



Université A. MIRA-BEJAIA

Faculté de Technologie

Département de Génie Electrique

Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme de Master en télécommunication

Spécialité : Systèmes des télécommunications

Thème

Conception d'un Tag RFID à polarisation circulaire sous CST

❖ **Etudiants**

Mlle AOUDJ Louiza

Mr BOUROUBA M^d Ameziane

❖ **Devant le jury composé de**

- ✓ **Président** : Mr TOUNSI Mohamed.
- ✓ **Examinatrice** : Mme BOUNCER Samira.
- ✓ **Promotrice** : Mme HAMZAOUI Dahbia.

Promotion 2018/2019

Remerciements

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui nous voudrions témoigner toute notre gratitude.

Nous tenons tout d'abord à adresser toute notre reconnaissance à la directrice de ce mémoire, Madame Dahbia HAMZAOUI, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter nos réflexions.

Nous adressons nos sincères remerciements à tous les intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont contribué à l'aboutissement de ce travail.

Nous remercions nos très chers parents, qui ont toujours été là pour nous, ainsi que nos frères et sœurs pour leurs soutiens et encouragements.

Enfin, nous remercions nos amis qui ont toujours été là pour nous. Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide.

À tous ces intervenants, nous présentons nos remerciements, notre respect et notre gratitude.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail avec grand amour :

A mes chers parents qui m'ont toujours soutenue et encouragée pour aller de l'avant et qui m'ont donné tous leurs amours pour réaliser mes rêves.

A ma chère sœur CIMONE, titre de mon enfance, adolescence et toute ma vie. Qui est toujours présente à mes côtés dans le pire et dans la joie.

A mon cher frère MALIK, Le benjamin de la fratrie, pour sa présence, son écoute et sa confiance permanente.

A tous les membres de la famille AOUDJ, HAMMICHE.

A ma chère complice BOUDIA Sonia, pour une véritable amitié et rare.

A tous mes chers amis, avec qui j'ai et compte partager une partie de ma vie. Il m'est très difficile de remercier individuellement tout le monde. Prenant le risque de faire de nombreux jaloux.

Sans oublier tous mes professeurs de tous mon parcours pédagogique qui ont fait correctement leur travail.

Louiza

DEDICACES

Je dédie ce modeste mémoire :

A mes adorables parents Hamid et Fatiha qui m'ont toujours encouragé durant toute ma vie.

A mes deux sœurs Cylia et Tina à qui je souhaite beaucoup de bonheur et de réussite.

A tous mes ami(e)s et à toutes les personnes qui ont une place spéciale dans mon cœur et ma vie.

Meziane

RFID : Identification par Radio Fréquence (Radio Frequency Identification).

IFF : Identification : Ami ou Ennemi (Identify : Friend or Foe).

ROM : Mémoire morte (Read Only Memory).

RAM : Mémoire vive (Random Access Memory).

OS : Système d'exploitation (Operating System).

RF : Radio fréquence (Radio Frequency).

BF : Basse Fréquence (Low frequency).

HF : Haute Fréquence (high frequency).

UHF : Ultra Haute Fréquence (Ultra high frequency).

SHF : Supra Haute Fréquence (Supra high frequency).

ISO : Organisation International de Normalisation (International Organization for Standardization).

GPS : Système mondial de positionnement (Global Positioning System).

ROS : Rapport d'Onde Stationnaire (Robot Operating System).

BP : Bande Passante (Bandwidth).

TOS : Taux d'Onde Stationnaire (Standing wave ratio).

Chapitre I : Etat de l’art de la technologie RFID

Figure I.1 : Lecteur et tag RFID..... 3

Figure I.2 : Schéma général d’un système d’identification par radiofréquence 6

Figure I.3 : Lecteur RFID portable 7

Figure I.4 : Lecteur RFID fixe 8

Figure I.5 : Tag RFID passif 9

Figure I.6 : Représentation des deux types de tags RFID semi-actif et actif..... 10

Figure I.7 : Classification des tags RFID 11

Figure I.8 : La technologie RFID dans le jardinage..... 12

Figure I.9 : Système de péage automatique 13

Figure I.10 : Contrôle d’accès par bracelet RFID 14

Figure I.11 : Puce RFID sous-cutanée 15

Chapitre II : Paramètres et caractéristiques des antennes

Figure II.1 : Illustration du paramètre S_{11} 18

Figure II.2 : Coefficient de réflexion en puissance sur un Abaque de Smith 20

Figure II.3 : Illustration de la bande passante d’une antenne à -10dB 21

Figure II.4 : Illustration du diagramme de rayonnement en 3D 22

Figure II.5 : Illustration de la directivité en 2D 23

Figure II.6 : Illustration de l’angle de l’ouverture en 2D d’une antenne YAGI 24

Figure II.7 : Répartition des différents porteurs de données RFID 26

Figure II.8 : Circuits électriques équivalent de la puce 27

Figure II.9 : Modèle circuit d’un tag RFID constitué d’une antenne dipôle adaptée par une inductance série 29

Figure II.10 : Illustration d’une antenne dipôle adaptée par une inductance série 29

Figure II.11 : Modèle circuit d’un tag RFID constitué d’une antenne dipôle adaptée par une inductance parallèle sans perte 30

Figure II.12 : Illustration d'une antenne dipôle adaptée par une inductance parallèle.....	30
Figure II.13 : Modèle circuit d'un tag RFID constitué d'une antenne dipôle couplée à une boucle inductive	31
Figure II.14 : Illustration d'une antenne dipôle adaptée par couplage	31
Figure II.15 : Illustration des deux composantes (θ , φ)	32
Figure II.16 : Illustration des deux cas particuliers de la polarisation linéaire.....	34
Figure II.17 : Illustration des deux types de polarisation elliptique	35
Figure II.18 : Illustration des deux types de polarisation circulaire	36
Figure II.19 : Les deux modes de fonctionnement d'une antenne hélice	37
Figure II.20 : Antenne tourniquet avec réflecteurs.....	38
Figure II.21 : Patch carré à polarisation circulaire à double excitation.....	39
Figure II.22 : Exemples de dissymétrie permettant d'obtenir une polarisation circulaire à partir d'une excitation unique.....	39

Chapitre III : Conception et simulation

Figure III.1 : CST Microwave Studio.....	41
Figure III.2 : Méthodologie de conception de l'antenne	42
Figure III.3 : Tag RFID sous forme de boucle carré	43
Figure III.4 : Dimensions de l'antenne.....	45
Figure III.5 : Alimentation de l'antenne par un port discret.....	46
Figure III.6 : Lumped element.....	46
Figure III.7 : Le coefficient de réflexion S_{11} de l'antenne	48
Figure III.8 : Impédance caractéristique sur l'Abaque de Smith	49
Figure III.9 : Le rapport axial (RA) pour la polarisation circulaire gauche.	50
Figure III.10 : Le rapport axial (RA) en fonction de la fréquence	51
Figure III.11 : Champ électrique E pour différentes phases.....	52
Figure III.12 : Champ magnétique H pour différentes phases.	53
Figure III.13 : Courant de surface pour différentes phases.	54

Figure III.14 : Diagramme de rayonnement en 3D de l'antenne sur le plan xy.	55
Figure III.15 : Diagramme de rayonnement en 3D de l'antenne sur le plan xz.	55
Figure III.16 : Structure de l'antenne.	56
Figure III.17 : Coefficient de réflexion S11 et bande passante de l'antenne.....	57
Figure III.18 : Impédance caractéristique de l'antenne à polarisation circulaire droite.	57
Figure III.19 : Rapport axial pour la polarisation circulaire droite.	58
Figure III.20 : Courant de surface pour différentes phases de l'antenne à polarisation circulaire inverse.	59

Chapitre I : Etat de l'art de la technologie RFID

Tableau I.1 : Gammes des fréquences dans les différentes régions du..... 6

Chapitre II : Paramètres et caractéristiques des antennes

Tableau II.1 : Exemple de puces RFID-UHF disponible dans le marché 27

Tableau II.2 : Pertes dues à un mauvais choix de polarisation..... 36

Chapitre III : Conception et simulation

Tableau III.1 : Dimensions en mm de la boucle carrée..... 42

Tableau III.2 : Dimensions en mm des deux bandes d'alimentation 43

Tableau III.3 : Dimensions en mm du stub 43

Tableau III.4 : Dimensions en mm du substrat 43

Tableau III.5 : Etude paramétrique par rapport au substrat 46

Tableau III.6 : Etude paramétrique par rapport au stub 46

Remerciement	I
Liste des abréviations	II
Liste des figures	III
Liste des tableaux	IV
Table des matières	V
Introduction générale	1

Chapitre I : Etat de l'art de la technologie RFID

I.1. Introduction	3
I.2. Définition de la technologie RFID	3
I.3. Historique de la RFID	4
I.4. Principe de fonctionnement	4
I.5. Fréquences d'utilisation	6
I.6. Les différents composants d'un système RFID	7
I.6.1. Le Lecteur RFID	7
I.6.1.a. Lecteurs portables	7
I.6.1.b. Lecteur fixe	7
I.6.2. Le tag RFID	8
I.7. Types de tags RFID	8
I.7.1. Tag RFID passif	8
I.7.2. Tag RFID semi-passif ou semi-actif	9
I.7.3. Tag RFID actif	10
I.8. Applications de la RFID	11
I.8.1. La distribution	11
I.8.2. Limiter les pertes de bagages	12
I.8.3. Jardinage technologique	12
I.8.4. Péages et gestion du trafic	13

I.8.5. Le contrôle d'accès.....	14
I.8.6. Les animaux	14
I.8.7. Pièces d'identité	15
I.8.8. Le corps humain	15
I.9. Conclusion	16

Chapitre II : Paramètres et caractéristiques des antennes

II.1. Introduction	17
II.2. Paramètres fondamentaux des antennes Tag RFID	17
II.2.1. Les paramètres circuits	17
II.2.1.a. Coefficient de réflexion S_{11}	17
II.2.1.b. Rapport d'onde stationnaire ROS	19
II.2.1.c. Impédance d'entrée Z_a	19
II.2.1.d. Coefficient de transmission T	20
II.2.1.e. Bande passante BP	21
II.2.2. Les paramètres de rayonnement	22
II.2.2.a. Diagramme de rayonnement	22
II.2.2.b. Directivité.....	22
II.2.2.c. Angle d'ouverture.....	23
II.2.2.d. Gain	24
II.2.2.e. Efficacité de rayonnement	25
II.2.3. Les paramètres de réception	25
II.3. La puce dans les systèmes RFID	26
II.4. Modélisations électriques des puces RFID passives	27
II.5. Adaptation d'impédance des antennes dipôles	28
II.5.1. Adaptation par éléments séries	28
II.5.2. Adaptation par éléments parallèle	30
II.5.3. Adaptation par couplage	31

II.6. Polarisation	32
II.6.1. Polarisation linéaire.....	33
II.6.2. Polarisation elliptique	34
II.7. Pertes de transmission dues à une différence de polarisation.....	36
II.8. Antenne à polarisation circulaire	37
II.8.1. Antenne Hélice.....	37
II.8.2. Antenne tourniquet.....	37
II.8.3. Antennes patch.....	38
II.9. Conclusion	40

Chapitre III : Conception et simulation

III.1. Introduction	41
III.2. Présentation du logiciel et méthodologie de conception	41
III.3. Conception de l'antenne	43
III.4. Résultats de simulation.....	47
III.4.1. Etude paramétrique.....	47
III.4.2. Polarisation circulaire gauche (du point de vue du récepteur)	48
III.4.2.a. Coefficient de réflexion S_{11}	48
III.4.2.b. Abaque de Smith	49
III.4.2.c. Rapport axial.....	49
III.4.2.d. Champ électrique E	52
III.4.2.e. Champ magnétique H	53
III.4.2.f. Courant de surface	54
III.4.2.g. Diagramme de rayonnement	55
III.4.3. Polarisation circulaire droite (du point de vue du récepteur)	56
III.4.3.a. Structure de l'antenne.....	56
III.4.3.b. Coefficient de réflexion S_{11}	57
III.4.3.c. Abaque de Smith	57

Table des matières

III.4.3.d. Rapport axial	58
III.4.3.f. Courant de surface	59
III.5. Conclusion.....	60
Conclusion générale	61
Bibliographie	
Résumé	

Introduction générale

Introduction générale

Durant la seconde guerre mondiale, les Etats-Unis avaient beaucoup d'accidents qui survenaient à cause d'avions qui s'entre-détruisaient. Dès lors la flotte a été équipée de systèmes qui permettent d'identifier un avion ennemi ou ami : d'où le nom IFF pour Identity Friend or Foe. Ce système s'est répandu pour être utilisé dans le parachutage mais aussi dans le bombardement aveugle. C'est de là qu'a germé les débuts de la RFID bien sûr comme beaucoup d'autres technologies destinées aux premiers abords au domaine militaire.

Au fil du temps, la technologie n'a jamais cessé de croître, ce développement a permis le remplacement des anciennes techniques d'identification par la RFID dite Radio Frequency Identification.

Les antennes RFID trouvent leurs applications dans tous les domaines allant de la traçabilité des produits et marchandises à la logistique, la médecine, le contrôle du trafic, etc. Le plus souvent les tags existant sur le marché ont une polarisation linéaire, d'où une lecture conditionnée par l'orientation spécifique du tag aussi bien que le lecteur pour qu'il y ait lecture. Un tag à polarisation circulaire s'avère donc une solution, ceci va permettre d'améliorer les conditions de lecture quelle que soit la disposition du tag.

L'objectif majeur de notre étude est la mise en œuvre d'un tag-RFID performant à polarisation circulaire, et l'exposition de ses avantages et applications.

Ce mémoire se divise en trois chapitres. Le premier présentera l'état de l'art sur la technologie RFID. Le deuxième sera consacré aux paramètres fondamentaux des antennes RFID. Dans le troisième et dernier chapitre nous présenterons les résultats de simulation que nous avons effectués sous le logiciel CST microwave studio, suivis des commentaires et interprétations.

Dans le premier chapitre, nous présenterons le contexte général de la technologie RFID où nous rappellerons l'historique de la technologie RFID et les définitions les concernant. Par la suite, nous allons décrire les composants de ce système et le principe de fonctionnement, ainsi que la communication entre ces composants (Tag/Lecteur) sans négliger un point essentiel permettant de distinguer entre les différents systèmes à savoir les plages de fréquence existantes. Nous donnerons ensuite les différents domaines d'application (santé, culture, industrie ...), et les différents types de tags.

Le deuxième chapitre sera consacré aux paramètres fondamentaux des antennes RFID tels que les paramètres circuit (impédance, bande passante, etc.) et les paramètres de

rayonnement (gain, diagramme de rayonnement, etc.). Comme les antennes utilisées en RFID se basent sur la mémorisation des informations dans un élément, afin d'effectuer l'opération d'identification, nous allons décrire cet élément qui est une puce où on résumera dans un tableau, un certain modèle de puces. Nous rappellerons par la suite, la modélisation électrique des puces RFID. Avant d'entamer le dernier chapitre, nous allons citer les techniques d'adaptation d'impédance des antennes dipôles, la polarisation, ainsi que quelques antennes à polarisation circulaire.

Concernant le troisième chapitre, nous allons d'abord définir le logiciel utilisé, et la méthodologie de travail. Nous aborderons par la suite, la conception de notre Tag et nous détaillerons les différentes étapes de simulation pour aboutir aux résultats finaux. Le travail est achevé par une conclusion générale.

Etat de l'art sur la technologie RFID

I.1.Introduction

Pour entamer ce chapitre, nous introduisons quelques notions sur la technologie RFID, ainsi que son évolution au fil du temps. Nous évoquons son principe de fonctionnement. Par la suite, nous citerons les différents types de tags et antennes utilisées en RFID. Nous terminons par l'exposition de ses différentes applications.

I.2. Définition de la technologie RFID [1]

La technologie RFID permet d'identifier un objet, de collecter ou modifier les informations le concernant et d'intégrer ces dernières dans une base de données lorsqu'il passe à proximité d'un détecteur (lecteur), le tout, sans intervention humaine.

Le système RFID se compose d'un lecteur et d'une étiquette, il utilise les ondes radio pour transmettre les données de façon bidirectionnelle, de l'étiquette au lecteur et inversement.

L'étiquette comprend une puce, où est stockée l'information, et une antenne, qui reçoit et transmet cette information. Le lecteur quant à lui, peut prendre une multitude de formes (bornes, portiques, lecteurs portatifs, etc.).

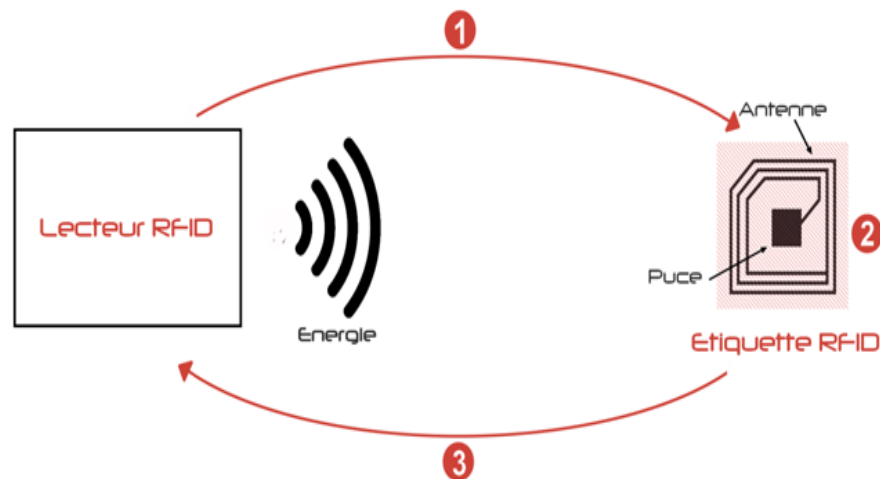


Figure I.1 : Lecteur et tag RFID.

I.3. Historique de la RFID [2]

Le concept du système RFID a son origine dans les années 40 dans le but de différencier les avions amis des avions ennemis. D'imposants tags ou transpondeurs furent placés dans les avions amis afin de répondre comme amical à l'interrogation des radars. Ce système IFF (Identify : Friend or Foe) fut la première utilisation de la RFID. Aujourd'hui encore, le contrôle du trafic aérien est basé sur ce principe.

Durant les années 70, les systèmes RFID restèrent une technologie protégée à usage militaire supportée par les états pour la sécurité de sites sensibles notamment dans le secteur du nucléaire.

Dans les années 80, L'invention des microsystèmes et l'avancée de la technologie conduit à l'utilisation de tag passif. L'absence de source d'énergie embarquée rend le tag moins coûteux mais l'oblige à obtenir de l'énergie au travers du signal du lecteur. Les distances de lecture obtenues sont alors de quelques centimètres. A la fin des années 70, la technologie est transférée vers le secteur privé.

Unedestoutespremièresapplicationscommercialesestl'identification de bétail en Europe. Le début des années 80 marque la fabrication et la commercialisation de tags par de nombreuses firmes européennes et américaines.

En 1990, fut le début de la standardisation pour une interopérabilité des équipements RFID à commencer par les cartes à puces puis les systèmes tags lecteurs de manière générale.

A partir de 2005, l'utilisation de la RFID s'étend sur d'autres branches notamment dans le domaine de la logistique et de la traçabilité, ce qui conduit à la commercialisation en masse des Lecteurs/Encodeurs et des tags RFID.

I.4. Principe de fonctionnement [2]

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.

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.

Souvent appelée "transpondeur" (TRANSMitter/resPONDER) à cause de sa fonction de réponse et d'émission, l'étiquette radio ou tag répond à une demande transmise par le lecteur, concernant les données qu'elle contient. La mémoire d'un transpondeur comprend généralement une ROM(ReadOnlyMemory), une RAM (Random Access Memory) ainsi qu'une mémoire programmable non volatile pour la conservation des données selon le type et le degré de complexité du produit. La mémoire ROM contient les données de sécurité ainsi que les instructions de l'OS (Operating System) de l'étiquette en charge des fonctions de base telles que le délai de réponse, le contrôle du flux de données, et la gestion de l'énergie.

La mémoire RAM est utilisée pour les stockages temporaires de données pendant les processus d'interrogation et de réponse. 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). La station de base émet des ondes radio dans un espace de quelques centimètres à plusieurs dizaines de mètres, selon la puissance de l'alimentation et la fréquence radio utilisée. Quand une étiquette RF passe dans le champ électromagnétique, elle détecte le signal de la station de base. Le lecteur lit les données encodées dans le transpondeur et celles-ci sont envoyées au serveur pour être traitées. La station de base peut également participer au traitement du signal ainsi qu'au contrôle de parité, à la détection et à la correction d'erreurs.

Un système RFID permet donc d'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.

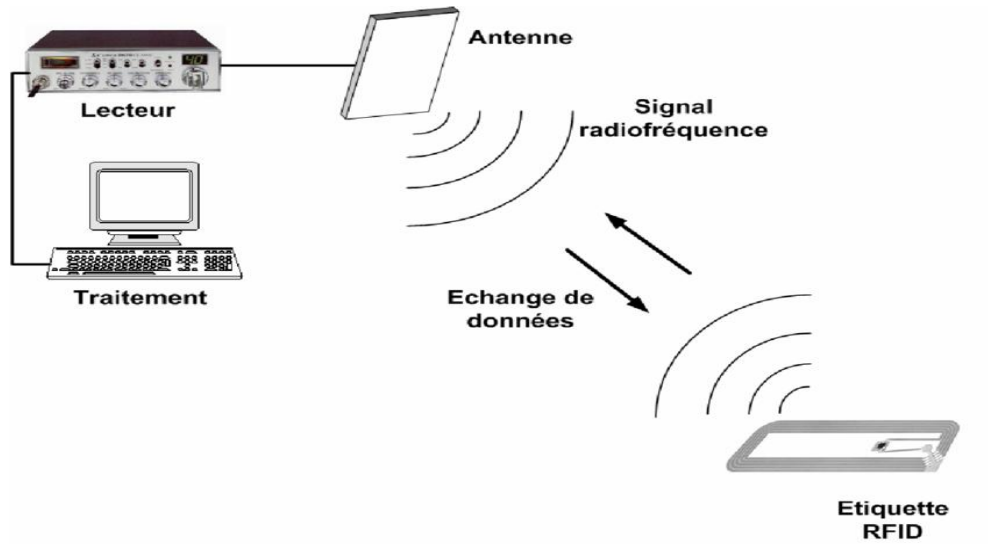


Figure I.2 : Schéma général d'un système d'identification par radiofréquence.

I.5. Fréquences d'utilisation

La communication entre le tag et le lecteur est régie par un protocole de communication dont la principale caractéristique est la fréquence radio d'échange.

Plusieurs fréquences de communication cohabitent au sein de la technologie RFID [2], les fréquences disponibles varient selon les régions du monde. De manière très schématique on distingue trois grandes zones, qui sont représentées dans le tableau ci-dessous [3] :

Fréquences	Europe et Afrique	Amériques Nord et Sud	Asie et Océanie
BF (125-135 kHz) ISO 18000-2	125 kHz	125 kHz	125 kHz
HF (13,56 MHz) ISO 18000-3	13,56 MHz	13,56 MHz	13,56 MHz
UHF (860-960 MHz) ISO 18000-6	865 – 868 MHz (2W ERP (1) – LBT)	902 – 928 MHz (4W – EIRP)	902 – 928 MHz (2) (Japon 952 – 954 MHz)
SHF (2,45 GHz) ISO 18000-4	2,446 – 2,454 GHz	2,427 – 2,47 GHz	2,4 – 2,4835 GHz

Tableau I.1 : Gammes des fréquences dans les différentes régions du monde.

I.6. Composants d'un système RFID

I.6.1. Le Lecteur RFID

Le lecteur RFID est un ensemble d'équipements fixes ou mobiles, constitué essentiellement d'une antenne et d'un module RF. Dès lors que le tag se retrouve dans la zone d'action du lecteur, une énergie est fournie au tag pour qu'il puisse fonctionner. Il envoie des commandes spécifiques et reçoit en retour des informations contenues dans la puce. Dans un autre cas de figure le lecteur peut lire et écrire, ainsi les informations reçues sont envoyées vers un autre dispositif qui va se charger du traitement des données (ordinateur) [5].

Selon les applications visées, le lecteur RFID peut se présenter sous deux formes : portable ou fixe.

I.6.1.a. Lecteurs portables

Les lecteurs doivent être peu encombrants pour être maniés par un utilisateur. Ils sont composés d'une antenne et d'un système d'exploitation qui permet d'identifier les tags.

Un lecteur portable est présenté sur la Figure I.3 [6] :



Figure I.3 : Lecteur RFID portable [8].

