



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAÏD – TLEMCEN

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT GENIE ELECTRIQUE ET ELECTRONIQUE
LABORATOIRE DE TELECOMMUNICATION DE TLEMCEN

**Projet de fin d'études pour l'obtention de
DIPLOME DE MASTER
EN
RESEAUX ET SYSTEMES DE TELECOMMUNICATIONS**

THEME

*Antennes UHF et antennes UWB pour des applications RFID
passives*

Soutenu en Juin 2013

Présentée par :

Mlle. BENARRADJ Hanane .

Devant le jury suivant :

Mr. MERIAH Sidi Mohammed	Professeur	Encadreur
Mr. BENDIMERAD Fethi Tarik	Professeur	Président de jury
Mme. SELADJI Nawel	Maitre assistante classe A	Examineur
Mr. ABRI Mehadji	Maitre de conférences classe A	Examineur
Mr. BOUSSAHLA Miloud	Maitre conférences classe B	Examineur

Année universitaire : 2012-2013

Dédicace

*Je remercie Dieu tout puissant de m'avoir donné le courage pour achever
ce modeste travail que je dédie :*

A mon maître, mon guide, mon soutien ;

Mon livre dans la grande école de vie, toi mon adorable père.

Au grand cœur rempli d'amour de tendresse et de patience

Toi ma mère bien aimée

*A qui je suis très reconnaissante pour leur esprit constructif et qui
représentent pour moi la source de confiance et tendresse,*

Mes très chers frères.

A mes très chère sœurs.

A toute ma grande famille,

*A mes formidables amies : AMINA , MERJEM, ZINEB, IBTISAM,
Sarah , FOUZIA et sur tout A mes fidèles amis IMED , IBRAHIM,
ISMAIL et je leur souhaite plein de succès et du bonheur dans leur vie .*

*A Mlle MAROUF Fatima Zahra et Melle TALEB Sara doctorantes au
département de télécommunication à l'université Abou-Bekr Belkaid pour
la patience, l'encouragement, et l'aide.*

A tous les étudiants de la promotion 2012-2013 option RST.

A tous les enseignants qui ont participé à ma formation

B.HANANE

Remerciement

Mes remerciements vont en premier lieu, vers DIEU qui nous a créés et qui nous a donné le courage et la volonte pour réaliser ce modeste travail.

Mes remerciements aussi pour mes chers parents ainsi tous ceux et celles qui ont été à notre côté pour la réalisation de mon mémoire du Master.

Ainsi que mon encadreur Mr. MERIAH Sidi MOHAMMED professeur à l'université Abou-Bekr Belkaid - Tlemcen pour m'avoir offert un cadre de travail agréable et un encadrement de qualité.

Mes mots de reconnaissance vont à Mr BENDIMERAD Fethi Tarik professeur à l'université Abou-Bekr Belkaid - Tlemcen, pour avoir accepté de présider cet honorable jury. Aussi, de m'avoir accueillie au sein du Laboratoire de Télécommunications de Tlemcen LTI.

Mes mots de reconnaissance vont à Mr ABRI Mehadji maitre de conférences classe A à l'université Abou-Bekr Belkaid - Tlemcen, qui nous a fait l'honneur d'évaluer, d'examiner et d'enrichir notre modeste travail.

Mes mots de reconnaissance vont à Mme SELADJI Nawel Maitre Assistante classe A à l'université Abou-Bekr Belkaid - Tlemcen, qui nous a fait l'honneur d'évaluer, d'examiner et d'enrichir notre modeste travail.

Mes remerciements vont aussi à Mr BOUSSAHLA Miloud maitre de conférences classe B à l'université Abou-Bekr Belkaid - Tlemcen, pour avoir accepté de d'évaluer, d'examiner et d'enrichir notre modeste travail.

En fin, nous remercions tous nos enseignants du département de génie électrique et électronique tde l'université Abou-Bekr Belkaid, sans oublier de citer tous les enseignants qui ont contribué à ma formation depuis l'école primaire jusqu'aux études universitaires.

Résumé

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

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

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

On s'est limité à l'étude et à l'analyse de quelques antennes imprimées intégrées dans des tags RFID passifs opérant dans la bande UHF et ULB sur le logiciel CST. Nous tentons par ce travail de montrer l'importance d'assurer une adaptation entre l'antenne du tag et la puce électronique pour une meilleure efficacité de la liaison, ainsi l'influence des matériaux qui constituent le substrat de l'antenne. L'ensemble de ces paramètres sont pris en considération lors de la conception d'une antenne destinée à un système RFID.

Mots clés : RFID, antenne imprimée, Tag, bande UHF, bande ULB, adaptation.

Abstract

Radio Frequency Identification (RFID) is a technology that allows the identification of objects by exchanging data through Radio Frequency signals. This technology is also known as non-contact identification name.

A RFID system characterized by a base station or reader (Reader) seeking to identify objects, and a tag (Tag) inserted at these objects. In this work, we are interested only in the UWB antennas and UHF RFID tags.

It was limited to the study and analysis of a printed antennas integrated into passive RFID tags operating in the UHF band and ULB on CST software. We try in this work to show the importance of ensuring a match between the tag antenna and the chip for better link efficiency and the influence of the materials that form the substrate of the antenna. All of these parameters are taken into account when designing an antenna for an RFID system.

Keywords: RFID, printed antenna, Tag, UHF bande , UWB band.

Table des matières

Dédicace.....	i
Remerciement	ii
Résumé.....	iii
Abstract	iv
Table des matières.....	v
Liste des figures	xiv
Liste des tableaux.....	xviii
Acronymes & Abréviation.....	xix

Introduction générale	01
------------------------------------	-----------

Chapitre I : l'identification par radio fréquence RFID

I.1 Présentation du chapitre.....	05
I.2 Les différents types de technologies d'identifications automatiques.....	05
I.2.1 Bref aperçu sur les codes a barres	07
I.2.2 Lecture d'un code à barres	07
I.2.3 Impression d'un code à barres	08
I.2.4 Normalisation EAN.....	08
I.2.5 Quelques exemples de codes à barres	08
I.3 L'Identification par Radiofréquence	09
I.3.1 Historique	09
I.3.2 Définition RFID	11
I.3.3 La technologie	11
I.3.3.1 Les systèmes qui fonctionnent par couplage magnétique.....	13
I.3.3.2 Les systèmes qui fonctionnent par couplage électrique en champ lointain	13
I.4 Présentation d'un système RFID (Composants de base).....	13
I.4.1 Le tag (étiquette)	14

I.4.2 Le lecteur.....	14
I.4.3 Communication lecteur-étiquette	15
I.4.3.1 Protocoles de communication – Collisions.....	16
I.4.3.1.a Protocole TTF	16
I.4.3.1 .b Protocole RTF	16
I.5 Les différents types de tags et leurs spécificités techniques.....	17
I.5.1 Les systèmes RFID UHF et Micro-ondes	17
I.5.1.1 Les systèmes sans puces	18
I.5.1.2 Les systèmes avec puces.....	18
I.5.1.2.1 Tags passifs (sans batterie).....	18
I.5.1.2.2 Tags semi-passif	19
I.5.1.2.3 Tags actifs.....	19
I.5.2 La RFID BLU	19
I.6 Traitement et stockage des données	19
I.7 Problèmes de collision.....	21
I.8 Nécessité d'un numéro unique	22
I.9 Le problème des fréquences	23
I.9.1 Description des bandes de fréquences utilisées en RFID.....	24
I.10 Normes des systèmes RFID.....	27
I.11 Applications.....	28
I.12 Avantages et inconvénients	31
I.12.1 Avantages	31
I.12.2 Inconvénients	33
I.13 Conclusion	34

Chapitre II : Les antennes RFID

II.1 Introduction	37
II.2 Qu'est ce qu'un champ électromagnétique ?	37
II.3 Caractéristiques des antennes.....	38

II.3.1	Caractéristiques de rayonnement	38
II.3.1.1	Diagramme de rayonnement.....	38
II.3.1.1.a	Directivité.....	39
II.3.1.1.b.	Gain	39
II.3.1.1.c	Lobes et zéros secondaires	39
II.3.1.2.	Puissance rayonnée.....	39
II.3.1.3	Résistance de rayonnement.....	40
II.3.2	Caractéristiques électriques	40
II.3.2.1	Coefficient de réflexion S_{11}	40
II.3.2.2	Impédance d'entrée	40
II.3.2.3	Bande ou fréquences d'utilisation	40
II.3.2.4	Rendement	41
II.4	Classification des antennes.....	41
II.4.1	Antennes Omnidirectionnelles.....	41
II.4.2	Antennes Sectorielles.....	42
II.4.3	Antenne Directionnelle (directives).....	43
II.5	Choix de la technologie des antennes imprimées.....	43
II.6	Domaine d'utilisations	43
II.7	Description de l'antenne imprimée	44
II.7.1	Le substrat.....	44
II.7.2	Les éléments rayonnants (Patches).....	46
II.7.3	Méthodes d'alimentation	46
II.8	Antennes dans les applications RFID.....	47
II.8.1	Antenne ultra large bande	47
II.8.2	Types d'antennes ULB	47
II.8.3	Les principaux types d'antennes de tags RFID UHF passifs.....	50
II.14	Conclusion.....	52

Chapitre III :Simulation d'antennes imprimées UHF et ULB

III.1 Introduction.....	55
III.2 La méthodologie de conception d'antennes de tags RFID UHF passifs	55
III.3 La simulation des antennes des tags RFID UHF passifs	57
III.3.1 Antenne Quasi Log-Périodique	57
III.3.1.1 Design de l'antenne.....	57
III.3.1.2 Simulation	58
III.3.1.3 L'adaptation l'antenne à la puce	59
III.3.1.4 Interprétation des résultats	60
III.3.2 Antenne T-Match du dipôle planaire.....	61
III.3.2.1 Design de l'antenne.....	61
III.3.2.2 Simulations sous le logiciel CST Studio.....	62
III.3.2.3 Détermination de l'impédance de l'antenne	62
III.3.2.4 Interprétation des résultats	63
III.3.3 Antenne IFA	64
III.3.3.1 Résultats obtenus par le simulateur CST MWS.....	65
III.3.3.2 Interprétation des résultats	65
III.3.4 Antenne PIFA	66
III.3.4.1 Simulations et résultats	67
III.3.5 Antenne dipôle replié et antenne méandre	68
III.3.5.1 Antenne dipôle replié	69
III.3.5.1.1 Antenne dipôle replié avec du substrat FR4	69
III.3.5.1.2 Antenne dipôle replié avec un substrat du polyamide	70
III.3.5.1.3 Antenne dipôle replié avec un substrat du papier	71
III.3.5.1.4 Interprétation générale	72
III.3.5.2 Cas d'une ligne méandre	72
III.3.5.2.1 Ligne méandre avec du substrat FR4.....	73
III.3.5.2.2 Antenne ligne méandre avec un substrat du polyamide	74

III.3.5.2.3 Antenne ligne méandre avec un substrat du papier	75
III.3.5.2.4 Interprétation générale	75
III.3.6 Antenne IFA fonctionne à la fréquence 2.4 GHz	76
III.3.6.1 Géométrie d'antenne IFA	76
III.3.6.2 Simulation et résultat.....	77
III.3.7 Antenne MFNSPA (Minkowski Fractal Nested-Slot Patch Antenna)	78
III.3.7.1 Simulation et résultat.....	79
III.4 Antennes ultra large bande.....	80
III.4.1 Antenne sans encoches	81
III.4.2 Antenne BLU avec encoches.....	81
III.4.3 Antenne BLU avec fentes.....	82
III.5 Conclusion	85
Conclusion générale	86
Annexe	87
Bibliographie	89

Listes des figures

FIG 1.1 : Exemples d'un code à barres à EAN 8 chiffres.	08
FIG 1.2 : Exemples d'un code à barres à EAN 13 chiffres.	09
FIG 1.3. Le principe de la RFID.	12
FIG 1.4 : Tag RFID.....	14
FIG 1.5 : Communication lecteur-étiquette.	15
FIG 1.6 : constitution d'un tag RFID UHF passif	18
FIG 1.7.Système de numérotation 96 bits EPC.	23
FIG 1.8 : la gamme des fréquences pour les applications RFID.	24
FIG 1.9 : Exemple d'étiquettes RFID 125 kHz.	24
FIG 1.10 : Exemple d'étiquettes RFID 13.56 MHz.	25
FIG 1.11 : Exemple d'étiquettes RFID actives.	27
FIG 1.12: Etiquette RFID Logistique.	29
FIG 1.13 : les pass Navigo.....	29
FIG 1.14 : Passeport Bio.	30
FIG 1.15: liber-t.	30
FIG 1.16: Carte Badge d'Accès.	30
FIG 2.1: Représentation d'une antenne en quadripôle.	38
FIG 2.2 : Diagramme de rayonnement d'une antenne omnidirectionnelle.....	42
FIG 2.3 : Diagramme de rayonnement d'une antenne sectorielle.	42
FIG 2.4 : Diagramme de rayonnement d'une antenne directionnelle.....	43
FIG 2.5: Schéma de principe d'une antenne patch à plusieurs éléments rayonnants.	44
Figure II.6: Diverses formes des éléments rayonnants.	46
FIG 2.7 : Quelques géométries d'antennes monopoles.	47
FIG 2.8 : Antenne papillon.	48
FIG 2.9: Les différents profils des antennes TSA.....	49
FIG 2.10 : antenne spirale.....	50
FIG 2.11 : Géométrie d'une antenne IFA.	50

FIG 2.12:Géométrie d'une antenne dipôle.....	51
FIG 2.13:Géométrie d'une antenne à fentes.	51
FIG 3.1 : Méthodologie de conception des tags RFID UHF passifs.	56
FIG 3.2: La structure et les dimensions de l'antenne proposée.	57
FIG 3.3 : Structure de l'antenne Quasi log-périodique conçu sur CST MWS.	58
FIG 3.4: Simulation de la partie réelle de l'impédance en variant le paramètre la_1 ..	58
FIG 3.5 : Simulation de la partie la partie imaginaire de l'impédance en variant le paramètre la_1	59
FIG 3.6 : La représentation de la puce.	59
FIG 3.7 : Simulation de l'antenne avec la puce.	60
FIG 3.8 : le coefficient de réflexion en fonction de la fréquence.....	60
FIG 3.9 : configuration T-Match du dipôle plan.....	61
FIG 3.9 : configuration T-Match du dipôle plan.....	62
FIG 3.10 : Antenne T-Match du dipôle planaire par le logiciel CST	62
FIG 3.11 : Tracé de la partie réelle de l'impédance Z_{11} en fonction de la fréquence en variant le paramètre A.....	62
FIG 3.12 : Tracé de la partie imaginaire de l'impédance Z_{11} en fonction de la fréquence en variant le paramètre A.	63
FIG 3.13: Tracé du paramètre S_{11} en fonction de la fréquence.....	63
FIG 3.14 : Structure de l'antenne IFA.	64
FIG 3.15 : L'antenne IFA en 3D conçue sur CST MWS.....	65
FIG 3.16 : Le coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence (en GHz). ...	65
FIG 3.17 : Géométrie de l'antenne PIFA.....	66
FIG 3.18 : l'antenne PIFA en 3D par CST MWS.....	67
FIG 3.19 : Tracé du coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence.	67
FIG 3.20 : Prototype d'un dipôle replié.	68
FIG 3.21 : Prototype d'une ligne méandre.....	68
FIG 3.22 : Géométrie du l'antenne proposée.....	69
FIG 3.23: L'antenne dipôle replié (substrat FR4) sous le logiciel CST MWS.....	69
FIG 3.24: Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence.	70

FIG 3.25 : L'antenne dipôle replié avec un substrat de polyamide sous le logiciel CST MWS.....	70
FIG 3.26: Tracé du paramètre S_{11} en fonction de la fréquence en utilisant le polyamide comme substrat.	71
FIG 3.27 : L'antenne dipôle replié avec un substrat du papier sous le logiciel CST MWS.....	71
FIG 3.28: Tracé du paramètre S_{11} en fonction de la fréquence en utilisant le papier comme substrat.	72
FIG 3.29: Structure d'une ligne méandre.	72
FIG 3.30 : Antenne ligne méandre avec un substrat de FR4 sous le logiciel CST MWS.....	73
FIG 3.31: Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence.	73
FIG 3.32: L'antenne ligne méandre avec un substrat de polyamide sous le logiciel CST MWS.....	74
FIG 3.33: Tracé du paramètre S_{11} en fonction de la fréquence en utilisant le polyamide comme substrat.	74
FIG 3.34 : L'antenne ligne méandre avec un substrat du papier sous le logiciel CST MWS.....	75
FIG 3.35: Tracé du paramètre S_{11} en fonction de la fréquence en utilisant le papier comme substrat.	75
FIG 3.26: La géométrie de l'antenne	76
FIG 3.37 : La structure de l'antenne prise par le logiciel CST MWS.	77
FIG 3.38 : Tracé du paramètre S_{11} en fonction de la fréquence	77
FIG 3.39 : Géométrie d'une antenne MFNSPA.....	78
FIG 3.40 : L'antenne MFNSPA en 3D conçue sur CST MWS.....	79
FIG 3.41 : Le paramètre S_{11} en fonction de la fréquence.....	79
FIG 3.42: Géométrie de l'antenne BLU.	80
FIG 3.43: Antenne BLU prise en vue de face par le logiciel CST MWS.....	81
FIG 3.44: Tracé du coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence.	81
FIG 3.45: Antenne BLU avec encoches (CST MWS).....	82
FIG 3.46: Tracé du coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence pour l'antenne BLU avec encoches.....	82
FIG 3.47: Antenne BLU avec fentes (CST MWS).....	83

FIG 3.48 : Etude paramétrique sur le coefficient de réflexion de l'antenne BLU avec fentes.83

FIG 3.49: Tracé du coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence pour l'antenne BLU avec fentes.....84

FIG A.1 : Interface graphique de CST MICROWAVE STUDIO.87

Listes des tableaux

Tableau 1.1: Comparaisons de différents types de technologie d'identification Automatique	05
Tableau 1.2 : Normes ISO pour la standardisation des systèmes RFID.	28
Tableau 2.1 : Constante diélectrique relative à quelques matériaux.....	45
Tableau 3.1 : les valeurs optimales de l'antenne.	60
Tableau 3.2 : les dimensions du l'antenne IFA.....	64
Tableau 3.3 : dimensions de l'antenne PIFA.....	66
Tableau 3.4: les dimensions de l'antenne.	77
Tableau 3.5 : dimensions du patch.....	78
Tableau 3.6: Paramètre de l'antenne BLU.....	80

Acronymes & abréviations

AIDC : Automatic Identification and Data Capture.

CST :Computer Simulation Technology .

CST MWS : Computer Simulation Technology Micro Wave Studio .

CW : Carrier Wave .

EAN : Electronic Article Number.

ETSI : Institut Européen de Normalisation des Télécommunications.

FCC : Commission Fédérale des Communications.

GS1 : Global Standard Organisation .

HF : High Frequency .

IFA : Inverted F Aantenna.

IFF : Identity Friend or Foe .

ILA : Inverted L Antenna.

OEM : Original Equipment Manufacturer.

OTP : One Time Programmable.

PIFA : Planar Inverted F Antenna.

PtMP : Point to Multi Point .

RF : Radio Frequency .

RFID : Radio Frequency Identification.

ROS : Rapport d'Onde Stationnaire .

RTF : Reader Talk First .

TBF :Très Basses Fréquences .

TD : Domaine Temporel .

TSA : Tapered Slot Antenna.

TTF :Tag Talk First .

UHF : Ultra High Frequency .

ULB :Ultra Large Bande .

UPC :Uniform Product Code.

Depuis la nuit de temps, il a toujours été une préoccupation pour l'homme d'identifier, de localiser et de suivre des objets en utilisant d'abord l'identification visuelle puis remplacée par des équipements électroniques. Plusieurs systèmes pratiques ont été utilisés au cours des années, de motifs uniques ont été placés sur des objets, et des appareils de reconnaissances pouvaient identifier ces codes et par la même voie l'objet sur lequel ils sont collés. De là est né le système de codes à barres qui, pendant plusieurs années, a permis de réaliser ce rêve d'identification des objets. Cependant les codes à barres présentent plusieurs lacunes, notamment le manque de stockage de données, la nécessité de scanner, etc. Ces déficits ont continuellement poussé l'homme à la recherche d'une meilleure solution pour pallier à ce manque, et voilà pourquoi est née très récemment la technologie RFID.

Actuellement, le code à barres est progressivement remplacé par des puces RFID (pour Radio-Frequency Identification) ou « étiquettes » communicantes ayant la possibilité de stocker de l'information de manière dynamique et de communiquer sans fil avec leur l'environnement ambiant. Or depuis quelques années, bon nombre de chercheurs et industriels ont montré que l'on pouvait tirer parti de cette « instrumentation des produits » via ces technologies. Des apports ont été démontrés dans des domaines tels que la traçabilité, la lutte contre les « contre-façons », le pilotage de la production, la domotique, etc.

La prolifération de ces puces semble aujourd'hui très importante. On cherche à les attacher à des produits usuels, tels les passeports pour augmenter la sécurité, par exemple. Il suffit de présenter un « passe » à une borne de métro pour valider et compter ses trajets. Il n'est presque plus nécessaire de patienter pour valider son identité dans bon nombre d'endroits. On a vu même des puces sous-cutanées qui peuvent identifier des humains. Il y a donc des questions d'éthique sérieuses quant à leur application dans le monde actuel. Techniquement, on peut lire désormais les puces incorporées dans des vêtements et produits ordinaires sans que celui qui porte avec lui ces puces le sente.

Dans la cadre de notre projet, nous nous somme intéressés à analyser les antennes UHF et ULB dans les applications RFID.

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

Le premier chapitre est consacré à la technologie RFID avec les définitions, le principe de fonctionnement, les éléments techniques de la RFID, les avantages, les inconvénients et les applications. Aussi, nous jetterons un bref regard sur le code à barres.

Dans le deuxième chapitre, nous allons voir brièvement les principales caractéristiques de l'antenne, et nous définissons les antennes imprimées, ainsi que les différents types d'antennes UHF et ULB utilisées dans la technologie RFID.

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

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

Sommaire

I.1 Présentation du chapitre.....	05
I.2 Les différents types de technologies d'identifications automatiques.....	05
I.2.1 Bref aperçu sur les codes a barres	07
I.2.2 Lecture d'un code à barres.....	07
I.2.3 Impression d'un code à barres	08
I.2.4 Normalisation EAN.....	08
I.2.5 Quelques exemples de codes à barres	08
I.3 L'Identification par Radiofréquence	09
I.3.1 Historique	09
I.3.2 Définition RFID	11
I.3.3 La technologie	11
I.3.3.1 Les systèmes qui fonctionnent par couplage magnétique.....	13
I.3.3.2 Les systèmes qui fonctionnent par couplage électrique en champ lointain	13
I.4 Présentation d'un système RFID (Composants de base).....	13
I.4.1 Le tag (étiquette)	14
I.4.2 Le lecteur.....	14
I.4.3 Communication lecteur-étiquette	15
I.4.3.1 Protocoles de communication – Collisions.....	16
I.4.3.1.a Protocole TTF	16
I.4.3.1 .b Protocole RTF	16
I.5 Les différents types de tags et leurs spécificités techniques.....	17
I.5.1 Les systèmes RFID UHF et Micro-ondes	17
I.5.1.1 Les systèmes sans puces	18
I.5.1.2 Les systèmes avec puces.....	18
I.5.1.2.1 Tags passifs (sans batterie).....	18
I.5.1.2.2 Tags semi-passif	19
I.5.1.2.3 Tags actifs.....	19
I.5.2 La RFID BLU	19

I.6 Traitement et stockage des données	19
I.7 Problèmes de collision.....	21
I.8 Nécessité d'un numéro unique	22
I.9 Le problème des fréquences	23
I.9.1 Description des bandes de fréquences utilisées en RFID.....	24
I.10 Normes des systèmes RFID.....	27
I.11 Applications.....	28
I.12 Avantages et inconvénients	31
I.12.1 Avantages	31
I.12.2 Inconvénients	33
I.13 Conclusion.....	34

I.1 Présentation du chapitre

Dans ce chapitre nous parlerons de la technologie RFID, nous énoncerons les définitions, le principe de fonctionnement, les éléments techniques de la RFID, les avantages, les inconvénients, ainsi que les différentes applications de cette technologie. Nous jetterons aussi un bref regard sur le code à barres. Les codes à barres ont permis l'identification des items pendant plusieurs années, mais compte tenu des avantages que la RFID présente par rapport à l'usage de codes à barres la tendance semble que la RFID remplacera au fur à mesure les codes à barres mais à jour il est clair que les deux technologies cohabiteront pour de longues années à venir.

I.2 Les différents types de technologies d'identifications automatiques

L'identification automatique peut se faire par plusieurs types de technologies présentant des avantages et des inconvénients. Nous n'allons pas nous étendre dans le cadre de ce mémoire sur tous ces différents types de technologies, mais nous comparons dans le tableau (1.1), les codes à barres, les cartes intelligentes, les RFID passives et les RFID actives. [1]

	Codes à barres	Carte Intelligente	Etiquettes RFID passives	Etiquettes RFID active
Modifications de données	Non modifiables	Modifiables	Modifiables	Modifiables
Sécurité de données	Minimale	Haute	Moyenne	Haute
Volume de données	Code à barres linéaires peuvent contenir 8-30 Bytes. Certains codes à barres à 2-D	Jusqu'à 8MB	Jusqu'à 64 KB	Jusqu'à 8MB

	peuvent contenir jusqu'à 7200 Bytes.			
Coûts	Bas (fraction de cent jusqu'à quelques cents par item)	Elevé (plus d'un dollars par item)	Moyen (moins de 25 cents par item)	Très élevé (entre 10-100\$ par item)
Interférence potentielle	Barrières optiques, saletés ou objet placé entre le lecteur et l'étiquette.	Blocage contact	Environnement ou champ qui affecte l'émission de fréquence radio (RF)	Barrières très limitées aussi longtemps que l'émission du signal fort.
Rayon de lecture	En vue (3-5 pieds)	Contact exigé	Pas de contact (jusqu'à 20 mètres.	Pas de contact (jusqu'à 100 mètres)
Durée de vie	Court	Long	Indéfini	Durée batterie (3-5ans)
Standards	Stable et agréé	Non standard	Evolue vers le standard	Evolue vers un Standard ouvert

Tableau 1.1 : Comparaisons de différents types de technologie d'identification Automatique [1].

A ce jour les codes à barres sont les plus utilisés de toutes les technologies citées dans le tableau (1.1), mais malheureusement elles présentent d'énormes lacunes. Avant d'aborder la technologie RFID, nous examinons brièvement le code à barres. [2]

I.2.1 Bref aperçu sur les codes a barres

Les codes à barres sont destinés à automatiser l'acquisition d'une information généralement numérique. Ils trouvent leurs applications dans plusieurs domaines, notamment les caisses enregistreuses à lecture optique, le contrôle de la production dans les industries, la gestion des prêts de livres, de cassettes, de DVD dans de bibliothèques. Toutes les informations peuvent être codées sous forme de mots binaires, afin de permettre une acquisition rapide et automatique des données, différents procédés ont été créés. Les codes à barres sont particulièrement bien adaptés au codage de chaînes numérique ou alphanumérique n'excédant pas quelques dizaines de caractères.

Avec les codes à barres, on ne peut scanner qu'un seul item à la fois. Compte tenu de sa faible capacité, il est difficile d'y insérer un numéro de série unique, une date d'expiration, ou autre information pertinente.

Le premier code à barres pour le commerce avait vu le jour le 07 avril 1973 avec l'UPC (Uniform Product Code), et le l'EAN (Electronic Article Number) en 1977 et de ces deux organisations est née le GS1, le Global Standard Organisation. A ce jour le GS1 est présent dans plus de 150 pays représenté par de millions d'entreprises. Elle est la première organisation globale de standardisation pour les technologies appliquées à la chaîne logistique. [2-3]

I.2.2 Lecture d'un code à barres

Il existe deux moyens courants de lire les codes à barres. Le plus classique est la lecture optique qui consiste à envoyer sur le code à barres un faisceau lumineux (souvent un laser de très faible puissance) puis, à analyser la lumière réfléchi. Il existe aussi les codes à barres imprimés à l'aide d'une encre magnétisable, dans ce cas la lecture sera alors magnétique : une tête de lecture traduit en signaux électriques la succession de barres magnétisées. [4]

I.2.3 Impression d'un code à barres

L'impression d'un code à barres est très facile, il suffit de disposer d'une imprimante. C'est la raison fondamentale pour laquelle les codes à barres ont eu une généralisation et une vulgarisation plus faciles étant donné que leur production est plus économique. [4]

I.2.4 Normalisation EAN

L'EAN ou European Article Number est une norme garantissant que le code à barres d'un article sera reconnu dans tous les pays de l'Union Européenne. L'EAN assure aussi une compatibilité avec les codes UPC utilisés en Amérique du nord.

