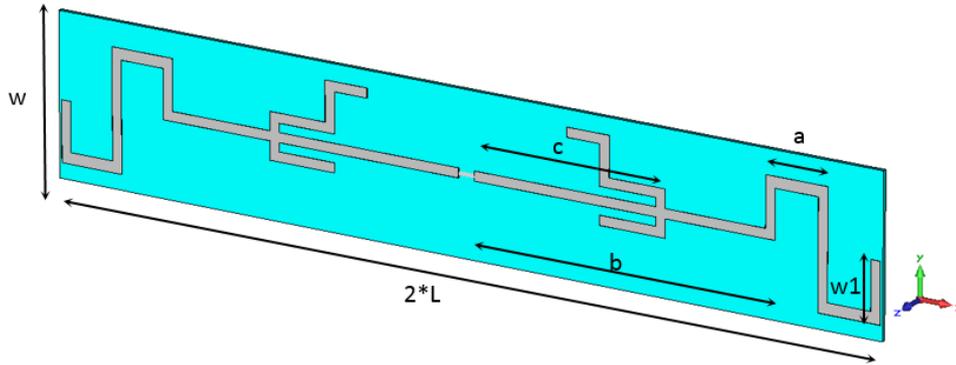


Figure IV-18: Structure de l'antenne

Les métallisations de l'antenne sont en cuivre, déposé sur un substrat de type FR4, ayant une permittivité $\xi_r=3.5$ et une hauteur de 0.5mm.

Les dimensions de cette antenne sont schématisées sur la Figure IV-18, et le Tableau IV-3 illustre les valeurs en millimètres :

Paramètres	L	W	I	b	a	b	c
Valeurs (mm)	45	12	6	60	6	33	23

Tableau IV-3 : Dimensions de l'antenne tri-bandes

Cette structure sera simulée avec les deux logiciels de simulations IE3D (Simulateur électromagnétique 3D basé sur la méthode des moments MoM) (Annexe B) et le CST.

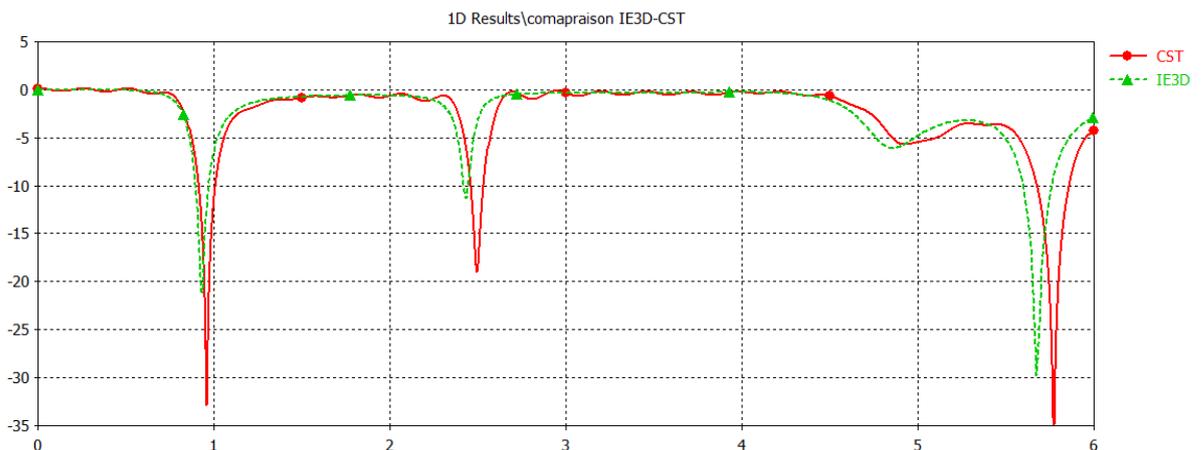


Figure IV-19 : le coefficient de réflexion S11 avec les deux logiciels

Nous remarquons que les résultats trouvés par les deux logiciels sont très comparables (Figure IV-19). Sous CST, nous avons obtenu 3 fréquences de résonance : la première fréquence

est à 960MHz avec un niveau du S11 de -33dB, la deuxième fréquence est à 2.45GHz avec un S11 à -19dB et la dernière est à 5.8GHz pour un niveau de -34.93dB. D'un autre côté, les simulations sous IE3D ont donné les fréquences de résonance 950MHz avec un niveau de -21.13dB, une seconde résonance à 2.4GHz avec un S11 de -11.34dB, et une fréquence de 5.74GHz pour un niveau de -29.9dB.

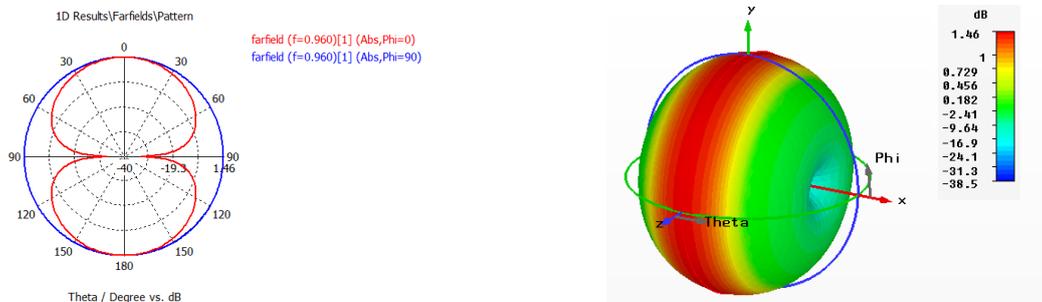


Figure IV-20 : Les diagrammes de rayonnements en 2D et 3D à 960MHz

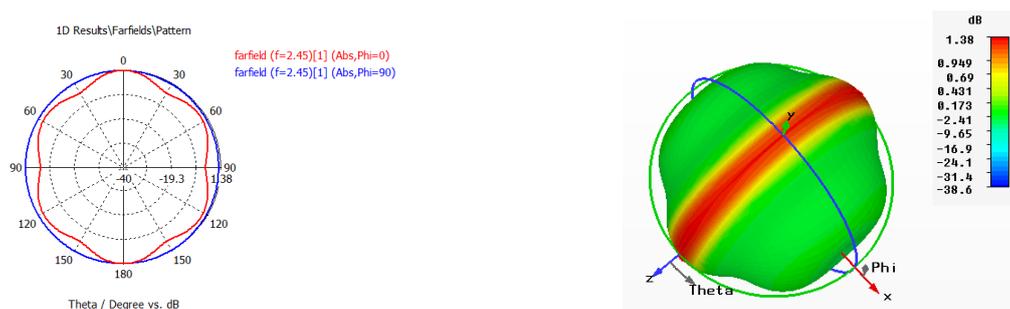


Figure IV-21 : Les diagrammes de rayonnements en 2D et 3D à 2.45 GHz

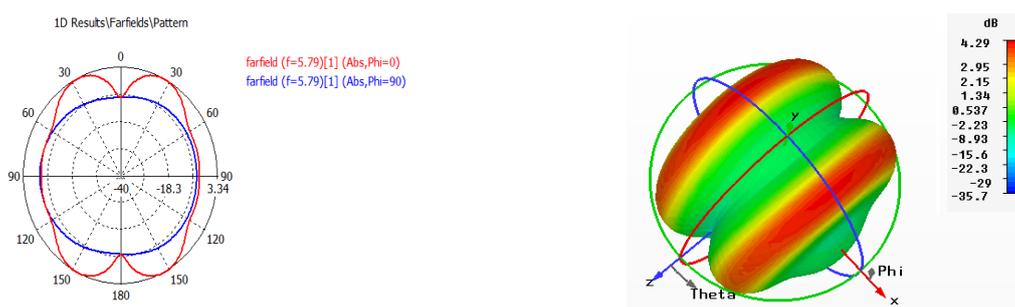


Figure IV-22 : Les diagrammes de rayonnements en 2D et 3D à 5.79GHz

Les diagrammes de rayonnements (Figure IV-20, Figure IV-21 et Figure IV-22) sont d'allures différentes. A la fréquence UHF 960MHz, nous avons eu un rayonnement bidirectionnel au plan E et omnidirectionnel au plan H. Pour la seconde fréquence (2.4GHz) nous avons trouvé un

rayonnement quasi-isotrope, cependant à la dernière fréquence de résonance, nous avons obtenus un rayonnement symétrique avec 4 directions principales au plan E et omnidirectionnel au plan H.

En technologie RFID, l'étiquette est constituée par une antenne chargée par une puce électronique, chacune étant caractérisée par une impédance complexe. Nous allons étudier et traiter dans la prochaine section le problème d'adaptation entre ces deux entités en mettant en œuvre certaines techniques particulières.

IV.3 Antennes tags adaptées à la puce et techniques d'adaptation

IV.3.1 Introduction

L'adaptation d'impédance, a toujours été considérée comme un exercice difficile, redouté de la plupart des électroniciens. Ce point est pourtant très important, car de cette adaptation découle l'optimisation des émetteurs et des récepteurs donc l'optimisation de la liaison.

Les premiers travaux relatifs à l'adaptation d'impédance datent, comme la plupart des travaux théoriques, des années 1950-1960 [9,10].

Plusieurs voies d'investigations ont été envisagées, donnant autant de procédures permettant de résoudre le problème posé. À l'heure actuelle, il n'est pas possible de conclure sur l'efficacité ou la précision de l'une ou l'autre de ces méthodes et de ne conserver que celle-ci. Des travaux récents et abondants montrent que tout n'a pas encore été dit sur l'adaptation [9]. Quelle que soit la méthode, les résultats numériques sont voisins. Il s'agit en général, de déterminer les valeurs de trois ou quatre éléments passifs, selfs ou capacités.

C'est une étape longue et fastidieuse bien que l'on puisse disposer des n équations à n inconnues. Cette situation est alors propice à une estimation rapide des éléments, pour lesquels le calcul peut être simplifié. La solution finale est obtenue par une suite d'essais des simulations complémentaires. Les progrès technologiques des années 1990, appliqués aux calculateurs ont permis le développement des logiciels qui allègent encore plus la tâche du concepteur.

Un tag passif RFID est composé d'une micro puce directement connectée à une antenne. L'adaptation d'impédance entre la puce (chip) et l'antenne est un des éléments essentiels dans la conception d'un tag RFID. Pour des performances optimales à la fréquence de fonctionnement de l'application visée, il est nécessaire de se rapprocher de cette adaptation en impédance entre la puce et l'antenne, sachant que l'impédance d'une micro puce est non linéaire et qu'elle dépend de la fréquence et de la puissance d'entrée.

L'impédance des puces RFID est complexe. L'antenne doit être adaptée à la valeur conjuguée de cette impédance. Parfois, nous disposons de modèle mathématique permettant de déterminer l'impédance d'entrée d'une antenne comme dans le cas des antennes patches de formes simples ou des antennes dipôles. Cependant ce n'est pas toujours le cas, lorsque nous nous intéressons à des antennes moins usuelles. Une façon de faire peut consister à réaliser, en simulation, une étude paramétrique afin de déterminer le comportement de l'impédance complexe d'entrée en fonction de la géométrie de l'antenne. Cela permet d'extraire des variables ayant un effet prédominant sur la partie réelle ou imaginaire de l'impédance d'entrée et de pouvoir faire l'adaptation.

L'analyse des systèmes de communication sans fils et des systèmes radars demande l'utilisation de l'équation de FRIIS (IV-6). Cette dernière exprime la puissance reçue P_r par une antenne en réception en fonction de la puissance transmise.

$$\frac{P_r}{P_t} = G_t(\theta_t, \phi_t) G_r(\theta_r, \phi_r) \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 (1 - |\Gamma_t|^2)(1 - |\Gamma_r|^2) |\vec{u} \cdot \vec{v}|^2 e^{-aR} \quad (\text{IV-6})$$

Où :

P_r, P_t : représentent respectivement la puissance reçue et transmise,

G_t, G_r : Gains d'antennes émission et de réception,

Γ_r : est le coefficient de réflexion sur l'antenne d'émission,

Γ_t : est le coefficient de réflexion sur l'antenne de réception.

La puissance (P) requise par l'étiquette (tag) pour activer la puce et pour effectuer une modulation de rétrodiffusion doit être fixée à une distance d , la distance maximale de lecture peut être exprimée par la relation suivante [10] [11].

$$d_{max} = \frac{c}{4\pi f} \sqrt{\frac{EIRP \tau G_t}{P_{th}}} \quad (\text{IV-7})$$

Où G_t est le gain du tag (étiquette).

τ est le coefficient de transmission ou bien le facteur d'adaptation de l'antenne.

P_{th} est le seuil de sensibilité de la puce : c'est une limitation importante du tag. C'est le minimum de puissance RF reçue pour activer la puce RFID. Plus elle est faible, plus la portée de lecture est longue. La Sensibilité de la puce est généralement déterminée dans son processus de fabrication [12].

EIRP est la puissance isotopique effective rayonnée, elle est limitée à une certaine valeur selon des normalisations (bande de fréquence).

Le coefficient de transmission est défini par la relation (IV-8) [11]:

$$\tau = \frac{4 R_P R_A}{|Z_P + Z_A|} \leq 1, \quad (\text{IV-8})$$

Cette relation est d'un intérêt capital en conception RFID, car elle correspond au rapport de la puissance transférée à une puce RFID sur la puissance totale maximum pouvant lui être transférée. Le facteur τ correspond au rapport d'adaptation d'impédance entre l'impédance de l'antenne ($Z_A=R_A+ jX_A$) et celle de la Puce ($Z_P=R_P+ jX_P$). L'impédance de la Puce dépend de la puissance d'entrée, le tag emmagasine de l'énergie, donc sa réactance d'entrée a un effet capacitif. La plupart des applications RFID UHF présentent une réactance d'entrée approximativement comprise entre -100Ω à -400Ω [11], avec une partie réelle faible.

Pour réduire le coût des antennes, il est préférable d'éviter l'insertion de composants électroniques localisés pour ne pas encombrer la structure. Par conséquent, des modifications géométriques sont intégrées dans la configuration initiale de l'antenne tag.

L'adaptation antenne-puce peut être atteinte avec plusieurs techniques, les plus utilisées sont des versions modifiées d'une adaptation en T « T-match », du couplage, et l'insertion de fentes en différentes formes. Afin de varier les valeurs de la résistance et de la réactance de l'antenne, nous allons agir sur les paramètres géométriques de de cette dernière.

Remarque : Initialement la taille maximale de l'antenne imprimée est de l'ordre de la demi-longueur d'onde ($\approx \lambda/2$).

Certaines techniques utilisées pour la miniaturisation de l'antenne seront traitées dans la prochaine section.

Dans ce qui va suivre, nous allons explorer quelques techniques permettant d'assurer l'adaptation entre une antenne tag RFID et la puce électronique qui lui est raccordée.

L'étude de ces techniques nous a permis de faire la conception de plusieurs structures d'antennes adaptées à leurs charges.

L'aboutissement vers cette adaptation a été le fruit de plusieurs études paramétriques nécessitant des temps de calcul importants et des simulations d'une grande complexité.

IV.3.2 Quelques techniques d'adaptation d'impédance

IV.3.2.1 L'adaptation en T «T-Match»

IV.3.2.1.1 Définition

Selon la Figure IV-23, l'impédance d'entrée d'un dipôle de longueur l peut être modifiée par l'insertion d'un stub court-circuité centré, comme c'est expliqué en détails dans la référence [3]. L'alimentation de l'antenne sera fixée à un second dipôle attaché de longueur $a \leq l$, positionné à une distance b , séparant les deux dipôles. Le courant électrique est donc distribué le long des brins du dipôle principal en fonction de la taille de ses sections transversales.

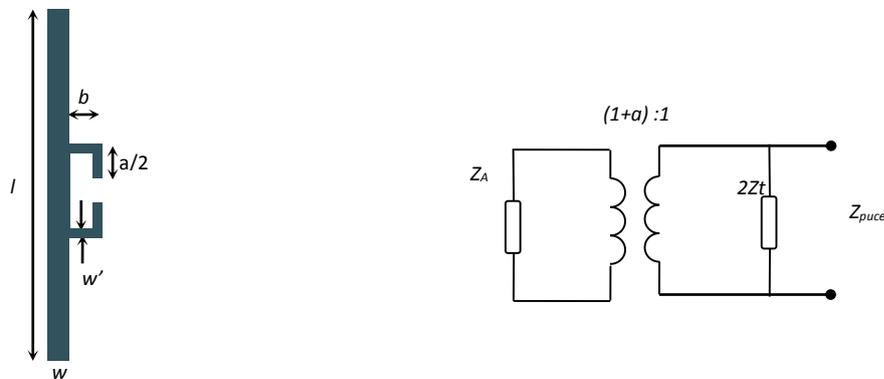


Figure IV-23 : La configuration d'antenne adaptée en T et son circuit équivalent

L'impédance au point d'alimentation peut être exprimée par la relation (IV-9) [3] [11] :

$$Z_{in} = \frac{2Z_t(1+a)^2Z_A}{2Z_t + (1+a)^2Z_A} \quad (IV-9)$$

Où $Z_t = jZ_0 \tan k_a/2$ est l'impédance d'entrée des stubs court-circuités produite par les deux brins perpendiculaires au dipôle principal et k_a représente le nombre d'ondes.

$Z_0 \cong 276 \log_{10} b/\sqrt{r_e r'_e}$ est l'impédance caractéristique des deux tronçons de lignes parallèles de longueur $a/2$; Z_A est l'impédance du dipôle avant l'insertion du stub T-match.

$r_e = 0.25w$ et $r'_e = 8.25w'$ sont les rayons équivalents des stubs qui définissent le T-match.

et $a = \ln(b/r'_e) / \ln(b/r_e)$ est le facteur de division de courant entre les deux conducteurs.

IV.3.2.1.2 Approche de conception

Nous cherchons à concevoir une antenne dipôle adaptée à la puce (*Strap XRAG2*) d'impédance $28-j148 \Omega$ à la fréquence 915 MHz [13]. Ceci signifie que l'impédance de l'antenne tag doit être proche de son conjugué ($28+j148 \Omega$) pour garantir un maximum de transfert de puissance. Pour se faire, nous avons fait varier les paramètres géométriques de la structure tels que a , b (Figure IV-23) jusqu'à l'obtention de résultats satisfaisants.

L'antenne dipôle considérée est de longueur $l=139\text{mm}$, déposée sur un substrat de type polyester d'une permittivité relative $\epsilon_r = 4.7$ et une constante de pertes $\delta = 0.0019$, avec une épaisseur égale à 1.6 mm , ayant une dimension de $143 \times 43 \text{ mm}^2$.

Nous essayons de visualiser l'influence des paramètres géométriques de cette antenne sur l'allure de son impédance d'entrée. Nous commençons par la longueur du dipôle rajouté « a », nous la varions d'une valeur minimale de 9mm à une valeur maximale de 12mm et ceci en prenant 4 échantillons, tout en fixant la valeur de b à 4 mm

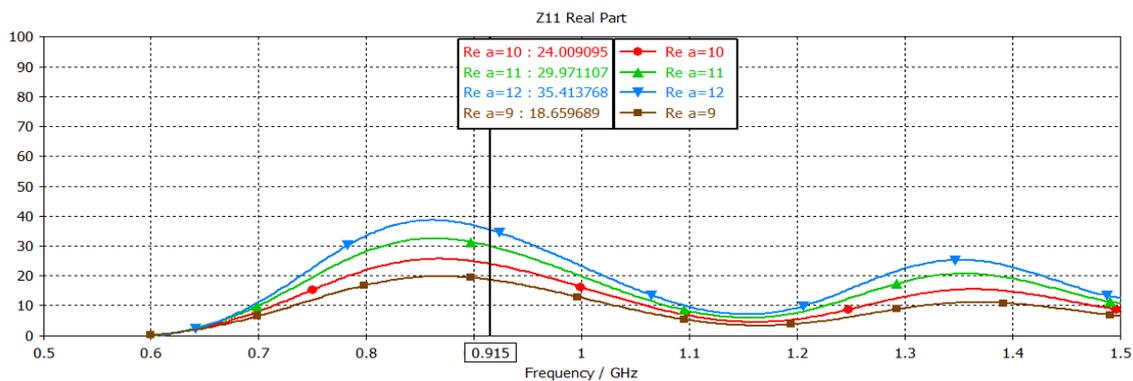


Figure IV-24 : Influence du paramètre « a » sur la partie réelle de l'impédance d'entrée

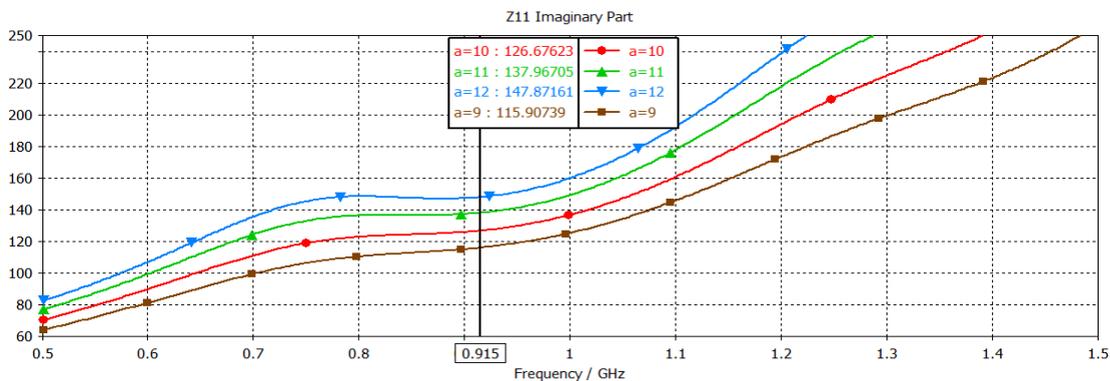


Figure IV-25 : Influence du paramètre « a » sur la partie imaginaire de l'impédance d'entrée

Nous pouvons en déduire à partir de ces illustrations que le paramètre « a » agit sur l'allure de l'impédance d'entrée de l'antenne. De plus il est grand, de plus la valeur d'impédance est plus grande, nous pouvons donc tirer la meilleure valeur de ce paramètre qui est de $a=11\text{mm}$.

Nous continuons avec le second paramètre « b » que nous varions dans l'intervalle 2 à 6 mm, en considérant toujours 4 échantillons, et en prenant $a=11\text{mm}$, nous avons abouti aux graphes tracés si dessous.

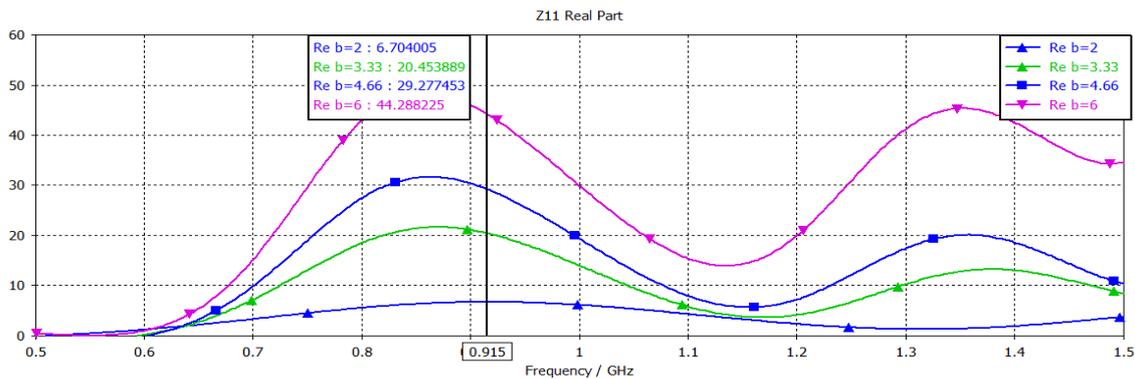


Figure IV-26 : Influence du paramètre « b » sur la partie réelle de l'impédance d'entrée

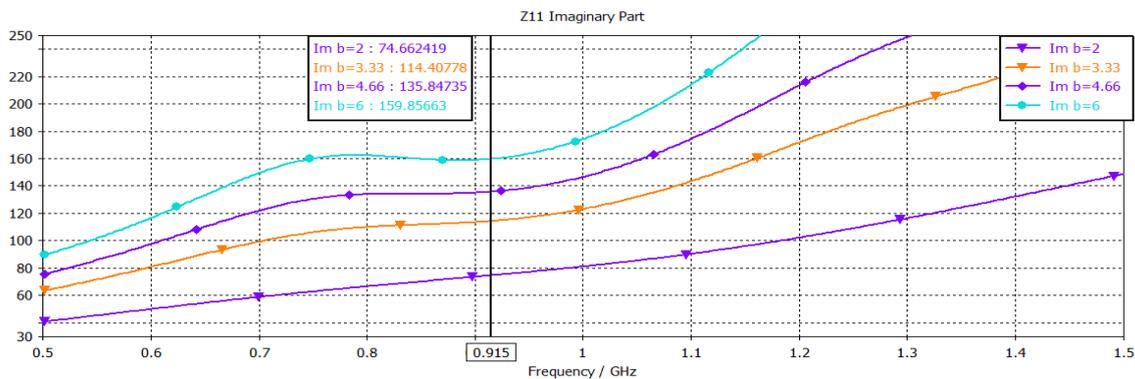


Figure IV-27 : Influence du paramètre « b » sur la partie imaginaire de l'impédance d'entrée

D'après cette étude illustrée dans les Figure IV-26 et Figure IV-27, nous pouvons constater qu'à la fréquence de résonance désirée, le paramètre « b » influe considérablement sur les parties réelle et imaginaire de l'impédance d'entrée du dipôle. Nous allons considérer la valeur $b=4.66\text{mm}$.

Suite à cette étude, nous avons obtenu une impédance de $29.27+j135.84$. Pour améliorer davantage cette valeur pour qu'elle soit le plus proche du conjugué de l'impédance de la puce, nous avons fait une optimisation avec le logiciel CST en utilisant l'Algorithme Génétique comme méthode d'optimisation et en variant le paramètre b de 10% de la valeur initiale (4.66mm)(Figure IV-28). La valeur de $b=4.75\text{mm}$ s'est montrée la meilleure.

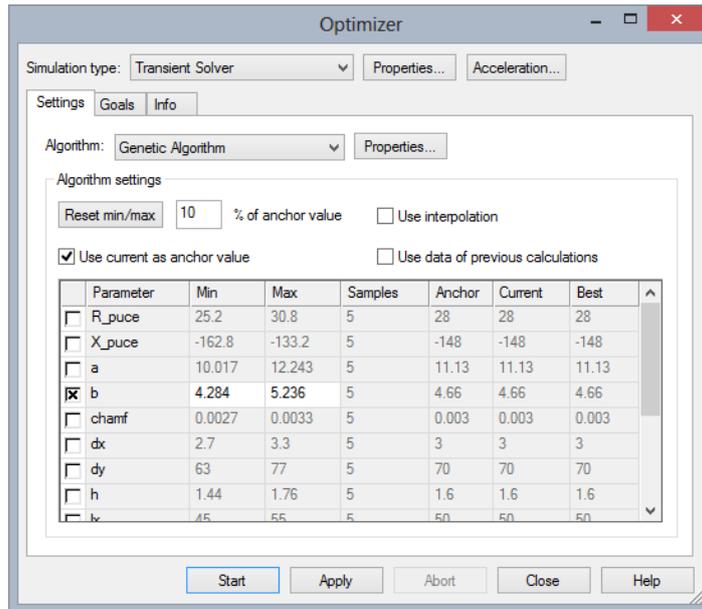


Figure IV-28 : Optimisation du paramètre b

Suite à cela, nous pouvons finaliser la structure de notre antenne.

IV.3.2.1.3 Conception d'antenne adaptée avec un stub en T « T-Match »

L'antenne adaptée avec un stub en T est illustrée dans la Figure IV-29. Elle est conçue en cuivre d'une épaisseur $t = 0.02$ mm gravée sur un substrat de type polyester d'une permittivité relative $\epsilon_r = 4.7$ et une constante de pertes $\delta = 0.0019$, avec une épaisseur égale à 1.6 mm.

Pour des fins de simulation, nous avons remplacé la puce électronique par un port différentiel considéré comme la source d'alimentation de l'antenne.

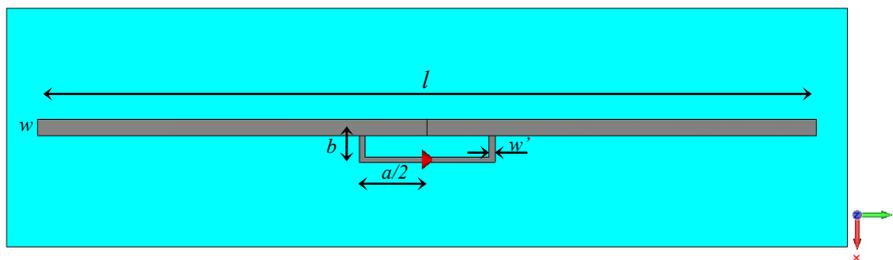


Figure IV-29 : Conception d'une antenne RFID adaptée en T (T-Match)

Les paramètres géométriques de cette antenne qui présentent les meilleurs résultats en (mm) sont : $l = 139$, $a = 11$, $b = 4.75$, $w = 3$, et $w' = 1$.