I.6.1.b. Lecteur fixe

Le lecteur RFID fixe est implanté dans des systèmes de portique à travers lesquels les tags transitent. Pour pouvoir détecter les tags, l'antenne du lecteur doit respecter un cahier des charges : un rayonnement directif avec de faibles lobes secondaires afin de ne pas détecter des

tags à proximité de la zone de lecture et un gain suffisamment élevé pour pouvoir détecter les tags à une distance raisonnable [6].

Un lecteur fixe est présenté sur la figure I.4 :

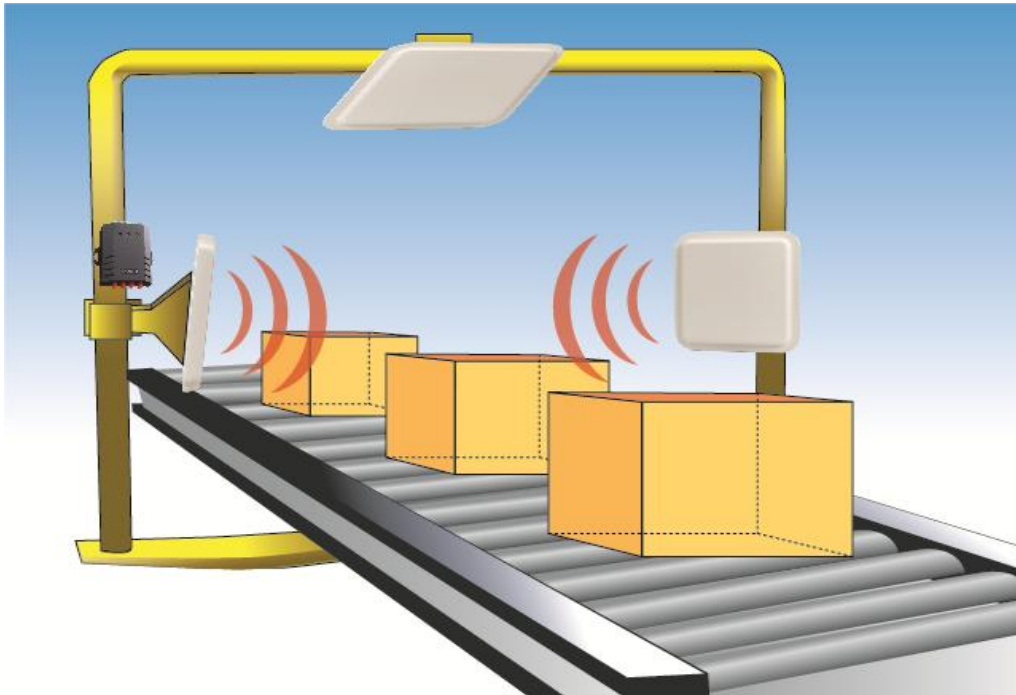


Figure I.4 : Lecteur RFID fixe [9].

I.6.2. Le tag RFID

Le tag RFID est un circuit électronique qui comprend une puce et une antenne et qui répond aux commandes émises par le lecteur. Il y a deux catégories : active et passive. Le tag actif fournit lui-même son énergie à travers une batterie, le passif convertit le signal reçu en énergie afin de l'utiliser pour transmettre [5].

I.7. Types de tags RFID

Les tags doivent répondre à des besoins différents, selon les applications visées, il existe donc trois types de tags :

I.7.1. Tag RFID passif

C'est le type de tag le plus répandu sur le marché. Il n'intègre pas d'émetteur radiofréquence. Quand le tag reçoit un signal électromagnétique, il emmagasine l'énergie dans un condensateur embarqué (on-board capacitor) et ce processus est appelé couplage inductif. Quand le condensateur est suffisamment chargé, il alimente le circuit du tag qui transmet à

son tour un signal modulé au récepteur (lecteur) qui comprend des informations contenues dans le tag [5]. Il peut contenir des informations dans sa mémoire.

Le système RFID passif s'avère très utile pour les marchandises en volume important, lorsque les marchandises peuvent être lues à courte distance (passage à la caisse des supermarchés par exemple). La distance de lecture est cependant un réel frein à ce système puisque le lecteur doit se situer dans le champ du tag afin d'en récupérer les données [4]. Cependant, comparé au tag actif, le tag passif est moins coûteux et peut être de plus petite dimension.

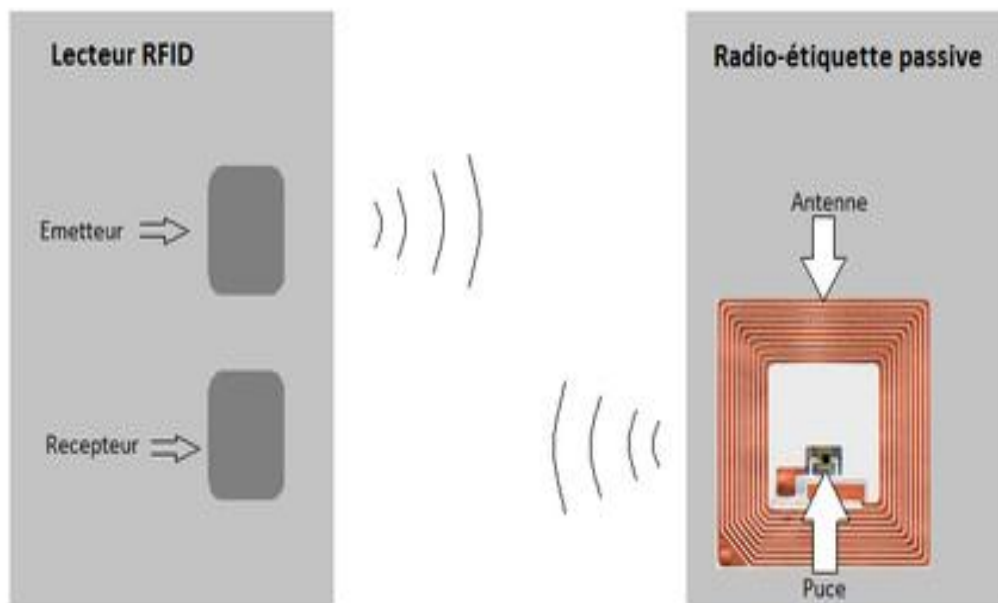


Figure I.5 : Tag RFID passif [10].

I.7.2. Tag RFID semi-passif ou semi-actif

La deuxième catégorie de tag concerne les tags semi-actifs. Ils comportent une batterie afin d'alimenter la puce du tag. Son principe de communication reste équivalent au tag RFID passif. Le dialogue entre un lecteur et un tag semi-actif peut aller jusqu'à 100m. La majeure partie des tags semi-actifs sont utilisés en tant que capteur afin de renvoyer une information sur le milieu dans lequel ils se trouvent [6], par exemple : température, intensité, accélération, gyroscope, etc. Néanmoins, il nécessite de la maintenance liée au changement de batteries.

I.7.3. Tag RFID actif

Il embarque un émetteur radiofréquence et par conséquent une alimentation (batteries, piles). Tout comme le tag semi-actif, il peut être équipé de capteurs (température, gyroscope, GPS, etc.) et embarquer de l'intelligence sous format d'un microcontrôleur par exemple. Ce type de tags nécessite la mise en place d'une structure de communication (nœuds, antennes, lecteurs) afin de « quadriller » une zone, un bâtiment, etc. Il nécessite également de la maintenance liée au remplacement des batteries. Plus fréquent qu'un tag semi-actif [4].

Grâce à leur équipement d'un système d'énergie propre, les tags RFID actifs peuvent émettre un signal de manière autonome. L'avantage de ce type de tag est de permettre des communications de plus de 100m. Leur inconvénient réside dans le coût et la durée de vie limitée de la batterie embarquée. Ces tags trouvent leurs places dans des applications de surveillance à la personne et de traçabilité logistique [6].

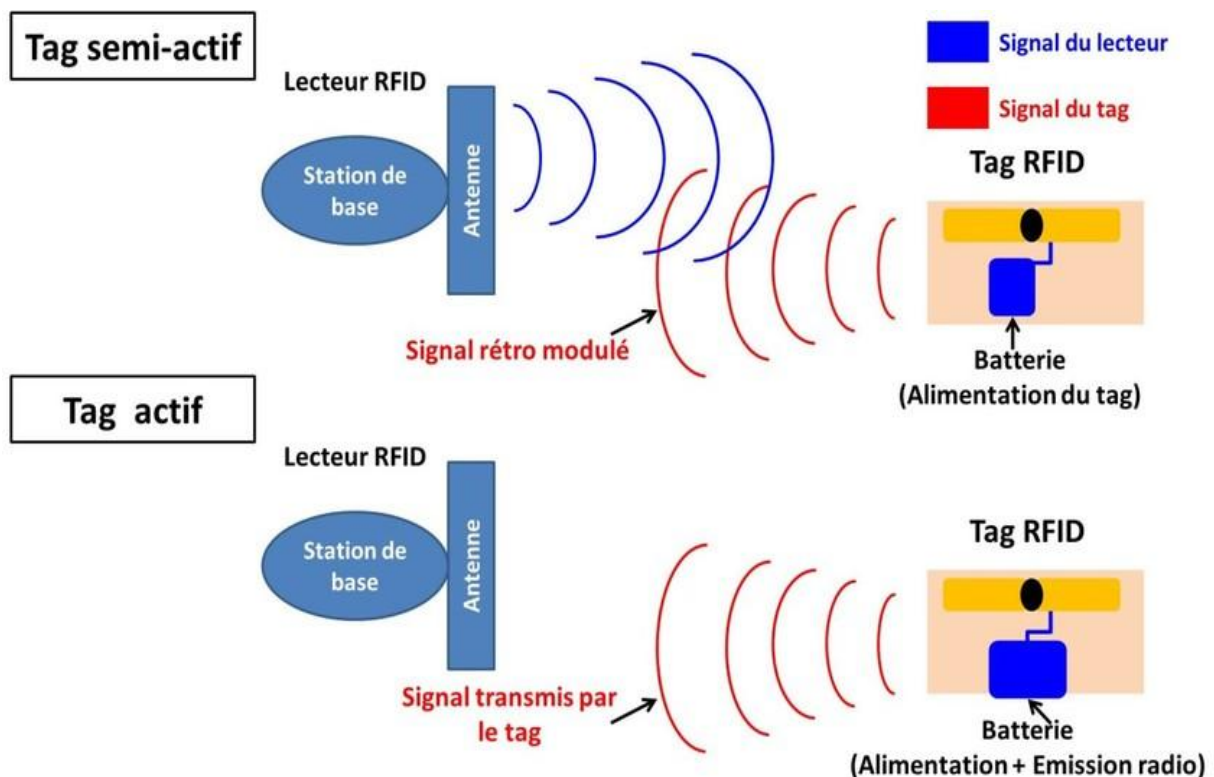


Figure I.6 : Représentation des deux types de tags RFID semi-actif et actif [11].

Les différents types de tags sont classifiés selon la figure suivante :

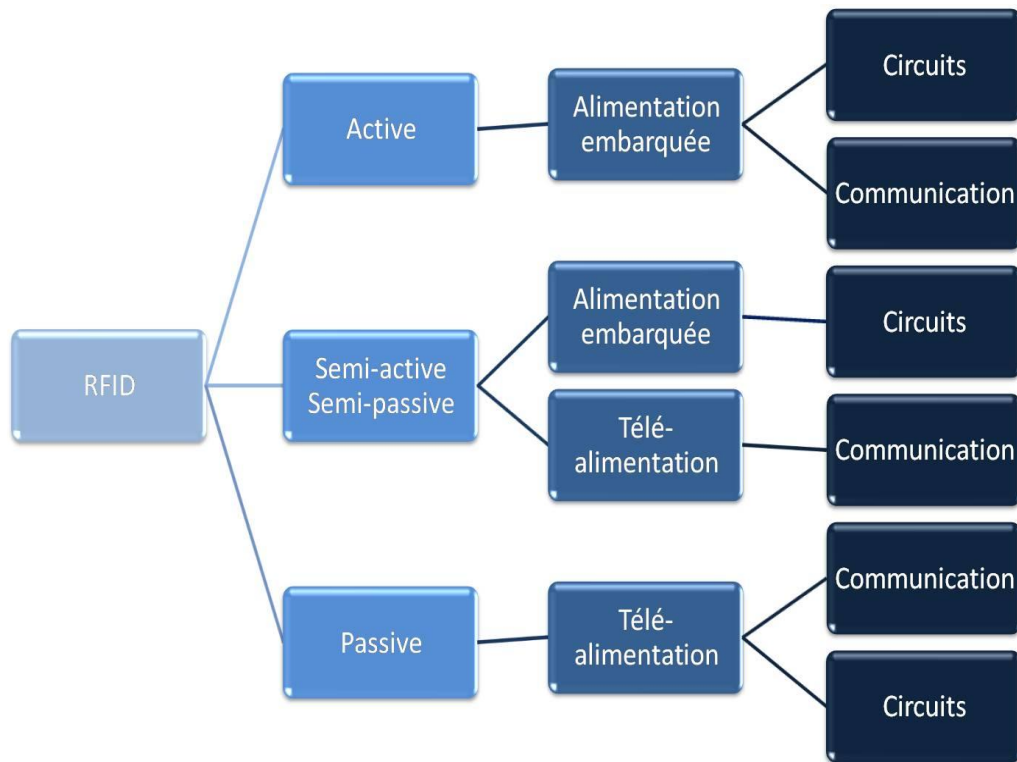


Figure I.7 : Classification des tags RFID [7].

I.8. Applications de la RFID

La RFID est actuellement une technologie en plein essor et qui se développe dans des domaines de plus en plus variés ; Sécurité, transport, logistique, fidélisation client, traçabilité, paiement, santé, etc.

Nous citons dans ce qui suit la majeure partie de ses applications :

I.8.1. La distribution [12]

L'utilisation de la RFID dans les rayons des supermarchés est sans doute l'usage qui a été le plus médiatisé. Il reste néanmoins très peu répandu pour une raison principalement de coût. En effet, avec un prix de 20 à 30 centimes d'euros pour une étiquette RFID (UHF – ultra haute fréquence), le coût est encore trop élevé pour une généralisation aux produits de consommation courante.

La RFID sera donc plus facilement associée à des produits suffisamment chers pour amortir la valeur unitaire d'une étiquette à radiofréquence. C'est particulièrement vrai dans le textile et le luxe. La distribution exploite prioritairement cette technologie au niveau de la chaîne logistique et dans des boucles fermées (containers, palettes, etc.)

I.8.2. Limiter les pertes de bagages [12]

Plusieurs aéroports ont commencé à s'intéresser à la RFID dans la gestion des bagages. L'étiquette RFID est ainsi placée sur les bagages afin de l'orienter correctement vers l'avion retenu par un voyageur.

I.8.3. Jardinage technologique [12]

Les municipalités peuvent faire appel à la RFID pour la gestion de leurs jardins publics et de leurs locataires : les arbres. C'est notamment le cas à Paris où près de 100 000 arbres disposent sous leur écorce d'une puce RFID. Les données contenues dans ces dernières peuvent naturellement être éditées selon les interventions des agents municipaux dans le cadre d'un suivi.

Les agents sont pour cela équipés de terminaux nomades permettant la lecture de la puce RFID et de ses données. Toutes ces informations sont stockées et actualisées dans une base de données, couplée selon les besoins à un logiciel cartographique.



Figure I.8 : La technologie RFID dans le jardinage.

I.8.4. Péages et gestion du trafic

Comme dans le transport, l'utilisation de la RFID aux bornes de péage vise notamment à fluidifier les accès. A Singapour, Londres ou Stockholm, les véhicules sont dotés de balises RFID permettant d'automatiser le paiement aux péages et de réduire ainsi les goulets d'étranglement en ville.

Le compte d'un automobiliste est débité lors du passage sous un portique enregistrant le passage du véhicule. Des stations de ski ont également installé des systèmes comparables pour la facturation des remontées mécaniques [12].

Péage FasTrak est un exemple d'un système de télépéage automatique, sans arrêt du véhicule. Dans la voie de péage, des capteurs (1) détectent le véhicule, lisent (2) le transpondeur (3) monté sur le pare-brise. Le « rideau de lumière » (4) compte (5) le nombre d'essieux, et le compte-proprétaire de la puce est facturé. Un panneau électronique (6) affiche le prix facturé. Un véhicule sans transpondeur est classé comme contrevenant ; les caméras (7) filment et mémorisent la plaque d'immatriculation pour une contravention (si la plaque est celle d'un utilisateur FasTrak enregistré, il ne paiera que le prix du péage) [13].

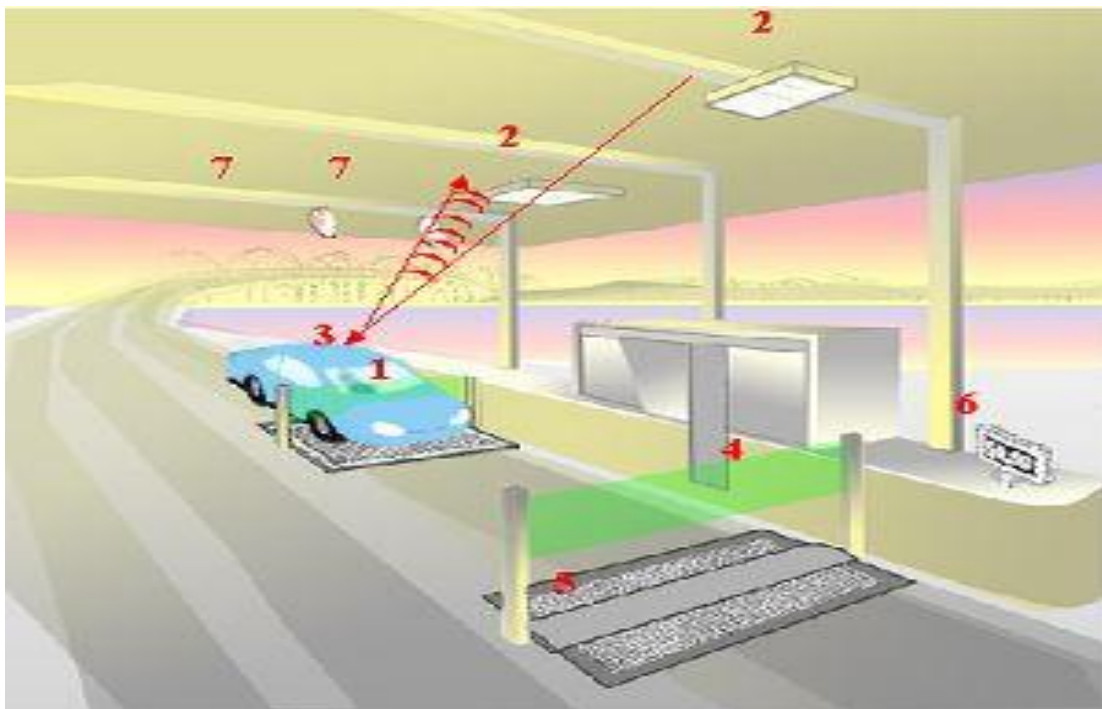


Figure I.9 : Système de péage automatique [13].

I.8.5. Le contrôle d'accès [12]

La RFID est bien souvent intégrée directement au sein des badges pour le contrôle d'accès physique à des locaux ou un accès logique (poste de travail, application, etc.). Le badge pourra notamment être couplé à des données biométriques. Ainsi lors d'un passage à un lecteur, les informations biométriques, comme une empreinte digitale, seront comparées à celles enregistrées dans le système d'accès.



Figure I.10 : Contrôle d'accès par bracelet RFID [14].

I.8.6. Les animaux [4]

La RFID surmonte les faiblesses du suivi manuel (en étant rapide et précise) des troupeaux sans nécessiter de lecture visuelle ou ligne de visée. Les étiquettes RFID peuvent être attachées en toute sécurité ou même implantées à l'intérieur du bétail et dureront toute la durée de vie de l'animal. Le suivi du cycle de l'animal permet de créer une histoire génétique qui aide à améliorer les races.

Ceci, aide à surveiller la santé du troupeau, à conserver les médicaments individuels et les dossiers de vaccination et à prévenir la propagation de la maladie en surveillant et en séparant le bétail infecté.

I.8.7. Pièces d'identité [12]

La RFID est parfois plus proche de nous que nous ne le pensons, dans notre poche par exemple. Les nouveaux passeports biométriques progressivement mis en place dans le monde, et notamment en Europe, embarquent en effet la technologie de radio-identification. Le passeport RFID, dans ses premières versions, s'est avéré particulièrement vulnérable en termes de sécurité. Plusieurs experts ont ainsi démontré la possibilité de cloner une puce RFID et les données qu'elle contient. Les derniers modèles seraient plus sécurisés.

I.8.8. Le corps humain [12]

Les animaux (bétail et animaux de compagnie) ne sont plus les seuls désormais à pouvoir se faire injecter des tags RFID. Des entreprises comme Verichip commercialisent des puces pouvant être insérées sous la peau.

Les applications concernent notamment le secteur de la santé puisqu'un patient atteint de certaines pathologies (Alzheimer, diabète, etc.) pourra ainsi transporter son dossier médical sur lui.

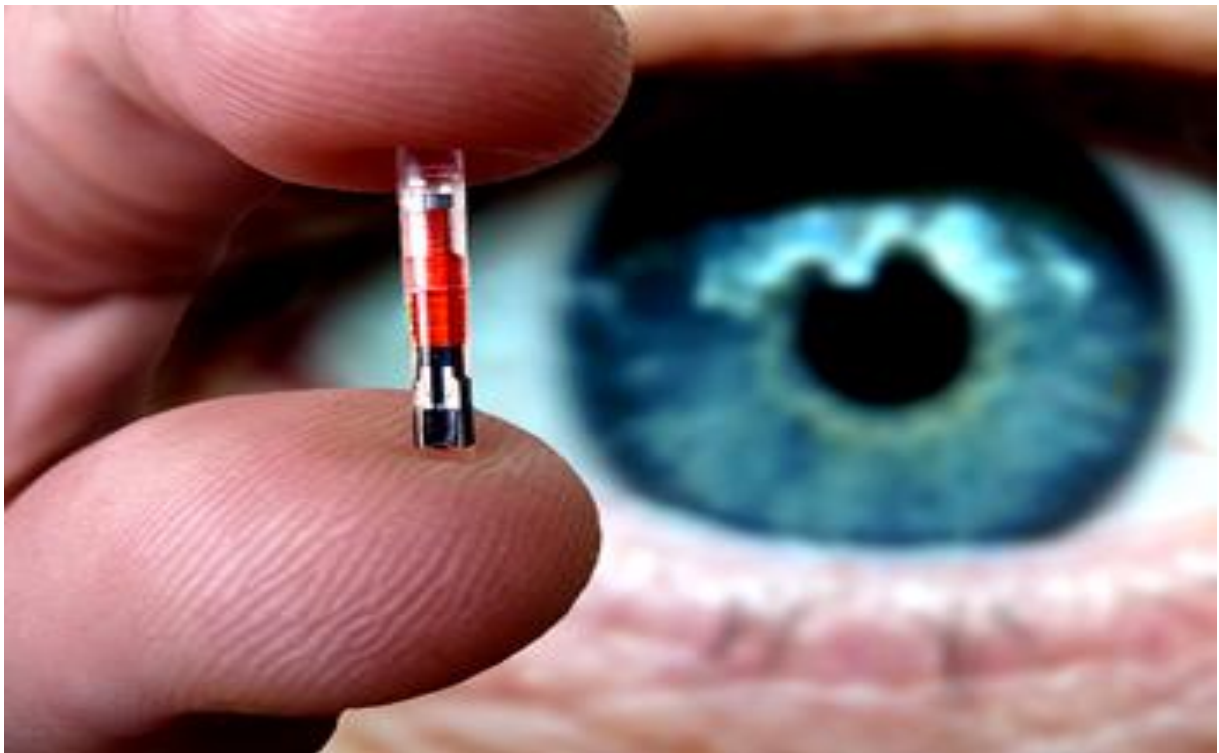


Figure I.11 : Puce RFID sous-cutanée [15].

I.9. Conclusion

Ce chapitre permet d'avoir une vue d'ensemble de la technologie RFID. Cette technologie apporte tant d'avantages en comparaison aux autres technologies telles que le code barre. Certes cette technologie est en plein essor, plusieurs ingénieurs et chercheurs travaillent déjà sur des standards pour mieux l'encadrer et parvenir à la développer au mieux, ils travaillent également sur la conception de nouvelles antennes innovantes, à caractéristiques améliorées sur plusieurs plans, à savoir : énergétique, détection plus facile, plus rapide, moins couteuse, et taille plus réduite.

Paramètres et caractéristiques des antennes

II.1. Introduction

Les antennes sont exploitées dans plusieurs domaines grâce à sa facilité d'adaptation aux diverses situations, notamment dans la RFID.

