

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

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA



Domaine : Sciences et Technologie  
Département : Electronique  
Spécialité : Télécommunication  
Option : Système des Télécommunications

**Mémoire présenté pour l'obtention  
du diplôme de Master Académique**

**Intitulé**

**Conception et analyse d'une antenne tag RFID  
pour les applications UHF**

**Réalisé par :** Meriem MOKRANI

Maroua BAOUCHÉ

**Dirigé par :** Dr. Elhadi KENANE

Dr. Mohamed SAHED

**Soutenu le 18 Juin 2025 devant le jury composé de :**

Ali KHALFA

Université de M'sila

Président

Elhadi KENANE

Université de M'sila

Rapporteur

Mohamed SAHED

Université de M'sila

Co-rapporteur

Haddi BAKHTI

Université de M'sila

Examineur

**Année universitaire : 2024/2025**





## Remerciement

*Nous remercions الله تعالى le Tout-puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terminer ce présent mémoire.*

*Nous voudrions dans le premier lieu remercier, Notre directeur de mémoire **Dr. Elhadi KENANE**, pour avoir relu et corrigé notre mémoire. Ses conseils de rédaction ont été très précieux,*

*Notre co-directeur de mémoire **Dr. Mohamed SAHED**, pour sa patience, sa disponibilité et le partage des connaissances. Grâce aussi à sa confiance, nous avons pu mener à bien notre mission.*

*Nous remercions également les membres du jury, **Dr. Ali KHALFA** et **Dr. Haddi BAKHTI** d'avoir accepté l'expertise et l'évaluation de ce modeste travail et pour tous nos enseignants qu'ils nous ont apporté tout au long de notre cheminement d'études.*

# Dédicace



*Je dédie ce mémoire*

*A mes chers parents mon père MOHAMMED SGHIR et  
ma mère KAMIR qui ont été toujours à mes côtés et m'ont  
toujours soutenu tout au long de ces longues années d'études.  
En signe de reconnaissance, qu'ils trouvent ici, l'expression de  
ma profonde gratitude pour tout ce qu'ils ont consenti d'efforts  
et de moyens pour me voir réussir dans mes études.*

*A la prunelle de mes yeux mon fils Rassim Soleyman.*

*A mes frères et mes sœurs Oussama, Hicham, Amira,*

*Asma, Nadia et Malek,*

*A mes amies et camarades et A toute ma famille.*

*Meriem*



# إهداء

الحمد لله والصلاة والسلام على رسول الله أما بعد  
إلى فقيدي وحبیب قلبي ومن كان سند ونوردربي وسببا في  
وجودي ونجاحي أبي رحمه الله  
إلى روح أختي الطاهرة هجيرة رحمها الله  
إلى التي أنارت دربي وأعانتي بالصلوات والدعوات التي لن أوفها  
حقها مهما فعلت ومهما قلت قرّة عيني أمي أدامها الله بيننا  
إلى كل اخوتي من كان لهم بالغ الاثري تخطي الكثير من الصعاب  
إلى براعم البيت جنان نور سين ، بلقيس ، أميرة ، هاجروتين  
إلى كل من وسعتهم ذاكرتي ولم تسعهم مذكرتي أهدي ثمرة عملي  
هذا  
أرجو من الله أن ينفعنا به ويتفّع به غيرنا

*Maroua*





# *Sommaire*

**Sommaire**

Introduction générale.....	2
<b>Chapitre I : Généralités sur les antennes RFID</b>	
I.1 Introduction.....	5
I.2 Notion générale sur les antenne RFID .....	5
I.2.1 Définition d'une antenne RFID .....	5
I.2.2 Historique .....	5
I.3 Principe de fonctionnement de l'antenne RFID.....	6
I.4 Bande de fréquence de la technologie RFID .....	7
I.5 Composants d'un système RFID.....	8
I.5.1 Transpondeur .....	9
I.5.2 Lecteur .....	10
I.5.3 Puce .....	11
I.6 Quelques applications de la technologie RFID.....	12
I.6.1 Commerce de détail .....	12
I.5.2 Transaction sans contact .....	12
I.5.3 Industrie automobile .....	12
I.6.4 Transport.....	12
I.6.5 Identification des animaux.....	13
I.7 Classification de Tag RFID .....	14
I. 7.1 Selon la technique d'alimentation .....	14
I.7.2 Selon la fréquence opérationnelle.....	14
I.7.3 Selon différent types de technique de modulation.....	14
I.7.4 Selon la distance de fonctionnement .....	15
I.7.3 Selon le type de la puce .....	15
I.7.4 Selon la polarisation .....	15
I.8 Avantages et inconvénients d'une antenne Tag RFID.....	15
I.8.1 Avantages .....	15
I.8.2 Inconvénients.....	16
I.9 Etat de l'art sur les antennes RFID .....	16
I.9.1 Antenne Tag RFID UHF en utilisant une cavité couplée .....	16
I.9.2 Antenne RFID UHF compacte avec une ligne méandre .....	16
I.9.2 Antenne RFID UHF empilée .....	18

I.10 Conclusion ..... 20

**Chapitre II : Etude analytique d'une antenne Tag RFID**

II.1 Introduction ..... 22

II.2 Circuit équivalent d'un système RFID ..... 22

    II.2.1 Antenne dipole comme une antenne Tag ..... 23

    II.2.2 Circuit équivalent de l'antenne dipole avec puce ..... 24

II.3 Notion d'adaptation d'impédance..... 25

II.4 Notion de performance d'une antenne Tag RFID ..... 26

    II.4.1 Surface effective ..... 26

    II.4.2 Longueur effective ..... 26

    II.4.3 gain ..... 27

    II.4.4 PIRE et PAR ..... 27

    II.4.5 Portée de lecture..... 27

    II.4.6 Sensibilité ..... 28

    II.4.7 Indicateur de force du signal reçu ..... 29

II.5 Conclusion ..... 30

**Chapitre III : Etude paramétrique d'une Antenne Tag RFID**

III.1 Introduction ..... 32

III.2 Identification de simulateur EM..... 32

III.3 Structure de l'antenne Tag RFID ..... 32

III.4 Etudes paramétriques ..... 35

    III.4.1 Effet de la longueur du méandre..... 36

    III.4.2 Effet de la largeur du méandre ..... 37

    III.4.3 Effet de la distance entre les méandres..... 39

    III.4.4 Effet de variation d'épaisseur de cylindre ..... 41

    III.4.5 Effet de la variation de longueur des méandres..... 42

        1. Effet de la Longueur du premier repli ..... 43

        2. Effet de la longueur du deuxième repli ..... 44

        3. Effet de la longueur du troisième repli..... 46

    III.4.6 Effet de variation de dimensions de la charge ..... 48

        1. Effet de la longueur de la charge ..... 48

        2. Effet de la largeur de la charge ..... 49

III.5 Conclusion..... 49

**Chapitre IV : Conception d'une Antenne Tag RFID pour les application UHF**

IV.1 Introduction.....	52
IV.2 Outil de simulation .....	52
IV.3 Optimisation par le CST studio.....	52
IV.3.1 Aperçu sur la méthode d'optimisation .....	53
IV.3.2 Algorithme génétique .....	54
IV.4 Modélisation de la puce sous CST .....	54
IV.5 Conception d'une antenne Tag RFID .....	55
IV.5.1 Géométrie de l'antenne prposée .....	57
IV.5.2 Résultats et simulation.....	58
IV.6 Conclusion .....	62
Conclusion générale .....	64
Références bibliographiques.....	67



*Introduction  
générale*

### *Introduction générale*

Les télécommunications ont connu une évolution très rapide et sans cesse, incluant les communications mobiles, l'internet des objets, les systèmes NFC et les applications des systèmes RFID. Pour ce dernier système, les systèmes RFID introduit dans plusieurs domaines de notre vie quotidienne, ce qui facilite nos tâches et augmente la productivité [1].

L'identification par radiofréquence (RFID) est une méthode d'identification automatique qui repose sur le stockage et la récupération à distance de données à l'aide de dispositifs appelés Tag ou étiquettes RFID. Une Tag RFID est un petit objet qui peut être attaché ou incorporé à un produit, un animal ou une personne [2]. Les Tags RFID utilisent des antennes pour leur permettre de recevoir et de répondre aux requêtes de radiofréquence d'un lecteur RFID. Les Tag RFID passives ne nécessitent aucune source d'énergie interne, tandis que les Tags actives ont besoin d'une source d'énergie [3].

Que ce soit les applications, les antennes jouent un rôle crucial dans les télécommunications sans fils et spécialement dans la technologie RFID, ce qui fait une liaison entre un émetteur et un récepteur à une distance (sans contact). Pour avoir une antenne avec des caractéristiques optimales, ce qui la rendre adéquate aux applications prédéfinies, une étude paramétrique approfondie doit être faite.

La technologie RFID et ses tags associés constituent aujourd'hui une innovation majeure dans la gestion intelligente des objets et des données. Leur importance réside dans leur capacité à révolutionner les processus industriels et commerciaux en permettant une identification automatique, rapide et sans contact. Contrairement aux systèmes traditionnels comme les codes-barres, la RFID offre une lecture simultanée de multiples objets, même sans visibilité directe, ce qui accélère considérablement les opérations de gestion des stocks et d'inventaire.

Dans l'industrie, les tags RFID deviennent les yeux et la mémoire des usines connectées, permettant une maintenance prédictive et une production optimisée. Leur intégration avec l'IoT ouvre la voie à des villes intelligentes où tout objet peut communiquer et être géré à distance. Résistants aux conditions extrêmes, sécurisés contre la contrefaçon et de plus en plus économiques, les tags RFID s'imposent comme une technologie clé pour les organisations cherchant efficacité, transparence et compétitivité dans un monde en pleine transformation digitale [4].

Dans notre travail, on va étudier et concevoir des antennes Tag RFID (dipôles imprimées) dédiées aux applications UHF. Ces antennes Tag sont appareillées par des puces de type Monza 3 de la technologie Impinj [5] et de type SL3S1203\_1213 de la technologie NXP [6]. Durant la conception, on va prendre en considération plusieurs paramètres tels que les différentes techniques utilisées pour rendre l'antenne inductive afin d'assurer un transfert de puissance maximale entre la puce (stockage de données) et l'antenne [7].

Notre mémoire s'articule autour de quatre chapitres et est organisé comme suit :

- Dans le premier chapitre, on va présenter un état de l'art sur les antennes RFID, leurs principes de fonctionnement ainsi que ses avantages et inconvénients.
- Le deuxième chapitre est consacré à une étude analytique d'une antenne tag RFID. Le transfert de puissance maximale entre la puce et l'antenne.
- Dans le troisième chapitre, une étude paramétrique d'une antenne RFIDs de forme rectangulaire, en utilisant le simulateur Computer Simulation *Technology* (CST) studio, sera fait.
- Le quatrième chapitre est consacré à l'optimisation d'une antenne RFID pour les applications UHF à l'aide du simulateur CST.
- À la fin, nous terminons notre mémoire par une conclusion générale et quelques perspectives pour les futurs travaux.



*Chapitre I*  
*Généralités sur les antennes*  
*RFID*

## **I.1 Introduction**

Le monde émergent accroît les applications des systèmes de communication sans fil en temps réel. De nos jours, les antennes de petite taille, fonctionnant sur plusieurs fréquences et offrant une large couverture, sont essentielles pour les systèmes militaires, médicaux et autres applications commerciales. Une grande variété de nouveaux systèmes de télécommunications civils et commerciaux sont apparus : radars de radiodiffusion, diffusion par satellite, surveillance des bébés, microphones sans fil, ouvre-portes de garage, etc. Les dispositifs Bluetooth basés sur la RFID (identification par radiofréquence) ont suscité la recherche de dispositifs économiques, légers et compacts.

Ces dernières années, les antennes RFID sont devenues un élément essentiel des systèmes RFID intégrés. Leur conception et leur mise en œuvre sont cruciales et urgentes dans le domaine des technologies de communication sans fil. Le développement des antennes RFID est crucial. [8]

Dans ce chapitre, nous allons aborder la technologie RFID qui présente des caractéristiques, des paramètres, des avantages et des inconvénients uniques.

## **I.2 Notion générale sur les antennes RFID**

### **I.2.1 Définition**

La RFID, ou identification par radiofréquence, est une technologie qui utilise des champs électromagnétiques pour transmettre des données stockées dans des étiquettes électroniques (tags) à un lecteur, sans nécessiter de contact direct. Contrairement au code-barres, la RFID fonctionne même lorsque l'étiquette n'est pas visible. Cette capacité unique améliore la traçabilité des produits et automatise leur identification. Ces solutions innovantes rendent les processus plus rapides et précis, particulièrement dans la gestion des stocks ou la sécurité. [9].

### **I.2.2 Historique**

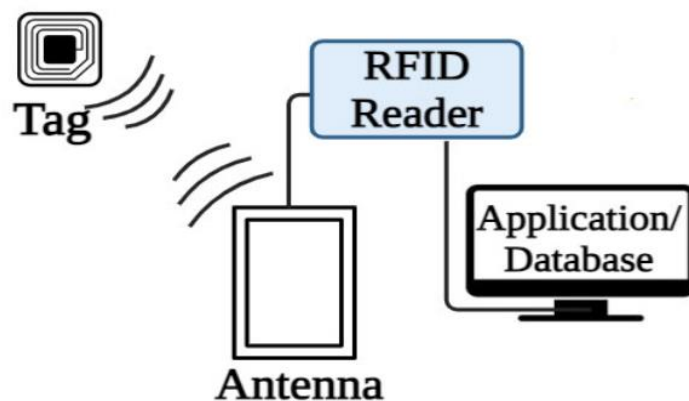
La technologie RFID est largement utilisée. Au cours du XIXe siècle, sa technologie a permis de réaliser de grands progrès systématiques dans le domaine de l'électromagnétisme. Cette technologie a évolué à partir de la découverte de l'électromagnétisme par Faraday, Maxwell et Hertz, validant ainsi les théories. Leurs découvertes ont servi de base aux communications radio modernes. L'un des

brevets les plus primitifs déposés par John Logie Baird dans le domaine des émetteurs radio pour la détection d'objets en 1926.

En 1935, le système de détection et de télémétrie radio (RADAR) breveté par Robert Watson-Watt. Henry Stockman a introduit le concept de système RFID passif dans la technologie de communication passive et a présenté un article intitulé « Communication au moyen de la puissance réfléchi » en 1948, pendant la Seconde Guerre mondiale, la première application du système RFID a été déployée par la Royal Air Force britannique, le nom du système est « Identification d'un ami ou d'un ennemi » (IFF). L'application militaire de l'IFF a permis aux pilotes de communiquer, Autrement dit, les opérations RADAR distinguent les avions grâce à des signaux radiofréquence [10].

### I.3 Principe de fonctionnement d'une antenne RFID

Le fonctionnement d'un système RFID permet un échange d'informations, au moyen d'un identifiant et d'un lecteur. Le lecteur RFID lit le tag ou l'étiquette RFID placé sur l'objet à tracer ou à identifier. L'information recueillie est ensuite traitée via un logiciel et sa base de données.



**Figure I.1 :** Un exemple d'un Système RFID.

#### ❖ Identifiant du système RFID : le tag RFID

L'identifiant, composé d'une puce et d'une antenne et de son packaging papier, plastique ou céramique, permet de reconnaître un objet, un animal ou une personne. La puce contient l'information et l'électronique de communication ; l'antenne permet l'échange des données avec le lecteur. Lorsqu'une puce est associée à une antenne, l'ensemble porte le nom d'Inlay. Lorsque l'Inlay est packagé

et prêt à être utilisé, l'identifiant est alors appelé tag. Il s'agit du produit fini. Selon sa forme et son usage, le tag peut prendre différents noms : tag étiquette, tag porte-clés, tag carte, tag bracelet, ... [11]

#### I.4 Bandes de fréquence de la technologie RFID

Les systèmes RFID utilisent diverses bandes de fréquences, notamment les basses fréquences (BF) : 125-134 kHz, les hautes fréquences (HF) : 13,56 MHz, les ultra-hautes fréquences (UHF) : 433 MHz et 860-960 MHz, ainsi que les micro-ondes, notamment les fréquences industrielles, scientifiques et médicales (ISM) : 2,45 et 5,8 GHz. L'application visée détermine la bande de fréquences RFID à utiliser.

La bande de fréquence choisie influence également le principe de fonctionnement de l'échange de données entre l'étiquette et le lecteur. Par exemple, les bandes BF et HF ont des portées de lecture courtes de quelques centimètres, ce qui permet de les utiliser dans des applications où une connexion sans fil longue portée n'est pas nécessaire [13].

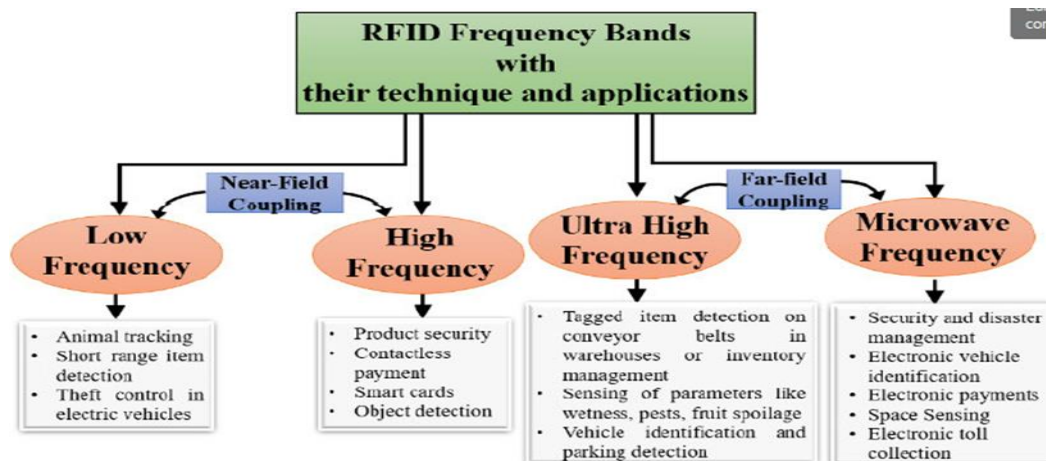


Figure I.2 : Bandes de fréquences dans un Système RFID [12]

#### ❖ UHF (ultra-haute fréquence)

L'UHF est la bande RFID la plus répandue, avec divers domaines d'applications. La bande UHF varie selon les pays, mais elle couvre généralement la plage de fréquences de 860 à 960 MHz. Par exemple, la bande RFID UHF est désignée comme 865-867 MHz en Europe et en Inde, et 902-928 MHz aux États-

Unis. S'agissant d'une bande de fréquences plus basse, il est difficile de trouver un compromis entre miniaturisation et caractéristiques de l'antenne.