IV.3.2.1.4 Résultats de simulation et discussions

Les résultats de simulations du Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence obtenus avec CST et IE3D sont illustrés dans la Figure IV-30 :

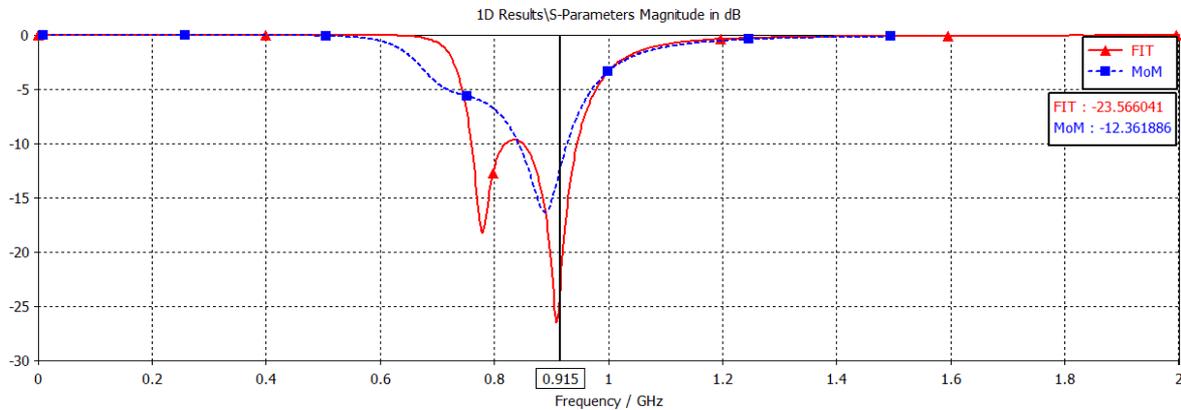


Figure IV-30 : Coefficient de réflexion $|S_{11}|$ de l'antenne adaptée en T

La simulation de la structure par le logiciel CST donne un coefficient de réflexion avec une résonance à la fréquence 915 MHz avec un niveau de -23dB. L'IE3D a donné un pic de (-12.36 dB) pour la fréquence 913MHz. Ces résultats sont très comparables, le décalage existant est dû aux logiciels qui sont basés sur deux méthodes différentes à savoir la méthode temporelle et la méthode des Moments. La bande passante relative de l'antenne pour les deux logiciels est de 21% (186 MHz).

La Figure IV-31 montre les allures de l'impédance d'entrée de l'antenne en fonction de la fréquence. Cette impédance possède une partie résistive faible et une inductance élevée à la fréquence 915MHz.

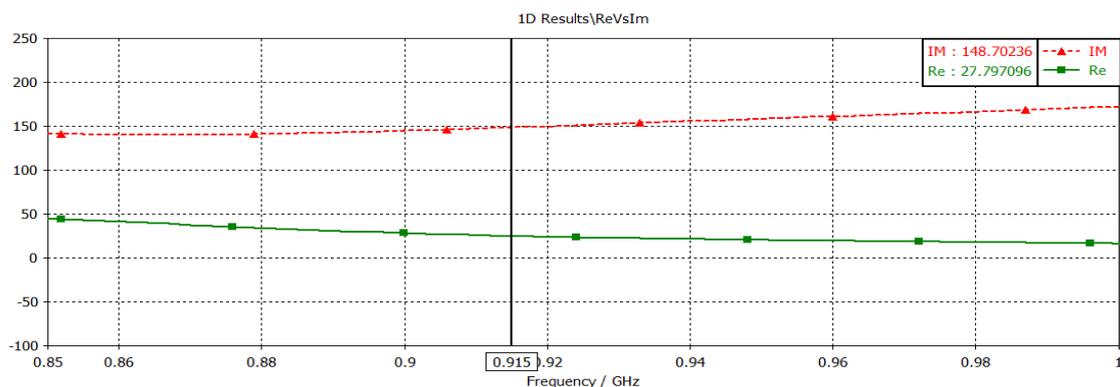


Figure IV-31 : Résultats de simulations de l'impédance de l'antenne (parties Imaginaire et réelle)

Comme nous pouvons le voir dans la Figure IV-31, l'impédance d'entrée de l'antenne correspond à l'impédance complexe conjuguée de la puce à la fréquence 915 MHz.

L'impédance de l'antenne est $Z_a=27.79+j147.51$ très proche du conjugué de l'impédance de la puce $Z_p=28-j148$.

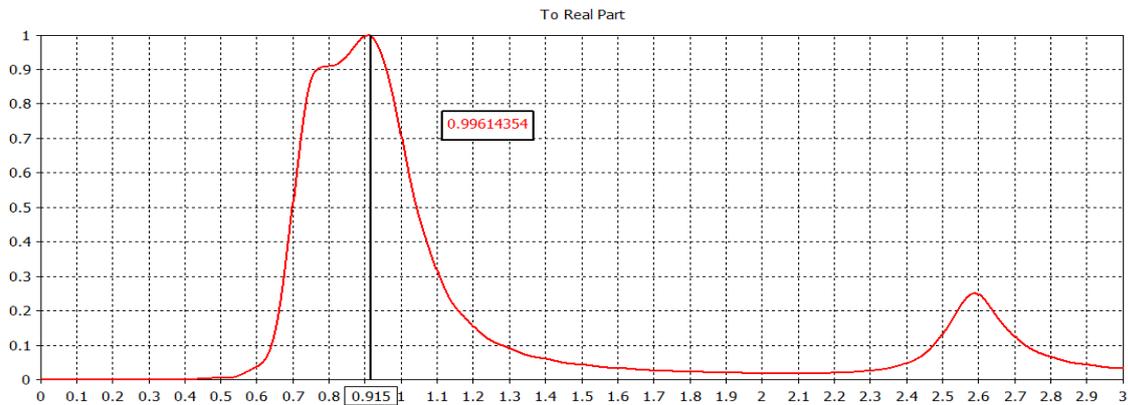
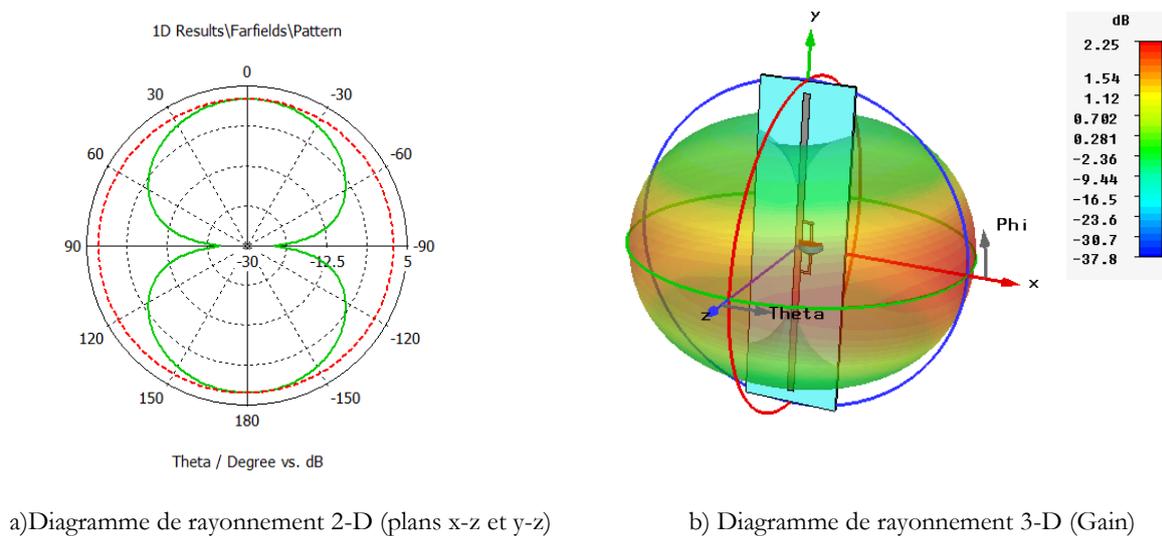


Figure IV-32 : Facteur d'adaptation de l'antenne à la fréquence 915 MHz

Le facteur d'adaptation de l'antenne (Figure IV-32), est utilisé pour juger à quel point une antenne RFID est adaptée avec une puce dans la réalité ; il est égal à 1 dans le cas parfait. Dans notre structure, il est de 0.9961 à la fréquence 915 MHz.

Les représentations des diagrammes de rayonnement en 2-D et 3-D pour cette structure sont montrées respectivement dans les figures (Figure IV-33(a) et (b)). L'antenne a un rayonnement omnidirectionnel dans le plan x-z ($\phi=0$) et symétrique bidirectionnel dans le plan y-z ($\phi=90$), comportement prévu pour les antennes de type dipôle.



a) Diagramme de rayonnement 2-D (plans x-z et y-z)

b) Diagramme de rayonnement 3-D (Gain)

Figure IV-33 : Diagramme de rayonnement 2-D & 3D à $f = 915$ MHz de l'antenne adaptée en T

La distance de lecture maximale de cette antenne est calculée à l'aide de la formule (IV-7), elle est de $D_{max}=7.58$ m sachant que le seuil de sensibilité de la puce XRAG2 est près de (-11 dBm)

[13], l'EIRP est fixé à 4W dans la bande (902-928 MHz), le gain et le coefficient de transmission du tag sont obtenus graphiquement à la fréquence 915 MHz.

Tableau IV-4 est un récapitulatif des différents résultats obtenus pour cette antenne dipôle. Cette étude a fait sujet d'une publication internationale [14].

Antenne adaptée en T (915 Mhz)	Z puce (Ω)	Z antenne (Ω)	S11 (dB)	BP (%)	Gain (db)	τ	D _{max} (m)
	28-j148	27.79+j147.5	-23.56	21	2.266	0.996	7.58

Tableau IV-4 : Récapitulatif des différents résultats de l'antenne « adaptée en T » à la fréquence 915 MHz

IV.3.2.2 L'adaptation avec une boucle à couplage inductif

IV.3.2.2.1 Définition

Une deuxième technique mise en œuvre pour établir une adaptation antenne-puce est celle du couplage inductif. Elle consiste à exciter l'antenne par couplage dipôle à travers une petite boucle située à proximité de l'élément rayonnant [11-17] (Figure IV-34) ce qui va créer un champ électromagnétique. Les bornes de la boucle sont reliées directement à la puce. Cette disposition ajoute une inductance supplémentaire à l'antenne et c'est la distance entre la boucle et le dipôle qui va affecter sa valeur.

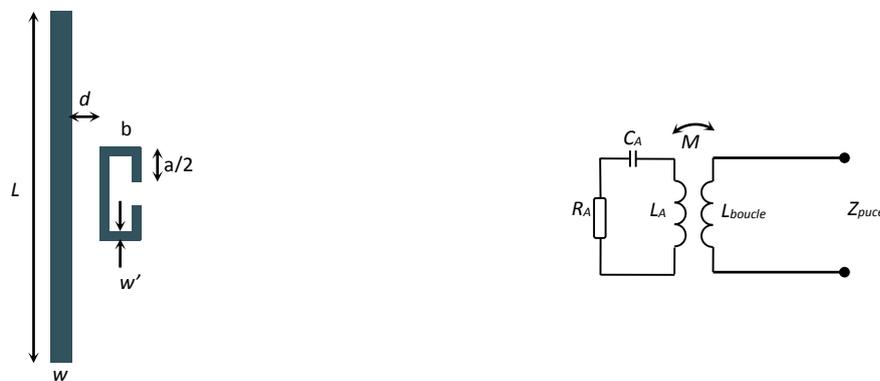


Figure IV-34 : Configuration d'une antenne à boucle à couplage inductif et son circuit équivalent

Le couplage inductif peut être modélisé par un transformateur, et l'impédance d'entrée vue depuis les terminaux résultant de la boucle peut être exprimée par (IV-10) [11]:

$$Z_{in} = Z_{boucle} + \frac{(2\pi f M)^2}{Z_A} \quad (IV-10)$$

Où $Z_{boucle} = 2j\pi f L_{boucle}$ est l'impédance d'entrée de la boucle.

$$R_{in}(f_0) = \frac{(2 \pi f_0 M)^2}{R_A(f_0)} \quad (\text{IV-11})$$

$$X_{in}(f_0) = 2 \pi f_0 L_{boucle} \quad (\text{IV-12})$$

À partir de l'équation (IV-11), on constate que la résistance de l'impédance de l'antenne ne dépend que du coefficient de couplage (M) entre l'élément rayonnant et la boucle de réaction.

D'après l'équation (IV-12), la partie réactive ne dépend que de l'inductance propre de la boucle.

IV.3.2.2.2 Approche de conception

La puce utilisée dans cette configuration a une impédance d'entrée de $16-j350 \Omega$ (*Philips EPC 1.19*) [15] à la fréquence 915 MHz, cela signifie que l'impédance de l'antenne à concevoir doit être de l'ordre de $16+j350 \Omega$ pour un transfert de puissance maximale.

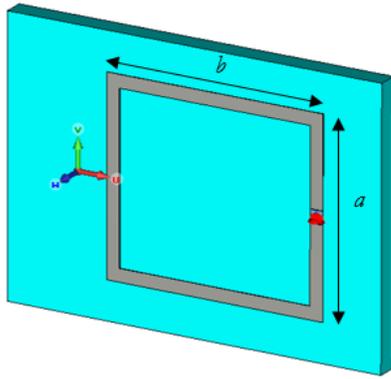
Nous cherchons donc à atteindre cette impédance conjuguée avec une faible partie réelle et une grande partie imaginaire positive (inductance élevée).

Pour se faire, nous avons joué sur l'ajustement des différents paramètres géométriques mais essentiellement sur a , b de la boucle.

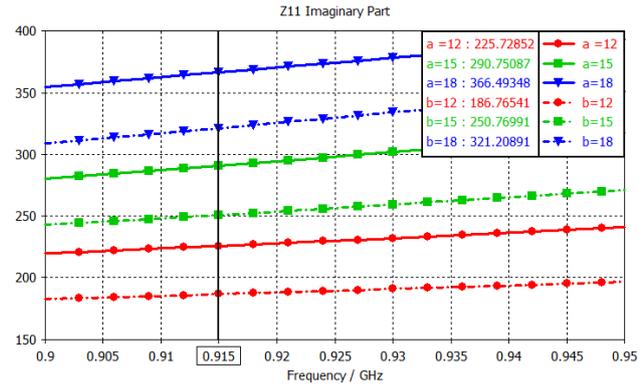
Puisque la réactance de l'antenne ne dépend que de l'inductance de la boucle, dans un premier temps, nous n'avons construit que la boucle seule, à l'aide de l'outil CST MWS [1] et nous avons fait une étude paramétrique, suivi par une optimisation afin de se rapprocher de la réactance désirée, qui vaut à peu près 350Ω .

La boucle de l'antenne dipôle conçue est illustrée dans la Figure IV-35(a). Elle est déposée sur un substrat de type FR4 de permittivité $\epsilon_r = 4.7$ avec une tangente de pertes $\delta = 0.0019$, et une épaisseur de $h = 1.6$ mm, et de dimensions (46×36) mm².

Nous montrons l'effet de paramètres géométriques de la boucle sur la partie imaginaire de l'impédance de l'entrée de l'antenne en faisant varier à la fois les deux paramètres a et b en leur attribuant les valeurs de 12mm, 15mm et 18mm. Les résultats de cette étude paramétrique sont représentés dans la Figure IV-35(b).



(a)- la boucle inductive



(b)- l'inductance de la boucle

Figure IV-35 : variation de a et b (parties imaginaires)

L'influence de la géométrie de la boucle associée au dipôle influe considérablement sur l'impédance d'entrée de l'antenne, elle dépend proportionnellement à cette impédance. Nous avons choisi les valeurs de $a = b = 18\text{mm}$ pour lesquelles l'inductance est presque 350Ω .

IV.3.2.2.3 Conception d'antenne boucle à couplage inductif

La conception finale de l'antenne adaptée par boucle à couplage inductif est illustrée dans Figure IV-36. Cette antenne est gravée sur un substrat de type FR-4 ayant une permittivité relative $\epsilon_r = 4.7$ avec une tangente de pertes $\delta = 0.0019$ et une épaisseur de $h = 1.6\text{ mm}$.

Les paramètres géométriques de cette antenne en (mm) sont : $W=36$, $L = 151$, $l = 141$, $a=18$, $b=18$, $w = 3$, $w' = 1$, $d = 3$. Ces paramètres géométriques ont été choisis afin d'assurer une bonne adaptation, et un rayonnement optimal. Les différents résultats de simulations de cette antenne sont présentés par la suite.

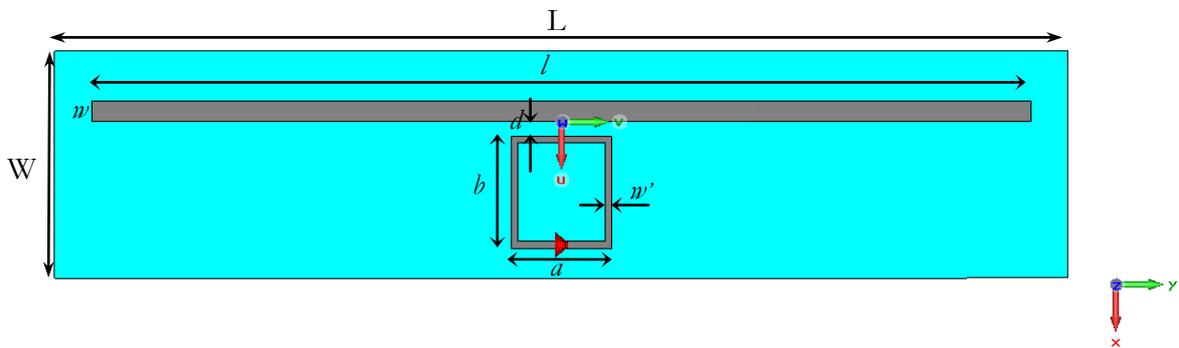


Figure IV-36 : Conception de l'antenne dipôle à couplage inductif

IV.3.2.2.4 Résultats et discussions des simulations

Le tracé du module du coefficient de réflexion mesuré en décibels en fonction de la fréquence est représenté dans la Figure IV-37. Nous avons atteint une bonne adaptation à la fréquence 915 MHz avec un niveau de -18.53 dB avec une bande passante égale à 2.32 % (21 MHz).

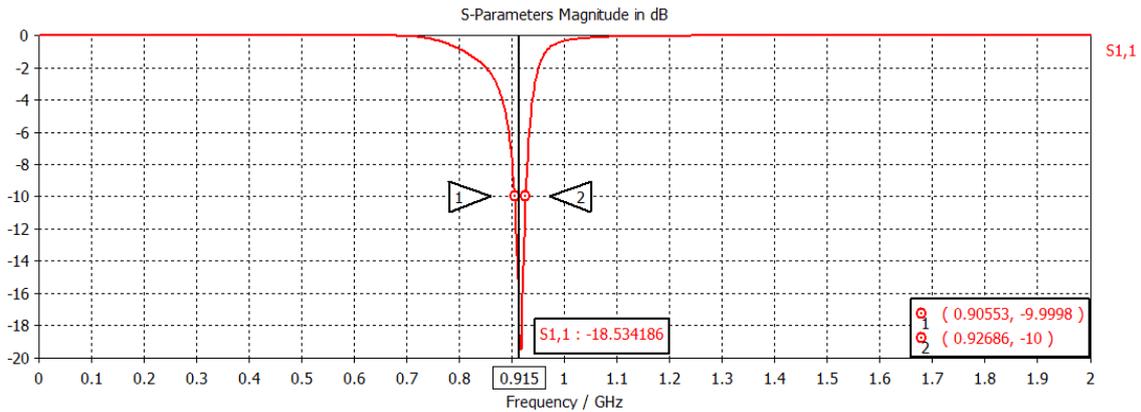


Figure IV-37 : Coefficient de réflexion S11 de l'antenne dipôle à couplage inductif

La figure ci-dessous illustre l'impédance d'entrée de cette antenne en fonction de la fréquence. Elle montre qu'à la fréquence de résonance qui est de 915MHz, l'impédance de l'antenne correspond au conjugué de celle de la puce. En effet, nous avons obtenu une impédance complexe $Z_a = 13.3 + j347.8 \Omega$ proche du conjugué de l'impédance de la puce $16 + j350 \Omega$.

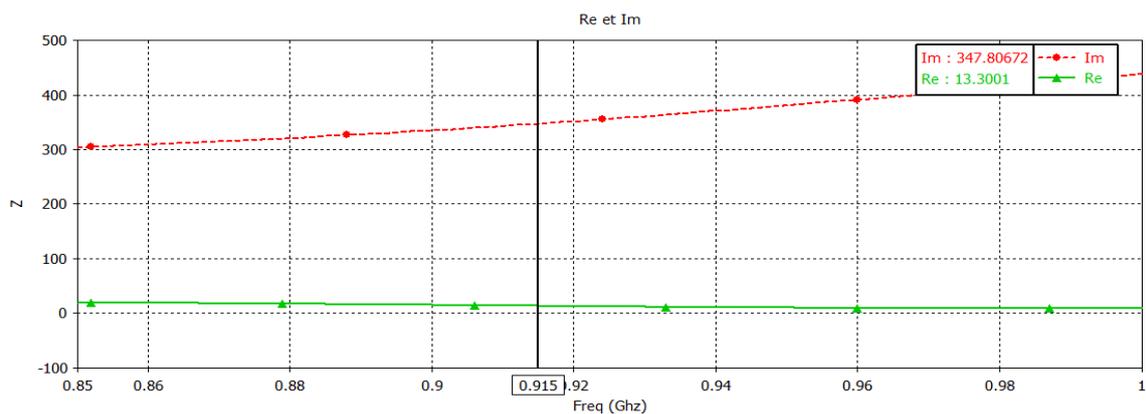


Figure IV-38 : Résultats de simulations de l'impédance d'antenne boucle à couplage inductif

Le facteur d'adaptation de l'antenne est illustré dans la Figure IV-39. Ce facteur est de 0.988 très proche de 1 à la fréquence 915 MHz.

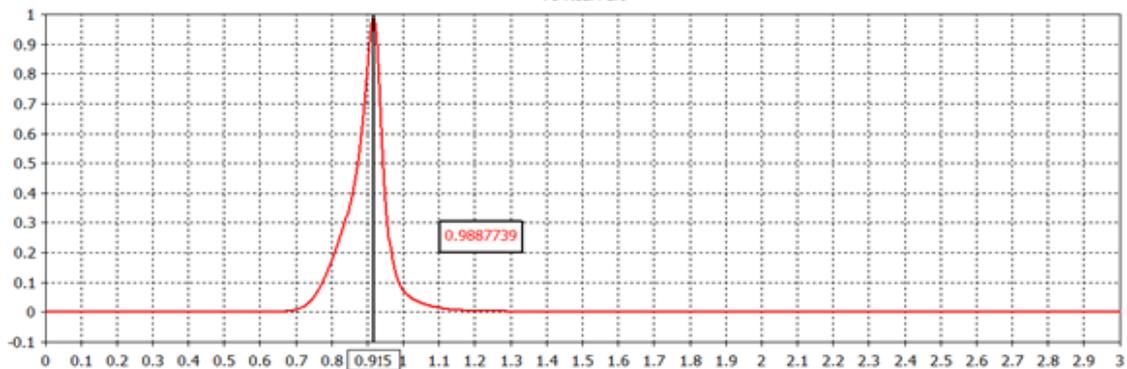
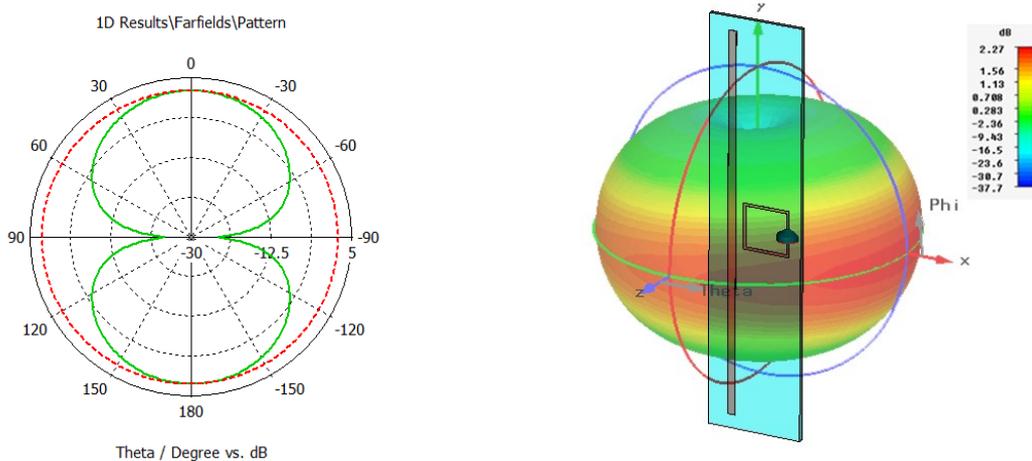


Figure IV-39 : Facteur d'adaptation de l'antenne dipôle à couplage inductif

La distance de lecture en espace libre de cette antenne, d'après l'équation (IV-7) est $D_{max}=5.53m$. Etant donné que le seuil de sensibilité de la puce Phillips EPC 1.19 [15] est près de (-8 dBm) et que l'EIRP est de 4W. Le gain et le coefficient de transmission à la fréquence 915 MHz sont extraits de la simulation électromagnétique.

La Figure IV-40-(a) illustre le diagramme de rayonnement en 2-D, le gain en 3-D quant à lui est représenté dans la Figure IV-40-(b). Cette antenne a un comportement d'une antenne dipôle, avec un diagramme quasi-omnidirectionnel. Le gain atteint à la fréquence de résonance (915 MHz) est de 2.27 dBi.



a) Diagramme de rayonnement 2-D (plans x-z et y-z)

b) Diagramme de rayonnement 3-D

Figure IV-40 : Diagramme de rayonnement 2D & 3-D (Gain) à $f = 915$ MHz de l'antenne adaptée en boucle

Les performances de cette antenne sont affichées dans le Tableau IV-5, à savoir l'impédance de la charge ainsi que les autres paramètres de rayonnement comme le coefficient de réflexion S_{11} , l'impédance d'entrée, le gain de l'antenne, la distance de lecture en espace libre.

Antenne adaptée en boucle inductif (915 Mhz)	Z puce (Ω)	Z antenne (Ω)	S11 (dB)	BP (%)	Gain (db)	τ	D _{max} (m)
	16-j350	13.3+j347.8	-18.53	21	2.27	0.988	5.53

Tableau IV-5 : Récapitulatif des différents résultats de l'antenne « adaptée en boucle » à 915 MHz

IV.3.2.3 L'adaptation par fente ou encoche

IV.3.2.3.1 Définition

Une autre technique qui permet d'atteindre une adaptation antenne-puce consiste à insérer une ou plusieurs fentes dans la géométrie de l'antenne. Ceci permet de rajouter un effet réactif inductif [11]. Cette technique est largement exploitée parce qu'elle permet l'adaptation même si l'étiquette est attachée à un substrat de haute permittivité. La forme de fente compte énormément car elle se considère comme un transformateur d'impédance ligne-fente, où chaque discontinuité fournit le stockage d'énergie et le rayonnement [3] (Figure IV-41).

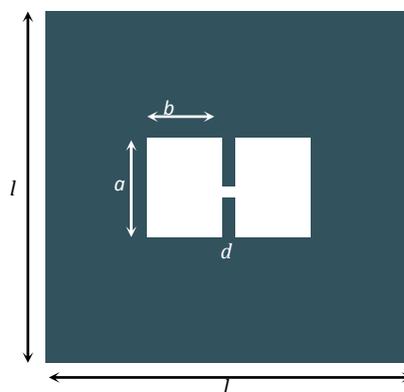


Figure IV-41 Configuration d'antenne adaptée par fente

Les tailles des fentes peuvent être comparables à la surface du patch, pour que les caractéristiques de rayonnement soient liées aux deux objets (patch, fentes). Autrement dit, le gain maximal de l'antenne est fixé principalement par la côte du patch l , tandis que le réglage d'impédance peut être modifiée en agissant sur les dimensions de la fente a et b . Par conséquent, l'antenne se comporte généralement soit comme une fente H [11], qui est un dipôle à large bande, soit comme un dipôle doublement plié, appelé aussi « *Nested Antenna* » [11].

IV.3.2.3.2 Approche de conception

Nous utiliserons pour cette configuration la même puce utilisée déjà dans le paragraphe § IV.3.2.2 (*Philips EPC 1.19*) [15]. Elle présente une impédance d'entrée de $16-j350 \Omega$ à la fréquence 915 MHz, ceci implique que l'impédance de l'antenne devra être proche de son conjugué c'est à dire $16+j350 \Omega$.

Comme nous l'avons dit au début de cette partie, pour varier la valeur de l'inductance, nous agissons sur les différents paramètres géométriques de la fente, essentiellement sur les dimensions a et b . La taille maximale de l'antenne initiale est de l'ordre d'une demi-longueur d'onde ($\lambda / 2 \sim 15.9$ cm à 915 MHz).

Une étude paramétrique et une optimisation des paramètres géométrique ont été faites à l'aide de l'outil de simulation CST MWS, afin de se rapprocher à l'impédance désirée. Pour cette configuration, le patch est de dimensions $l=w=150$ mm. Il est déposé sur un substrat de type FR-4 de permittivité relative $\epsilon_r = 4.4$ et de hauteur $h=1.6$ mm, et de dimensions 157×157 mm².