Les antennes en général sont principalement caractérisées par leur longueur d'onde, ainsi que d'autres paramètres qui constituent la base de leur fonctionnement.

Ce deuxième chapitre nous le consacrerons aux paramètres fondamentaux et aux bases de réalisation des antennes Tag RFID où nous les avons énumérés. Dans un premier temps nous rappellerons les paramètres fondamentaux des antennes, qui se divisent en trois parties, les paramètres circuits, les paramètres de rayonnement et les paramètres de réception. Dans un second temps nous nous intéresserons à la puce dans les systèmes RFID. Vient par la suite l'adaptation d'impédances des antennes dipôles, les différents types de polarisation et les pertes de transmission, ainsi que les diverses antennes à polarisation circulaire. Le chapitre sera clôturé par une conclusion.

II.2. Paramètres fondamentaux des antennes Tag RFID

En communication, certaines antennes mettent en valeur des caractéristiques plus que d'autres. Une antenne est définie par les caractéristiques éclectiques suivantes :

II.2.1. Les paramètres circuits

Lorsqu'une antenne émet un signal électromagnétique une partie de cette énergie sera transformée en une chaleur, pendant que l'autre partie sera convertie en un courant au niveau de l'antenne de réception.

Les paramètres essentiels qui décrivent l'antenne comme étant un circuit sont le coefficient de réflexion S_{11} , le rapport d'onde stationnaire ROS, l'impédance d'entrée Z_a , le coefficient de transmission T et la bande passante BP.

II.2.1.a. Coefficient de réflexion S_{11}

Une antenne s'adapte en fonction d'une ligne de transmission caractérisée par une impédance purement réelle (généralement $Z_c=50\Omega$ ou 75Ω) dans le but de réduire un maximum le taux d'onde stationnaire TOS.

Ce paramètre est essentiel lors de l'optimisation d'une antenne. Il met en évidence l'absorption de l'énergie [16], plus celui-ci est faible plus l'énergie transmise est grande.

Si le coefficient de réflexion est plus grand que -10dB, l'antenne est dite inutile.

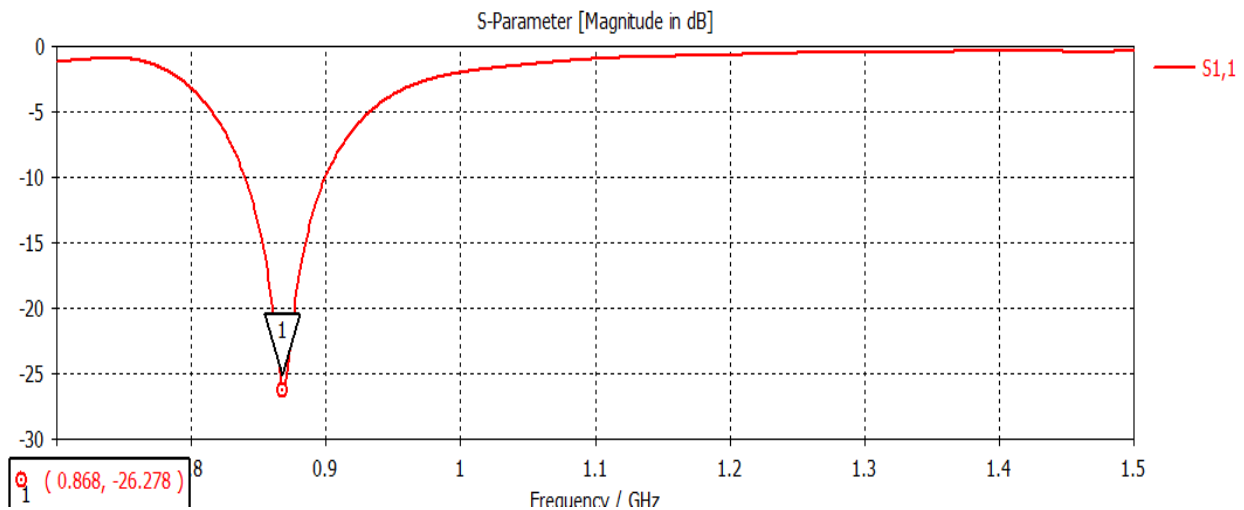


Figure II.1 : Illustration du paramètre S_{11} .

Il est défini par la formule suivante :

$$\Gamma = \frac{Z_e - Z_c}{Z_e + Z_c} \quad (\text{II.1})$$

Z_e : impédance d'entrée dans la ligne.

Z_c : impédance caractéristique de la ligne.

La tension est dite maximale lorsque les ondes incidentes et réfléchies sont en phase et minimale lorsque ces dernières sont en opposition de phase [4].

$$V_{max} = V_{directe} + V_{réfléchie} \quad (\text{II.2})$$

$$V_{min} = V_{directe} - V_{réfléchie} \quad (\text{II.3})$$

Le coefficient de réflexion peut être donné de la manière suivante :

$$\Gamma = \frac{V_{réfléchie}}{V_{directe}} \quad (\text{II.4})$$

II.2.1.b. Rapport d'onde stationnaire ROS

Le rapport d'onde stationnaire ROS exprime la qualité d'adaptation entre l'impédance de l'antenne et celle de la ligne et cela quel que soit sa nature, ce paramètre est indicatif du bon fonctionnement du système et c'est ce qui donne un paramètre S_{11} inférieur ou égal à -10dB, sa valeur est toujours supérieure ou égale à 1 contrairement à celle du taux d'onde stationnaire TOS qui est comprise entre 0 et 1.

Dans le cas où l'adaptation n'est pas réalisée, les ondes subissent des réflexions vers la source causant ainsi le phénomène d'interférence avec les ondes incidentes et donnant naissance à des ondes qui ne se propage pas dans le temps dite ondes stationnaires caractérisées par un rapport d'onde stationnaire ROS [17] défini par :

$$ROS = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (\text{II.5})$$

$$TOS = 100 \times \frac{ROS-1}{ROS+1} \quad (\text{II.6})$$

II.2.1.c. Impédance d'entrée de l'antenne Z_a

Elle est vue de la part de la ligne d'alimentation au niveau de l'antenne [18], elle se compose de deux parties, dont l'une est réelle R_a et l'autre imaginaire X_a . Elle est donnée par :

$$Z_a = R_a + jX_a \quad (\text{II.7})$$

Avec :

$$R_a = R_r + R_p \quad (\text{II.8})$$

R_r : résistance de rayonnement.

R_p : résistance de pertes.

L'énergie dissipée par la résistance de rayonnement R_r , correspond à l'énergie rayonnée par l'antenne, tandis que l'énergie dissipée par la résistance de perte R_p , correspond aux pertes de conduction, diélectriques et aux pertes d'onde de surface de l'antenne [19].

L'énergie stockée dans la région du champ proche est représentée dans la partie imaginaire [17].

L'impédance d'entrée de l'antenne peut être aussi définie en fonction du coefficient de réflexion S_{11} et l'impédance caractéristique de la ligne Z_c comme suit :

$$Z_a = Z_c \times \frac{1+S_{11}}{1-S_{11}} \quad (\text{II.9})$$

II.2.1.d. Coefficient de transmission [19]

Comme l'impédance d'entrée d'une puce RFID n'est pas purement réelle alors une optimisation de transfert d'énergie vers le circuit RFID est appliquée par l'antenne.

$$\Gamma^* = \frac{\bar{Z}_a - Z_c}{Z_a + Z_c} = \frac{z_a - 1}{z_a + 1} \quad (\text{II.10})$$

Γ^* : Coefficient de réflexion en puissance.

\bar{Z}_a : Complexe conjugué de Z_a .

z_a : L'impédance normalisée (réduite) d'une charge.

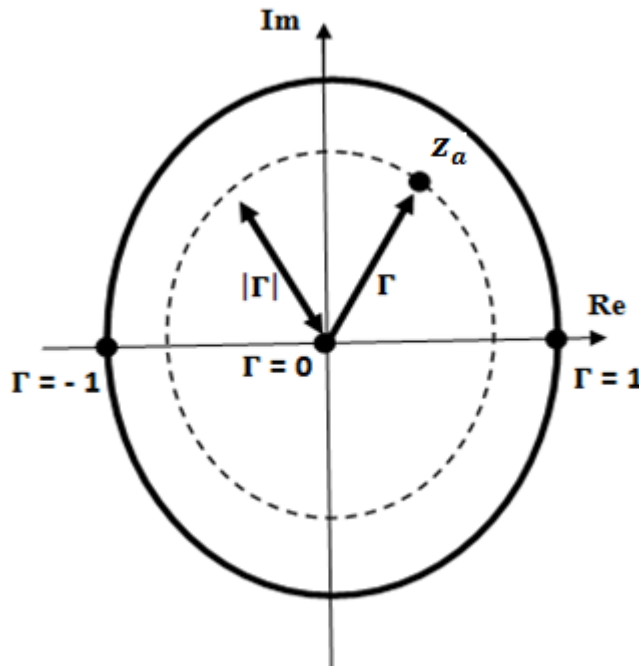


Figure II.2 : Coefficient de réflexion en puissance sur un Abaque de Smith.

Se référant à l'abaque de Smith le coefficient de transmission est à son maximum lorsque $\Gamma^* = 0$ et minimum sur la périphérie de l'abaque pour $|\Gamma^*| = 1$.

Le coefficient de transmission est défini par la relation suivante :

$$T = 1 - |\Gamma^*|^2 = \frac{4 \times R_a \times R_c}{|z_c + z_a|^2}, \quad 0 < T < 1 \quad (\text{II.11})$$

$|\Gamma^*|^2$: Pertes d'insertions.

R_a : Partie réelle de l'impédance d'entrée de l'antenne.

R_c : Partie réelle de l'impédance caractéristique de la ligne.

Ce coefficient de transmission est optimal lorsque l'impédance de l'antenne est égale au complexe conjugué de l'impédance de la puce RFID ($Z_a = \overline{Z_c}$).

Cette relation est très utile en RFID, car elle correspond au rapport de la puissance transférée à une puce RFID sur la puissance totale maximum pouvant lui être transférée.

II.2.1.e. Bande passante BP

La bande passante d'une antenne est définie selon le but de son application, celle-ci désigne la plage de fréquence sur laquelle le transfert d'énergie est dit maximal.

En RFID la bande passante est reliée directement aux critères de performances d'un tag RFID. Le niveau de puissance transmis acceptable (T est donc $|\Gamma|^2$). Il est défini en fonction de la distance de lecture souhaitée pour une application donnée.

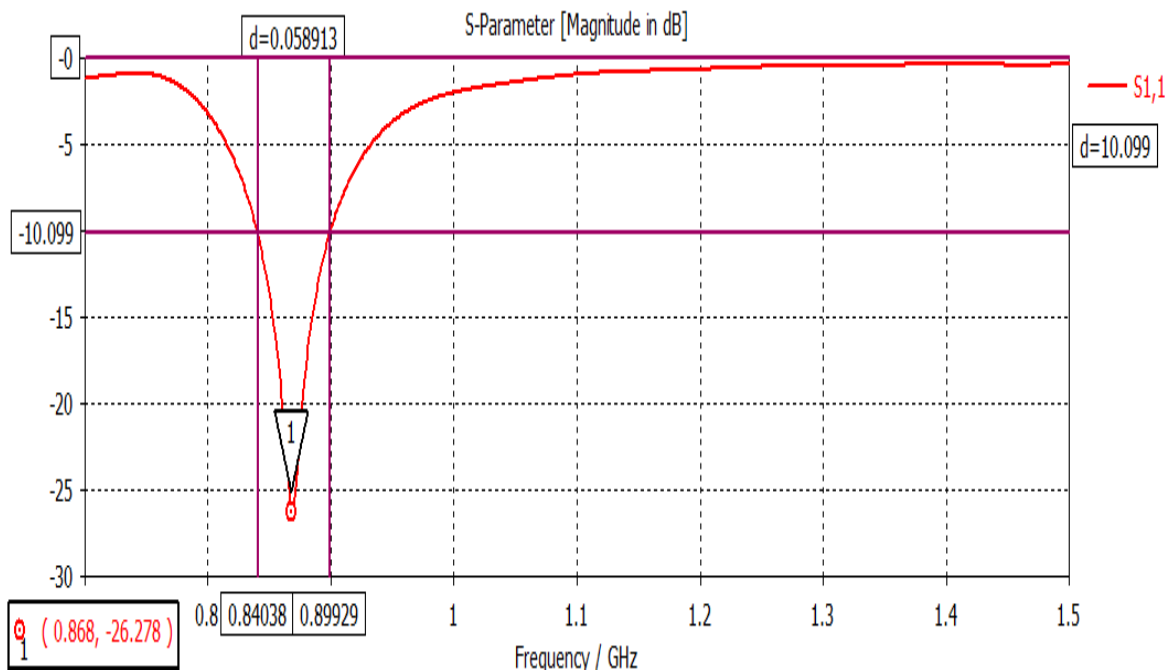


Figure II.3 : Illustration de la bande passante d'une antenne à -10dB.

La bande de fréquence d'une antenne est exprimé en fonction de la fréquence de résonance de la manière suivante :

$$BP = \frac{\Delta f}{f_r} \cdot 100 (\%) \tag{II.12}$$

II.2.2. Les paramètres de rayonnement

Ces paramètres décrivent le niveau d'efficacité de l'antenne à émettre et à recevoir un signal électromagnétique, les plus fondamentaux sont le diagramme de rayonnement, la directivité, l'angle d'ouverture, le gain et l'efficacité de rayonnement.

II.2.2.a. Diagramme de rayonnement

Une antenne est caractérisée dans l'espace par son diagramme de rayonnement, appelé aussi diagramme de captation, il capte la direction dans laquelle la puissance de rayonnement est maximale.

A partir du diagramme de rayonnement, on déduit diverses caractéristiques de l'antenne, comme la directivité et/ ou l'angle d'ouverture [20].

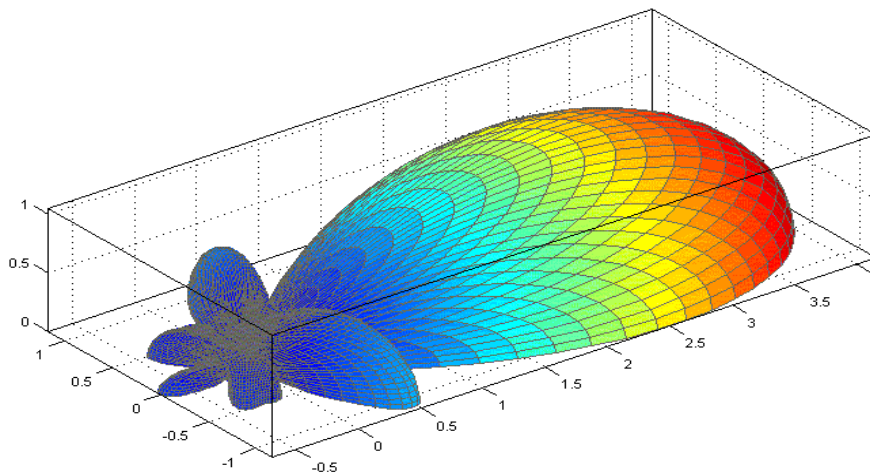


Figure II.4 : Illustration du diagramme de rayonnement en 3D [21].

La puissance par unité d'angle solide est donnée par la formule suivante :

$$P(\theta, \varphi) = \frac{Pa}{4\pi} \quad (\text{II.13})$$

P_a : la puissance de la source qui alimente l'émetteur.

II.2.2.b. Directivité

Une antenne est dite directive, lorsque les données à transmettre ou à recevoir sont plus grandes dans une direction bien déterminée de l'espace par rapport aux autres directions. Autrement dit la directivité dépend du lobe principal du diagramme de rayonnement dont il décrit ces propriétés directionnelles, plus celui-ci est étroite plus l'antenne est directive.

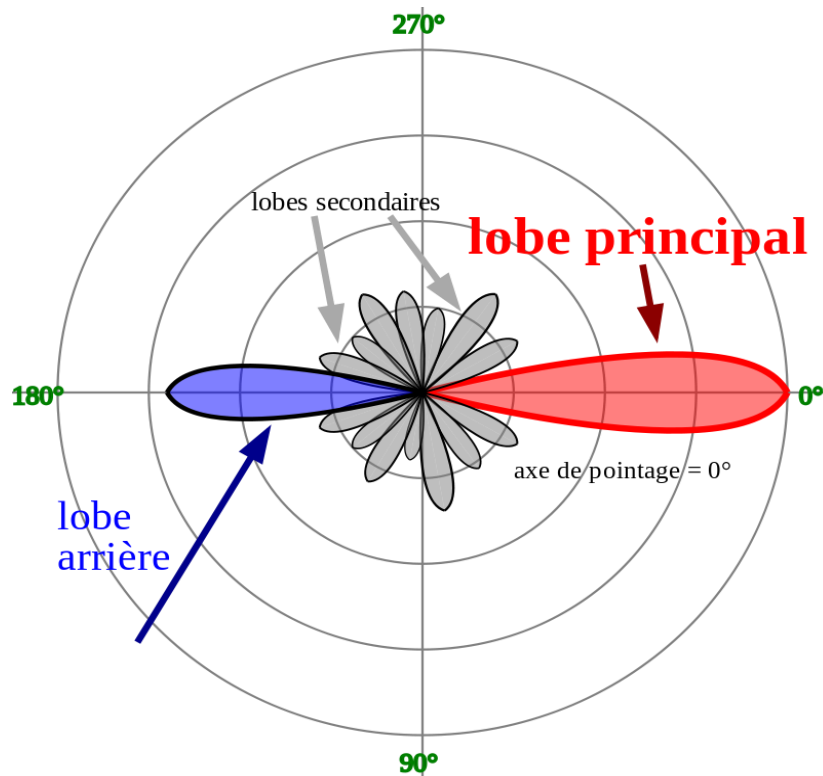


Figure II.5 : Illustration de la directivité en 2D [22].

Ce paramètre est défini mathématiquement comme suit :

$$D(\theta, \varphi) = \frac{P(\theta, \varphi)}{P_r / 4\pi} = 4\pi \frac{P(\theta, \varphi)}{P_r} \quad (\text{II.14})$$

$P(\theta, \varphi)$: la puissance que rayonne une antenne par unité d'angle solide.

P_r : c'est la puissance rayonnée par une antenne isotrope.

II.2.2.c. Angle d'ouverture

L'angle d'ouverture à -3dB, est défini comme étant l'angle entre les deux directions du lobe principal pour lesquelles la puissance rayonnée vaut la moitié (-3dB) de la puissance maximale du faisceau dans la direction la plus favorable [17].

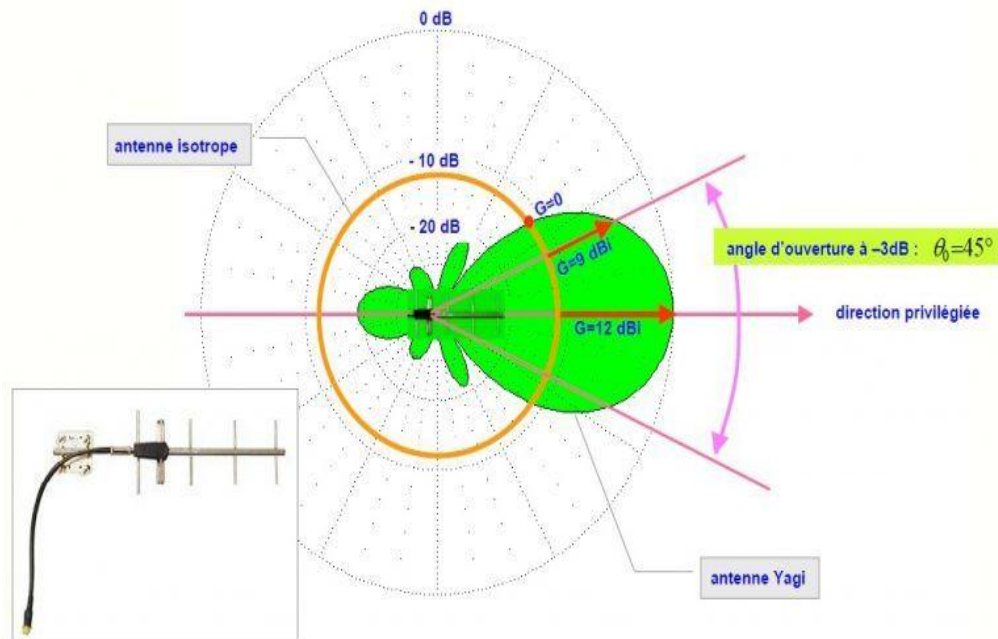


Figure II.6 : Illustration de l'angle d'ouverture en 2D d'une antenne YAGI [23].

L'angle d'ouverture nous donne une idée assez précise sur la finesse du lobe et de la qualité du rayonnement [24].

II.2.2.d. Gain

Il est relié linéairement à la directivité en tenant compte de l'efficacité de l'antenne :

$$G(\theta, \varphi) = \eta \times D(\theta, \varphi) \quad (\text{II.15})$$

Où : $D(\theta, \varphi)$ est la directivité.

η : l'efficacité.

Le gain se situe sur le lobe principal où la plus grande partie de l'énergie se propage hors le rayonnement émis dans toutes les directions.

Mathématiquement ce paramètre est donné en fonction de l'intensité de rayonnement de puissance et la puissance totale d'entrée, qui est rayonnée par une antenne isotrope sans pertes [20], comme suit :

$$G(\theta, \varphi) = \frac{U(\theta, \varphi)}{P_e} \cdot 4\pi \quad (\text{II.16})$$

$U(\theta, \varphi)$: intensité de rayonnement de puissance.

P_e : puissance totale d'entrée de l'antenne.

II.2.2.e. Efficacité de rayonnement

L'efficacité de rayonnement totale e_t regroupe les pertes à l'entrée de l'antenne, qui se traduisent en des réflexions dues à la mauvaise adaptation de l'antenne e_r , ainsi que les pertes liées aux propriétés intrinsèques des matériaux qui représentent les pertes de conduction et diélectrique e_{cd} .

$$e_t = e_r \cdot e_{cd} \quad (\text{II.17})$$

e_r : pertes dues à la désadaptation.

e_{cd} : pertes de conduction et diélectrique.

L'efficacité est aussi égale au rapport entre la puissance rayonnée P_r , et la puissance d'alimentation P_a , donnée par [17] :

$$e_t = \frac{P_r}{P_a} \quad (\text{II.18})$$

Les termes e_r et e_{cd} sont donnés par les équations :

$$e_r = 1 - S_{11}^2 \quad (\text{II.19})$$

$$e_{cd} = \frac{P_r}{P_r + P_a} \quad (\text{II.20})$$

P_r : puissance rayonnée par l'antenne.

P_a : puissance d'alimentation.

D'où le gain peut être donné par la formule ci-dessous :

$$G(\theta, \varphi) = e_{cd} \times D(\theta, \varphi) \quad (\text{II.21})$$

L'efficacité d'une antenne est un paramètre important qui permet de mesurer le taux de transformation, c'est-à-dire les pertes lors de la transformation d'énergie.

II.2.3. Paramètres de réception [20]

Une partie de l'énergie est réfléchi vers la source même de sa création. Ce phénomène est appelé rétrodiffusion ou modulation de charge ou encore 'backscattering' et est utilisé pour la transmission des données du tag vers le lecteur.

II.3. La puce dans les systèmes RFID

Le choix de la puce joue un rôle très important lors de la conception afin d'obtenir une connexion à l'antenne avec le maximum d'efficacité possible, en tenant compte de l'impédance d'entrée de l'antenne qui doit être équivalente au conjugué de la valeur de l'impédance de la puce.

$$Z_a = Z_{\text{puce}}^* \quad (\text{II.22})$$

Z_a : impédance d'entrée de l'antenne.

Z_{puce} : impédance d'entrée de la puce.

Concernant l'architecture du circuit électronique de la puce, celui-ci dépend de la fréquence de travail, de la complexité, du niveau de sécurité requis et d'autres critères liés à l'application RFID [20].