Le mot codé est constitué de 8 ou 13 caractères repartis entre trois zones comme présentées sur les figures 1.1 et 1.2. La lecture se fait de gauche à droite.

- Le "drapeau" codant sur deux caractères et qui exprime le pays d'origine du code
- La "zone utile de codage" qui comprend 10 caractères dont les 4 premiers représentent le fabricant et les 6 derniers l'article (cas d'un code sur 13 chiffres).
- Le dernier caractère est le "code de contrôle" qui détermine la validité du code.

I.2.5 Quelques exemples de codes à barres

- Exemples d'un code à barres à EAN 8 chiffres

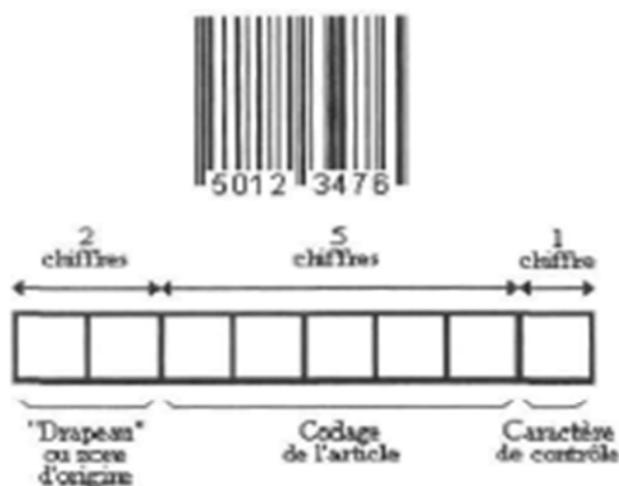


FIG 1.1 : Exemples d'un code à barres à EAN 8 chiffres.[4]

- Exemples d'un code à barres à EAN 13 chiffres



FIG 1.2 : Exemples d'un code à barres à EAN 13 chiffres. [4]

Actuellement l'identification automatique repose très largement sur la technologie de code à barres, cependant les avancées techniques qu'offre la RFID et la mise en place de normes dans ce domaine amènent à se questionner sur laquelle de ces deux technologies est avantageuse.

Pour penser répondre à cette préoccupation d'abord posons nous la question, qu'est ce que la technologie RFID?

I.3 L'Identification par Radiofréquence

I.3.1 Historique

L'origine de la technologie de RFID (Radio Frequency Identification) est largement controversée selon différentes sources. La technologie RFID selon l'approche échafaudée sur base du principe de fonctionnement, a vu le jour vers les années 1920.

Et en 1945 un ingénieur russe Léon Theremin mis au point un dispositif passif d'écoute à fréquence radio et non une étiquette d'identification. Mais selon [5], nous pouvons échelonner l'évolution de la technologie RFID comme suit :

- Vers les années 40 : La technologie du système RFID avait été utilisée pour la reconnaissance des avions. Les radars étaient le système de lecture qui avait pour rôle d'envoyer un signal questionnant les étiquettes des transpondeurs placés sur les avions afin de distinguer les alliés des ennemis. Et on peut considérer que le système

IFF (Identity : Friend or Foe) fût la première forme d'utilisation de la technologie RFID.

- Au cours des années, la technologie a pris de l'ampleur, et en particulier vers les années 70 où elle fut une technologie protégée et à l'usage principalement militaire. Les états développés utilisaient cette technologie pour la sécurité et la protection de sites stratégiques et sensibles (secteurs nucléaires et armements lourds). Cependant vers la fin des années 70 cette technologie fut utilisée par le secteur privé et la première application commerciale fut la traçabilité (identification) du bétail dans le continent européen.

- Durant les années 80, l'évolution technologique avec l'invention des microsystèmes utilisant les circuits intégrés conduisit à l'usage des étiquettes passives. Et on remarquera à cette époque une grande diversité de types des étiquettes.

- Le début des années 90 fut l'époque de la problématique de la standardisation et de la normalisation des équipements de systèmes de la technologie RFID (étiquettes et lecteurs).

- En 2004 : Apparition d'une organisation EPC global (Organisation sans but lucratif ayant pour mission première de développer un standard définissant un système d'identifiant unique par objet EPC (Electronic Product code), destiné à être intégré dans une étiquette électronique identifiable par radio-fréquence (RFID). L'étiquette RFID sera le support du système EPC (Electronic Product Code, soit Code produit électronique), représentant « le réseau de la traçabilité des objets ». En France, c'est EPC Global France, émanation de GS1-France (ex Gencod-Ean France), qui en assure développement et la promotion.

Depuis lors, la technologie RFID est utilisée dans plusieurs domaines d'applications, en passant par l'identification, la traçabilité et l'analyse de données. Pour identifier ou suivre de produits, l'on pourra utiliser d'autres technologies notamment le code à barres, les cartes intelligentes. Ces technologies se compétitionnent les unes des autres, voyons en grandes lignes quelles sont leurs différences. [2]

I.3.2 Définition RFID

Le terme « RFID », acronyme de l'expression anglo-saxonne « Radiofrequency Identification » Identification (à l'aide d'ondes) Radiofréquences, elle fait partie des technologies d'identification automatique (AIDC, Automatic Identification and Data Capture) [6], au même titre que le code à barres, la reconnaissance de caractères, la reconnaissance de formes, ou les cartes à pistes magnétiques. [7]

C'est un terme générique qui désigne un vaste ensemble d'applications pour l'identification « d'objets » au sens large, d'en suivre le cheminement et de tirer des informations sur l'objet en question à distance grâce à une étiquette à radiofréquence, au moyen d'une communication par ondes radio, c'est-à-dire « sans-fil ».

Tout (personnes, objets, végétaux, etc.) est a priori identifiable et le terme « RF » couvre tous les types de liaisons « sans fil » ou « sans contact » réalisées à l'aide d'ondes électromagnétiques, des très basses fréquences (TBF) aux infra-rouges et jusqu'à la lumière visible. [7]

La technique d'identification la plus courante est le stockage d'un numéro de série dans une puce à laquelle est attachée une antenne d'émission / réception. L'ensemble puce-antenne est généralement appelé « étiquette RFID ». Donc l'identification par radiofréquence (RFID) est une méthode pour stocker et récupérer des données à distance. [8]

I.3.3 La technologie

Cette technologie est basée sur l'émission de champs électromagnétiques réceptionnés par une antenne couplée à une puce électronique (transpondeur ou tag). Le champ sert de vecteur à l'information entre la puce et son lecteur, ainsi qu'à l'énergie d'activation de ces puces. Une application d'identification automatique radio fréquence se compose donc d'un lecteur qui transmet un signal selon une fréquence déterminée vers une ou plusieurs étiquettes radio situées dans son champ de lecture. Celles-ci transmettent en retour un signal. Lorsque les étiquettes sont "réveillées" par le lecteur, un dialogue s'établit selon un protocole de communication prédéfini et les données sont échangées. [9]

L'étiquette électronique est un support d'informations qui combine le traitement d'un signal et le stockage des données. Il est constitué d'un circuit électronique (ou « circuit intégré »), diffusé sur un circuit imprimé et couplé à une antenne. L'énergie nécessaire au fonctionnement du tag est fournie soit par une pile interne (ou batterie) pour les tags actifs ou semi actifs, soit télé alimentée par le champ électromagnétique émis par le lecteur (tags passifs).

Un système RFID permet écrire, de stocker et d'effacer de l'information sur la puce électronique du tag. En plus du transfert de données sans contact, la communication via l'antenne, permet également, des transferts sans visibilité entre le lecteur et l'étiquette au travers de matériaux opaques à la lumière, cette lecture pouvant s'effectuer simultanément sur plusieurs étiquettes. [10-11]

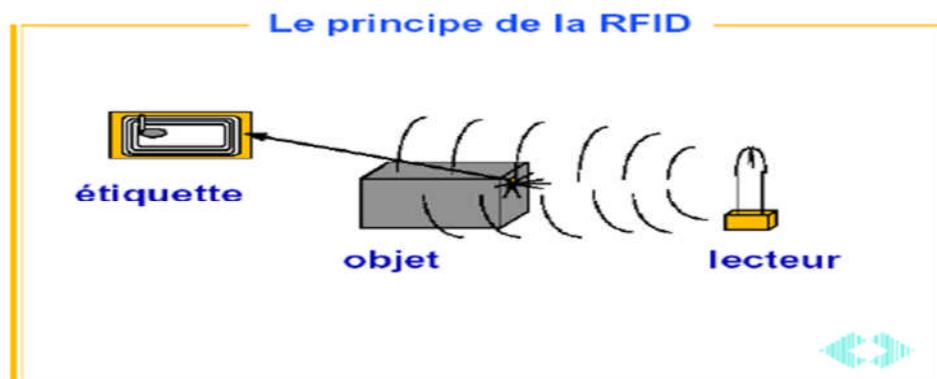


FIG 1.3. Le principe de la RFID.[10]

Les différents systèmes RFID sont caractérisés principalement par leur fréquence de communication. Cependant, outre cette fréquence porteuse, d'autres caractéristiques définissent également les étiquettes RFID et constituent la base de leurs spécifications :

- l'origine et la nature de l'énergie (tags passifs ou actifs)
- la distance de lecture
- la programmabilité
- la forme physique
- la taille mémoire
- les propriétés du packaging (matériaux)

- le nombre de tags lus simultanément (anti-collision)
- le coût. [10]

La RFID utilise différentes fréquences radio selon la technologie utilisée. Il existe principalement deux grandes classes de technologies RFID :

I.3.3.1 Les systèmes qui fonctionnent par couplage magnétique

Aussi appelé couplage inductif en champ proche à 125-148 kHz et 13,56 MHz, pour des applications courte distance (quelques cm jusqu'à 50 cm), comme les étiquettes standard ou les cartes à puce sans contact. Les systèmes sont le plus souvent passifs. Le transfert bidirectionnel de données numériques s'effectue grâce à l'énergie émise par l'interrogateur, modulée par l'étiquette. [12]

I.3.3.2 Les systèmes qui fonctionnent par couplage électrique en champ lointain

Dans les bandes 434 MHz, 860 MHz, 2,45 GHz et 5,8 GHz. Les distances de fonctionnement peuvent atteindre plusieurs mètres, voir plus avec des étiquettes actives. Le transfert des données à partir de l'étiquette s'opère cette fois grâce à la rétro propagation du signal émis par le lecteur, au besoin à l'aide d'un émetteur dans l'étiquette. [12]

I.4 Présentation d'un système RFID (Composants de base)

Un système RFID inclut plusieurs composants de base :

- les étiquettes, ou transpondeurs qui peuvent être actives (elles émettent alors d'elles mêmes un signal) ou passives (elles se contentent de réagir à la présence d'un lecteur);
 - les données enregistrées sur l'étiquette : il peut s'agir d'un simple numéro d'identification, ou bien d'informations plus complexes comme une date de fabrication, un numéro de lot, un numéro de série, etc.;
 - les lecteurs, qui servent à identifier l'ensemble des étiquettes situées dans leur aire de couverture et qui agrègent les données recueillies. Ce sont des dispositifs actifs, émetteurs de radiofréquences qui vont activer les marqueurs qui passent devant eux en leur fournissant à courte distance l'énergie dont ceux-ci ont besoin ;

- les marqueurs, qui sont des dispositifs passifs, ne nécessitant aucune source d'énergie en dehors de celle fournie par les lecteurs au moment de leur interrogation. [13]

I.4.1 Le tag (étiquette)

Une des méthodes d'identification les plus utilisées est d'abriter un numéro de série ou une suite de données dans une puce (chip) et de relier cette dernière à une petite antenne. Ce couple (puce silicium + antenne) est alors encapsulé dans un support (RFID Tag ou RFID Label). Ces "tag" peuvent alors être incorporés dans des objets ou être collés sur des produits. Le tout est alors imprimé sur un support pliable, souvent adhésif. Le format des données inscrites sur les étiquettes est standardisé à l'initiative d'EPC Global (Electronic Product Code). [6]

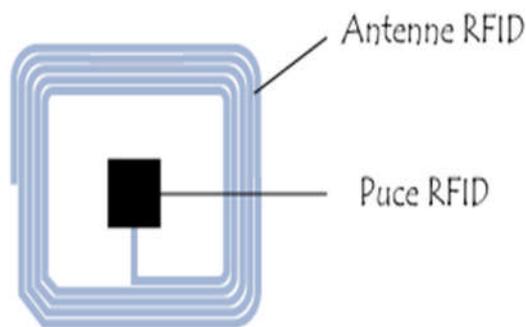


FIG 1.4 : Tag RFID. [26]

I.4.2 Le lecteur

Le lecteur/enregistreur est constitué d'un circuit qui émet une énergie électromagnétique à travers une antenne, et d'une électronique qui reçoit et décode les informations envoyées par le transpondeur et les envoie au dispositif de collecte des données. Non contents de lire les étiquettes RFID, il est à même d'écrire leur contenu. Le lecteur RFID est l'élément responsable de la lecture des étiquettes radiofréquence et de la transmission des informations qu'elles contiennent (code EPC ou autre, informations d'état, clé cryptographique...) vers le niveau suivant du système (middleware). Cette communication entre le lecteur et l'étiquette s'effectue en quatre temps:

- 1) Le lecteur transmet par radio l'énergie nécessaire à l'activation du tag.

- 2) Il lance alors une requête interrogeant les étiquettes à proximité.
- 3) Il écoute les réponses et élimine les doublons ou les collisions entre réponses.
- 4) Enfin, il transmet les résultats obtenus aux applications concernées.

La communication entre le lecteur et l'étiquette s'effectue via les antennes qui équipent l'un et l'autre, ces éléments étant responsables du rayonnement radiofréquence. Généralement, on distingue quatre modalités :

- Lecture de proximité : entre 10 et 25 cm.
- Lecture de voisinage : jusqu'à 1 mètre.
- Lecture à moyenne distance : de 1 à 9 mètres.
- Lecture longue portée : jusqu'à plusieurs centaines de mètres. [6]

I.4.3 Communication lecteur-étiquette

Le lecteur transmet un signal selon une fréquence donnée vers un ou plusieurs tags situés dans son champ de lecture. Le champ électromagnétique alimente l'étiquette et active la puce. Un dialogue s'établit alors selon un protocole de communication prédéfini, et les données sont échangées. [14]

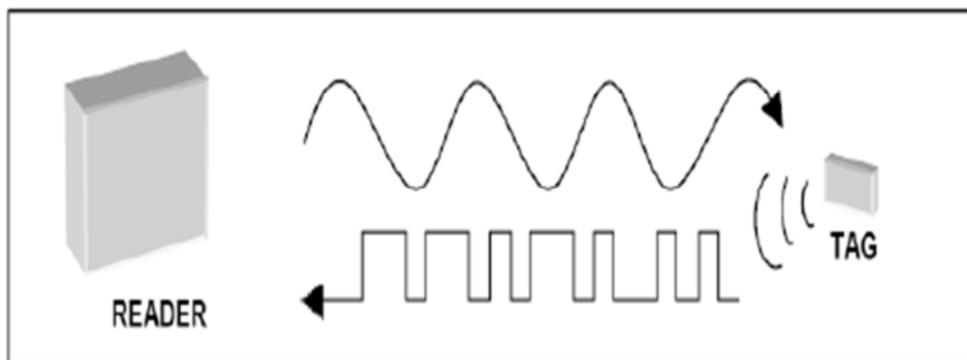


FIG 1.5 : Communication lecteur-étiquette. [14]

L'étiquette ainsi « réveillée » va exécuter les programmes pour lesquels elle a été conçue. Pour transmettre les informations qu'elle contient, elle va créer une modulation d'amplitude ou de phase sur la fréquence porteuse. Le lecteur reçoit ces informations et les transforme en code binaire. Dans le sens lecteur vers étiquette, l'opération est symétrique, le lecteur émet des informations par modulation sur la porteuse. Les modulations sont analysées par la puce et numérisées. Une des

particularités de ce principe est que plus la fréquence porteuse est basse plus le nombre de tours de l'antenne de la puce doit être important pour créer un voltage suffisant pour alimenter la puce. [14]

I.4.3.1 Protocoles de communication – Collisions

Pour permettre à plusieurs étiquettes de communiquer avec un lecteur unique et de limiter le parasitage systématique des appareils RF à proximité, un ensemble d'instructions constituant le protocole RF (Radio Fréquence) est intégré au système (lecteur + étiquette). Il y a classiquement deux types de protocole : RTF (Reader Talk First) et TTF (Tag Talk First). [15]

I.4.3.1.a Protocole TTF

Dans le cas du protocole TTF, le lecteur émet en permanence un signal porteur non modulé (CW mode : Carrier Wave mode). Lors du passage d'une étiquette à proximité, celle-ci va intégrer le signal porteur et commencer la production de son énergie d'alimentation pour envoyer un identifiant au lecteur. Le lecteur va indiquer le succès de la transaction par une brève modulation du signal d'alimentation et la communication de données va débiter.

Cette technique va permettre de n'encombrer qu'une faible portion de la bande passante RF, produisant une interférence minimale pour les autres utilisateurs du spectre RF. Un grand nombre d'étiquettes vont pouvoir opérer autour du lecteur en étant séparée de quelques mètres en appliquant un décalage de fréquence faible. [15]

I.4.3.1 .b Protocole RTF

Lorsque le système RFID utilise le protocole RTF, le lecteur envoie en continu un signal d'alimentation modulé contenant une information d'interrogation des étiquettes présentes dans son champ de portée. Les étiquettes entrant dans la zone de détection convertissent le signal d'alimentation et lisent le signal d'interrogation. Pour identifier les transpondeurs présents, le lecteur enverra successivement et en continu une demande d'identification à chaque étiquette qui, si elle est présente répondra positivement à la requête. Cette opération est répétée jusqu'à ce que le lecteur ait parcouru toute sa liste d'identifiants.

Le désavantage présenté par cette méthode est que le lecteur doit émettre en permanence un signal d'interrogation en modulant le signal d'alimentation, induisant une large zone d'interférences autour du lecteur même lorsqu'aucun transpondeur n'est présent à proximité.

Dans les deux cas de figure, l'ensemble lecteur/transpondeur a un fonctionnement de type maître /esclave :

Le transpondeur ne doit répondre que s'il est interrogé. Mais, lorsqu'au moins deux transpondeurs entrent dans le champ de communication, il y a un risque de collision, c'est à dire que les deux étiquettes peuvent répondre simultanément au lecteur, faisant arriver ainsi plusieurs informations de deux entités différentes pendant les mêmes intervalles de communication. Pour que les informations des deux transpondeurs puissent être prises en compte, une norme anticollision a été établie

(ISO/IEC 14443). Elle définit plusieurs modes de reconnaissance des données envoyées par les tags (anticollision de type A ou B avec approche probabiliste ou pseudo-déterministe). [15]

I.5 Les différents types de tags et leurs spécificités techniques

Pour exploiter les informations contenues dans ces étiquettes, il faut impérativement disposer du lecteur approprié. Celui-ci émet des ondes radios en direction de la capsule ce qui permet de l'alimenter en énergie (alimentation par induction électro-magnétique), en d'autres termes de l'activer (la puce renvoie alors des données), pour en extraire les informations qu'elle renferme. Ces puces ne sont pas capables d'effectuer des traitements dynamiques mais seulement de renvoyer des données statiques. [6]

I.5.1 Les systèmes RFID UHF et Micro-ondes

Les bandes de fréquence UHF et Micro-ondes offrent une moins bonne pénétration du signal à travers les obstacles que la bande HF, mais elles permettent d'atteindre des distances de lecture plus grandes et un débit d'échange

d'informations plus important. Il existe deux types : Système opérant sans puce et système opérant avec des tags possédant une puce. [28]

I.5.1.1 Les systèmes sans puces

Ce des tags qui ne disposent pas de circuit électronique et qui utilisent des principes physiques ou chimiques pour générer un code d'identification (ID). ce type de tag est constitué de réflecteur positionné sur un matériau piézoélectrique et d'une antenne reliée à un transducteur qui transforme les ondes radiofréquences en ondes acoustiques (et vice-versa). Cette technique fonctionne très bien à 2.4 GHz. A des fréquences très élevées les pertes sont trop grandes pour que ce principe soit utilisé. [28]

I.5.1.2 Les systèmes avec puces

On peut différencier les systèmes RFID UHF et micro-ondes constitués d'une puce en fonction de la source d'alimentation du tag. On distinguera trois catégories : Tags passifs, Tags semi-passif et Tags actifs. [28]

I.5.1.2.1 Tags passifs (sans batterie)

Ne disposant d'aucune alimentation externe, ils dépendent de l'effet électromagnétique de réception d'un signal émis par le lecteur. C'est ce courant qui leur permet d'alimenter leurs microcircuits. Ils sont peu coûteux à produire et sont généralement réservés à des productions en volume. Ce sont eux que l'on trouve plus particulièrement dans la logistique et le transport. Ils utilisent différentes bandes de fréquences radio selon leur capacité à transmettre à distance plus ou moins importante et au travers de substances différentes (air, eau ,métal).La distance de lecture est inférieure à un mètre. Les basses et hautes fréquences sont normalisées au niveau mondial. Ces puces sont collées sur les produits pour un suivi allant jusqu'aux inventaires. Elles sont jetables ou réutilisables suivant les cas. [6]

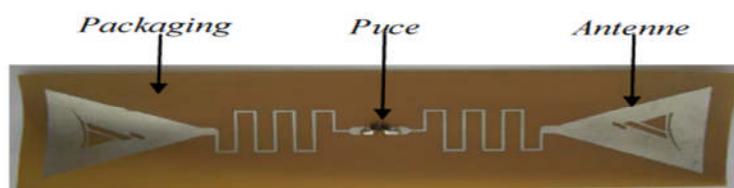


FIG 1.6 : constitution d'un tag RFID UHF passif . [28]

I.5.1.2.2 Tags semi-passif

Ces tags sont similaires aux cartes d'identification passive. Ils emploient des technologies proches, mais avec quelques différences importantes. Ils disposent en effet eux aussi d'une petite batterie qui fonctionne en permanence, ce qui libère l'antenne pour d'autres tâches, dont notamment la réception de signaux de retour. Ces tags sont plus robustes et plus rapides en lecture et en transmission que les tags passifs, mais ils sont aussi plus chers. [6]

I.5.1.2.3 Tags actifs

Les étiquettes actives sont les plus chères car elles sont plus complexes à produire et assurent, outre des fonctions de transmission, des fonctions soit de captage soit de traitement de l'information captée, soit les deux. De ce fait, elles ont besoin d'une alimentation embarquée et sont donc caractérisées par la durée de vie de celle-ci. Si le prix est un facteur discriminatif, il faut savoir que ces étiquettes s'avèrent particulièrement bien adaptées à certaines fonctions, dont notamment la création de systèmes d'authentification, de sécurisation, d'antivol, etc. Bref, elles sont idéales pour tout ce qui concerne le déclenchement d'une alerte ou d'une alarme. Elles peuvent émettre à plusieurs centaines de mètres. [6]

I.5.2 La RFID BLU

Le développement d'applications nouvelles telles que la RFID ne cesse d'accroître la demande de systèmes sans fils toujours plus performants. La technologie ULB impulsioneuse offre de grandes potentialités pour ces applications de par son excellent ratio débit/coût. [27]

I.6 Traitement et stockage des données

Trois types d'étiquettes sont disponibles, les étiquettes en lecture seule, celles en écriture une fois et lecture plusieurs fois, et enfin celles en lecture / écriture multiples. On peut stocker de l'information de deux façons différentes :

- soit on mémorise un "pointeur" (une clé d'accès) dans l'étiquette, en indiquant ainsi un chemin vers une base de données où trouver cette information nécessaire au traitement. L'application est dite centralisée.

- soit on mémorise l'information elle-même dans l'étiquette. L'application est alors décentralisée.

- Les étiquettes à lecture seule permettent la réalisation de systèmes appartenant à la première catégorie : systèmes centralisés. Les données sont inscrites dans l'étiquette par le fabricant, et ne peuvent pas être modifiées ni complétées par la suite. Les utilisateurs ne peuvent que lire les données contenues. Ces étiquettes, dont les fonctions peuvent sembler réduites, sont néanmoins sans doute promises à un grand avenir. Leur prix est plus faible que celui de leurs consœurs offrant des fonctions plus complexes. Et, dans de nombreuses applications un simple numéro d'identification, si son unicité est garantie, peut suffire à tracer un objet. Les données complémentaires sur l'objet n'ont pas besoin d'être stockées dans l'étiquette, mais peuvent être mise à disposition, échangée ou retrouvée dans les bases de données des systèmes d'information.

- Les étiquettes à écriture unique et lecture multiple permettent la réalisation de systèmes appartenant aux deux catégories : systèmes centralisés ou décentralisés. L'étiquette est fournie à l'utilisateur, vierge. En fait, dans la majorité des cas le fondeur ou le fournisseur l'a déjà munie d'une identification. Lors de sa pose sur l'objet à tracer, l'utilisateur va écrire les données qui lui seront utiles par la suite. Lors de la vie ultérieure de l'étiquette, cette information pourra être lue, mais ne pourra être ni modifiée ni complétée.

- Les étiquettes à écriture et lecture multiple permettent la réalisation de systèmes appartenant plus avantageusement à la deuxième catégorie : systèmes décentralisés. L'étiquette est fournie, vierge, dans les mêmes conditions que les WORM, mais elle pourra être écrite plusieurs fois, effacée, modifiée, complétée, et lue. Le nombre de répétitions de ces opérations peut dépasser 500 000.

Pour répondre aux différents besoins, on dispose d'un large panel de puce en termes de distance et de fréquence de fonctionnement et de capacité, jusqu'à 4kb.

- Lectures et/ou écritures protégées : la protection des données « secrètes » lues ou écrites peut être faite de manière logicielle (mots de passe), ou matérielle (timing particulier, etc.), et appliquée pour tout ou partie de la mémoire. Dans le cas de l'écriture il peut aussi y avoir des zones mémoires programmables de manière

unique, dite OTP (One Time Programmable) indépendamment du type de lecture possible.

- Lecture et/ou écriture sécurisées, cryptées : la sécurisation tient à l'authentification des partenaires (base station – transpondeur) habilités à correspondre ensemble, par des codes évolutifs ou tournants par exemple. Le cryptage des données échangées entre la Base station et le Transpondeur sert à contrer les écoutes clandestines et pirates.

Du côté de la base station, deux possibilités sont offertes. A la portée de son champ d'action (et électromagnétique) soit il y a lecture et/ou écriture :

- D'un transpondeur unique,
- De multiples transpondeurs.

Dans ce dernier cas, nous parlerons de collision lorsque plusieurs transpondeurs tenteront de répondre en même temps à la base station qui, bien évidemment, ne sachant comment différencier ses interlocuteurs, ne peut plus rien comprendre .[8]

I.7 Problèmes de collision

Lorsque plusieurs tags se trouvent dans le champ d'un même lecteur, les communications sont brouillées par l'activité simultanée des tags. La détection de la collision est en fait une détection d'erreur de transmission, à l'aide d'un bit de parité ou d'un hachage. Dès qu'une erreur est détectée, l'algorithme d'anticollision est appliqué. Plusieurs méthodes d'anticollision ont été développées. En voici les quatre principales :

- La méthode fréquentielle : Chaque étiquette communique sur une plage de fréquences différente avec le lecteur Mais cette méthode n'est pas envisageable à grande échelle.
- La méthode spatiale : Avec une antenne directionnelle et à puissance variable, le lecteur va couvrir petit à petit chaque partie de l'espace pour communiquer avec chaque étiquette et l'inhiber, en attendant de le réactiver pour

ensuite communiquer avec. Mais cette méthode est rendue inefficace lorsque deux étiquettes sont situées à faible distance l'une de l'autre.

- La méthode temporelle : Le lecteur propose aux étiquettes une série de canaux de temps dans lesquels ils peuvent répondre. Les étiquettes choisissent de façon aléatoire le canal de temps dans lequel ils vont répondre. Si une étiquette est le seul à répondre dans ce canal de temps, il est détecté et inhibé par le lecteur. S'il y a plusieurs étiquettes qui répondent en même temps, il sera nécessaire d'effectuer à nouveau cette méthode. Petit à petit, toutes les étiquettes sont connues et inhibées ; il suffit alors au lecteur de réactiver l'étiquette avec lequel il souhaite communiquer. En pratique, le côté aléatoire fait que la durée de cette méthode est inconnue.

- La méthode systématique : Cette méthode consiste à détecter puis inhiber tour à tour tous les étiquettes en parcourant l'arbre de toutes les possibilités d'identifiants. Par exemple, le lecteur envoie une requête du type « Tous les étiquettes dont le premier bit d'identification est 1 doivent se manifester ». Si une seule étiquette se manifeste, le lecteur l'inhibe, et s'intéresse ensuite aux étiquettes avec pour premier bit 0, et ainsi de suite. En pratique, cette méthode peut parfois s'avérer longue. [14]

I.8 Nécessité d'un numéro unique

Toutes ces nouvelles opportunités qu'entrevoient actuellement les sociétés nous conduisent à un problème majeur. Si chaque société développe son propre système de numérotation, comment alors être sûr alors que le lecteur ne confond pas deux objets. Les RFIDs interviennent de plus en plus dans notre vie courante, il est alors urgent de commencer à réfléchir à une standardisation des identifiants.