L'étude paramétrique consiste à faire changer les valeurs des deux variables de la fente en H à savoir « a » et « b », de 40mm à 50mm et de 20mm à 24mm respectivement, en prenant 3 échantillons (Figure IV-42 et Figure IV-43).

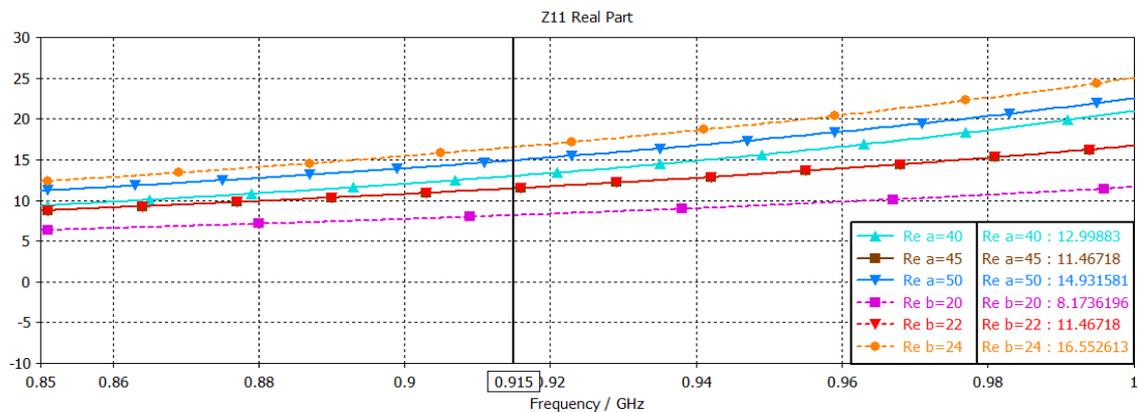


Figure IV-42 : Influence des paramètres de la fente sur la partie réelle de l'impédance d'entrée de l'antenne

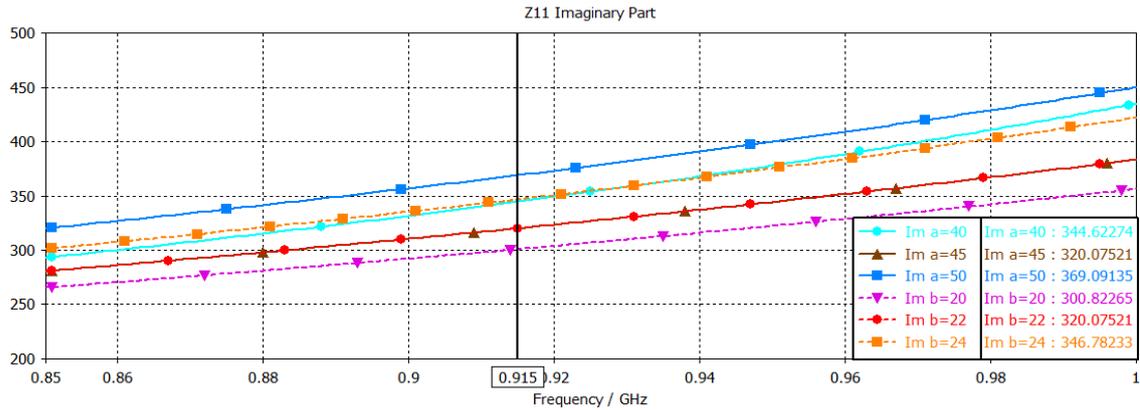


Figure IV-43 : Influence des paramètres de la fente sur la partie imaginaire de l'impédance d'entrée de l'antenne

Nous remarquons de par ces paramètres que l'influence du paramètre « b » de la fente en forme de H est plus importante que celui du paramètre « a ». Nous considérons dans ce qui suit la structure avec une valeur de $a=45\text{mm}$ et $b=22\text{mm}$.

IV.3.2.3.3 Conception finale de l'antenne

La figure ci-dessous illustre la géométrie de l'antenne conçue. Elle est dotée d'une fente en forme de H. Cette antenne est déposée sur un substrat du type FR-4 de permittivité relative $\epsilon_r = 4.4$ et de hauteur $h=1.6\text{mm}$. Pour la métallisation, nous avons choisi le cuivre avec une conductivité $\sigma=5.8 \times 10^7 \text{ S/m}$.

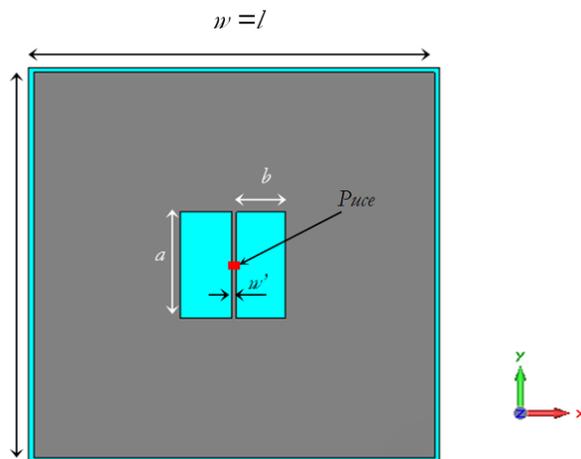


Figure IV-44 : Conception de l'antenne adaptée par fente (Nested Antenna)

Les paramètres géométriques optimaux de cette antenne en (mm) sont : $l=150$, $a = 45$, $b = 22$, $w'=2$.

IV.3.2.3.4 Résultats et discussions des simulations

La Figure IV-45 représente le tracé du module du coefficient de réflexion, mesuré en décibels, en fonction de la fréquence. Nous avons obtenu une bonne adaptation à la fréquence 915 MHz avec un niveau de -19.51dB et une bande passante mesurée à -10 dB de 2,05 % (à savoir 19 MHz).

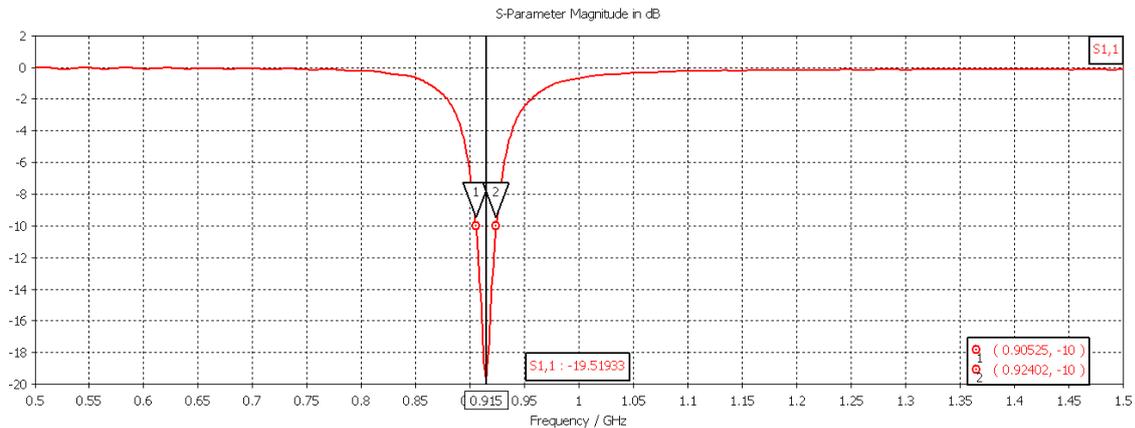


Figure IV-45 : Coefficient de réflexion S11 (dB) de l'antenne adaptée par fente en fonction de la fréquence (Ghz)

La Figure IV-46 illustre le graphe relatif à l'impédance d'entrée complexe de l'antenne en fonction de la fréquence. Les résultats obtenus montrent que l'antenne possède une partie résistive faible et une inductance élevée à la fréquence de résonance. Elle correspond au conjugué de l'impédance de la puce à la fréquence 915 MHz ($Z_a=14.42+j351.196$).

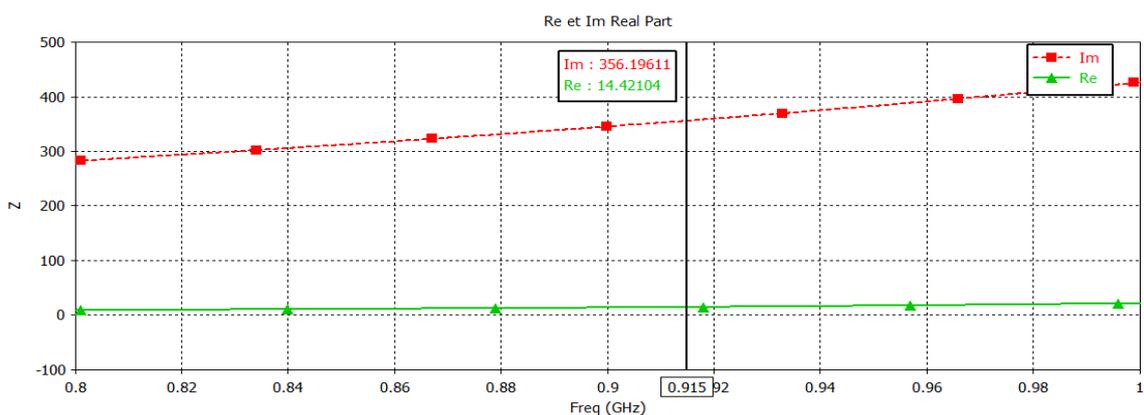


Figure IV-46 : Résultats de simulations de l'impédance d'antenne adaptée par fente (Imaginaire et Réel)

Le facteur d'adaptation de l'antenne est présenté dans la Figure IV-47. Il atteint la valeur de maximum $0.957 \approx 1$ à la fréquence 915 MHz. Nous pouvons en déduire qu'une bonne adaptation antenne-puce sera réalisée une fois la puce insérée dans le tag.

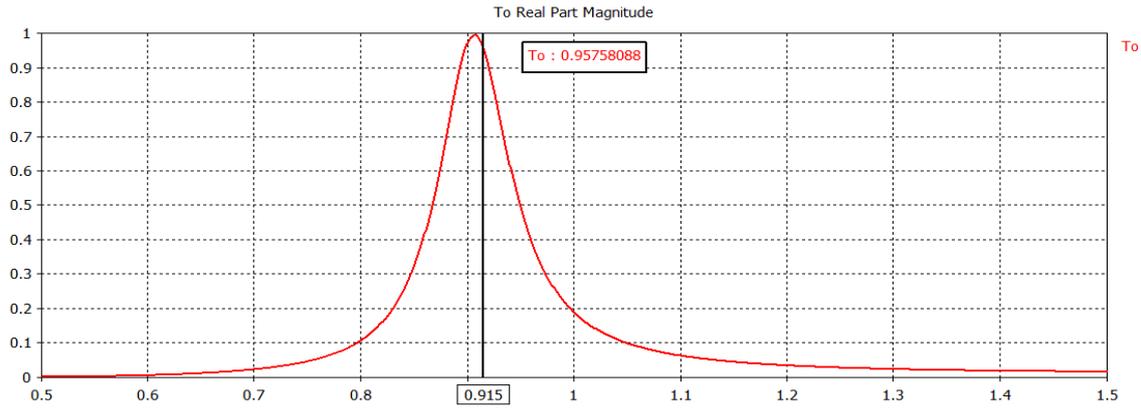
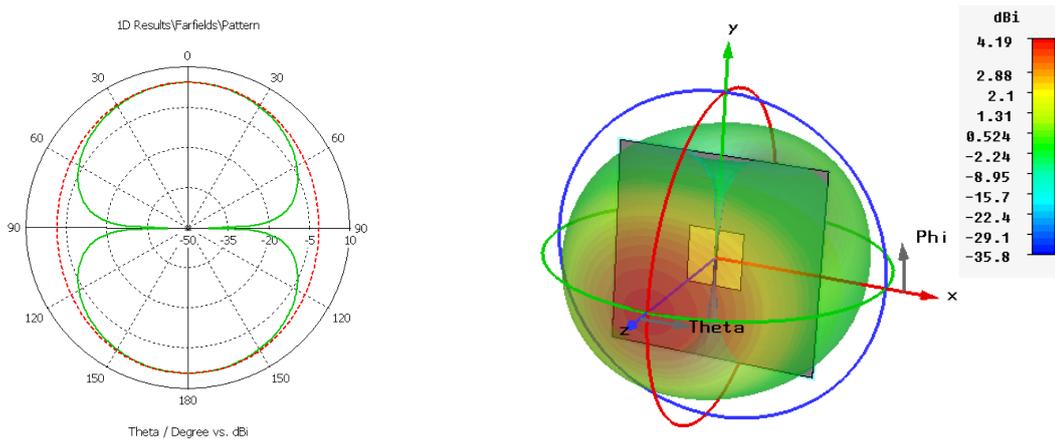


Figure IV-47 Coefficient de transmission de l'antenne adaptée par fente

Les représentations du diagramme de rayonnement en 2-D et 3-D pour cette conception, sont montrées respectivement dans les Figure IV-48 (a) et (b).



a) Diagramme de rayonnement 2-D (plans x-z et y-z)

b) Diagramme de rayonnement 3-D

Figure IV-48 : Diagramme de rayonnement 2D & 3-D (Gain) à $f = 915$ MHz de l'antenne adaptée par fente

Ce diagramme de rayonnement au niveau des deux plans principaux coïncide avec celui d'une antenne dipôle simple. La valeur absolue du gain de cette antenne est de 4.07 dB à la fréquence de résonance 915 MHz.

Le Tableau IV-6 est un récapitulatif des différents résultats trouvés pour cette configuration, il résume les paramètres de rayonnement à savoir le coefficient de réflexion S_{11} , gain de l'antenne, la distance de lecture théorique en espace libre etc.

Antenne adaptée avec une fente (915 Mhz)	Z puce (Ω)	Z antenne (Ω)	S11 (dB)	BP (%)	Gain (db)	τ	D_{\max} (m)
	16-j350	14.42+j356	-19.51	20	4.07	0.957	6.60

Tableau IV-6 : Récapitulatif des différents résultats de l'antenne « adaptée par fente » à 915 MHz

Nous avons conçu jusque-là des structures d'antennes tag adaptées à des puces bien particulières. Leurs tailles étaient de l'ordre de la demi-longueur d'onde.

Cependant, la technologie RFID ainsi que toutes les technologies récentes (GSM, Wi-Fi,...), s'intéressent à la miniaturisation de ses dispositifs notamment le tag afin de faciliter son intégration sur les objets à identifier. L'antenne tag étant l'un des éléments les plus encombrants, nous avons trouvé judicieux de consacrer une partie de ce chapitre à sa miniaturisation.

IV.3.3 Miniaturisation d'antennes RFID

Dans cette nouvelle partie, nous nous intéressons en plus de l'adaptation entre l'antenne tag et la puce insérée, à la miniaturisation. Cette dernière est devenue primordiale et nécessaire notamment avec le développement de la technologie mobile. Nous présenterons deux conceptions d'antennes miniatures. Pour se faire, nous avons exploité la technique de repliement. Ce type d'antennes est très répandu dans les tags RFID grâce à leurs compacités et leurs efficacités.

IV.3.3.1 1^{ère} structure d'antenne ligne Méandre

IV.3.3.1.1 Approche de conception

Les tags UHF RFID, doivent être fixés sur des petits objets, de ce fait la géométrie de l'antenne doit être le plus souvent miniaturisée.

Comme il a été proposé par *G. Marrocco* dans [17], la méthode la plus efficace de miniaturiser une antenne dipôle, tout en gardant la fréquence de résonance, est de plier les deux bras du dipôle afin de réaliser un chemin serpenté. Cette configuration produit une distribution linéaire de réactance capacitive et inductive affectant l'impédance d'entrée de l'antenne, (voir Figure IV-49). Dans cette figure, on remarque que les deux réactances capacitatives et inductives sont mutuellement annulées. Les courants sur les segments verticaux adjacents de l'antenne, ont des phases opposées. Ces courants ne produisent aucune puissance rayonnée considérable à l'exception des pertes de puissance et de stockage de l'énergie électrique. Par conséquent, les fréquences de résonance sont beaucoup plus faibles que dans le cas d'une structure dipolaire droite de même longueur.

Cependant, les lignes horizontales de l'antenne servent principalement à contrôler la résistance de rayonnement. Les valeurs de ces résistances de rayonnement sont affectées par la largeur horizontale totale de l'antenne par rapport à la longueur d'onde de résonance.

Afin d'obtenir l'impédance d'antenne souhaitée, la configuration géométrique de l'antenne à méandres est très importante. Dans différents travaux [3] [16,17], les auteurs ont constaté que la fréquence de résonance dépend de cinq paramètres décrivant les dimensions physiques de la ligne méandre notamment : le nombre de spires (N), la longueur verticale (h) et horizontal (m) des segments d'une spire, la longueur de la ligne conductrice (S) et la largeur de la ligne (w) (voir Figure IV-49).

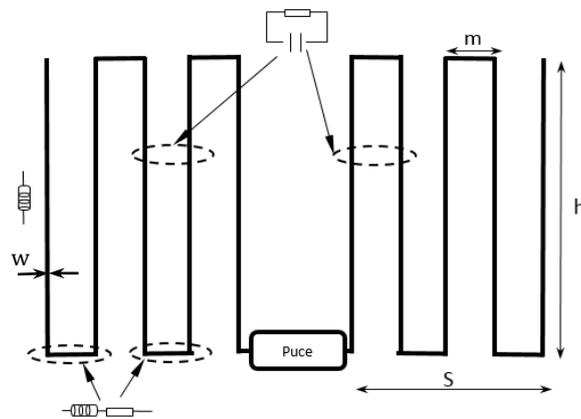


Figure IV-49 : La géométrie de base d'une antenne dipôle a ligne Méandre

L'impédance caractéristique des deux lignes verticales adjacentes peut être exprimée par l'équation suivante [3] :

$$Z_0 = \frac{\eta}{\pi} \log \frac{2m}{w} \quad (\text{IV-13})$$

Où η est l'impédance d'onde dans l'espace libre, m est le nombre des segments horizontaux de la spire et w es la largeur de la ligne.

L'impédance d'entrée de deux lignes verticales adjacentes Z_{in} est donnée par l'équation ci-dessous [3]:

$$Z_{in} = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan \beta h}{Z_0 + jZ_L \tan \beta h} \quad (\text{IV-14})$$

Où β (le nombre d'ondes) est égal à $2\pi/\lambda$, h est la longueur des lignes verticales, Z_L est l'impédance de charge des deux lignes verticales adjacentes. Étant donné que toutes les lignes verticales adjacentes sont terminées par un court-circuit, $Z_L = 0$ et l'équation (IV-14) devient :

$$Z_{in} = jZ_0 \tan \beta h \quad (IV-15)$$

Après un développement limité de la fonction $\tan \beta h$ en considérant que $\beta h \ll 1$, l'inductance réactive L formée par chacune des deux lignes verticales adjacentes sera exprimée par :

$$L = \frac{\mu_0 h}{\pi} \log \frac{2m}{w} (1 + 1/3 (\beta h)^2) \quad (IV-16)$$

Où μ_0 est la perméabilité du vide.

Par conséquent, l'équation (IV-15) devient :

$$Z_{in} = jZ_0 \tan(\beta h + \frac{1}{3} (\beta h)^3) = j\omega L \quad (IV-17)$$

Et l'équation (IV-16) devient :

$$\frac{\mu_0}{2\pi} S (\log \frac{4s}{w} - 1) + N \frac{\mu_0 h}{\pi} \log \frac{2m}{w} (1 + \frac{1}{3} (\beta h)^2) = \frac{\mu_0}{\pi} \frac{1}{4} \lambda (\log (\frac{2\lambda}{w}) - 1) \quad (IV-18)$$

Selon la formule (IV-18), la fréquence de résonance ($f=c/\lambda$) est déterminée par le nombre de spires (N), la hauteur (h), la largeur et la longueur totale de la structure (w,s), avec une proportionnalité inverse entre les valeurs des dimensions et celle de la fréquence.

Lors de notre conception, nous nous sommes intéressés à la fois à la miniaturisation et à l'adaptation antenne-charge afin d'assurer à la fois un bon fonctionnement du tag et une compacité de la structure.

IV.3.3.1.2 Étude Paramétrique

Notre étude est basée sur un modèle initial proposé par *W.Xunxun* [17]. La longueur de notre antenne conçue est de 43mm, à une telle dimension la fréquence de résonance appropriée serait de 3,5 GHz. Cependant, la longueur d'une antenne dipôle ($\lambda/2$) à 866MHz est de 173 mm sachant que notre fréquence désirée est de 866MHz. Afin de réduire la fréquence de résonance tout en conservant sa petite taille, le nombre initial de spires doit être assez grand. Il a été fixé à $N=8 \times 2$. Les segments horizontaux ont la même longueur $w_1 = 2$ mm, l'épaisseur du ruban $w'=0.5$ mm.

Cette antenne est gravée sur un substrat du type FR-4 de permittivité relative $\epsilon_r = 4.4$, de tangente de perte de 0.0001 et de hauteur $h_{\text{sub}}=1.6\text{mm}$. Pour la partie métallique, nous avons utilisé du cuivre ayant une conductivité 5.8×10^7 (S/m). La puce utilisée est SMT EPC GEN 2 IC d'impédance $9.8 + j73 \Omega$. Cette structure est schématisée dans la Figure IV-50.

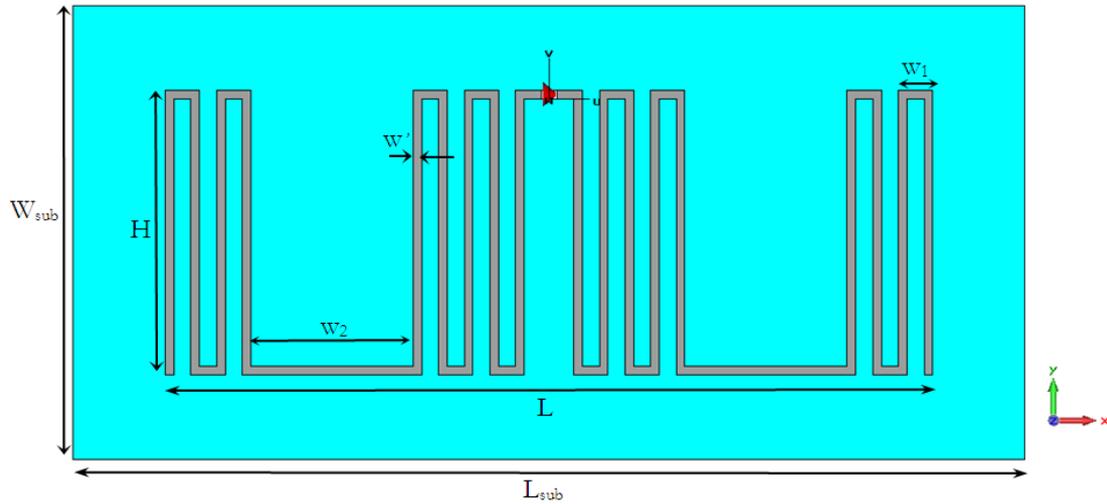


Figure IV-50 : Conception Antenne dipôle à ligne Méandre-1

Nous avons fait une étude paramétrique basée sur la variation de quelques paramètres géométriques. Le premier paramètre à étudier est le paramètre « H », on a considéré une valeur minimale de 14.75mm et une valeur maximale de 17.75 mm, en prenant 4 échantillons dans cet intervalle tout en maintenant la valeur du paramètre w_2 à 11mm.

Les résultats obtenus par simulation de l'impédance d'entrée de l'antenne (partie réelle et partie imaginaire) sont représentées respectivement dans la Figure IV-51 et la Figure IV-52.

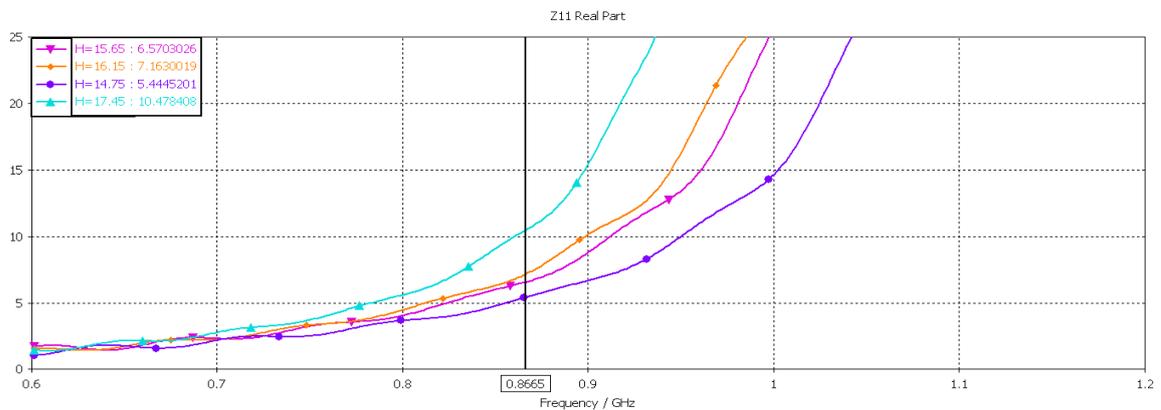


Figure IV-51 : la Variation de de la partie réelle pour différentes valeurs de h

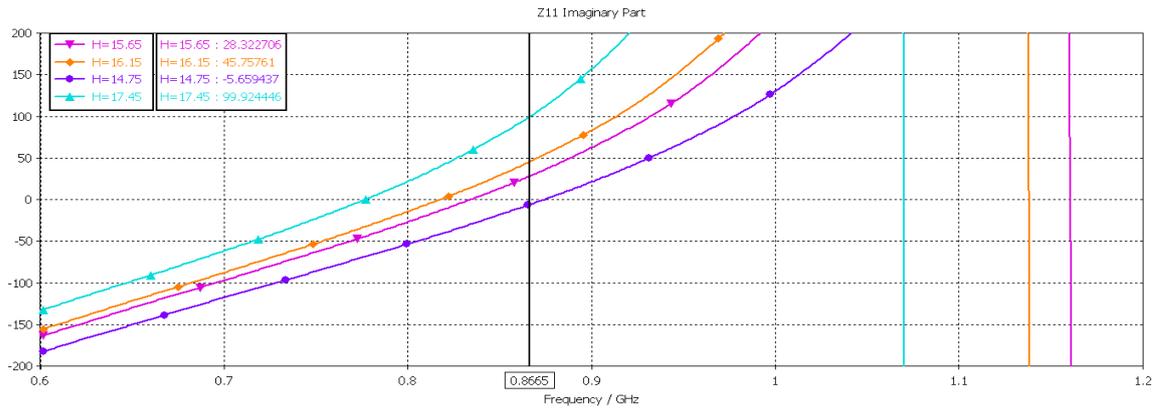


Figure IV-52 : la Variation de de la partie imaginaire pour différentes valeurs de h

Nous remarquons une proportionnalité entre ce paramètre et l'inductance de l'antenne, de plus la hauteur est grande de plus l'inductance est grande, la meilleure valeur de h est de 16,15mm.

Il a été montré dans [18] que la fréquence de résonance est considérablement affectée par les longueurs des segments horizontaux. Nous allons donc faire varier le paramètre (w_2) en prenant 4 valeurs comprises entre 8mm et 11mm, en fixant la valeur du paramètre H à celle déjà qui a été considéré comme optimale par l'étude paramétrique précédente, c'est-à-dire 16,5mm.

Les variations de l'impédance d'entrée de l'antenne obtenue par simulation sous CST sont représentées par les Figure IV-53 et Figure IV-54. Nous constatons une dépendance entre ce paramètre et la partie réelle de l'impédance, ils varient proportionnellement. La meilleure valeur de w_2 qui répond plus au critère désiré est de 10mm.

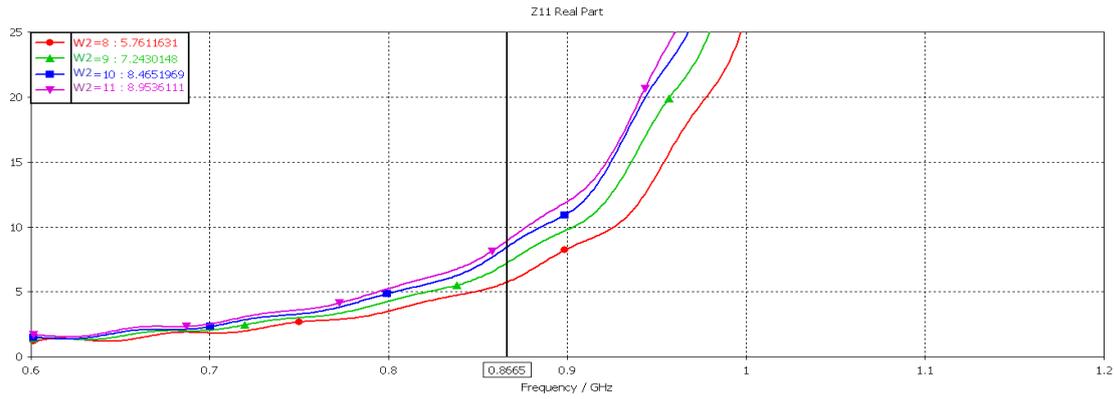


Figure IV-53 : l'influence de w_2 sur la partie réelle de l'antenne

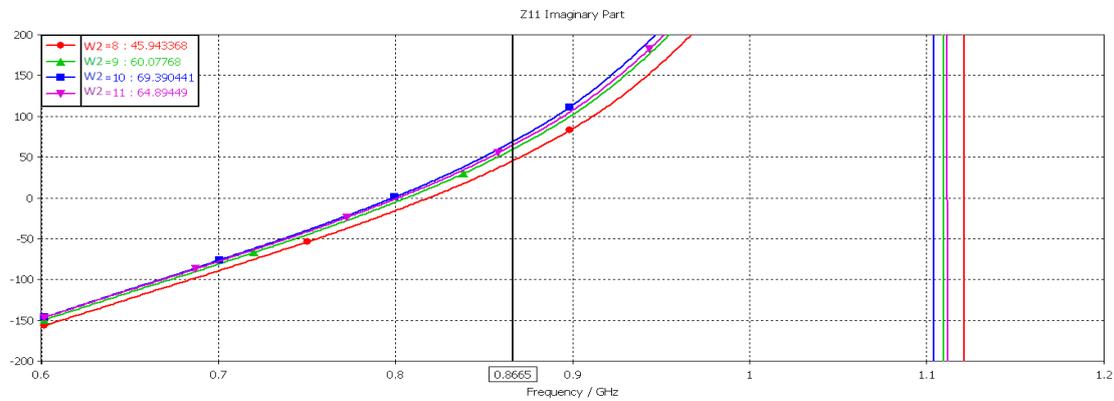


Figure IV-54 : l'influence de w_2 sur la partie imaginaire de l'antenne

Nous constatons que l'augmentation des deux paramètres (H et w_2) entraîne une augmentation dans les parties imaginaire et réelle de l'impédance de l'antenne. Finalement, les valeurs optimales obtenues sont $H = 16,15$ mm et $w_2 = 10$ mm.