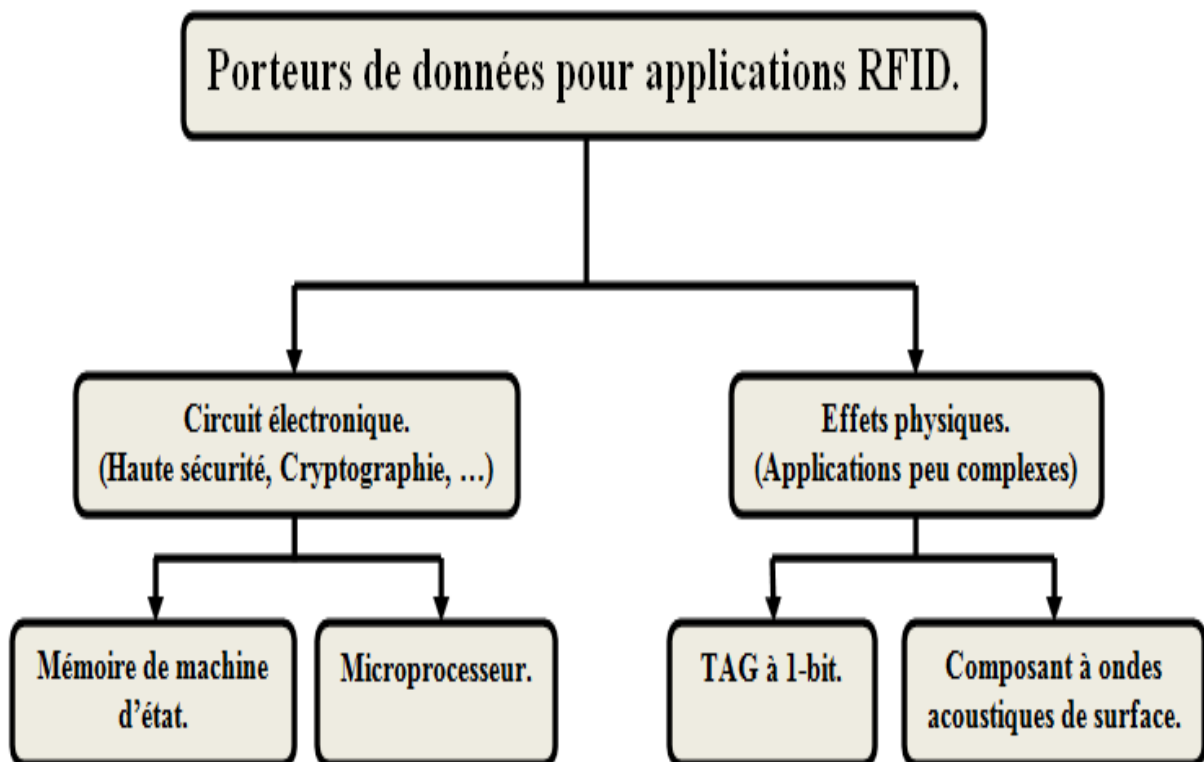


Figure II.7 : Répartition des différents porteurs de données RFID [20].

Quelques exemples de puces RFID-UHF les plus utilisées, disponibles sur le marché actuel sont résumées dans le tableau II.1 [4] :

Puce RFID	Puissance minimale de fonctionnement (dBm)	$R_c(\Omega)$ série	C_c (pF) série	Fréquence de travail (MHz)
AlienHiggs 4	-18.5	1500	0.85	860 – 960
AlienHiggs 3	-18	1500	0.85	860 – 960
NXP UCODE G2XM/G2XL	-15	1385	1.16	860 – 960
Impinj Monza 5	-17.8	1800	0.825	860 – 960
Impinj Monza 5	-17.4	1650	1.21	860 - 960

Tableau II.1 : Exemple de puces RFID-UHF disponibles dans le marché [4].

II.4. Modélisations électriques des puces RFID passives

La modélisation électrique d’une puce peut être réalisée de deux manières différentes, soit monté par un circuit placé parallèlement (C_p, R_p) ou en série (C_s, R_s).

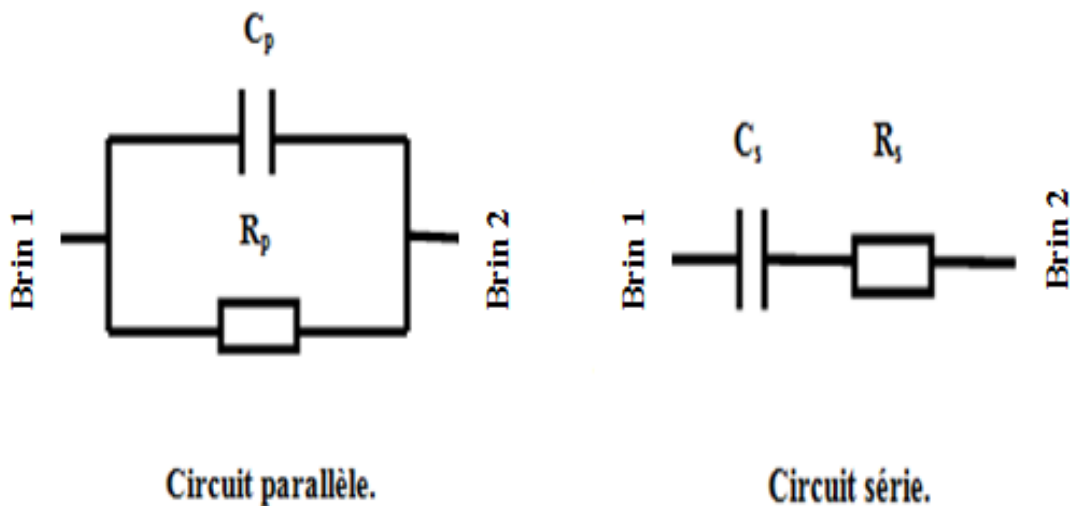


Figure II.8 : Circuits électriques équivalent de la puce.

Les valeurs des composants constituant le circuit électrique peuvent être données de la manière suivante :

$$R_p = \frac{Re(Z_c)^2 + Im(Z_c)^2}{Re(Z_c)^2} \quad (II.23)$$

$$C_p = \frac{Im(Z_c)}{2.\pi.f.(Im(Z_c)^2 + Re(Z_c)^2)} \quad (II.24)$$

$$R_s = R_e(Z_c) \quad (II.25)$$

$$C_s = \frac{1}{2.\pi.f.Im(Z_c)} \quad (II.26)$$

R_p : résistance montée parallèlement.

R_s : résistance montée en série.

C_p : capacité montée parallèlement.

C_s : capacité montée en série.

L'impédance d'entrée de la puce est purement complexe, dont la partie imaginaire est de signe négatif due à la conversion d'énergie électromagnétique en une énergie continue en entrée du détecteur afin d'alimenter la puce RFID, Le circuit électrique a pour but de régulariser l'alimentation et la protéger des surtensions, ce qui rend l'impédance dépendante de la puissance en entrée de la puce [26].

II.5. Adaptation d'impédance des antennes dipôles

Dans le domaine de la RFID, on utilise principalement les antennes dipôle pour réaliser une adaptation d'impédance grâce à leurs diverses caractéristiques structurelles, et leurs coûts raisonnables. On distingue trois techniques essentielles :

II.5.1. Adaptation par éléments séries

L'adaptation d'une antenne dipôle par une inductance série est réalisé de manière distribuée par un méandre grâce à son effet inductif pour adapter celle-ci aux caractéristiques de la puce [25].

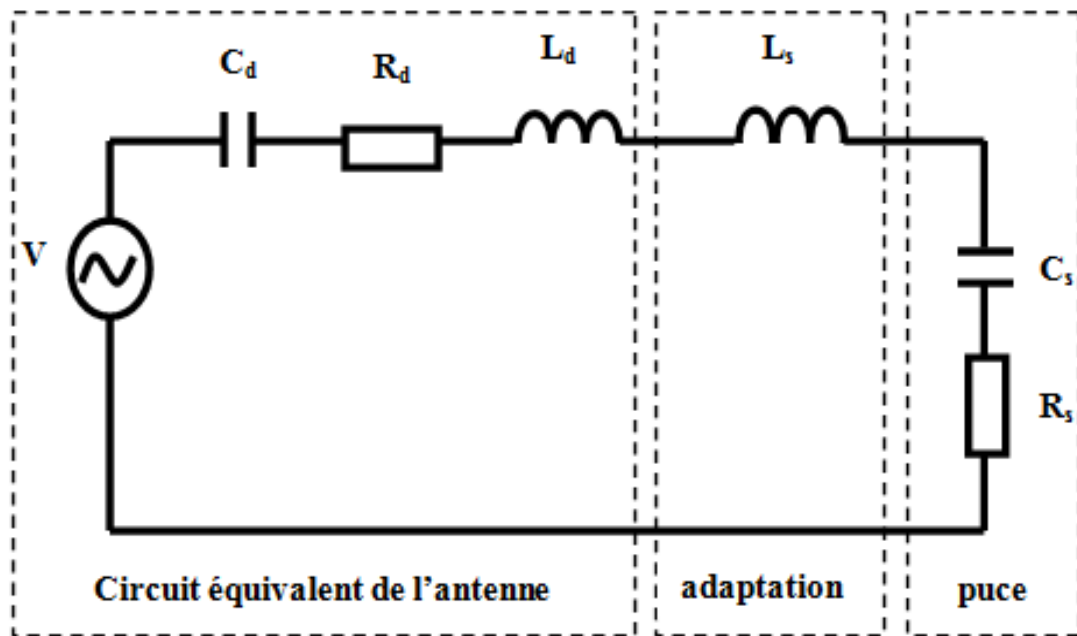


Figure II.9 : Modèle circuit d'un tag RFID constitué d'une antenne dipôle adaptée par une inductance série.

L'avantage majeur de cette technique d'adaptation est de diminuer la taille de l'antenne par le repliement du dipôle, tel qu'illustré sur la figure II.10 :

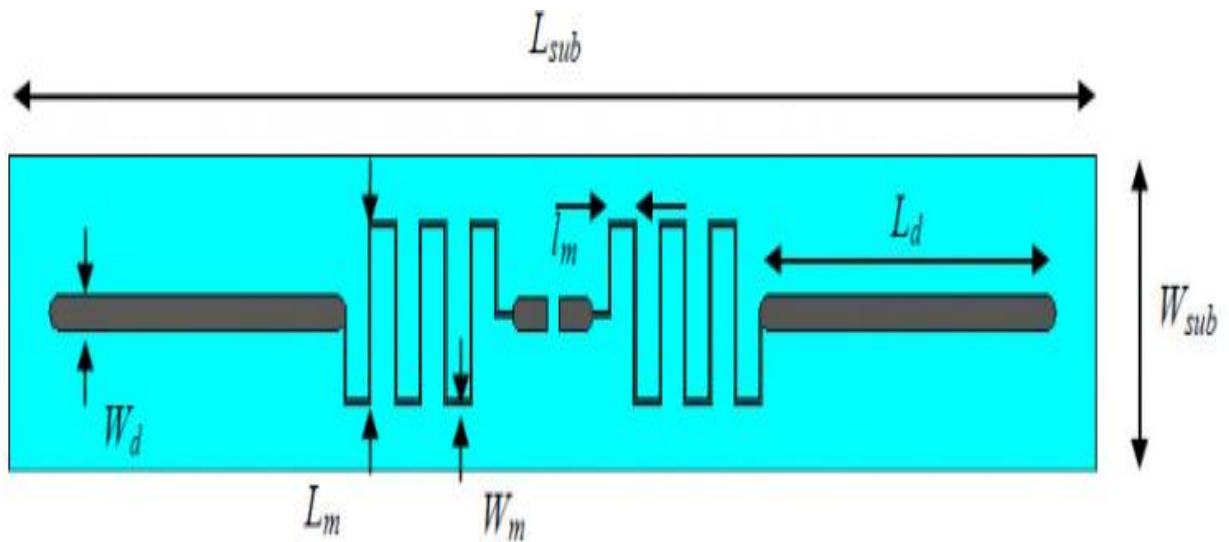


Figure II.10 : Illustration d'une antenne dipôle adaptée par une inductance série [4].

II.5.2. Adaptation par éléments parallèle

L'adaptation d'une antenne dipôle par une inductance parallèle est réalisée par l'adjonction d'un élément inductif placé parallèlement au port d'entrée de l'antenne [25].

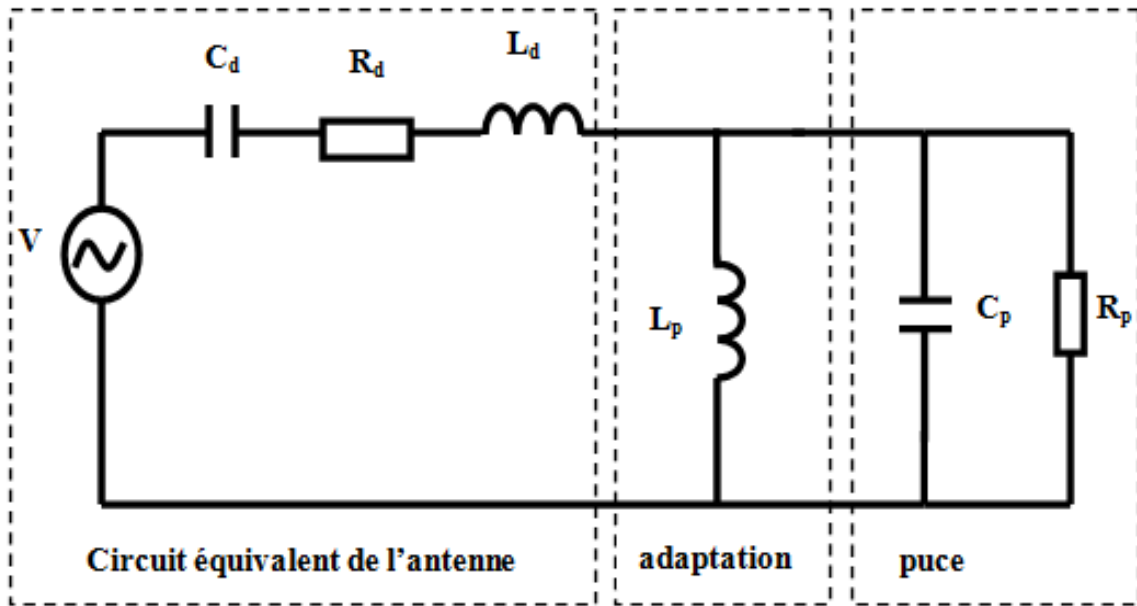


Figure II.11 : Modèle circuit d'un tag RFID constitué d'une antenne dipôle adaptée par une inductance parallèle sans perte.

L'adaptation physique d'une antenne peut être mise en œuvre à l'aide de deux lignes qui court-circuitent le port d'entrée de l'antenne.

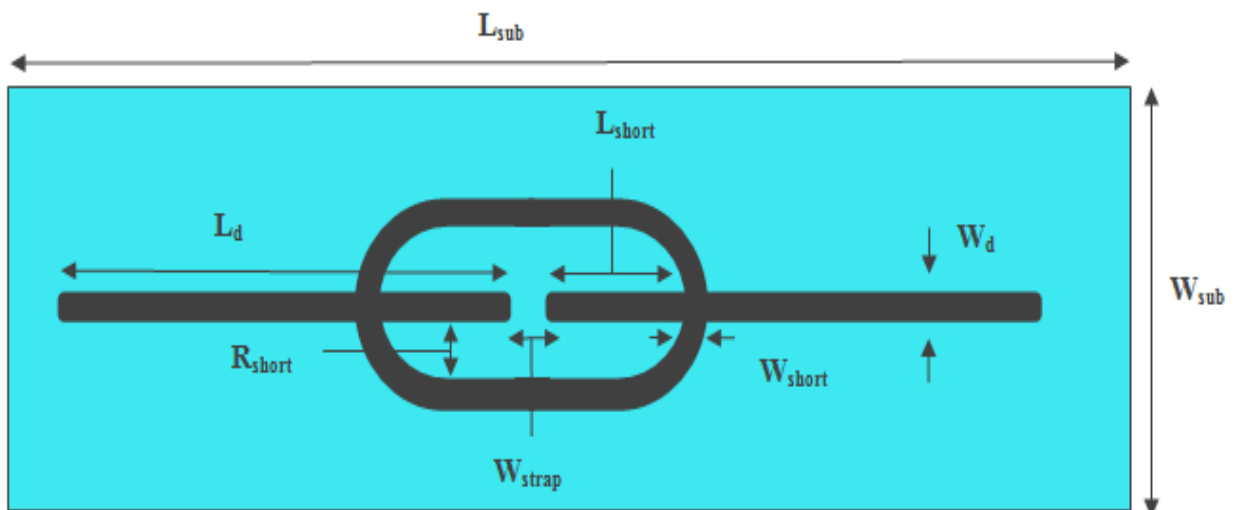


Figure II.12 : Illustration d'une antenne dipôle adaptée par une inductance parallèle.

II.5.3. Adaptation par couplage

L'adaptation d'impédance par couplage est réalisée à l'aide d'un circuit double face, tel que l'antenne dipôle est placée sur la première face, tandis que la puce RFID est connectée à la boucle d'alimentation elle-même connectée à l'antenne sur la deuxième face [4].

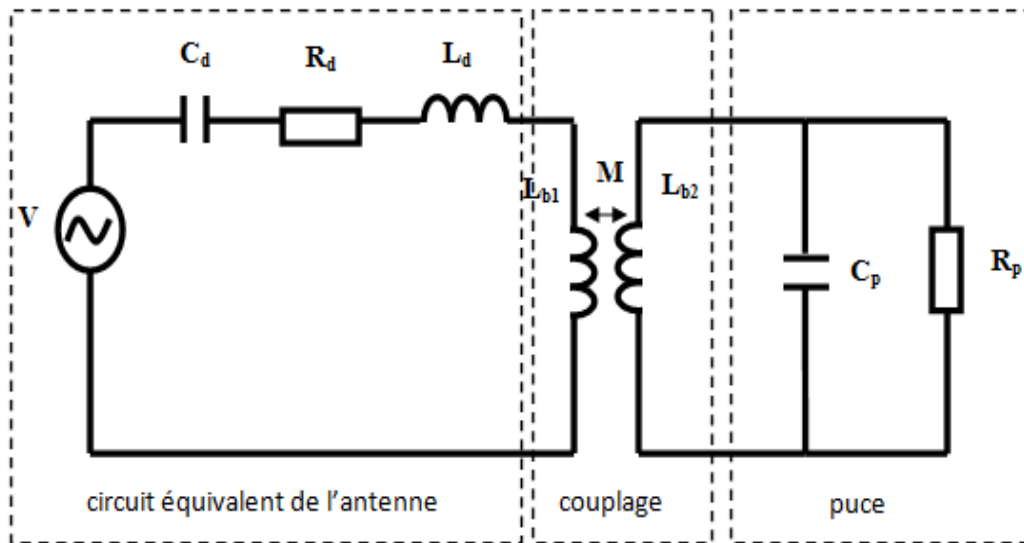


Figure II.13 : Modèle circuit d'un tag RFID constitué d'une antenne dipôle couplée à une boucle inductive.

Cette technique présente divers avantages, comme l'optimisation du tag en champ proche. L'obtention d'un coût réduit du tag en permet la réalisation séparée de la boucle et de l'antenne Ceci permet d'éviter une connexion par procédé flip-chip de la puce à l'antenne directement [25].

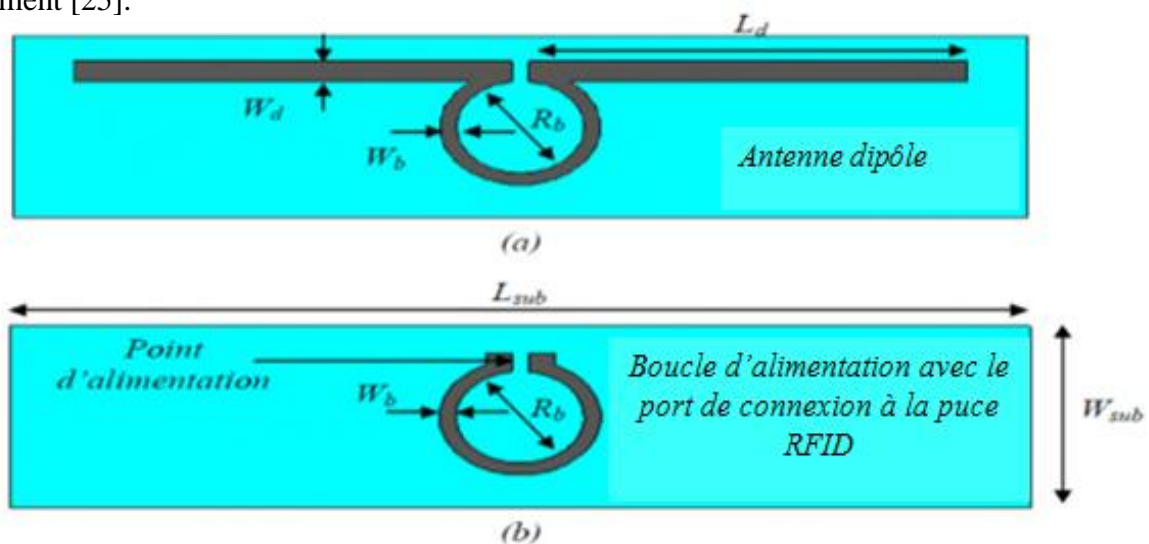


Figure II.14 : Illustration d'une antenne dipôle adaptée par couplage [4].

II.6. Polarisation

Elle définit l'orientation du vecteur champ électrique **E** lors de sa propagation que ce soit en émission ou en réception.

Si l'on suppose que la valeur instantanée du champ électrique rayonné par une antenne, est définie par ses deux composantes (θ, φ) comme exprimé dans l'équation (II.27) :

$$\vec{e} = e_{\theta} \vec{u}_{\theta} + e_{\varphi} \vec{u}_{\varphi} \tag{II.27}$$

Tel que :

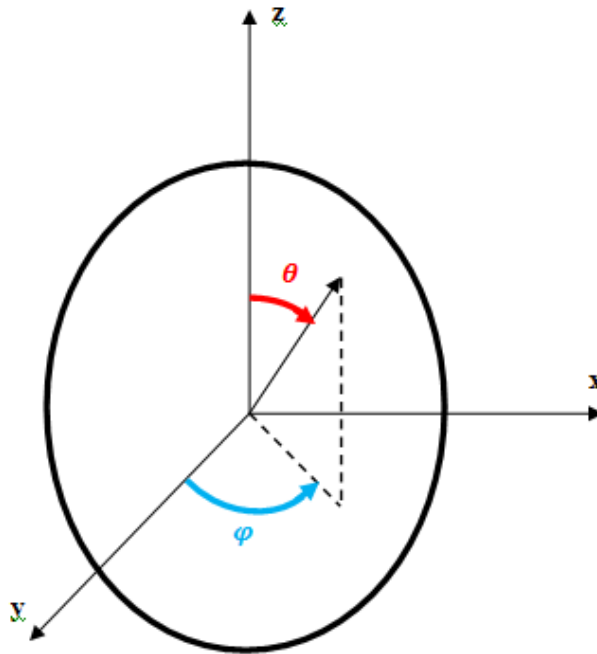


Figure II.15 : Illustration des deux composantes (θ, φ).

Avec :

$$e_{\theta} = E_1 \cos \omega t \tag{II.28}$$

$$e_{\varphi} = E_2 \cos (\omega t + \delta) \tag{II.29}$$

Des équations (II.28) et (II.29) on a :

$$\frac{e_{\theta}}{E_1} = \cos \omega t \tag{II.30}$$

$$\frac{e_{\varphi}}{E_2} = \cos \omega t \cos \delta - \sin \omega t \sin \delta \tag{II.31}$$

On remplace (II.30) dans (II.31) :

$$\frac{e_{\varphi}}{E_2} = \frac{e_{\theta}}{E_1} \cos \delta - \left(\sqrt{1 - \frac{e_{\theta}^2}{E_1^2}} \right) \sin \delta \quad (\text{II.32})$$

$$\left(1 - \left(\frac{e_{\theta}}{E_1} \right)^2 \right) \sin^2 \delta = \left(\frac{e_{\theta}}{E_1} \cos \delta - \frac{e_{\varphi}}{E_2} \right)^2 \quad (\text{II.33})$$

$$\sin^2 \delta = \left(\frac{e_{\theta}}{E_1} \right)^2 + \left(\frac{e_{\varphi}}{E_2} \right)^2 - 2 \left(\frac{e_{\theta} e_{\varphi}}{E_1 E_2} \right) \cos \delta \quad (\text{II.34})$$

(II.34) → 'Equation d'une ellipse'.

L'angle que fait le grand axe de l'ellipse avec la direction \vec{u}_{θ} est donné par :

$$\text{tg } 2\theta = \frac{2E_1 E_2 \cos \delta}{E_1^2 - E_2^2} \quad (\text{II.35})$$

A partir de l'équation de l'ellipse (II.34), on distingue deux types de polarisation : linéaire et elliptique.

II.6.1. Polarisation linéaire

L'orientation du vecteur champ électrique \mathbf{E} est définie par le diagramme de rayonnement de l'antenne, notamment la direction de propagation. Le champ magnétique \mathbf{H} perpendiculaire au champ électrique \mathbf{E} garde la même direction au cours de la propagation. Tant que l'onde ne rencontre aucun obstacle ou ne subit de réflexion, la polarisation est dite rectiligne.