La bande de fréquence RFID UHF (Ultra-haute fréquence) est réglementée par une norme mondiale appelée EPC global Gen2 (ISO 18000-63) qui utilise la bande 860 à 960 MHz. La distance de lecture des systèmes UHF passifs peut dépasser 15 mètres. Les puces RFID UHF ont un taux de transfert de données plus rapide que les puces LF ou HF.

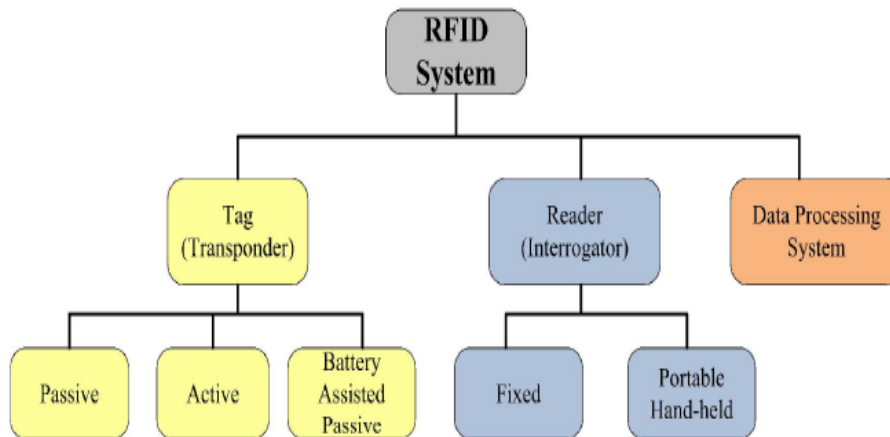
Les lecteurs/étiquettes UHF sont fréquemment utilisés pour la gestion de la chaîne d'approvisionnement et des marchandises.

Les dispositifs ultra-haute fréquence sont largement utilisés en raison de leur faible coût de production en grande quantité et de leur distance de lecture plus longue. Cependant, ces étiquettes subissent des interférences dans les industries des liquides et pharmaceutiques. Les étiquettes UHF RFID sont utilisées dans diverses applications telles que le traçage des conteneurs métalliques, le suivi des animaux et le contrôle d'accès aux bâtiments [3].

### **I.5 Composants d'un système RFID**

Bien qu'il existe aujourd'hui une variété de technologies RFID, les composants fondamentaux de tout système RFID comprennent : l'étiquette, le lecteur et les systèmes de traitement des données. La Figure I.3 présente un schéma arborescent des différents composants d'un système RFID.

- ❖ Une étiquette (ou transpondeur) est placée sur l'objet à suivre. Chaque étiquette est dotée d'un code d'identification unique. L'étiquette est constituée d'un circuit intégré muni d'une antenne. Elle transmet les données par radiofréquence sans contact physique.
- ❖ Un lecteur (ou interrogateur) est relié à un système de traitement des données via différentes interfaces (filaires ou sans fil). Un lecteur est constitué d'une ou plusieurs antennes.
- ❖ Les systèmes de traitement des données sont connectés en réseau avec des lecteurs. Ils reçoivent l'identifiant unique de l'étiquette pour extraire les informations correspondantes de leur base de données. Le logiciel d'application, exécuté sur un poste de travail, interprète les données collectées par l'étiquette en messages lisibles par l'utilisateur.



**Figure I.3 :** Composants d'un système RFID [13]

### I.5.1 Transpondeur (étiquette)

Une étiquette RFID, ou transpondeur, est un petit dispositif fixé aux objets d'intérêt. Une étiquette RFID passive est composée d'un circuit intégré spécifique à une application (ASIC) et d'une antenne. Les données exclusives relatives à l'objet étiqueté sont stockées dans le circuit intégré. L'ASIC assure également la modulation de rétrodiffusion du signal d'interrogation en fonction des données qu'il contient. Compte tenu de l'alimentation disponible, les transpondeurs RFID sont classés en étiquettes actives, passives et semi-passives [3].

#### ❖ *Étiquettes passives*

Les étiquettes RFID passives ne disposent d'aucune source d'alimentation intégrée pour alimenter leurs circuits internes. Une étiquette passive est alimentée par l'alimentation.

Signal électromagnétique d'interrogation émis par les lecteurs RFID.

Lorsqu'un signal électromagnétique atteint l'étiquette, une tension se développe aux bornes de l'antenne. La puce capte l'énergie de l'antenne et réagit en faisant varier son impédance d'entrée.

En l'absence de batterie interne, les étiquettes passives sont plus petites et ont une durée de vie plus longue que les étiquettes RFID actives. Cependant, ces dernières nécessitent des lecteurs RFID puissants et ont une portée de lecture plus courte que les étiquettes actives. Économiques, elles sont généralement utilisées pour l'étiquetage d'articles peu coûteux en grandes quantités.

### ❖ *Étiquettes actives*

Les étiquettes RFID actives disposent de leur propre source d'alimentation interne pour alimenter la puce. Elles peuvent établir une communication en transmettant un signal à leur lecteur. Grâce à cette source d'alimentation interne, les étiquettes actives ont une portée de lecture plus large. Ainsi, elles détectent non seulement la présence d'un objet, mais peuvent également suivre sa position. Les étiquettes actives disposent également d'une grande mémoire personnalisable. Cependant, leur coût est élevé. La présence d'une source d'alimentation intégrée augmente la taille des étiquettes et limite leur durée de vie par la durée de vie de la batterie.

### ❖ *Étiquettes passives assistées par batterie (BAP)*

Les étiquettes BAP, également appelées étiquettes semi-passives, disposent d'une source d'alimentation intégrée, mais ne peuvent pas communiquer avec les lecteurs.

La batterie interne sert uniquement à alimenter le circuit intégré de l'étiquette. La communication entre les étiquettes semi-passives et le lecteur s'effectue selon le principe de la modulation rétrodiffusée. Ainsi, la durée de vie de la batterie des étiquettes semi-passives est supérieure à celle des étiquettes actives. En raison de la batterie interne, elles sont plus chères et plus grandes que les étiquettes passives.

Cependant, la durabilité des étiquettes semi-passives est limitée par la batterie, mais elles comblent l'écart entre les étiquettes actives coûteuses et les étiquettes passives à courte portée.

## **I.5.2 Lecteur**

Un lecteur ou émetteur-récepteur RFID est constitué d'antennes qui permettent d'émettre et de recevoir simultanément des signaux provenant d'une étiquette. Un lecteur RFID reçoit les données envoyées par

Étiquettes actives et/ou réfléchies par des étiquettes passives. Les données reçues contiennent des informations sur les éléments étiquetés et sont transmises aux unités de traitement des données. L'antenne du lecteur émet une puissance isotrope rayonnée équivalente (PIRE) maximale admissible afin de maximiser la distance de

communication entre l'étiquette et le lecteur. Plusieurs antennes peuvent être utilisées côté lecteur pour améliorer la distance de communication. Les lecteurs RFID se divisent en deux catégories : les lecteurs fixes et les lecteurs portables. Une connexion filaire relie le lecteur fixe à l'unité de traitement des données, tandis qu'un lecteur portable utilise une connexion sans fil pour communiquer avec une unité de traitement des données.

Dans le cas des étiquettes RFID actives, les lecteurs collectent le signal envoyé par les transpondeurs.

En revanche, dans le cas des étiquettes passives, les lecteurs sont des émetteurs-récepteurs qui transmettent et collectent des signaux simultanément à la même fréquence. Dans un système RFID passif, les lecteurs alimentent également les étiquettes par couplage de champ magnétique ou champs électromagnétiques. En fonction de l'isolation entre les antennes d'émission et de réception, les lecteurs peuvent être divisés en configurations d'antenne bi statique et mono statique. Un lecteur bi statique utilise des antennes d'émission et de réception séparées, tandis qu'un lecteur mono statique utilise une seule antenne.

Pour l'émission et la réception. Dans un lecteur bi statique, deux antennes polarisées circulairement de sens opposé (polarisation circulaire gauche et polarisation circulaire droite) sont utilisées pour l'isolation entre les deux antennes. Dans un lecteur mono statique, un circulateur ou des coupleurs directionnels sont utilisés pour l'isolation entre les canaux d'émission et de réception. Dans les lecteurs RFID portables, une configuration mono statique est utilisée en raison de leur taille compacte.

### **I.5.3 Puce**

Une puce de lecteur RFID est un dispositif semi-conducteur qui est le composant principal d'un lecteur RFID. Il est chargé de produire des signaux de radiofréquence pour communiquer avec les étiquettes RFID, de traiter les signaux reçus des étiquettes et de gérer l'interface avec le microcontrôleur ou le processeur dans le système de lecture RFID. Essentiellement, une puce de lecteur RFID remplit les fonctions clés nécessaires pour lire, écrire et communiquer avec les étiquettes RFID.

## **I.7 Quelques applications de la technologie RFID**

La technologie d'identification par radiofréquence (RFID) offre deux fonctionnalités essentielles : une meilleure visibilité et une détection rapide. La technologie RFID permet ainsi de détecter des objets étiquetés se déplaçant à grande vitesse et hors de vue. Le système RFID offre de nombreuses applications, telles que la gestion des stocks dans les magasins de détail, la logistique et la chaîne d'approvisionnement pour le suivi des marchandises afin de réduire les vols et les pertes, le contrôle d'accès (cartes d'étudiants, passeports électroniques pour la sécurité aéroportuaire, télépéage pour les véhicules, clés de contact pour la fonction antivol des voitures haut de gamme, l'identification et la gestion du bétail dans l'industrie des produits animaux, etc. [3]. Voici quelques applications de la RFID :

### **I.7.1 Commerce de détail**

Les magasins peuvent interroger électroniquement les rayons grâce à l'étiquetage des articles, qui fournit des informations essentielles en temps réel sur l'état des stocks et l'évolution des ventes. La supervision en temps réel grâce à l'étiquetage RFID facilite la gestion des stocks et réduit les erreurs de gestion dues à un mauvais rangement ou à un mauvais placement des articles.

### **I.7.2 Transactions sans contact**

Le paiement sans contact par carte à puce permet des transactions sans contact physique entre la carte et le système. Ce système utilise la RFID, qui permet au titulaire de la carte de présenter sa carte RFID devant un terminal de paiement sans contact pour finaliser la transaction. Comparées aux cartes à puce avec signature, les cartes RFID sans contact sont plus rapides, plus pratiques et plus sûres.

### **I.7.3 Industrie automobile**

L'attrait de la technologie RFID dans l'industrie automobile réside dans sa sécurité. Un anti démarrage électronique est un accessoire de protection.

### **I.7.4 Transports**

Les systèmes RFID peuvent être utilisés dans divers domaines du secteur des transports, tels que le télépéage (ETC), l'immatriculation électronique des véhicules (EVR), l'identification automatique des véhicules (AVI) et la gestion de flotte. La

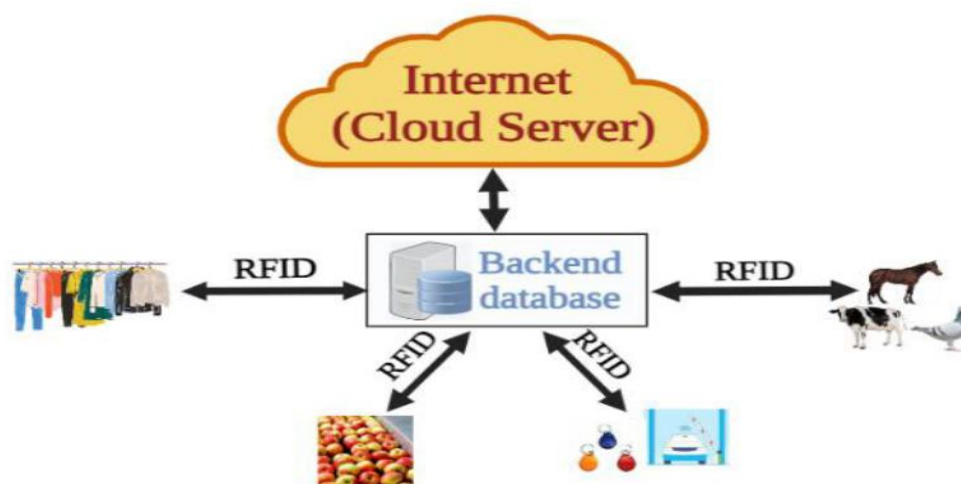
technologie RFID peut également être utilisée pour le stationnement et le contrôle d'accès.

### I.7.5 Identification des animaux

La technologie RFID peut être utilisée dans l'élevage pour l'alimentation automatique et la mesure de la productivité. Elle permet également de suivre les animaux et leur carnet de vaccination, et de faciliter leur récupération par les propriétaires.



**Figure I.4 :** Quelques applications de la technologie RFID [14]



**Figure I.5 :** Quelques applications de la technologie RFID pour les réseaux IOT [12]

## I.8 Classification de RFID Tags

Selon différentes façons, RFID tag radio fréquence cartes sont classés comme suit [12].

### I.8.1 Selon la technique d'alimentation

Selon le mode d'alimentation, il est divisé en cartes actives et cartes passives. Actif signifie qu'il y a une batterie dans la carte pour fournir la puissance, qui a une longue durée de travail, mais a une durée de vie limitée, un grand volume, un coût élevé, et n'est pas adapté pour travailler dans un environnement hostile ; il n'y a pas de batterie dans la carte passive, Qui utilise le faisceau alimentation technologie à convertir le reçu RF d'énergie en courant continu à fournir le circuit dans la carte. Sa distance de fonctionnement est plus courte que celle de la carte active, mais il a une longue durée de vie et ne nécessite pas un grand environnement de travail.

### I.8.2 Selon la fréquence opérationnelle

La fréquence porteuse est divisée en bas-fréquence radio fréquence carte, intermédiaire fréquence radio fréquence carte et haute-fréquence radio fréquence carte. Il ya deux sortes de bas-fréquence RF cartes : 125kHz et 134.2kHz La fréquence d'intermédiaire-fréquence RF cartes est 13.56MHz, et que de haute-fréquence RF cartes est 433MHz, 915MHz, 2.45GHz, 5.8GHz, etc. Le bas-fréquence système est principalement utilisé en bref-distance et des applications à faible coût, comme la plupart des accès contrôle, campus carte, Animal supervision, suivi des marchandises, etc. Un intermédiaire fréquence système est utilisé pour le contrôle d'accès et systèmes d'application qui doivent transmettre une grande quantité de données : haute-fréquence système est utilisé dans les situations qui doivent longue lecture-écriture distance et haute lire-écrire vitesse. Son antenne faisceau direction est étroite et son prix est élevé, de sorte qu'il est utilisé en train de surveillance, autoroute à péage collection et d'autres systèmes.

### I.8.3 Selon différents types de techniques de modulation

Différents modes de modulation peuvent être divisé en mode actif et en mode passif. Une carte RF actif activement envoie des données au lecteur-écrivain avec son propre RF d'énergie ; un Passif radio fréquence carte transmet les données par modulation diffusion, et il doit utiliser l'onde porteuse de le lecteur à moduler

son propre signal. Ce type de technologie est adapté pour le contrôle d'accès ou trafic applications parce que le lecteur peut s'assurer que seul une certaine gamme de radio fréquence cartes peut être activé. Quand il ya un obstacle, l'énergie du lecteur doit passer à travers l'obstacle deux fois par modulation diffusion. Toutefois, le signal émis par l'active RF carte seulement passe à travers l'obstacle une fois, si l'active RF carte est principalement utilisé dans des applications avec obstacles, et la distance est plus (jusqu'à 100m).

#### **I.8.4 Selon la distance de fonctionnement**

La distance de fonctionnement peut être divisé en dense couplage carte (distance de fonctionnement est moins que 1cm), près de couplage carte (distance de fonctionnement est moins que 15cm), clairsemée couplage carte (distance de fonctionnement est sur 1m) et long-distance carte (distance de fonctionnement est de 1 à 1 ~ 10m ou même plus).

#### **I.8.5 Selon le type de la puce**

Dans un système RFID, le signal de réception dispositif est généralement appelé un lecteur RFID (ou lecteur de carte). La fonction de base d'un lecteur RFID est de fournir une interface pour la transmission de données avec tags RFID.

#### **I.8.6 Selon la polarisation**

Étant donné que les étiquettes sont disposées de manière aléatoire et que leurs antennes sont principalement polarisées linéairement, l'antenne d'un lecteur RFID doit être polarisée circulairement. Pour obtenir une polarisation circulaire, deux modes orthogonaux d'amplitude égale et présentant un déphasage de 90° sont nécessaires. Plusieurs techniques sont utilisées dans la littérature pour obtenir une polarisation circulaire. L'une des méthodes les plus simples consiste à tronquer les angles des zones rayonnantes le long de la diagonale.