Pour aller vers des performances optimales, une optimisation de sur le paramètre H et w_2 a été entamé après l'étude paramétrique précédente, et cela en appliquant l'algorithme génétique de CST MWS comme outil d'optimisation (Figure IV-55).

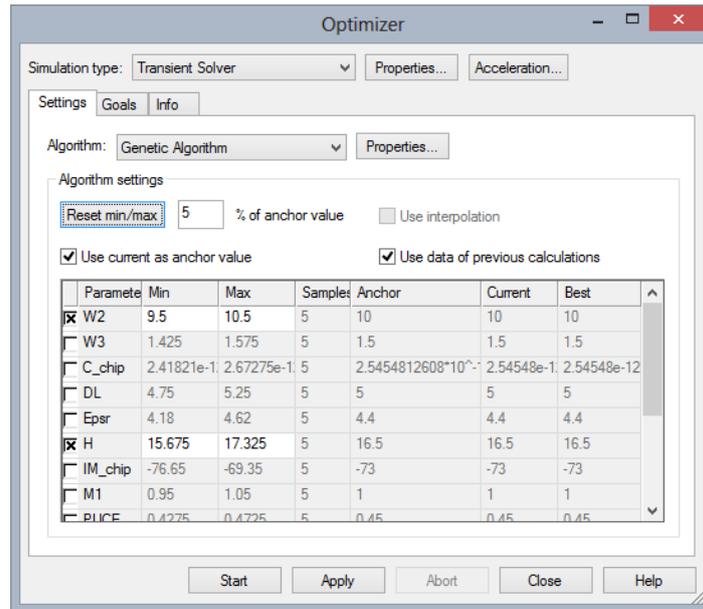


Figure IV-55 : Optimisation sous le logiciel CST

Finalement, les paramètres géométriques de cette antenne après optimisation en (mm) sont : $W_{\text{sub}} = 26$, $L_{\text{sub}} = 55$, $H = 16.85$, $L = 45$, $w_1 = 2$, $w_2 = 9.66$ et $w' = 0.5$.

La Figure IV-56 illustre l'impédance d'entrée de l'antenne miniaturisée conçue. Sa valeur est de $Z_a = 9.08 + j72.28 \Omega$, très proche du conjugué de la puce $Z_{\text{puce}} = 9.8 - j73 \Omega$.

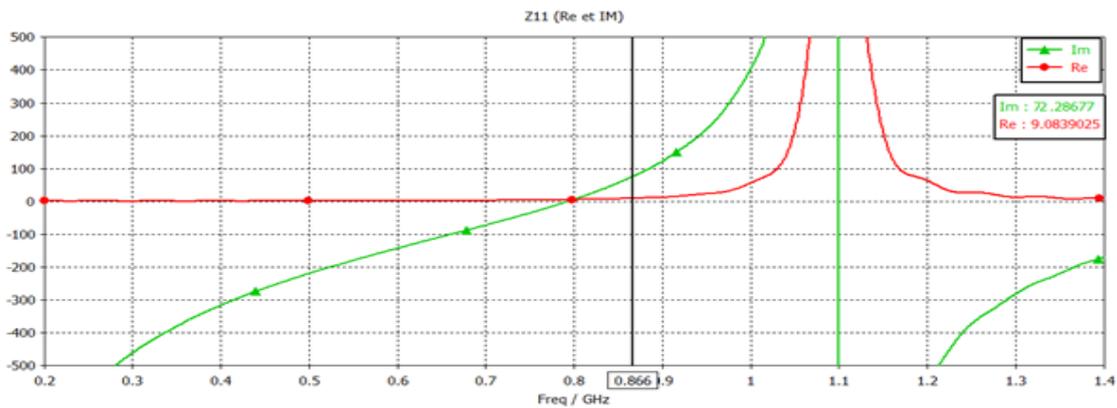


Figure IV-56 : Résultats de simulations de l'impédance de l'antenne Méandre -1 (Imaginaire et Réelle)

Le tracé du module du coefficient de réflexion, mesuré en décibels, en fonction de la fréquence est représenté dans la Figure IV-57. Nous avons atteint une bonne adaptation à 866MHz avec un niveau de -19.32 dB et une bande passante égale à 2.32 % qui équivaut à 21 MHz.

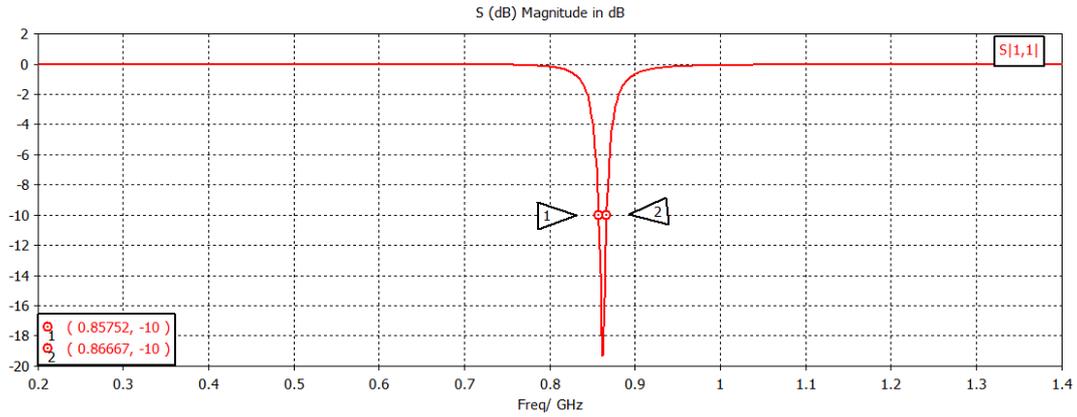


Figure IV-57 : Coefficient de réflexion S11 (dB) de l'antenne dipôle à ligne Méandre-1

La Figure IV-58 présente le facteur d'adaptation de l'antenne, il confirme l'adaptation entre les deux impédances (celle de l'antenne et celle de la puce). Il a atteint son maximum à la fréquence 866MHz à savoir $0.981 \approx 1$.

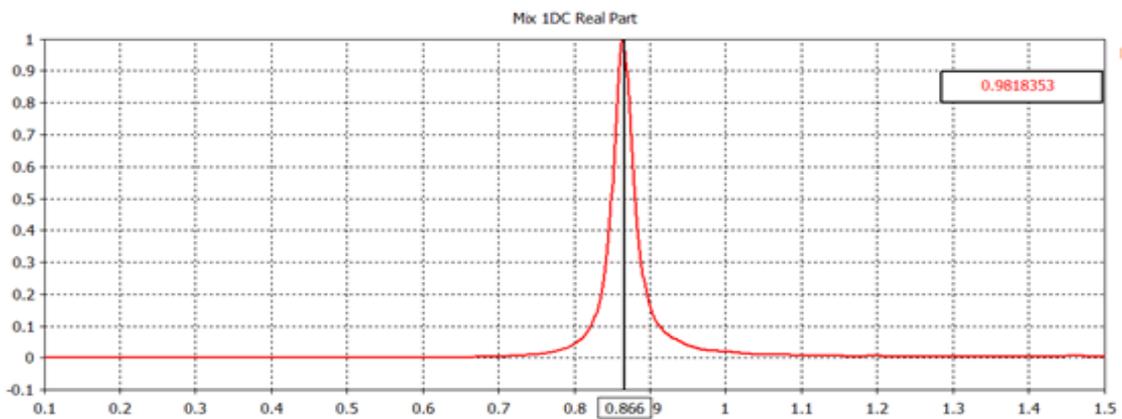
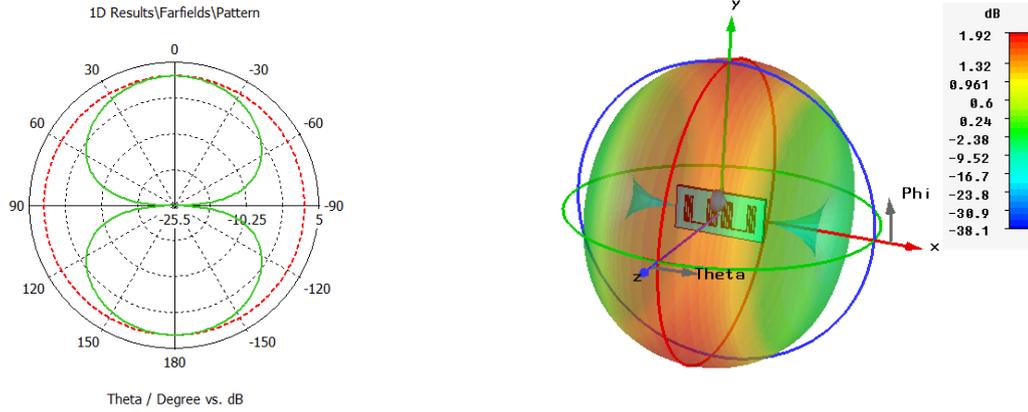


Figure IV-58 : le Facteur d'adaptation de l'antenne Meandre-1

Les représentations de diagramme de rayonnement en 2-D et 3-D pour cette conception, sont montrées respectivement dans les figures (Figure IV-59 (a) et (b)). Ce diagramme est bidirectionnel dans le plan x-z ($\phi=0$) et omnidirectionnel au plan y-z ($\phi=90$). Cette antenne se comporte comme une antenne dipôle. La valeur absolue du gain de cette antenne est de 1.92 dB à la fréquence 866 MHz.



a) Diagramme de rayonnement 2-D (plans x-z et y-z)

b) Diagramme de rayonnement 3-D

Figure IV-59 : Diagramme de rayonnement 2D & 3-D (Gain) à $f = 866$ MHz de l'antenne Meandre-1

Nous avons calculé la distance de lecture maximale en espace libre, elle est de $D_{\max} = 5.49$ m en appliquant la formule (IV-7). Le seuil de sensibilité de la puce SMT EPC GEN 2 IC défini dans [15] est près de (-9 dBm). L'EIRP est fixé à 3.28 W dans la bande (865-869 MHz), le gain et le coefficient de transmission du tag sont obtenus par simulation à la fréquence 866 MHz.

Un résumé des différents résultats de cette antenne est illustré dans le tableau suivant :

Antenne Meandre-1	Z puce (Ω)	Z antenne (Ω)	S11 (dB)	BP (%)	Gain (db)	τ	D_{\max} (m)
(866 Mhz)	9.8-j73	9.08+j72	-19.32	2.3	1.92	0.9	5.49

Tableau IV-7 : Récapitulatif des différents résultats de l'antenne « Meandre-1 » à la fréquence 866 MHz

IV.3.3.2 2^{ème} structure d'antenne ligne Méandre

IV.3.3.2.1 Approche de conception

Une deuxième antenne dipôle à ligne méandre a été étudiée. Le modèle initial occupe une surface de 55 x 30 mm. Afin de réduire la fréquence de résonance à 868MHz et de garder la compacité, nous avons ajouté des spires comme dans la première configuration, mais ces dernières sont de longueurs inégales (*Unequal Turns*) ainsi qu'on peut le voir dans la Figure IV-60.

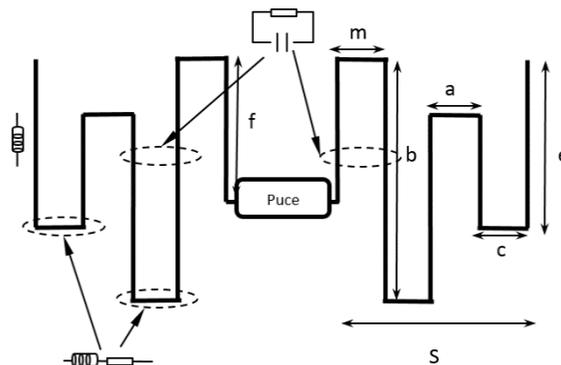


Figure IV-60 : La géométrie de base d'une antenne dipôle a ligne Méandre avec des spires inégales

Le nombre initial de spires a été fixé à $N = 2 \times 2$. A la différence de l'antenne précédente, les segments horizontaux et verticaux ont des longueurs inégales. Nous avons effectué une étude paramétrique sur ces segments, afin de miniaturiser notre antenne de plus en plus tout en assurant une bonne adaptation entre l'impédance de l'antenne et celle de la puce à la fréquence désirée 868 MHz.

Nous utilisons *Alien Higgs-2 Chip* comme puce électronique, elle possède une impédance complexe de $15-j151 \Omega$ à la fréquence 868 MHz. L'impédance d'entrée de l'antenne devra être proche de conjugué de l'impédance de la puce à savoir $15+j150 \Omega$. Pour attendre une telle impédance, une étude paramétrique sur les différents segments verticaux, et horizontaux sera menée et présentée.

Nous avons déjà montré dans la section précédente que la fréquence de résonance est affectée par la longueur des segments verticaux, (e , b et f) et par celles des segments horizontaux (c et a).

IV.3.3.2.2 Étude Paramétrique

La Figure IV-61 représente la structure en étude. Elle possède 4 spires inégales. Cette antenne est déposée sur un substrat du type FR-4, d'une épaisseur de 0.8 mm et d'une permittivité relative $\epsilon_r=4.4$

Les paramètres géométriques de la structure en mm sont : $W_{\text{sub}}=50$, $L_{\text{sub}} = 27$, $e = 46$, $f=18$, $w'=0.7$.

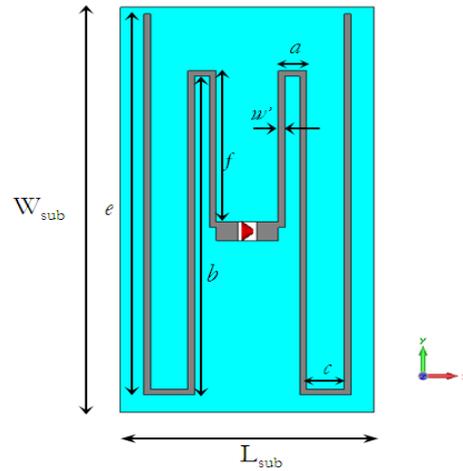


Figure IV-61 : Conception Antenne dipôle à ligne Méandre-2

Les Figure IV-62 et Figure IV-63 présentent les parties réelle et imaginaire de l'impédance d'entrée, pour plusieurs valeurs de a et de b respectivement. Nous commençons par varier le paramètre « a » entre 2.5 et 4mm en fixant b à 40mm. La Figure IV-62 montre les résultats obtenus après simulation.

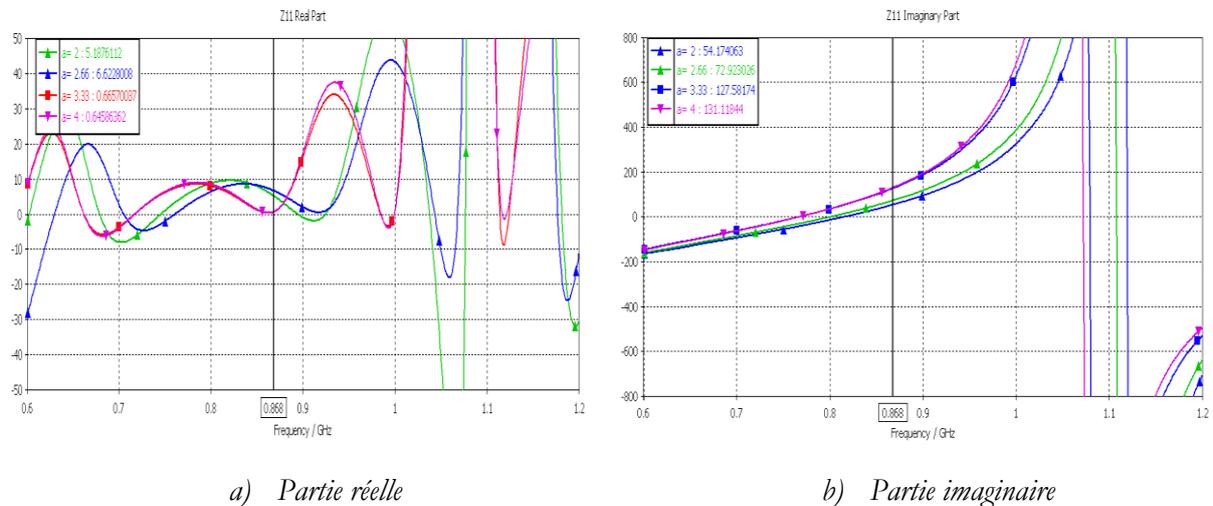


Figure IV-62 : la Variation de l'impédance de l'antenne pour différentes valeurs de « a . »

Nous constatons que le paramètre « a » affecte plus l'allure de la partie imaginaire de l'inductance, la meilleure valeur de ce paramètre est de 3.33 mm à laquelle la partie inductive de l'antenne est à 127.58Ω .

Nous fixons le paramètre « a » à cette valeur, et nous varions le paramètre « b » de 35mm à 45mm. La Figure IV-63 illustre l'ensemble des résultats simulés.

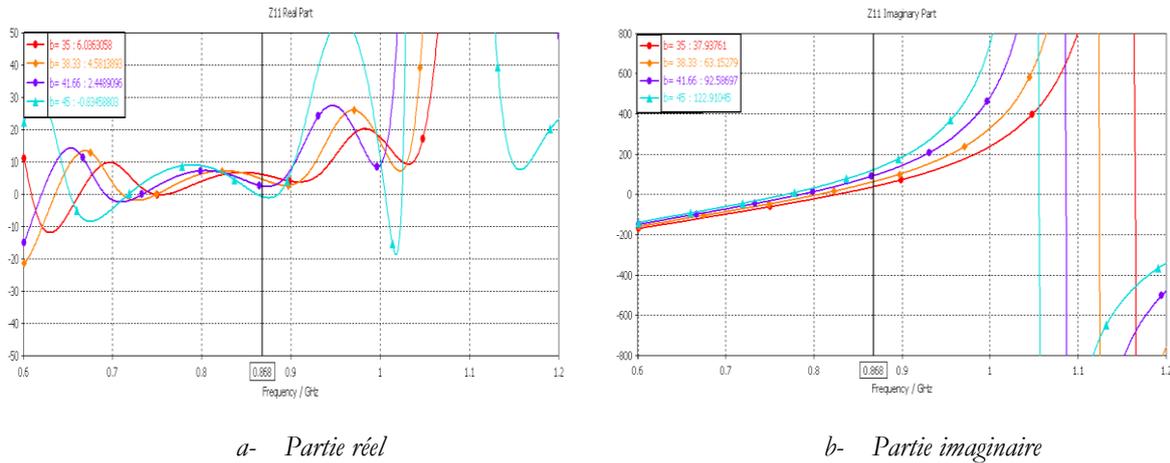


Figure IV-63 : La Variation de l'impédance de l'antenne pour différentes valeurs de b.

Nous remarquons que les valeurs du paramètre « b » sont proportionnelles à la réactance et inversement proportionnelle à la résistance et cela pour la fréquence 868MHz, la valeur considérée est 38.33mm.

Nous remarquons dans les figures ci-dessus que les valeurs de a et de b sont proportionnelles à la réactance et inversement proportionnelles à la résistance et cela pour la fréquence 868 MHz.

Une étape d'optimisation nous est parue importante, nous avons optimisé ces deux paramètres, et nous sommes parvenues aux valeurs de 3mm et 39.68mm pour a et b respectivement.

Finalement, les paramètres géométriques de cette antenne en (mm) sont :

$$W_{\text{sub}}=50, L_{\text{sub}}=27, e=46, a=3, b=39.68, c=4, f=18 \text{ et } w'=0.7.$$

Le coefficient de réflexion et le coefficient de transmission de cette configuration sont illustrés respectivement dans les Figure IV-64 et Figure IV-65.

L'antenne présente une bonne adaptation dans la bande UHF, avec un coefficient de réflexion égale à -19.56 dB à la fréquence centrale 868 MHz. Et une bande passante de 1.2% à -10dB. Le coefficient de transmission est supérieur à 0.9 % (0.952) dans la fréquence UHF 866MHz.

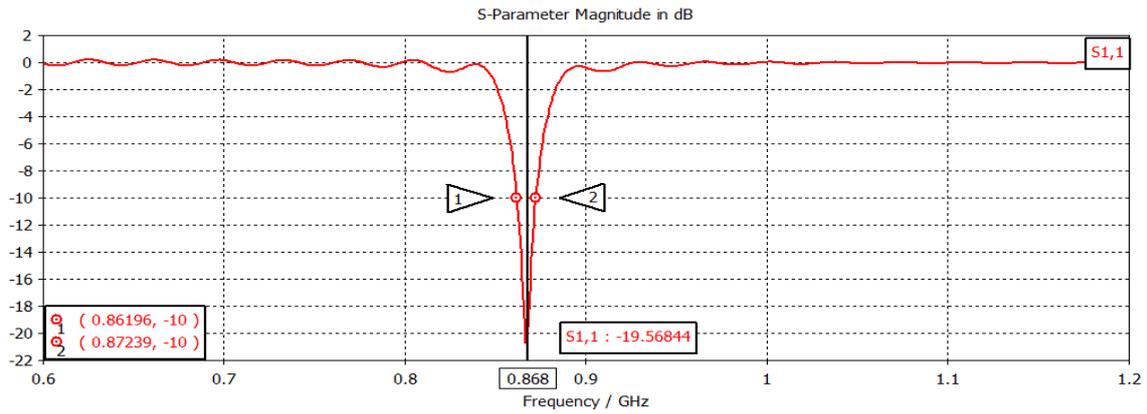


Figure IV-64 : Coefficient de réflexion S11 (dB) de l'antenne dipôle à ligne Méandre-2

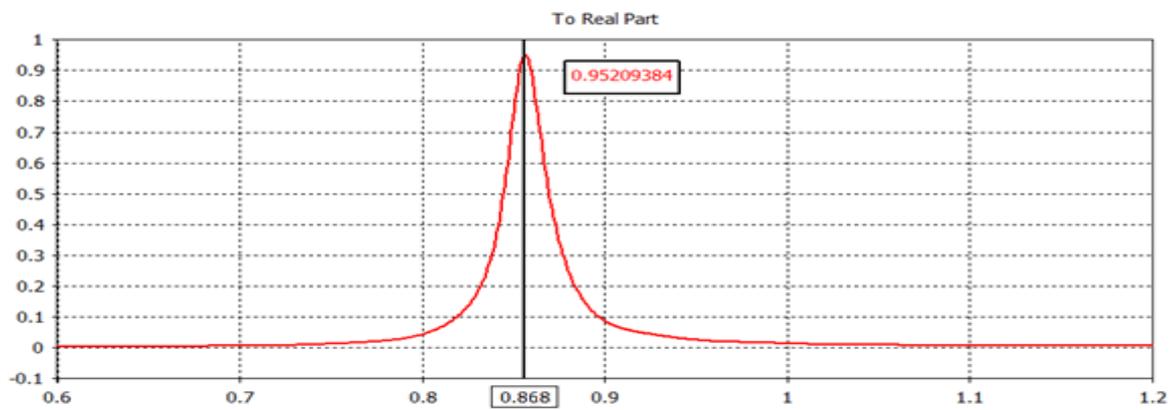


Figure IV-65 Coefficient de transmission « τ »

Les parties réelle et imaginaire de cette antenne sont montrées dans la Figure IV-66, l'impédance est de $15.57 + j148.27 \Omega$ à la fréquence 868 MHz, ce qui est très proche du conjugué de celle de la puce.

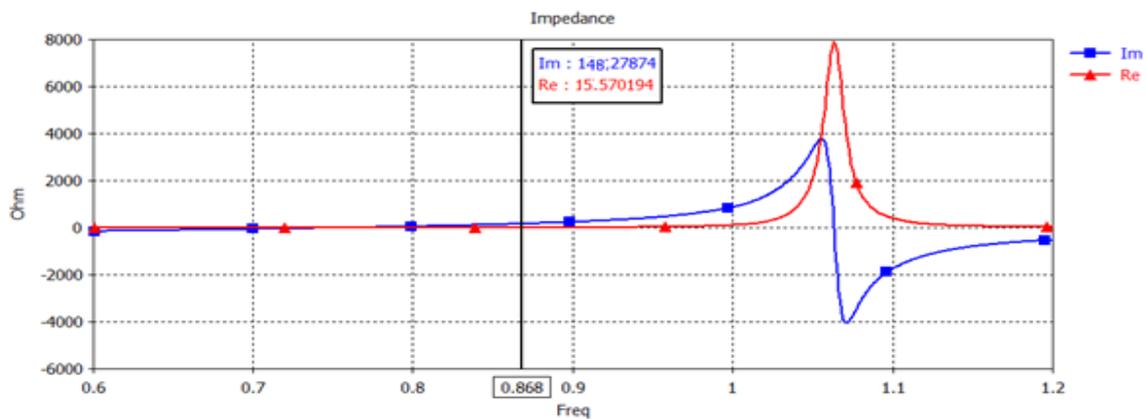
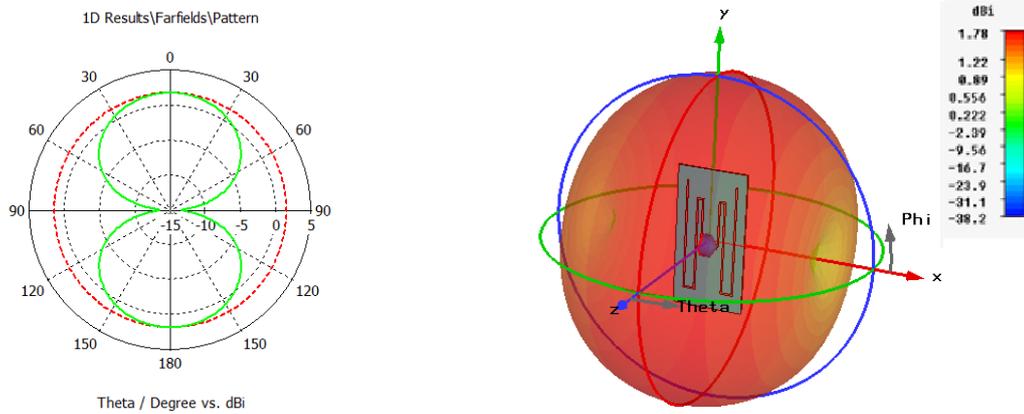


Figure IV-66 : Résultats de simulations de l'impédance de l'antenne Méandre -2

Nous représentons les diagrammes de rayonnements de l'antenne dans les Figure IV-67(a) et (b).

De même, les diagrammes de rayonnement obtenus sont des diagrammes omnidirectionnels, avec un gain de 1.78dBi.



a) Diagramme de rayonnement 2-D (plans x-z et y-z)

b) Diagramme de rayonnement 3-D

Figure IV-67 : Diagramme de rayonnement 2D & 3-D (Gain) à $f = 868$ MHz de l'antenne Meandre-2

La distance maximale de lecture calculée en espace libre D_{max} est de 6.69 m, le seuil de sensibilité de la puce définie dans [19] est près de (-11 dBm), l'EIRP est fixé à 3.28 W dans la bande (865-869 MHz), le gain et le coefficient de transmission du tag sont obtenus par simulation à la fréquence 868 MHz.

Enfin, nous pourrions dresser l'ensemble des caractéristiques de cette antenne sur le tableau récapitulatif Tableau IV-8:

Antenne	Z puce (Ω)	Z antenne (Ω)	S11 (dB)	BP (%)	Gain (db)	τ	D_{max} (m)
Meandre-2 (868 Mhz)	15-j151	15.57+j148.27	-19.56	0.9	1.78	0.952	6.69

Tableau IV-8 : Récapitulatif des différents résultats de l'antenne « Meandre-2 » à la fréquence 868 MHz

IV.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté tout d'abord l'outil de simulation que nous avons utilisé en grande partie tout au long de ce travail. Nous avons abordé par la suite la conception de plusieurs structures d'antennes tags RFID UHF passifs adaptées à une impédance de 50Ω .