La direction du vecteur \mathbf{E} crée un angle d'une certaine valeur avec le référencier (sol), ce qui engendre une polarisation oblique, qui peut être décomposée en deux ondes, l'une en polarisation horizontale et l'autre verticale. On distingue deux cas particuliers, le cas où l'angle prend la valeur de 0° la polarisation est dite horizontale. Elle est dite verticale dans le cas où l'angle est égal à 90° [27].

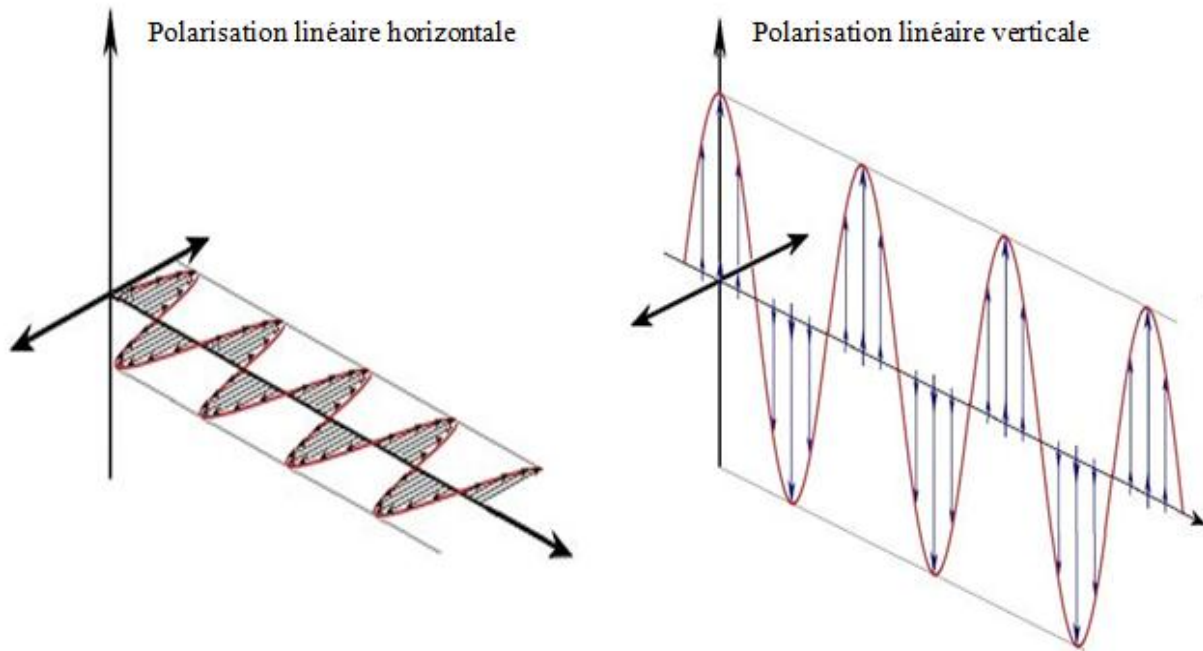


Figure II.16 : Illustration des deux cas particuliers de la polarisation linéaire [28].

Du point de vue mathématique, le champ électrique \mathbf{E} et le champ magnétique \mathbf{H} sont en phase tel que $(\omega = 0)$, alors l'équation (II.34) devient :

$$\sin^2(0) = \left(\frac{e_\theta}{E_1}\right)^2 + \left(\frac{e_\varphi}{E_2}\right)^2 - 2 \left(\frac{e_\theta e_\varphi}{E_1 E_2}\right) \cos(0) \quad (\text{II.36})$$

$$\left(\frac{e_\theta}{E_1}\right)^2 + \left(\frac{e_\varphi}{E_2}\right)^2 - 2 \left(\frac{e_\theta e_\varphi}{E_1 E_2}\right) = 0 \quad (\text{II.37})$$

$$\left(\frac{e_\theta}{E_1} - \frac{e_\varphi}{E_2}\right)^2 = 0 \quad (\text{II.38})$$

(II.38) → 'Polarisation linéaire'.

II.6.2. Polarisation elliptique

Dans ce type de polarisation le vecteur électrique \mathbf{E} change de direction au cours de la propagation en synchronisme avec la longueur d'onde. Une onde polarisée elliptiquement peut être décomposée en trois ondes distinctes : une onde à polarisation horizontale, verticale et circulaire [27].

Le phaseur du champ électrique \mathbf{E} produit avec une telle polarisation peut tourner dans deux directions différentes, soit dans le sens horlogique ou anti-horlogique. Si le champ \mathbf{E} décrit une ellipse de polarisation θ dans le sens des aiguilles d'une horloge, l'onde engendrée est dite de polarisation elliptique gauche. Par contre dans le cas d'une ellipse de polarisation θ

dans le sens inverse des aiguilles d'une horloge, l'onde est dite de polarisation elliptique droite.

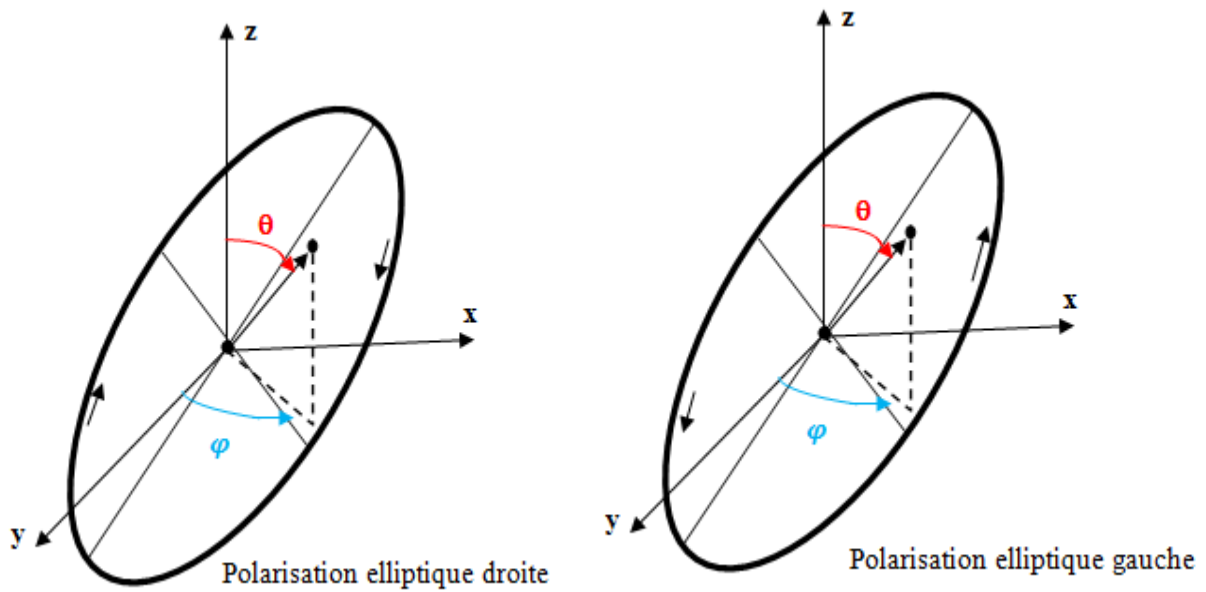


Figure II.17 : Illustration des deux types de polarisation elliptique.

Du point de vue mathématique, le champ électrique \mathbf{E} et le champ magnétique \mathbf{H} sont en quadrature de phase tel que ($\rho = \pi / 2$), alors l'équation (II.34) devient :

$$\sin^2\left(\frac{\pi}{2}\right) = \left(\frac{e_\theta}{E_1}\right)^2 + \left(\frac{e_\varphi}{E_2}\right)^2 - 2 \left(\frac{e_\theta e_\varphi}{E_1 E_2}\right) \cos\left(\frac{\pi}{2}\right) \quad (\text{II.39})$$

$$\left(\frac{e_\theta}{E_1}\right)^2 + \left(\frac{e_\varphi}{E_2}\right)^2 = 1 \quad (\text{II.40})$$

(II.40) → 'Polarisation elliptique'.

Cas particuliers :

- Si le petit axe de l'ellipse est nul la polarisation devient linéaire.
- Si $E_1 = E_2 = E_0$ et sachant que $\vec{e} = e_\theta \vec{u}_\theta + e_\rho \vec{u}_\rho$ alors on écrit l'équation $E_0^2 = e_\theta^2 + e_\rho^2$ qui représente celle d'un cercle. Une onde à polarisation circulaire est donc constituée par deux champs égaux perpendiculaires dans l'espace et déphasés entre eux de 90° [29].

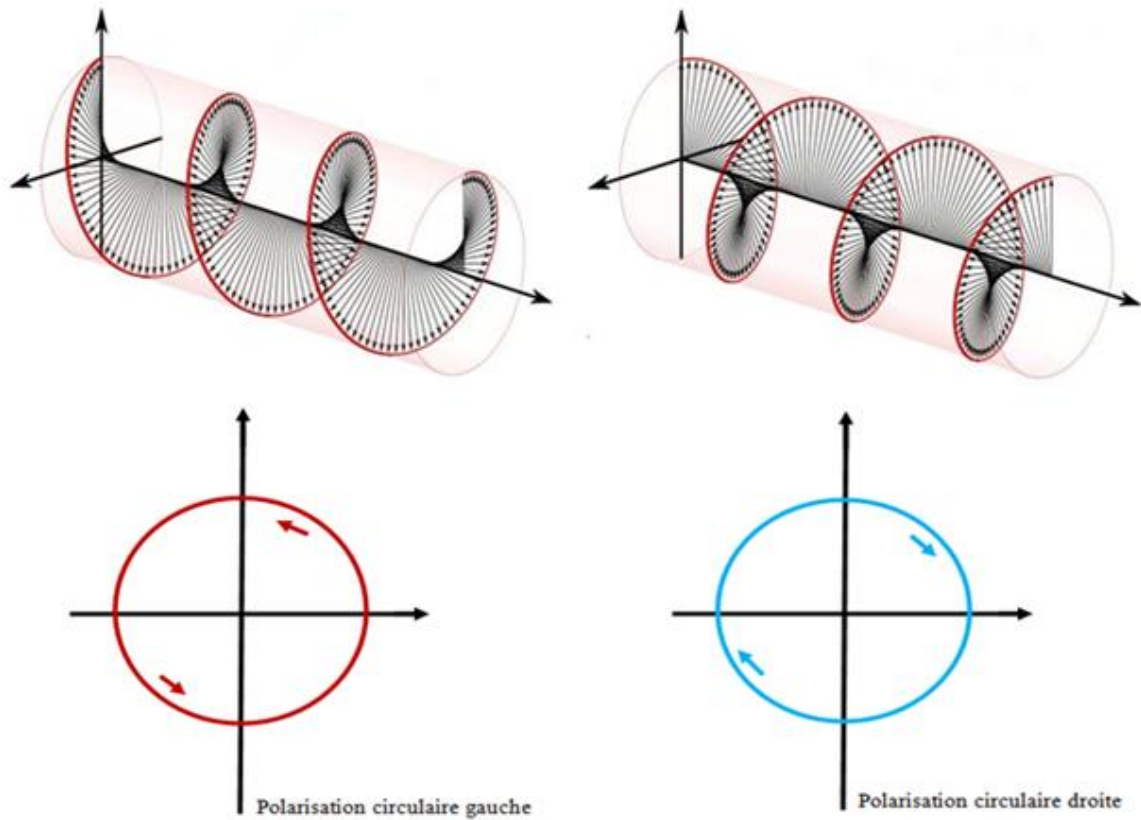


Figure II.18 : Illustration des deux types de polarisation circulaire [28].

II.7. Pertes de transmission dues à une différence de polarisation

La polarisation de l'antenne de réception doit être la même que la polarisation de l'onde reçue, précisément sur les fréquences supérieures à 30MHz. Un mauvais choix de la polarisation de l'antenne de réception peut engendrer une perte équivalente à 3dB ou par un affaiblissement très grand pouvant dépasser 20 dB [30].

		Elliptique		Linéaire	
		Droite	Gauche	Verticale	Horizontale
Elliptique	Droite	0	20dB	3dB	3dB
	Gauche	20dB	0	3dB	3dB
Linéaire	Verticale	3dB	3dB	0	20dB
	Horizontale	3dB	3dB	20dB	0

Tableau II.2 : Pertes dues à un mauvais choix de polarisation.

La polarisation joue un rôle très important dans la qualité de transmission d'une antenne.

II.8. Antenne à polarisation circulaire [6]

Les antennes à polarisation circulaire présentent de nombreux avantages évidents qui favorisent leur utilisation, parmi elles on compte :

II.8.1. Antenne Hélice

L'antenne hélice ressemble à une bobine étirée, protégée par un tube isolant afin d'éviter toutes perturbations extérieures. On place généralement à son extrémité arrière un réflecteur qui a pour mission de diminuer les lobes arrière et augmenter le gain [31].

Deux modes de fonctionnement sont rencontrés dans les antennes hélices, un mode radial dit normal qui est caractérisé par un rayonnement omnidirectionnel dans le plan horizontal, et un mode axial qui représente un rayonnement directif dans l'axe avec une polarisation circulaire.

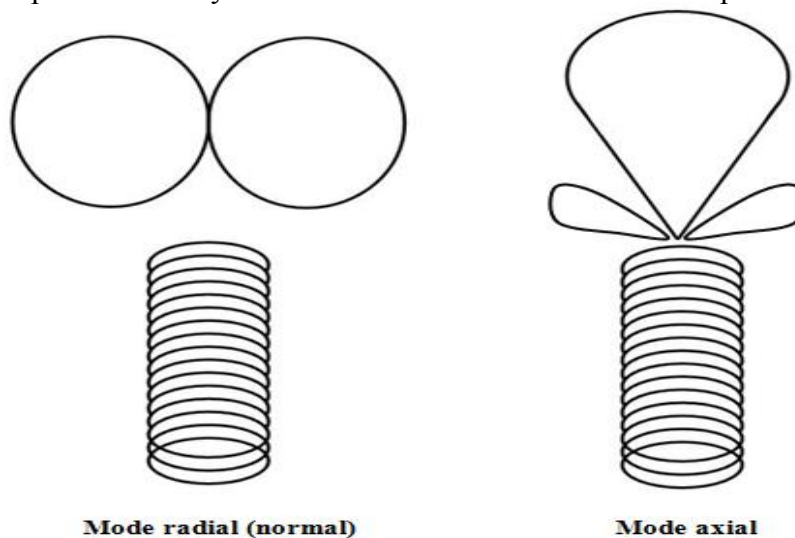


Figure II.19 : Les deux modes de fonctionnement d'une antenne hélice.

Les antennes hélices sont très utilisées dans le domaine de la télécommunication spatiale pour les avantages suivants :

- Large bande passante en adaptation, en gain et en rapport axial.
- Facilité de réalisation.
- Peu coûteuse.

II.8.2. Antenne tourniquet (turnstile)

Une antenne tourniquet ou antenne dipôle croisé est une antenne radioélectrique composée d'un ensemble de deux antennes dipôles identiques montées perpendiculairement l'une à

l'autre et alimentées en quadrature de phase ; les deux courants appliqués aux dipôles sont déphasés de 90° . L'antenne peut être utilisée dans deux modes possibles. En mode normal, l'antenne émet des ondes radio polarisées horizontalement perpendiculairement à son axe. En mode axial, l'antenne émet un rayonnement polarisé circulairement le long de son axe. Ces antennes sont utilisées comme antennes de radiodiffusion télévisuelle en mode normal, mais aussi pour les communications satellitaires, notamment dans les stations terrestres dans la bande VHF et UHF en mode axial, la polarisation circulaire étant souvent utilisée pour les communications par satellite car elle n'est pas sensible à l'orientation de l'antenne dans l'espace [36].



Figure II.20 : Antenne tourniquet avec réflecteurs.

II.8.3. Antenne Patch [37]

L'antenne planaire ou patch (en anglais) est une antenne plane dont l'élément rayonnant est une surface conductrice généralement carrée, séparée d'un plan réflecteur conducteur (plan de masse) par une lame diélectrique (substrat).

La polarisation circulaire peut être obtenue à partir d'un seul ou de deux points d'excitation. Le choix d'une technique plutôt qu'une autre est dicté par la bande passante à l'intérieur de laquelle la polarisation circulaire est maintenue. C'est-à-dire que si on veut une bande passante assez large il faut utiliser un système à deux points d'alimentation.

Dans le cas d'un patch carré, l'alimentation double est obtenue en ajustant la sonde d'alimentation sur chacune des médianes du patch. Le déphasage temporel de 90° est ajusté au niveau du circuit d'alimentation en ajoutant un tronçon de ligne de longueur $\lambda/4$.



Figure II.21 : Patch carré à polarisation circulaire à double excitation.

Pour l'alimentation à l'aide d'un seul point d'excitation, il faut ajuster la sonde d'alimentation de façon précise sur le patch, la polarisation circulaire dans ce cas s'obtient, soit en plaçant la sonde en diagonal sur l'un des quatre côtés du patch, soit en introduisant une dissymétrie sur l'élément rayonnant, par exemple en créant une troncature sur deux des quatre côtés de l'antenne ou en ajoutant un motif (fentes, encoches) sur l'élément rayonnant, comme le montre la figure ci-dessous :



Figure II.22 : Exemples de dissymétrie permettant d'obtenir une polarisation circulaire à partir d'une excitation unique.

II.9. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons tout d'abord présenté les différents paramètres fondamentaux qui caractérisent les antennes RFID, citant en premier lieu les paramètres décrivant l'antenne comme étant un circuit, en deuxième lieu ceux qui renseignent sur sa qualité d'émission et de réception donnant une vision spatiale et en troisième lieu les paramètres de réception.

Puis, nous avons évoqué l'importance du choix de la puce dans les systèmes RFID et sur quelle base celle-ci doit se faire, en citant les techniques de modélisation électriques des puces RFID passives.

Dans le but d'optimiser d'avantage l'antenne, des méthodes d'adaptation d'impédance par des inductances sont illustrées par des techniques de réalisation, tel que l'adaptation par élément séries, par éléments parallèles et par couplage magnétique.

Par la suite, vient l'énumération des types de polarisation et les pertes causées par la différence de celle-ci lors de la transmission entre l'antenne d'émission et de réception, ainsi que quelques antennes à polarisation circulaire.

Conception et simulation

III.1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons concevoir un tag RFID à polarisation circulaire. Ce type de tags, va permettre d'améliorer les conditions de lecture quel que soit sa disposition. L'antenne choisie est une antenne à boucle carrée avec un espace ouvert (gap), et deux bandes d'alimentation. L'adaptation avec une puce d'impédance complexe (Higgs 4) est réalisée à l'aide d'un stub (T-match), pour travailler dans la bande UHF [902-928] MHz. La modélisation et la simulation sont effectuées à l'aide du logiciel CST Microwave Studio.

III.2. Présentation du logiciel et méthodologie de conception



Computer Simulation Technology Studio Suite est un logiciel capable de simuler et de résoudre tous les problèmes électromagnétiques, des problèmes de basse fréquence aux micro-ondes, aux problèmes optiques ainsi qu'aux problèmes thermiques et mécaniques. Il est constitué de plusieurs studios [33].

Pour notre projet, nous allons utiliser le Microwave Studio qui est un outil spécialisé dans la simulation 3D EM de composantes hautes fréquences [34].

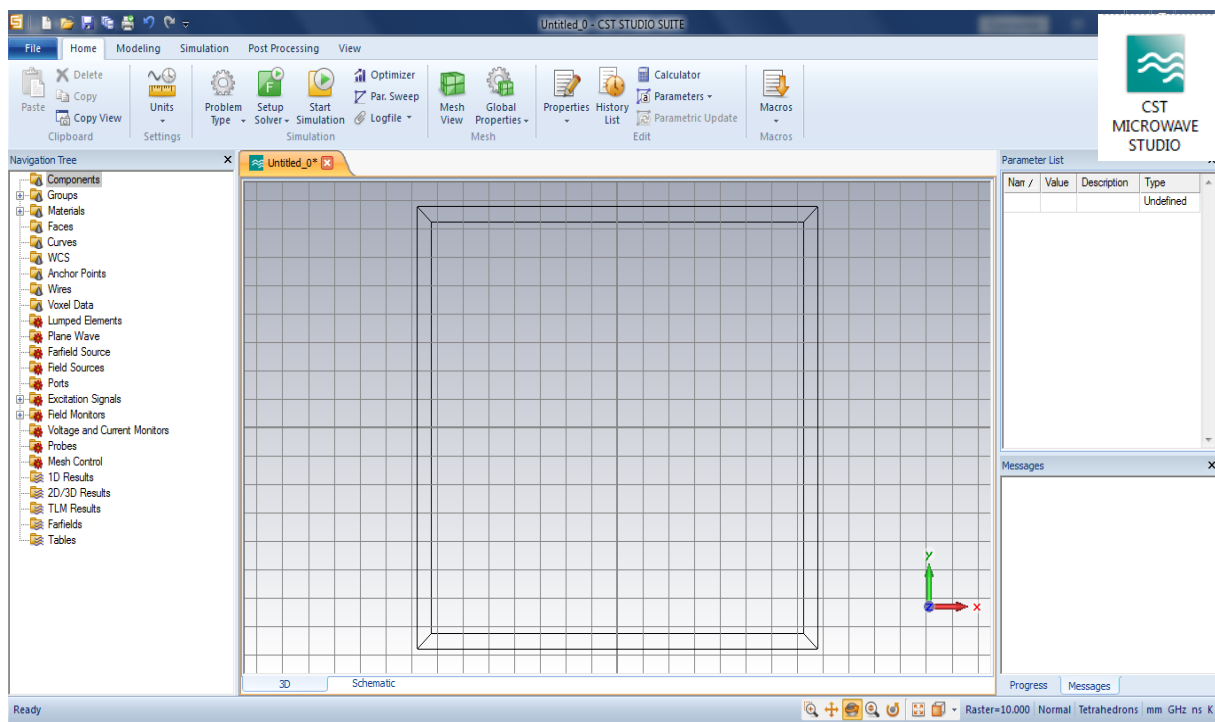


Figure III.1 : CST Microwave Studio.

Afin de réaliser notre travail plusieurs étapes (résumées dans la figure III.1) sont suivies [4] :

- Définition de la structure de l'antenne.
- Définition des matériaux diélectriques et conducteurs (diélectrique pour le substrat et conducteur pour l'antenne).
- Définition du port d'alimentation (port discret adapté aux structures nécessitant des sources discrètes comme les puces RFID).
- Définition de la plage de fréquence.
- Définition du maillage : le temps de calcul varie en fonction du nombre de mailles. Si le nombre de mailles est trop faible les résultats sont erronés, afin d'optimiser le maillage nous utilisons le maillage adaptatif, cela permet de densifier le maillage à chaque interface ainsi que le maillage local.
- Analyse et vérification des résultats de simulations.
- Effectuer une étude paramétrique : le but de cette étude est de voir l'influence d'un paramètre sur les propriétés de l'antenne et identifier des paramètres géométriques de l'antenne pouvant améliorer les propriétés désirées ce qui permet de converger vers une solution.

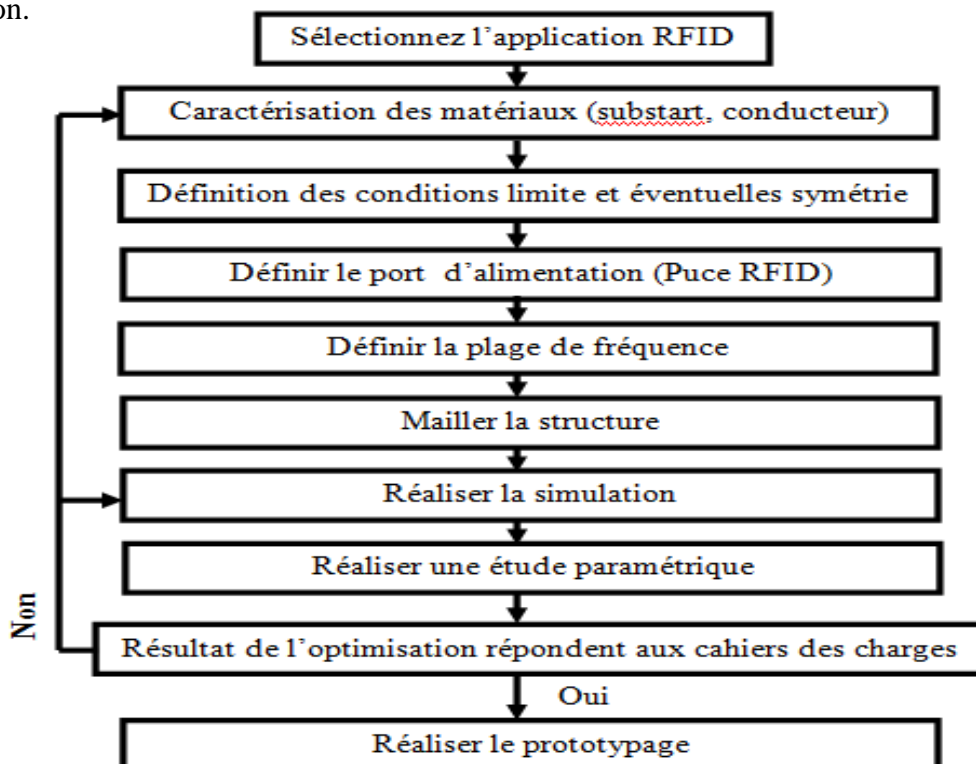


Figure III.2 : Méthodologie de conception de l'antenne.