### **I.9 Avantages et inconvénients de la technologie RFID**

#### **I.9.1 Avantages**

La technologie RFID peut fondamentalement être décrite comme une technologie d'identification "tolérante aux pannes" et très flexible. L'identification

d'un objet ne nécessite ni une ligne laser précise ni la prise en compte de la profondeur de champ.

- ❖ Pas besoin de ligne de mire
- ❖ L'alignement du transpondeur RFID n'est pas nécessaire
- ❖ Lecture en masse
- ❖ Lecture et écriture des transpondeurs
- ❖ Fonctions intelligentes et standard mondial
- ❖ La RFID est adaptée à une grande variété d'applications

### I.9.1 Inconvénients

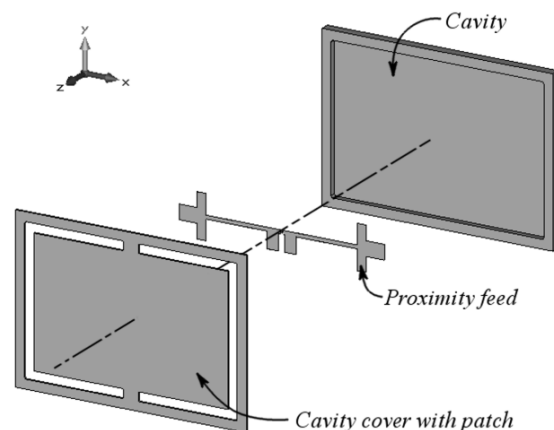
Comme toutes les autres technologies, les systèmes RFID présentent quelques inconvénients tels que

- ❖ La RFID a une bande de fréquence pour chaque pays qui est différente aux autres.
- ❖ Présente des interférences lorsqu'on l'utilise avec quelques matériaux.
- ❖ La portée de lecture est limitée

## I.10 Etat de l'art sur les antennes RFID

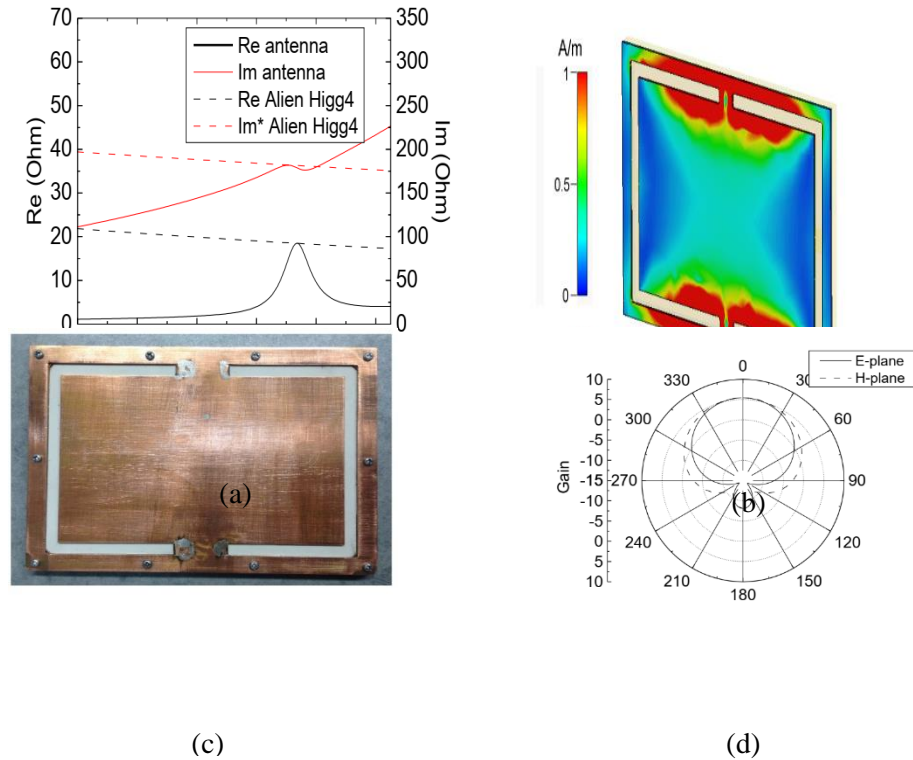
### I.10.1 Antenne tag RFID UHF en utilisant une cavité couplée

Les auteurs dans [15], ont proposé une antenne patch à cavité couplée de proximité pour étiquette RFID UHF longue portée.



**Figure I.6:** Géométrie de l'antenne proposée par Sun et al. (Substrat pas en considération) [15]

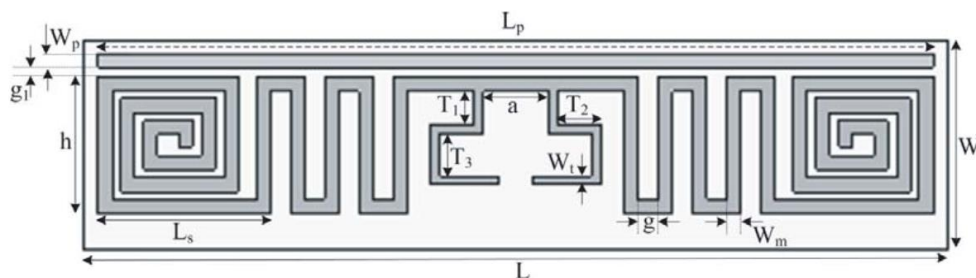
Dans cette conception, l'alimentation de proximité et la puce RFID sont entièrement intégrées à la cavité pour assurer leur protection. L'alimentation de proximité est dotée d'un réseau  $\pi$  pour adapter l'impédance. L'antenne proposée est dotée d'une structure de type patch montée sur la cavité par un rebord. L'antenne proposée possède une structure de patch fixée sur la cavité par un rebord. Cette structure permet également d'ajuster la fréquence de résonance de l'antenne.



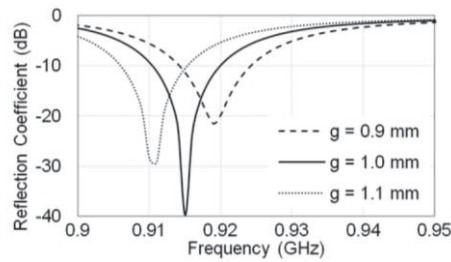
**Figure I.7:** Résultats de simulation de l'antenne proposée par Sun et al : impédance en (a), courant surfacique @ 912MHz en (b), prototype réalisé en (c) et le diagramme de rayonnement @ 912MHz en (d) [15]

### I.10.2 Antenne RFID UHF compacte avec une ligne méandre

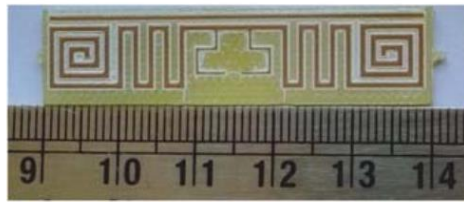
Une antenne RFID compacte est proposée par [16]. Cette antenne utilise une ligne avec des méandres comme celle illustrée dans la figure suivante.



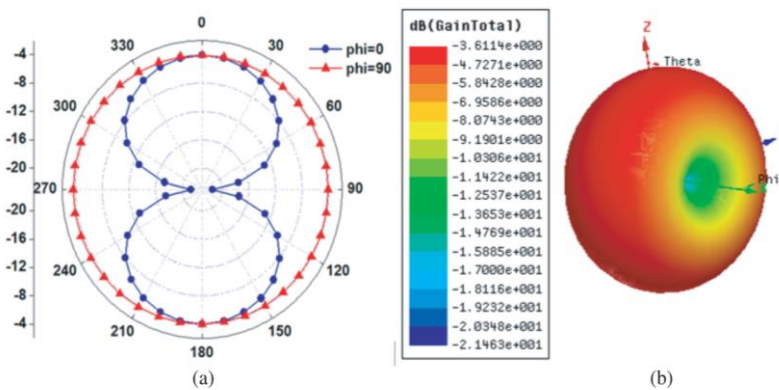
**Figure I.8:** Structure de l'antenne proposée en [16]



**Figure I.9:** Coefficient de reflexion pour différentes valeur de  $g$  [16]



**Figure I.10:** Réalisation pratique de l'antenne proposée en [16]

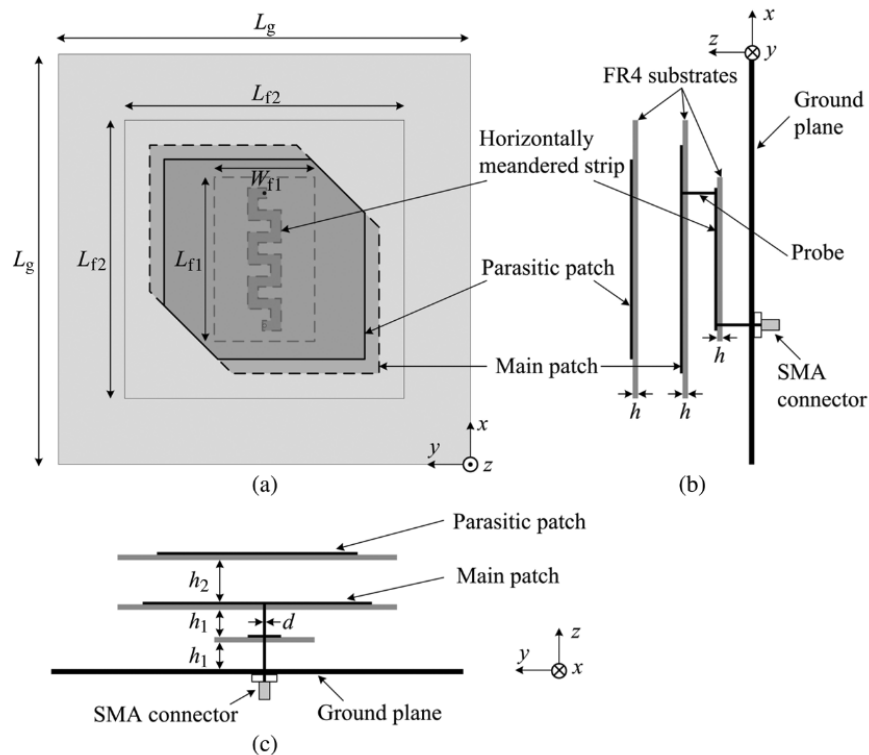


**Figure I.11:** Diagramme de rayonnement en 3D [16]

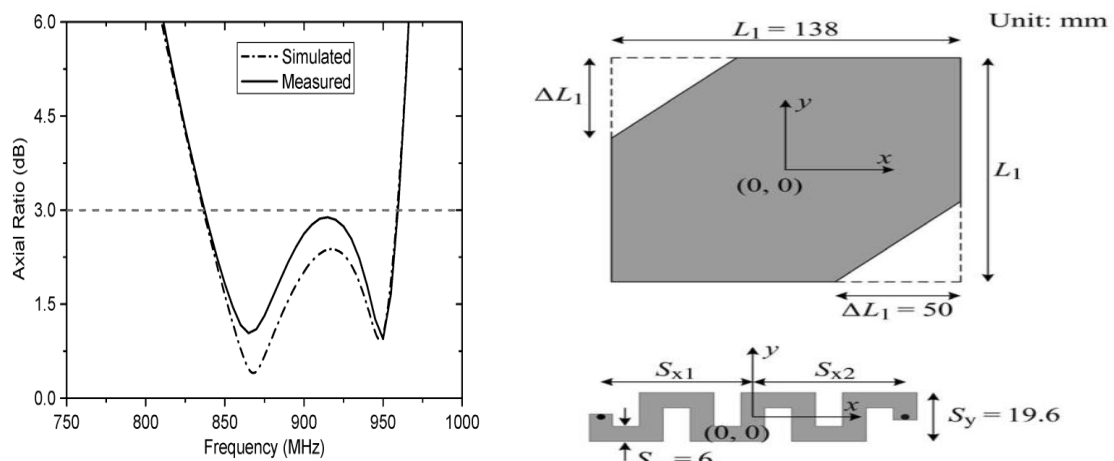
### I.10.3 Antenne RFID UHF empilée

Dans [17], l'auteur présente une nouvelle approche proposée pour faire la conception d'une antenne UHF. La configuration de l'antenne proposée et ses dimensions détaillées sont présentées dans la Figure I.7. La fréquence centrale de l'antenne est choisie à 900MHz. Cette antenne est composée de deux patches rayonnants, d'un HM, d'un plan de masse, d'un connecteur SMA, de deux sondes et de trois substrats de type FR4. Les substrats aériens sont utilisés dans cette configuration pour obtenir une bande passante plus large, un gain plus élevé et un

coût plus faible. Les patches rayonnants et le HMS sont imprimés sur la face supérieure des trois substrats FR4.



**Figure I.12:** Géométrie de l'antenne proposée par Wang. (a) vue au-dessus. (b) vue à côté. (c) vue en avant. [17]

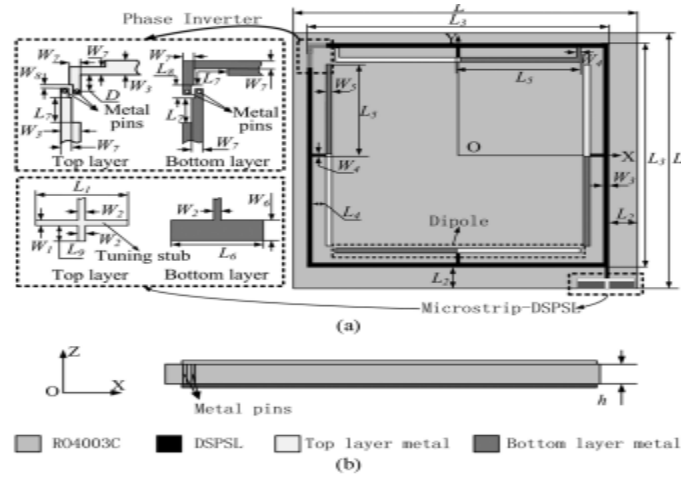


**Figure I.13:** Rapport axial en simulation et de mesure de l'antenne en figure I.5 en [17]

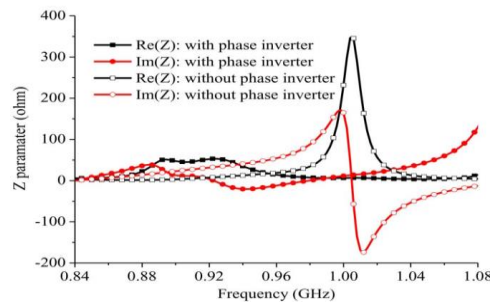
### I.10.4 Antenne RFID UHF avec configuration dipôle

Dans [18], l'auteur présente une antenne avec quatre dipôles. Ces dipôles forment une boucle. La structure formée de ces quatre dipôles et un inverseur de

phase et DSPSL structures. La structure est imprimée sur un substrat Rogers (voir la figure suivante).



**Figure I.14 :** Configuration de l'antenne proposée par Wei en [18] : (a) vue de dessus et (b) vue de côté.



**Figure I.15 :** Evolution de l'impédance d'entrée de l'antenne proposée en [18] : avec et sans inverseur de phase.

La Figure I.15 montre l'évolution de l'impédance d'entrée simulée de l'antenne proposée en [18] avec et sans inverseur de phase. Dans le cas où il n'y a pas d'inverseur de phase, la partie réelle de l'impédance de l'antenne est supérieure à 350 à 1,01 GHz.

## I.11 Conclusion

Dans ce premier chapitre, on a présenté les différentes notions de bases liées aux systèmes RFID. De même, on a présenté le principe de fonctionnement d'un système RFID, ses domaines d'applications ainsi que ses avantages et inconvénients. A la fin du chapitre Nous avons étudié l'état de l'art sur les antennes tag RFID. Dans le chapitre suivant, on va voir une étude analytique d'une antenne Tag RFID passive.



## *Chapitre II*

### *Etude analytique d'une antenne RFID tag*

## II.1 Introduction

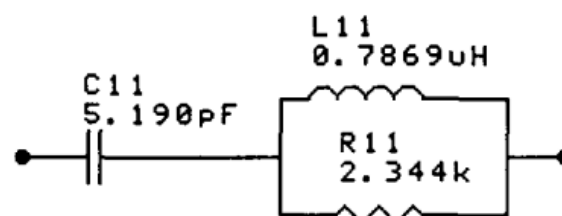
La technologie *RFID* (*Radio Frequency Identification*) est largement utilisée pour l'identification et le suivi d'objets, d'animaux ou de personnes à distance, sans contact direct. Parmi les différentes bandes de fréquences utilisées dans les systèmes RFID, la bande UHF (Ultra Haute Fréquence), généralement comprise entre 860 MHz et 960 MHz, offre des avantages significatifs, notamment une portée de lecture plus longue et une vitesse de transfert de données plus élevée.

Au cœur des tags RFID UHF, l'antenne se trouve en tant qu'un composant essentiel qui permet la communication entre le tag et le lecteur RFID. Le rôle de l'antenne est de capter l'énergie électromagnétique émise par le lecteur, de l'utiliser pour alimenter la puce du tag (dans le cas des tags passifs), puis de transmettre l'information codée en retour. Le design et les caractéristiques de l'antenne influencent directement sur la performance globale du tag, notamment en termes de distance de lecture, de directivité et de compatibilité avec différents matériaux et environnements.

Dans ce chapitre, nous nous intéressons principalement aux antennes RFID Tag passif. Une étude analytique de ce type d'antenne, les circuits équivalents de la puce et le principe de fonctionnement des antennes RFID seront présentée.