Une firme américaine a bien compris que le problème allait se poser dans les années à venir et a décidé de prendre les devants, en mettant au point un système de numérotation unique. Cette société est la firme EPC (Electronic Product Code), qui propose aux entreprises, un identifiant certifié unique pour leur produit moyennant bien évidemment une conséquente rétribution. Son système s'oppose aux travaux issus de l'ISO, avec une approche de type « top-down », qui part des

applications. Globalement l'approche ISO repose sur le rôle central de l'identifiant tandis que celle de l'EPC repose sur l'URL.

Le système EPC, qui en résulte, aurait donc vocation à devenir l'architecture mondiale, modulaire et interopérable, qui permettrait d'articuler les fonctionnalités clés des échanges d'informations du futur. [16]

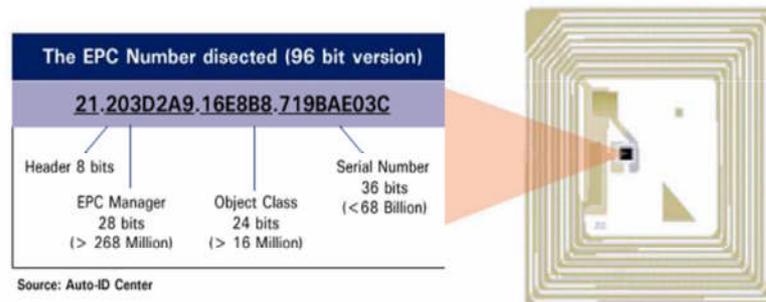


FIG 1.7. Système de numérotation 96 bits EPC. [16]

I.9 Le problème des fréquences

Parce que les RFIDs génèrent des ondes radios, ils sont légalement classifiés dans la catégorie des systèmes radios. Les fonctionnalités des autres systèmes radio ne doivent en aucun être modifiées par les fréquences de fonctionnement des RFIDs. Il est particulièrement important de s'assurer que les systèmes RFID n'interfèrent pas notamment avec les postes de télévision ou les postes radios voir même des téléphones cellulaires. Ceci implique d'avoir une réglementation claire sur la plage des fréquences utilisables. Cette réglementation n'autorise pas moins de 16 bandes de fréquences disponibles. Certaines fréquences ne sont disponibles qu'aux USA et aux JAPON et pas en FRANCE ou en ALLEMAGNE, ce qui est par exemple le cas des fréquences inférieures à 400Khz.

Les pays se réservant le droit de ne laisser publiques que certaines bandes de fréquence, on ne retiendra que les trois plages suivantes communes à toutes les réglementations internationales :

- Basse (100 à 500 kHz)

- Moyenne (10 à 15 MHz)
- Haute (850-950 MHz à 2.4 - 5.8 GHz) . [16]

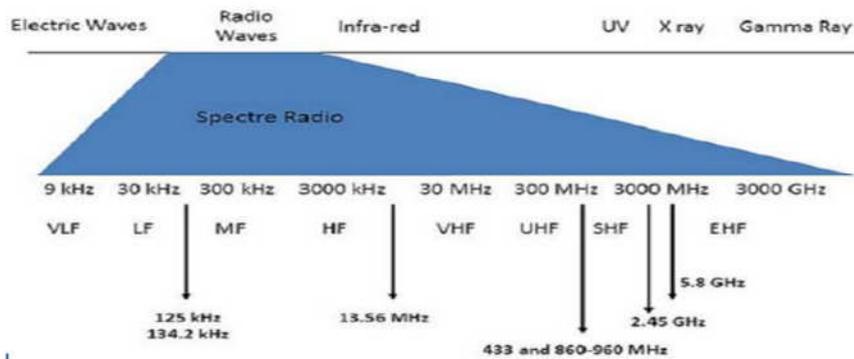


FIG 1.8 : la gamme des fréquences pour les applications RFID. [16]

I.9.1 Description des bandes de fréquences utilisées en RFID

- Systèmes dans la bande de fréquence 125-148 kHz

Les fréquences 125-148 kHz sont les plus anciennes et les plus courantes utilisées en émission ou en réception. Les étiquettes RFID se présentent sous la forme d'ampoules de verre injectables, de badge, de jeton ou de disque. Leur portée de lecture va de quelques centimètres à plusieurs dizaines de centimètres mais elles ne peuvent pas être lues à travers le métal. [7].



FIG 1.9 : Exemple d'étiquettes RFID 125 kHz. [23]

Ces étiquettes sont notamment utilisées pour les contrôles d'accès et de sécurité, l'identification des animaux de ferme ou les applications OEM (Original Equipment Manufacturer), c'est-à-dire pour le développement et l'intégration dans des systèmes spécifiques à certains fabricants.

Les coûts peuvent aller de 1 à 75 dollars l'unité selon la quantité et le conditionnement. Plus l'étiquette est solide, plus son coût est élevé. Les moins chères sont généralement peu solides et ne résistent pas aux environnements difficiles. Les étiquettes spécifiques à une application, produites par millions, peuvent avoir un prix de 20 à 30 centimes de dollars.

- Systèmes dans la bande 13,56 MHz

La fréquence à 13,56 MHz a été choisie entre autre pour diminuer les coûts et s'adresse à des applications nécessitant de grandes quantités d'étiquettes. Ces étiquettes RFID se présentent sous la forme de films fins qui peuvent être intégrés dans des étiquettes papier, des étiquettes textiles, des badges personnalisables ou du cartonnage. Elles peuvent être imprimées comme une étiquette papier standard et contenir des données électroniques.

La portée de lecture va de quelques centimètres à plusieurs dizaines de centimètres. Toutefois, le métal est une importante source d'interférences et de perte de performance.



FIG 1.10 : Exemple d'étiquettes RFID 13.56 MHz. [17]

Les applications à 13,56 MHz comprennent notamment l'identification du linge, des livres de bibliothèque, le contrôle d'accès, ou les applications OEM. Les avancées technologiques apportées par l'utilisation de la fréquence 915 MHz et les nouvelles capacités de fabrications à 125 kHz ont toutefois freiné l'avancée de la technologie à 13,56 MHz, qui conserve cependant des applications spécifiques, en particulier dans le marché des OEM. Les étiquettes ont un coût allant de 50 cents à 1

dollar, non conditionnées. Les prix peuvent baisser jusqu'à 20 centimes de dollars dans certaines conditions.

- Systèmes dans la bande 915 MHz

Les étiquettes RFID à 915 MHz sont bien plus faciles à fabriquer que celles à 125-148 kHz et 13,56 MHz. De plus, des centaines à des milliers d'étiquettes peuvent être identifiées en même temps par une technologie dite « anti-collision » et à des distances d'environ 25 centimètres avec une seule antenne de lecture, et à 50 centimètres entre deux antennes de lecture. Une des premières applications envisagée est le pistage des chaînes d'approvisionnement. En effet, la capacité d'identifier des centaines d'objets sur une palette à travers des portes fermées, depuis la fabrication dans les entrepôts jusqu'à la livraison pour la vente au détail, permettrait de réaliser d'importants bénéfices. Ceux-ci interviennent en diminuant les frais d'inventaire, les ventes manquées faute d'inventaire à jour et l'utilisation de personnel pour identifier les produits.

D'autres applications telles que la gestion des bagages dans les aéroports sont aujourd'hui en cours de développement. La technologie Ultra hautes fréquences (UHF) présente toutefois l'inconvénient d'être plus sensible aux interférences avec les milieux liquides, et notamment le corps humain. Pour le moment, les étiquettes peuvent être achetées au prix de 50 centimes de dollars pour des quantités modérées à environ 30 centimes de dollars pour des achats par millions.

- Etiquettes RFID actives à 433 MHz et 2,45 GHz

Les étiquettes RFID actives possèdent un émetteur qui permet à l'étiquette de délivrer une puissance et un niveau de signal plus important que les étiquettes strictement passives, et donc d'atteindre de plus grandes distances. La portée de lecture est généralement d'environ 75 centimètres mais peut atteindre plusieurs dizaines de mètres.



FIG 1.11 : Exemple d'étiquettes RFID actives.[7]

Ces étiquettes sont notamment utilisées pour les péages automatiques d'autoroutes ou l'identification des parcs de véhicules privés entrant ou sortant d'entrepôts ou d'installations. En raison de la présence fréquente de batteries, les étiquettes ont généralement une durée de vie limitée d'environ 5 ans. Elles ont par ailleurs un coût élevé, de 20 à 70 dollars, principalement dû aux composants électroniques supplémentaires nécessaires et aux faibles quantités demandées.

- Bande de fréquence à 5.8 GHz

Comme la bande de fréquence à 2.45 GHz, cette bande, d'une largeur de 150 MHz, partage les fréquences avec d'autres applications radio que les systèmes RFID, comme les détecteurs de mouvement permettant d'ouvrir portes et barrières.[7]

I.10 Normes des systèmes RFID

En raison des phénomènes de mondialisation et de généralisation des produits de type RFID, il est nécessaire que ceux-ci soient interopérables au niveau international.

Ce travail de normalisation a été réalisé au sein du sous-comité 31 de l'ISO, de l'ETSI (Institut européen de normalisation des télécommunications) de la FCC (Commission fédérale des communications) afin que chaque industriel puisse adapter le fonctionnement de ses produits en fonction des réglementations locales du pays dans lequel les systèmes sont déployés. [18] Les normes "18000" présentées comme la solution au problème d'interopérabilité, elles 18000 font donc partie d'un groupe de normes aujourd'hui publiées et qui prises dans leur ensemble, permettent d'obtenir l'inter opérabilité. Le tableau (1.2) présente les principales normes

développées qui réglementent les paramètres de communication, comme la fréquence de fonctionnement, la bande passante, la puissance d'émission maximale etc.

Références	Fréquences concernées	Intitulé	Statut
18000-1	Vocabulaire et définitions	RFID pour la gestion d'objet – Partie 1 : Architecture de référence et définition des paramètres à normaliser	Publié le 13/09/2004
18000-2	< 135 kHz	RFID pour la gestion d'objet – Partie 2 : Paramètres de communications d'une interface d'air à moins de 135 kHz	Publié le 13/09/2004
18000-3	13,56 MHz	RFID pour la gestion d'objet – Partie 3 : Paramètres de communications d'une interface d'air à 13,56 MHz	Publié le 13/09/2004
18000-4	2,45 GHz	RFID pour la gestion d'objet – Partie 4 : Paramètres de communications d'une interface d'air à 2,45 GHz	Publié le 31/10/2004
18000-5	5,8 GHz	RFID pour la gestion d'objet – Partie 5 : Paramètres de communications d'une interface d'air à 5,8 GHz	Pas de consensus
18000-6	900 MHz	RFID pour la gestion d'objet – Partie 6 : Paramètres de communications d'une interface d'air entre 860 MHz et 960 MHz	Publié le 31/10/2004
18000-7	433 MHz	RFID pour la gestion d'objet – Partie 7 : Paramètres de communications d'une interface d'air à 433 MHz	Publié le 12/12/2005

Tableau 1.2 : Normes ISO pour la standardisation des systèmes RFID .[22]

I.11 Applications

Cette technologie offre de grandes possibilités, j'ai donc cherché les principales applications pouvant se servir de ses capacités aussi bien de façon réelle actuellement que de façon plus hypothétique mais techniquement réalisable dans le futur. [9]

- La logistique

C'est le principal domaine d'utilisation. Les grandes chaînes (IKEA, Mark&Spencer...) ont équipé toute leur chaîne et Wal-Mart et Tesco ont même obligés leurs fournisseurs à équiper leurs produits de puces. Cette utilisation est aujourd'hui tout à fait au point et les entreprises citées annoncent des bénéfices important dans le gestion des stocks (renouvellement plus rapide des produits en rupture de stocks, meilleure gestion des flux de marchandises...). De même, on peut aussi citer les blanchisseries qui se servent des RFID pour tracer et retrouver les habits ainsi que les bibliothèques (aux Pays-Bas et au Vatican pour l'instant) où l'emprunt de livres est grandement facilité. [19]



FIG 1.12: Etiquette RFID Logistique. [19]

- Les cartes d'abonnements

Autre application des puces RFID (même si la plupart des utilisateurs ignorent quelle est la technologie mise en place), les pass Navigo permettent de se déplacer avec les transports en commun d'Ile-de-France en ayant uniquement à passer son badge à proximité du lecteur à chaque montée pour valider son trajet. Cela permet de connaître plus précisément l'utilisation du réseau (donc d'améliorer en théorie le nombre de véhicules à prévoir et les horaires de passage) et de faciliter les contrôles. [19]



FIG 1.13 : les pass Navigo. [19]

- Un réfrigérateur capable de reconnaître automatiquement les produits qu'il contient, mais aussi capable de contrôler les dates limites d'utilisation optimale (DLUO) des produits alimentaires périssables. [24]
- l'inclusion dans les documents à caractère officiel de tags RFID comme système d'identification et de validation, notamment pour les passeports, mais aussi

pour les permis de conduire. On peut ainsi envisager d'inclure des données biométriques d'authentification afin de renforcer les dispositions de sécurité. [20]



FIG 1.14 : Passeport Bio.[20]

- Le passe Liber-t est proposé par les autoroutes pour le passage sans arrêt des automobiles aux péages. Il identifie les véhicules. [25]



FIG 1.15: liber-t. [25]

- Système de carte RFID pour l'identification automatique des accès, bureaux, parkings, etc.



FIG 1.16: Carte Badge d'Accès.[19]

- Le suivi de délinquants : Le Royaume-Uni envisage de désengorger les prisons en relâchant les détenus après leur avoir implanté une puce RFID permettant de les suivre (alternative au bracelet électronique utilisé en France).
- Guidage des malvoyants en ville : Les malvoyants pourraient ainsi obtenir des informations de navigations (aux feux tricolores par exemple) grâce à une canne équipée d'un smart phone, capable de lire les données de puces. Les informations seront transmises à l'utilisateur sous la forme d'un signal sonore via une oreille Bluetooth.
- Prise en charge des patients au moyen d'un bracelet RFID : La puce RFID, intégrée dans un bracelet permettrait la localisation et l'amélioration de la prise en charge du patient. Ce dernier serait identifié et ses symptômes associés à un degré de gravité (évaluation sur une échelle chiffrée). Le temps de parcours d'un malade dans un service des urgences serait ainsi grandement réduit.
- Lutte contre les faux billets : Pour faire face à l'augmentation de la vente de billets au marché noir ou de la contrefaçon de billets pour les événements sportifs, des puces RFID seront de plus en plus fréquemment insérées aux billets. Cela permettra par exemple de comparer l'identifiant enregistré dans la mémoire de la puce à la base de données de la billetterie, par le biais d'une transmission des informations contenues dans la puce à la plate-forme de contrôle gérée par les organisateurs de la manifestation.[19]

I.12 Avantages et inconvénients

I.12.1 Avantages

- La capacité de mise à jour du contenu par les intervenants
A la différence du code à barres pour lequel les données sont figées une fois imprimée ou marquée, le contenu des données stockées dans une étiquette radio fréquence va pouvoir être modifié, augmenté ou diminué par les intervenants autorisés (étiquettes en lecture et écriture multiple).
- Une plus grande capacité de contenu
Dans une étiquette radio fréquence une capacité de 1000 caractères est aisément stockable, et peut atteindre sans difficulté particulière 10 000 caractères.

- La vitesse de marquage

Le code à barres dans un contexte logistique nécessite le plus souvent l'impression d'un support papier. La manipulation et la pose des étiquettes restent des opérations manuelles ou mécaniques. Les étiquettes radio fréquence peuvent être incluses dans le support de manutention ou dans les conditionnements dès l'origine. Les données concernant les objets contenues ou transportées sont écrites en une fraction de seconde.

- Une sécurité d'accès au contenu

Comme tout support numérique, l'étiquette radio fréquence peut être protégée par mot de passe en écriture ou en lecture. Les données peuvent être chiffrées. Dans une même étiquette, une partie de l'information peut être en accès libre, et l'autre protégée.

- Une plus grande durée de vie

Dans les applications où un même objet peut être utilisé plusieurs fois, comme l'identification des supports de manutention, ou la consignation du contenant, une étiquette radio fréquence peut être réutilisée 1 000 000 de fois.

- Une plus grande souplesse de positionnement

Avec l'étiquette radio fréquence, il est possible de s'abstraire des contraintes liées à la lecture optique, elle n'a pas besoin d'être vue. Il lui suffit d'entrée dans le champ du lecteur pour que sa présence soit détectée.

- Une moindre sensibilité aux conditions environnementales

Les étiquettes RFID n'ont pas besoin d'être positionnées à l'extérieur de l'objet à identifier. Elles peuvent donc être mieux protégées des agressions liées aux stockages, aux manutentions ou au transport. De plus leur principe de fonctionnement ne les rend pas sensibles aux souillures, ou taches diverses qui nuisent à l'utilisation du code à barres. [21-6]

I.12.2 Inconvénients

- Le coût

Les prix restent nettement supérieurs à ceux des étiquettes code à barres pour les unités consommateurs. Utiliser les étiquettes radio fréquence en lieu et place du code à barres sur les produits de grande consommation, n'est donc pas aujourd'hui économiquement réaliste.

- La perturbation par l'environnement physique

La lecture des étiquettes radio fréquences est perturbée par la présence, par exemple, de métaux dans leur environnement immédiat. Des solutions doivent être étudiées au cas par cas pour minimiser ces perturbations.

- Les perturbations induites par les étiquettes entre elles

Dans de nombreuses applications, plusieurs étiquettes radio fréquences peuvent se présenter en même temps dans le champ du lecteur volontairement ou involontairement. Ceci peut être voulu en magasin, au moment du passage à la caisse ou entre les portiques antivol.

- La sensibilité aux ondes électromagnétiques parasites

Les systèmes de lecture RFID sont dans certaines circonstances sensibles aux ondes électromagnétiques parasites émises par des équipements informatiques (des écrans d'ordinateurs) ou des systèmes d'éclairages plus généralement par les équipements électriques. Leur emploi doit donc être testé en tenant compte de l'environnement.

- Les interrogations sur l'impact de la radio fréquence sur la santé

Cette question fait débat depuis quelques années, au particulier concernant les portiques d'antivol et les téléphones portables. Les étiquettes passives ne présentent aucun risque quel que soit leur nombre puisqu'elles ne sont actives que lorsqu'elles se trouvent dans le champ d'un lecteur. Les études portent donc essentiellement sur les lecteurs et visent à définir les critères de régulation de leur puissance d'émission afin d'éviter qu'ils ne créent des perturbations sur les équipements de santé tels que les pacemakers, mais aussi sur l'organisme humain.

[6]

I.13 Conclusion

Sans faire de bruit, les applications de l'étiquette RFID n'ont cessé de se multiplier. Mais faut-il laisser chaque fournisseur déployer son système RFID maison? La nécessité d'une normalisation internationale s'est imposée non seulement pour les fréquences (défini par la série ISO 18000), mais également pour le codage des étiquettes. La normalisation va permettre de disposer de solutions interopérables. Son objectif est de couvrir l'ensemble des besoins. Quoi qu'il en soit la révolution des Tags RFID est en marche.

Sommaire

II.1 Introduction	37
II.2 Qu'est ce qu'un champ électromagnétique ?	37
II.3 Caractéristiques des antennes.....	38
II.3.1 Caractéristiques de rayonnement	38
II.3.1.1 Diagramme de rayonnement.....	38
II.3.1.1.a Directivité.....	39
II.3.1.1.b. Gain	39
II.3.1.1.c Lobes et zéros secondaires	39
II.3.1.2. Puissance rayonnée.....	39
II.3.1.3 Résistance de rayonnement.....	40
II.3.2 Caractéristiques électriques	40
II.3.2.1 Coefficient de réflexion S_{11}	40
II.3.2.2 Impédance d'entrée	40
II.3.2.3 Bande ou fréquences d'utilisation	40
II.3.2.4 Rendement.....	41
II.4 Classification des antennes.....	41
II.4.1 Antennes Omnidirectionnelles.....	41
II.4.2 Antennes Sectorielles.....	42
II.4.3 Antenne Directionnelle (directives).....	43
II.5 Choix de la technologie des antennes imprimées.....	43
II.6 Domaine d'utilisations	43
II.7 Description de l'antenne imprimée	44
II.7.1 Le substrat.....	44
II.7.2 Les éléments rayonnants (Patches).....	46
II.7.3 Méthodes d'alimentation	46
II.8 Antennes dans les applications RFID.....	47
II.8.1 Antenne ultra large bande	47
II.8.2 Types d'antennes ULB	47
II.8.3 Les principaux types d'antennes de tags RFID UHF passifs.....	50

II.14 Conclusion.....52

II.1 Introduction

Les antennes constituent des éléments essentiels dans la chaîne de communication, car incontournables, elles sont situées à l'interface entre l'émetteur ou le récepteur et le milieu de propagation. Toutefois de nombreuses technologies d'antennes existent et répondent à la plupart des besoins pour les communications en bande étroite ou modérée.

L'antenne est l'élément qui est utilisé pour diffuser les ondes électromagnétiques par rayonnement. Elle joue deux rôles réciproques : la transmission et la réception.

Ainsi, Dans un système de communication, l'antenne est toujours le premier élément dans une chaîne de réception ou le dernier élément dans celle d'émission.

Il y a une grande variété de techniques pour réaliser des antennes, chacune d'elles possède ses propres caractéristiques et sert à une application bien déterminée.

Nous allons présenter dans ce chapitre les différents types d'antennes dédiées à la conception de tags RFID, plus spécifiquement les antennes UHF passives et ULB, nous nous sommes intéressés plus précisément aux antennes micro-rubans qui sont les mieux adaptées pour ce type d'application.

II.2 Qu'est ce qu'un champ électromagnétique ?

Un champ électromagnétique est le couplage d'un champ électrique et d'un champ magnétique. Un champ électrique est produit par une différence de potentiel électrique (ddp) entre deux points. Plus la ddp est élevée, plus le champ qui en résulte est intense. Ce champ électrique survient même s'il n'y a pas de circulation de courant. A l'inverse, le champ magnétique n'apparaît que lorsque le courant circule. Plus l'intensité du courant est élevée, plus le champ magnétique est important.

C'est le physicien Maxwell qui a étudié les rapports entre les deux champs, établissant des équations connues sous le nom d'équations de Maxwell.

Une antenne, utilisée en émission, ne crée une onde plane qu'à une certaine distance. On peut distinguer quatre zones de champs autour de l'antenne, au fur et à mesure qu'on s'éloigne de celle-ci : zone de champs réactifs, zone de Rayleigh, zone de Fersnel et la zone de Fraunhofer. [29].

II.3 Caractéristiques des antennes

Dans les communications sans fil, chaque application met en relief certaines caractéristiques des antennes. D'une manière générale, une antenne utilisée dans un type d'application ne peut pas l'être dans d'autres.

Une antenne est caractérisée par différents paramètres qu'on peut classer soit en caractéristiques électriques soit en caractéristiques de rayonnement.

D'abord l'antenne peut être représentée comme un quadripôle, défini par les paramètres S comme l'indique la figure 2.1. [30]

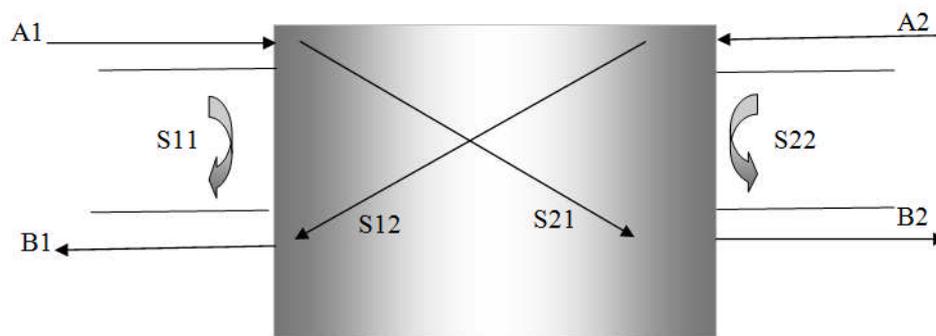


FIG 2.1: Représentation d'une antenne en quadripôle.[30]

A_1, A_2, B_1 et B_2 : sont des ondes de puissance, On a les relations suivantes :

$$B_1 = S_{11}A_1 + S_{12}A_2 \quad (\text{II.1})$$

$$B_2 = S_{21}A_1 + S_{22}A_2 \quad (\text{II.2})$$

Avec:

Le coefficient S_{11} : correspond à la réflexion en entrée de quadripôle lorsque $A_2 = 0$.

Le coefficient S_{12} : représente la transmission de la puissance entrant en sortie vers l'entrée lorsque $A_1 = 0$.

Le coefficient S_{21} : est le gain du quadripôle lorsque $A_2 = 0$.

Le coefficient S_{22} : est la réflexion en sortie du quadripôle lorsque $A_1 = 0$.

II.3.1 Caractéristiques de rayonnement

II.3.1.1 Diagramme de rayonnement

Il indique la façon dont l'antenne répartit son rayonnement dans l'espace environnant. C'est le lieu géométrique où l'intensité du champ électrique est la même. [31]

Le diagramme de rayonnement peut être résumé en quelques paramètres utiles :

II.3.1.1.a Directivité

La directivité d'une antenne caractérise la manière dont cette antenne concentre son rayonnement dans certaines directions de l'espace.

La directivité est le quotient de l'intensité de rayonnement dans une direction par la valeur moyenne de cette intensité de rayonnement pour toutes les directions de l'espace. [31]

$$D = \frac{K(\theta, \phi)}{\frac{1}{4\pi} \iint K(\theta, \phi) d\Omega} \quad d\Omega = \sin \theta \cdot d\theta \cdot d\phi \quad (\text{II.3})$$

Avec :

θ et ϕ sont l'azimut et l'élévation.

II.3.1.1.b. Gain

Le gain, est une quantité descriptive de la performance d'une antenne. Il définit l'augmentation de puissance émise ou reçue dans le lobe principal. Il est dû au fait que l'énergie est focalisée dans une direction, Il s'exprime en dBi. Il est le résultat de deux effets: la directivité et le rendement. [31]

Si G est le gain, alors : $G(\theta, \phi) = \eta \times D(\theta, \phi)$ (II.4)

Avec :

η : le rendement.

D (θ , ϕ) : la directivité.

II.3.1.1.c Lobes et zéros secondaires

Aux angles proches du lobe principal, une antenne présente des minima et maxima relatifs appelés lobes secondaires qu'on tente de minimiser. [31]

II.3.1.2. Puissance rayonnée

La puissance rayonnée est la puissance qui traverse une sphère de rayon infini.

Elle est déterminée en intégrant le vecteur de Poynting sur une surface sphérique. [31]

Le vecteur de Poynting dans la zone de rayonnement est défini par :

$$\vec{P} = \vec{E} \wedge \vec{H} \quad (\text{II.5})$$

La puissance totale rayonnée est définie par:

$$W = \int_0^\pi \int_0^{2\pi} K(\theta, \phi) d\Omega \quad (\text{II.6})$$

Avec :

$d\Omega$: unité d'angle solide.

$K(\theta, \Phi)$: L'intensité de rayonnement.

W : La puissance totale rayonnée

II.3.1.3 Résistance de rayonnement

On définit la résistance de rayonnement en un point Q d'une antenne par le rapport :

$$R_{\varrho} = \frac{2Pr}{I_{\varrho}^2} \quad (\text{II.7})$$

Avec :

I_Q : le courant en un point Q de cette antenne.

Pr : la puissance active rayonnée par une antenne. [31]

II.3.2 Caractéristiques électriques

II.3.2.1 Coefficient de réflexion S_{11}

Le coefficient de réflexion S_{11} met en évidence l'absorption de l'énergie par l'antenne.

C'est sur ce paramètre que l'on se base lors de l'optimisation. [31]

II.3.2.2 Impédance d'entrée

L'impédance d'entrée de l'antenne est l'impédance vue de la part de la ligne d'alimentation au niveau de l'antenne.

Cette impédance est donnée par la formule : $Z_e = \frac{V_e}{I_e}$ (II.8)

Z_e est en fonction de coefficient de réflexion S_{11} est donnée donc par la formule :

$$Z_e = Z_o \frac{(1 + S_{11})}{(1 - S_{11})} \quad (\text{II.9})$$

Avec :

Z_o : impédance caractéristique de la ligne d'alimentation.

V_e et I_e : sont respectivement la tension et le courant d'entrée.