Une étiquette RFID UHF passive comporte une antenne et une puce à son bord. La condition qui assure le bon fonctionnement du système consiste à transférer un maximum de puissance à la puce, ceci se traduit par une adaptation entre ces deux organes en terme d'impédance. Cet objectif a été atteint en exploitant certaines techniques d'adaptations que nous avons mis en œuvre et avec lesquelles nous sommes parvenus à des résultats satisfaisants.

Une autre contrainte de conception d'antennes Tags RFID UHF est la miniaturisation, nous nous sommes également intéressés en particulier à la technique de repliement.

Après toute cette étude, nous avons voulu mettre en évidence notre travail, en répondant aux exigences d'un cahier de charge bien défini. Il s'agit de faire la conception d'antennes imprimées destinées à des tags RFID passifs pour application médicale. Ceci est l'objet du prochain chapitre.

Références Bibliographiques du Chapitre IV

- [1] C. S. T. C. D. Studio, «Computer Simulation Technology (CST), " CST Design Studio",» [En ligne].
- [2] J. Ps.Hall, Handbook of Microstrip Antennas, Peter Peregrinus, 1989.
- [3] C. A. Balanis, Antenna theory: analysis and design, John Wiley and Son: 3rd ed, 2007.
- [4] M.V.SCHNEIDER, Microstrip Lines for Microwave Integrated Circuits, Bell Syst. Tech. Journal, 48, p. 1422-1444, 1969.
- [5] A.Constantine, Antenna Theory, Analysis and Design, Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Second Edition 2005.
- [6] A. Ghiotto, «Novel Design Strategy for Passive UHF RFID Tags,» chez IEEE International Symposium on Antenna Technology and Applied Electromagnetics, Paris, France, 2010.
- [7] F.Z.Marouf, N.Hassaine-Seladji, D.Ziani, F.T.Bendimerad «Antenne Miniature pour Application RFID en SHF,» chez Congrès Méditerranéen des Télécommunications, fés, Maroc, 2012.
- [8] F. Z. Marouf, N.Hassaine-Seladji, F.T.Bendimerad «Dual Tag Antenna for UHF RFID Applications,» International Journal of Computer Applications, vol. 46, pp. 7-10, 2012.
- [9] F. d. Dieuleveut, Électronique Appliquée aux Hautes Fréquences: Principes et Applications, Paris: Dunod, 2008.
- [10] P. N. a. S. L. K.V.S. Rao, «Antenna design for UHF RFID tags: a review and a practical application,» IEEE Trans. on Antennas and Propag, vol. 53, pp. 3870-3876, Dec 2005.
- [11] G. Marrocco, «The Art of UHF RFID Antenna Design:Impedance-matching and Size-reduced Techniques,» IEEE Trans. Antennas Propag, vol. 50, n° 11, pp. 66-79, February 2008.
- [12] G. I. G. De Vita, «Design criteria for the RF section of UHF and microwave,» IEEE Trans. on Microw. Theory and Tech, vol. 53, , pp. 2978-2990, Sept 2005.
- [13] S. Companies, «Application note AN2631 " XRAG2 UHF antenna reference design",» STMicroelectronics group of companies, Oct 2007.
- [14] F.Z.Marouf, D.Ziani, N.Hassaine-Seladji, F.T.Bendimerad «T_matched Dipole Tag Antenna for UHF RFID Applications,» International Journal of Advances in Engineering & Technology, vol. 36, pp. 346-352, 2013.
- [15] T. I. Incorporated, «SMT EPC Gen2 IC RI-UHF-IC116-00,» Texas Instruments Incorporated, July 2008.
- [16] G. Marrocco, «Gain-Optimized Self-Resonant Meander Line Antennas for RFID Applications,» IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2010.
- [17] W. xunxun, Design of Passive UHF RFID Tag Antennas and Industry Application, ITB/Electronics, August, 2010.

- [18] Z. Hu, C. P. H. et L. Zhang, «A Method for Calculating the Resonant Frequency of Meander-line Dipole Antenna,» IEEE Industrial Electronics and Applications, 2009 .
- [19] A. T. Corporation, «Product Overview Alien Higgs™-2 EPC Class 1 Gen 2 RFID Tag IC,» Alien Technology , Butterfeld Blvd, july 2008.

CHAPITRE V

Antenne RFID pour Applications Médicales

Présentation du chapitre

Dans ce dernier chapitre, nous allons mettre en relief notre contribution dans le domaine médical en exploitant la technologie RFID à travers une application d'identification de patients.

Il s'agit de faire la conception de structures d'antennes tag RFID qui s'adaptent à un bracelet destiné à être porté par des patients hospitalisés afin de les identifier et de les localiser.

Sommaire

CHAPITRE V	159
V.1 Introduction	161
V.2 La technologie RFID dans le domaine médical	161
V.2.1 Le besoin de la technologie RFID dans les hôpitaux	161
V.2.2 Les applications RFID dans le domaine de la santé	162
V.3 La technologie RFID et les biocapteurs	163
V.4 Description de l'application convoitée	164
V.5 Configurations d'antennes	165
V.5.1 Dipôle bracelet	165
V.5.1 Patch bracelet.....	171
V.6 Conclusion.....	177
Références Bibliographiques du Chapitre V	178

V.1 Introduction

Comme nous l'avons évoqué dans le premier chapitre, les applications RFID n'ont pas de limites, elles peuvent s'étendre au-delà de nos imaginations.

Cette technologie pourrait améliorer de façon considérable la vie de l'individu, et ceci en lui apportant toujours le meilleur avec de nouveaux dispositifs de formes variées adéquats à l'application considérée.

La vie des patients hospitalisés étant précieuse, il faut absolument veiller sur leurs états de santé et ceci en exploitant de nouvelles technologies. Des dispositifs dotés de capteur sans fil conformés aux réseaux corporels (**WBAN : Wireless Body Area Network**) ont été introduits. Pour plus de confort, il a été nécessaire de concevoir des dispositifs plus pratiques en termes de flexibilité et d'homogénéité aux endroits sur lesquels ils vont être déposés, voir même insérés (Figure V-1).

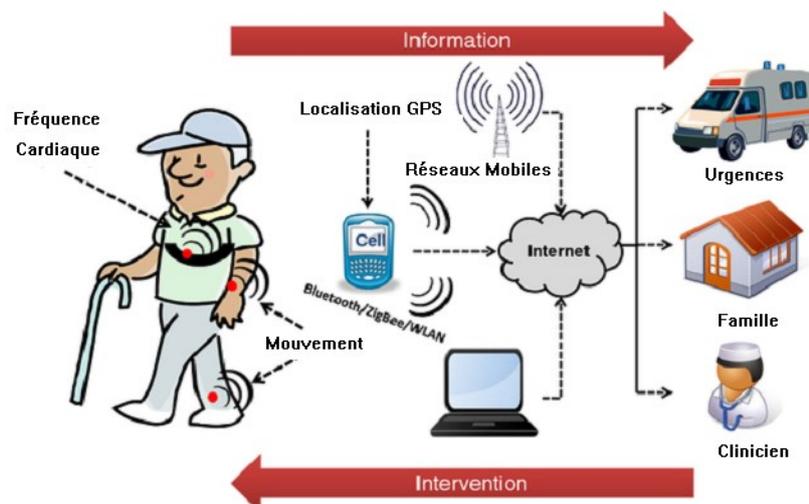


Figure V-1 : Illustration d'un système de surveillance de la santé à distance

V.2 La technologie RFID dans le domaine médical

V.2.1 Le besoin de la technologie RFID dans les hôpitaux

Les hôpitaux sont actuellement confrontés à des défis d'amélioration de la sécurité des patients et de réduction des taux d'erreurs, qui sont souvent dues aux humains ou aux systèmes. L'institut américain IOM (*Institut Of Medecine*) estime que 44000 à 98000 décès par année sont dus aux erreurs médicales [1]. Pour cette raison, aller vers une efficacité opérationnelle élevée dans les hôpitaux présente un objectif désiré par les organisations de santé.

Il existe cinq problèmes majeurs qui contribuent à la défaillance des soins : les erreurs médicales, l'augmentation des coûts, les vols, les contrefaçons, et le flux de travail inefficace [1].

- Les erreurs médicales : les erreurs médicales sont devenues une des causes qui mènent aux décès. Cependant l'administration Américaine de nourriture FDA (*Food and Drug Administration*) estime que 50% de ces erreurs peuvent être évitées en adoptant une technologie appropriée. Ces erreurs peuvent provenir d'une mal compréhension de la part du patient, ce qui favorise des problèmes et des risques chez considérables.
- l'augmentation des coûts : les hôpitaux mondiaux sont entrain de rechercher des solutions avec lesquelles ils pourraient réduire les couts des soins tout en gardant la satisfaction des patients.
- Les vols et les pertes : il a été estimé que les vols et les pertes d'équipements dans les hôpitaux atteignent les 4000 Dollars pour chaque lit par an, ce qui aboutit à un chiffre de pertes très significatif par pays. Par conséquent, le traçage des dispositifs médicaux particulièrement les plus onéreux est d'une certaine importance.
- La contrefaçon des médicaments: les organismes de santé s'intéressent actuellement à la chaine d'approvisionnement des médicaments modifiés ou trempés dans des solutions chimiques. L'administration FDA estime que plus que 40% des médicaments importés peuvent être contre faits. Les pharmaciens et les consommateurs cherchent à sécuriser leurs produits. Doter les objets par des étiquettes RFID semble être la meilleure des solutions.
- L'inefficacité des flux : le flux de production inefficaces existe dans tous les hôpitaux en raison de la difficulté de l'allocation des ressources en temps réel. A titre d'exemple, les médecins et les infirmiers perdent plus de 30% de leur temps de travail dans la recherche ou la lecture d'informations sur les patients. Ce paramètre devient très néfaste lors des évènements catastrophiques, là où il faut agir le plus vite possible.

V.2.2 Les applications RFID dans le domaine de la santé

La technologie RFID est appliquée dans plusieurs domaines de santé. Après avoir lu des dizaines d'articles scientifiques [2-6], nous pouvons organiser les applications hospitalières en termes de fonctionnalité en cinq catégories : le traçage, l'identification et la vérification, la détection, les interventions, alertes et déclenchements.

- Le Traçage : le traçage des équipements médicaux est l'une des applications RFID les plus répandues dans les hôpitaux. Cela permet de localiser tous ces équipements en temps réel.
- Identification et la vérification : les fausses identifications sont l'une des erreurs médicales les plus fréquentes, elles peuvent être réduites grâce à la mise en œuvre de la technologie RFID. Les applications d'identifications comprennent l'identification des patients à l'aide d'un bracelet intelligent à titre d'exemple.
- Détection : Une étiquette RFID peut être appliquée à la collecte de données, et ceci au moyen de capteurs actifs capables d'effectuer des calculs en exploitant les capacités d'un capteur avec celles de la puce. Ces capteurs peuvent être de nature physique ou chimique avec intégration de détecteurs de température, d'humidité...etc.
- Interventions : la technologie RFID peut intervenir à distance et fournir des soins automatisés, elle peut être utile pour les patients qui préfèrent rester chez eux, (par exemple auto-dosage pour patients).
- Alertes et déclenchements : les applications RFID impliquant des alertes et des déclenchements d'alarmes sont conçues pour protéger les patients des risques ou d'urgence cours d'une intervention chirurgicale (transfusion sanguine, administration de médicaments, surveillance de l'hygiène des mains).

Nous pouvons en déduire que la technologie RFID est une solution très intéressante pour les différentes organisations de santé. Grâce aux différents atouts qu'offre cette technologie, les activités et les services médicaux vont être améliorés et simplifiés davantage.

V.3 La technologie RFID et les biocapteurs

Un biocapteur est un dispositif électronique conçu pour transformer un phénomène biologique en un signal mesurable. Il combine un composant biologique appelé "biorécepteur" et un "transducteur" représentant le mode de détection [7].

Les premiers biocapteurs ont vu le jour au début des années 1960s grâce à Clark et Lyon au début des années 1960s [8], la recherche sur leur développement a connu ces dernières années un essor exceptionnel en raison de leurs nombreuses applications potentielles s'étendant sur plusieurs domaines, notamment le domaine médical, parce qu'il améliore considérablement le quotidien d'une personne malade [9].

La technologie RFID peut, comme nous venons de le dire, de générer une localisation des patients, de les contrôler en temps réel à l'intérieur d'un hôpital, d'une maison, ou en plein espace ouvert [10]. Dans ces cas-là, le tag RFID devra être placé sur le corps humain et équipé de biocapteurs (de température, de tension artérielle, de teneur en glucose). Une fois le tag activé par le lecteur, l'identificateur du tag et les bio-sinaux peuvent être transmis, enregistrés et traités (voir Figure V-2).

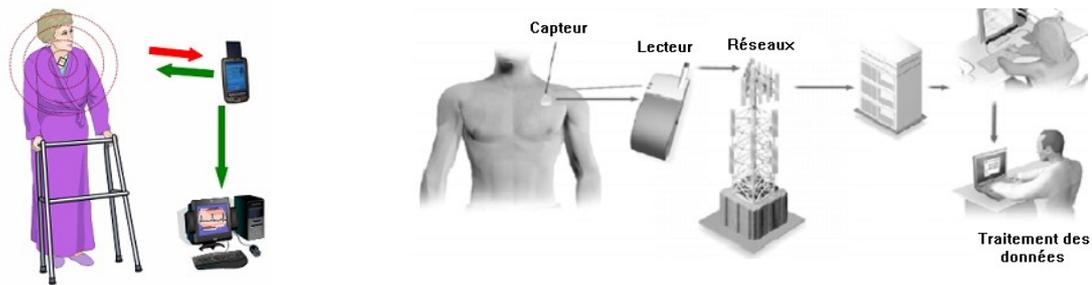


Figure V-2 : Scénario d'un réseau mobile de santé

La demande croissante de ces dispositifs a accentué le besoin de leurs miniaturisations et de l'augmentation de leurs efficacités, afin de favoriser plus de confort lorsqu'ils sont déposés sur le corps.

Ces dispositifs peuvent être de nature passive récoltant de l'énergie depuis le lecteur. Ils peuvent être également de nature semi active et dans ce cas la batterie insérée sert à alimenter les biocapteurs uniquement. Ils peuvent ainsi être des tags actifs ayant une batterie locale qui alimente et le microcontrôleur et les biocapteurs [11].

Remarque : Lors de l'implémentation de tags actifs dans le corps humain, il faut absolument que la puissance des batteries soit conforme avec les régulations de la sécurité [10].

V.4 Description de l'application convoitée

Comme le but principal de la technologie RFID est d'améliorer la vie de l'individu de façon permanente, il a été indispensable de concevoir des structures conformes à l'application désirée. Il va s'agir dans notre cas d'un bracelet doté d'une antenne conformée aux corps, d'où la nécessité de la conception d'une antenne flexible.

Notre application est d'un aspect médical, elle se caractérise par un tag en forme de bracelet. Ce dernier sert à identifier et à veiller sur la bonne santé d'un patient hospitalisé.

Le bracelet envisagé est doté tout d'abord d'une puce qui comprend une mémoire, là où on emmagasine les informations individuelles appropriées à chaque patient et d'une antenne assurant la communication et qui est censé alerter le personnel de l'hôpital en cas de toute anomalie. La Figure V-3 illustre l'application.



Figure V-3 : Schématisation du bracelet à concevoir

Les premiers tags passifs destinés aux applications médicales fonctionnaient essentiellement dans la bande HF à la fréquence 13.56 MHz. Les antennes utilisées généralement étaient de type spiral. A la fréquence 13.56MHz, ces antennes présentaient un bon rendement en présence de liquides, et des tissus humains, aux dépens d'une portée très limitée (moins qu'un mètre).

En outre, les dispositifs UHF (860-960MHz), et bien que cette bande est plus influencée par les cibles avec les constantes diélectriques élevées, elle promet une longue portée plus importante.

V.5 Configurations d'antennes

Nous avons conçu deux structures d'antennes destinées à la même application qui est l'identification et la localisation des patients. La première étant une antenne de type dipôle, et la seconde est un patch doté d'une fente.

V.5.1 Dipôle bracelet

La première antenne conçue est une antenne conformée au poignet [12] pour répondre à l'application. Nous avons utilisé l'outil de simulation CST MW [13] pour la modéliser.

Il s'agit dans ce cas de l'antenne dipôle adaptée en T définie dans le chapitre précédent (§ IV.3.2.1) illustrée par la Figure V-4(a). Nous l'avons modifié de façon à ce qu'elle soit adaptée au bracelet et à répondre au cahier de charges défini par :

- Une bonne adaptation d'impédance entre le Tag et la puce dans la bande UHF. La puce considérée est de type Strap XRAG2 [14] d'impédance $Z_c=28-j148$.
- Un Gain acceptable ≥ 2 dB.
- Diagramme de rayonnement quasi-omnidirectionnel.
- Distance de lecture minimum de 5metres.
- Antenne miniature et conformée (facilité d'intégration dans un bracelet pour poignet).
- Une fréquence de fonctionnement de 870MHz.

La différence entre l'antenne initiale et celle du bracelet consiste principalement dans le substrat utilisé et dans la forme. En effet, la seconde configuration est déposée sur un substrat flexible de type Silicone de permittivité $\epsilon_r=11.9$ tel qu'on peut le voir dans la Figure V-4 (b).

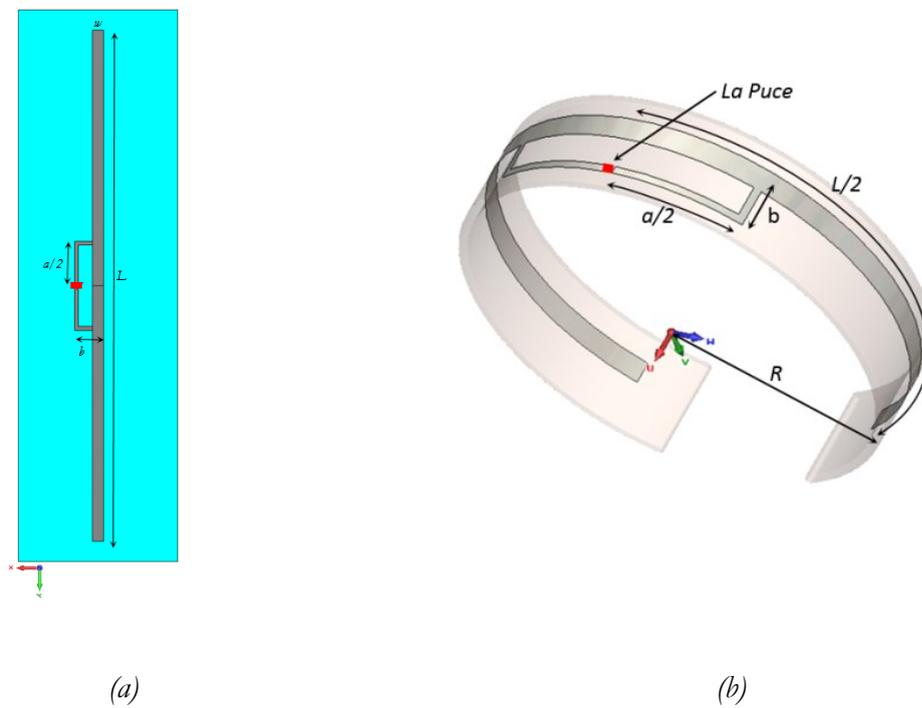


Figure V-4: La configuration de l'antenne

V.5.1.1 Etude paramétrique

Les paramètres géométriques initiaux de cette antenne en (mm) sont : $l = 150$, $a = 36$, $b = 5$, $w = 3$, et $w' = 1$, avec un rayon de $R = 27$.

Nous allons effectuer une étude paramétrique dans le but d'arriver aux performances qui répondent à notre cahier de charge. Pour se faire, quelques paramètres définissant la géométrie de l'antenne RFID bracelet seront modifiés, afin de constater leurs influences sur le rendement de l'antenne et sur l'adaptation de l'impédance avec celle de la puce à la fréquence de fonctionnement qui est de 870 MHz. Le rayon du bracelet restera constant durant toute notre étude, il vaut $R = 27$ mm. Les meilleurs résultats obtenus seront présentés dans la fin de cette étude.

L'étude paramétrique en question est basée sur la variation de deux paramètres géométriques les plus influents sur notre antenne qui sont les longueurs du bras du dipôle « L » et celle du stub « a ».

a) Variation de la longueur du dipôle L

Nous savons que la fréquence est inversement proportionnelle par rapport à la longueur d'onde, en premier lieu, Nous allons varier la longueur des segments verticaux « $L/2$ », de 65 mm à 75 mm.

D'après la Figure V-5 et la Figure V-6, nous constatons que de plus la longueur du brin est grande et plus la partie imaginaire de l'impédance de l'antenne augmente, contrairement à sa partie réelle qui est entrain de diminuer, et cela à la fréquence 870 MHz. La meilleure valeur du paramètre « L » étant de 71.66 mm.

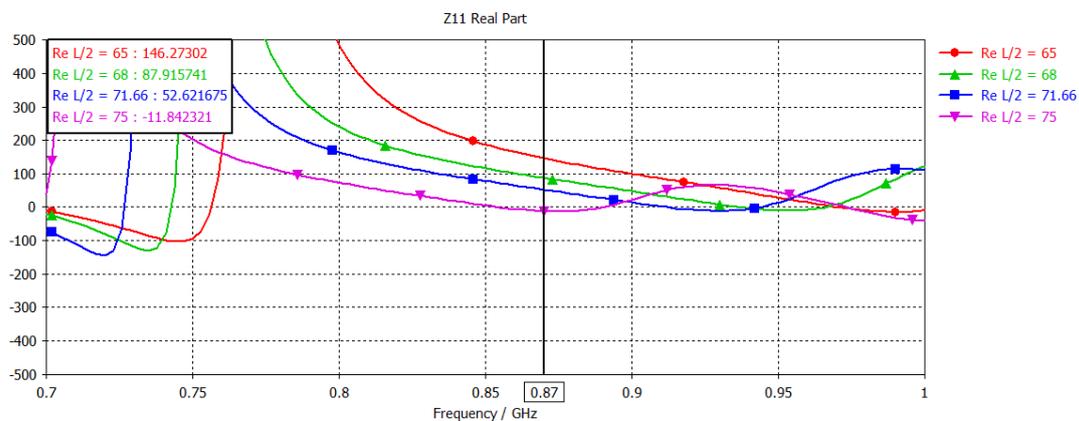


Figure V-5 : Influence de la longueur de l'antenne sur la partie réelle de l'impédance d'entrée de l'antenne

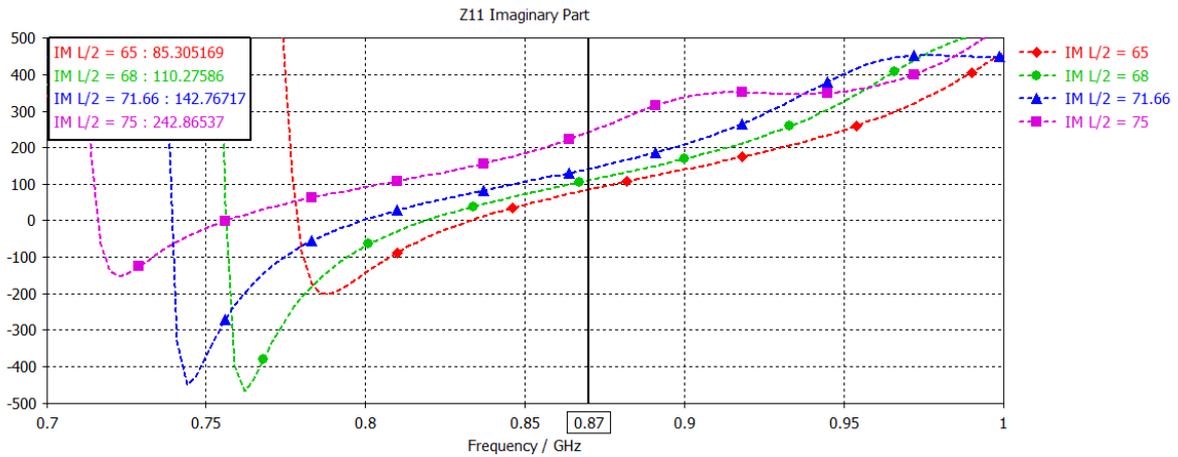


Figure V-6 : Influence de la longueur de l'antenne sur la partie imaginaire de l'impédance d'entrée de l'antenne

D'après ces figures nous pouvons en déduire que la longueur du dipôle influe significativement sur les valeurs réelles et imaginaires de l'impédance d'entrée de l'antenne.

b) Variation de la longueur du stub horizontal a

Nous avons voulu mettre au clair l'impact du second dipôle associé (stub de longueur a) sur l'impédance d'entrée de l'antenne. Pour cela, nous le faisons varier de 14mm à 18mm. Nous avons fait varier, et nous avons obtenus les résultats représentés par les Figure V-7 et Figure V-8, en prenant 4 échantillons tout en fixant « L » à 71.66mm.

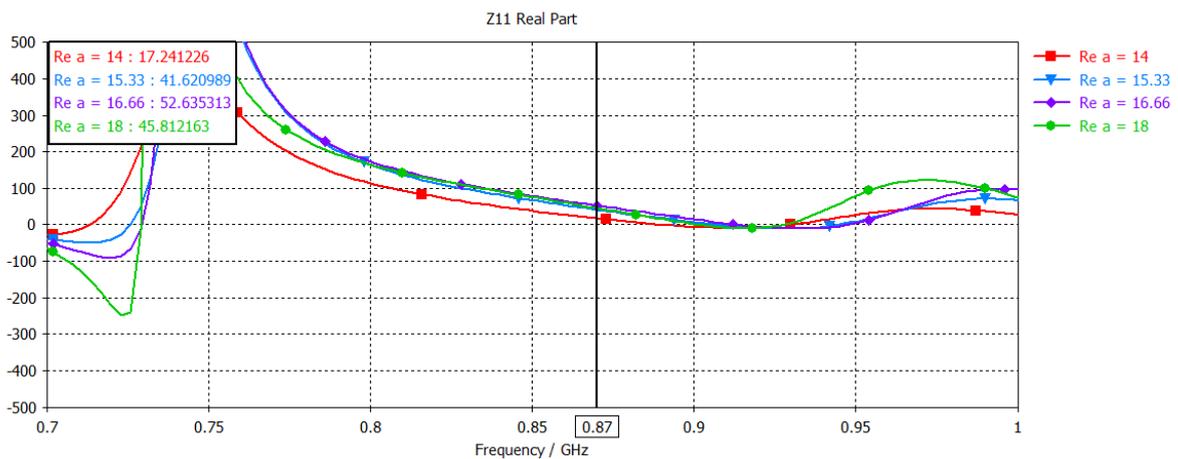


Figure V-7 : Influence de la longueur du stub sur la partie réelle de l'impédance d'entrée de l'antenne

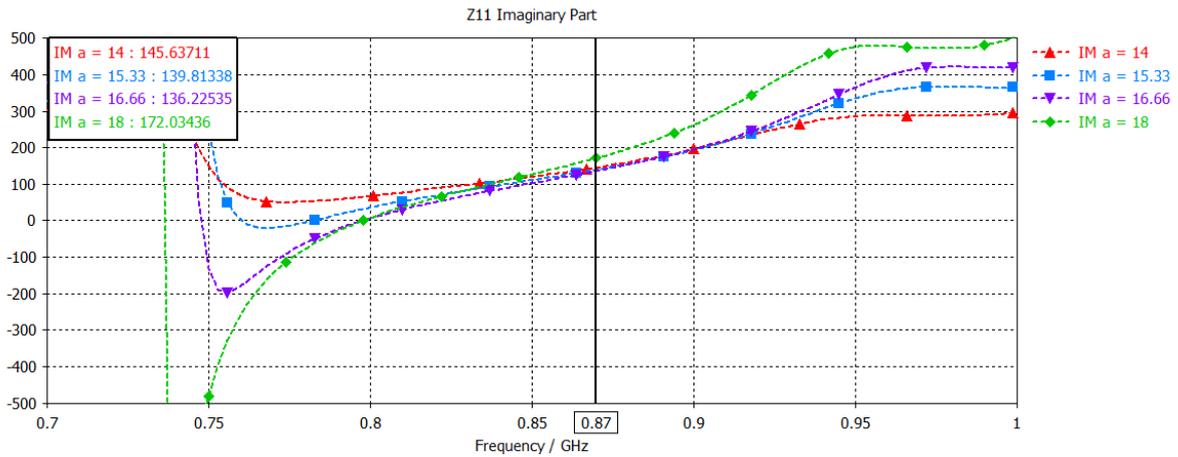


Figure V-8 : Influence de la longueur du stub sur la partie imaginaire de l'impédance d'entrée de l'antenne

Contrairement à la longueur du dipôle, le paramètre « a » n'affecte pas aussi significativement l'allure de l'impédance complexe de l'antenne.

Nous remarquons qu'à la fréquence de résonance 870MHz, les valeurs réelles et imaginaires de l'inductance de l'antenne ne varient pas considérablement. Nous avons pris la valeur de « a » à laquelle l'impédance de l'antenne est conjuguée de celle de la puce, à savoir $a=14\text{mm}$.

V.5.1.2 L'antenne dipôle bracelet optimale

Après cette étude fastidieuse, nous sommes donc parvenus à en déduire les paramètres permettant les meilleures performances. Ils sont donnés en mm par : $L = 130$, $a = 28$, $b = 5$, $w = 3$ et $w'=1$, avec un rayon de $R=27$ (Figure V-4(b)).