III.3. Conception de l'antenne [35]

La structure de l'antenne est une boucle carrée avec un espace ouvert (gap), et deux bandes d'alimentation entre lesquels est placée une puce d'impédance complexe (Higgs 4). L'adaptation est réalisée à l'aide d'un stub.

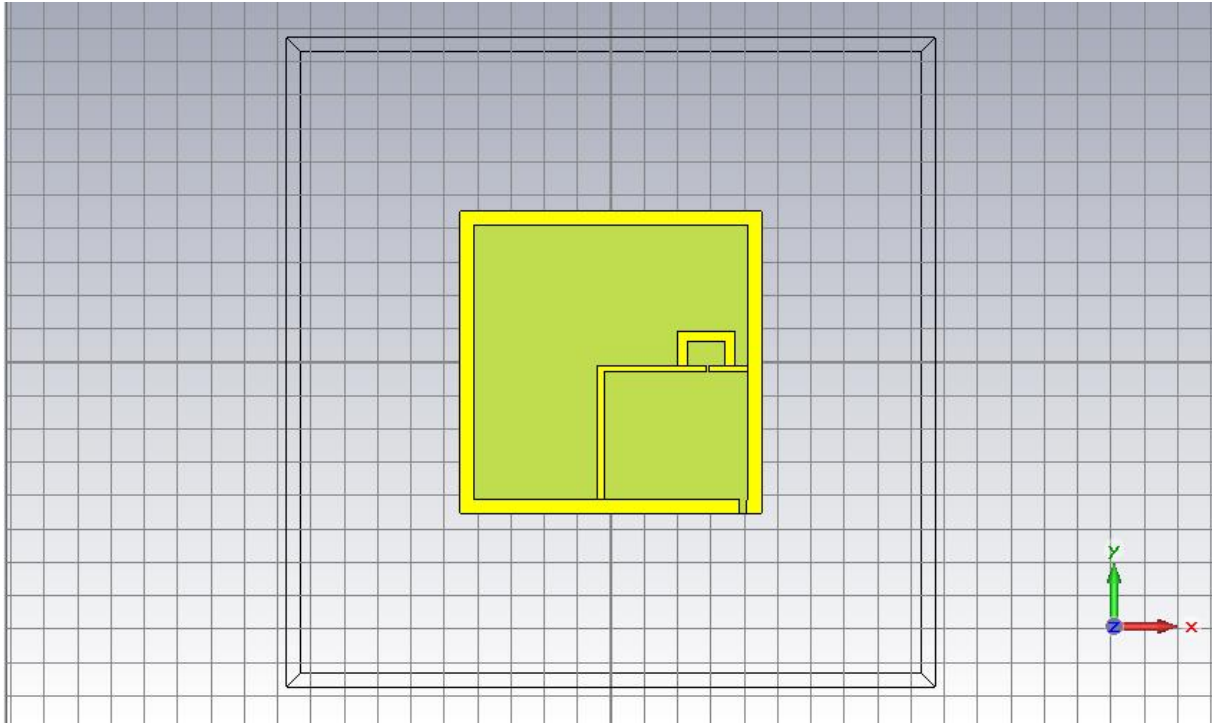


Figure III.3 : Tag RFID sous forme de boucle carré.

Cahier des charges

Les dimensions de l'antenne proposée sont :

- La boucle carrée

Matériau utilisé : Cuivre.

Paramètres	Dimensions (mm)
Longueur	90
Largeur	4
Epaisseur	0.15

Tableau III.1 : Dimensions en mm de la boucle carrée.

- **Deux (02) bandes d'alimentation**

Matériau utilisé : Cuivre.

Paramètres	Dimensions (mm)
Longueur 1 (bande 1)	11.50
Longueur 2 (bande 2)	68.50
Largeur	2
Epaisseur	0.15

Tableau III.2 : Dimensions en mm des deux bandes d'alimentation.

- **Stub (T-match)**

Matériau utilisé : Cuivre.

Paramètres	Dimensions (mm)
Longueur 1 (Lx)	17
Longueur 2 (Ly)	10.25
Largeur	3
Epaisseur	0.15

Tableau III.3 : Dimensions en mm du stub.

- **Substrat**

Matériau utilisé : ST37, epsilon = 1.

Paramètres	Dimensions (mm)
Longueur	90
Largeur	90
Epaisseur	12.60

Tableau III.4 : Dimensions en mm du substrat.

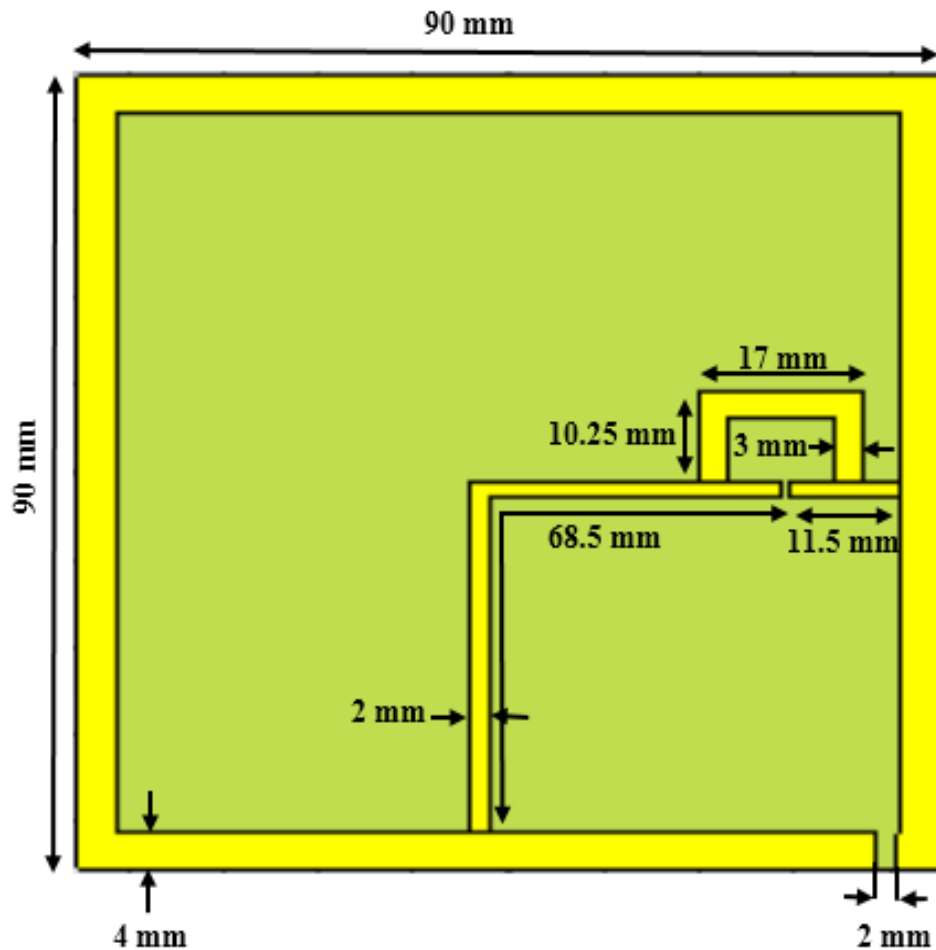


Figure III.4 : Dimensions de l'antenne.

- **Alimentation de l'antenne**

Cette étape consiste à alimenter l'antenne avec une impédance complexe. La partie réelle de l'impédance de l'antenne est représentée par un « discret port », tandis que la partie imaginaire de type capacitif est représentée par un « lumped element ». La présence de la boucle dans le dipôle introduit un effet inductif, qui a pour rôle d'annuler l'effet capacitif de la puce, ceci a pour effet d'annuler la partie imaginaire de l'impédance, et d'assurer une bonne adaptation de l'antenne et donc obtenir de très bons résultats pour le paramètre S_{11} .

La partie réelle (port discret) est représentée sur la figure ci-dessous :

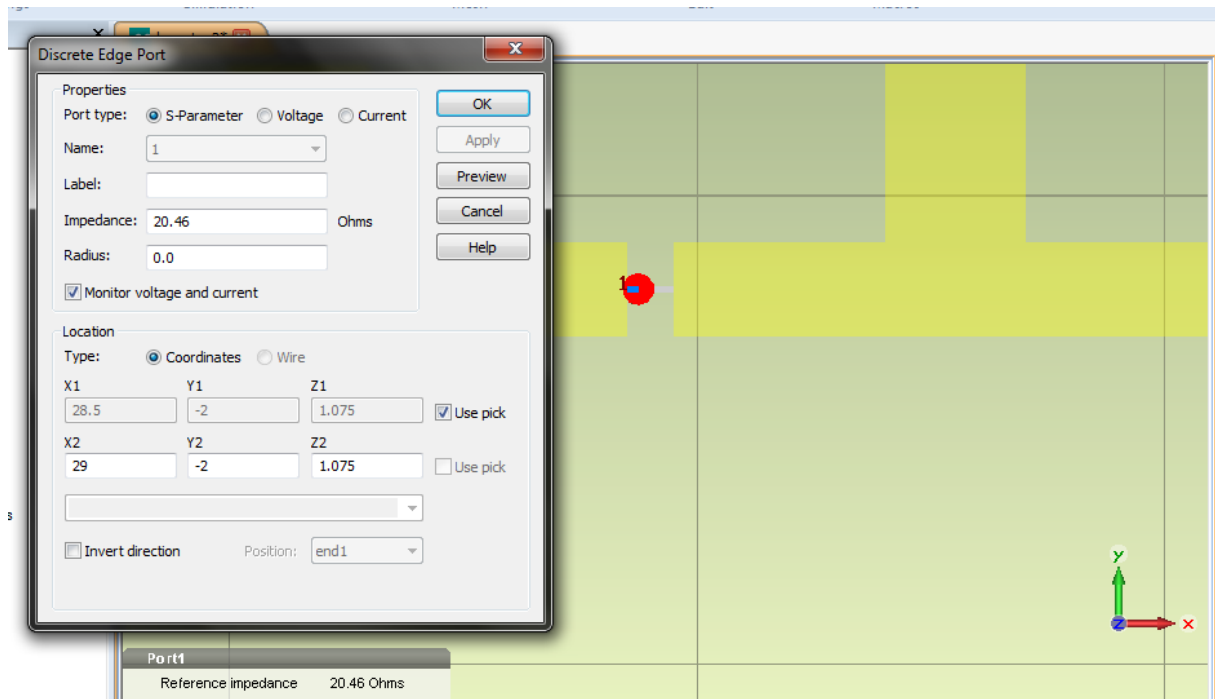


Figure III.5 : Alimentation de l'antenne par un port discret.

La partie imaginaire (Lumped element) est représentée sur la figure ci-dessous :

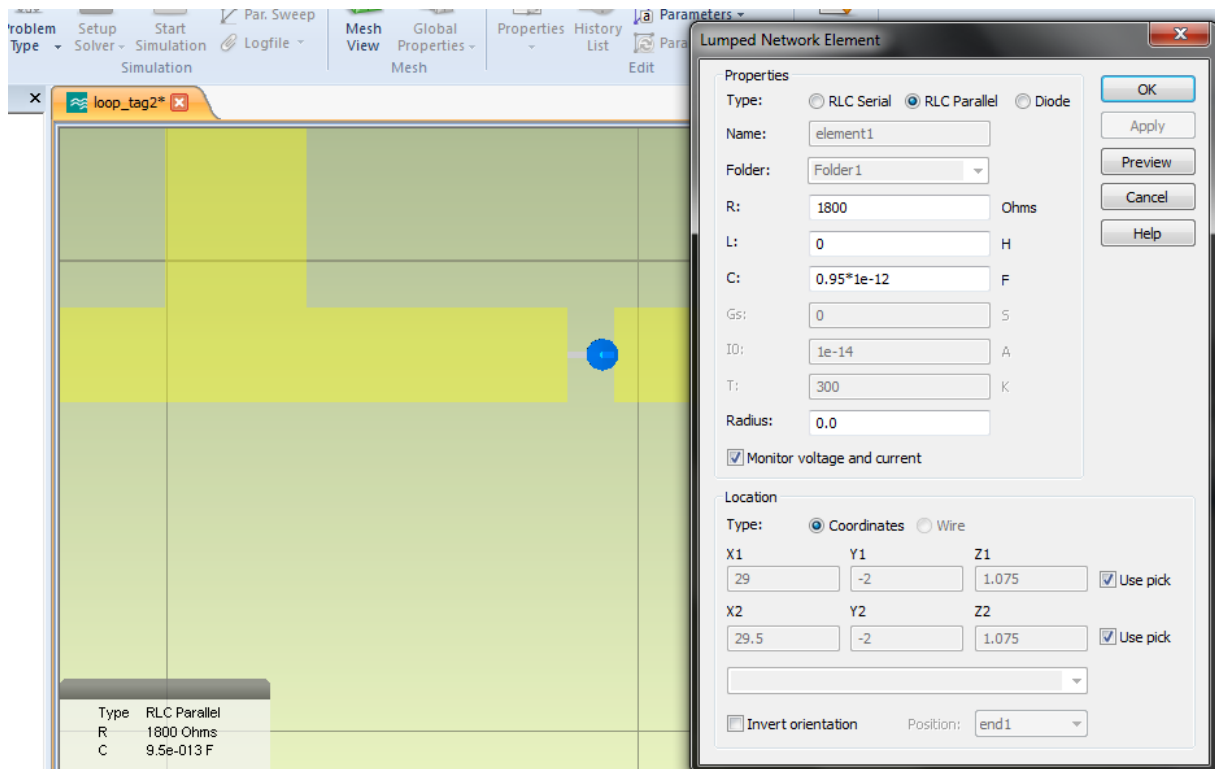


Figure III.6 :Lumped element.

III.4. Résultats de simulation

Ce tag doit fonctionner dans la bande UHF (902-928 Mhz) allouée à la région américaine. Il doit avoir une polarisation circulaire.

III.4.1. Etude paramétrique

Afin de comprendre le fonctionnement de notre antenne et dans le but de maîtriser son comportement, nous avons effectué l'étude paramétrique suivante :

❖ **Substrat** : On fixe la taille du T-match ($L_x=17\text{mm}$, $L_y=10.25\text{mm}$)

Taille du substrat (mm)	Fréquence de résonance (GHz)	Paramètre S_{11}
1	1.11	-51.741
12.6	0.915	-21.915
13	0.7999	-23.026

Tableau III.5 : Etude paramétrique par rapport au substrat.

En augmentant la taille du substrat, on remarque un décalage vers les basses fréquences, et vice-versa.

❖ **T-match** : On fixe la taille du Substrat (12.6mm)

Taille du T-match (mm)		Fréquence de résonance (GHz)	Paramètre S_{11}
L_x	L_y		
17	10.25	0.915	-21.915
17	14	0.889	-18.648
17	8	0.921	-31.108
19	10.25	0.915	-19.238
16	10.25	0.915	-21.009

Tableau III.6 : Etude paramétrique par rapport au stub.

En jouant sur les dimensions du Stub, on influe sur la profondeur du paramètre S_{11} , c'est-à-dire :

- En diminuant la longueur L_y on gagne en profondeur et vice-versa.

- En diminuant la longueur L_x on gagne en profondeur et vice-versa.

III.4.2. Polarisation circulaire gauche (du point de vue du récepteur)

Après maintes simulations, nous avons obtenu les résultats suivants :

III.4.2.a. Coefficient de réflexion S_{11}

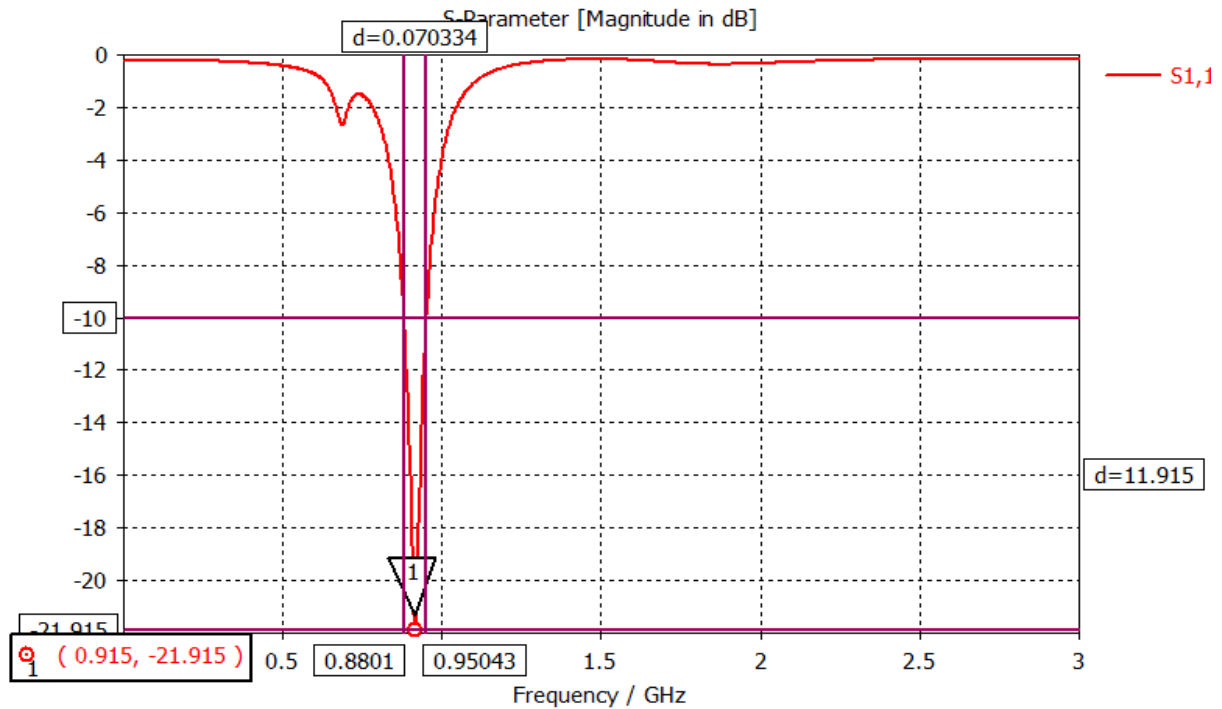


Figure III.7 : Coefficient de réflexion S_{11} de l'antenne.

Comme le montre la figure ci-dessus, le pic est de -21.915 (dB) centré à une fréquence de 915MHz.

D'après la figure, la valeur de la bande passante est de 70.334MHz.

$$BP (\%) = \frac{0.070334}{0.915} \times 100 = 7.68 \% \quad (III.1)$$

III.4.2.b. Abaque de Smith

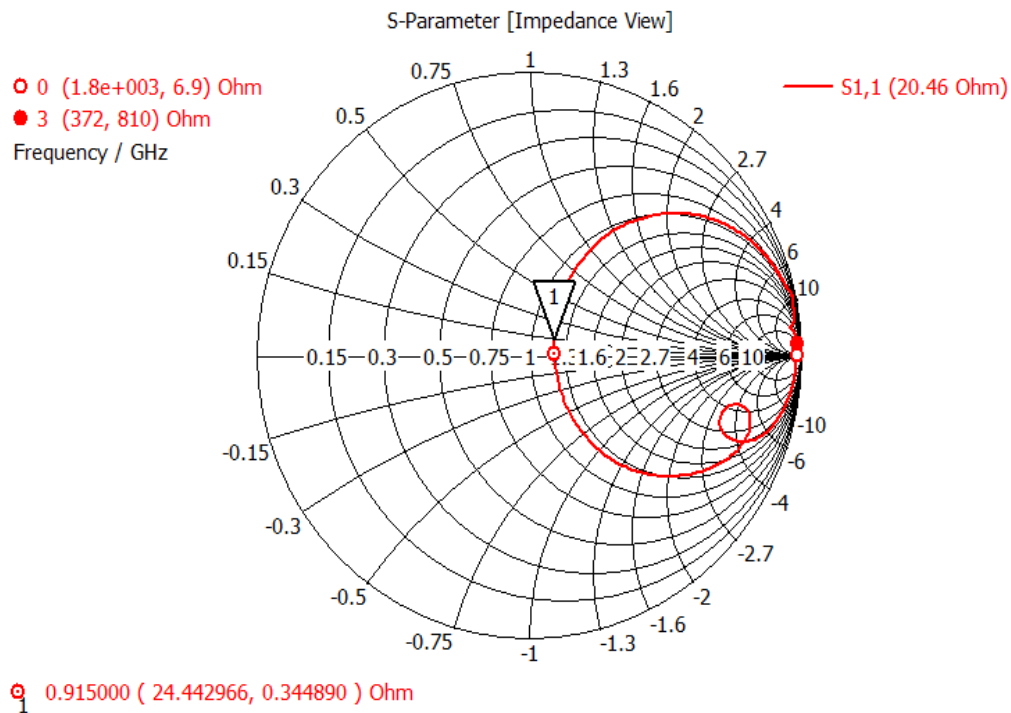


Figure III.8 : Impédance caractéristique sur l’Abaque de Smith.

De la figure précédente, nous constatons qu’il y’a une bonne adaptation qui se rapproche du cas idéal $z_c = 1$ sachant que $Z_c = 1 \times 20.46$, après optimisation.

III.4.2.c. Rapport axial

Le rapport du demi-grand axe au demi-petit axe de l’ellipse est appelé rapport axial. On le compte positivement pour les ondes gauches et négativement pour les ondes droites. Il vérifie la relation suivante :

$$1 \leq |AR| \leq \infty \quad (III.1)$$

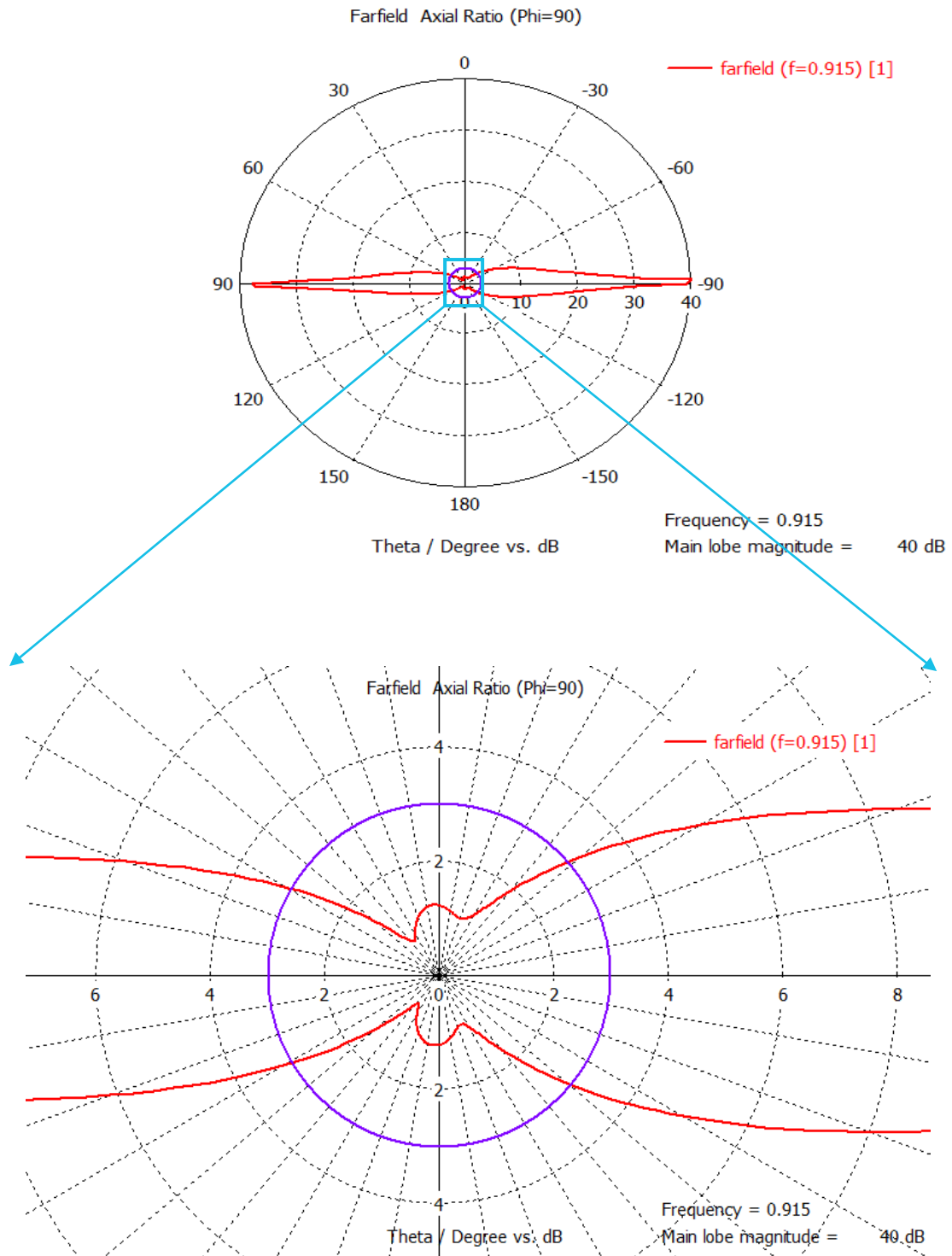


Figure III.9 : Le rapport axial (RA) pour la polarisation circulaire gauche.