N.B. Comme S_{11} est fonction de la fréquence, alors Z_e varie aussi avec la fréquence. [31]

II.3.2.3 Bande ou fréquences d'utilisation

La fréquence de résonance d'une antenne dépend d'abord de ses dimensions propres, mais aussi des éléments rayonnants résonnants (dipôles demi-onde, antenne

microbande) qui ont une bande d'utilisation faible et qui lui sont ajoutés par rapport à la fréquence de résonance centrale de l'antenne, un affaiblissement de 3 dB détermine les fréquences minimum et maximum d'utilisation, la différence entre ces deux fréquences correspond à la bande passante. [31]

On définit donc la largeur de bande en pourcentage % comme suit :

$$B(\%) = 100 \times \frac{F_s - F_i}{F_c} \quad (\text{II.10})$$

Où :

F_c : est la fréquence centrale d'utilisation pour laquelle l'antenne est conçue,

F_s et F_i : sont les fréquences limites supérieures et inférieures (pour un ROS donné).

II.3.2.4 Rendement

Le rendement de l'antenne est le rapport entre la puissance rayonnée et la puissance fournie à l'antenne. Elle est exprimée par:

$$\eta = \frac{R_r}{R_r + R_p} \quad (\text{II.11})$$

Avec :

R_r : Résistance liée à son rayonnement.

R_p : Résistance liée aux pertes de l'antenne. [31]

II.4 Classification des antennes

Nous pouvons classer des antennes dans trois différents groupes selon leur type d'utilisation .[32]

II.4.1 Antennes Omnidirectionnelles

Les antennes omnidirectionnelles ont un modèle de rayonnement de 360 degré autour d'elles (plan horizontal) et fonctionnent normalement comme concentrateur ou passage central d'un réseau. Elles ont un champ électromagnétique verticalement polarisé et utilisées en association avec des points d'accès pour les liaisons Point à Multi Point. [32]

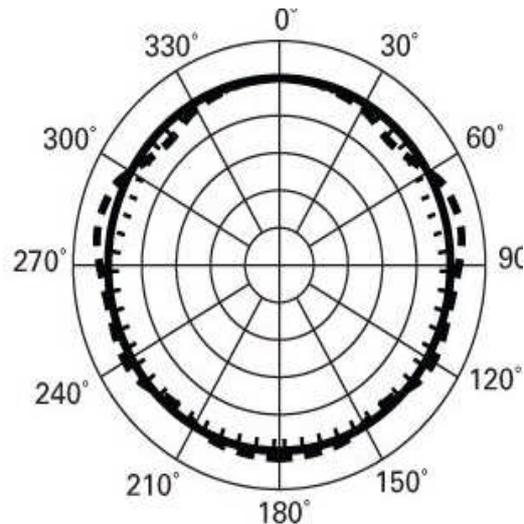


FIG 2.2 : Diagramme de rayonnement d'une antenne omnidirectionnelle Isotrope. [32]

II.4.2 Antennes Sectorielles

Sont conçus pour fonctionner avec un gain plus élevé que les antennes omnidirectionnelles et couvrent seulement un secteur de l'azimut –typiquement de 60° à 120°.

Ces antennes peuvent être trouvées avec la polarisation verticale ou horizontale selon les techniques de construction utilisées.

Elles sont aussi comme les antennes omnidirectionnelles utilisées en association avec des points d'accès pour les liaisons Point à Multi Point (PtMP). [32]

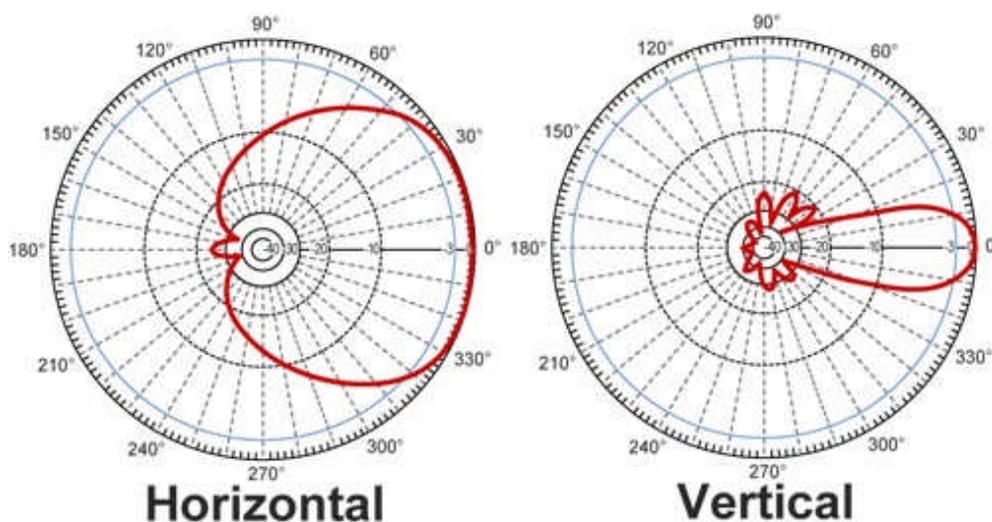


FIG 2.3 : Diagramme de rayonnement d'une antenne sectorielle. [32]

II.4.3 Antenne Directionnelle (directives)

Elles ont un gain élevé et sont dirigées vers le point d'accès et elles ont un angle d'ouverture faible. Ces antennes sont également utilisées pour établir des liaisons point à point longue distance. [32]

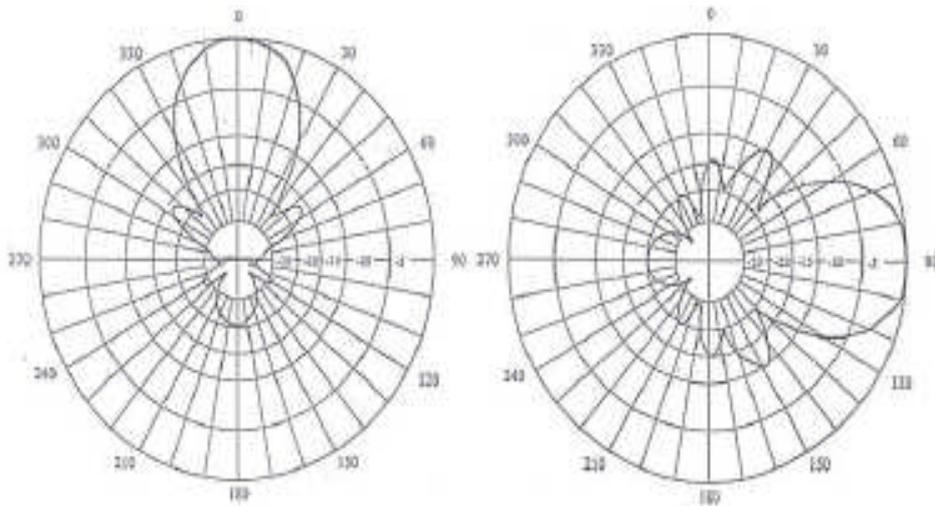


FIG 2.4 : Diagramme de rayonnement d'une antenne directionnelle. [32]

II.5 Choix de la technologie des antennes imprimées

Actuellement, les antennes imprimées deviennent de plus en plus utilisées en raison de la grande variété des formes géométriques qu'elles peuvent prendre et qui les rendent applicables aux différentes situations d'intégration.

Parmi les avantages de cette technologie d'antennes, on peut citer : le faible poids, leur volume réduit, la conformabilité et la possibilité d'intégrer les circuits micro-ondes au niveau des antennes. Ajoutons que la simplicité de leurs structures fait que ce type d'antenne est adapté au faible coût de fabrication. Ceci est une propriété clé qui explique l'introduction des antennes imprimées dans les applications de la communication mobile.

Cependant, elles présentent les inconvénients suivants : faible efficacité, faible puissance, bande relativement étroite etc. [33-34]

II.6 Domaine d'utilisations

Les avantages de ces antennes les rendent particulièrement intéressantes pour les systèmes de télécommunication, de mobiles terrestres, de télédétection et de télémétrie telle que : les radars embarqués, Satellites, Avion, Fusées, Portables, Missiles, Bateaux, les

récepteurs GPS, Navires, véhicules routiers et RFID, etc. Ils sont utilisés aussi lorsqu'on veut réduire l'encombrement d'une antenne.

II.7 Description de l'antenne imprimée

Une antenne plaquée est constituée d'un plan de masse et d'un substrat diélectrique, dont la surface porte un ou plusieurs éléments métallisés, appelé élément rayonnant, en anglais « patch », c'est une ligne micro ruban mais de forme particulière comme l'indique la figure ci-dessous. [33-35-36]

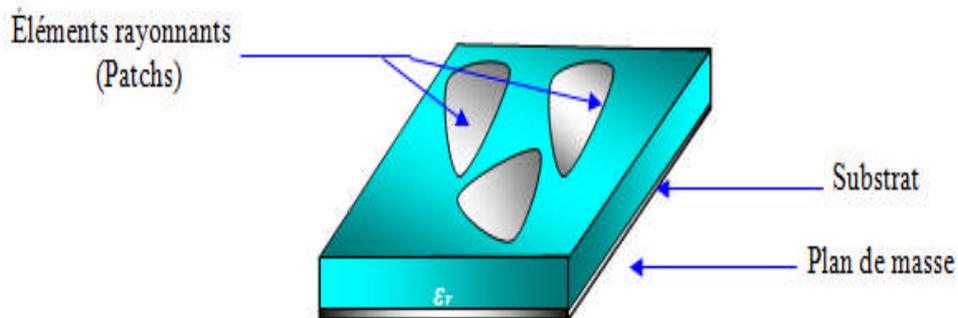


FIG 2.5: Schéma de principe d'une antenne patch à plusieurs éléments rayonnants.[33]

II.7.1 Le substrat

On hyperfréquence on trouve la constante diélectrique ϵ_r et l'épaisseur h sont les deux caractéristique les plus importants par apport aux autre paramètres , car ils influenceront directement sur l'efficacité de rayonnement et les pertes d'une antenne imprimée.

Le but d'une antenne c'est le rayonnement, donc les substrats utilisés sont de grande épaisseur et de basse permittivité (typiquement $\epsilon_r \ll 2.5$) pour avoir une grande efficacité, une large bande passante. Mais dans ce cas la perte par onde de surface augmente et l'antenne devient de plus en plus encombrante.

Au contraire, l'utilisation de minces substrats de permittivités élevées est conseillée pour les circuits micro-ondes parce qu'elle minimise les ondes de surfaces, les radiations non désirées et le volume de l'antenne. Toutefois, l'efficacité et la bande passante diminuent à cause de la grande perte dans le substrat [37-38-39].

La répartition des lignes de champs qui s'étendent autour et dans la structure dépend essentiellement :

- de la largeur des circuits de métallisation

- des caractéristiques du substrat : à savoir sa constante diélectrique ϵ_r et son épaisseur h .

Le tableau (2.1) donne permittivité relative de quelques matériaux

Matériaux	Permittivité relative
Vide	1
Air	1.00059
PTFE (Teflon)	2.1
Film plastique	2.1 - 3
Huile minérale	2.2
Duroid 5880 (Rogers Corporation)	2.2
Polyéthylène	2.25
PE	2.3
Polystyrène	2.4
Paraffine	2.1 – 2.5
PMMA	3,4
Papier	3.5
Verre pyrex	4
FR-4	4.3
Verre	4 à 19
Quartz	5
Mica	6
Porcelaine	6-8
Alumine	9
SiO ₂	3-9
Si ₃ N ₄	9
MgO	9
Eau	80
Eau distillée	81
Rutile (Ti O ₂)	89-173
Titane de baryum (BaTiO ₃)	10 000

Céramique type I	15 à 400
Céramique type II	1000 à 25000

Tableau 2.1 : Constante diélectrique relative à quelques matériaux. [40]

II.7.2 Les éléments rayonnants (Patches)

La forme du patch conducteur peut être variée, mais elle influe sur les modes qui sont susceptibles de s'exciter dans l'antenne. En pratique, on trouve essentiellement des rectangles, des disques, et plus rarement des anneaux ou des triangles.

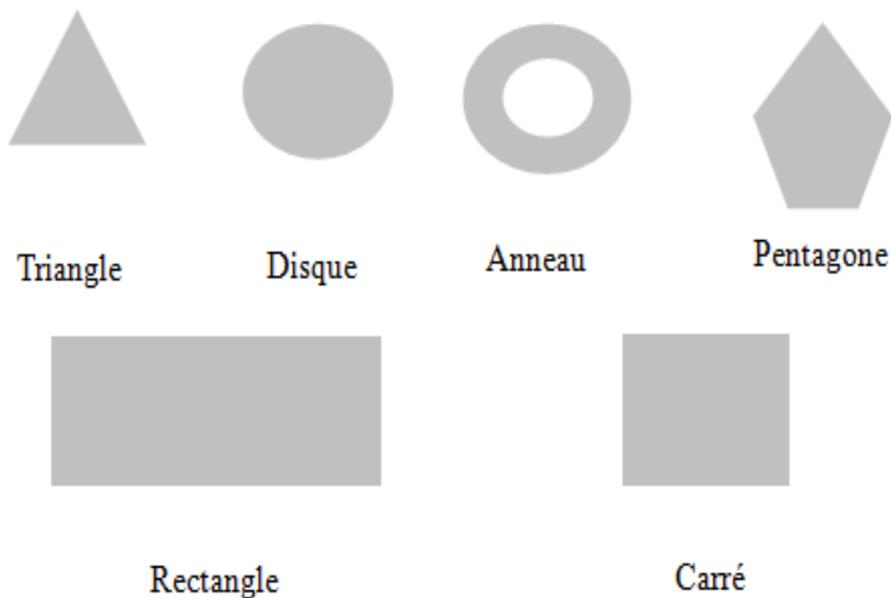


Figure II.6: Diverses formes des éléments rayonnants.[41]

Parmi toutes ces formes, l'élément rectangulaire est sans contexte le plus facile à appréhender pour la compréhension des mécanismes de rayonnements des antennes patchs.

II.7.3 Méthodes d'alimentation

L'antenne imprimée peut être alimentée de plusieurs façons. Les quatre méthodes les plus utilisées sont: ligne micro-ruban, sonde liée à un câble coaxial, couplage par fente et couplage par proximité. Ces méthodes sont décrites en [41-42-43].

II.8 Antennes dans les applications RFID

II.8.1 Antenne ultra large bande

Dans le contexte d'antenne BLU, la définition la plus utilisée est celle de la FCC qui consiste à calculer la bande passante à -10 dB. Pour un système BLU, la FCC exige une bande passante supérieure à 500 MHz. Précisons que la FCC utilise la définition arithmétique de la fréquence centrale. La FCC a défini les règles d'utilisations du spectre de fréquence dans la bande entre 3.1 GHz et 10.1 GHz qui a donné un souffle supplémentaire aux activités de recherches et de développement.

Bande passante : La bande passante est définie tout simplement comme étant la différence entre les fréquences haute (f_{max}) et basse (f_{min}) d'utilisation de l'antenne. La fréquence centrale (f_c), quant à elle, est définie le plus souvent comme étant la moyenne arithmétique des fréquences f_{min} et f_{max} .

$$f_c = \frac{1}{2}(f_{max} + f_{min}) \quad (\text{définition arithmétique}) \quad (\text{II.12})$$

En pratique, un système BLU impose des spécifications sur l'adaptation de l'antenne mais aussi sur le gain, le diagramme de rayonnement et d'autres caractéristiques. [44]

II.8.2 Types d'antennes ULB

- **Dipôles/ monopoles électriques ultra large bande**

Une catégorie d'antenne large bande est constituée par les monopoles plans ou dipôles. De nombreuses études ont été menées sur ce type d'antenne [36] et différentes formes ont été conçues: carrée, circulaire ou elliptique. Toutes ces antennes présentent de nombreuses caractéristiques communes: une bande passante importante, une polarisation linéaire et un diagramme de rayonnement omnidirectionnel dans le plan azimutal. [45]

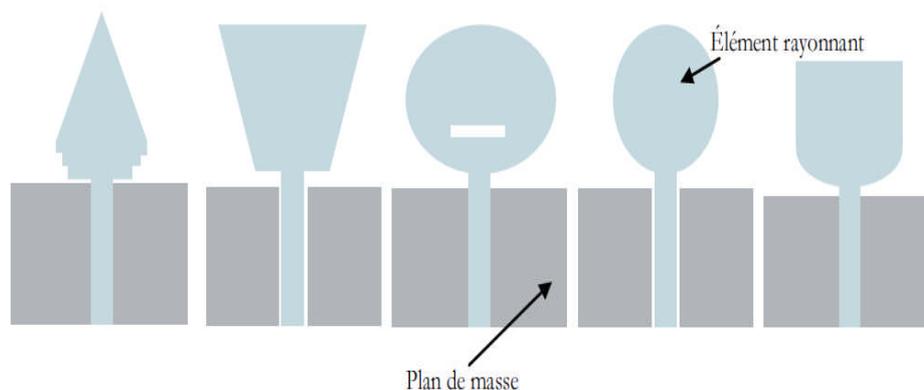


FIG 2.7 : Quelques géométries d'antennes monopoles. [45]

- **Antenne papillon (Bow-tee)**

Depuis quelques années, l'antenne papillon à charge résistive est utilisée pour les applications de type GPR. Les concepteurs de ces antennes ont essayé de modifier le profil résistif afin d'augmenter au maximum l'efficacité de l'antenne sans pour autant sacrifier la bande passante de l'antenne. L'association d'une charge capacitive et d'une charge résistive permet d'obtenir un bon compromis. L'antenne papillon est la version planaire de l'antenne biconique (Figure 2.8). Il s'agit d'une structure symétrique. [45]



FIG 2.8 : Antenne papillon. [45]

- **Antenne à transition progressive (Vivaldi)**

Les antennes à fente à transition progressive (TSA Tapered Slot Antenna) constituent une autre catégorie importante d'antennes ULB directives. Ce sont des antennes à deux dimensions présentant une transition à partir d'une ligne ou d'un guide d'onde imprimé. Elles ont été imaginées en 1974 par Lewis et Gibson. Elles sont généralement constituées par une ligne de fente s'élargissant suivant un profil donné jusqu'à la discontinuité finale. Le profil de ces ouvertures peut prendre différentes formes: profil linéaire (antennes LTSA), profil constant (antennes CWSA), profil linéaire par morceau (BLTSA) ou encore profil exponentiel (antenne Vivaldi).

Les antennes TSA sont adaptées sur une très large bande passante. Leur diagramme de rayonnement est unidirectionnel dans le plan du substrat. Leur directivité augmente avec la fréquence et les gains atteints par ces antennes peuvent aller jusqu'à 10 dBi selon le type de profil. [45]

Les différents profils des antennes TSA sont décrits dans la figure (2.9)



FIG 2.9: Les différents profils des antennes TSA. [45]

- **Antenne spirale logarithmique**

Antenne à spirale logarithmique L'antenne spirale équiangulaire ou logarithmique. Son équation en coordonnées polaires (r,q) peut s'écrire sous la forme:

$$\rho = ke^{a\theta} \quad (\text{II.13})$$

où k et a sont deux constantes

Théoriquement, elle possède une bande passante infinie. Mais l'antenne spirale logarithmique couvre une bande passante de quelques octaves car ses dimensions géométriques sont finies. La fréquence haute d'adaptation est limitée par l'espace entre les deux conducteurs (espaces relativement faibles par rapport à la longueur d'onde). A titre d'exemple, pour un ROS<2, une bande passante de 0.4 - 3.8 GHz peut être atteinte [27].

On alimente cette antenne au milieu de la structure de telle sorte que les deux conducteurs soient en opposition de phase. Les doublets ainsi produits tout au long de la structure créent des champs maximaux dans les directions normales au plan de l'antenne, ce qui implique que la spirale logarithmique possède un rayonnement bidirectionnel avec un gain de 4 dBi.

Par ailleurs, plus la fréquence est basse, plus les parties de la spirale qui vont participer au rayonnement sont éloignées de l'alimentation et donc du centre de l'antenne, et inversement, plus la fréquence est élevée, plus les parties participant au rayonnement se trouvent rapprochées du centre de l'antenne.



FIG 2.10 : antenne spirale. [28]

II.8.3 Les principaux types d'antennes de tags RFID UHF passifs

Dans la littérature, 3 principaux types d'antennes sont mis en œuvre pour les antennes de tags RFID UHF passifs :

Les antennes IFA (Inverted F Antenna)

Les antennes patches.

Les antennes dipôles.

Les antennes à fentes.

- **Les antennes IFA**

Ce type d'antenne a l'avantage de présenter un rayonnement quasi-isotrope souhaité dans des applications pour les quelles l'orientation relative au tag par rapport au lecteur RFID est incertaine son caractères quasi-isotrope tient de son rayonnement qui contient les deux composantes de polarisation. La géométrie d'une telle antenne est présentée sur la figure (2.11).

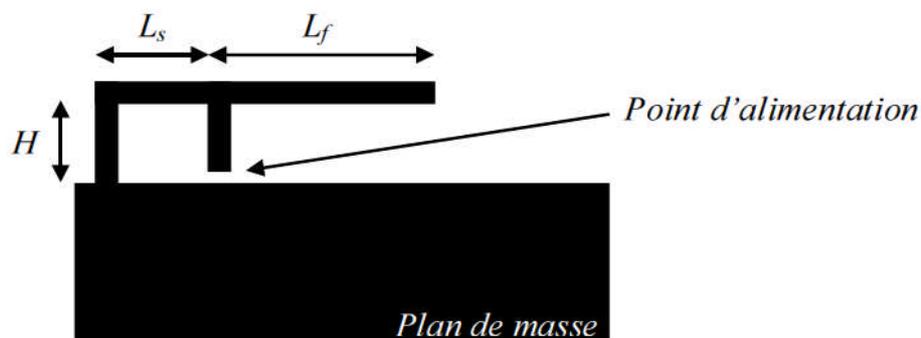


FIG 2.11 : Géométrie d'une antenne IFA. [28]

Trois principales dimensions rentrent en compte : la hauteur H de l'élément horizontal au dessus de plan de masse, la longueur L_s entre le point d'alimentation et

l'extrémité en court circuit, et la longueur L_f entre le point d'alimentation et l'extrémité ouverte. Ce type d'antenne demande cependant l'existence d'un plan de masse assez conséquent ce qui ne la rend pas pratique. Ce genre d'antenne peut être particulièrement approprié pour l'identification des objets métalliques.

Il existe aussi une version planaire les antennes PIFA (Planar IFA). Ce type d'antennes réalisé par emboutissage et particulièrement mis en œuvre dans les téléphones portables. Son coût relativement élevé ne rend pas cette antenne attractive pour les systèmes RFID UHF passif mais elle est particulièrement appropriée dans le cas des tags RFID actifs pour lesquels le coût de l'antenne est moins critique et pour lesquels l'électronique du tag nécessite un plan de masse pouvant servir pour ce type d'antenne. [28]

- **Les antennes dipôles**

Ce type d'antennes est de loin le plus mis en œuvre en RFID UHF passive à cause de sa structure en deux dimensions. Il permet d'obtenir un rayonnement omnidirectionnel avec une polarisation linéaire. La géométrie de ce type d'antenne est présentée sur la figure II.12. Elle est constituée de deux branches conductrices de longueur L alimentées en leur centre. [28]

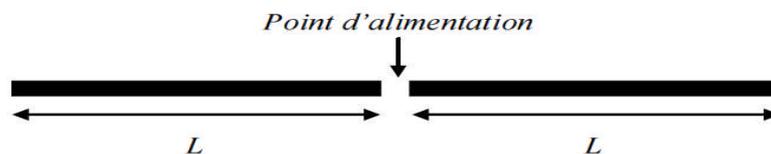


FIG 2.12:Géométrie d'une antenne dipôle. [28]

- **Les antennes à fentes**

Un autre type d'antennes également est mis en œuvre est l'antenne à fentes. La géométrie de ces antennes est présentée sur la figure 2.13. Ce genre d'antennes peut être considéré comme dual des antennes dipôles. Elles possèdent une polarisation linéaire. Elles sont cependant moins appréciées que les antennes de types dipôle pour leur grande quantité de matière conductrice. [28]

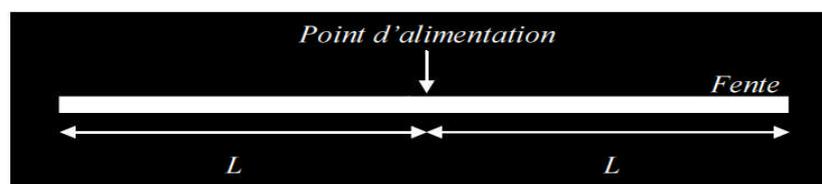


FIG 2.13:Géométrie d'une antenne à fentes. [28]

II.14 Conclusion

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

Sommaire

III.1 Introduction.....	55
III.2 La méthodologie de conception d'antennes de tags RFID UHF passifs	55
III.3 La simulation des antennes des tags RFID UHF passifs	57
III.3.1 Antenne Quasi Log-Périodique	57
III.3.1.1 Design de l'antenne.....	57
III.3.1.2 Simulation	58
III.3.1.3 L'adaptation l'antenne à la puce	59
III.3.1.4 Interprétation des résultats	60
III.3.2 Antenne T-Match du dipôle planaire.....	61
III.3.2.1 Design de l'antenne.....	61
III.3.2.2 Simulations sous le logiciel CST Studio.....	62
III.3.2.3 Détermination de l'impédance de l'antenne	62
III.3.2.4 Interprétation des résultats	63
III.3.3 Antenne IFA	64
III.3.3.1 Résultats obtenus par le simulateur CST MWS.....	65
III.3.3.2 Interprétation des résultats	65
III.3.4 Antenne PIFA	66
III.3.4.1 Simulations et résultats	67
III.3.5 Antenne dipôle replié et antenne méandre	68
III.3.5.1 Antenne dipôle replié	69
III.3.5.1.1 Antenne dipôle replié avec du substrat FR4.....	69
III.3.5.1.2 Antenne dipôle replié avec un substrat du polyamide	70
III.3.5.1.3 Antenne dipôle replié avec un substrat du papier	71
III.3.5.1.4 Interprétation générale	72
III.3.5.2 Cas d'une ligne méandre	72
III.3.5.2.1 Ligne méandre avec du substrat FR4.....	73
III.3.5.2.2 Antenne ligne méandre avec un substrat du polyamide	74
III.3.5.2.3 Antenne ligne méandre avec un substrat du papier	75

III.3.5.2.4 Interprétation générale	75
III.3.6 Antenne IFA fonctionne à la fréquence 2.4 GHz	76
III.3.6.1 Géométrie d'antenne IFA	76
III.3.6.2 Simulation et résultat.....	77
III.3.7 Antenne MFNSPA (Minkowski Fractal Nested-Slot Patch Antenna)	78
III.3.7.1 Simulation et résultat.....	79
III.4 Antennes ultra large bande.....	80
III.4.1 Antenne sans encoches	81
III.4.2 Antenne BLU avec encoches.....	81
III.4.3 Antenne BLU avec fentes.....	82
III.5 Conclusion	85

III.1 Introduction

Les tags RFID nécessitent certaines exigences par rapport aux antennes utilisées, en effet la taille des tags est souvent miniature d'où la nécessité d'utiliser des antennes adaptées ayant des petites dimensions. Les antennes PIFA et Patch conviennent le mieux à ce type de technologie.

L'objectif de ce chapitre est d'analyser différentes structures d'antennes imprimées associées à des tags RFID, en utilisant le logiciel CST MICROWAVE STUDIO (Computer Simulation Technology).

Dans ce présent chapitre, nous allons voir les résultats de quelques antennes imprimées analysées par le simulateur CST, en se basant sur certains travaux présentés par références bibliographiques dans le domaine de la technologie RFID.

III.2 La méthodologie de conception d'antennes de tags RFID UHF passifs

La conception d'antennes du tag RFID UHF passif demande de mettre en œuvre une méthodologie de développement, qui est présentée sur la figure (3.1).

La conception de ces antennes nécessite dans un premier temps de déterminer les propriétés de l'antenne du tag en fonction de l'application visée. Ensuite, il faut déterminer la puce RFID qui convient avec le packaging approprié à la technologie de fabrication et déterminer l'impédance d'entrée optimale de l'antenne. Par la suite, il est nécessaire de déterminer les propriétés des matériaux constituant l'antenne mais également ceux compris dans l'environnement de l'application. Il convient aussi de sélectionner un type d'antenne susceptible de répondre aux besoins de l'application et réalisable par la technologie de fabrication sélectionnée.