## II.2 Circuit équivalent d'un system RFID

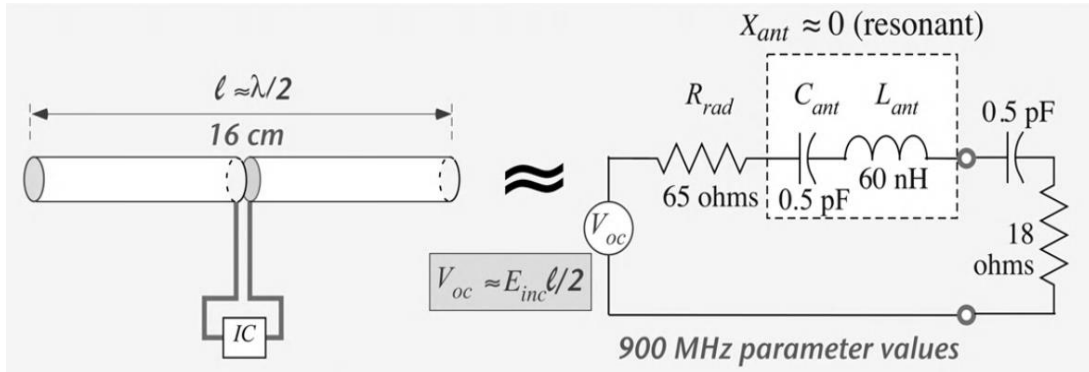
Pour comprendre le principe de fonctionnement d'une antenne RFID, on va voir le circuit équivalent d'une antenne RFID très simple qui peut être une antenne dipôle (voir la figure suivante). Tang dans son article [19], propose un circuit équivalent d'une antenne dipôle en utilisant les éléments localisés indépendants de la fréquence



**Figure II.1 :** Circuit équivalent d'une antenne dipôle [19]

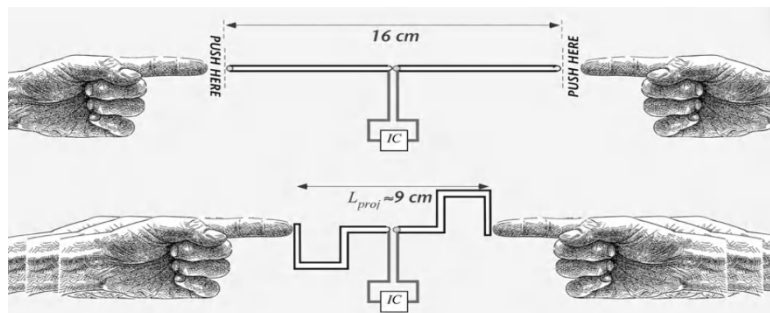
**II.2.1 Antenne dipôle comme une antenne tag**

Il est évident qu'une antenne dipôle standard est un mauvais choix pour l'utiliser en parallèle d'une puce à cause de sa faible réactance. Cette désadaptation dans la réactance entre l'antenne et la puce dégrade fortement le transfert de puissance. En plus, cette antenne présente une grande taille par rapport aux autres antennes tag.



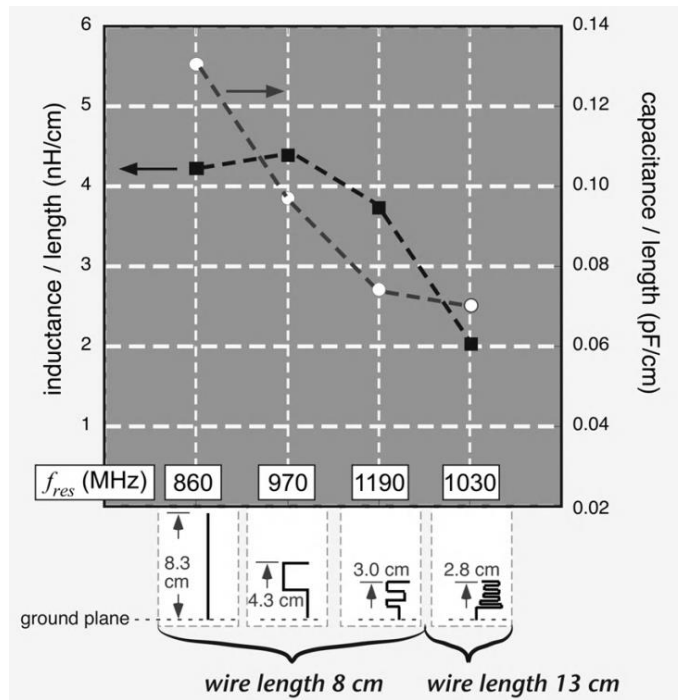
**Figure II.2 :** Circuit équivalent d'une antenne dipôle utilisée comme une antenne Tag [20]

Pour réduire la taille de l'antenne dipôle, la technique des méandres est utilisée (voir la figure des dipôles à méandres)



**Figure II.3 :** Circuit équivalent d'une antenne dipôle utilisée comme une antenne Tag [20]

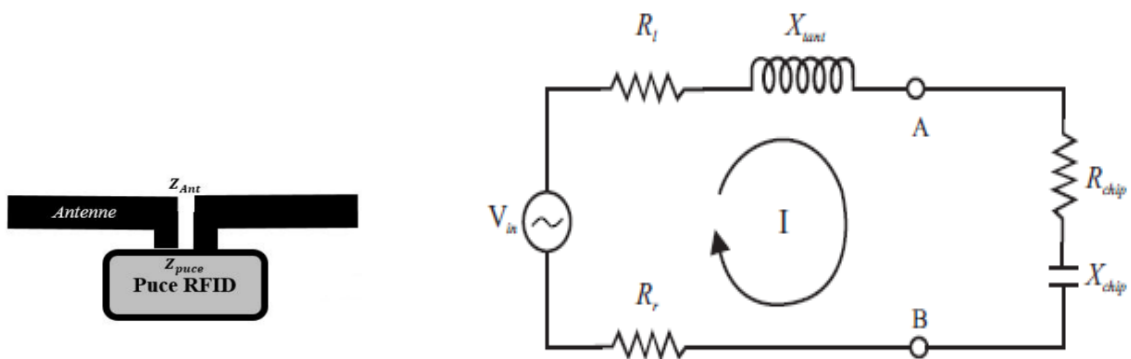
Pour améliorer les autres caractéristiques de cette antenne tag, l'antenne doit être inductive. Physiquement, c'est-à-dire la longueur de l'antenne dipôle doit être plus grande que la résonance, tout en gardant la même longueur apparue (plus des méandres dans le dipôle). Par exemple, pour avoir une inductance de 350 Ω ou 60nH à 915 MHz nécessite une longueur de 15 cm (extrait de la Figure II.4).



**Figure II.4 :** Valeurs expérimentales des inductances et capacités par unité de longueur et fréquence de résonance pour un monopôle [20]

### II.2.2 Circuit équivalent de l'antenne dipôle avec puce

On considère que l'antenne est parfaitement adaptée à la puce (pas besoin d'avoir un circuit d'adaptation entre les deux composants). Le schéma électrique équivalent est illustré dans la figure suivante :



**Figure II.5 :** Circuit électrique équivalent d'une antenne tag RFID

L'impédance de l'antenne est donnée par  $Z_{ant}=R_{ant}+jX_{ant}$ , alors que l'impédance de la puce est exprimée par  $Z_{chip}=R_{chip}-jX_{chip}$ .

La Figure II.5 présente un circuit équivalent de Thévenin d'une antenne tag RFID en mode réception.  $Z_{ant} = R_{ant} + jX_{ant}$  est l'impédance d'entrée de l'antenne, où  $R_{ant}$  est

composée de la résistance de perte  $R_l$  et de la résistance de rayonnement  $R_r$ . L'antenne réceptrice est connectée à sa charge  $Z_{chip}=R_{chip}+jX_{chip}$  par une ligne de transmission dont l'impédance caractéristique est  $Z_o$ .  $V_{in}$  est la tension induite causée par l'onde incidente. Sur le circuit, la tension induite est représentée par une phase de crête. La source fait circuler un courant représenté par une phase de crête  $I$  dans le sens indiqué à travers tous les éléments du circuit.

La phase représentant le courant circulant est donnée par

$$I = \frac{V_{in}}{R_{ant}+R_{chip}+j(X_{ant}+X_{chip})} \quad (II.1)$$

La puissance captée par le tag (puce et antenne du tag) s'exprime comme suit :

$$P_{tag} = \frac{|I|^2(R_{chip}+R_{tant})}{2} = \frac{|V_{in}|^2(R_{chip}+R_{ant})}{2(R_{ant}+R_{chip})^2+2(X_{ant}+X_{chip})^2} \quad (II.2)$$

La puissance délivrée à la puce est donnée par :

$$P_r^{chip} = \frac{|I|^2 R_{chip}}{2} = \frac{|V_{in}|^2 R_{chip}}{2[(R_{ant}+R_{chip})^2+(X_{ant}+X_{chip})^2]} \quad (II.3)$$

L'impédance de charge pour un transfert de puissance maximal est le conjugué complexe de l'impédance de l'antenne. Ainsi, dans ce cas

$$R_{chip} = R_{ant} \quad (II.4)$$

$$X_{chip} = -X_{ant} \quad (II.5)$$

### **II.3 Notion d'adaptation d'impédance**

La notion d'adaptation et désadaptation d'impédance dans une antenne tag RFID UHF passif est très importante. Elle est liée directement au transfert de puissance entre l'antenne et la puce (chip). Pour une adaptation parfaite, on assure un maximum transfert de puissance. Dans ce cas, on doit avoir la condition suivante :

$$Z_{ant} = Z_{chip}^*, \text{ pour cela, } R_{ant} = R_{chip} \text{ et } X_{ant} = -X_{chip}$$

L'antenne doit être inductive (par ce que la puce est capacitive).

### **II.3 Notion de performance d'une antenne tag RFID**

#### **II.3.1 Surface effective**

Les caractéristiques de captage de puissance d'une antenne de réception peuvent également être décrites en termes de surface effective, définie comme le

rapport entre la puissance disponible aux bornes de l'antenne de réception et la densité de flux de puissance d'une onde plane incidente sur l'antenne, à condition que la polarisation de l'antenne de réception et celle de l'onde incidente soient identiques.

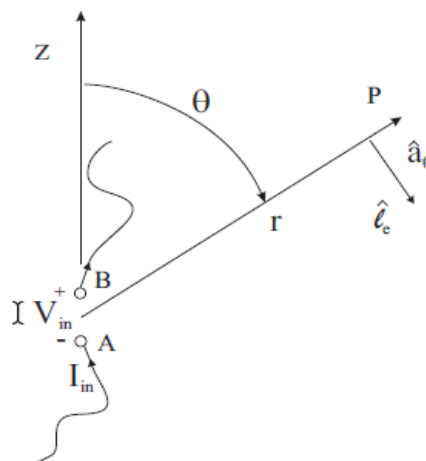
$$A_e = \frac{P_r}{W_i} \quad (\text{II.6})$$

où

$A_e$  = surface effective ( $\text{m}^2$ )

$P_r$  = puissance disponible de la source (W)

$W_i$  = densité de puissance de l'onde incidente ( $\text{W}/\text{m}^2$ )



**Figure II.6 :** Coordonnée utilisée dans la définition de la longueur effective [21].

### II.3.2 Longueur effective

La tension induite  $V_{in}$  de l'antenne de réception illustrée à la Figure II.5 peut également être exprimée en termes de longueur effective de l'antenne.

Afin de clarifier la définition du concept de longueur effective, nous introduisons, comme illustré à la figure 3, les définitions du courant d'entrée et de la tension induite pour une antenne standard.

### II.3.3 Gain

Le gain est l'un des paramètres qui décrivent la capacité de rayonnement d'une antenne. Le gain absolu d'une antenne (dans une direction donnée) est défini

comme le rapport entre la densité de puissance d'une antenne rayonnée vers un point du champ lointain et la densité de puissance au même point qui serait rayonnée par un émetteur isotrope sans perte. Il s'exprime ainsi :

$$g = \frac{4\pi r^2 W_{rad}}{4\pi r^2 W_{rad}^i} = \frac{W_{rad}}{W_{rad}^i} \quad (II.7)$$

### II.3.4 PIRE et PAR

Afin d'éviter les effets de l'émetteur RFID sur d'autres dispositifs à ondes radio, de nombreux pays imposent des réglementations sur la consommation d'énergie. La limitation de puissance rayonnée est généralement exprimée en termes de « PIRE » et de « PAR ». PIRE et PAR sont respectivement les acronymes de puissance isotrope rayonnée équivalente et de puissance apparente rayonnée. Les régulateurs ne se soucient pas de la puissance réellement rayonnée par l'antenne du lecteur, bien que la limitation soit décrite en termes de puissance. Ce qui les intéresse réellement, c'est la densité de puissance maximale.

La densité de puissance de rayonnement d'une antenne de lecteur à une distance  $r$  peut être exprimée par l'équation (II.8).

$$W_{rad} = \frac{P_r^{rant} g^{reader}}{4\pi r^2} \quad (II.8)$$

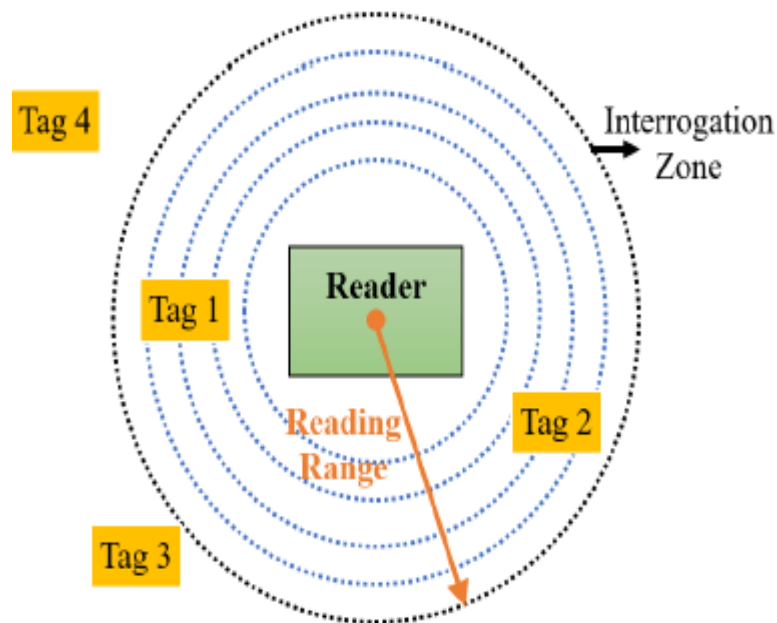
### II.3.5 Portée de lecture

La portée de lecture est la caractéristique la plus importante d'un lecteur RFID. Elle correspond au rayon de la zone d'interrogation du lecteur [12]. La Figure II.7 illustre la zone d'interrogation, la portée de lecture et le positionnement de l'étiquette autour du lecteur.

Le lecteur détecte et lit les étiquettes 1 et 2, qui se trouvent dans sa portée de lecture. L'étiquette 3 se trouve à la limite de la zone d'interrogation, tandis que l'étiquette 4 est complètement hors de portée. Par conséquent, le lecteur n'est pas capable d'identifier et de lire les étiquettes 3 et 4. Cependant, si la portée du lecteur est augmentée, les étiquettes 3 et 4 deviennent détectables. Par conséquent, l'augmentation de la portée de lecture élargit la zone d'interrogation du lecteur, augmentant ainsi la probabilité de détection de l'étiquette. La portée du lecteur peut être analysée à l'aide de la formule de transmission de Friis donnée par l'équation

suivante  $\frac{P_r}{P_t} = G_t G_r \left( \frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2$  où  $P_r$  et  $P_t$  représentent respectivement la puissance

reçue et émise par l'antenne du lecteur/étiquette,  $G_r$  et  $G_t$  sont les gains des antennes de réception et d'émission, et  $R$  est la portée du lecteur par rapport à l'objet étiqueté.



**Figure II.7 :** Zone d'interrogation, portée de lecture et emplacement de l'étiquette du lecteur RFID [12].

### II.3.6 Sensibilité

La puissance rayonnée ( $P_t$ ) par le lecteur est mesurée par la puissance isotrope rayonnée effective (PIRE), qui peut être quantifiée à l'aide de l'équation (II.9). Les niveaux de puissance au niveau de l'étiquette ou du lecteur sont exprimés comme suit :

$$P_{tan} = EIRPG_{reader} G_{tag} \left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2 \quad (II.9)$$

Supposons que le lecteur soit du côté émetteur et que l'étiquette soit du côté récepteur.

$$P_{reader} = P_{BTR} G_{tag} G_{reader} \left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2 \quad (II.10)$$

Dans l'équation (II.10), supposons que le lecteur est à la réception et que l'étiquette est à l'émission. Ici,  $P_{BTR}$  représente la puissance rétrodiffusée du transpondeur vers le lecteur,  $G_{tag}$  et  $G_{reader}$  représentent respectivement les gains du lecteur et de l'étiquette. La valeur de  $P_{BTR}$  est calculée comme suit :

$$P_{BTR} = \frac{1}{4} |\Gamma_{Loff}|^2 P_{tag} \quad (II.11)$$

En substituant (II.9) et (II.11) dans l'équation (II.10)

$$P_{reader} = \frac{1}{4} |\Gamma_{loff} - \Gamma_{lon}|^2 G^2_{tag} G^2_{reader} \left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^4 \quad (II.12)$$

La puissance reçue par le lecteur est déterminée par (5), mais ses performances sont influencées par le signal minimal détectable, appelé sensibilité du lecteur [12]. Ici  $\Gamma_{Loff}$  et  $\Gamma_{Lon}$  représentent les coefficients de réflexion de charge de l'étiquette, respectivement éteinte et allumée. La sensibilité du lecteur

$$\text{Sensibilité} = \text{SNR}_{\min} N_F N_i \quad (II.13)$$

Le rapport signal-à-bruit minimal détectable est indiqué par  $\text{SNR}_{\min}$ , tandis que  $N_F$  et  $N_i$  représentent le facteur de bruit et la puissance du bruit d'entrée du lecteur. Pour détecter un objet marqué à une distance maximale, la puissance du lecteur,  $P_{lecteur}$ , est égale à sa sensibilité.