Nous présenterons donc les résultats finaux :

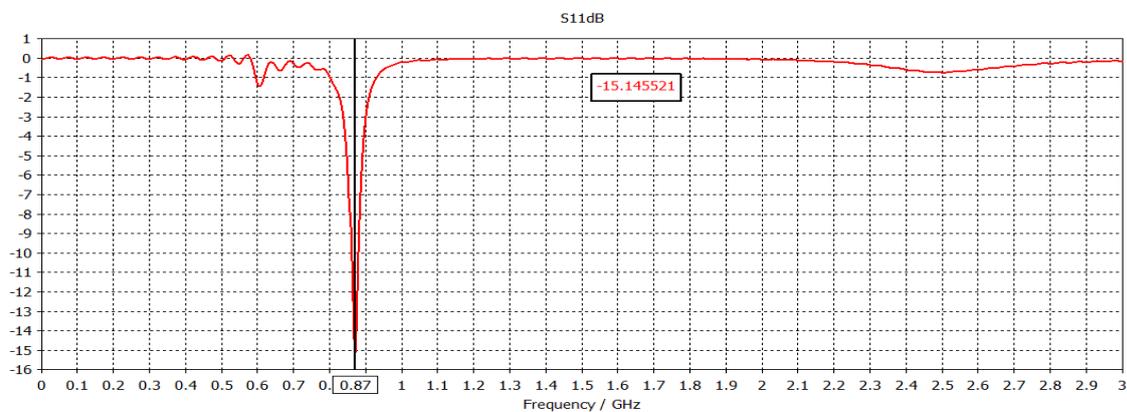


Figure V-9 : le coefficient de réflexion S11

La Figure V-9 illustre le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence. Nous remarquons une bonne adaptation de l'antenne à la fréquence de 870 MHz pour laquelle nous avons un niveau de -15.14 dB. La bande passante relative est de 14%.

Le paramètre désignant le taux d'adaptation est bien le coefficient de transmission τ , nous l'illustrons dans la Figure IV-32 pour la présente configuration. Il atteint sa valeur maximale à la fréquence 870MHz (0.988)

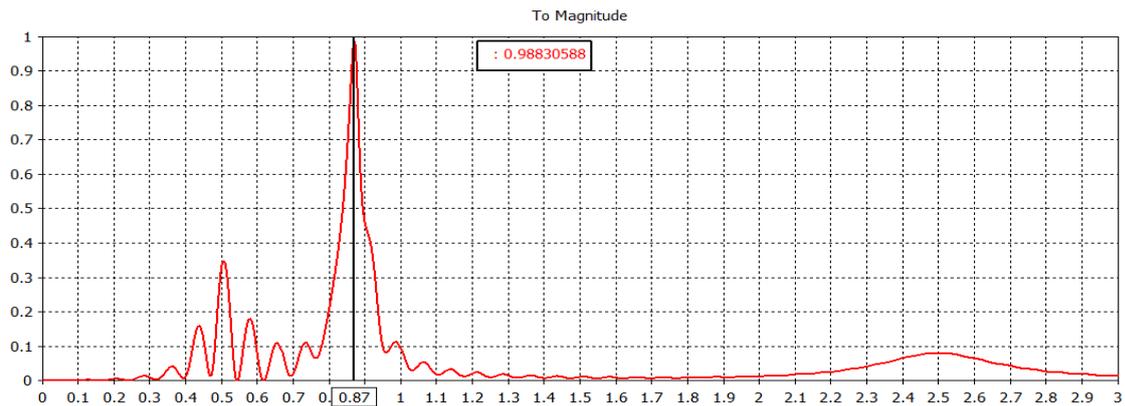


Figure V-10 : Facteur d'adaptation de l'antenne à $f = 870$ MHz

La Figure V-11 présente les parties réelle et imaginaire de l'impédance d'entrée de l'antenne.

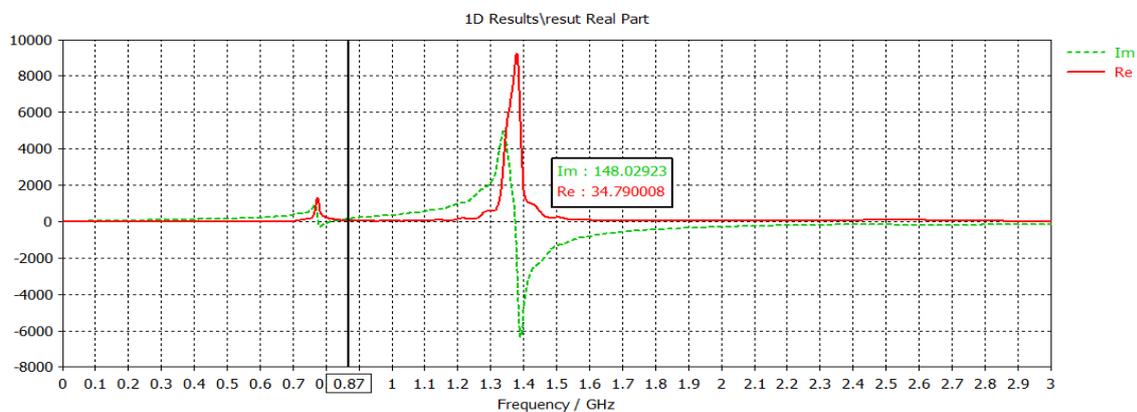
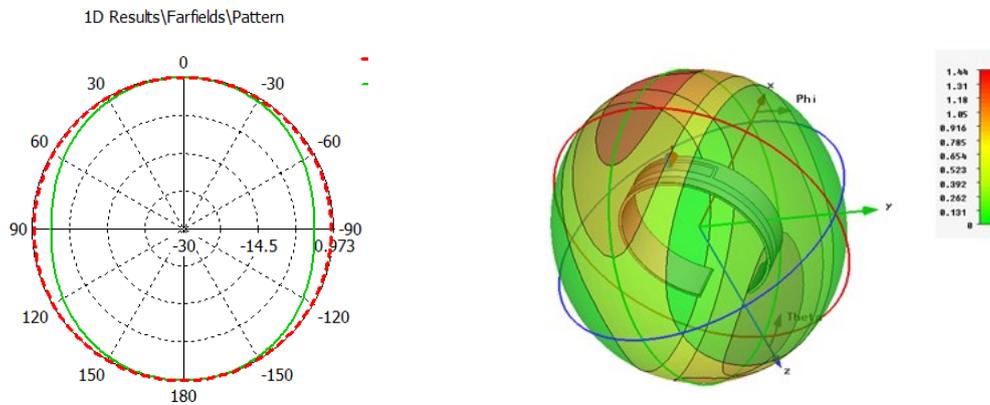


Figure V-11 : l'impédance complexe de l'antenne

L'impédance d'entrée de l'antenne obtenue après simulation est de $Z_a = 34.79 + j148.02$, cette valeur est presque le conjugué de l'impédance de la puce considérée ($Z_c = 28 - j148$).

Le rayonnement de l'antenne est un autre paramètre fondamental à prendre en considération lors de la conception électromagnétique d'antennes, il nous permet de visualiser le comportement

de l'antenne en plein fonctionnement. Les figures ci-dessous nous donnent une visualisation du diagramme de rayonnement à la fréquence opérationnelle (870MHz).



a) Diagramme de rayonnement 2-D (plans $x-z$ et $y-z$)

b) Diagramme de rayonnement 3-D (Gain)

Figure V-12 : Diagramme de rayonnement 2D à la fréquence 870MHz

Le diagramme de rayonnement de cette structure est approximativement omnidirectionnel favorisant ainsi le fonctionnement du tag.

La distance de lecture en espace libre de cette antenne est $D_{max}=6.20$ m, calculée à partir du seuil de sensibilité de la puce XRAG2 qui est près de (-11 dBm) [14], l'EIRP est fixé à 4W dans la bande UHF (870 MHz), le gain et le coefficient de transmission du tag sont obtenus par simulation et ils valent respectivement 1.44 dB et 98.8 % à la fréquence 870 MHz

Les valeurs d'impédance de charge sont affichées dans le Tableau V-1, ainsi que les autres paramètres de rayonnement à savoir le coefficient de réflexion S_{11} , le gain, la directivité de l'antenne et la distance de lecture théorique maximale en espace libre.

Antenne Bracelet (adaptée en T)	$Z_{puce} (\Omega)$	$Z_{antenne} (\Omega)$	$S_{11} (dB)$	Gain (dB)	τ	$D_{max} (m)$
870 Mhz	28-j148	34.97+j148	-15.14	0.973	0.988	6.20

Tableau V-1 : Tableau récapitulatif des différents résultats de l'antenne bracelet à la fréquence 870 MHz

V.5.1 Patch bracelet

La seconde antenne étudiée est une configuration destinée à la même application médicale. Cette fois, nous avons choisi une configuration avec un faible profil, offrant plus de confort. Il

s'agit d'une antenne imprimée dotée d'une fente en forme de H, cette configuration est déposée sur un substrat de type Silicone. En même temps, nous avons essayé de modéliser une main [9-11], afin d'avoir des résultats de simulations le plus proche de la réalité, puisque l'antenne est sensible à la présence de tout organe qui se retrouve à proximité.

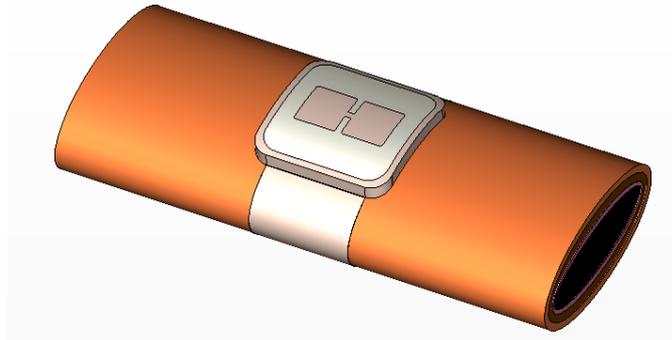


Figure V-13 : La modélisation e l'antenne avec la main

V.5.1.1 La modélisation de la main

Pour des fins de conception des antennes, et afin de prévoir le fonctionnement de l'antenne en présence de tissus corporels, il a été indispensable de les modéliser. De ce fait, les scientifiques ont réalisé un modèle simplifié d'un homme référence. Cela consiste en un ensemble de cylindres elliptiques stratifié, chaque cylindre est caractérisé par quelques paramètres physiques faisant référence à un certain tissu. L'ensemble de ces paramètres est emmagasiné dans la base de données des tissus [15]. Le Tableau V-2 résume ce dont nous avons eu besoin lors de notre conception :

Tissu	Peau	Muscle	Os	Organes Internes
ϵ_r	14.5	55.1	20.8	52.1
Σ	0.25	0.93	0.33	0.91

Tableau V-2 : Paramètres physiques des anatomies des tissus

Nous illustrons dans la figure suivante une coupe latérale de la modélisation d'une main sous le logiciel CST :

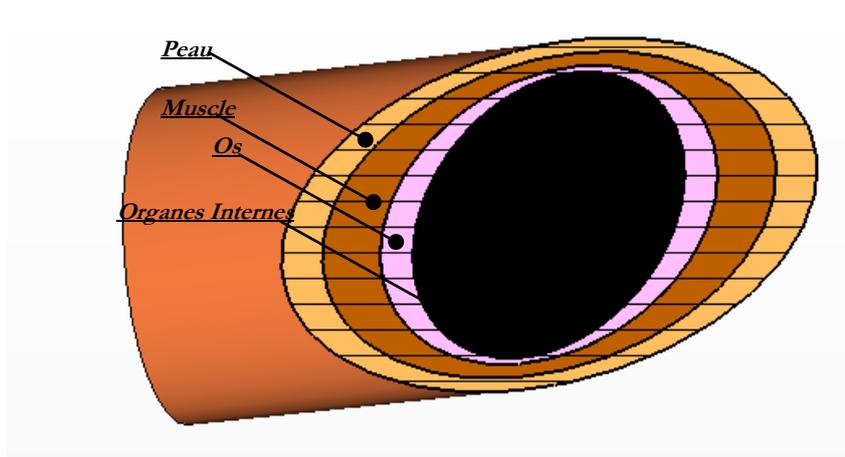


Figure V-14 : Une coupe latérale de la modélisation de la main

V.5.1.2 La modélisation de l'antenne

Nous commençons par décrire la structure de l'antenne en question, il s'agit d'une antenne patch, ayant une fente en forme de H, déposée sur un substrat de type Silicone d'épaisseur $h=4\text{mm}$, avec une dimension de $32.32 \times 31.66 \text{ mm}^2$.

Les paramètres de l'antenne présentée dans la Figure V-15 sont comme suit : $L=W=28.32\text{mm}$, $L_{\text{fente}}=11.84\text{mm}$, $w_{\text{fente}}=13.42\text{mm}$.

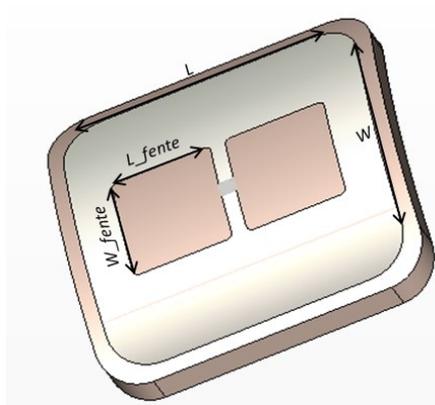


Figure V-15 : Configuration de l'antenne Patch

Nous avons accordé à ce patch deux bras en silicone pour qu'on puisse obtenir un bracelet comme le montre la Figure V-16.



Figure V-16 : La configuration finale de l'antenne Bracelet

Dans ce qui va suivre, nous allons présenter les résultats obtenus lors de la simulation de cette antenne.

Nous commençons tout d'abord par représenter le coefficient de réflexion S11 qui nous désigne le taux d'adaptation dans la bande de fréquence.

Pour notre antenne, nous avons obtenu une large bande passante qui s'étale de 0.7 MHz à plus de 1.3 GHz, permettant un meilleur fonctionnement ainsi qu'une meilleure interopérabilité.

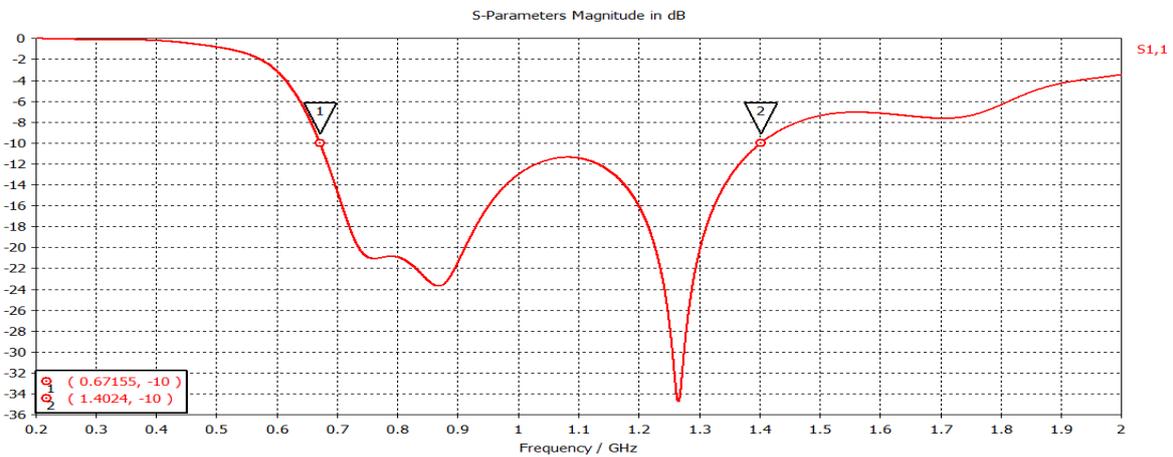


Figure V-17 : Coefficient de réflexion

Un autre paramètre exprimant le taux d'adaptation est bien le coefficient de transmission. En effet, ce paramètre nous permet de déterminer la correspondance entre l'impédance de la puce et celle de l'antenne.

La Figure V-18 illustre le facteur d'adaptation, il présente une valeur qui est presque égale à 1 dans la bande de 0.7GHz à 0.9 GHz, ce qui se traduit par une valeur de l'impédance d'entrée de l'antenne qui vaut à peu près le conjugué de l'impédance de la puce sur toute cette bande.

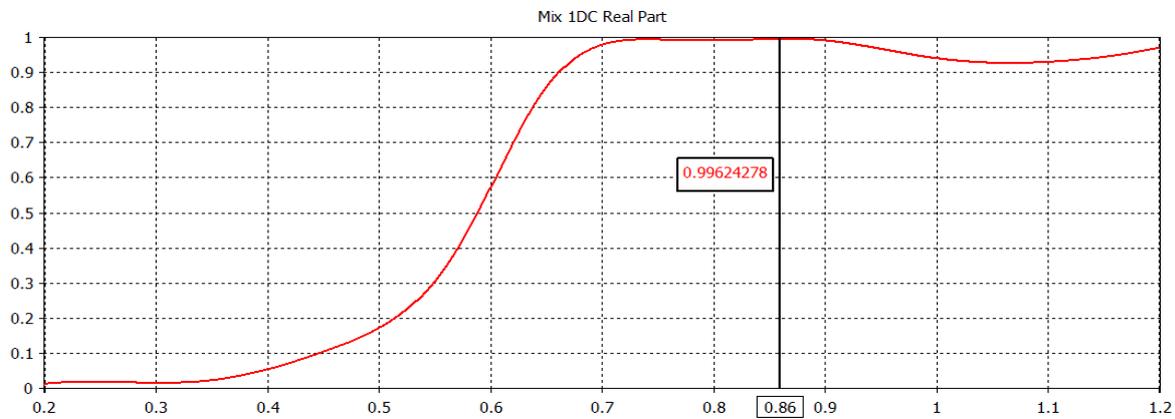


Figure V-18 : Le coefficient de transmission

La Figure V-19 représente la partie réelle et imaginaire de l'impédance de l'antenne obtenue après simulation de la structure.

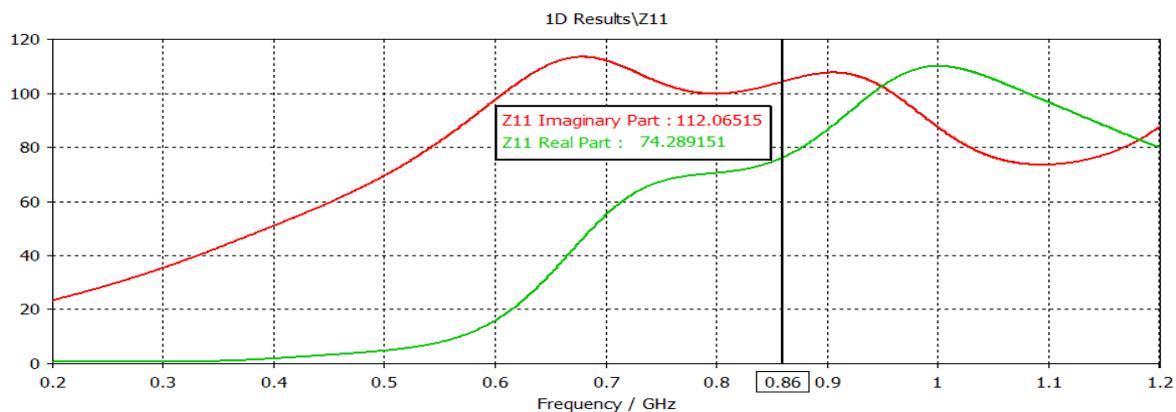


Figure V-19 : L'impédance d'entrée de l'antenne

A partir de la figure ci-dessus, nous pouvons conclure sur l'adaptation entre les deux organes (antenne et puce), ce qui implique un maximum de transfert de l'énergie reçue par l'antenne vers la puce, assurant ainsi le fonctionnement recherché et cela pour la fréquence souhaitée qui est de 860MHz

En effet l'antenne présente une impédance de $74.28 + j112.06$ qui est le conjugué de celle de la puce.

Nous avons choisi quelques fréquences selon le fonctionnement de la puce utilisée, pour visualiser les diagrammes de rayonnements, toutes les coupes sont prises dans les plans $\phi=0^\circ$ (plan x-z), et $\phi=90^\circ$ (plan y-z). Pour les antennes RFID, il est essentiel d'atteindre un maximum de rayonnement lorsque l'étiquette est dans les plans(x-z) ou (y-z) (plans principaux perpendiculaires à l'antenne de l'étiquette).

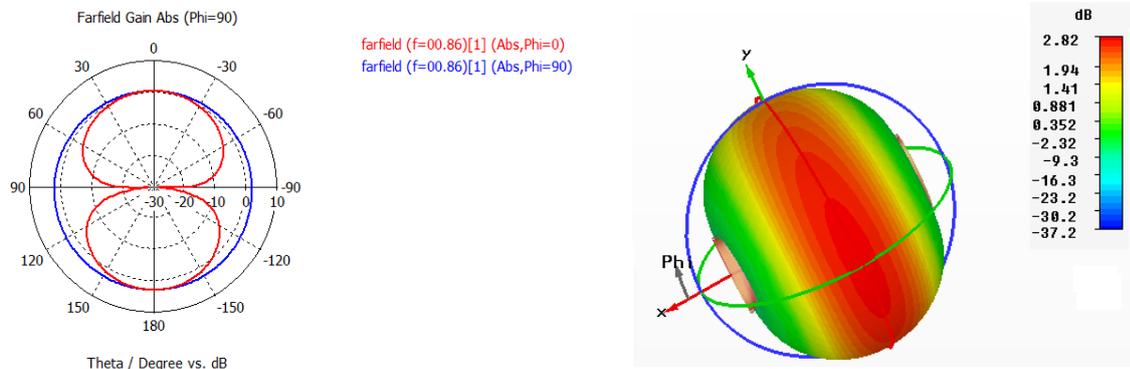


Figure V-20 : Le diagramme de rayonnement à la fréquence 860MHz

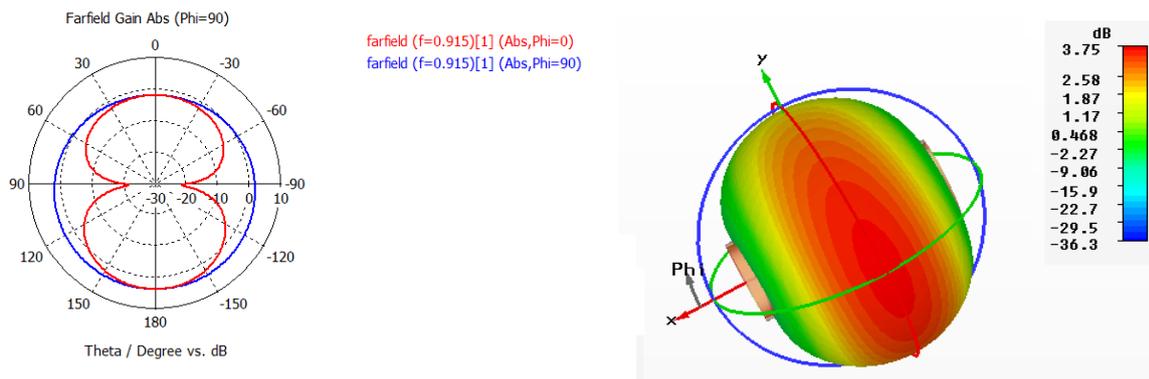


Figure V-21 : Le diagramme de rayonnement à la fréquence 915 MHz

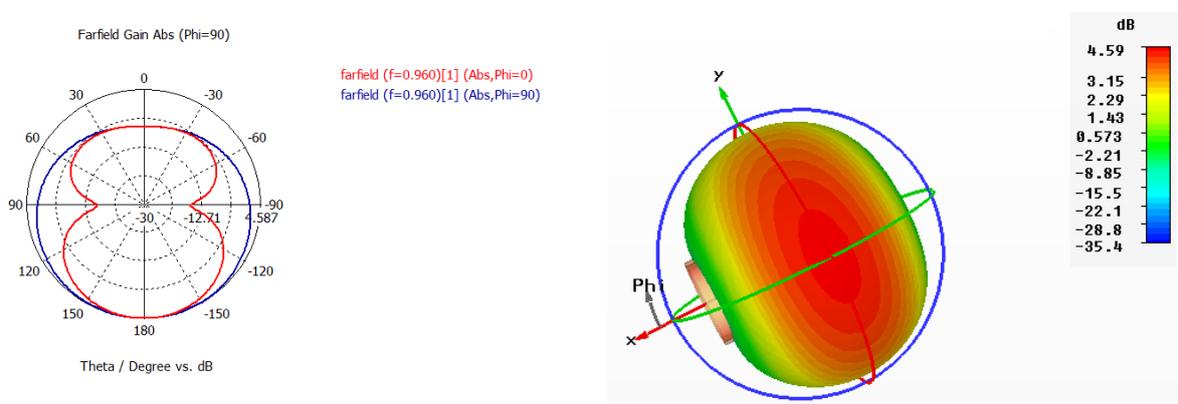


Figure V-22 : Le diagramme de rayonnement à la fréquence 960MHz

Les figures ci-dessus montrent que le rayonnement en ces fréquences est quasi-omnidirectionnel et plus ou moins stable sur toute la bande de fréquences et que l'antenne se comporte comme un dipôle.

Nous résumons les résultats de cette structure dans le tableau suivant :

Antenne Bracelet Patch	$Z_{\text{puce}} (\Omega)$	$Z_{\text{antenne}} (\Omega)$	S11 (dB)	Gain (dB)	τ	D_{max} (m)
860 Mhz	73-j113	74.28+j112.06	-29.74	2.82	0.996	10

Tableau V-3 : Tableau récapitulatif des différents résultats de l'antenne Bracelet Patch à la fréquence 860 MHz

V.6 Conclusion

La technologie RFID est riche avec ses applications, qui s'étalent sur tous les domaines. Notre intérêt a été porté sur l'une des applications médicales qui est la détection et la localisation des patients.

Il s'agit de munir les patients d'un bracelet doté d'une antenne qui épouse sa forme et d'une puce électronique, servant à identifier les personnes malades. Nous nous sommes intéressés à concevoir deux structures d'antennes différentes destinées à cette même application, l'une de type dipôle et l'autre de type patch avec fentes. Notre travail s'est limité à une conception par simulation seulement, dans l'espoir de pouvoir les concrétiser et les réaliser dans un futur proche pour valider leurs performances avec des mesures.

Références Bibliographiques du Chapitre V

- [1] C.-H. C. a. Z. L. Wen Yao, "The Use Of Rfid In Healthcare: Benefits And Barriers," in *International Conference on RFID-Technology and Applications*, Guangzhou, China, 17 - 19 June 2010.
- [2] P. Najera, "Real-time location and inpatient care systems based on passive RFID," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 36, p. 980–989, 2012.
- [3] A. Cangialosi, "Applying RFID to Patient Care: Challeges and opportunities," *Managing Worldwide Operations & Communications with Information Technology*, pp. 1051-1055, 2005.
- [4] M. Helmus, "Application Fields of RFID in Health Safety and Enviroment Management," in *RFID Eurasia*, 2007.
- [5] B. Lee, "Ubiquitous RFID based Medical Application and the Security Architecture in Smart Hospitals," in *International Conference on Convergence Information Technology*, 2007 .
- [6] C. Occhiuzzi, "Modeling, Design and Experimentation of Wearable RFID Sensor Tag," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 58, pp. 2490-2999, 2010.
- [7] P. A. Serra, *New Perspectives In Biosensors Technology And Applications*, Croitia: InTech, June 2011.
- [8] L. L. C. Clark, "Electrode System For Continuous Monitoring Of Cardivasular Surgery," *Ann. NY Acad. Sci.*, vol. 102, pp. 29-45, 1962.
- [9] P. A. Serra, *New Perspectives in Biosensors Technology and Applications*, Rijeka: Intech, 2011.
- [10] C. C. G. M. Cecilia Occhiuzzi, "Body-Matched Slot Antennas for Radio-Frequency Identification," *Antennas and Propagation Society International Symposium, 2009. AP-S 2009. IEEE*, pp. 1 - 4, 2009.
- [11] L. Catarinucci, "Enhanced UHF RFID Sensor-Tag," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 23, pp. 1-3, 2013.
- [12] Z. Jiang, "RFID Tag Antenna Based Wireless Sensing Method for Medical Transfusions Applications," *International Conference on RFID -Technologies and Applications (RFID - TA)*, pp. 126 - 130, 2012.
- [13] C. S. T. C. D. Studio, "Computer Simulation Technology (CST), " CST Design Studio", [Online].
- [14] S. Companies, "Application note AN2631 " XRAG2 UHF antenna reference design", " STMicroelectronics group of companies, Oct 2007.
- [15] C. Gabriel, "The dielectric properties of biological tissues: I. Literature Survey," *Physics. Medecine. Biology*, vol. 41, p. 2231–2249, 1996.
- [16] G. Marrocco, "RFID Antennas for the UHF Remote Monitoring of Human Subjects," *IEEE Transactions On Antennas And Propagation*, vol. 55, 2009.

Conclusion générale

Ces travaux de thèse s'inscrivent dans le contexte de l'identification Radiofréquence (RFID), dans la bande des Ultra Haute Fréquences UHF, en abordant avec la conception de ses antennes. Le développement de la technologie RFID connaît un grand essor en bande UHF. Cette dernière est de plus en plus convoitée grâce aux différents avantages qu'elle offre, notamment la portée de communication qui est nettement améliorée en comparaison avec les systèmes RFID haute fréquence HF.