Ensuite, il faut déterminer en fonction de ces caractéristiques si l'antenne peut permettre par une modification de ces paramètres physiques d'avoir une impédance d'entrée désirée. Si ce n'est pas le cas, il faut mettre en œuvre une technique permettant de réaliser son impédance. Il convient ensuite de réaliser la simulation de l'antenne du tag RFID. Enfin, il faut réaliser le test des performances de l'antenne obtenue.[28]

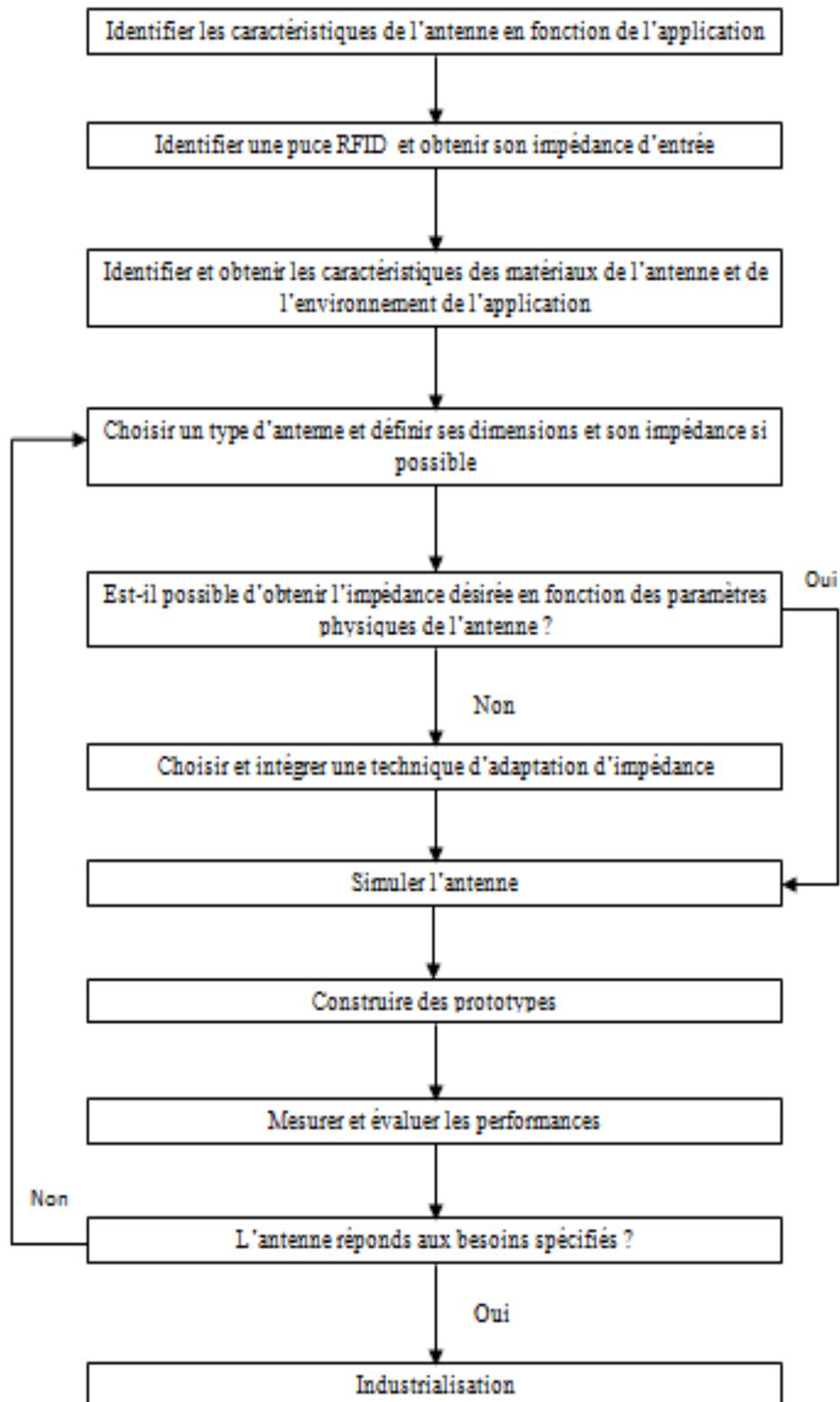


FIG 3.1 : Méthodologie de conception des tags RFID UHF passifs.[28]

III.3 La simulation des antennes des tags RFID UHF passifs

III.3.1 Antenne Quasi Log-Périodique

En haute fréquence, il est difficile de concevoir une antenne de l'étiquette pour les applications RFID UHF passif, car les bornes de CI d'étiquette passive est plus de 50 ohms ou 75 ohms, qui a une faible résistance et une grande réactance capacitive. [49-50]

L'antenne Quasi log-périodique a été proposée par Hsu [51]. Cette structure d'antenne est simple, elle se compose essentiellement d'un dipôle demi-longueur d'onde avec deux tétons mutuellement couplés. L'avantage principal de l'antenne quasi log-périodique est la capacité d'atteindre une bande passante relativement large. L'antenne a été conçus pour la norme RFID « classe 1 Génération 2("Gen 2") », avec la bande de fréquences 902-928 MHz. [48]

III.3.1.1 Design de l'antenne

La figure 3.2 montre la structure et les paramètres de l'antenne de l'étiquette proposée. La longueur l des grands talons décale la fréquence centrale de l'antenne, tandis que la largeur (w) des stubs correspondants modifie les niveaux d'impédance de l'antenne. Une couche mince de cuivre de 0,4 mm qui constitue l'antenne est imprimée sur un substrat FR-4 (constante diélectrique = 4,4) avec une épaisseur de 0,02 mm. Ces antennes sont conçues pour être utilisées avec UHF Gen2. La puce intégrée dans l'antenne possède une impédance d'entrée d'environ $10 - j 60$ ohms à 915 MHz. Donc pour adapter la puce à l'antenne, il faut que l'impédance de cette dernière soit la conjuguée de près de $10 + j 60$ ohms. [48]

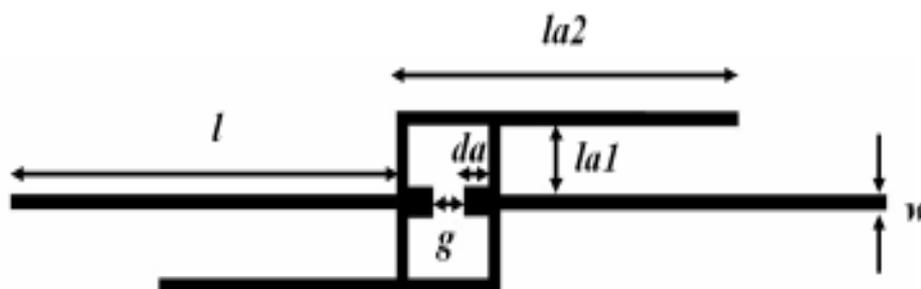


FIG 3.2: La structure et les dimensions de l'antenne proposée. [48]

III.3.1.2 Simulation

Nous avons simulé cette antenne avec le logiciel CST, la figure 3.3 montre le modèle de l'antenne dans CST MWS, où un port discret au centre a été appliqué comme l'excitation de l'antenne.

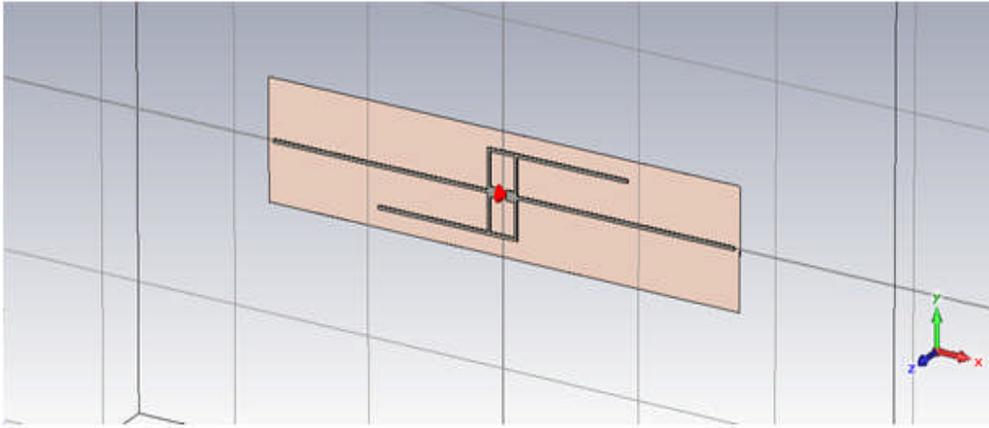


FIG 3.3 : Structure de l'antenne Quasi log-périodique conçu sur CST MWS.

Après une étude paramétrique, nous avons obtenu les résultats sur l'impédance Z_{11} . Les figures ci-dessous représentent le tracé de la partie imaginaire et la partie réelle de l'impédance Z_{11} en fonction de la fréquence en variant le paramètre la_1 .

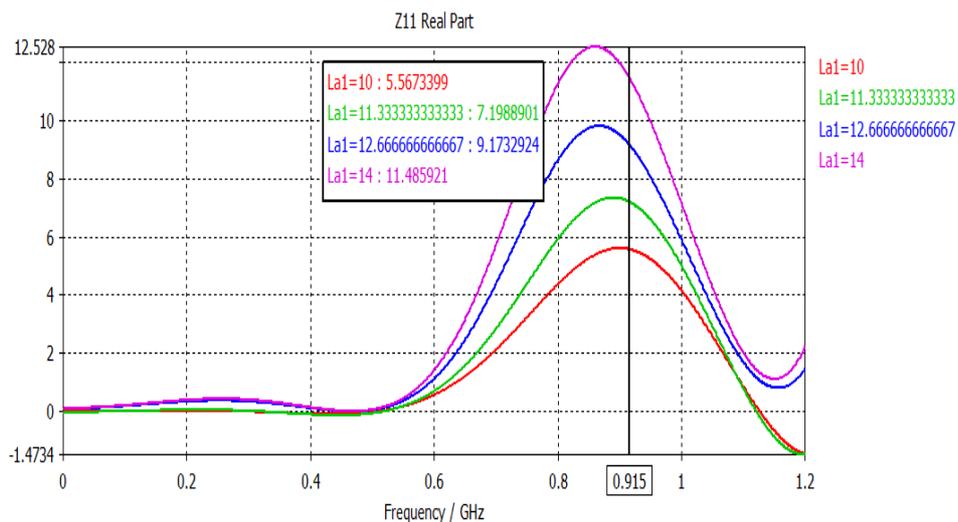


FIG 3.4: Simulation de la partie réelle de l'impédance en variant le paramètre la_1 .

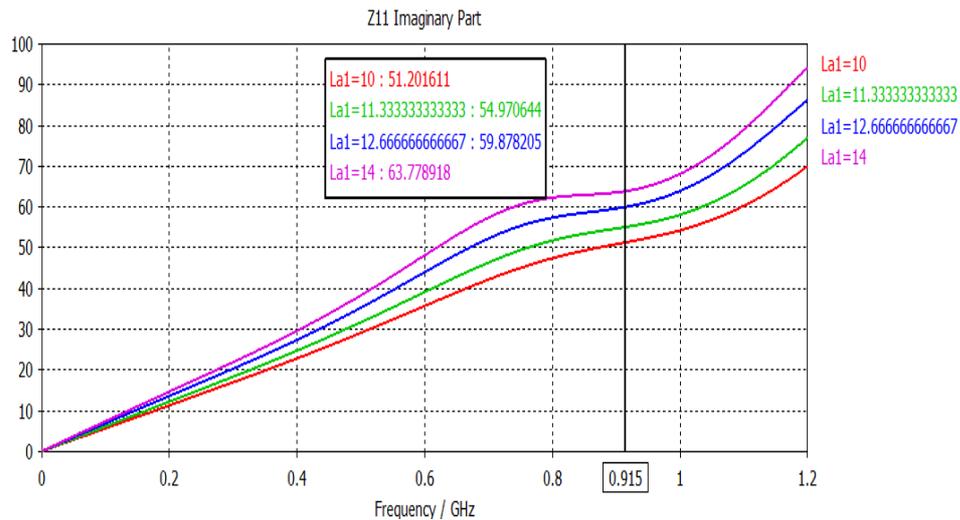


FIG 3.5 : Simulation de la partie la partie imaginaire de l'impédance en variant le paramètre la1.

III.3.1.3 L'adaptation l'antenne à la puce

L'antenne n'est pas adapter à 50Ω puisque la puce a une impédance $Z_c = 10 - j60$, donc pour avoir une adaptation il faut que l'impédance de l'antenne soit le conjugué de l'impédance de la puce. La représentation de la puce RFID avec le logiciel CST MWS est illustrée dans la figure ci-dessous. Avec R_s la résistance du port discret ; et C_s la capacité du la puce.

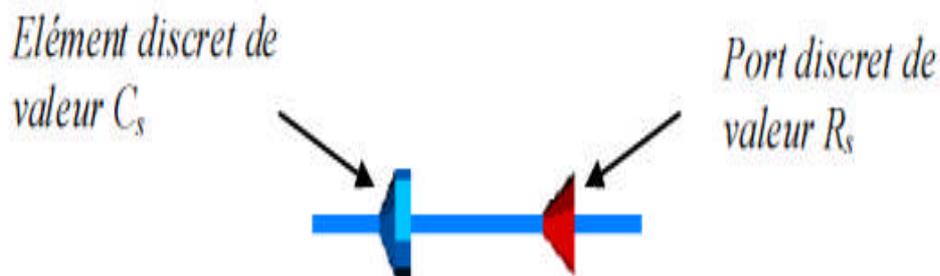


FIG 3.6 : La représentation de la puce.[28]

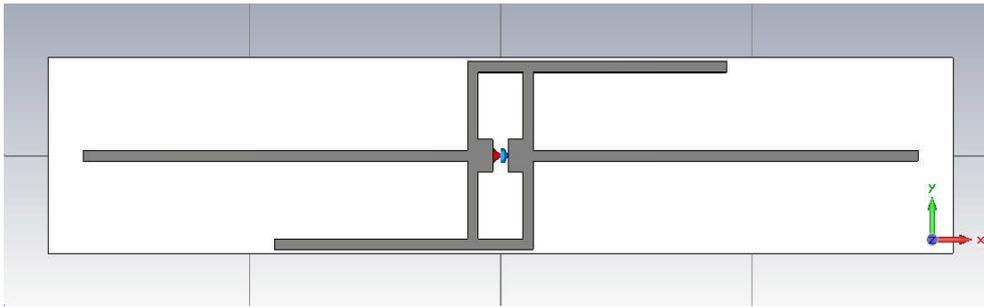


FIG 3.7 : Simulation de l'antenne avec la puce .

Le coefficient de réflexion est donné dans la figure 3.8.

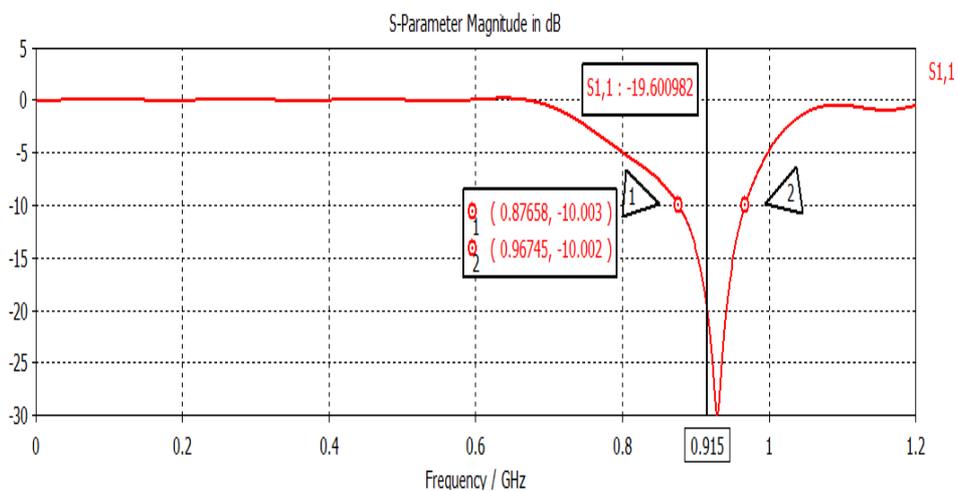


FIG 3.8 : le coefficient de réflexion en fonction de la fréquence .

III.3.1.4 Interprétation des résultats

Un accord majeur de l'impédance d'entrée de l'antenne peut être obtenu par la modification de la longueur de l horizontale et verticale à la fois la1 des branches de ligne. La résistance, la réactance de l'antenne et la fréquence centrale peut être contrôlée en changeant le paramètre La1 comme il est illustré dans les figures (3.4, 3.5). Après optimisation, nous sommes arrivés aux valeurs finales des paramètres de l'antenne donnée dans le tableau 3.1, qui nous permet d'avoir une impédance de $9.17 + j 59.87$ Ohm à la fréquence 915 GHz pour une valeur de La1= 12.66 mm.

paramètres	l	la1	la2	da	g	w
Valeur (mm)	79.64	12.66	51.5	3	3	1

Tableau 3.1 : les valeurs optimales de l'antenne.

III.3.2 Antenne T-Match du dipôle planaire

Les antennes dipôles par leur structure en deux dimensions sont les plus employées par les industriels dans le domaine de la RFID. L'impédance d'entrée d'une antenne dipôle ne permet pas de réaliser l'adaptation de l'impédance. Donc il est nécessaire de mettre en œuvre un circuit d'adaptation. L'antenne T-Match du dipôle planaire est un bon exemple.[60]

III.3.2.1 Design de l'antenne,

L'antenne est faite du cuivre avec une épaisseur de 0,02 mm. Le substrat est constitué de polyester d'épaisseur 0,1 mm (avec $\epsilon_r = 3,2$). Ses dimensions sont la largeur = 16,5 mm et la longueur = 180 mm. Les paramètres géométriques de l'antenne sont représentés sur la figure 3.9, et sont les suivants:

$l = 163$ mm ; $A = 20$ mm ; $b = 8$ mm ; $w = 3$ mm ; $w' = 1$ mm ; Séparation Port = 2 mm.[60]

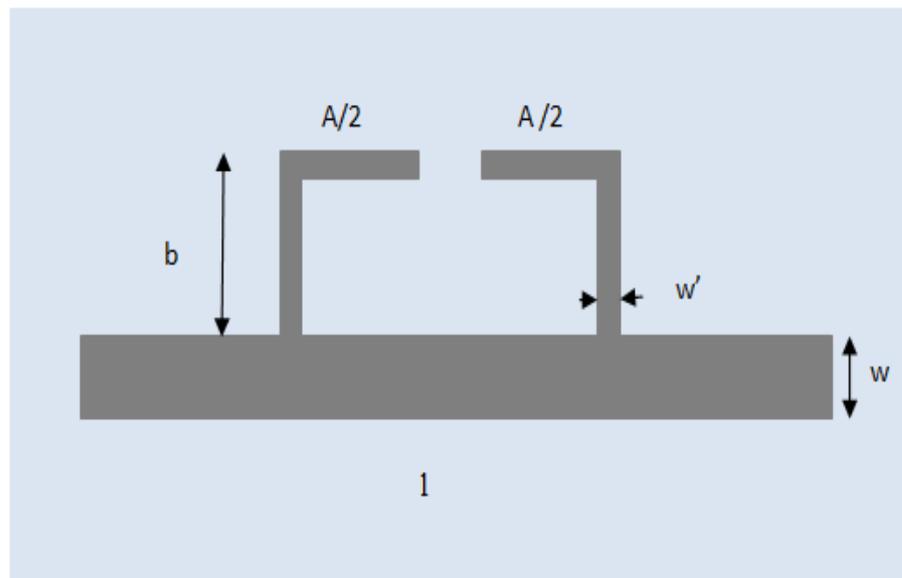


FIG 3.9 : configuration T-Match du dipôle plan.[60]

La puce utilisée pour cette conception à une impédance à 915 MHz est égale à $12 - j 140 \Omega$ (Alien-Higgs). Cela signifie que l'impédance de l'antenne doit être de $12 + j 140 \Omega$ (conjugué correspondant), pour un transfert maximal de puissance.

III.3.2.2 Simulations sous le logiciel CST Studio

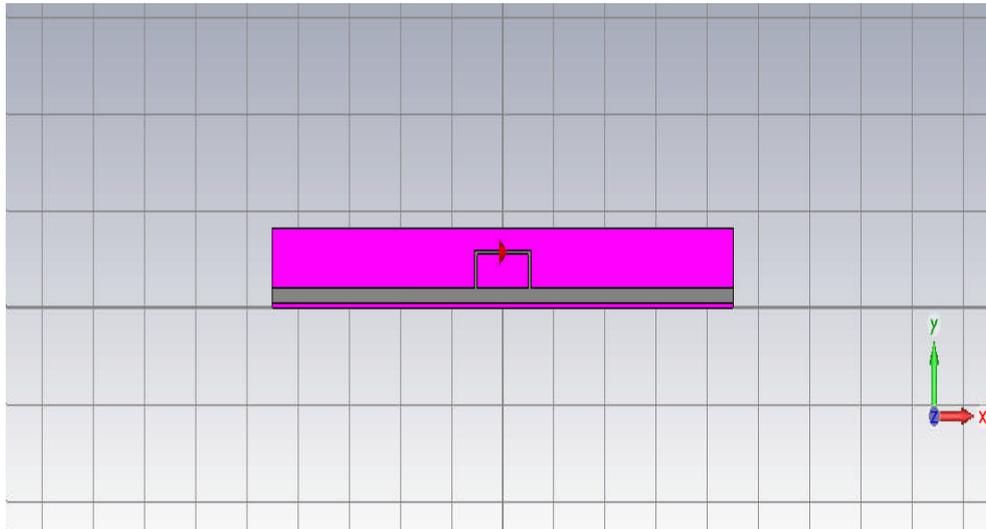


FIG 3.10 : Antenne T-Match du dipôle planaire par le logiciel CST.

III.3.2.3 Détermination de l'impédance de l'antenne

L'étude paramétrique nous permet de visualiser la partie imaginaire et la partie réelle de l'impédance Z_{11} de l'antenne en fonction de la fréquence en variant le paramètre A, les résultats obtenus sur l'impédance Z_{11} sont représentés dans les figures ci-dessous.

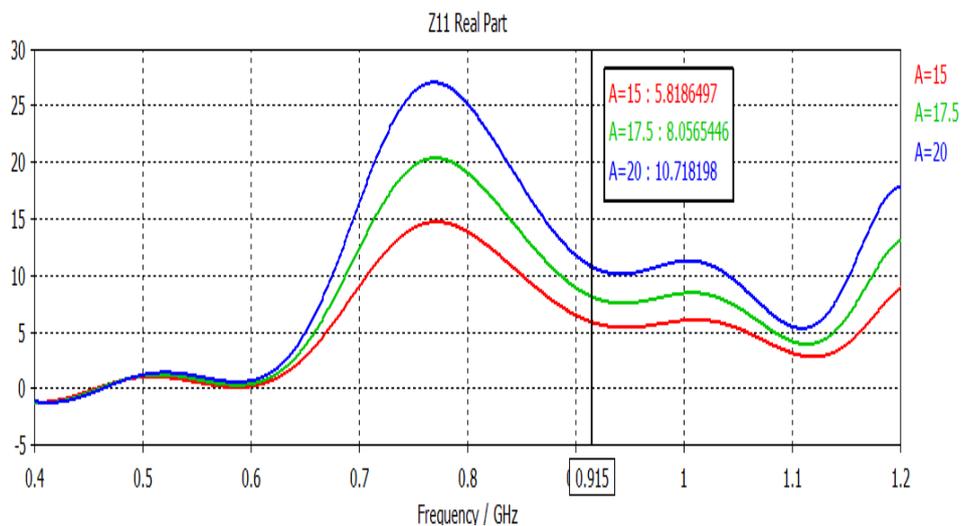


FIG 3.11 : Tracé de la partie réelle de l'impédance Z_{11} en fonction de la fréquence en variant le paramètre A.

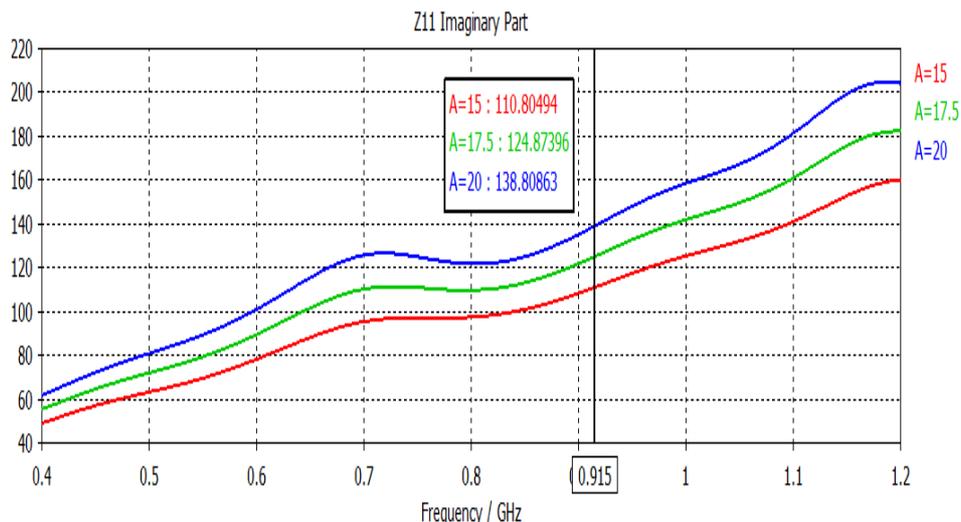


FIG 3.12 : Tracé de la partie imaginaire de l'impédance Z_{11} en fonction de la fréquence en variant le paramètre A.

Le coefficient de réflexion S_{11} est donné dans la figure ci-dessous

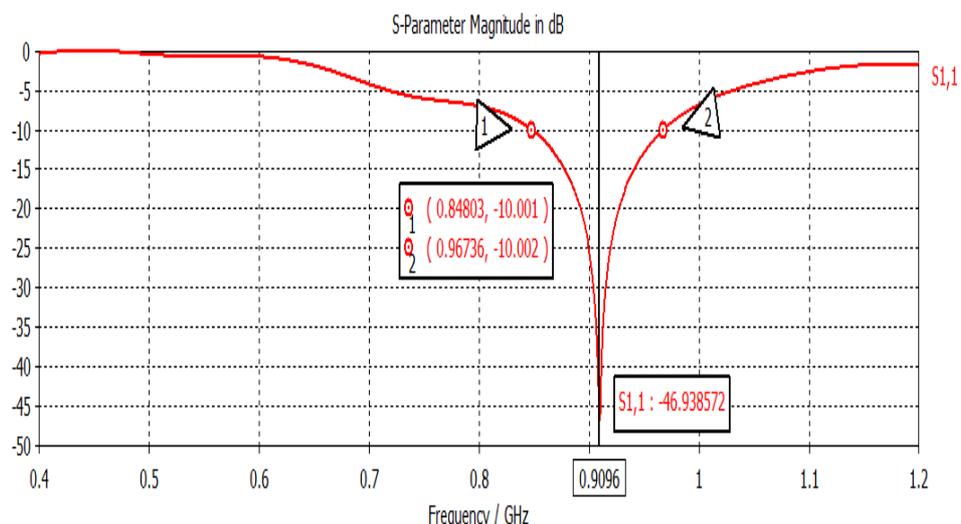


FIG 3.13: Tracé du paramètre S_{11} en fonction de la fréquence.

III.3.2.4 Interprétation des résultats

Nous avons obtenu une impédance d'antenne $Z_a = 10 + j 138 \Omega$ presque égale à la conjuguée de la puce $Z_c = 12 - j 140 \Omega$, cette antenne raisonne à la fréquence 909,6 MHz avec une très bonne adaptation de -46,9 dB .

III.3.3 Antenne IFA

La figure 3.14 présente la structure fondamentale de l'antenne, qui a été accordée pour résonner à la fréquence 915 MHz, qui est la fréquence centrale utilisée dans le spectre UHF pour les systèmes RFID en Amérique du Nord. L'antenne à été fabriquée sur PCB ayant pour substrat le Téflon. L'épaisseur du substrat est de 3.175 mm et sa constante diélectrique ϵ_r est de 2.35. Les dimensions du prototype sont représentées dans le tableau (3.1).

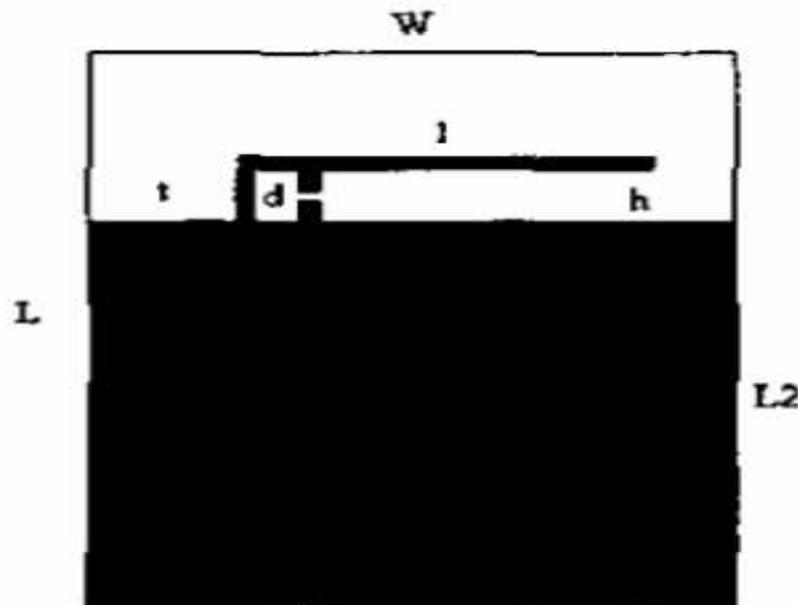


FIG 3.14 : Structure de l'antenne IFA.