### II.3.7 Indicateur de force du signal reçu (IFSR)

La puissance du signal reçu, également appelée indicateur de force du signal reçu (IFSR), est un paramètre fréquemment utilisé par les lecteurs pour localiser les objets étiquetés. Le terme IFSR correspond à la puissance rétrodiffusée de l'étiquette, interceptée par l'antenne de réception du lecteur et utilisée pour localiser ou lire l'étiquette [12].

Le IFSR est important pour estimer la distance de lecture d'un objet étiqueté dans le champ de vision du lecteur. L'antenne du lecteur stocke les données du code produit électronique (EPC) et la valeur IFSR de chaque étiquette dans sa zone d'interrogation. Cela permet d'estimer avec précision la position des étiquettes dans le champ de lecture du lecteur. La localisation RFID des cibles étiquetées par RSSI utilise un modèle de propagation du signal pour estimer la distance entre le lecteur et la cible [12].

## II.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons réalisé une étude analytique d'une antenne Tag RFID. De même, on a présenté les différentes notions de base liées à la performance d'une antenne

RFID. Parmi ces caractéristiques de performance, on peut citer la sensibilité, la portée de lecture et l'adaptation d'impédance.



*Chapitre III*  
*Etude paramétrique d'une*  
*Antenne Tag*  
*RFID*

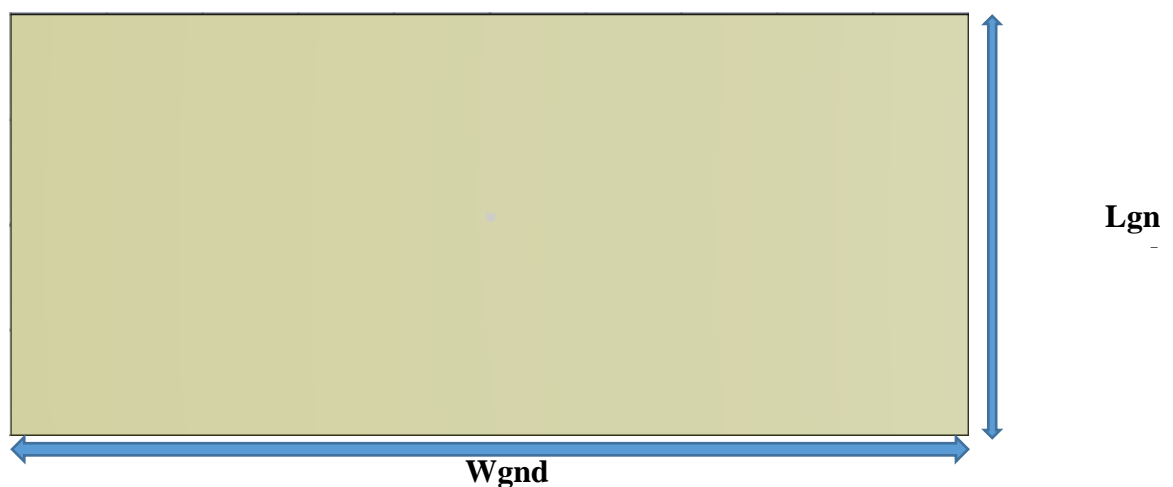


Cette antenne est conçue pour être adaptée à une puce qui a une impédance d'entrée  $Z_{\text{puce}} = 23 - j224 \Omega$ , qui est fonctionnelle à la fréquence  $f=915$  MHz où cette fréquence est incluse dans la bande UHF (860–960 MHz). La puce utilisée dans la conception est de type **NXP SL3S1203\_1213** pour travailler à la fréquence  $f=915$  MHz (voir Tableau III.1). Pour assurer un bon fonctionnement de l'antenne RFID tag, l'antenne doit être conçue d'une manière où son impédance d'entrée doit être conjuguée à celle de la puce ( $Z_{\text{ant}}=Z_{\text{puce}}^*$ ). Cette condition permet d'avoir un transfert maximal entre l'antenne et la puce. Dans notre cas, on doit concevoir une antenne avec une impédance  $Z_{\text{ant}}=23+j224 \Omega$ .

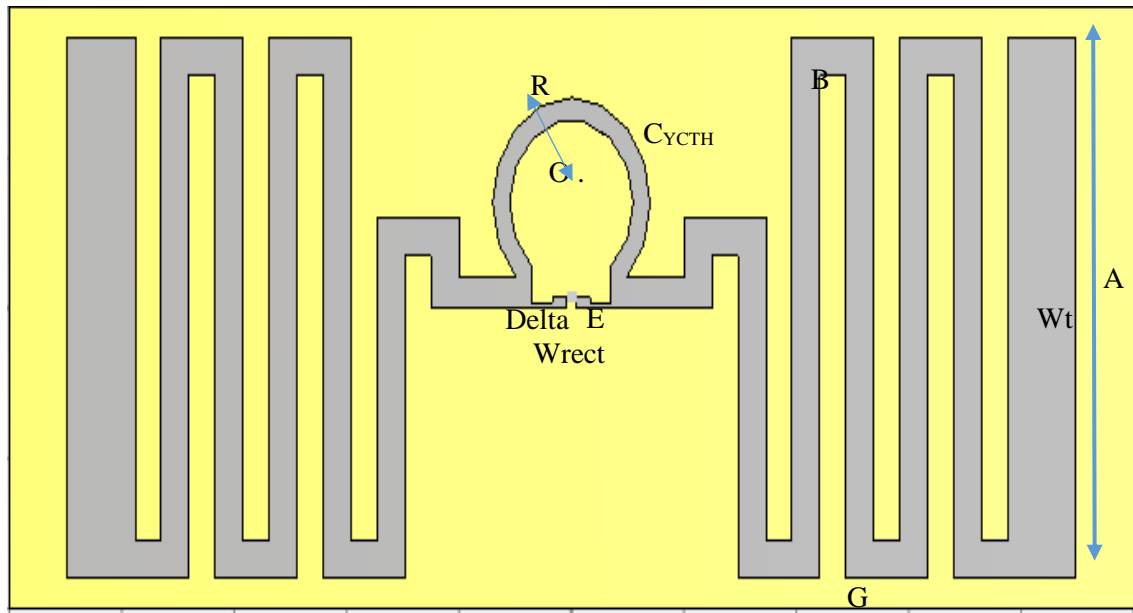
**Tableau III. 1 : Caractéristiques de la puce NXP SL3S1203\_1213 [22]**

Symbol	Parameter	Conditions		Min	Typ	Max	Unit
$f_i$	input frequency			840	-	960	MHz
<b>Normal mode - no external supply, read range reduction OFF</b>							
$P_{i(\text{min})}$	minimum input power	READ sensitivity	[1] [2] [3]	-	-18	-	dBm
$P_{i(\text{min})}$	minimum input power	WRITE sensitivity, (write range/ read range - ratio)		-	30	-	%
$C_i$	input capacitance	parallel	[4]	-	0.77	-	pF
Q	quality factor	915 MHz	[4]	-	9.7	-	-
Z	impedance	866 MHz	[4]	-	25 -j237	-	$\Omega$
		915 MHz	[4]	-	23 -j224	-	$\Omega$
		953 MHz	[4]	-	21 -j216	-	$\Omega$

Pour avoir une antenne adaptée à la puce mentionnée dans le tableau précédent, on utilise une antenne avec une boucle de forme oméga et d'un dipôle à méandre et ligne d'alimentation avec saut d'impédance (pour faire l'adaptation avec l'impédance de la puce). La structure de l'antenne RFID tag est présentée dans la Figure III.2.



(a)



(b)

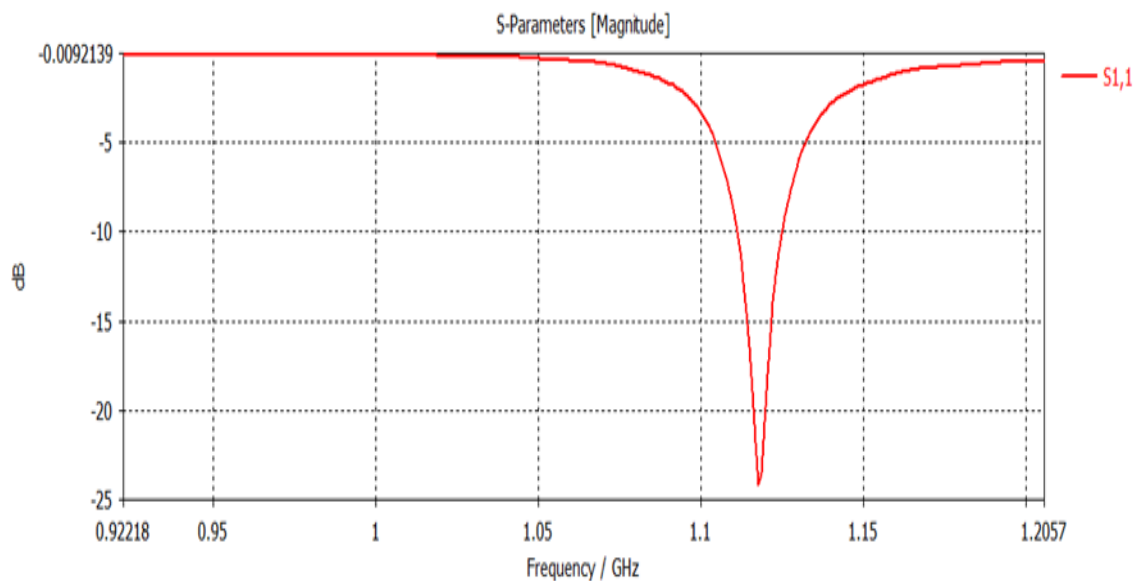
**Figure III. 2 :** Structure de l'antenne RFID Tag proposée : vue de dessus en (a) et vue de dessous en (b)

Les dimensions initiales qui sont adoptées lors de la conception de cette antenne Tag RFID proposée sont tabulées dans le Tableau III.2.

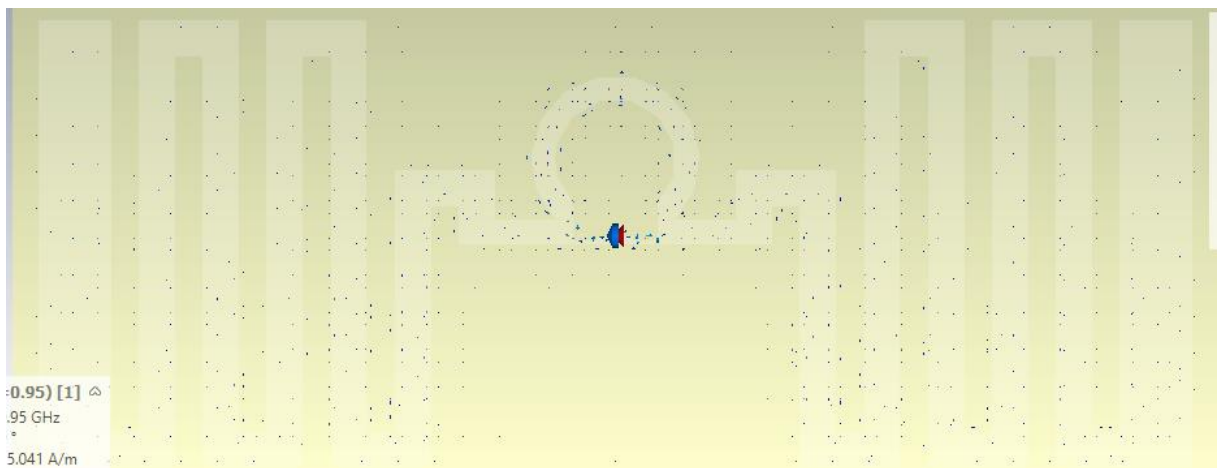
**Tableau III. 2 :** Dimensions de l'antenne RFID Tag proposée

Composant	Paramètre	Valeur (mm)
Substrat	$L_{sub}$	40
	$W_{sub}$	100
	$h$	1.6
GND	$L_{gnd}$	40
	$W_{gnd}$	100
	$t$	0.035
Dipôle à Méandre	A	37
	B	3
	$C_{CYCTH}$	2
	D	0.7
	DELTA	0.9
	E	1
	G	2.3
	J	3
	O	7
	R	7
	$W_{rect}$	20
	$L_{rect}$	2
	$W_t$	6

Les résultats de simulation sont présentés en termes de coefficient de réflexion  $S_{11}$  en fonction de fréquence dans la Figure III.3 et la Figure III.4.



**Figure III.3 :** Coefficient de réflexion  $S_{11}$  de l'antenne RFID proposée



**Figure III.4 :** Distribution des Courants surfaciques sur l'antenne proposée @ 1.1 GHz

### III.4 Etudes paramétriques

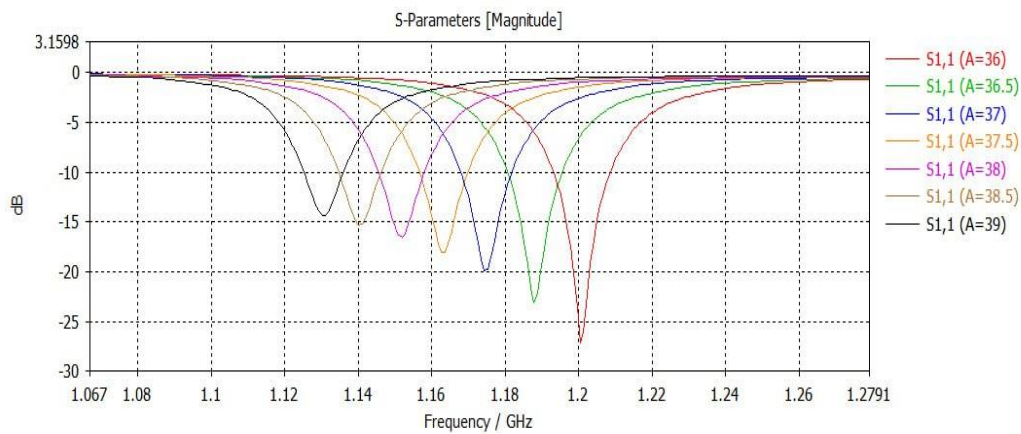
Pour voir l'influence de chaque paramètre sur les performances de l'antenne tag, une étude paramétrique a été effectuée pour avoir les meilleures performances de l'antenne proposée en termes de l'adaptation, la fréquence de fonctionnement et le diagramme de rayonnement. Pour cela, on va faire varier un seul paramètre, et on va fixer tous les autres paramètres, ce qui permet de voir l'effet de ce paramètre sur le fonctionnement et les caractéristiques de l'antenne RFID.

Cette étude paramétrique permet de comprendre précisément comment chaque paramètre affecte sur les caractéristiques de l'antenne conçue.

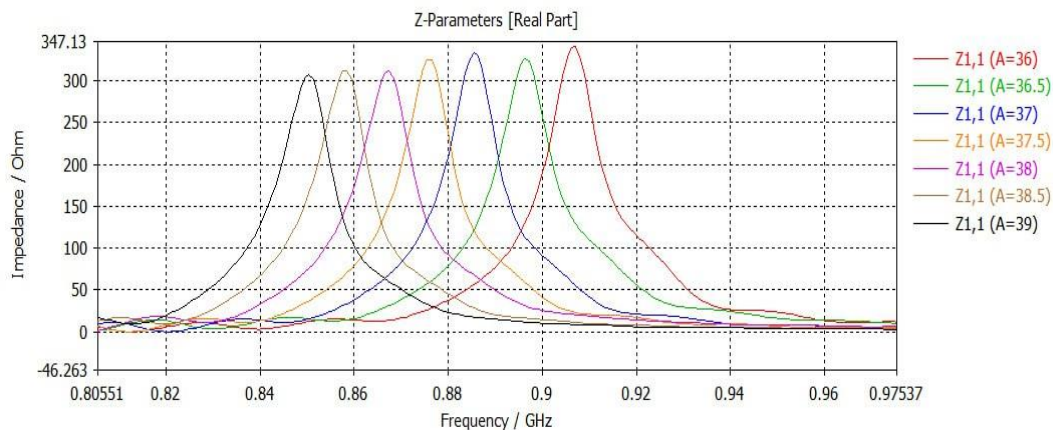
### III.4.1 Effet de la longueur A du méandre

Dans cette étude, la longueur A de l'antenne sera variée de 36mm, 37mm, 38mm et 39mm. Les autres paramètres sont fixes. (Voir Tableau III.1)

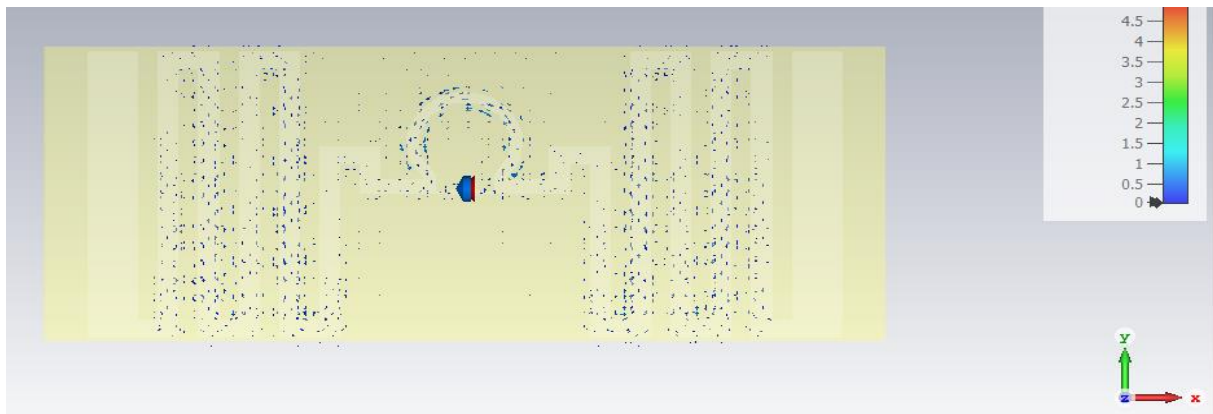
Les résultats de simulation sont présentés en termes de coefficient de réflexion  $S_{11}$ , partie réelle de l'impédance de l'antenne tag, distribution des courants surfaciques et le diagramme de rayonnement.