Lorsque $AR = 1$, la polarisation est circulaire. Lorsque AR est infini, la polarisation est rectiligne. AR est souvent mesuré en dB :

$$AR_{dB} = 20 \log_{10}(|AR_{linéaire}|) \quad (III.2)$$

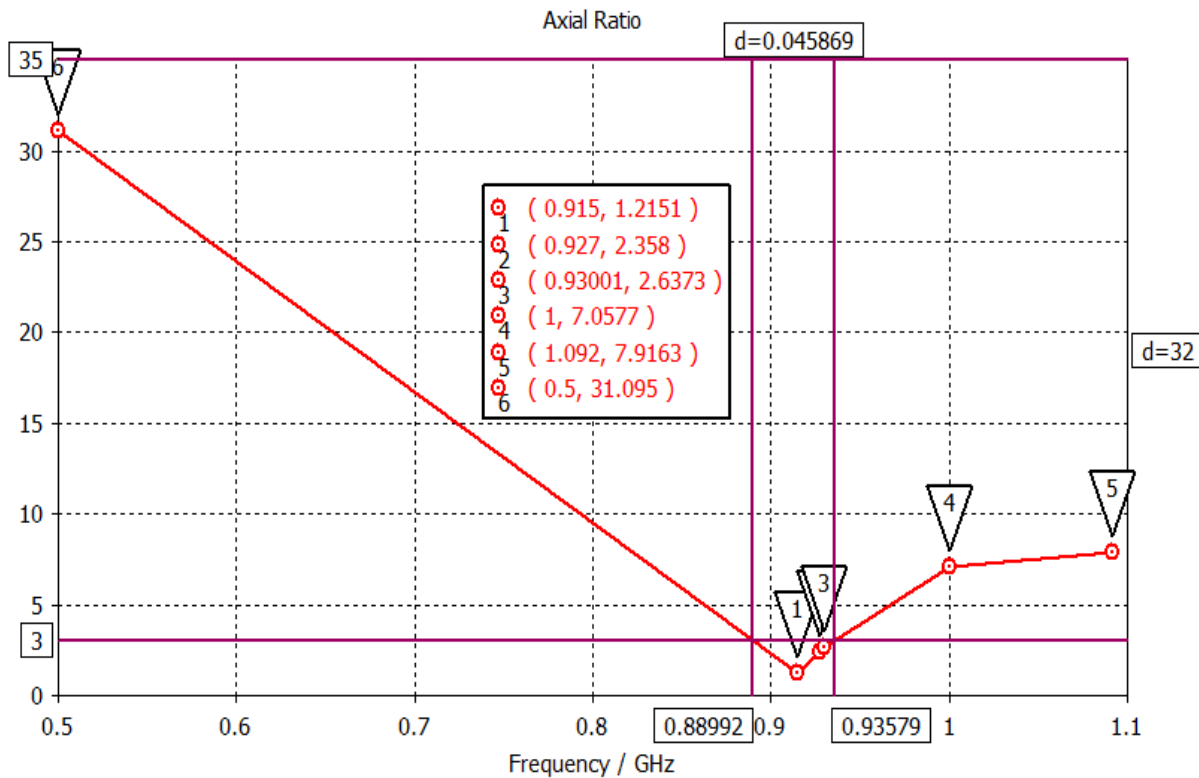


Figure III.10 : Le rapport axial (RA) en fonction de la fréquence.

Pour avoir une antenne à polarisation circulaire, le rapport axial doit être inférieur à 3 dB. Le rapport axial varie rapidement en fonction de la fréquence, de l'angle φ et de l'angle θ . La polarisation circulaire en fonction de la fréquence est obtenue dans la direction normale à l'antenne avec $\varphi=\theta=90^\circ$.

D'après la figure III.10, l'antenne est dite à polarisation circulaire puisque le rapport axial est inférieur est de 1.2151 dB qui est inférieur à 3dB.

Par ailleurs la polarisation circulaire est obtenue sur toute la bande (889.92-935.79MHz).

III.4.2.d. Champ électrique E

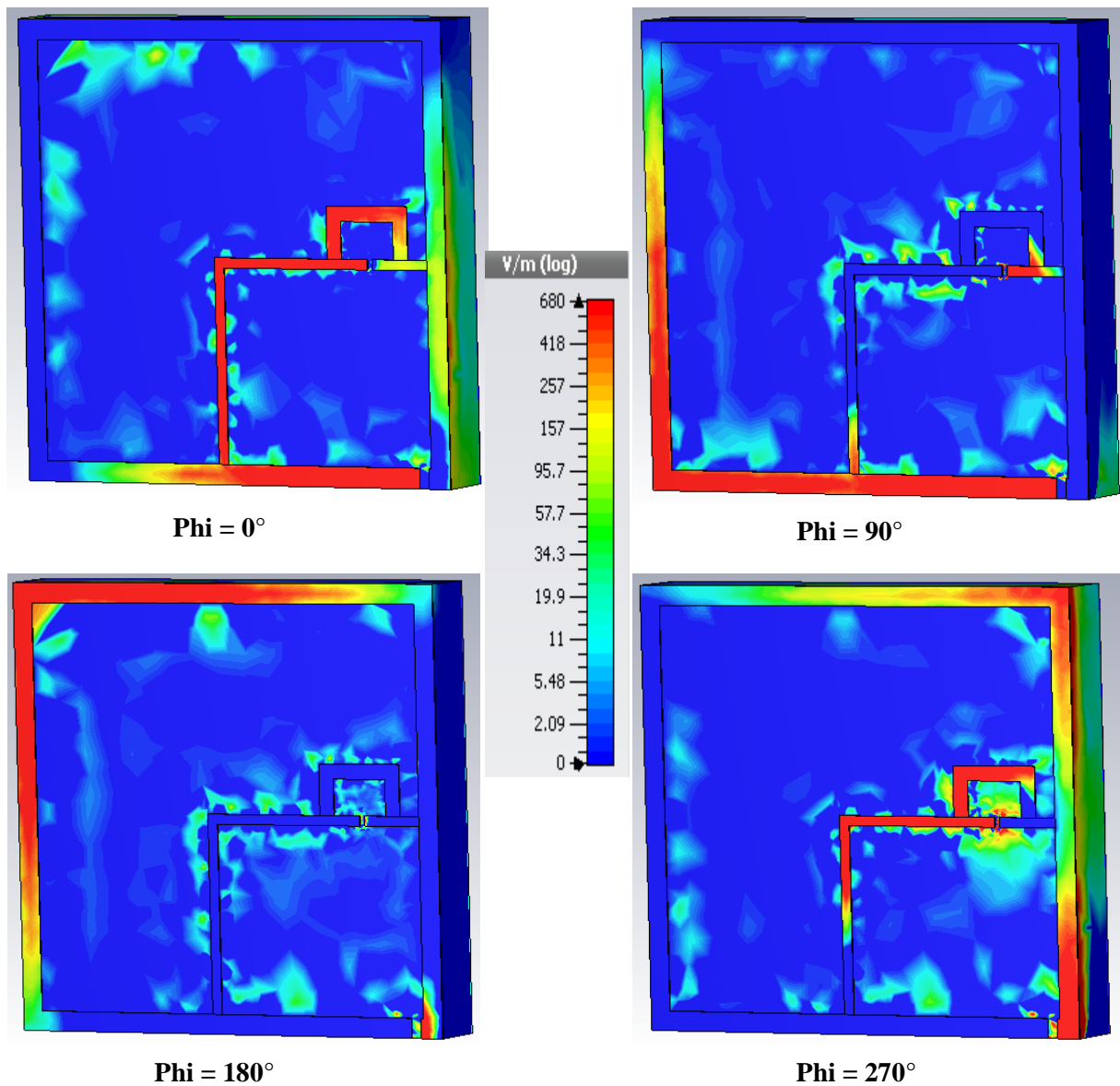


Figure III.11 : Champ électrique E pour différentes phases.

Selon la figure III.11, nous remarquons que le champ électrique E circulent tout le long de l'antenne vers la droite du point de vue de la source (l'antenne) mais vers la gauche du point de vue du récepteur et sa valeur maximale est de 680 V/m.

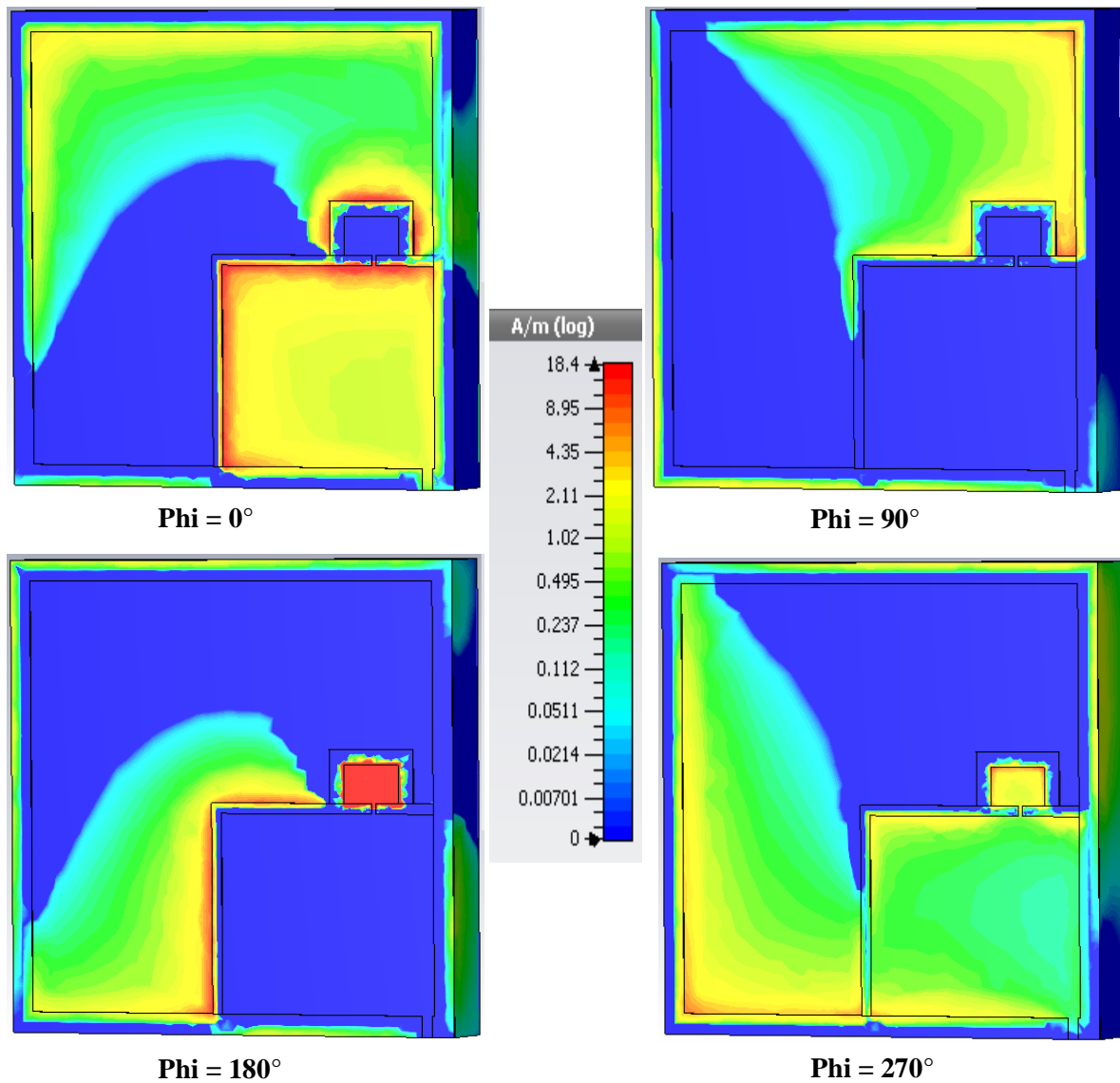
III.4.2.e. Champ magnétique \mathbf{H} 

Figure III.12 : Champ magnétique \mathbf{H} pour différentes phases.

La figure III.12 montre la propagation du champ magnétique \mathbf{H} sur l'antenne. La valeur maximale est de 18.4 A/m.

III.4.2.f. Courant de surface

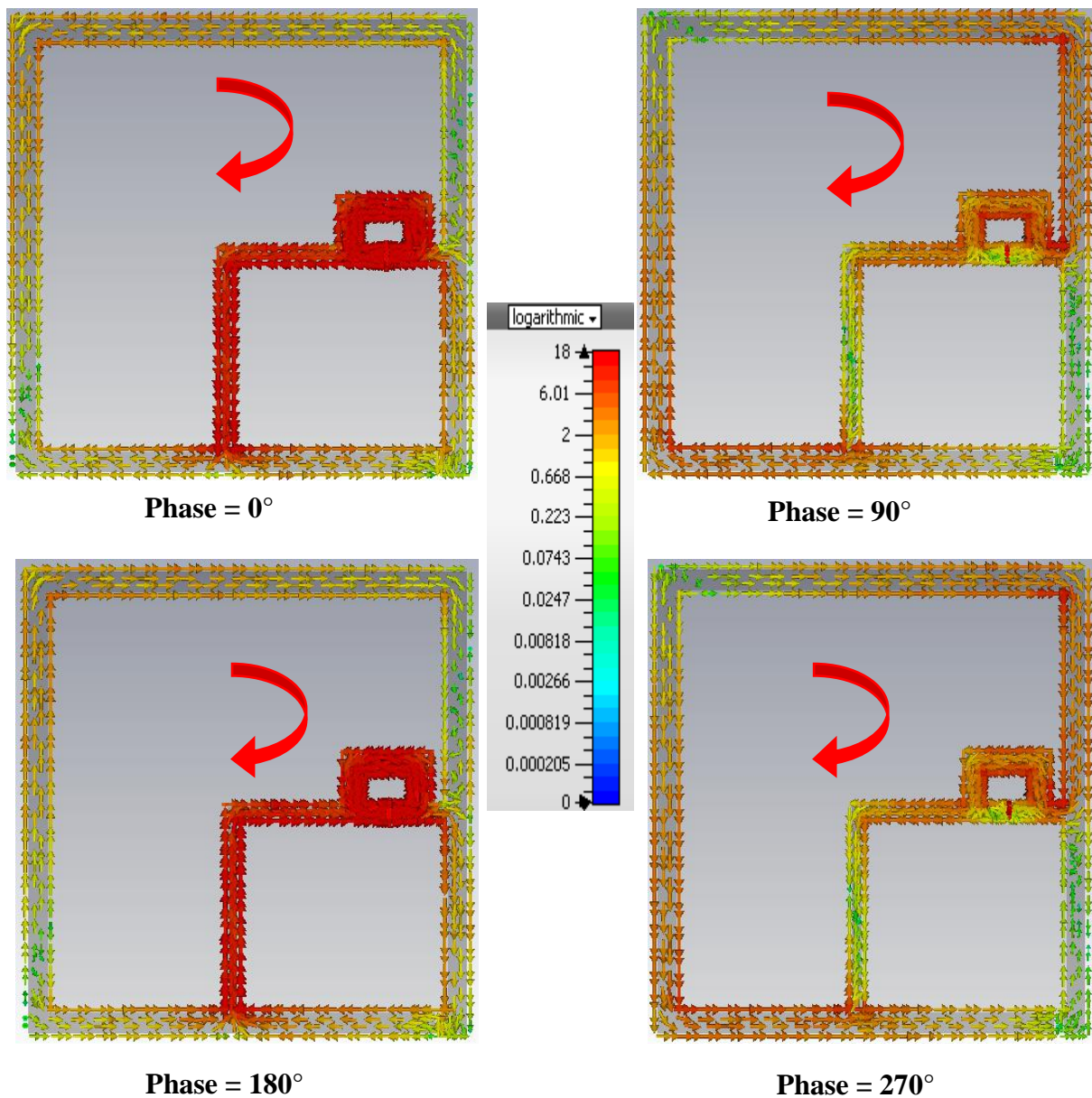


Figure III.13 : Courant de surface pour différentes phases.

En variant la phase de 0° à 270° , on remarque que la distribution du courant se fait dans le sens horraire, ce qui indique que notre antenne est à polarisation circulaire gauche.

La valeur maximale est de 18 A/m.

III.4.2.g. Diagramme de rayonnement

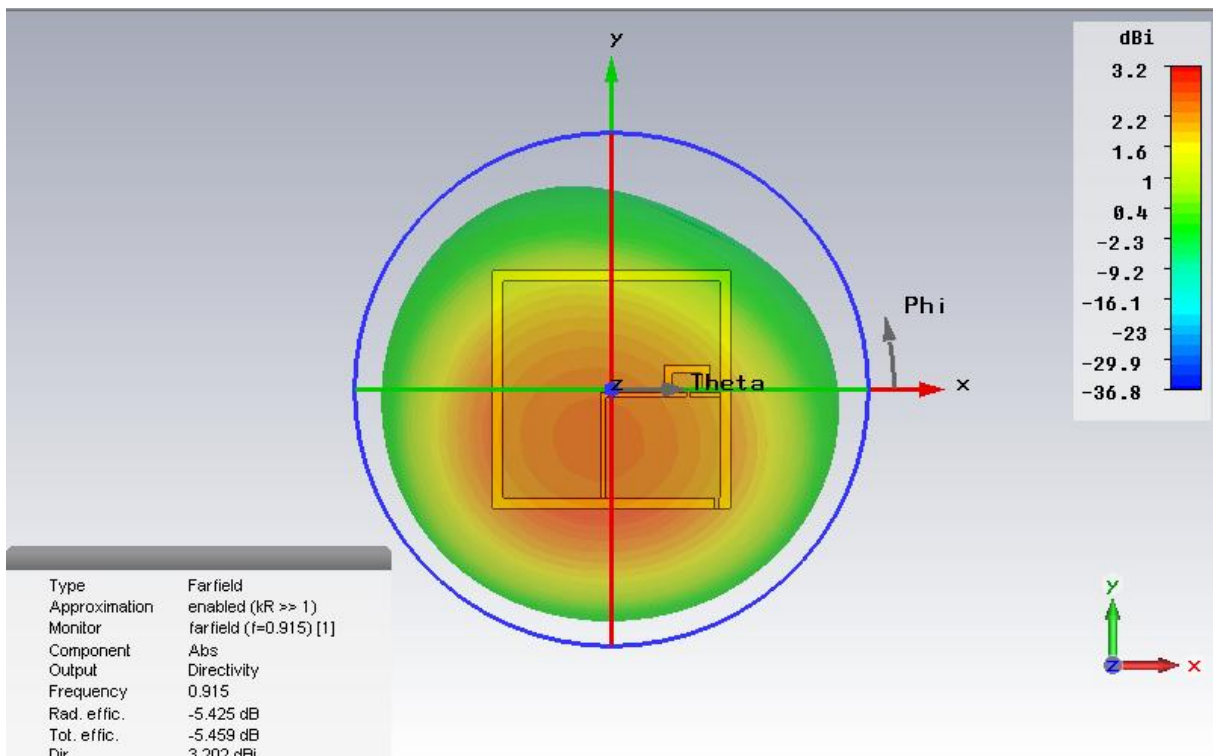


Figure III.14 : Diagramme de rayonnement en 3D de l'antenne sur le plan xy.

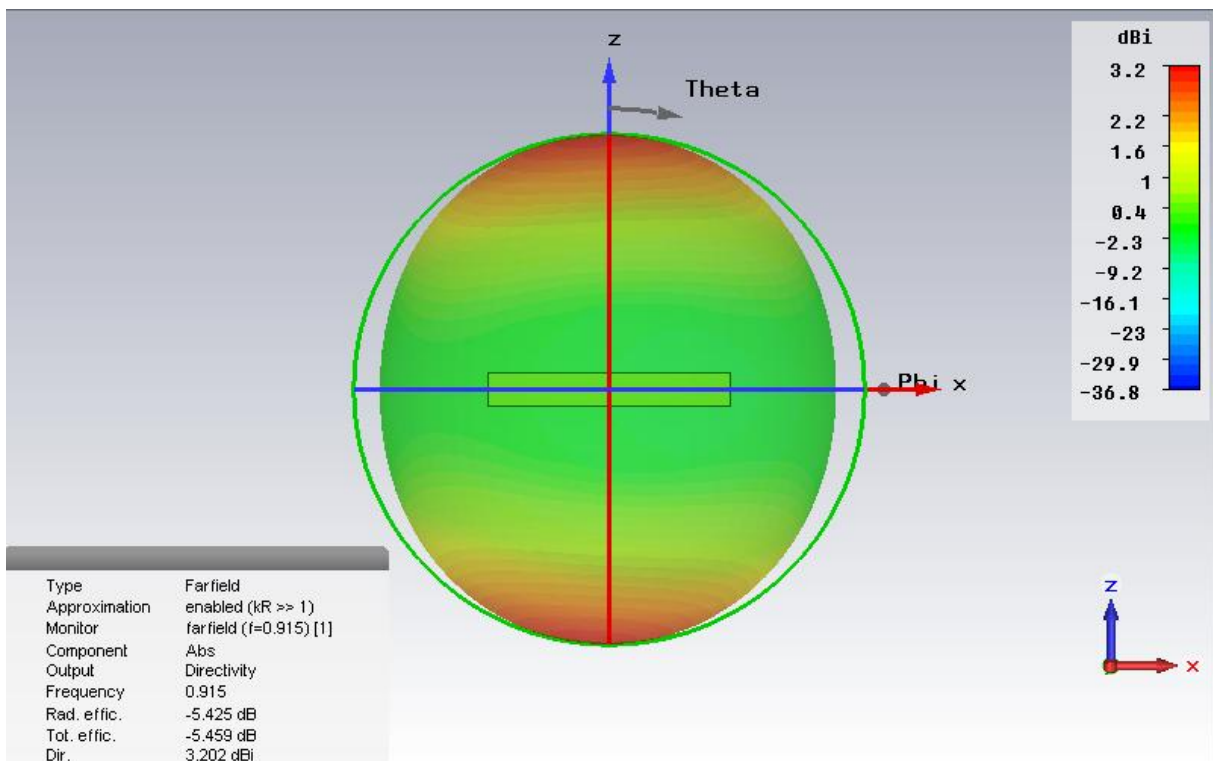


Figure III.15 : Diagramme de rayonnement en 3D de l'antenne sur le plan xz.

La figure III.14 et la figure III.15 décrivent la manière dans laquelle la puissance rayonnée par l'antenne est répartie dans l'espace en 3 dimensions afin de visualiser la direction dans laquelle l'antenne rayonne le maximum de puissance, on voit clairement qu'on a deux rayonnements ou on atteint un maximum de puissance, c'est-à-dire un rayonnement avant et arrière.

La valeur maximale est de 3.2 dBi.