Paramètres	W	L	t	d	l	h	L2
Valeurs (mm)	80	100	19.5	4	60	11.38	70

Tableau 3.2 : les dimensions du l'antenne IFA.

III.3.3.1 Résultats obtenus par le simulateur CST MWS

Nous avons simulé l'antenne IFA avec le logiciel CST qui permet une résolution dans le domaine temporel TD (Transient solver). La figure 3.15 représente l'antenne IFA prise en perspective en trois dimensions 3D par le logiciel CST.

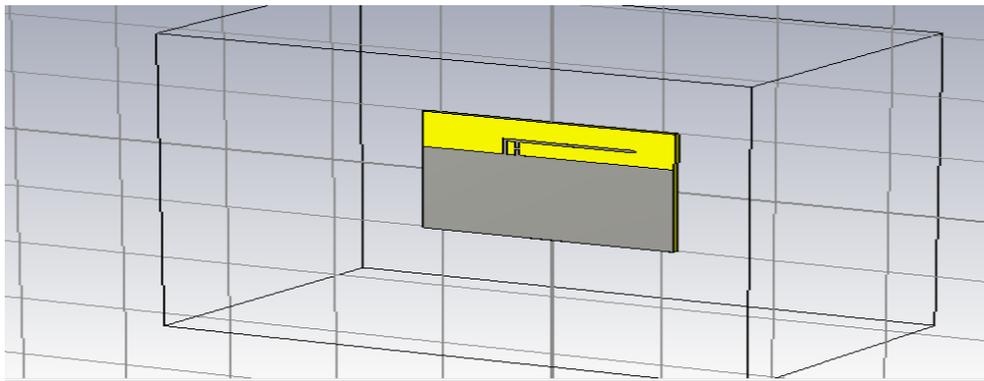


FIG 3.15 : L'antenne IFA en 3D conçue sur CST MWS.

Après la simulation de cette antenne avec le logiciel CST MWS, nous avons obtenu le résultat sur le coefficient de réflexion S_{11} . La figure 3.16 représente le tracé du coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence.

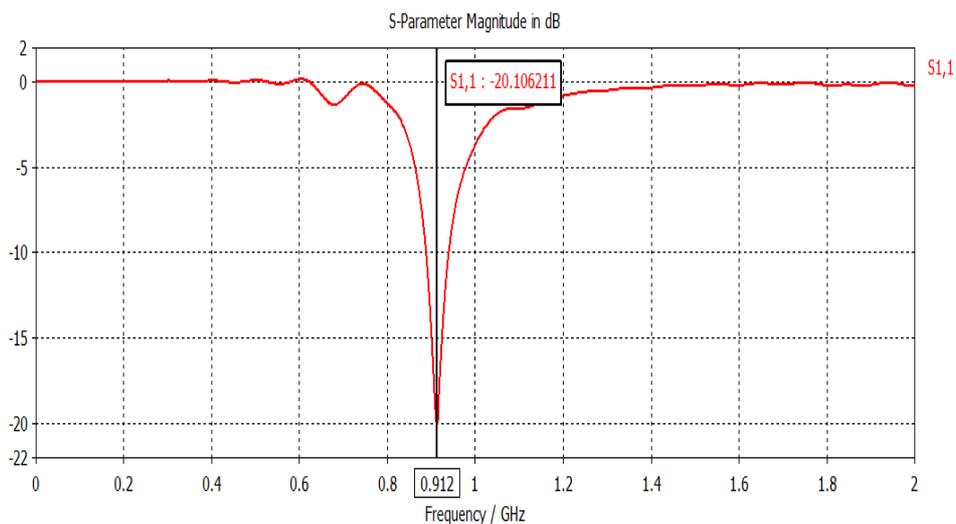


FIG 3.16 : Tracé du coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence.

III.3.3.2 Interprétation des résultats

Nous remarquons que la fréquence de résonance de cette antenne est de 912 MHz, elle est très proche de la fréquence espérée qui est de 915 MHz, avec une bonne adaptation de -20.10 dB.

III.3.4 Antenne PIFA

La géométrie de l'étiquette RFID proposée est présentée dans la figure 3.17. L'élément rayonnant principal est essentiellement basée sur un dipôle repliés bras multiples, avec quatre dipôles supplémentaires, cette antenne est imprimée sur un grand substrat FR4 ayant une permittivité relative de 3,7 et une épaisseur de 1,6 mm. Cette antenne raisonne à la fréquence 866 MHz. [57]

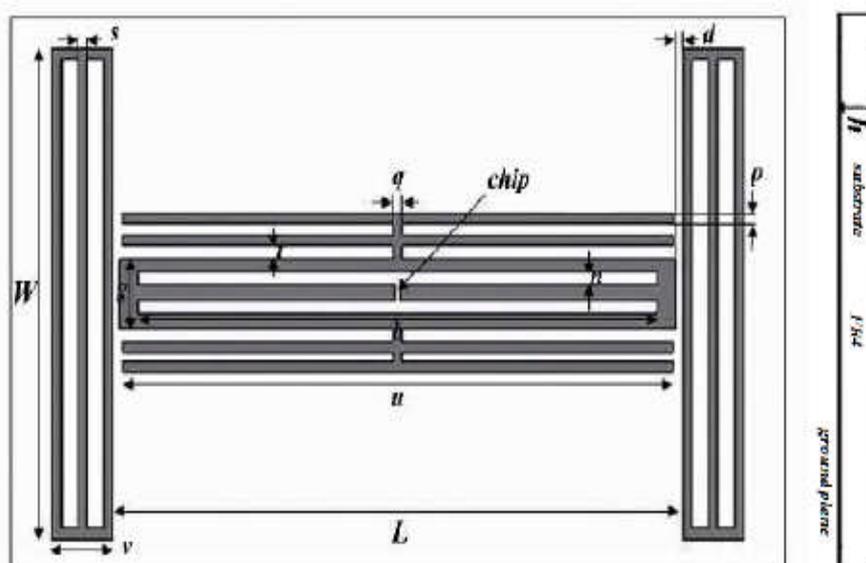


FIG 3.17 : Géométrie de l'antenne PIFA. [57]

Le tableau (3.3), donne les détails concernant l'optimisation des dimensions, selon la disposition de la Figure (3.17).

Paramètres	Valeurs (mm)	Paramètres	Valeurs (mm)
W	88	n	2.28
L	117	b	107
s	1.9	u	113
g	12.8	v	12.55

t	2.29	p	1.9
q	1.9	d	1.5
h	1.6	/	/

Tableau 3.3 : dimensions de l'antenne PIFA.[57]

III.3.4.1 Simulations et résultats

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

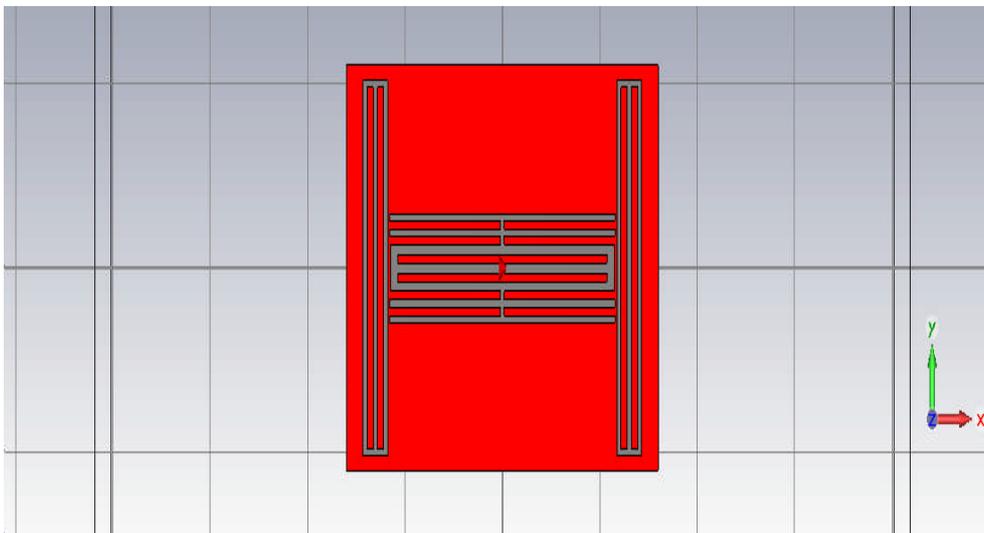


FIG 3.18 : l'antenne PIFA en 3D par CST MWS.

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

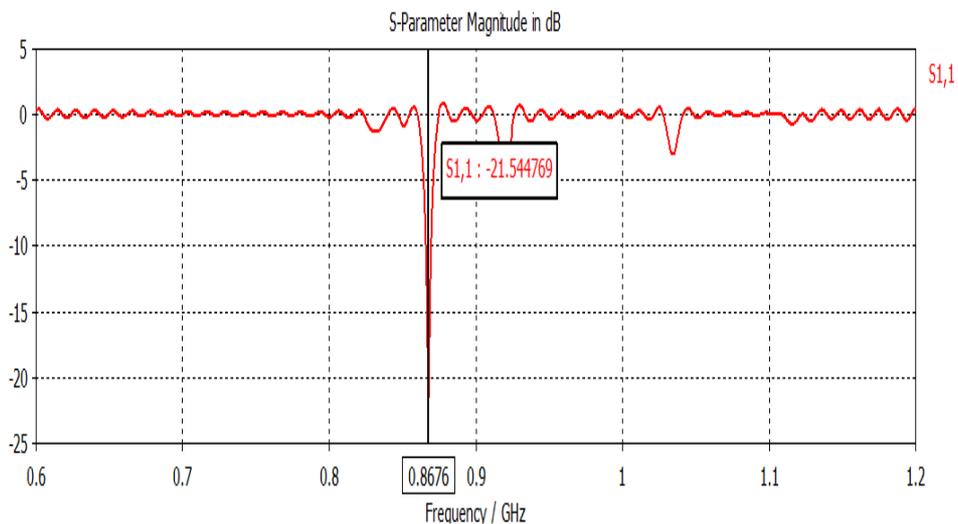


FIG 3.19 : Tracé du coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence.

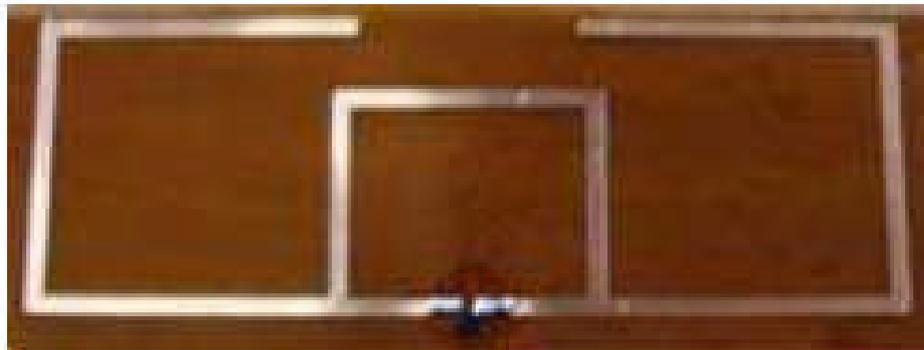
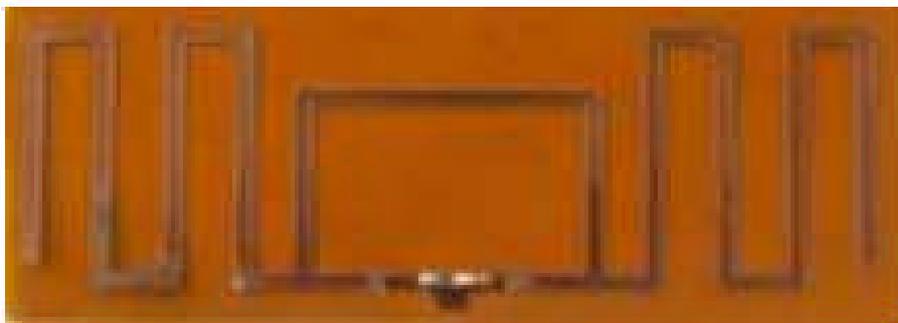
Nous remarquons que la fréquence de résonance de cette antenne est de 867 MHz, elle est très proche de la fréquence espérée qui est de 866 MHz, avec une bonne adaptation de -21.54 dB.

III.3.5 Antenne dipôle replié et antenne méandre

Dans cette section, nous avons étudié l'influence du substrat choisi dans la conception des antennes, deux différents échantillons d'antennes des tags (dipôle replié, ligne méandre) [52], ont été choisis et simulés avec le logiciel CST.

il est utile de préciser que nous avons choisi des substrats sans pertes diélectrique : FR4 (épaisseur 800 μm , $\epsilon_r = 3,7$), polyamide (épaisseur 800 μm , $\epsilon_r = 2,6$) et du papier (épaisseur 800 μm ; $\epsilon_r = 1,8$) .

Toutes ces antennes ont été conçues soigneusement, adapté à la puce Monza Impinj 3 [53], qui a une impédance d'entrée égale à $Z_c = 31 - j 157$ à 866 MHz (fréquence central dans la bande UE).

**FIG 3.20 : Prototype d'un dipôle replié. [54]****FIG 3.21 : Prototype d'une ligne méandre. [54]**

III.3.5.1 Antenne dipôle replié

Cette antenne est un simple dipôle replié, qui a une bande étroite et qui travaille dans la bande européenne 865 -868 MHz dédiée aux applications RFID et la bande 902-928 MHz en USA. La figure donne la structure de ce type d'antenne.

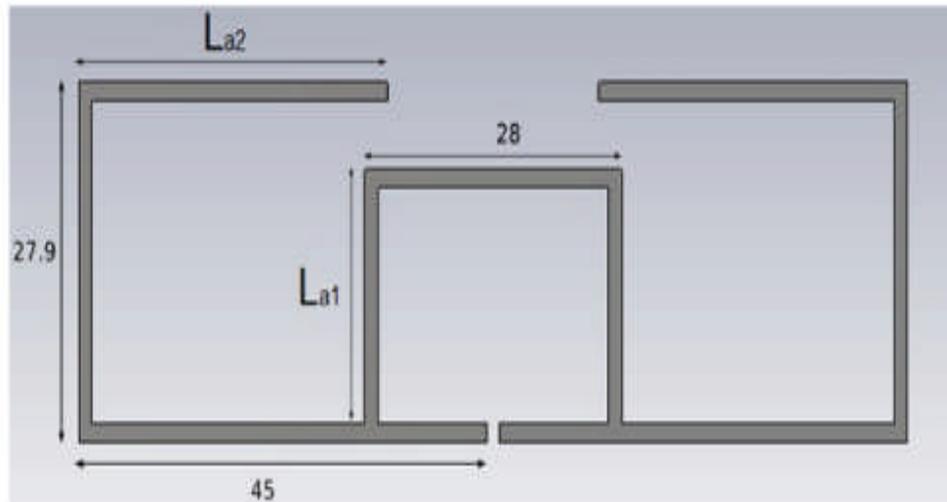


FIG 3.22 : Géométrie de l'antenne proposée. [54]

III.3.5.1.1 Antenne dipôle replié avec du substrat FR4

En premier lieu nous avons simulé cette antenne avec un substrat du FR4 qui a une permittivité relative $\epsilon_r = 3.7$, avec $La1 = 23.83$ mm et $La2 = 23.56$ mm.

La figure ci-dessous représente l'antenne repliée prise en vue de face par le logiciel CST MWS.

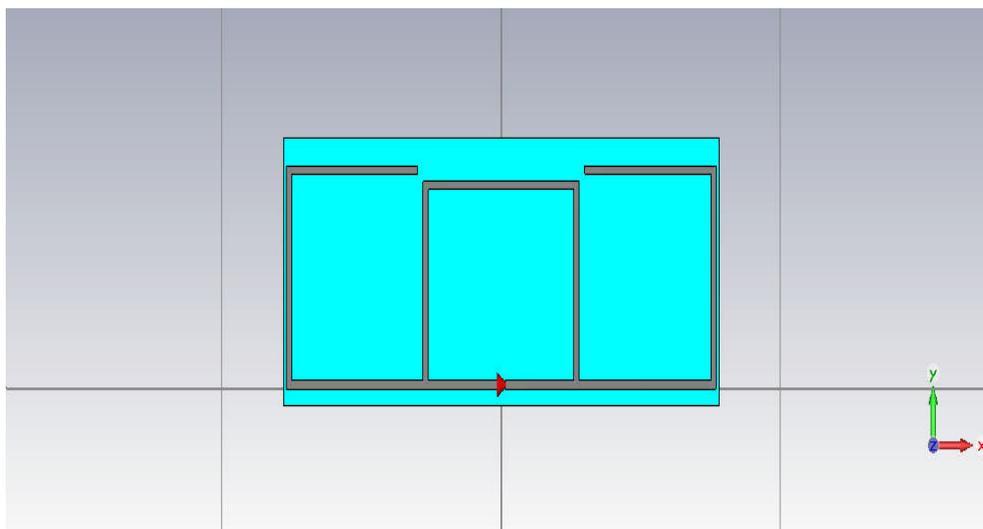


FIG 3.23: L'antenne dipôle replié (substrat FR4) sous le logiciel CST MWS.

Le coefficient de réflexion S_{11} obtenu après la simulation est représenté par la figure ci-dessous :

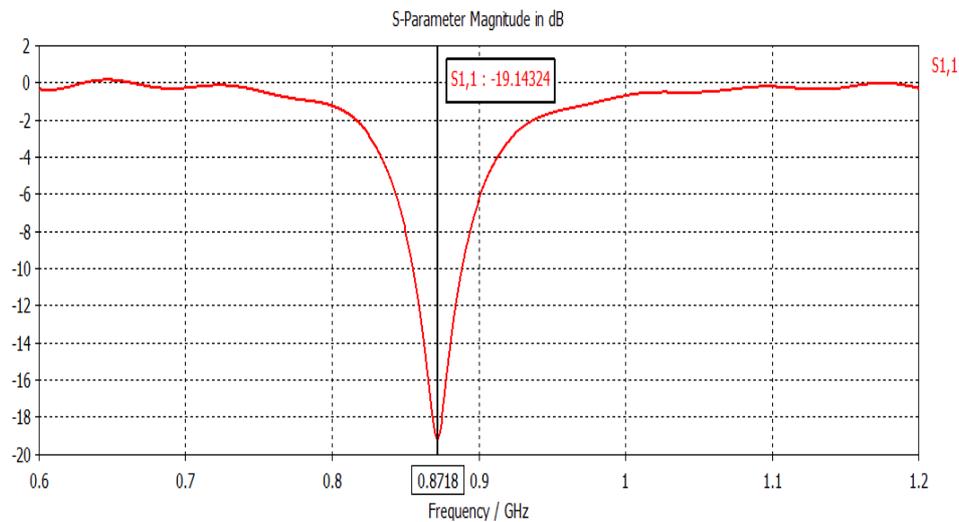


FIG 3.24: Tracé du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence.

Nous observons que la fréquence de résonance est de 871 MHz qui est proche de la fréquence centrale de la bande européenne 866 MHz, avec une adaptation de -19.14 dB.

III.3.5.1.2 Antenne dipôle replié avec un substrat du polyamide

Nous allons étudier la même structure de l'antenne repliée mais avec un substrat qui a une permittivité relative $\epsilon_r = 2,6$ c'est la caractéristique du polyamide. La figure 3.25 prise en perspective de l'antenne dipôle replié sous le logiciel CST MWS.

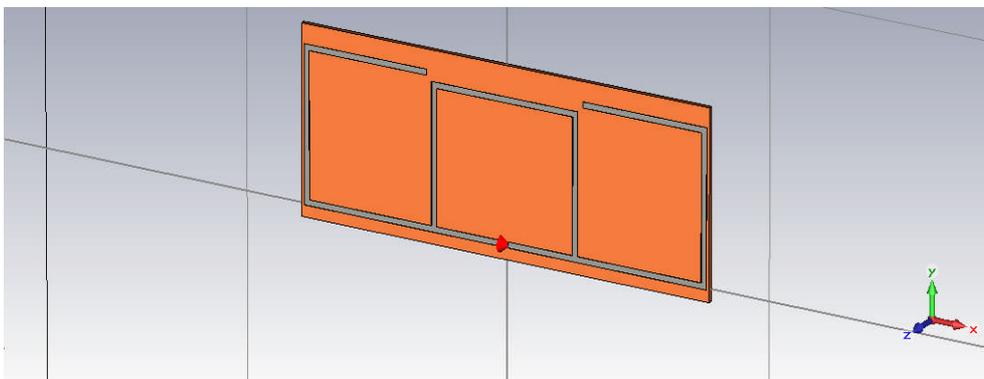


FIG 3.25 : L'antenne dipôle replié avec un substrat de polyamide sous le logiciel CST MWS.

Le coefficient de réflexion S_{11} est donné dans le graphe ci-dessous.

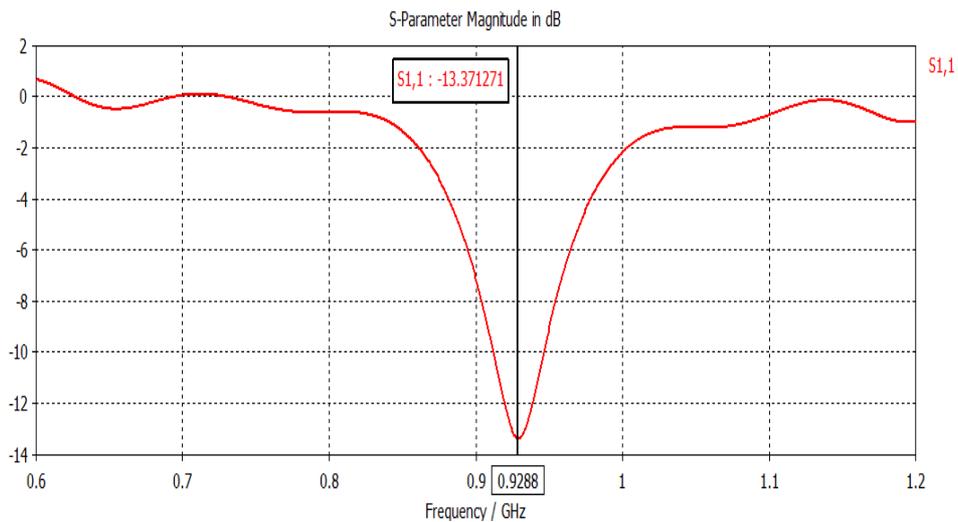


FIG 3.26: Tracé du paramètre S_{11} en fonction de la fréquence en utilisant le polyamide comme substrat.

Dans ce cas, nous obtenons une adaptation de -13.17 dB à la fréquence de résonance 928 MHz.

III.3.5.1.3 Antenne dipôle replié avec un substrat du papier

La figure (3.27) représente l'antenne dipôle replié avec un substrat du papier qui a une permittivité relative $\epsilon_r = 1,8$ conçue par le logiciel CST MWS.

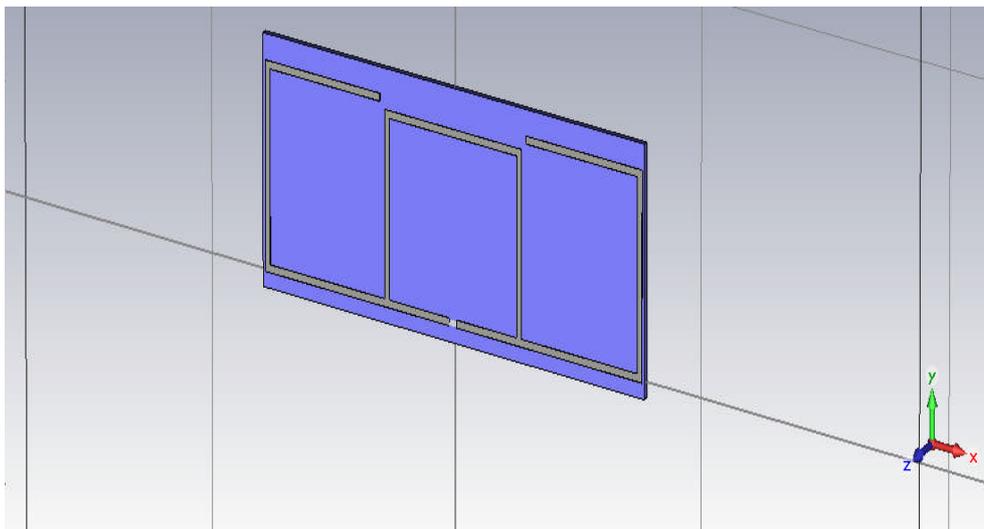


FIG 3.27 : L'antenne dipôle replié avec un substrat du papier sous le logiciel CST MWS.

Après simulation, nous avons obtenu le coefficient de réflexion qui est représenté dans la figure ci-dessous

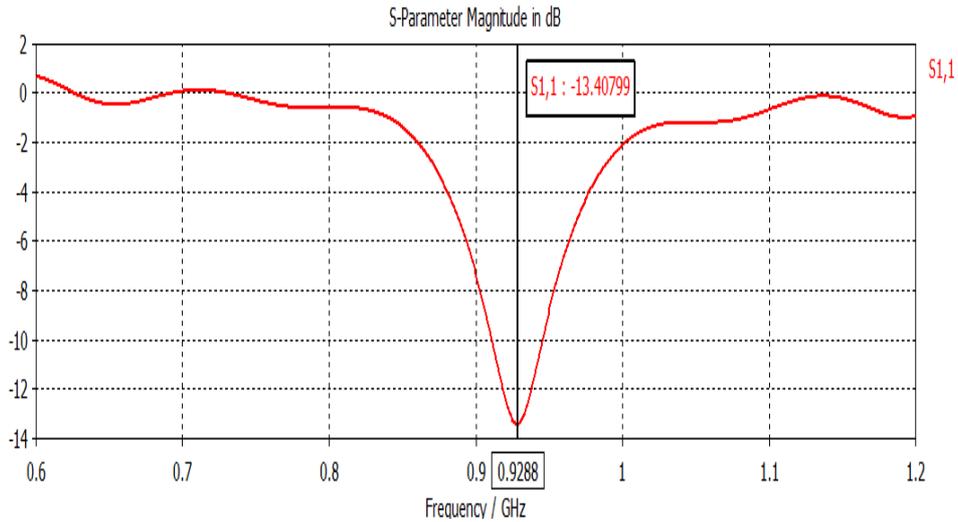


FIG 3.28: Tracé du paramètre S_{11} en fonction de la fréquence en utilisant le papier comme substrat.

Nous avons obtenu un coefficient de réflexion $S_{11} = -13.40$ dB à une fréquence de résonance est de 928 MHz.

III.3.5.1.4 Interprétation générale

Nous remarquons que la permittivité relative du substrat influe sur la fréquence de résonance ainsi que sur le niveau d'adaptation.

III.3.5.2 Cas d'une ligne méandre

Cette deuxième disposition d'antenne est légèrement plus compliquée, et présente une bande étroite. Ce modèle d'antenne a été choisi car il est représentatif d'une grande classe de tags qui font utiliser des lignes serpenteuses. La figure ci-dessous donne la structure de ce type d'antenne.

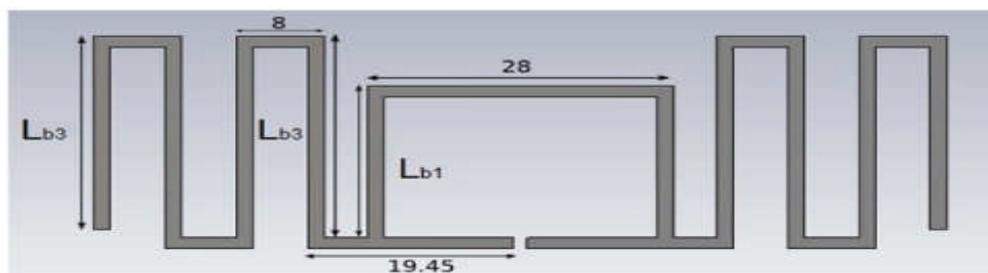


FIG 3. 9: Structure d'une ligne méandre. [54]

III.3.5.2.1 Ligne méandre avec du substrat FR4

Nous avons simulé cette antenne avec le logiciel CST, les dimensions de l'antenne sont : $L_{b1}=18$ mm, $L_{b2}=23$ mm, et $L_{b3}=17$ mm. L'antenne est imprimée sur un substrat FR4 qui a une permittivité relative $\epsilon_r = 3,7$ et d'épaisseur 800 μm . La figure ci dessous représente l'antenne ligne méandre sous le logiciel CST MWS.