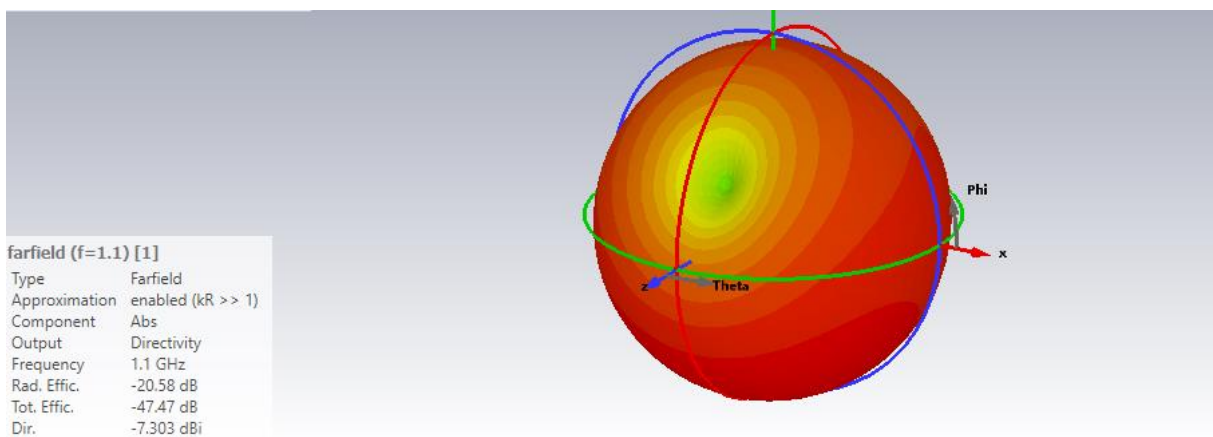
**Figure III.5 :** Coefficient  $S_{11}$  pour différentes valeurs de la longueur A de l'antenne Tag RFID.



**Figure III.6 :** Partie réelle de l'impédance d'entrée Z pour différentes valeurs de la longueur A de l'antenne Tag RFID.



**Figure III.7 :** Distribution des courants surfaciques pour une longueur  $A=37$  mm de l'antenne Tag RFID @ 1.1 GHz.



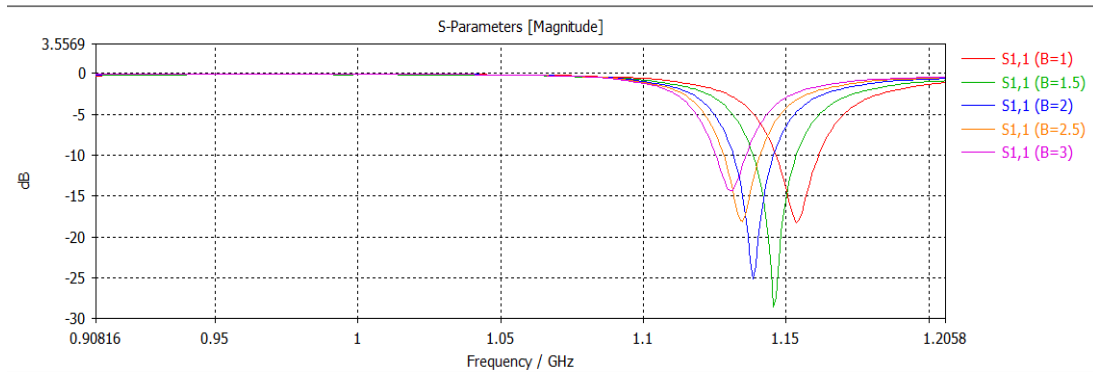
**Figure III.8 :** Diagramme de rayonnement en 3D pour une longueur  $A=39$ mm de l'antenne Tag RFID @ 1.1GHz.

La Figure III.5 représente l'évolution du coefficient de réflexion  $S_{11}$  pour différentes valeurs de la longueur  $A$ . On remarque que la fréquence de résonance est inversement proportionnelle à la longueur  $A$ . ce qui confirme la dualité fréquence/longueur d'onde. Mais l'adaptation est proportionnelle à la longueur  $A$ . Un décalage dans la fréquence enregistré est de 1.18 jusqu'à 1.11 GHz). La Figure III.8 présente le diagramme de rayonnement en 3D pour une longueur  $A=39$  mm à la fréquence 1.1 GHz. Le gain réalisé est près de 7.3 dBi

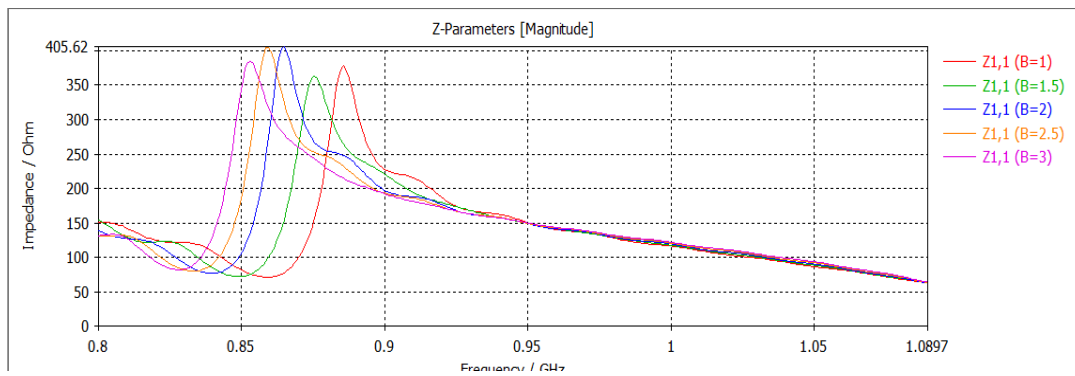
#### III.4.2 Effet de la largeur B du méandre

Dans cette partie, on va varier la largeur B du méandre pour l'antenne conçue (voir Figure III.2). De même que celle précédente, on va fixer tous les autres paramètres qui sont mentionnées dans le Tableau III.2. La Figure III.6 montre le coefficient de réflexion pour différentes valeurs de B, la Figure III.7 montre l'impédance d'entrée pour différentes valeurs

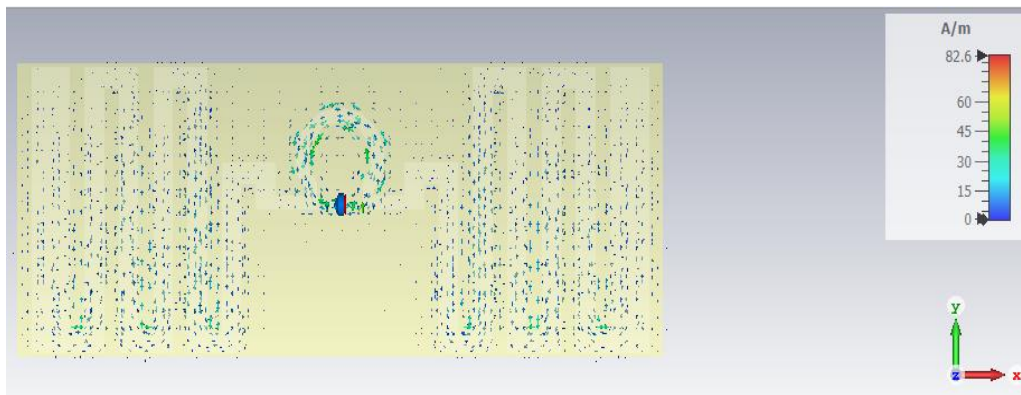
de la largeur des méandres  $B$  et la Figure III.8 montre la distribution des courants surfaciques pour une largeur  $B=3\text{mm}$ . Le diagramme de rayonnement est illustré dans la Figure III.12 à la fréquence  $f=1.1\text{ GHz}$ .



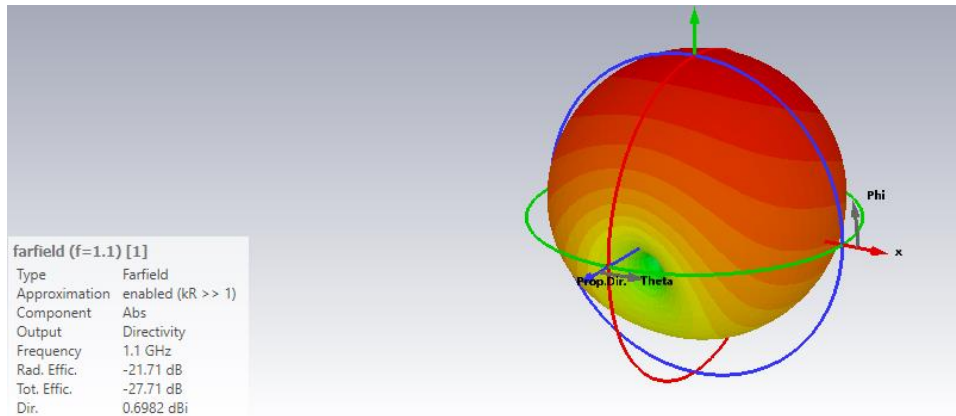
**Figure III.9 :** Coefficient  $S_{11}$  pour différentes valeurs de la largeur  $B$  de l'antenne Tag RFID.



**Figure III.10 :** Partie réelle de l'Impédance  $Z$  pour différentes largeurs  $B$  de l'antenne Tag RFID.



**Figure III.11 :** Distribution des courants surfaciques pour largeur  $B=3\text{ mm}$  de l'antenne Tag RFID à la fréquence  $1.1\text{ GHz}$ .



**Figure III.12 :** Diagramme de rayonnement en 3D pour  $B=3$  mm de l'antenne Tag RFID à la fréquence 1.1 GHz.

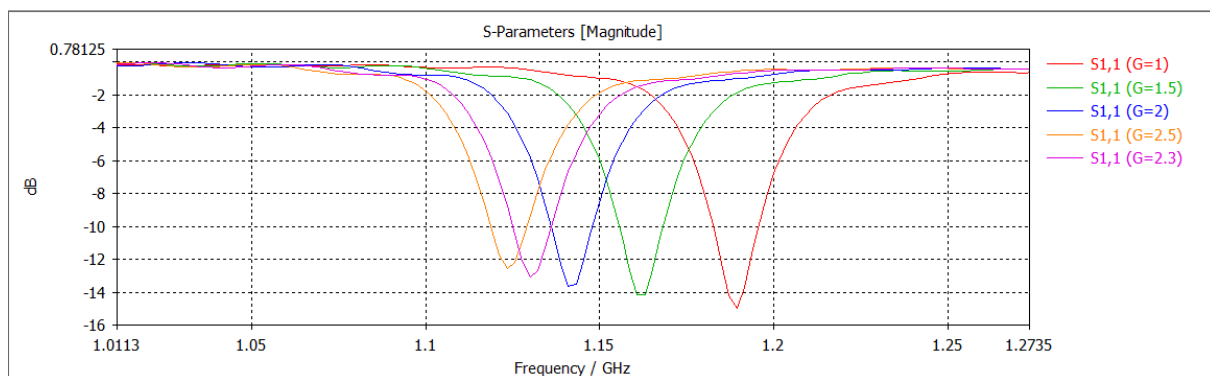
❖ Dans ce cas, On remarque que la fréquence de résonance et l'adaptation d'antenne sont affectées par cette variation.

### III.4.3 Effet de la distance G entre les méandres

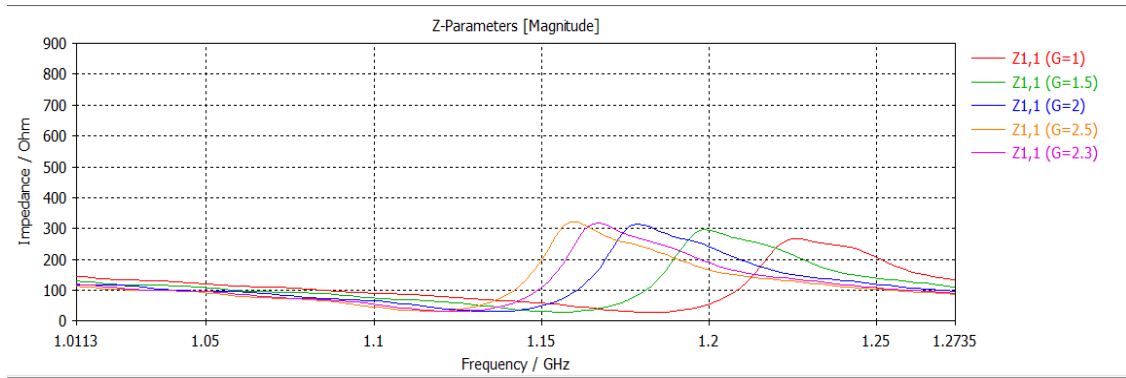
Dans ce cas, la largeur de l'antenne Tag RFID est fixée à 3mm, la longueur à 39 mm, puis on va varier la distance G entre les méandres. Les autres paramètres sont fixes comme celles mentionnées dans le Tableau III.1.

La Figure III.13 montre le coefficient de réflexion pour différentes valeurs de G allant de 1mm à 2.3mm.

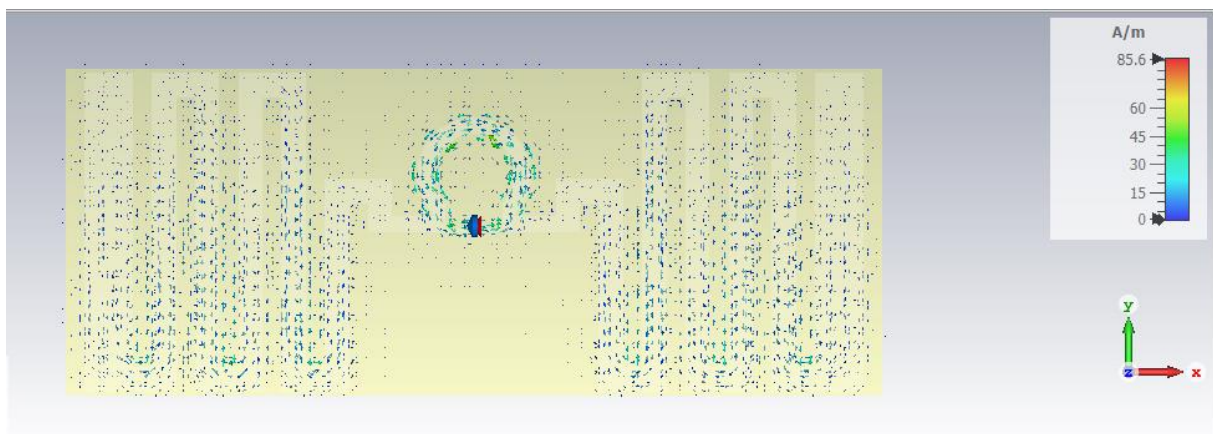
La Figure III.14 montre l'évolution de l'impédance d'entrée de l'antenne Tag RFID pour différentes valeurs de G. La Figure III.15 montre la distribution des courants surfaciques à la fréquence  $f=1.1$  GHz.



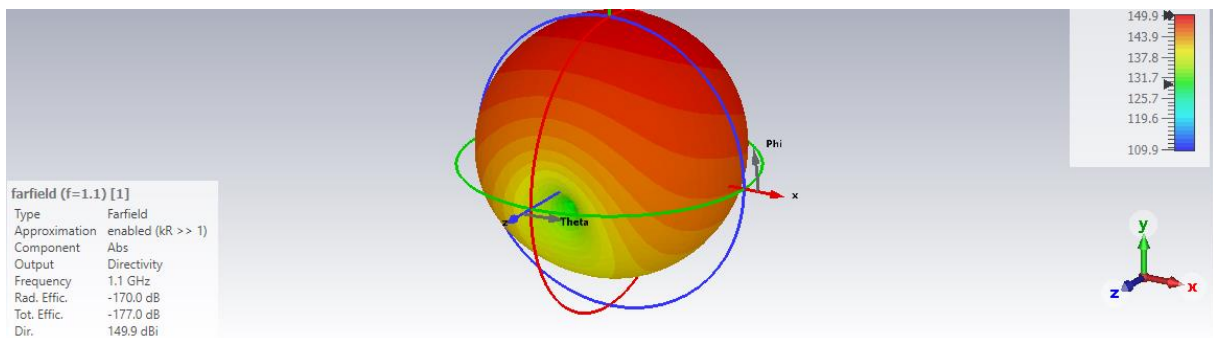
**Figure III.13 :** Coefficient  $S_{11}$  pour différentes valeurs de gap G entre les méandres de l'antenne Tag RFID.