Un système de radio identification est constitué principalement d'un lecteur et d'une étiquette qui contient une puce électronique et une antenne. Ce système peut être classé selon la fréquence de fonctionnement ou plutôt par son mode de fonctionnement. Le mode passif se distingue considérablement pour des raisons économiques et industrielles. La conception des antennes pour étiquettes RFID dans la bande de l'Ultra Haute Fréquence est l'objectif premier de cette thèse, avec prise en compte des paramètres primordiaux comme l'adaptation d'impédance.

La première partie de cette thèse (chapitre I,II et III) était consacrée à une présentation générale de la technologie RFID en montrant l'intérêt de la technologie passive. Une étude détaillée sur les antennes intégrant cette technologie est exposée.

La seconde partie propre est originale de nos études (Chapitre IV et V) était destinée en premier aux étiquettes UHF RFID passives réalisées à partir d'antennes adaptées et miniaturisées. En second, une application médicale basée sur une identification et une surveillance médicale, d'une personne hospitalisée dans un certain périmètre est développée et présentée en utilisant une étiquette bracelet.

Cette application a été réalisée sous le logiciel CST, à partir de plusieurs tests concrets de simulation. Nos résultats de simulations ont été largement validés par études comparatives

Perspectives

La validation des conceptions d'antennes présentées tout au long de cette thèse ne pourraient s'effectuer qu'avec la réalisation de ces dernières et une confrontation entre les résultats théoriques et expérimentaux.

En perspectives, nous envisageons de réaliser nos antennes dans un futur très proche dans notre laboratoire LTT Tlemcen. Nous pourrions par la suite établir un prototype d'antenne étiquette RFID fonctionnant dans la bande UHF.

La technologie RFID promet de devenir omniprésente à l'avenir, par conséquent, plusieurs axes de recherches peuvent en découler :

- La technologie RFID SHF,
- la miniaturisation des antennes RFID,
- les tags multi-antennes,
- la localisation avec la RFID,
- l'intégration des capteurs dans les étiquettes RFID,
- la RFID ULB.

Les deux derniers points attirent particulièrement notre attention, notamment le premier, vu que nous avons abordé dans ce travail une application médicale qui fait intervenir des capteurs à ses bords pour accomplir sa tâche, sachant que la présence de ces dispositifs va perturber le fonctionnement de l'antenne. Ce qui nous incite à les prendre en considération au préalable lors de la conception. Également, la technologie RFID large bande ULB nous intéresse significativement, car sa bande de fonctionnement offre des avantages remarquables, la largeur de bande étant l'atout majeur.

A. ANNEXE -A

Présentation du l'outil

CST

A.1 Introduction

Déterminer les performances d'une antenne est une tâche difficile à accomplir. Les approches analytiques ne sont appropriées que pour de simples géométries. Pour des structures plus complexes, on a souvent recours aux méthodes numériques [1].

L'électromagnétisme informatisé (CEM : Computational ElectroMagnetics) est un sujet d'un grand intérêt pour les ingénieurs et les chercheurs du domaine. Ses applications s'étendent sur plusieurs domaines différents : les systèmes Radiofréquences, les radars, les communications sans fil, l'ingénierie électrique et électronique et même le domaine des biomédicales ainsi que les antennes [1].

Beaucoup de méthodes ont été développées au cours des dernières années, en général le CEM peut être divisé en méthodes numériques et méthodes à hautes fréquences, comme le montre le Figure A-1. Les méthodes à hautes fréquences conviennent aux structures à dimensions élevées par rapport à la longueur d'onde, alors que les méthodes numériques sont plus appropriées aux structures de faibles dimensions.

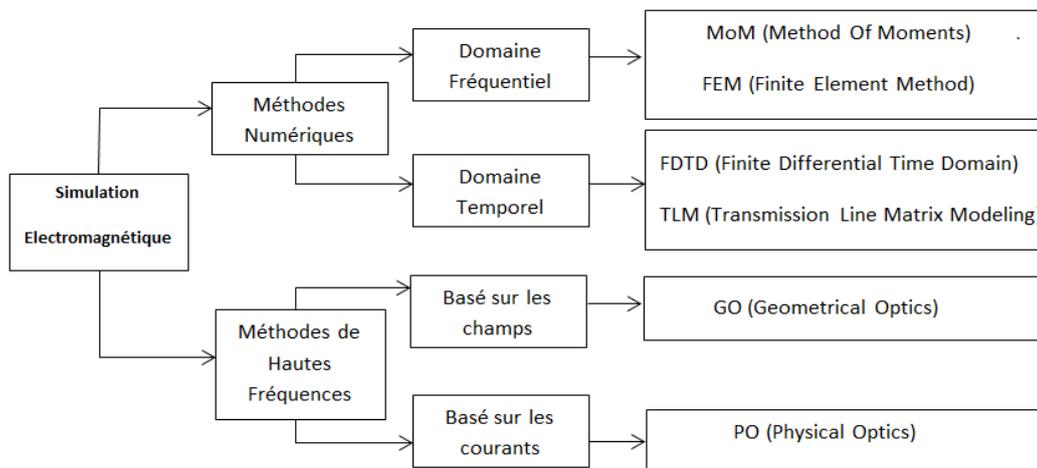


Figure A-2 : Classification des méthodes de CEM

A.2 CST MICROWAVE STUDIO

L'art de simuler est fondé principalement sur les possibilités de modéliser correctement la structure à étudier sous certaines conditions. Les bons modèles permettent des analyses efficaces et précises et les concepteurs peuvent ainsi atteindre leur but avec quelques modifications.

CST MICROWAVE STUDIO est un logiciel complet pour l'analyse et la conception électromagnétique dans la gamme des hautes fréquences. Il simplifie la conception des structures en fournissant des solides 3D pour modéliser chaque élément (Figure A-3).

Après avoir modélisé la structure, une procédure entièrement automatique de maillage est appliquée avant que la simulation ne soit lancée.

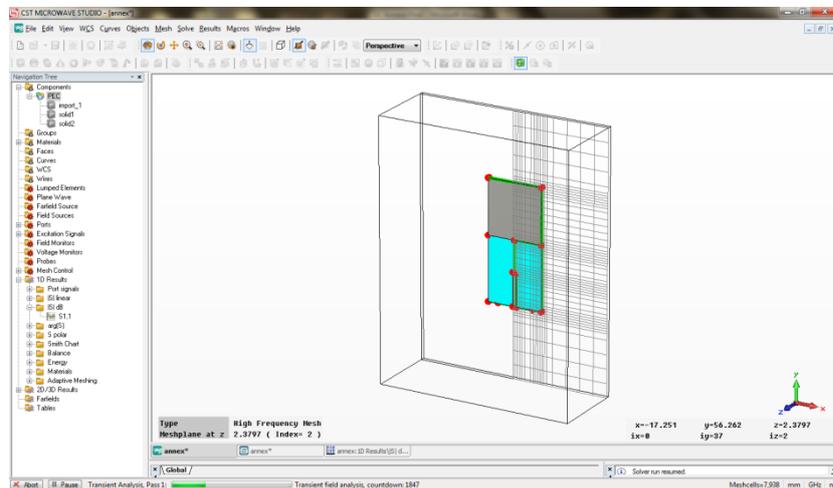


Figure A-3 : L'interface principale de CST MICROWAVE Studio

CST MICROWAVE STUDIO fait partie de la suite CST Design Studio [2], il offre un certain nombre de solveurs différents, applicables sur une multitude de domaines. Étant donné qu'aucune des méthodes d'analyse ne fonctionne aussi bien dans tous les domaines d'applications, le logiciel contient quatre techniques de simulations différentes (Solveur Transitoire (transient solver) , Solveur fréquentiel (*frequency domain solver*) , Solveur Integral (*integral equation solver*)  et le solveur eigenmode (*eigenmode solver*)  pour mieux répondre à ces applications particulières.

Le solveur le plus flexible et le plus adapté aux antennes est solveur transitoire, permettant de faire la simulation d'une large bande de fréquences simultanément dans la même tentative de calcul. (Contrairement à un grand nombre de simulateurs où solveurs qui utilisent l'approche par pas de fréquence). Il est basé sur la technique d'intégration finie (FIT), présente en électrodynamique depuis plus de trois décennies.

Le calcul des dérivées spatiales et temporelles s'effectue grâce à l'approximation dite des différences centrées. La région modélisée est représentée par deux grilles de points discrets intercalées d'une demi-maille. Une grille contient les points où sont calculés les champs électriques et l'autre grille contient les points où sont calculés les champs magnétiques. Ainsi chaque composante de champ magnétique est entourée de quatre composantes du champ électrique comme le montre la maille élémentaire sur la Figure A-4

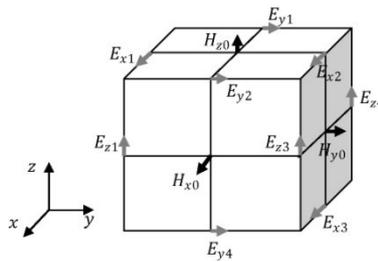


Figure A-4 : Maille élémentaire d'une simulation FTT

Ce formalisme implique d'une part un maillage parallélépipédique et d'autre part une certaine taille mémoire nécessaire et un temps de calcul différent pour une simulation sous CST. Ces paramètres influent directement sur le volume borné de la structure simulée, sur la dimension de la maille élémentaire et donc sur le pas spatial choisi.

Il est donc possible par ce logiciel, de calculer les champs électriques, les champs magnétiques, les paramètres de la matrice S et autres, pour n'importe quel dispositif. Il permet également de visualiser ces champs rayonnés en deux dimensions et en trois dimensions.

Les points importants pour la réalisation d'une simulation exploitable sont principalement le réglage du maillage qui est déterminé par la maille élémentaire, le réglage de la précision de convergence du calcul ainsi que le choix des ports pour l'injection du signal d'excitation de la structure.

Le choix du maillage est primordial et peut engendrer des résultats complètement erronés dans le cas où on le néglige. Plus le pas à considérer est petit, plus les résultats obtenus sont meilleurs au détriment d'un temps de calcul plus long. A titre d'exemple, un ordinateur qui possède un processeur à Core Duo, simulera une certaine structure qui a comme résolution 3 millions de points de maillage en une durée de 5h. Cependant, les conceptions d'antennes d'une certaine complexité ont un nombre de points de maillage qui n'excède pas un million.

Le signal d'excitation du CST simulé peut être injecté à travers deux types d'alimentation, une alimentation par onde électromagnétique dite « *waveguide port* », ou à travers une alimentation discrète dite « *discrete port* ». Le port noté « *wave-guide* » correspond à l'injection d'une onde électromagnétique. Quant à lui le port noté « *discrete port* » est semblable à une source de tension, de courant ou plutôt d'impédance permettant l'injection d'un signal haute fréquence.

Ce solveur est efficace pour la plupart des types d'applications à haute fréquence tels que les connecteurs, les filtres, les lignes de transmissions les antennes et autres.

Nous présenterons ci-dessous un exemple utilisant le solveur transitoire pour définir les différentes étapes avant la simulation

A.3 Exemple de conception d'une antenne sous CST

Après avoir lancé le CST DESIGN ENVIRONMENT, nous choisissons un nouveau projet CST MICROWAVE STUDIO (Figure A-5). Nous serons invités à sélectionner une plateforme pour une structure qui est la plus proche de notre but (Figure A-6), malgré que nous puissions choisir un modèle propre à nous. Cette plateforme définit les dimensions et les conditions aux limites à considérer.

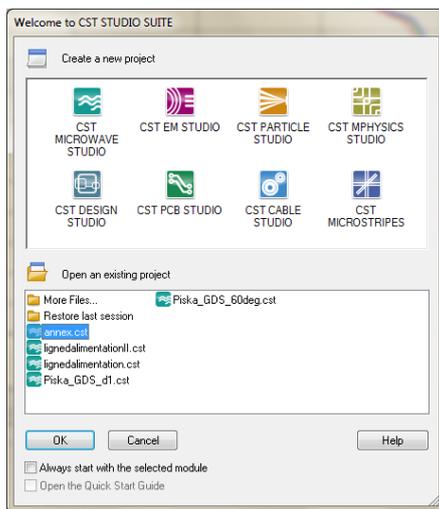


Figure A-5 : Les différentes suites dans CST

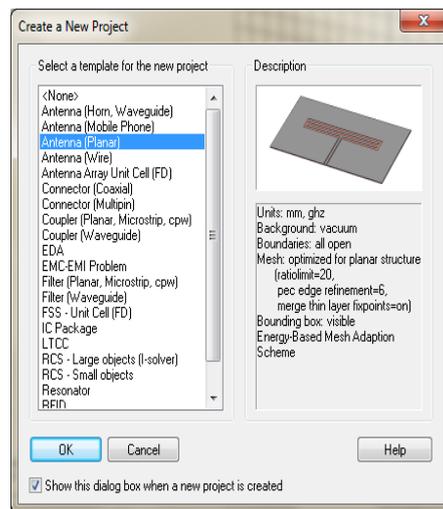


Figure A-6 : Les plateformes prédéfinies

Le logiciel CST dispose d'un système d'aide (help) en ligne d'une importance colossale parce qu'il simplifie et détaille toute option du logiciel. L'une de ses caractéristiques est le guide de démarrage rapide « Quick Start Guide ».

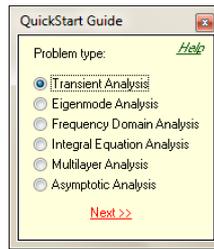


Figure A-7 : la fenêtre de Quick Start Guide

Le « Quick Start Guide » exécute une animation qui simplifie les étapes à suivre :

- **Définition des unités**

Il s'agit de définir les unités de l'ensemble des paramètres comme les dimensions, les fréquences, le temps et la température pour le problème à traiter,

Il faudra par la suite définir le type environnant «Background Material ». Chaque application se distingue de l'autre par une différenciation de matériaux entourant le dispositif à étudier, par exemple le milieu entourant les antennes est l'air parce qu'il s'agit d'un système ouvert.

- **Tracé de la structure**

Pour la modélisation de la structure d'antenne, plusieurs formes géométriques sont mis à notre disposition (les cubes, les cylindres, les sphères, etc). Nous pouvons faire appel à des opérateurs booléens afin d'obtenir des formes dérivées plus complexes.

- **Définition de la plage de fréquences**

Le choix de la bande de fréquences est nécessaire parce que le générateur de maillage ajustera le raffinement du maillage selon la plage spécifiée.

- **Définition des Ports**

Chaque structure d'antenne a besoin d'une excitation pour pouvoir analyser son comportement et obtenir des résultats de simulation.

La définition correcte des ports est très importante et agit sur la précision des résultats.

- **Définition des conditions aux limites et des plans de symétries**

Le logiciel CST nous offre la possibilité de préciser certaines conditions aux limites pour chaque plan (x_{min} , x_{max} , y_{min} , etc). Si la structure est symétrique, il est préférable de définir les plans de symétries afin de réduire le temps de simulation (Figure A-8).

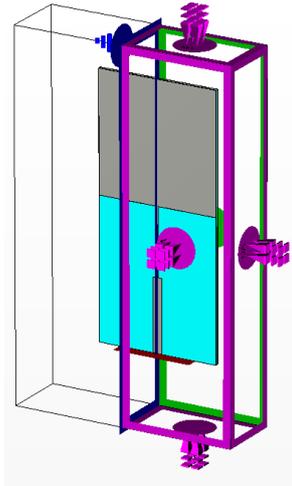


Figure A-8 : Les conditions aux limites d'une structure (en mauve) ainsi le plan de symétrie (en bleu)

- **Simulation**

Après avoir défini tous les paramètres nécessaires, nous pouvons lancer la simulation en choisissant l'une des méthodes selon l'application.

A.4 Résultat de simulation

Après l'exécution avec succès d'une simulation, nous pouvons accéder aux résultats des différents calculs et donc nous pouvons récupérer les données de sortie obtenues dans la partie 1D Results.



Figure A-9 : Structure de l'antenne patch

Nous avons simulés une structure d'une antenne patch carré avec CST, Où le cahier de charge est obtenu à partir de l'article [3]. Les différents résultats obtenus sont illustrés par les figures suivantes.

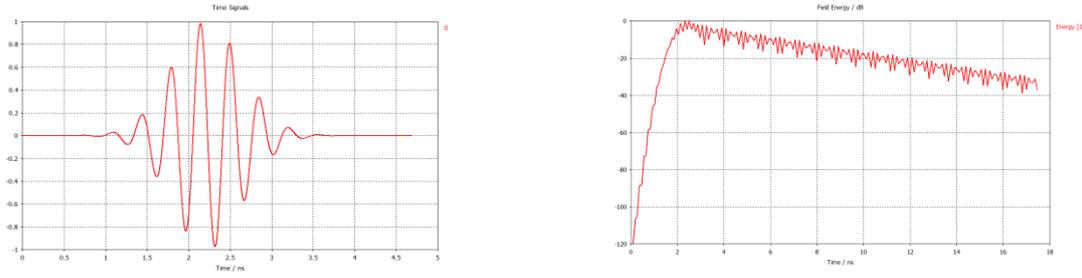


Figure A-10 : Impulsion du signal excité ainsi le flux d'énergie

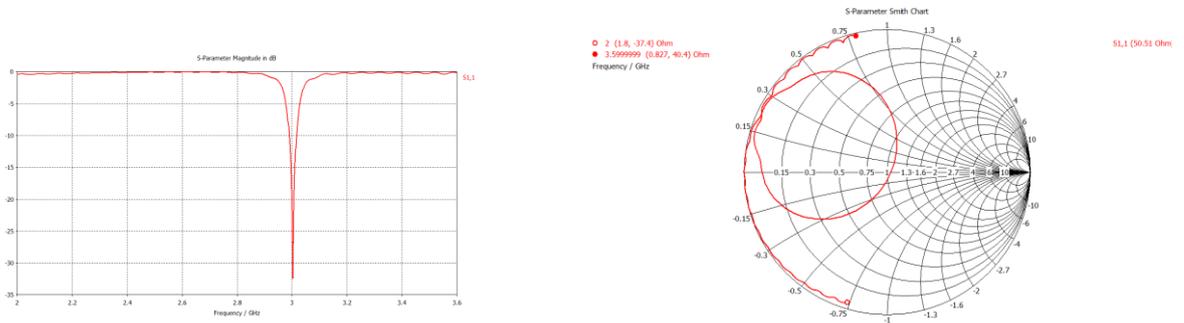


Figure A-11 : Coefficient de réflexion S11 en dB et l'abaque de SMITH

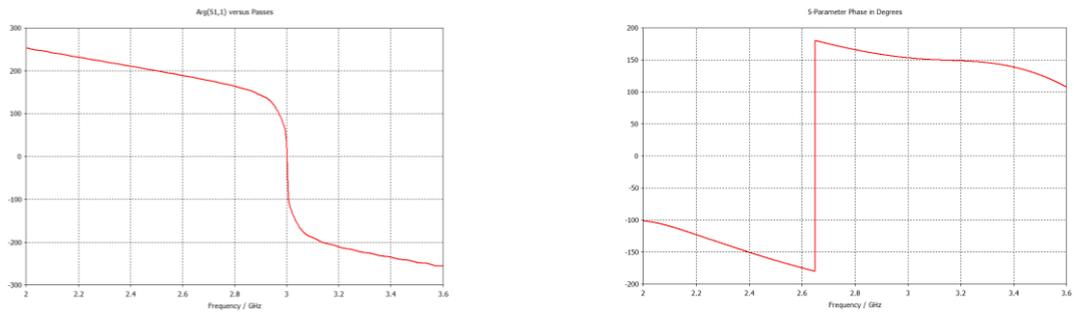


Figure A-12 : Argument et la phase du port de l'antenne

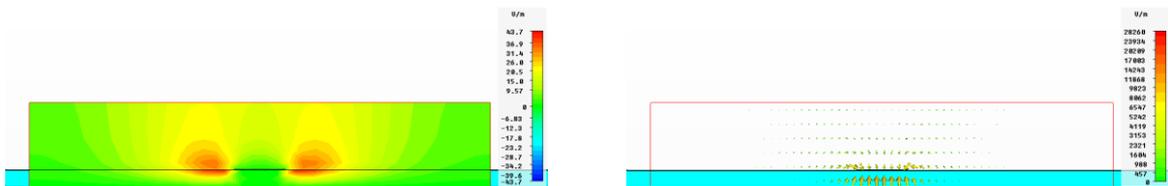


Figure A-13: Le champ électrique dans le port

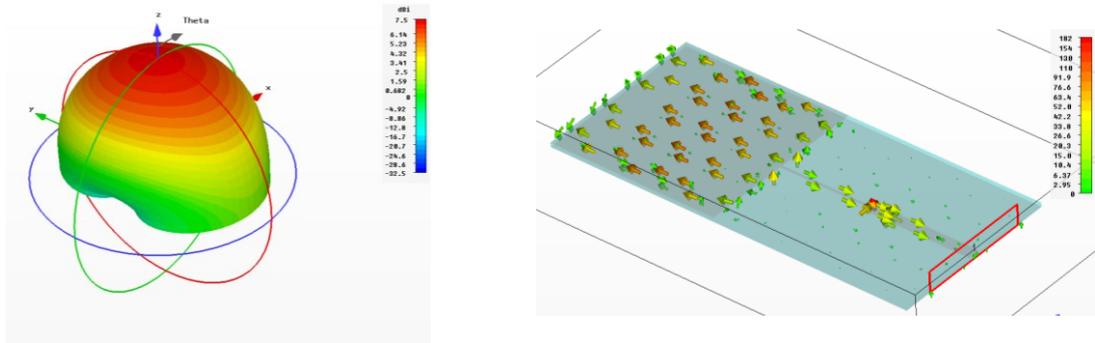


Figure A-14 : Le diagramme de rayonnement et le courant surfacique à la fréquence de résonance 3GHz

Références bibliographiques

- [1] Y. Huang, Antennas From Theory to Practice, Chichester: John Wiley & Sons , 2008.
- [2] C. S. T. C. D. Studio, «Computer Simulation Technology (CST), " CST Design Studio",» [En ligne].
- [3] J. & P. Hall, Handbook of Microstrip Antennas, Peter Peregrinus, 1989.

B. ANNEXE -B

Présentation du l'outil

IE3D

B.1 Introduction

IE3D est un outil électromagnétique complet pour la simulation, l'optimisation et la conception en 3D des antennes et des circuits numériques. L'IE3D a été adopté comme une norme industrielle dans la simulation électromagnétique.

Depuis son introduction officielle en 1993 à IEEE International Microwave Symposium (IMS IEEE 1993), des améliorations ont été apportées au logiciel IE3D. Beaucoup de progrès ont été réalisés dans l'IE3D par la suite [1].

L'IE3D est devenu l'outil de simulation électromagnétique le plus polyvalent. Il est facile à utiliser, efficace et précis. Il est largement utilisé pour la conception de circuits hyperfréquences/millimétriques, interconnexion et packaging de circuits intégrés CI, antennes planaires, antennes filaires et autres antennes radiofréquence sans fils [2]. La Figure B-1 montre l'interface principale du logiciel *IE3D*.

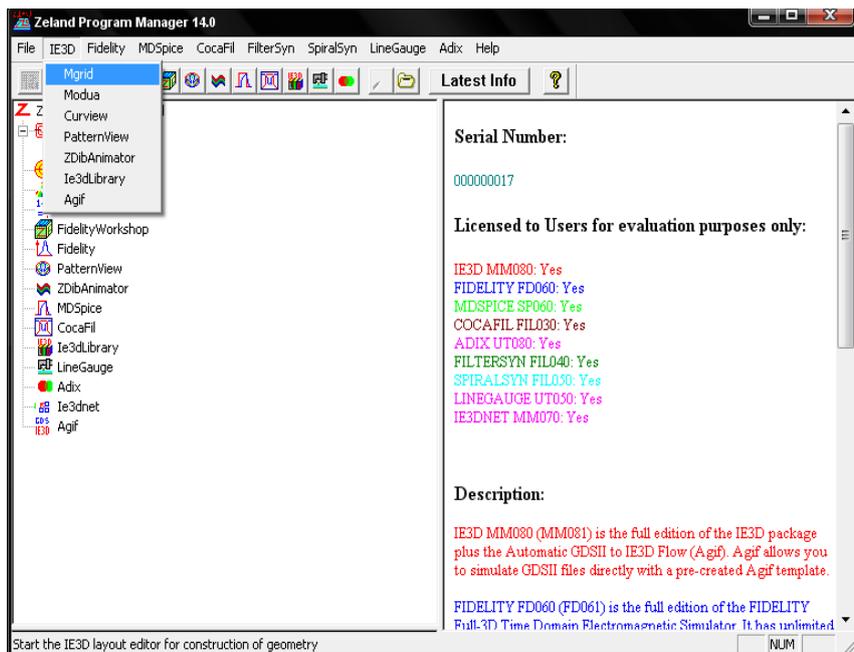


Figure B-1 : Interface principale de l'IE3D

B.2 Le dispositif automatique des cellules de bord (*Automatic Edge Cell*)

Dans l'IE3D, les structures ou les conducteurs sont maillés, divisés en éléments simples triangles ou rectangles. La taille des éléments simples n'est pas constante ce qui lui permet d'adapter les cellules à la géométrie de l'objet. Ainsi, en présence de discontinuités, les dimensions de la structure à étudier sont respectées [2,3].

Si le courant est fortement localisé, comme par exemple sur une ligne micro-ruban où il se propage principalement sur les bords, un maillage plus fin et plus dense peut alors être utilisé (*Automatic Edge Cell*).

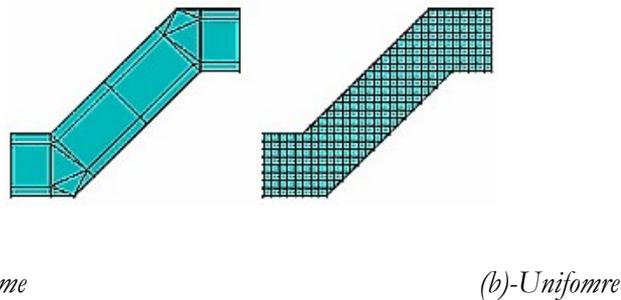


Figure B-2 : Maillage automatique

-a : Le maillage non-uniforme avec des cellules rectangulaires et triangulaires dans l'IE3D donne des résultats de grande précision avec un minimum de cellules

-b : Le maillage uniforme dans d'autres simulateurs crée le grand nombre des cellules même pour les structures simples.

B.3 Optimisation électromagnétique

Tout comme le logiciel CST, IE3D intègre une option d'optimisation qui pourra améliorer la forme d'une structure pour avoir de meilleur résultat. Plusieurs algorithmes d'optimisation sont présentés, par exemple l'algorithme génétique (*GeneticEM*) [3].

B.4 Résultats de simulation

Une fois la simulation terminée, de nombreuses sorties de résultats sont autorisées.