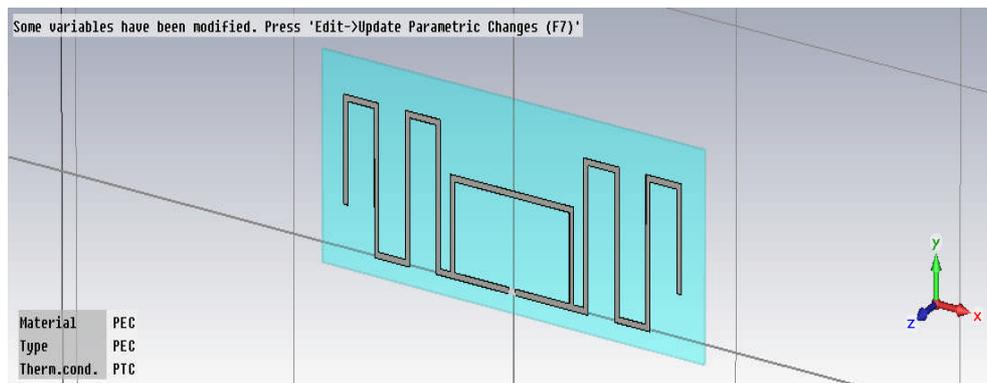


FIG 3.30 : Antenne ligne méandre avec un substrat de FR4 sous le logiciel CST MWS.

Le coefficient de réflexion S_{11} obtenu après la simulation est représenté par la figure ci-dessous :

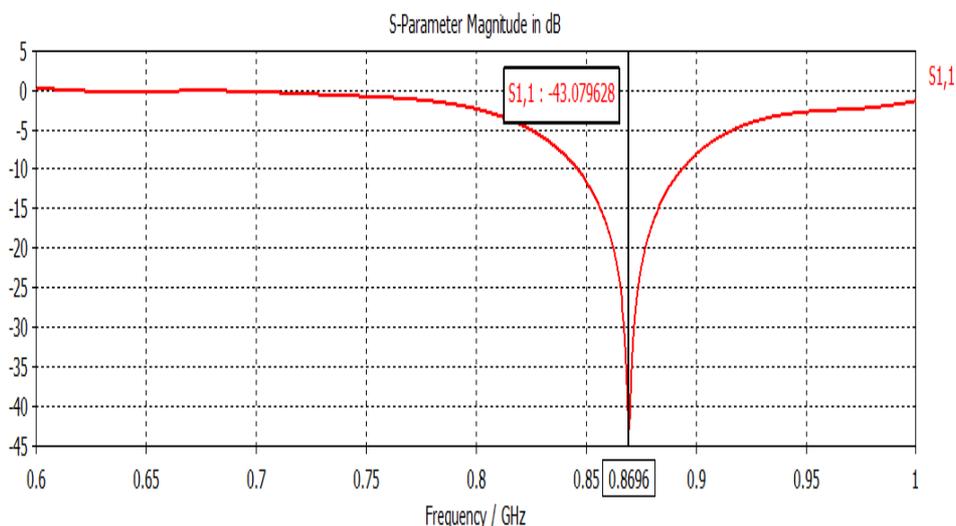


FIG 3.31: Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence.

Nous observons que la fréquence de résonance est de 869,6 MHz qui est proche de la fréquence centrale de la bande européenne 871 MHz, avec une très bonne adaptation de -43.07 dB.

III.3.5.2.2 Antenne ligne méandre avec un substrat du polyamide

Nous allons étudier la même structure de l'antenne repliée mais avec un substrat qui a une permittivité relative $\epsilon_r = 2,6$ c'est la caractéristique du polyamide. La figure 3.32 donne une prise en perspective de l'antenne ligne méandre sous le logiciel CST MWS.

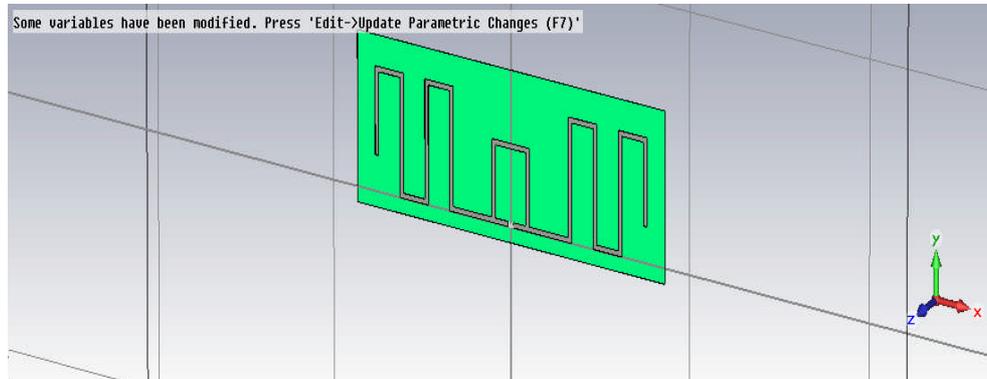


FIG 3.32: L'antenne ligne méandre avec un substrat de polyamide sous le logiciel CST MWS.

Le coefficient de réflexion S_{11} est donné dans le graphe ci-dessous.

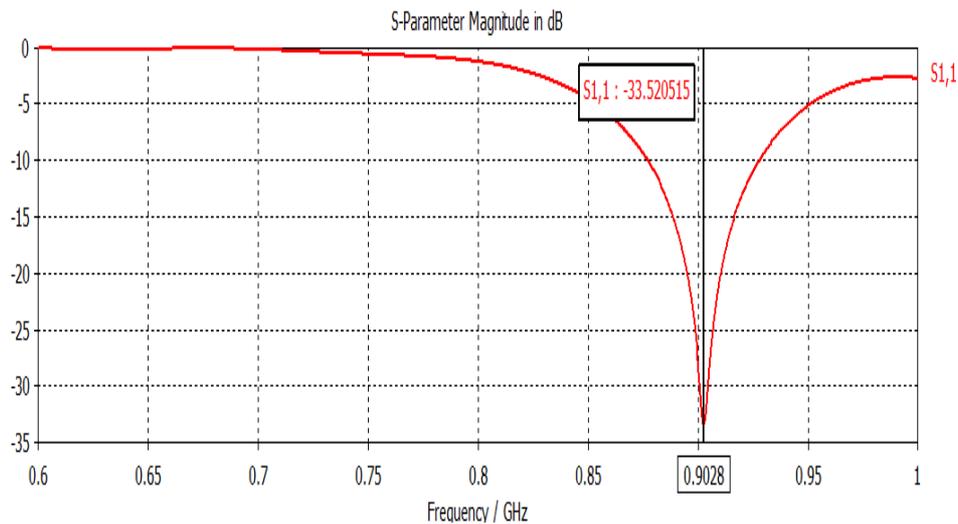


FIG 3.33: Tracé du paramètre S_{11} en fonction de la fréquence en utilisant le polyamide comme substrat.

Dans ce cas nous obtenons une adaptation de -33.52 dB à la fréquence de résonance 902,8 MHz.

III.3.5.2.3 Antenne ligne méandre avec un substrat du papier

La figure 3.34 représente l'antenne ligne méandre avec un substrat du papier qui a une permittivité relative $\epsilon_r = 1,8$, conçue par le logiciel CST MWS.

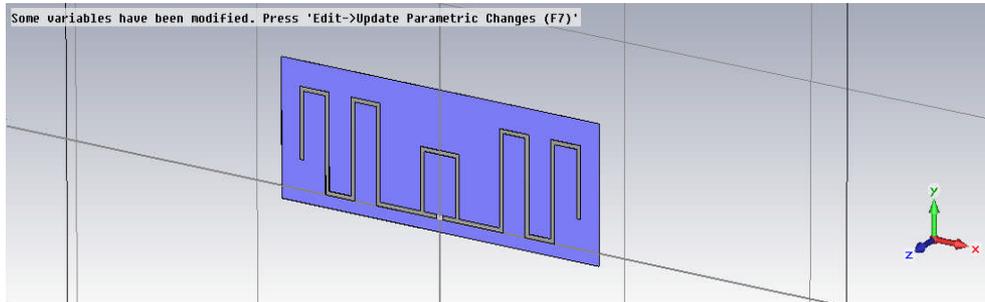


FIG 3.34 : L'antenne ligne méandre avec un substrat du papier sous le logiciel CST MWS.

Après la simulation nous avons obtenu le coefficient de réflexion qui est représenté dans la figure ci-dessous.

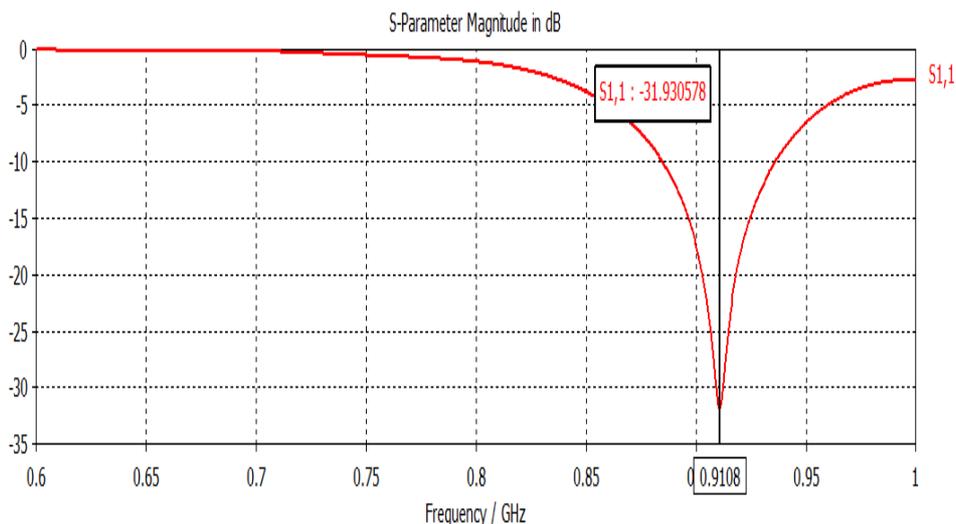


FIG 3.35: Tracé du paramètre S_{11} en fonction de la fréquence en utilisant le papier comme substrat.

Nous avons obtenu un coefficient de réflexion $S_{11} = -31.93$ dB à une fréquence de résonance est de 910,8 MHz.

III.3.5.2.4 Interprétation générale

Nous remarquons que la permittivité relative du substrat influe sur la fréquence de résonance, ainsi que sur le niveau d'adaptation. Plus la permittivité relative diminue plus la fréquence de résonance se décale vers les hautes fréquences et le coefficient de réflexion diminue.

III.3.6 Antenne IFA fonctionne la fréquence 2.4 GHz

La petite taille est parmi les défis de l'antenne de la balise, de nombreuses antennes sont offertes, comme l'IFA (Inverted F Antenna), PIFA (Planar Inverted F Antenna), ILA (Inverted L Antenna), PILA (Planar Inverted F Antenna). Les IFA ont été inspirés par les antennes $\lambda/4$. Ils sont largement répandue dans les applications sans contact grâce à leur performances que pour leur design simple, leur poids léger, leur faible coût etc. La longueur désirée est égale au quart de la longueur d'onde.

L'antenne proposée est une antenne IFA UHF pour les applications RFID. Elle fonctionne à la fréquence 0,4 GHz, et à la fréquence 2,4 GHz. La première fréquence est utilisée pour des applications d'identification et du suivi, la seconde est appropriée pour le paiement des péages routiers à distance, et à l'emplacement en temps réel. [58]

III.3.6.1 Géométrie d'antenne IFA

L'élément rayonnant consiste à empiler une antenne IFA et une antenne ILA, distantes par un distance (d_2). Les paramètres ayant un effet sur la performance d'une IFA sont : la longueur de l'élément (L_1) et la distance de l'ajout de l'élément rayonnant principal (d_2) qui est égale à 4 mm. Le patch est lié au plan de masse par un court-circuit. Cette antenne est imprimée sur un substrat FR4 ayant une permittivité relative $\epsilon_r = 3.7$, et avec une épaisseur $h = 2.4$ mm. La structure de l'antenne est représentée sur la figure (3.27) et ses dimensions sont présentés dans le Tableau (3.4). [58]

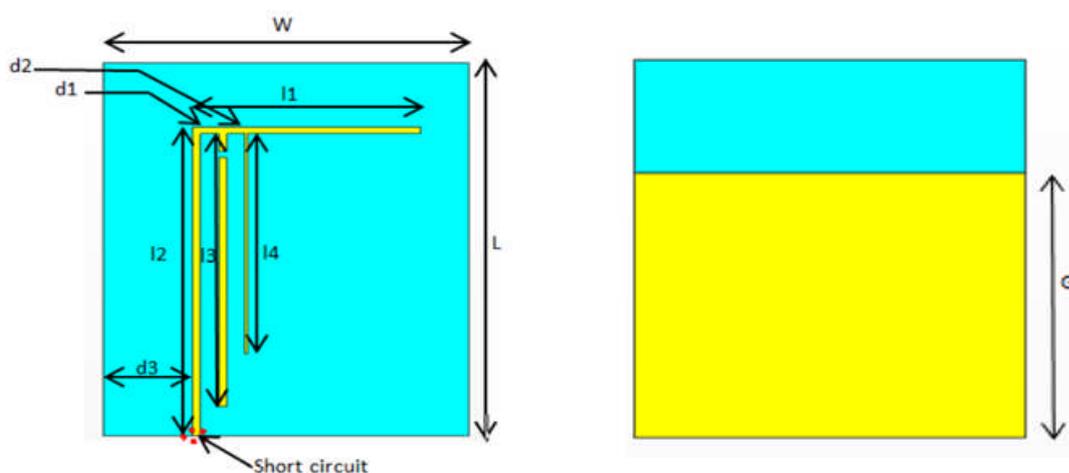


FIG 3.26: La géométrie de l'antenne. [58]

Paramètres	W	L	G	l1	l2	l3	l4	d1	d3
Valeurs (mm)	50	70	50	30	60	50	45	4	17

Tableau 3.4: les dimensions de l'antenne. [58]

III.3.6.2 Simulation et résultat

La figure ci-dessous montre la structure de l'antenne réalisée avec le logiciel CST MWS.

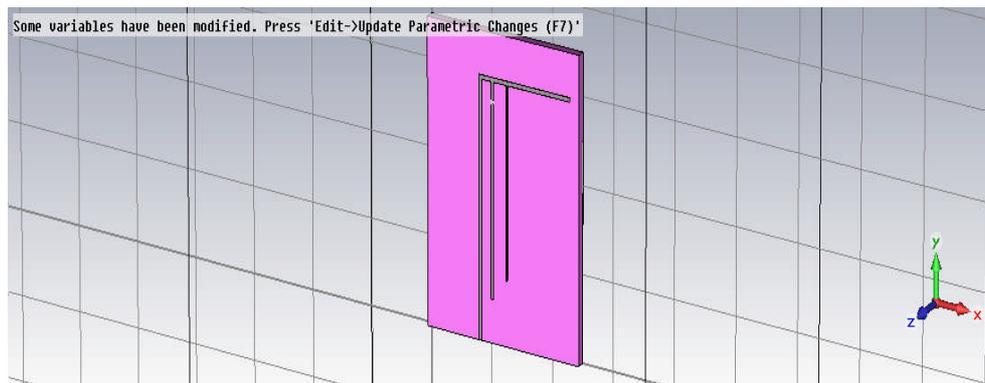


FIG 3.37 : La structure de l'antenne prise par le logiciel CST MWS.

Le coefficient de réflexion S_{11} représenté par la figure 3.38 , nous montre le niveau d'adaptation obtenu par la simulation. Nous avons trouvé une adaptation de -26.35 dB pour la fréquence 2.4 GHz.

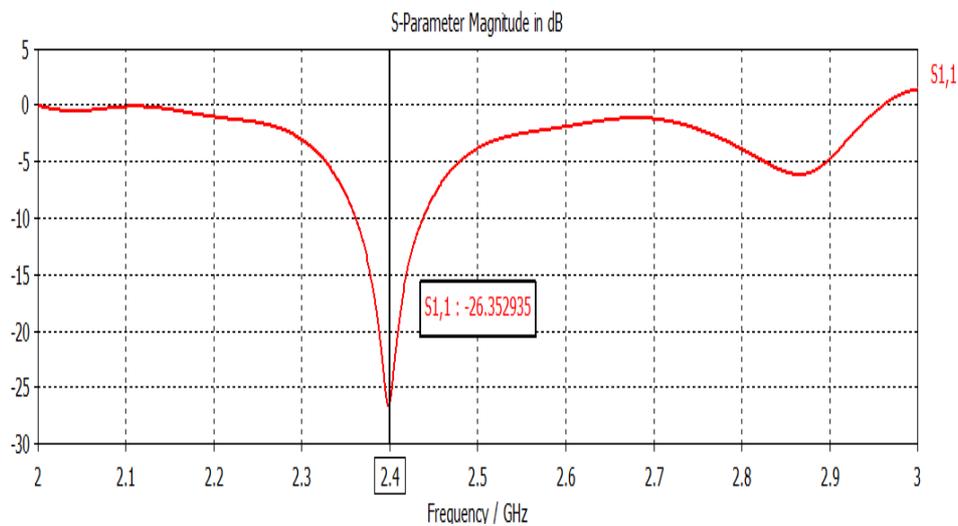


FIG 3.38 : Tracé du paramètre S_{11} en fonction de la fréquence .

III.3.7 Antenne MFNSPA (Minkowski Fractal Nested-Slot Patch Antenna)

Ces antennes sont généralement conçues en utilisant une géométrie symétrique par rapport à la connexion de la puce, un exemple d'une antenne MFNSPA est représenté dans la figure (3.39). [59]

Cette antenne opère dans la bande à 5,8 GHz, connectée à une puce ayant une impédance d'entrée de $10 - j 250 \Omega$.

Le principal avantage de l'utilisation de cette antenne est la géométrie simple, l'intégration facile dans des circuits hyperfréquences, faible coût, facilité de fabrication, et à peu près stable.

L'antenne est imprimée sur un substrat le FR4 d'épaisseur 0.8 mm et sa constante diélectrique ϵ_r est de 2.35. Les dimensions du patch ($30 \times 30 \times 0.8 \text{ mm}^3$) sont représentées dans le tableau (3.5).

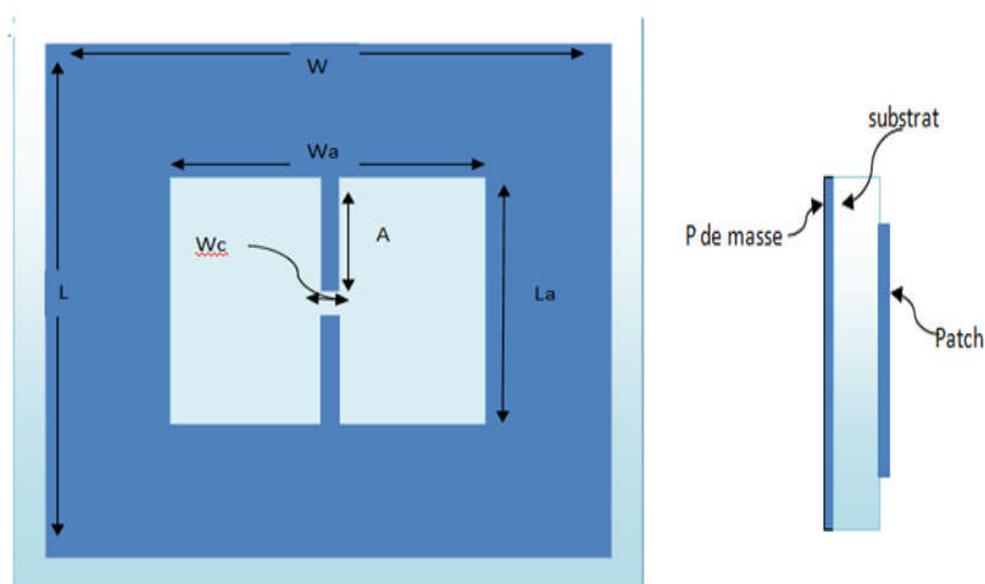


FIG 3.39 : Géométrie d'une antenne MFNSPA.

Paramètres	W	L	Wa	La	Wc	A
Valeur (mm)	30	30	12	12	1	5.5

Tableau 3.5 : dimensions du patch.

III.3.7.1 Simulation et résultat

La structure de l'antenne par le logiciel CST MWS est représentée dans la figure ci-dessous.

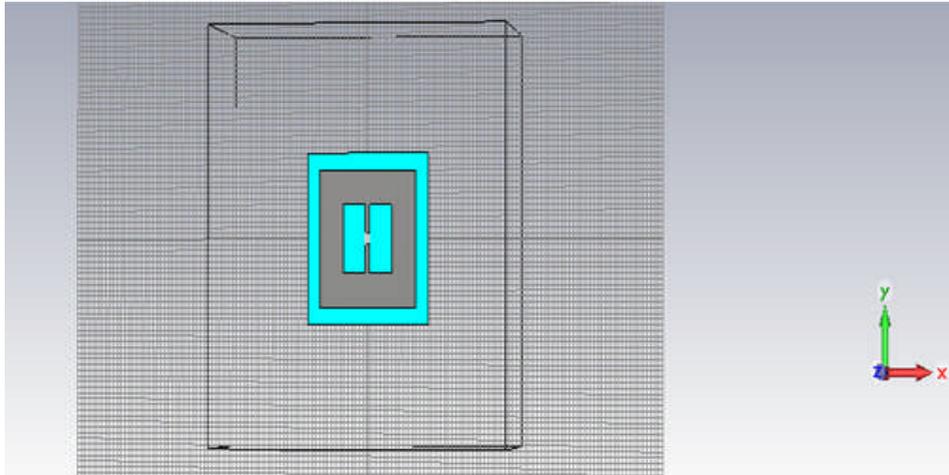


FIG 3.40 : L'antenne MFNSPA en 3D conçue sur CST MWS.

Le coefficient de réflexion est donné dans la figure (3.41).

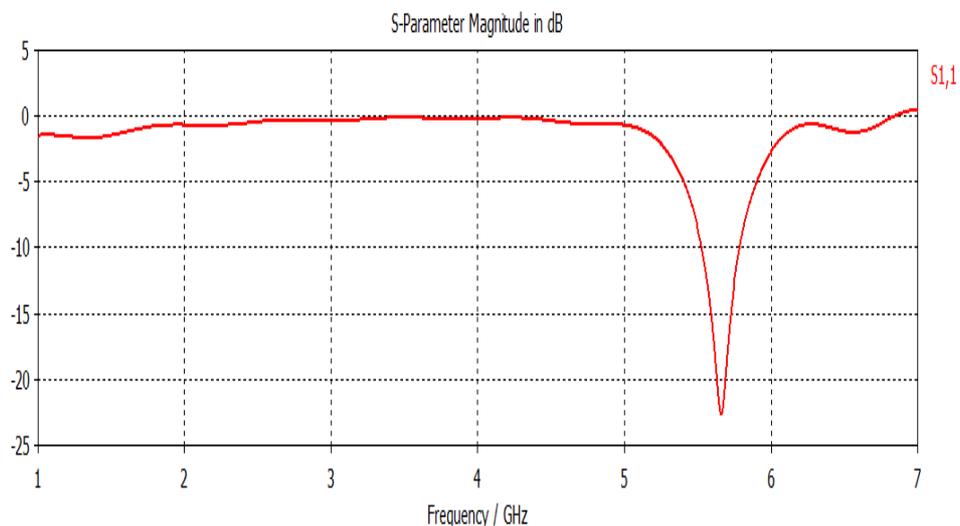


FIG 3.41 : Le tracé du paramètre S_{11} en fonction de la fréquence en GHz.

La bande passante dans cet exemple est de 260 MHz, et le coefficient de réflexion S_{11} dépasse -20 dB.

III.4 Antennes ultra large bande

La communication ULB est étalée sur le spectre allant de 3.1 à 10.6 GHz, cette bande de fréquence inclut la deuxième fréquence WIFI (autour 5.6 GHz). Pour éviter cette bande de fréquence, nous avons étudié une antenne adaptée pour la technologie ULB impulsionnelle qui permet de rejeter cette bande. Cette antenne est présentée dans la référence [55].

Ce type d'antenne peut être mise en œuvre dans un système RFID, au niveau d'un lecteur ou d'un tag. La géométrie d'une telle antenne est présentée dans la figure 3.42.

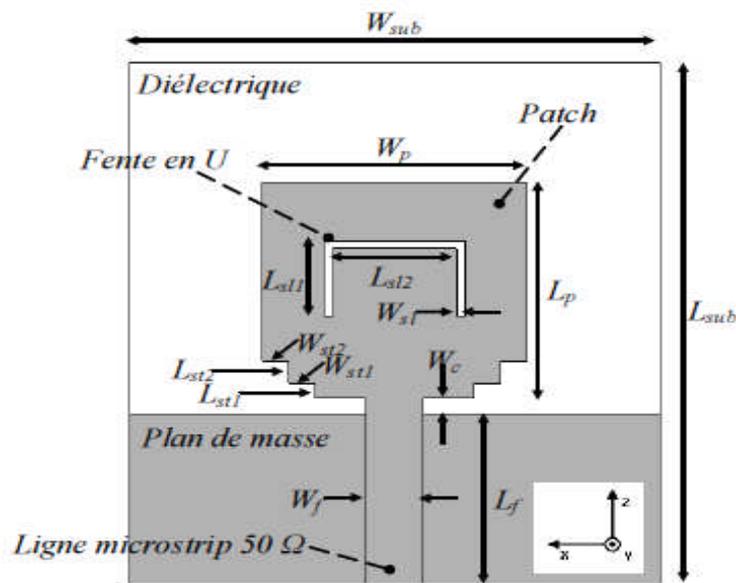


FIG 3.42: Géométrie de l'antenne BLU. [28]

L'antenne que nous avons conçue est inspirée de [56]. Elle est de type monopole, et est réalisée sur un substrat de type FR4. Les dimensions de l'antenne sont données dans le tableau (3.6).

Paramètre	W_{sub}	L_{sub}	W_p	L_p	L_f	W_f	L_{st2}	L_{st1}	L_{sl2}	W_{sl}	W_{st1}	W_{st2}
Valeur (mm)	30	35	15	14.5	12.5	3.2	1.5	1	7.584	0.5	1.5	1.5

Tableau 3.6: Paramètre de l'antenne BLU.

III.4.1 Antenne sans encoches

Nous avons simulé l'antenne BLU avec le logiciel CST sans encoches. La figure ci-dessous représente l'antenne repliée prise en vue de face par le logiciel CST.

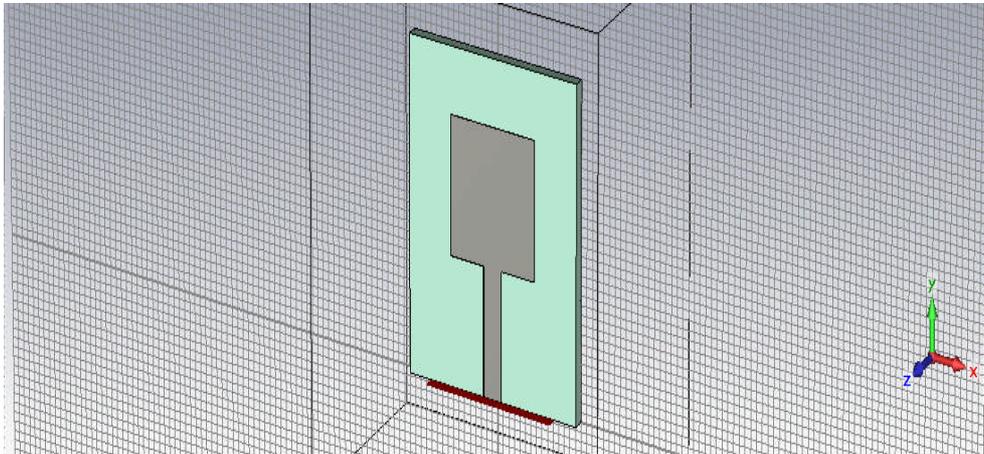


FIG 3.43: Antenne BLU prise en vue de face par le logiciel CST MWS.

Le coefficient de réflexion S_{11} est représenté dans la figure (3.44).