**Figure III.14 :** Evolution de l'impédance d'entrée Z pour différentes valeurs de G de l'antenne Tag RFID.



**Figure III.14 :** Distribution des courants surfaciques dans l'antenne Tag RFID pour  $G=2.3mm$  @1.1GHz.

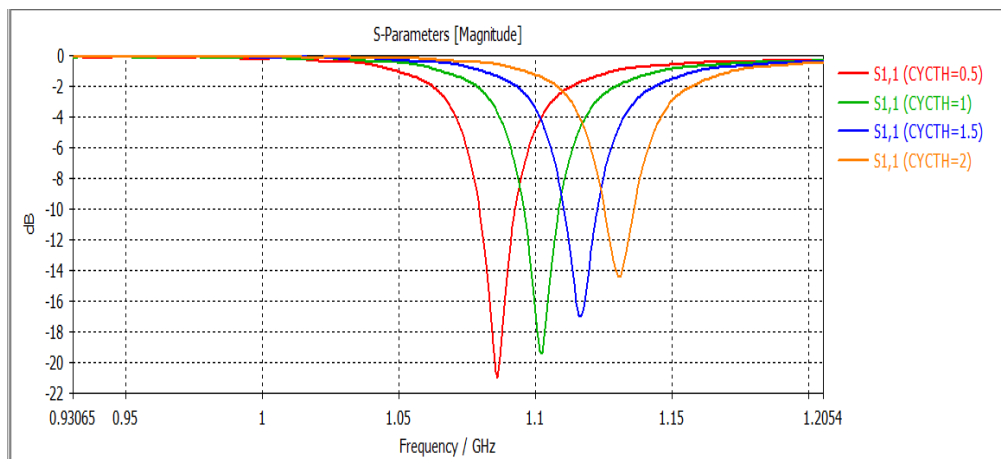


**Figure III.15 :** Diagramme de rayonnement en 3D de l'antenne Tag RFID pour une valeur  $G=2.3mm$  @1.1GHz

Dans cette partie, on remarque que la distance entre les méandres  $G$  affecte légèrement sur la fréquence de résonance. De même pour l'évolution de l'impédance d'entrée, par ce qu'il y a un lien entre ce paramètre et le coefficient de réflexion  $S_{11}$ .

### III.4.4 Effet de variation de l'épaisseur de cylindre $C_{YCTH}$

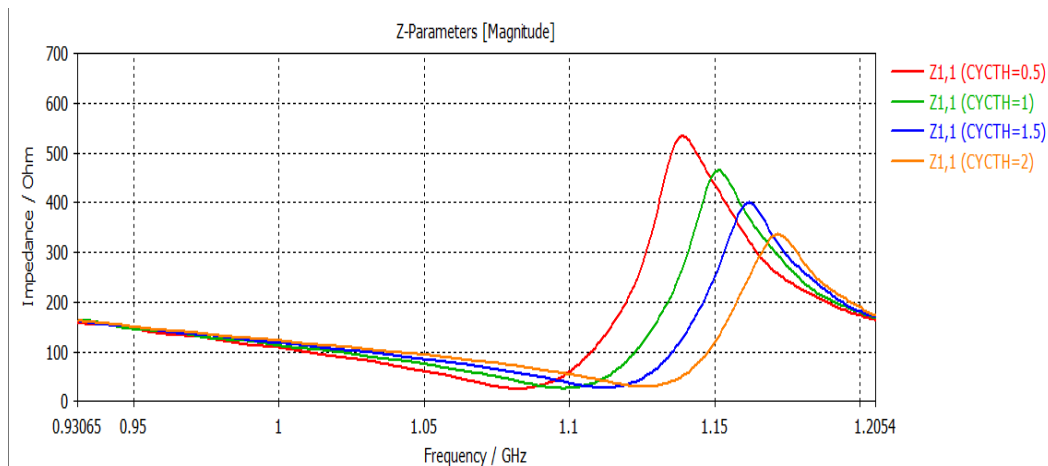
Dans ce cas, on mentionne que la largeur  $B$  est fixée à 3mm, la longueur  $A$  à 39 mm et la distance entre les méandres à 2.3mm. Les autres paramètres sont fixes (voir Tableau III.1). Pour faire l'étude paramétrique, on va varier l'épaisseur de la boucle  $C_{YCTH}$ . La Figure III.16 montre l'évolution du coefficient de réflexion  $S_{11}$  pour différentes épaisseurs.



Figure

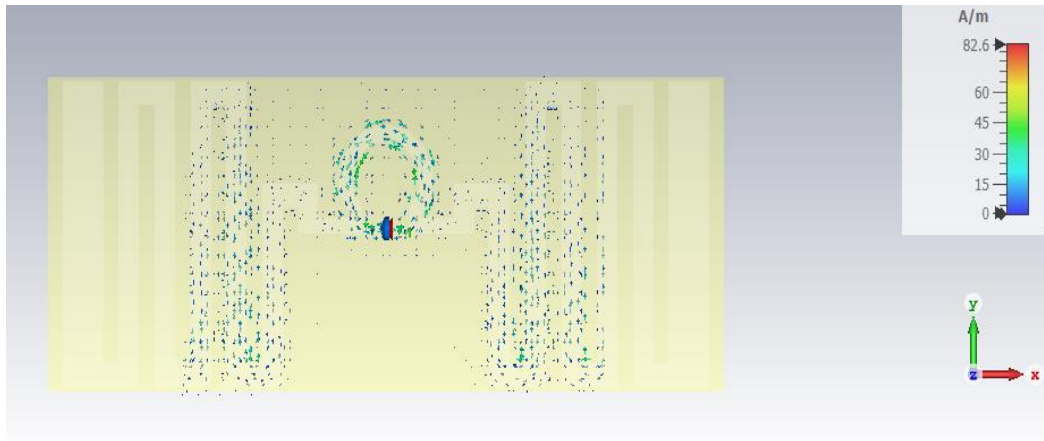
#### III.16: Coefficient $S_{11}$ pour différentes épaisseurs de cylindre de l'antenne Tag RFID

La Figure III.17 montre la partie réelle de l'impédance d'entrée de l'antenne Tag où on remarque que à chaque résonance, on trouve que  $R_{ant}$  est près de  $23\Omega$  qui représente la résistance de la puce.

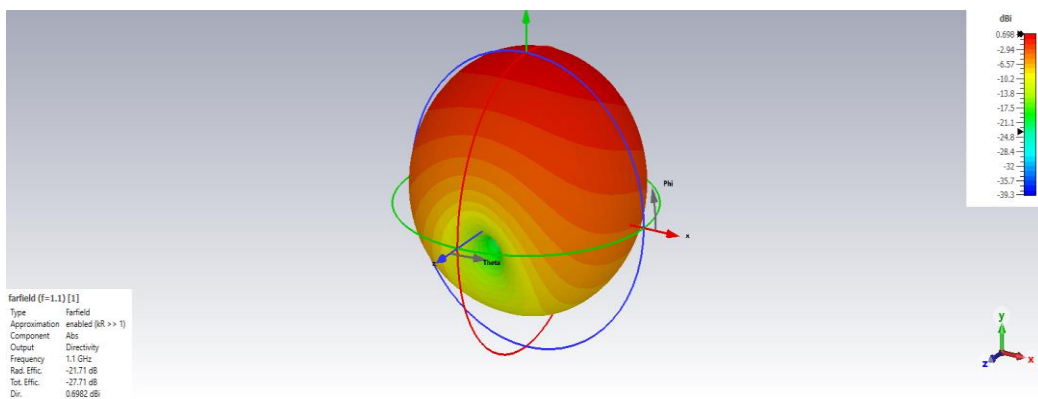


**Figure III.17 :** Partie réelle de l'impédance d'entrée  $Z$  pour différentes épaisseurs de l'antenne Tag RFID

La Figure III.18 montre la distribution des courants surfaciques sur l'antenne Tag pour  $C_{YCTH}=2\text{mm}$  à la fréquence  $f=1.1\text{mm}$ .



**Figure III.18 :** *Distribution des courants surfaciques pour CYCTH=2mm @1.1GHz.*

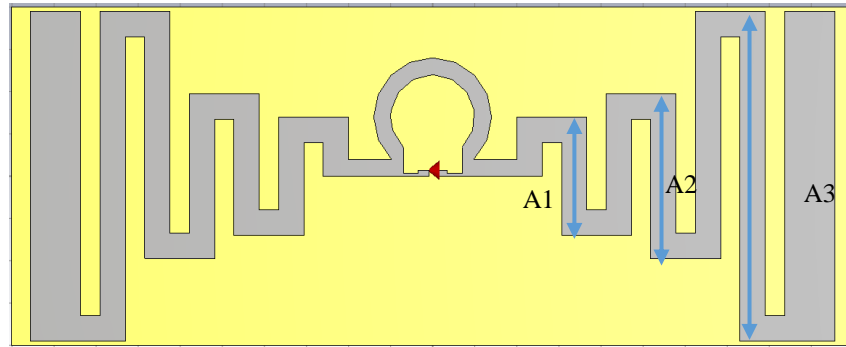


**Figure III.19 :** *Diagramme de rayonnement en 3D de l'antenne Tag RFID pour une valeur épaisseur de cylindre de 2mm @1.1GHz*

On voit que le diagramme de rayonnement présente une efficacité très faible (inférieur à celle d'une antenne isotrope avec une valeur de directivité près de 0.6 dBi).

#### III.4.5 Effet de la variation des longueurs des méandres

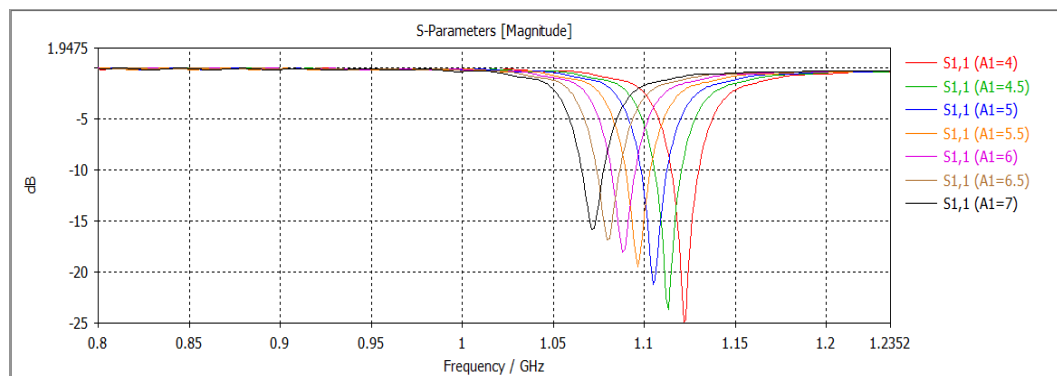
Dans cette section, on va considérer que les méandres ont des longueurs différentes. On suppose que nous avons trois replis avec des longueurs A1, A2 et A3, respectivement. Les autres paramètres sont les mêmes que ceux tabulés dans le Tableau III.1.



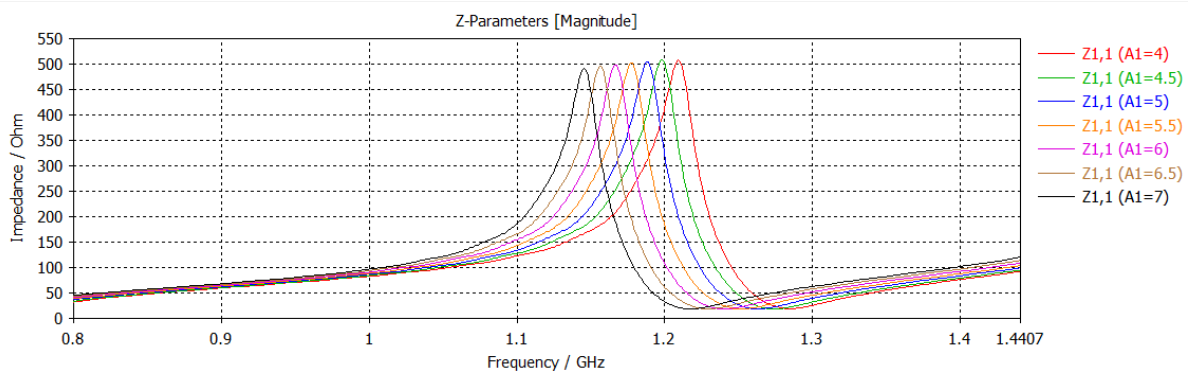
**Figure III.20 :** Vue de dessus de la nouvelle Structure de l'antenne Tag RFID proposée.

### 1. Effet de la longueur du premier méandre A1

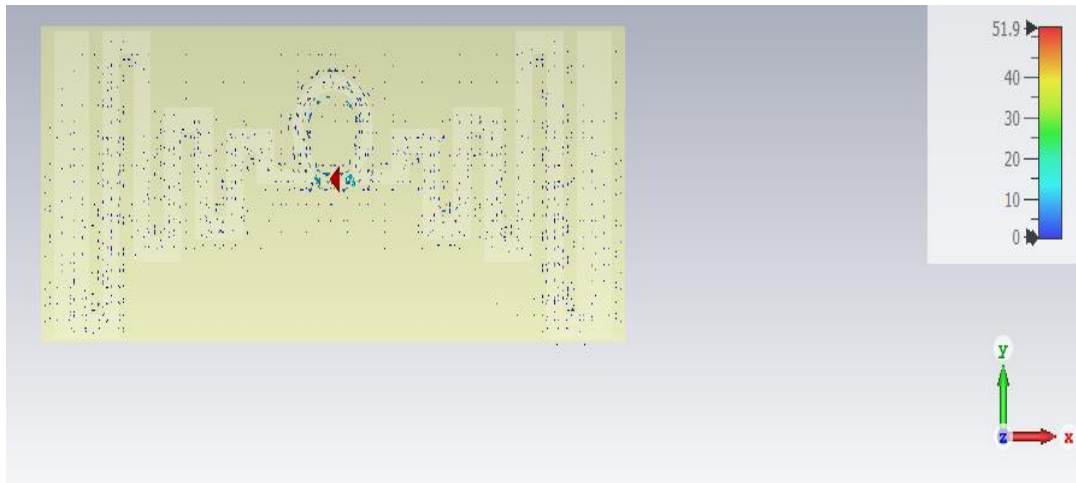
Pour voir l'effet de la longueur sur les caractéristiques de l'antenne Tag, on prend différentes valeurs de longueur du premier repli. Les résultats de simulation sont présentés dans les Figures suivantes (III.21- III.24) en termes de coefficient de réflexion, diagramme de rayonnement et des autres.



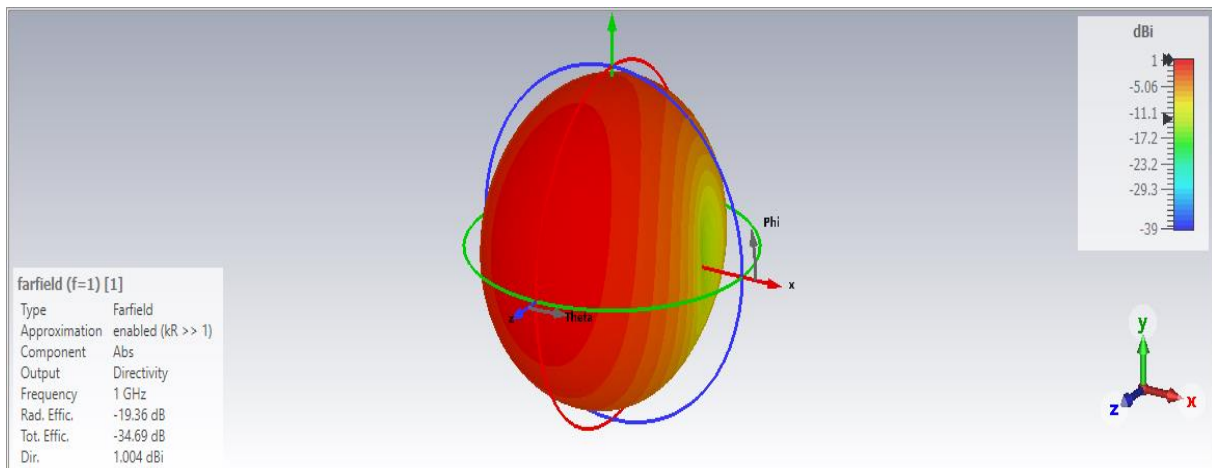
**Figure III.21 :** Evolution du Coefficient  $S_{11}$  pour différentes longueurs du premier repli de l'antenne Tag RFID



**Figure III.22 :** Partie réelle de l'impédance d'entrée  $Z$  pour différentes longueurs du premier repli de l'antenne Tag RFID.



**Figure III.23 :** Distribution des courants surfaciques pour  $A1=7\text{mm}$  de l'antenne Tag RFID @1.1GHz.



**Figure III.24 :** Digramme de rayonnement en 3D pour  $A1=7\text{mm}$  @1.1GHz.

Comme une remarque, On voit que ce paramètre affecte sur la fréquence de résonance, et l'adaptation de l'antenne d'une manière proportionnellement inverse.

## 2. Effet de la longueur du deuxième repli ( $A2$ )

Dans cette fois, on va varier la longueur du deuxième repli. La longueur du premier repli est fixée à 7mm. Les autres paramètres sont mentionnés dans Tableau III.1. Les résultats de simulation sont présentés dans les Figures III.25-III.28.