III.4.3. Polarisation circulaire droite (du point de vue du récepteur)

III.4.3.a. Structure de l'antenne

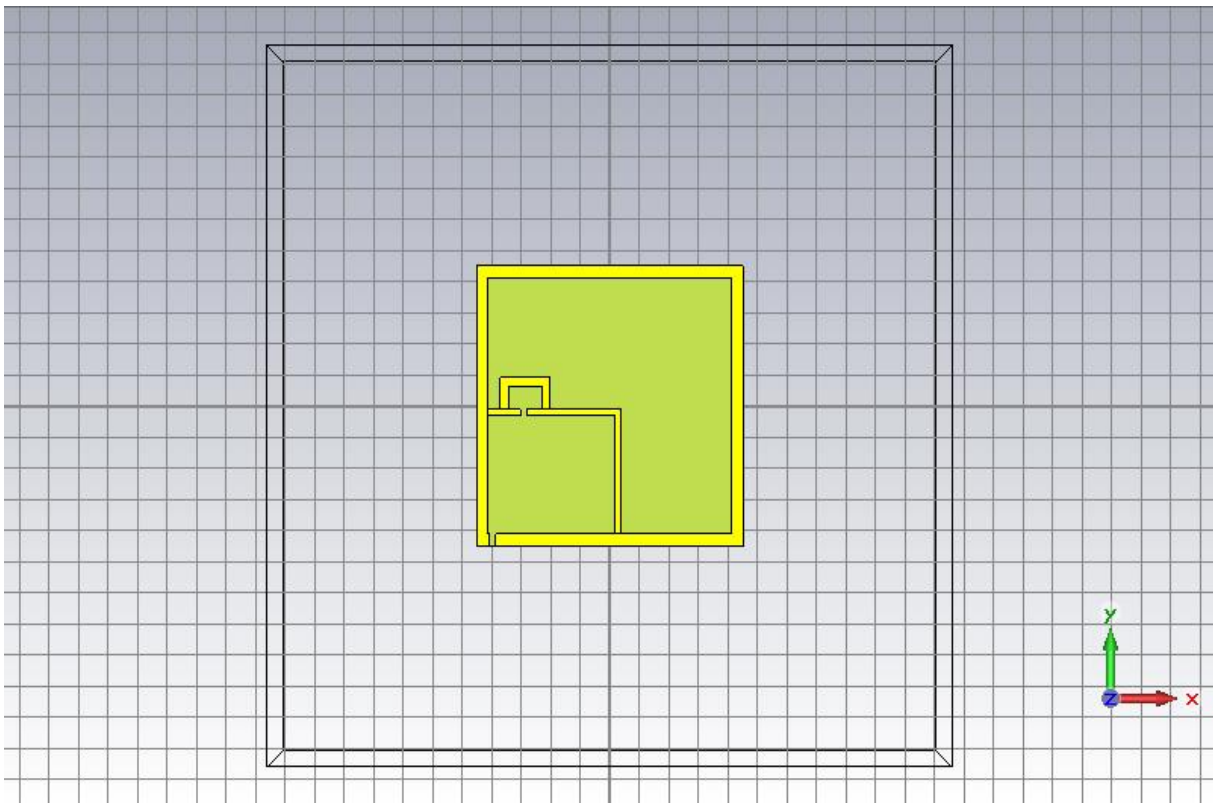


Figure III.16 : Structure de l'antenne.

Dans le but d'obtenir la polarisation circulaire droite (du point de vue du récepteur), la structure de l'antenne a été inversée.

III.4.3.b. Coefficient de réflexion S₁₁

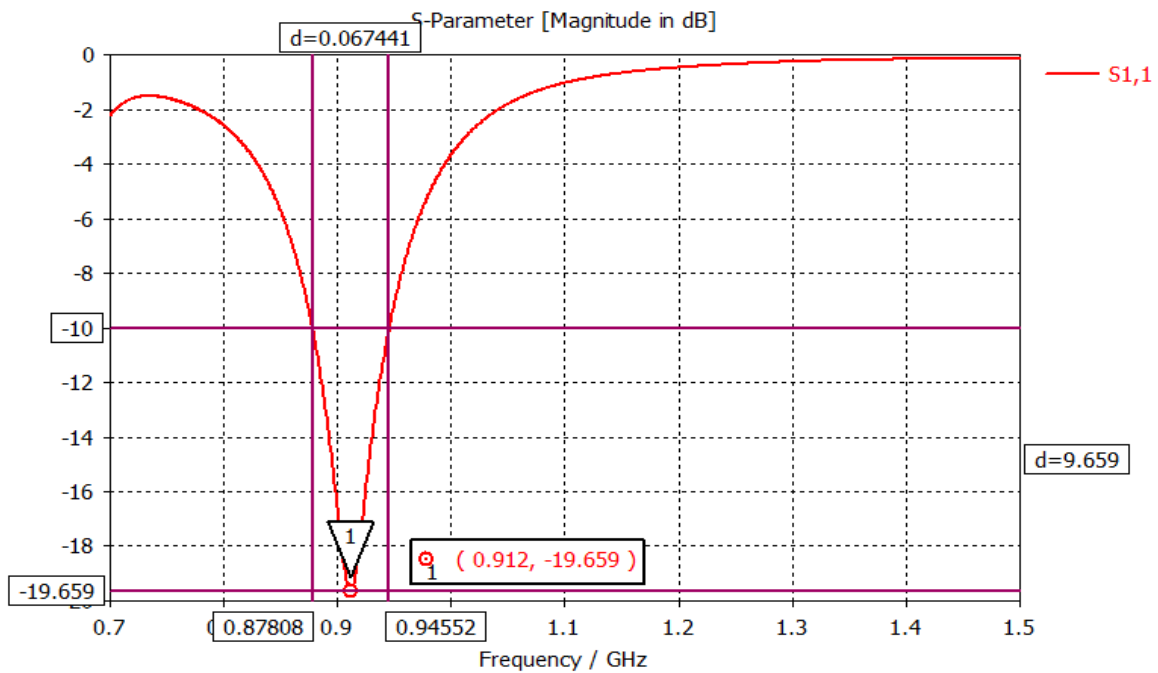


Figure III.17 : Coefficient de réflexion S₁₁ et bande passante de l’antenne.

Comme le montre la figure III.19, le pic est de - 19.659(dB) centré à une fréquence de 912MHz, quant à la valeur de la bande passante, elle est de 67.441MHz.

$$BP (\%) = \frac{0.067441}{0.912} \times 100 = 7.39 \% \tag{III.2}$$

III.4.3.c. Abaque de Smith

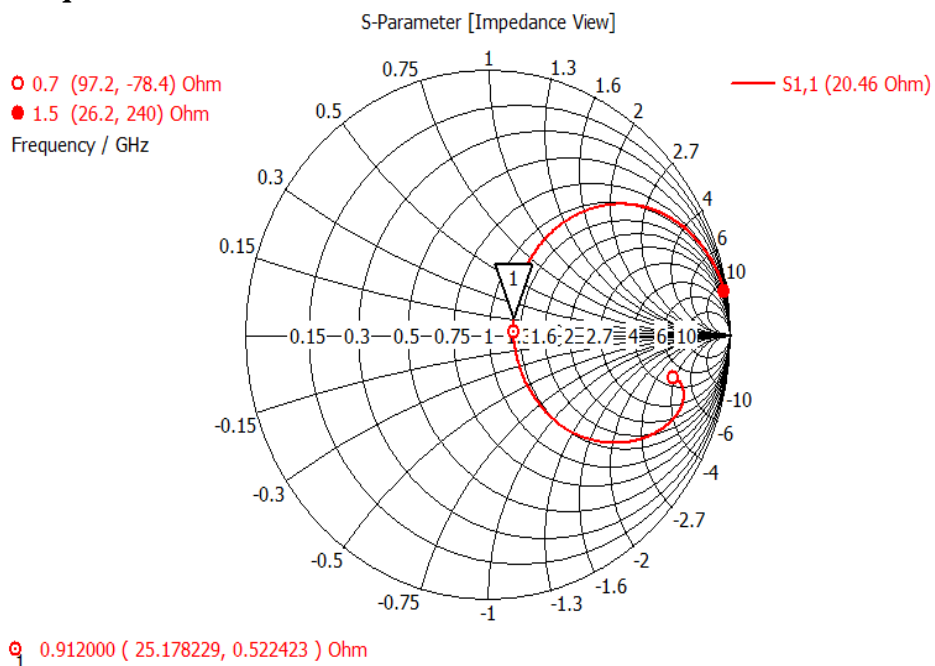


Figure III.18 : Impédance caractéristique de l’antenne à polarisation circulaire droite.

De la figure ci-dessus, nous constatons qu'il y'a une bonne adaptation qui se rapproche du cas idéal $z_c = 1$ sachant que $Z_c = 1 \times 20.46$, après optimisation.

III.4.3.d. Rapport Axial

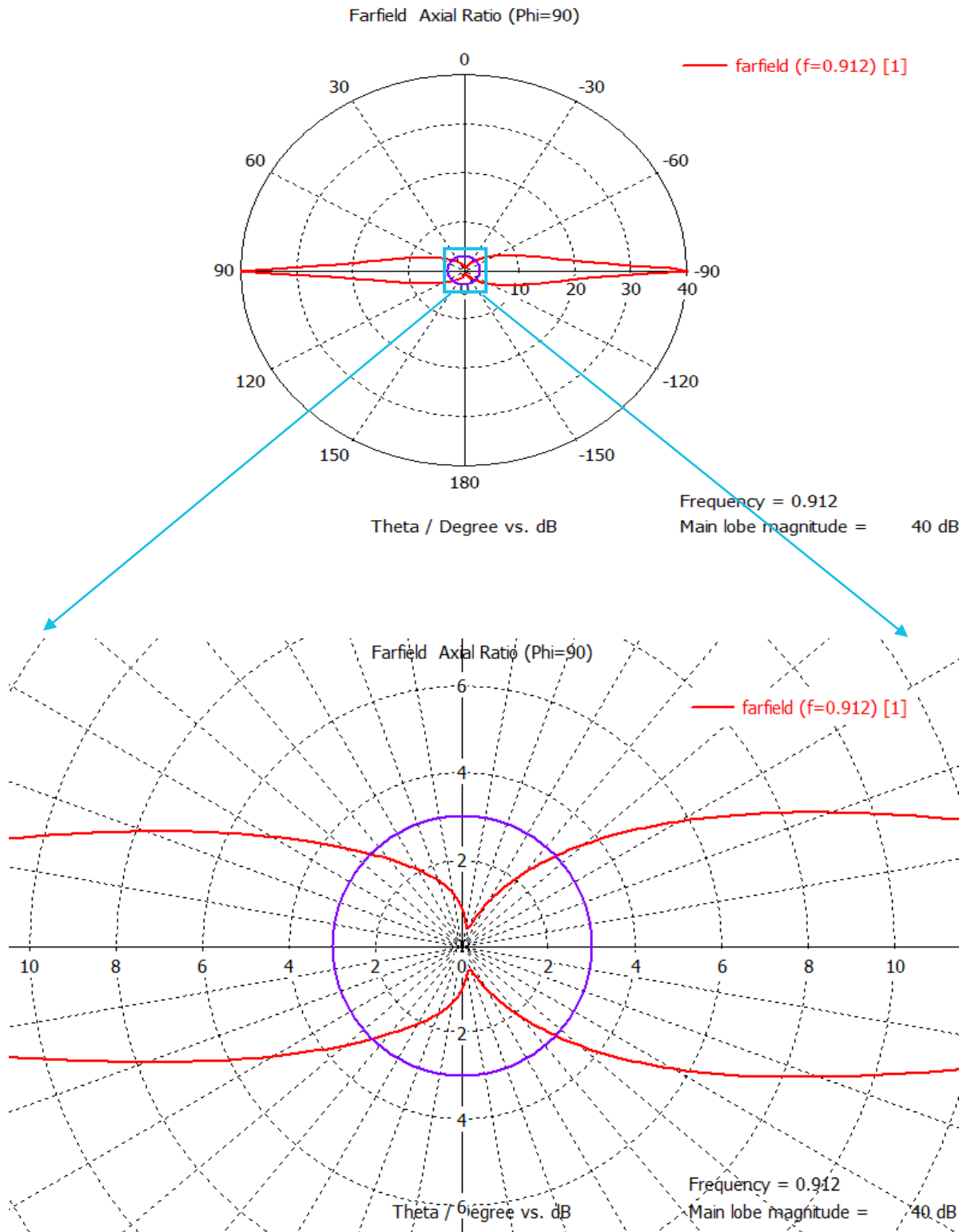


Figure III.19 : Rapport axial pour la polarisation circulaire droite.

III.4.3.f. Courant de surface

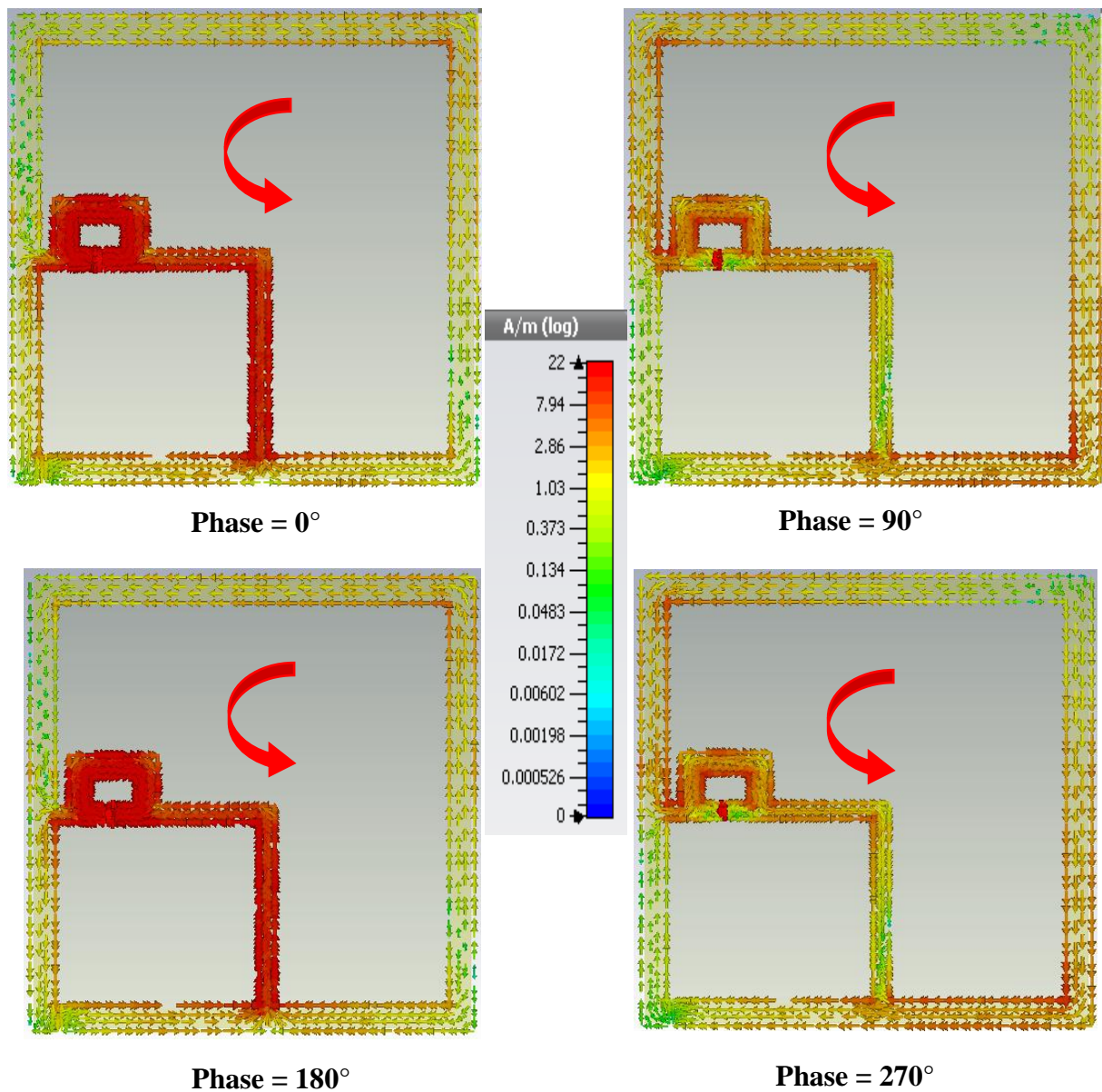


Figure III.20 : Courant de surface pour différentes phases de l'antenne à polarisation circulaire inverse.

En variant la phase de 0° à 270° , on remarque que la distribution du courant se fait dans le sens anti-horloge, ce qui indique que notre antenne est à polarisation circulaire droite.

La valeur maximale est de 22 A/m.

III.5. Conclusion

Un tag RFID à polarisation circulaire a été étudié et conçu avec succès pour les deux cas de la polarisation circulaire. Dans un premier lieu nous avons conçu un tag à polarisation circulaire gauche, puis un tag à polarisation circulaire droite en second lieu, tous les résultats des simulations effectuées ont été présentés dans ce chapitre. La bande passante mesurée pour les deux cas sont respectivement de 70.334 MHz et 67.441 MHz.

L'antenne proposée pourrait être utilisée pour diverses applications RFID dans la bande UHF (902-928MHz).

Conclusion générale

Ce mémoire présente notre travail qui concerne la conception d'un tag RFID à polarisation circulaire. Après une exploration générale du domaine de la RFID, nous avons abordé le vif du sujet en étudiant les paramètres fondamentaux des antennes. Par la suite, nous avons montré quelques techniques d'adaptation d'impédances, défini ce qu'est la polarisation circulaire et nous avons également donné quelques antennes à polarisation circulaire, afin d'avoir un aperçu sur ce que nous allons faire par la suite. Enfin, nous sommes passé à la pratique en concevant notre tag sous le logiciel de simulation CST Microwave Studio où nous avons abouti aux résultats espérés.

L'étude et la réalisation de ce projet nous ont permis d'approfondir nos connaissances théoriques et pratiques acquises durant notre formation, notamment dans le domaine des antennes. Nous avons pu appréhender différents points importants comme le fait de travailler en équipe et de concevoir et mener à bien notre projet.

Bien que ce modeste travail ait atteint son objectif principal, on estime qu'il pourrait être encore amélioré. En effet, les travaux décrits dans ce mémoire peuvent se poursuivre sur plusieurs voies. Tout d'abord, il serait intéressant de concevoir un autre tag à polarisation circulaire travaillant sur toute la bande RFID, ce qui n'est pas le cas dans cette étude. Il serait également bien de réduire la taille du tag pour être utilisée dans des applications nécessitant une taille réduite des dispositifs. Cela constituerait une bonne extension à ce projet.

Bibliographie

[1] Bibliothèque et archives nationales du Québec. *La technologie Radio Frequency Identification (RFID)*.

[2] Radio Frequency Identification.

[3] Gamme de fréquences.

[4] AMMARI Massilia et MADJI Zahra. *Conception d'un tag UHF-RFID à haut gain*. Télécommunication. Bejaïa : Université Abderrahmane Mira de Bejaïa, 2016/2017,52p.

[5] YAHIAOUI Billal et SFAÏHI Ali. *Technologie RFID : Étude et application*. Télécommunication. Bejaïa : Université Abderrahmane Mira de Bejaïa, 2014/2015,51p.

[6] Narcisse Raimbault. *Antenne hélice compacte directive à polarisation circulaire pour dispositif RFID*. Traitement du signal et de l'image. Université Rennes 1, 2015. 141p.

[7] Disponible sur :

http://www.rfid360.org/wpcontent/uploads/2015/01/schema_actif_passif.jpg

[8] Disponible sur :

<https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1ahyFOpXXXXbKXpXXq6xXFXXq/Lecteur-tenu-dans-la-main-d-uhf-rfid-de-longue-distance-de-8-m-avec-le.jpg>

[9] Disponible sur : <https://www.hitools-access.com/upload/uhf860-appli-9adZr2Sa.jpg>

[10] Disponible sur :

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/bb/RFID_Passif.png/440pxRFID_Passif.png

[11] Disponible sur :

https://www.researchgate.net/profile/Mossaab_Daiki/publication/280595956/figure/fig11/AS:

510897854005250@1498818948513/Principe-de-fonctionnement-des-tags-semi-actif-et-des-tags-actifs.png

[12] Christophe Auffray. *RFID : dix applications en images*. Lundi 13 Février 2017.

[13] Wikipédia. *Radio-identification*. Mise à jour le 15 mai 2019 à 11 :57. Disponible sur :

[14] Disponible sur :

<https://blogmedia.evbstatic.com/wpcontent/uploads/wpmulti/sites/3/2018/05/29165907/rfid-vendors.jpg>

[15] Disponible sur : <http://a51.idata.over-blog.com/3/43/64/22/puce-rfid-350-copie-1.jpg>

[16] BOUZERA Aissa et SLIMANI Hanane. *Conception d'une antenne patch à 2.45GHz à polarisation circulaire*. Télécommunication. Bejaïa : Université Abderrahmane Mira de Bejaïa, 2016/2017.

[17] DHAOUADI Mondher. *Conception et optimisation des antennes RFID UHF en vue d'améliorer la fiabilité des systèmes RFID*. Communications. Tunis :Ecole Supérieure des Communications de Tunis, 2014, 169p.

[18] TOUATI Mohamed et HOUSSEM Eddine. *Conception et Simulation d'une antenne micro-ruban circulaire*, université Mohamed Khider Biskra, 2013/2014.

[19] GHIOTTO Anthony. *Conception d'antennes de tags RFID UHF, application à la réalisation par jet de matière*. Institut National Polytechnique de Grenoble, 2008, 227p.

[20] BECHEVET Delphine, *Contribution au développement de tag RFID UHF et Microondes sur matériaux plastiques*. Institut National Polytechnique de Grenoble, 2005. 179p.

[21] Disponible sur : <https://www.developpez.net/forums/d1623383/environnements-developpement/autres-edi/scilab/realisation-d-diagramme-rayonnement-partir-d-fichier-excel/>

[22] Disponible sur : https://fr.m.wiktionary.org/wiki/diagramme_de_rayonnement

[23] Disponible sur : <https://summarynetworks.com/2017/01/09/gain-dune-antenne-directive/>

[24] OURTEMACHE Hacane. *Métamatériaux, application aux antennes RFID*, Télécommunications. Bejaïa : Université Abderrahmane Mira de Bejaïa, 2012, 84p.

[25] GHIOTTO Anthony, VUONG Tan-Phu, WU Ke, TEDJINI Smail. *Adaptation d'impédances d'antennes aux impédances de circuits de tags RFID UHF passifs*. 16ème Journées Nationales Microondes 27-28-29 Mai 2009 Grenoble.

[26] MAROUF Fatima Zahra. *Etude et Conception d'Antennes Imprimées pour Identification Radio Fréquence RFID UHF*. Télécommunications. Tlemcen : Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen, 2013, 202p.

[27] Par le radio-club F6KRK. *Comment ça marche ? La POLARISATION des ondes et des antennes*.

[28] Satellite géostationnaire. Disponible sur : <http://www.arnoldsat.com/francais.htm>

[29] Chapitre 1 GENERALITE SUR LES ANTENNES.

[30] la polarisation d'une antenne. Disponible sur : <https://f5zv.pagesperso-orange.fr/RADIO/RM/RM08/RM08a/RM08a04.html>

[31] Disponible sur : https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Antenne_hélice_axiale

[32] Disponible sur : https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Antenne_parabolique

[33] RF Plus, studied at Iran University of Science and Technology. *What is cst studio software?* 04 Septembre 2016.

[34] CST MICROWAVE STUDIO. Disponible sur : <https://www.cst.com/products/cstmws>

[35] Horng-Dean Chen, Ching-Han Tsai, Chow-Yen-Desmond Sim, Che-Yang Kuo, *Circularly Polarized Loop Tag Antenna for Long Reading Range RFID Applications*, IEE Antennas and wireless propagation letters, vol 12, 2013, pp.1-4.

[36] Robert BERRANGER, *L'antenne TURNSTILE, thème et variations*.

[37] Odile PICON et Coll. *LES ANTENNES Théorie, conception et application*. DUNOD. 367p.

Résumé

La technologie d'Identification par Radio Fréquence (RFID) a vu ses premiers jours dans le domaine militaire, puis a connu depuis quelques années un grand essor dans diverses applications allant de la traçabilité des produits et marchandises à la logistique. Cette technologie est de plus en plus adoptée dans notre pays.

Ce mémoire porte sur la conception d'un tag RFID à polarisation circulaire en utilisant la forme boucle carrée se basant sur la connaissance des paramètres fondamentaux des antennes et quelques techniques d'adaptations. Le tag est conçu sur le logiciel de conception et de simulation CST Microwave Studio.

Mots clés : RFID, Tag, Antenne, Polarisation, CST, UHF.

Abstract

Radio Frequency Identification (RFID) technology has had its first days in the military field, and in recent years has seen a great expansion in various applications ranging from traceability of products and goods to logistics. This technology is increasingly adopted in our country.

This thesis deals with the design of a circular polarization RFID tag using the square loop form, based on the knowledge of the fundamental parameters of antennas and some adaptation techniques. The tag is designed on the CST Microwave Studio design and simulation software.

Keywords: RFID, Tag, Antenna, Polarization, CST, UHF.