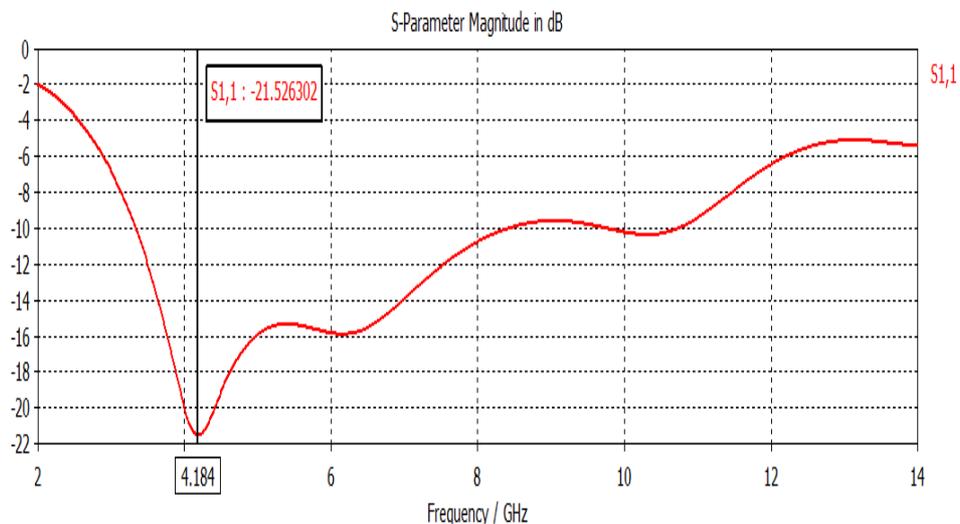


FIG 3.44: Tracé du coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence.

Nous remarquons qu'il n'y a pas une adaptation sur toute la bande BLU, ce qui nécessite d'insérer des encoches.

III.4.2 Antenne BLU avec encoches

La figure (3.45) représente la structure d'antenne ULB avec encoches sous le logiciel CST.

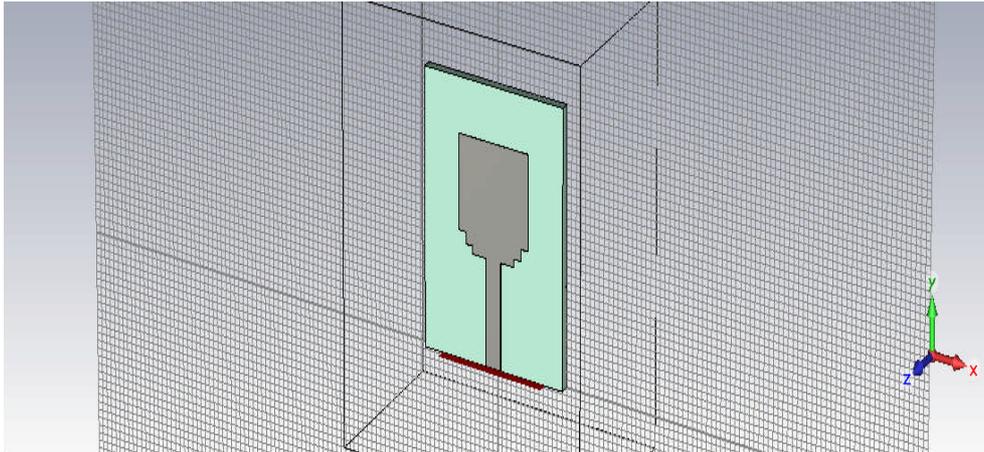


FIG 3.45: Antenne BLU avec encoches (CST MWS).

Après la simulation de cette antenne avec le logiciel CST MWS, nous avons obtenu le résultat sur le coefficient de réflexion S_{11} . La figure ci-dessous représente le tracé du coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence.

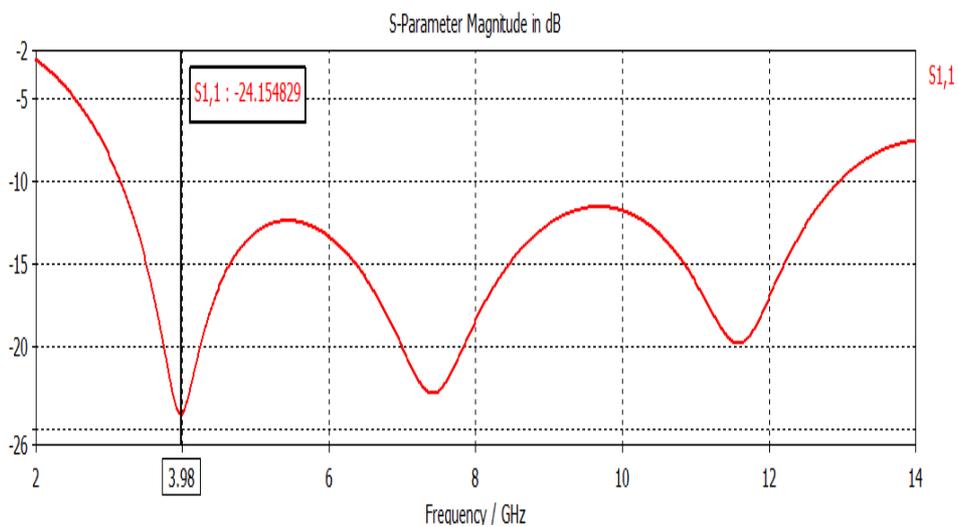


FIG 3.46: Tracé du coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence pour l'antenne BLU avec encoches.

L'adaptation du monopole à la ligne microruban 50Ω sur l'ensemble de la bande ULB est réalisée grâce aux encoches présentes sur la partie inférieure du monopole.

III.4.3 Antenne BLU avec fentes

Après avoir étudié le monopole et son adaptation, nous nous sommes intéressés à la réjection de la bande WiFi autour 5.6 GHz. La réjection de cette

bande a été réalisée par l'adjonction sur le patch d'une fente en « U » permettant de désadapter l'antenne sur la bande de réjection désirée.

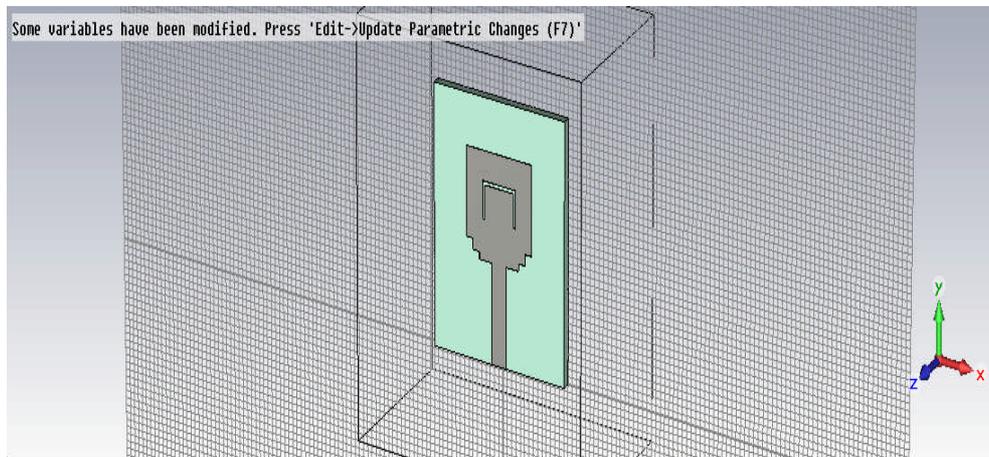


FIG 3.47: Antenne BLU avec fentes (CST MWS).

Après une étude paramétrique sur le coefficient de réflexion la meilleure valeur est celle de $L_{sl2} = 7.584$ mm (figure 3.48). L'effet de cette fente est représenté sur la figure 3.49.

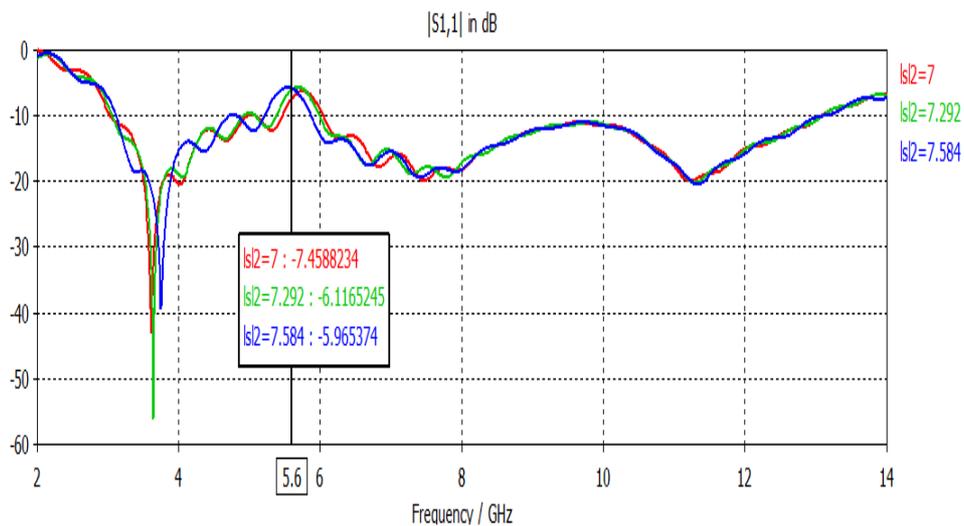


FIG 3.48 : Etude paramétrique sur le coefficient de réflexion de l'antenne BLU avec fentes.

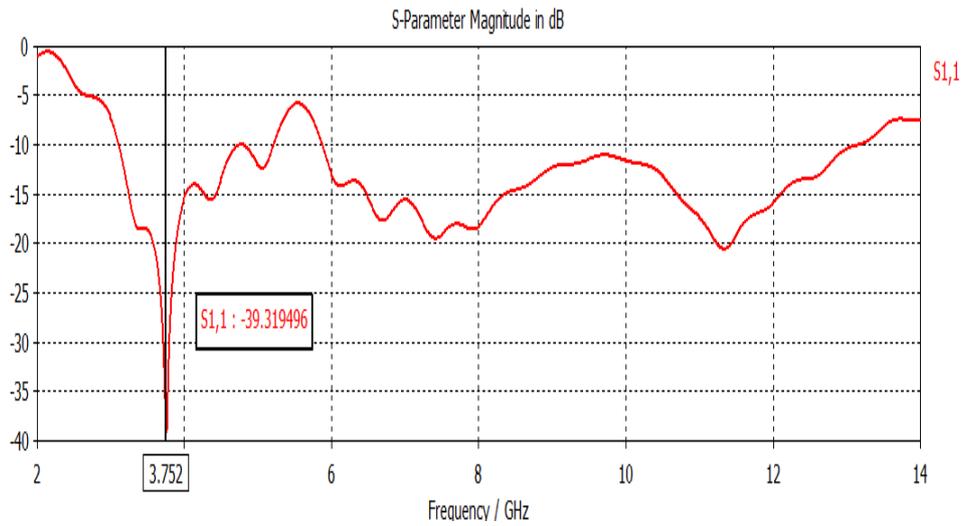


FIG 3.49: Tracé du coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence pour l'antenne BLU avec fentes.

Nous remarquons qu'il y a une adaptation sur toute la bande BLU sauf la bande de WiFi qui est autour 5.6 GHz, grâce aux fentes qui jouent le rôle d'un filtre.

III.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons simulé et analysé quelques types d'antennes imprimées par le logiciel CST. Une brève présentation de ce logiciel est illustrée en annexe. Le choix des structures analysées a été effectué de sorte à montrer l'influence de quelques paramètres (les matériaux du substrat) sur les performances d'une antenne des tags RFID. D'un autre côté, cette antenne porte une charge qui est la puce donc il est primordial d'assurer une adaptation entre elles pour recevoir le maximum d'énergie fournie par le lecteur RFID et obtenir une meilleure qualité de la liaison.

Conclusion générale

Le sujet présenté dans ce mémoire aborde la technologie d'identification par radiofréquence (radio frequency identification RFID). Cette technologie connaît un essor colossal et exige, pour répondre au développement de son marché, la réduction du coût de revient d'une étiquette électronique. En effet, le coût de l'étiquette RFID (tag) doit représenter une part négligeable en comparaison avec le coût du produit qu'elle identifie, un tag RFID est constitué d'une puce électronique, d'un support et d'une antenne. A ce jour, la fabrication des tags RFID adopte les techniques classiques de l'électronique. Une solution pour la réduction du coût de revient d'un tag RFID pourrait venir de l'utilisation des technologies d'impression. L'analyse de certaines structures d'antennes imprimées conçues pour des tags RFID ULB et UHF. Nous nous sommes intéressés à un point essentiel qui est l'adaptation et la compatibilité entre l'antenne et la puce, ainsi que l'influence du matériau du substrat sur les performances de ces antennes.

La réalisation de ce projet a énormément contribué à l'enrichissement de mes connaissances dans plusieurs domaines intéressants. Tant celui d'actualité, qu'est la technologie RFID moderne, que celui des antennes imprimées qu'on retrouve actuellement dans diverses applications. Pour atteindre les objectifs de ce projet, nous avons eu à manipuler le logiciel de conception électromagnétique CST MICROWAVE STUDIO.

Ce travail relève d'un thème difficile à aborder, j'espère l'avoir fait de la plus correcte des manières et que mes lecteurs apprécieront cet effort.

A.1 Présentation du logiciel CST MICROWAVE STUDIO.

CST MICROWAVE STUDIO est un outil spécialisé pour la simulation et la conception électromagnétique en trois dimensions (3D) des composantes hautes fréquences. Il simplifie le processus de saisie de la structure et la définition des équipements en fournissant une interface graphique de modélisation puissante et solide (FIG A.1). Après la modélisation du composant, une procédure de maillage automatique peut être appliquée avant que le moteur de simulation ne soit lancé.

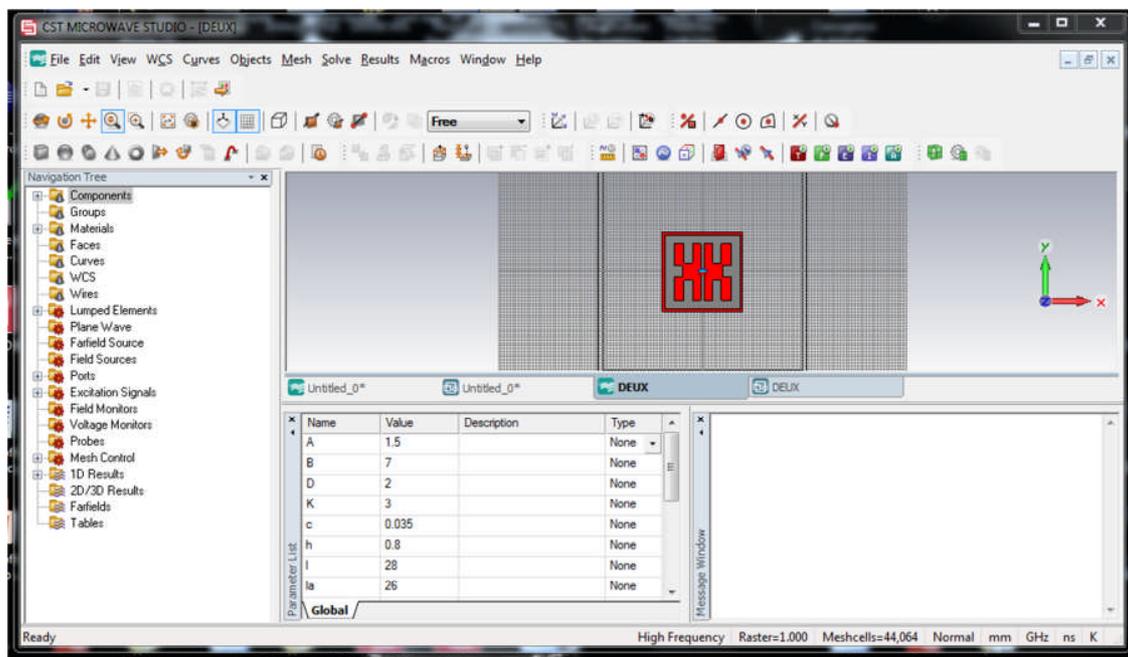


FIG A.1 : Interface graphique de CST MICROWAVE STUDIO.

CST MICROWAVE STUDIO. est un module qui fait partie du logiciel CST STUDIO SUITE, et propose un certain nombre de solveurs pour différents types d'application. Comme aucune méthode ne fonctionne aussi bien dans tous les domaines d'application, le logiciel contient quatre techniques différentes de simulation (solveur transitoire, solveur fréquentiel, solveur d'équation intégrale, et solveur de mode propre) pour mieux répondre aux applications particulières. L'outil le plus flexible est le solveur

Annexe : Définition du logiciel CST

transitoire, qui peut obtenir le comportement fréquentiel pour une large bande de fréquence par une seule et unique simulation (contrairement à l'approche fréquentielle de nombreux autres simulateurs). Il est basé sur la technique FIT (en anglais : Finite Integration Technique) qui a été introduite en électrodynamique plus de trois décennies auparavant . Ce solveur est efficace pour la plupart des types d'applications à haute fréquence tels que des connecteurs, des lignes de transmission, filtres, antennes etc.

Bibliographie

- [1] Rfid For Dummies Par Patrick J Sweeney, 1 edition April 1, 2005.
- [2] Paulin Ilunga Katamba, « Technologie Rfid (Radio Frequency Identification) : Concepts Et Stratégie De Mise En Œuvre », Faculté Des Sciences Et De Génie Université Laval Québec, 2007.
- [3] Zhang Ying,Hu Weisi, Hye Laurent ,Domboue Isaac, « Rapport : Samedi De La Logistique ,Rfid Et Tracabilite », Université De Picardie Jules Verne, Insset,15 Novembre 2008.
- [4] [Http://Www.Aurel32.Net/Elec/Codes_Barres.Php](http://Www.Aurel32.Net/Elec/Codes_Barres.Php) .
- [5] Www.Hitechtools.Com/Rfid.
- [6] Bachoti Youssef,Belhaj Sendague Bassim, Rodrigues Oliveira Joao Gabriel, « Projet Rfid », Projet De Fin D'étude, Télécom Sudparis, Le 25 Janvier 2011.
- [7] Saisine Afsset N°2005/013, « Les Systèmes D'identification Par Radiofréquences (Rfid) : Evaluation Des Impacts Sanitaires »,2009.
- [8] Klaus Finkenzeller, Rfid Handbook: Fundamentals And Applications In Contactless Smart Cards And Identification, John Wiley & Sons, Inc., New York, Ny, 2003.
- [9] Mickael Beaupoil « Tests Et Etude Autour Les Technologies Rfid »,Départements De Télécommunications, Insa Lyon, Décembre 2005 .
- [10] [Http://Www.Mds-Identification.Fr/Technologie-Rfid.Php](http://Www.Mds-Identification.Fr/Technologie-Rfid.Php) .
- [11] Sébastien Kubicki, Yoann Lebrun, Sophie Lepreux, Emmanuel Adam, Christophe Kolski, René Mandiau, « Exploitation De La Technologie Rfid Associée A Une Table Interactive Avec Objet Tangibles Et Traçables. Application A La Gestion De Trafic Routier », Université Lille Nord De France, Décembre 2009 .
- [12] Institut National De La Recherche Et De La Sécurité (Inrs) , La Rfid (Radio Frequency Identification) , Mars 2010 .
- [13] Microsoft Corporation,« Livre Blanc : Rfid, Mode D'emploi » , 2005 .
- [14] Grand Michael, Malar Elise, Pierre Nicolas Fabien, « Application Pour La Gestion D'un Boitier Rfid », Ecole Nationale Supérieure, Bordeaux, 2008 .
- [15] Thomas Huault, « Système Rfid », Master Recherche Optique Et Radio Fréquence,2006 .
- [16] Benoit Pascal, Franchi Jean Christophe, « Rfid Et Service Haute Débit Wimax », 2004.
- [17] [Http://Www.Cosadoca.Ch/Docs/Iflapac08/Iflapac08-Mincio-Materiaux_Txt.Pdf](http://Www.Cosadoca.Ch/Docs/Iflapac08/Iflapac08-Mincio-Materiaux_Txt.Pdf)
- [18] Gérard-André Dessenne, « Normalisation Rfid–Situation 2007 », Valence (France), Juillet – 2007.
- [19] [Http://Www.Erasme.Org/Les-Usages-Des-Rfid](http://Www.Erasme.Org/Les-Usages-Des-Rfid) .
- [20][Http://Www.Techno-Science.Net/?Onglet=Glossaire&Definition=3939](http://Www.Techno-Science.Net/?Onglet=Glossaire&Definition=3939) .
- [21] Epcglobal France « L'identification Par Radio Fréquence Principe Et Applications », Version 4.01, Mars 2004.

Bibliographie

- [22] P. Hauet , « L'identification Par Radiofréquence (Rfid) Techniques Et Perspectives » , Article Invité, Ree No.10, Novembre 2006.
- [23] [Www .Tagproduct.Com](http://www.Tagproduct.Com) .
- [24] [Http://Www.Bioelec.Ch/Cem/Sources/Rfid.Html](http://Www.Bioelec.Ch/Cem/Sources/Rfid.Html) .
- [25] [Http://Www.Telepeagelibert.Com/Decouvrez-Liber-T/Infos-Pratiques.Htm](http://Www.Telepeagelibert.Com/Decouvrez-Liber-T/Infos-Pratiques.Htm) .
- [26] [Http://Www.Commentcamarche.Net/Contents/1028-Rfid-Radio-Frequency-Identification](http://Www.Commentcamarche.Net/Contents/1028-Rfid-Radio-Frequency-Identification) .
- [27] S.Tourette, N.Fortino, J.-Y.Dauvignac, G.Kossiavas, « Compact Uwb Printed Antennas For Low Frequency Applications Matched To Different Transmission Lines », Microwave And Optical Technology Letters, Vol. 49, N.6, Pp.1282-1287, June, 2007.
- [28] Anthony Ghiotti, « Conception D'antenne De Tag Rfid Uhf, Application A La Réalisation Par Jet De Matière », Institut Polytechnique De Grenoble, 26 Novembre 2008.
- [29] [Http://Fr.Wikipedia.Org/Wiki/Antenne_Radio%C3%A9lectrique](http://Fr.Wikipedia.Org/Wiki/Antenne_Radio%C3%A9lectrique) .
- [30] Antenne – Cours Universitaire Préparé Par Dr Youssef Daher Université Libanaise – Faculté De Génie – Branche 1 .
- [31] [Http://Eurinsa.Insa-Lyon.Fr/Lescours/Physique/Appphysique/Appophys/5telecom/Antennes_Melangeur/Appro/Classes/Antennes_Et_Characteristiques.Htm#Les%20caract%C3%A9ristiques%20des%20antennes](http://Eurinsa.Insa-Lyon.Fr/Lescours/Physique/Appphysique/Appophys/5telecom/Antennes_Melangeur/Appro/Classes/Antennes_Et_Characteristiques.Htm#Les%20caract%C3%A9ristiques%20des%20antennes).
- [32] Emmanuel Rodes , « Nouveaux Concepts D'antenne A Base De Matériaux Bie Métalliques. Application Aux Réseaux De Telecommunications », Université De Limoges Faculté Des Sciences Et Techniques, 28 Novembre 2006 .
- [33] Constantine A. Balanis Antenna Theory, Analysis And Design. Second Edition . [34] Alexander Kuchar, Rapport De Thèse : Aperture-Coupled Microstrip Patch Antenna Array Technic University Of Wien – March – 1996 .
- [35] David M. Pozar & Daniel H. Schaubert Microstrip Antennas: The Analysis And Design Of Microstrip Antennas And Arrays .
- [36] Application Of Antenna Arrays To Mobile Communications, Part I: Performance Improvement, Feasibility, And System Considerations Ieee, Vol. 85, No. 7, July 1997 .
- [37] D. M. Pozar, “Microstrip Antennas,” Proc.Ieee, Vol. 80, No. 1, Pp. 79-80, January 1992 .
- [38] C.M. Krowne “Cylindrical-Rectangular Microstrip Antenna,” IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. Ap-31, No. , Pp.194-199, January 1983 .
- [39] I. Lier & K. R. Jakobsen Rectangular Microstrip Patch Antennas ,”With Infinite And Finte Ground Plane Dimensions,” Ieee Trans. Antennas Propagat., Vol. Ap-31, No.6, Pp.978-984, November 1983.
- [40] J.C. Niepce J.M. Haussonne , « Batio₃ : Matériaux De Base Pour Les Condensateurs Céramiques », Collection Forceram , Edition Septima , 1994.

Bibliographie

- [41] K. R. Carver & J. W. Mink "Microstrip Antennas Technology," *Ieee Trans. Antennas Propagat.*, Vol. Ap-29, No.1, Pp.2-24, January 1981.
- [42] P. B. Katechi & N. G. Alexopolus, « On The Modeling Of The Electromagnetically Coupled Microstrip Antennas – The Printed Strip Dipole, » *Ieee Trans. Antennas Propagat.*, Vol. Ap-32, No.11, Pp.1179- 1186, November 1984.
- [43] D. H. Schaubert, D. M. Pozar & A. Adrian « Effect Of Microstrip Antenna Substrate Thickness And Permittivity: Comparison Of Theories And Experiment, *Ieee Trans. Antennas Propagat.* », Vol. Ap-37, No.6, Pp.677- 682, June 1989.
- [44] Ziani Kerarti Djalal, « Etude Et Conception D'antennes Ultra Large Bande », Université Abou Bakr Belkaid-Tlemcen, 2011.
- [45] Laurence Babour, « Etude Et Conception D'antennes Ultra Large Bande Miniaturisées En Impulsionnel », Institut Polytechnique De Grenoble, Mai 2009.
- [46] Nicolas Fortino, « Conception Et Caractérisation D'antennes Imprimées Pour Systèmes Ultra Large Bande Impulsionnels », Université De Nice-Sophia Antipolis Ufr Sciences, Février 2006.
- [47] Lauri Sydänheimo, Leena Ukkonen, Markku Kivikoski, « Effects Of Size And Shape Of Metallic Objects On Performance Of Passive Radio Frequency Identification », Springer-Verlag London Limited 2005.
- [48] Heng-Tung Hsu, Senior Member, IEEE, Cheng-Hung Chang, Student Member, IEEE, « Quasi Log-Periodic Antenna For Passive Uhf Rfid Tags », Department Of Communications Engineering, Yuan Ze University, No. 135, Yuan-Tung Rd., ChungLi, Taiwan, R.O.C.
- [49] C. Cho, H. Choo, And I. Park, « Broadband Rfid Tag Antenna With Quasi-Isotropic Radiation Pattern, » *Electronics Letters*, Volume 41, No. 20, 29 September, 2005, Pp. 1091-1092.
- [50] K. V. Seshagiri Rao, Pavel V. Nikitin And Sander F. Lam, "Antenna Design For Uhf Rfid Tags: A Review And A Practical Application," *Ieee Transactions On Antennas And Propagation*, Volume 53, No. 12, December 2005, Pp. 3870-3876.
- [51] Heng-Tung Hsu, Jame Rautio And San-Wen Chang, "Novel Planar Wideband Omni-Directional Quasi Log-Periodic Antenna," 2005 Asia Pacific Microwave Conference Proceedings, *Apmc 2005*, Volume 4, 4-7 December, 2005.
- [52] Dobkin, D. M., *The Rf In Rfid: Passive Uhf Rfid In Practice*, Elsevier/Newnes, 2007.
- [53] Impinj Uhf Rfid Products Homepage, Last Accessed: Apr. 2012, [Http://www.Impinj.Com](http://www.impinj.com).
- [54] « Smart Prototyping Techniques For Uhf Rfid Tags: Electromagnetic Characterization And Comparison With Traditional Approaches », *Progress In Electromagnetics Research*, Vol. 132, 91-111, 2012.
- [55] T.P. Vuong , A. Ghiotto , Y. Duroc, S. Tedjini , « Design And Characteristics Of A Small U-Slotted Planar Antenna For Ir Uwb », *Wiley, Microwave And Optical Technology Letters*, Vol.19, Issue 7,Pp.1727-1731,July 2007.

Bibliographie

[56] S.H Choi , J.K Park , S.K Kim, J.Y Park, « A New Ultra-Wideband Antenna For Uwb Applications » , Microwave And Optical Technology Letters, Wiley, Vol.40, No 5, Mar. 5 2004 .

[57] L. Catarinucci, S. Tedesco, D. De Donno, And L. Tarricone, « Platform-Robust Passive Uhf Rfid Tags: A Case-Study In Robotics », Department Of Innovation Engineering, University Of Salento, Via Per Monteroni, Lecce 73100, Italy, 2012.

[58] F.Z. Marouf, N.Hassaine-Seladji, F.T.Bendimerad, « Dual Tag Antenna For Uhf Rfid Applications », International Journal Of Computer Applications (0975 –8887) Volume 46–No.23, May 2012, Tlemcen University, 2012.

[59] D. K. Naji, J. S. Aziz, R. S. Fyath, « Design Of Miniaturized Fractal Rfid Tag Antenna With Forced Impedance Matching », International Journal Of Electromagnetics And Applications 2012, 2(5): 129-139, College Of Engineering, Al-Nahrain University, Baghdad, Iraq.

[60] Munam Butt, « Systemization Of RFID Tag Antenna Design Based On Optimization Techniques And Impedance Matching », Department Of Electrical Engineering And Computer Science, Faculty Of Engineering ,University Of Ottawa, Canada , April , 2012.