Nous avons simulé une structure d'un patch carré avec IE3D. Les différents graphes que nous pouvons visualiser telle que l'abaque de Smith, le VSWR (dB) et d'autres paramètres sont représentés dans ce qui suit :

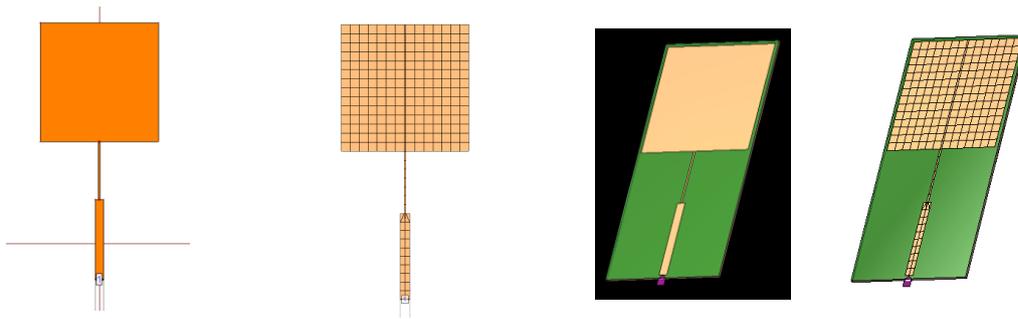


Figure B-3 : Différents états d'une structure maillée et non maillée en 2D & 3D

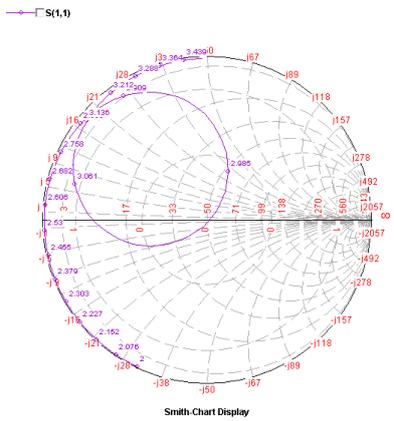


Figure B-4 : Abaque de Smith (Smith- chart)

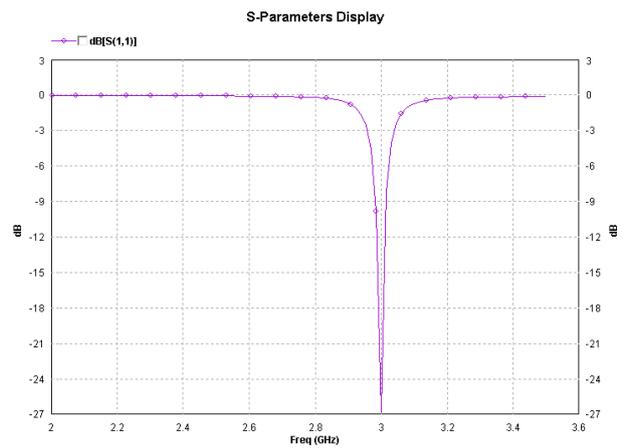


Figure B-5 : Coefficient de réflexion S11 en dB

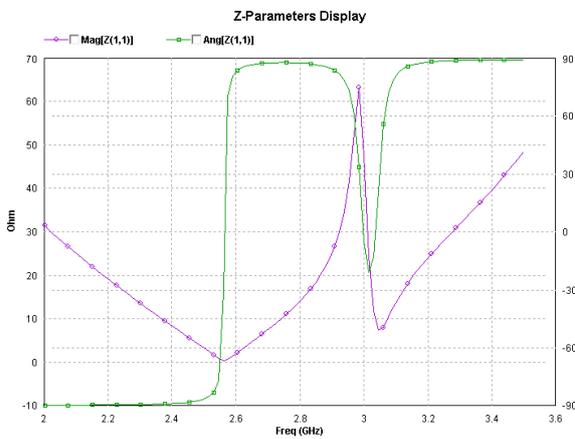


Figure B-6 : Paramètres Z11 (module/phase)

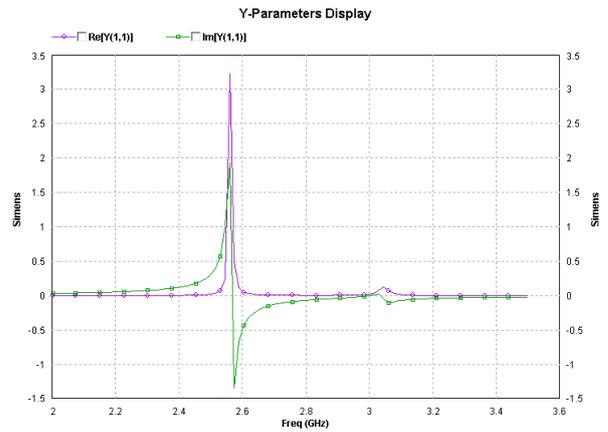


Figure B-7 : Paramètres Y11 (Réel/Imaginaire)

On peut aussi visualiser la distribution de courant des structures après simulation ainsi que le diagramme de rayonnement en 2D et en 3D.

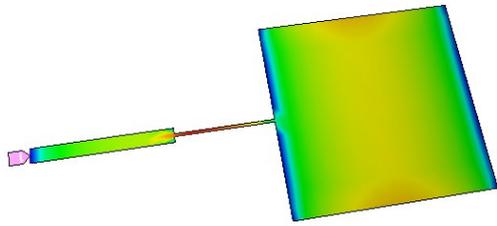


Figure B-8 : La distribution de courant

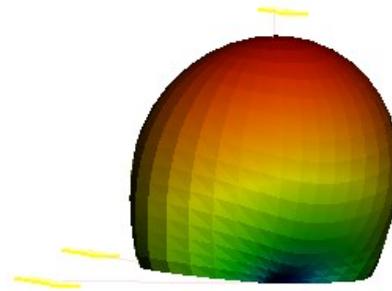


Figure B-9 : Le diagramme de rayonnement 3D

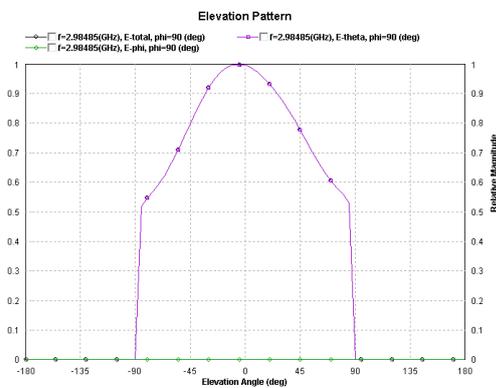


Figure B-10 : Diagramme de rayonnement 2D (cartésien)

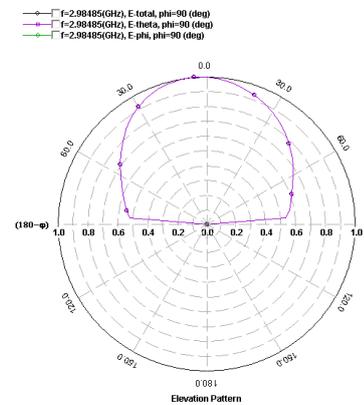


Figure B-11 : Diagramme de rayonnement 2D (Polaire)

Références bibliographique

- [1] M. IE3D, Manuel IE3D Version 14, zeland software.
- [2] «www.ctsystemes.com,» [En ligne].
- [3] «www.zeland.com,» [En ligne].

Références Bibliographiques

Chapitre I

- [1] D. Paret, *RFID At Ultra And Super High Frequencies Theory And Application*, New York: John Wiley & Sons, 2009.
- [2] D. Bechevet, «Contribution au Développement de Tag RFID UHF et microondes sur matériaux plastiques,» Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, 2005.
- [3] H. Stockman, «Communication by Means of Reflected Power,» *Proceedings of the IRE (Institute of Radio Engineers)*, vol. 36, pp. 1196-1204, Octobre September 2006.
- [4] F. Vernon, «Application of the Microwave, Homodyne,» *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, pp. 4-110, 1952.
- [5] D. Harris, «Radio Transmission Systems With Modulatable Passive Responder». United States Patents Office Brevet 2927321, 1 Mars 1960.
- [6] Hunt et D. V, «Rfid-A Guide To Radio Frequency Identification,» *John Wiley & Sons*, 2007.
- [7] F. Letient, «Etat de l'art et applications des RFID,» Travail d'Etude et de Synthèse Technique, Grenoble, Juin 2008.
- [8] R. Cover, «Physical Markup Language (PML) Core Specification Version 1.0 for EPC Objects,» Novembre 2003. [En ligne]. Available: <http://xml.coverpages.org/ni2003-11-10-b.html>.
- [9] O. m. d. douanes, La référence unique de l'envoi (RUE) de l'OMD (Organisation mondiale des douanes), CE RFID, 2004.
- [10] M. C. Pydynowski, «Somark Innovations Announces Successful Live Animal Tests of Biocompatible Chipless,» Juin 2007. [En ligne].
- [11] T. Frey, «Integration of Serial-level Data into Existing Business Information Systems,» European Commission, December 2007.
- [12] S. B. Miles, E. S. Sanjay et R. W. John, *Rfid Technology And Applications*, New York: Massachusetts Institute of Technology, Cambridge University Press, May 2008.
- [13] W. Leif et M. Gerhard, «A Roadmap for RFID Applications and Technologies,» 2008. [En ligne]. Available: <http://www.rfid-in-action.eu/public/results/roadmap.html>.
- [14] «<http://www.magellan-rfid.com/>,» magellan-rfid, [En ligne]. Available: http://www.magellan-rfid.com/applications/document_tracking.
- [15] AGRIHOUSE, «agrihouse.com,» [En ligne]. Available: <http://www.agrihouse.com>.
- [16] E. P. Morgen, «RFID Tags Guide the Blind,» 1 janv 2008. [En ligne]. Available: <http://www.spectrum.ieee.org/biomedical/devices/rfid-tags-guide-the-blind>.

- [17] HEALTHLINKPHR, «healthlinkphr.com,» [En ligne]. Available: <http://www.healthlinkphr.com/>.
- [18] BACKSTOPP, «backstopp.com,» [En ligne]. Available: <http://www.backstopp.com/>.
- [19] M. Bharadwaj, «A Novel Planar Microstrip Antenna Design for UHF RFID,» Thèse de Doctorat, Electronics and Communication Engineering ,India, May 2008.
- [20] CENTRENATIONAL-RFID, «centrenational-rfid.com,» [En ligne]. Available: <http://www.centrenational-rfid.com>.
- [21] W. Eldor, B. Daniel, D. Markus et R. Michael, «RFID Standards and Radio Regulations,» CE RFID, July25,2008.
- [22] CE RFID, «RFID Reference Model, Coordinating European Efforts for promotion the European RFID,» 2009.
- [23] F. Klaus, RFID Handbook Fundamentals And Applications In Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification And Near-Field Communication, John Wiley & Sons, 2010.
- [24] C. Tételin, «des normes internationales en RFID,un tour d'horizon,» Lille, 26 Décembre 2010.
- [25] J. Xeni, «How to hack RFID-enabled credit cards for \$8,» 19 Mars 2008. [En ligne]. Available: <http://www.boingboing.net/2008/03/19/bbtv-how-to-hack-an.html>.
- [26] O. Gerd, «Etudes épidémiologiques sur l'incidence des cas de cancer à proximité des antennes relais,» Janv 2008. [En ligne]. Available: http://www.robindestoits.org/Etudes-epidemiologiques-sur-l-incidence-des-cas-de-cancer-1997-2007-a-proximite-d-antennes-relais-par-le-Dr-erd_a349.html.
- [27] Information technology, «Radio frequency identification for item management Parameters for air interface communications at 860 MHz to 960 MHz,» European Comission, 2010.

Chapitre II

- [1] M. Dobkin Daniel, The RF in RFID: Passive RFID UHF In Prcatice, Oxford: Newnes, 2008.
- [2] A. Ghiotto, «Conception D'Antennes De Tags Rfid Uhf, Application A La Realisation Par Jet De Matiere,» Thèse de Doctorat, Institut polytechnique de Grenoble, 26 Novembre 2008.
- [3] K.Finkenzeller, RFID Handbook, Munich: John Wiley & Sons, 2007.
- [4] D. Paret, RFID At Ultra And Super High Frequencies : Theory And Application, New York: John Wiley & Sons, 2009.
- [5] A. Stelzer, «Multi Reader/Multi-Tag SAW RFID Systems Combining Tagging, Sensing, and Ranging for Industrial Applications,» Frequency Control Symposium, 2008 IEEE

International, pp. 263 - 272, 2008.

- [6] M. Schußler, «Performance Evaluation of Left-Handed Delay Lines For RFID Backscatter Applications,» Microwave Symposium Digest, 2008 IEEE MTT-S International, pp. 177-180, 2008.
- [7] A. Hagelauer, «SAW and CMOS RFID Transponder-Based Wireless Systems and Their Applications,» Frequency Control Symposium (FCS), 2012 IEEE International, pp. 1-6, 2012.
- [8] S. H. Y. Zhou, «Study Of a Uniplanar Monopole Antenna For Passive Chipless UWB-RFID Localization System,» IEEE Transactions On Antennas And Propagation, vol. 58, pp. 271-278, 2010.
- [9] P. Gentner, «A Passive Ultra Wideband Tag For Radio Frequency -Identification Or Wireless Sensor Networks,» IEEE International Conference on Ultra-Wideband (ICUWB), pp. 417-420, 2012.
- [10] R. Vauche, «A Remotely UHF Powered UWB Transmitter For High Precision Localization Of RFID Tag,» IEEE Journal Of Solid-State Circuits, vol. 40, pp. 1193-2202, November 2005.
- [11] I. Vita, «Design Criteria for the RF Section of UHF and Microwave Passive RFID Transponders,» IEEE Transactions On Microwave Theory And Techniques, vol. 53, pp. 2978-2990, September 2005.
- [12] Z. Zheng, «Brief Comparison of Different Rectifier Structures For HF And UHF RFID,» University of Adelaide, 2004.
- [13] U. Karthaus, «Fully Integrated Passive UHF RFID Transponder IC With 16.7 mW Minimum RF Input Power,» IEEE Journal Of Solid-State Circuits, vol. 38, pp. 1602-1608, October 2005.
- [14] W. G. Yeoh, «A CMOS 2.45-GHz Radio Frequency Identification Tag IC with ReaWrite Memory,» Radio Frequency Integrated Circuits (RFIC) Symposium, Digest of Papers, IEEE, pp. 365-368, 2005.
- [15] F. Klaus, RFID Handbook Fundamentals And Applications In Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification And Near-Field, Communication, USA: John Wiley & Sons, 2010.
- [16] C. Jari-Pascal, «Analysis and Optimization of Passive UHF RFID Systems,» Thèse de Doctorat, Lausanne, EPFL, 2006.
- [17] L. Sydänheimo, «Effects Of Size And Shape Of Metallic Objects On Performance Of Passive Radio Frequency Identification,» International Journal Advanced Manufacturing Technology , SPRINGER, vol. 30, pp. 897–905, 2006.
- [18] B. Delphine, «Contribution au Developpement de Tag RFID UHF et Microondes sur Materiaux Plastiques,» Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, 2005.

- [19] A. Dhouibi, «Low-Profile Substrate-Integrated Lens Antenna Using Metamaterials,» *Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE*, vol. 12, pp. 43-46, 2013.
- [20] M. Gaetano, «The Art of UHF RFID Antenna Design: Impedance-Matching and Size-Reduction Techniques,» *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 50, pp. 66-79, 2009.
- [21] C. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, New York: John Wiley & Sons, 2005.

Chapitre III

- [1] A. Constantine, *Antenna Theory, Analysis and Design*, New Jersey: John Wiley & Sons, 2005.
- [2] J. D. KRAWS, *Antennas for All Applications*, New York: Tata Mc Graw-Hill, 2001.
- [3] Z. N. Chen, *Broad Band Planar Antennas : Design and Application*, England: John Wiley & Sons, 2006.
- [4] J. C. Liberti, *Smart Antennas for Wireless Communications*, New Jersey: Prentice Jersey, 1999.
- [5] P. A. Rizzi, *Microwave Engineering*, Canada: Prentice Jersey, 1988.
- [6] Z. N. Chen, *Antennas for Portable Devices*, New York: Johns Wiley & Sons, 2007.
- [7] Y. Huang, *Antennas From Theory to Practice*, Chichester: John Wiley & Sons , 2008.
- [8] B. Nathan, *Radio Propagation and Adaptive Antennas for Wireless Communications Links*, New Jersey: John Wiley & Sons, 2007.
- [9] G. Anthony, «Conception D'Antennes De Tags RFID UHF, Application A La Realisation Par Jet De Matiere,» *Thèse de Doctorat, Institut polytechnique de Grenoble*, 26 Novembre 2008.
- [10] A. Ghiotto, «Miniaturized Patch Antenna for the Radio Frequency Identification of Metallic Objects,» *Microwave Symposium Digest, 2008 IEEE MTT-S International*, vol. 10, pp. 583-586, 2008.
- [11] D. Guha, *Microstrip and Printed Antennas : New Trends, Techniques and Applications*, Chichester: John Wiley & Sons , 2011.
- [12] N. C. Karmakar, *Handbook of Smart Antennas for RFID Systems*, New Jersey: John Wiley & Sons, 2010.
- [13] M. Gaetano, «The Art of UHF RFID Antenna Design: Impedance-Matching and Size-Reduction Techniques,» *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 50, pp. 66-79, 2009.
- [14] M. Hirvonen, «Planar Inverted-F Antenna For Radio Frequency Identification,» *IEEE Electronics Letters*, vol. 40, 8th July 2004.
- [15] T. Min-Chuan, «UHF RFID PIFA Array Tag Antenna for Human Body Applications,» *Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC)*, 2012 15th International

Symposium on, pp. 434-437, Dec 31, 2012.

- [16] K. Jae-Hyeong, «A Practical Approach to Robust Design of a RFID Triple-Band PIFA Structure,» IEEE Transactions On Magnetics, vol. 46, pp. 3333-3336, August 2010.
- [17] M. Ziai, «UHF RFID Tag Antenna Design for On-Body Applications,» Loughborough Antennas & Propagation Conference IEEE, pp. 185-188, 8-9 November 2010.
- [18] L. Catarinucci, «Prototyping Flexible UHF RFID Tags Through Rapid and Effective Unconventional Techniques: Validation on Label Type Sensor Tag,» IEEE International Conference on RFID -Technologies and Applications (RFID - TA), pp. 176-181, 2012.
- [19] L. Ken-Huang, «A Looped-Bowtie RFID Tag Antenna Design for Metallic Objects,» IEEE Transactions On Antennas And Propagation, vol. 61, pp. 499-505, February 2013.
- [20] S. Companies, «Application note AN2631 " XTAG2 UHF antenna reference design",» STMicroelectronics group of companies, Oct 2007.
- [21] T. I. Incorporated, «SMT EPC Gen2 IC RI-UHF-IC116-00,» Texas Instruments Incorporated, July 2008.
- [22] A. T. Corporation, «Product Overview Alien Higgs™-2 EPC Class 1 Gen 2 RFID Tag IC,» Alien Technology , Butterfeld Blvd, July 2008.
- [23] R. Peter, Microwave Engineering; Passive Circuits, Prentice-Hall International, Inc, 1988.

Chapitre IV

- [1] C. S. T. C. D. Studio, «Computer Simulation Technology (CST), " CST Design Studio",» [En ligne].
- [2] J. Ps.Hall, Handbook of Microstrip Antennas, Peter Peregrinus, 1989.
- [3] C. A. Balanis, Antenna theory: analysis and design, John Wiley and Son: 3rd ed, 2007.
- [4] M.V.SCHNEIDER, Microstrip Lines for Microwave Integrated Circuits, Bell Syst. Tech. Journal, 48, p. 1422-1444, 1969.
- [5] A.Constantine, Antenna Theory, Analysis and Design, Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Second Edition 2005.
- [6] A. Ghiotto, «Novel Design Strategy for Passive UHF RFID Tags,» chez IEEE International Symposium on Antenna Technology and Applied Electromagnetics, Paris, France, 2010.
- [7] F.Z.Marouf, N.Hassaine-Seladji, D.Ziani, F.T.Bendimerad «Antenne Miniature pour Application RFID en SHF,» chez Congrès Méditerranéen des Télécommunications, fés, Maroc, 2012.
- [8] F. Z. Marouf, N.Hassaine-Seladji, F.T.Bendimerad «Dual Tag Antenna for UHF RFID Applications,» International Journal of Computer Applications, vol. 46, pp. 7-10, 2012.

- [9] F. d. Dieuleveut, *Électronique Appliquée aux Hautes Fréquences: Principes et Applications*, Paris: Dunod, 2008.
- [10] P. N. a. S. L. K.V.S. Rao, «Antenna design for UHF RFID tags: a review and a practical application,» *IEEE Trans. on Antennas and Propag*, vol. 53, pp. 3870-3876, Dec 2005.
- [11] G. Marrocco, «The Art of UHF RFID Antenna Design: Impedance-matching and Size-reduced Techniques,» *IEEE Trans. Antennas Propag*, vol. 50, n° 11, pp. 66-79, February 2008.
- [12] G. I. G. De Vita, «Design criteria for the RF section of UHF and microwave,» *IEEE Trans. on Microw. Theory and Tech*, vol. 53, , pp. 2978-2990, Sept 2005.
- [13] S. Companies, «Application note AN2631 " XRAG2 UHF antenna reference design",» STMicroelectronics group of companies, Oct 2007.
- [14] F.Z.Marouf, D.Ziani, N.Hassaine-Seladji, F.T.Bendimerad «T_matched Dipole Tag Antenna for UHF RFID Applications,» *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, vol. 36, pp. 346-352, 2013.
- [15] T. I. Incorporated, «SMT EPC Gen2 IC RI-UHF-IC116-00,» Texas Instruments Incorporated, July 2008.
- [16] G. Marrocco, «Gain-Optimized Self-Resonant Meander Line Antennas for RFID Applications,» *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2010.
- [17] W. xunxun, *Design of Passive UHF RFID Tag Antennas and Industry Application*, ITB/Electronics, August, 2010.
- [18] Z. Hu, C. P. H. et L. Zhang, «A Method for Calculating the Resonant Frequency of Meander-line Dipole Antenna,» *IEEE Industrial Electronics and Applications*, 2009 .
- [19] A. T. Corporation, «Product Overview Alien Higgs™-2 EPC Class 1 Gen 2 RFID Tag IC,» Alien Technology , Butterfeld Blvd, july 2008.

Chapitre V

- [1] C.-H. C. a. Z. L. Wen Yao, "The Use Of Rfid In Healthcare: Benefits And Barriers," in *International Conference on RFID-Technology and Applications*, Guangzhou, China, 17 - 19 June 2010.
- [2] P. Najera, "Real-time location and inpatient care systems based on passive RFID," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 36, p. 980–989, 2012.
- [3] A. Cangialosi, "Applying RFID to Patient Care: Challeges and opportunities," *Managing Worldwide Operations & Communications with Information Technology* , pp. 1051-1055, 2005.
- [4] M. Helmus, "Application Fields of RFID in Health Safety and Enviroment Management," in *RFID Eurasia*, 2007.
- [5] B. Lee, "Ubiquitous RFID based Medical Application and the Security Architecture in Smart Hospitals," in *International Conference on Convergence Information Technology*, 2007 .

- [6] C. Occhiuzzi, "Modeling, Design and Experimentation of Wearable RFID Sensor Tag," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 58, pp. 2490-2999, 2010.
- [7] P. A. Serra, *New Perspectives In Biosensors Technology And Applications*, Croatia: InTech, June 2011.
- [8] L. L. C. Clark, "Electrode System For Continuous Monitoring Of Cardiovascular Surgery," *Ann. NY Acad. Sci.*, vol. 102, pp. 29-45, 1962.
- [9] P. A. Serra, *New Perspectives in Biosensors Technology and Applications*, Rijeka: Intech, 2011.
- [10] C. C. G. M. Cecilia Occhiuzzi, "Body-Matched Slot Antennas for Radio-Frequency Identification," *Antennas and Propagation Society International Symposium, 2009. AP-S 2009. IEEE*, pp. 1 - 4, 2009.
- [11] L. Catarinucci, "Enhanced UHF RFID Sensor-Tag," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 23, pp. 1-3, 2013.
- [12] Z. Jiang, "RFID Tag Antenna Based Wireless Sensing Method for Medical Transfusions Applications," *International Conference on RFID -Technologies and Applications (RFID - TA)*, pp. 126 - 130, 2012.
- [13] C. S. T. C. D. Studio, "Computer Simulation Technology (CST), " CST Design Studio", "[Online].
- [14] S. Companies, "Application note AN2631 " XRAG2 UHF antenna reference design", "STMicroelectronics group of companies, Oct 2007.
- [15] C. Gabriel, "The dielectric properties of biological tissues: I. Literature Survey," *Physics. Medecine. Biology*, vol. 41, p. 2231–2249, 1996.
- [16] G. Marrocco, "RFID Antennas for the UHF Remote Monitoring of Human Subjects," *IEEE Transactions On Antennas And Propagation*, vol. 55, 2009.

Abréviations

ASK	<i>Amplitude Shift Keying</i>
ATQ	Answer to reQuest
ATR	<i>Answer To Reset</i>
BF	<i>Basse Fréquence</i>
BP	Band Passante
CD	<i>Coupling Device</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
CSMA/CD	<i>Carrier Sense Multiple Access . with / Collision Detection</i>
CST	<i>Computer Simulation Technology.</i>
DVD	<i>Digital Versatile Disc</i>
EAN	<i>Efficient Article Numbering Association</i>
EAS	<i>European Article Surveillance</i>
EIRP	<i>Effective Isotropic Radiative Power</i>
EPC	<i>Electronic Product Code</i>
ERP	<i>Equivalent Radiated Power</i>
FCC	<i>Federal Communication Commission.</i>
FDA	<i>Food and Drug Administration</i>
FDA	<i>Food and Drugs Administration</i>
FDX	<i>Full duplex</i>
FIT	<i>Finite integration technique (La technique d'intégration finie).</i>
FSK	<i>Frequency Shift Keying</i>
FTDMA	<i>Flexible Time Division Multiple Access</i>
HDX	<i>Half duplex</i>
HF	<i>Haute Fréquences</i>
ICC	<i>Integrated Circuit Card</i>

ICNIRP *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*

ICP *Isotropic Conductive Paste*

IFA *Inverted-F Antenna (antennes planaire en F inversée)*

IFF *Identify: Friend or Foe*

IOM *Institut Of Medecine*

IRDA *Infra-Red Data Association*

ISM *Industriel Scientific Medical*

ISO *International Organization for Standardization*

LBT *Listen Before Talk*

MEMS *Micro-Electro-Mechanical Systems*

MIT *Massachusetts Institute of Technology*

MoM *Method of Moment (La méthode des moments).*

NFC *Near Field Communication*

OEM *Onde Electromagnetique*

OSI *Open System Interconnexion*

PCD *Proximity Coupling Device*

PDAs *Personnal Digital Assistant*

PICC ou **VICC** *Proximity Integrated Circuit Card and Vicinity Integrated Circuit Card*

PIT *Programmable Identification Tag*

PL *Path Loss*

PLL *Phase Locked Loop*

PWM *Pulse Width Modulation*

R.O.S *Rapport d'Ondes Stationnaires*

RCS *Radar Cross Section*

RFID *Radio Frequency Identification*

RTF *Reader Talks First*

RTLS *Real Time Locating System*

SAW *Surface Aconstic Wave*

SHF *Super high frequency (super haute fréquence)*

SRD *Short-Range Devices*

TDMA *Time Distributed Medium Access*

TTF *Tag Talks First*

UCC *Uniform Code Council*

UHF *Ultra Hautes Fréquences*

UID *Uniform Identifier*

UIT *Union Internationale de Télécommunications*

ULB *Ultra Large Bande*

VCD *Vicinity Coupling Device*

WBAN *Wireless Body Area Network*

Wi-Fi *Wireless Fidelity*

Résumé

L'identification par Radio Fréquence (RFID) est une technologie émergente qui promet d'être omniprésente dans un futur proche, elle permet l'identification d'objets en échangeant des données à travers des signaux Radiofréquence.

Un système RFID est caractérisé par une station de base ou lecteur (Reader) cherchant à identifier des objets, et d'une étiquette (Tag) insérée au niveau de ces objets. Par ce travail, nous nous intéressons uniquement à la technologie UHF passive, plus particulièrement à la conception des antennes de tags RFID. Ces antennes devront assurer la liaison entre le lecteur et une puce électronique qui leur est attachée et dans laquelle seront mémorisées les données concernant l'objet portant l'étiquette.

Nous tentons par ce travail de montrer l'importance d'assurer une adaptation entre l'antenne du tag et la puce électronique pour une meilleure efficacité de la liaison.

Nous avons également fait la conception de certaines structures répondant à un cahier de charge particulier servant l'application médicale qui consiste à faire l'identification des patients hospitalisés grâce à un tag intégré dans un bracelet.

Mots-clés : Identification par radiofréquence (RFID), RFID UHF passives, Conception d'antennes tags, Pucés RFID UHF passives, Adaptation d'impédances, Antennes conformes. FIT, MOM.

Abstract

The Radio Frequency Identification (RFID) is an emerging technology that promises to be ubiquitous in the near future; it allows the identification of objects by exchanging data through Radio Frequency signals.

A RFID system includes a base station (reader) to identify objects, and a tag inserted on these objects. Through this work, we are interested only on the RFID passive UHF technology, especially on designing antennas for RFID tags. These antennas have to assure the communication between the reader and an electronic chip's tag which stores the labeled object's data.

In this work, we try to show the importance of ensuring a match between the tag antenna and the chip for a better efficiency of the communication between the two organs.

We have also designed some antennas' structures suitable for a medical application which consists to identify hospitalized patients by a tag inserted on wristband.

Key-words: Radio Frequency IDentification (RFID), passive UHF RFID, RFID tag Antenna design, passive UHF RFID chips, Impedance matching, Conformal Antennas. FIT, MOM.

ملخص

يحدد أهمية باستخدام موجات الـ RFID ، هي، تكنه لهما ناشئة تعتمد بانتشار، كس في العالم ، هذا في مستقبل قريب . هذه التكنولوجيا تسمح بتحديد هوية الأشياء من خلال تبادل البيانات والمعلومات من خلال موجات الراديو وتصنف ضمن التكنولوجيات اللاسلكية .

يتكون نظام RFID من ثلاثة أجزاء رئيسية هي كالتالي : الطاقة التي تحتوي على حبات الإرسال ، هواد (هـ مـ) ، قاعة تحتوي على المعلومات الخاصة بالبيء المراد تعريفه، من محطة أساسية تسعى للتعرف على المعلومات المرسلية من البطاقة وأخيراً من حاسوب يضم برامج وقواعد البيانات .

من خلال هذا العمل سيتم دراسة نوع من أنواع هذه التكنه لهما ، سنعمال على تصميم بعض الهائنات المحتمدة في الطاقة ، التي به فما نحنا . سانات التعرف على موجات الـ UHF (جـ هـ) حيث نحاول ، إظهار ، أهمية ضمان وجود تكافؤ بين ، مقاهم : ، وإد : والرقاقة الالكبرونية لتحسين أدائهما معاً ، ثم التحقق من صحة نتائج المحاكاة العددية ، ساسالبت مختلفة من التحليل باستخدام الأدوات (E3D) ، ST . فينا ايضاً بدراسة بعض الهوائيات المخصصة للرجال الطبي، يتمثل في سوار يرتديه المريض للتعرف على المعلومات الجارية به الكلمات المفتاحية :

الهوائيات المطبوعه تكنولوجيا RFID موجات الراديو القصيرة والطويلة - التصغمة ، ضبط التحسين تقنياً التكاملاً المحدود ، وطريقة العزوم