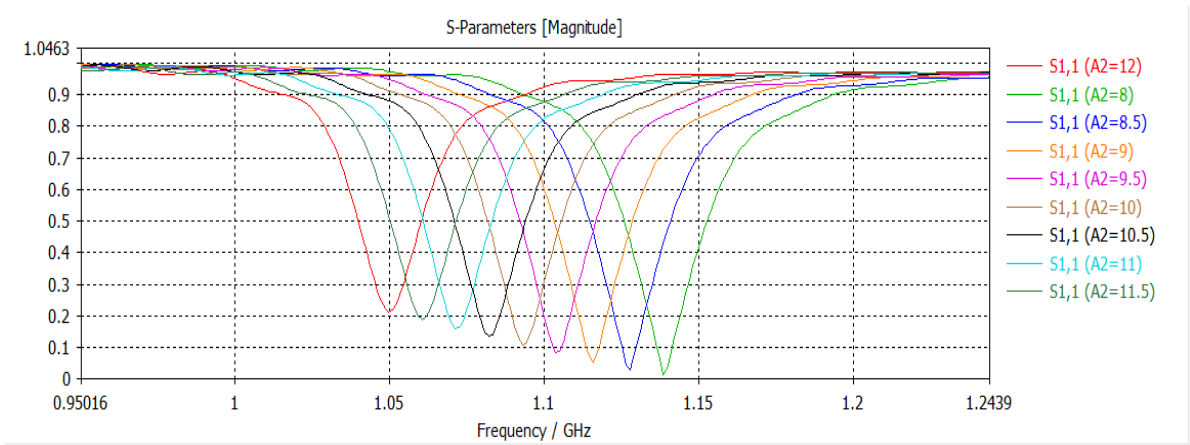


Figure III.25 : Coefficient de réflexion  $S_{11}$  pour différentes longueurs du deuxième repli de l'antenne Tag RFID

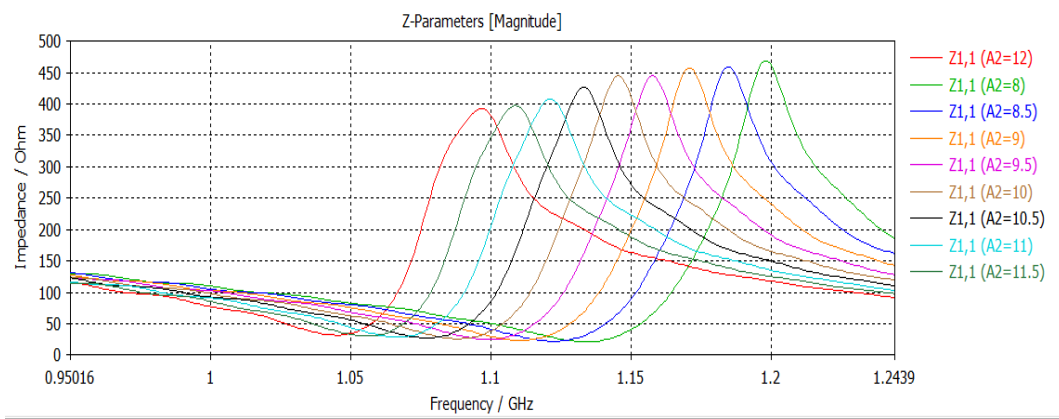


Figure III.26 : Partie réelle de l'impédance d'entrée  $Z$  pour différentes longueurs du deuxième repli de l'antenne Tag RFID.

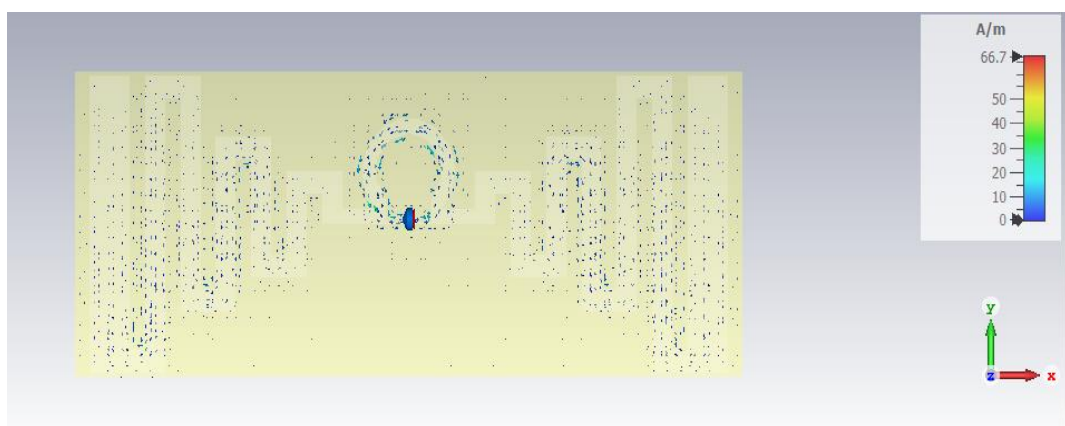
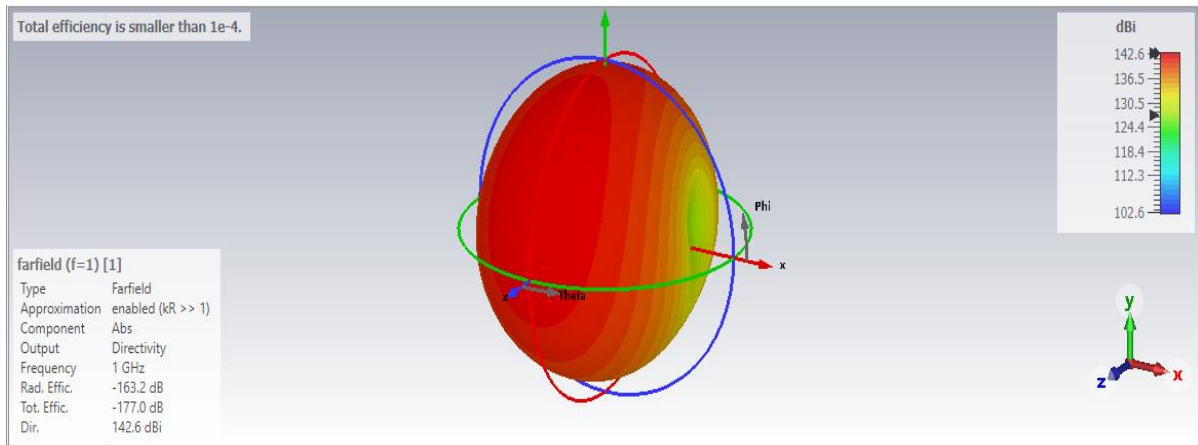


Figure III.27 : Distribution des courants surfaciques pour  $A_2=11.5\text{mm}$  de l'antenne Tag RFID @1.1GHz

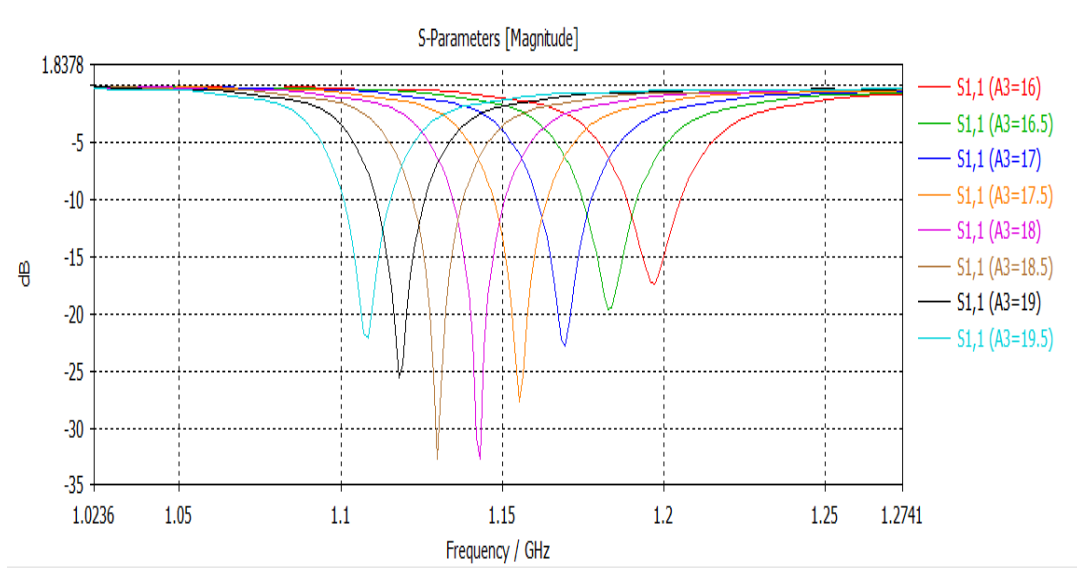


**Figure III.28 :** Diagramme de rayonnement en 3D pour  $A_2=11.5\text{mm}$  @1.1GHz

On note que même cette variation affecte la fréquence de résonance, et l’adaptation de l’antenne. L’augmentation de la longueur de deuxième repli a fait démunie la fréquence de résonance

### 3.Effet de la longueur du troisième repli ( $A_3$ )

Maintenant, on va voir l’effet de la variation dans la longueur du troisième repli ( $A_3$ ). La Figure III.29 montre l’évolution du coefficient de réflexion pour différentes valeurs de  $A_3$  qui allant de 16mm à 19.5mm.



**Figure III.29 :** Evolution du Coefficient  $S_{11}$  pour différentes longueurs  $A_3$  du troisième repli de l’antenne Tag RFID.

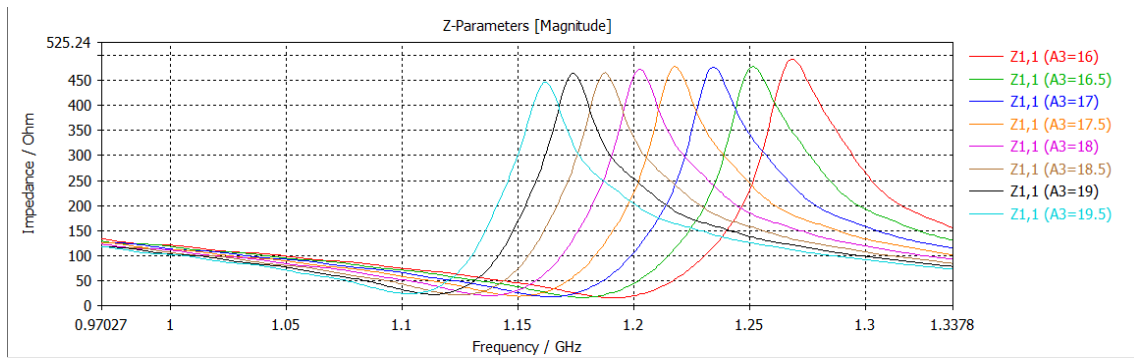


Figure III.30 : Evolution de la partie réelle de l'impédance  $Z_{11}$  pour différentes valeurs de A3 de l'antenne Tag RFID

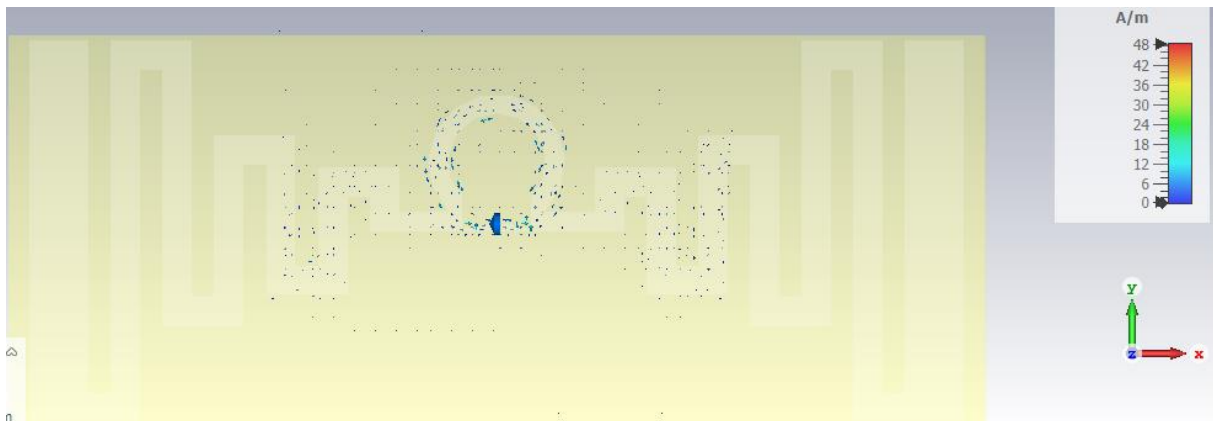


Figure III.31 : Distribution des courants surfaciques sur l'antenne Tag pour A3=19.5mm @1GHz

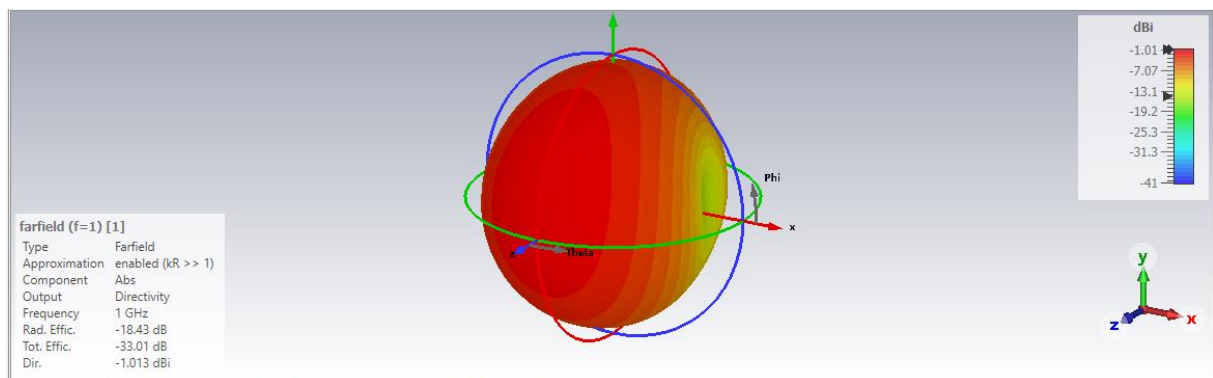


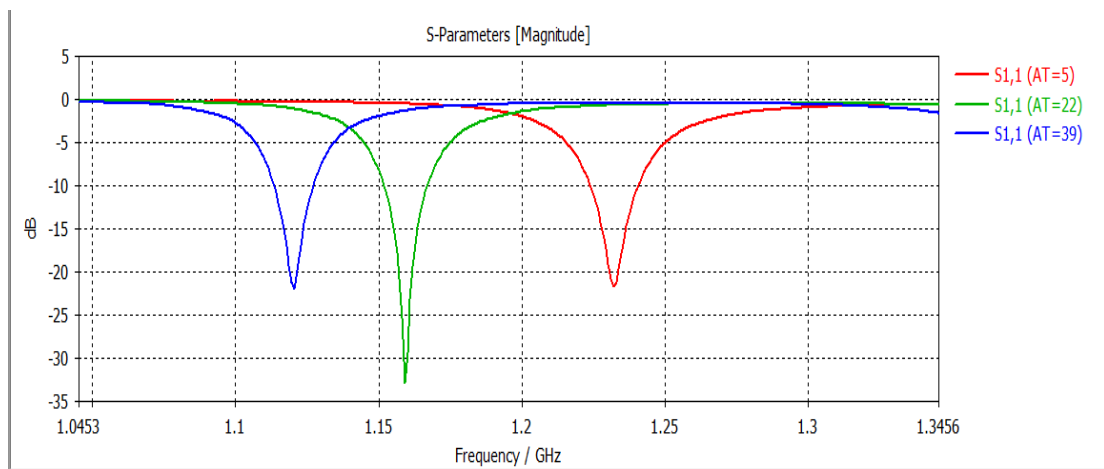
Figure III.32 : Diagramme de rayonnement en 3D pour A3=19.5mm @1GHz

On remarque que ce changement affecte fortement sur l'adaptation mais dans le décalage de la fréquence de résonance, son effet présente une légère variation de fréquence.

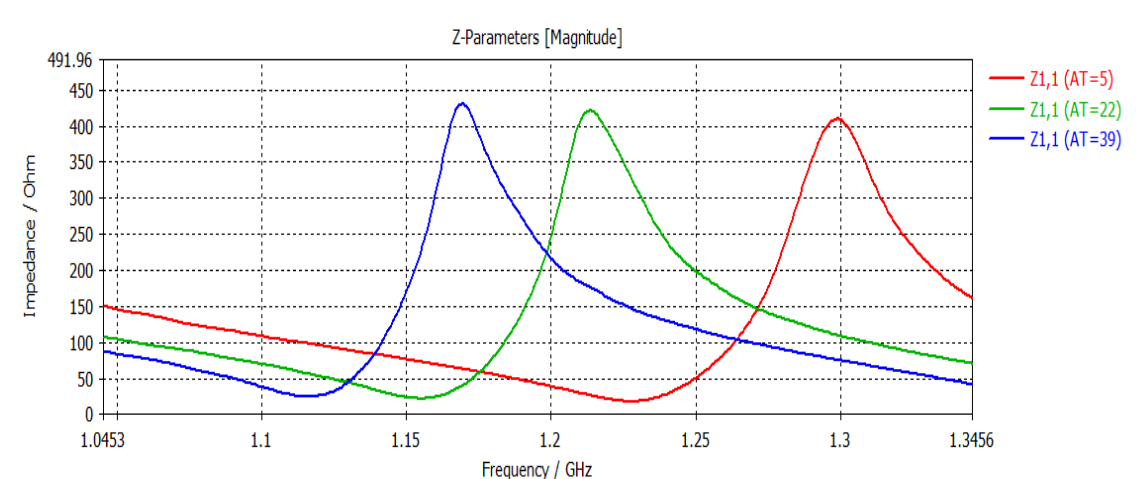
### III.4.6 Effet de variation de dimension de la charge

#### 3. Effet de la longueur de la charge (AT)

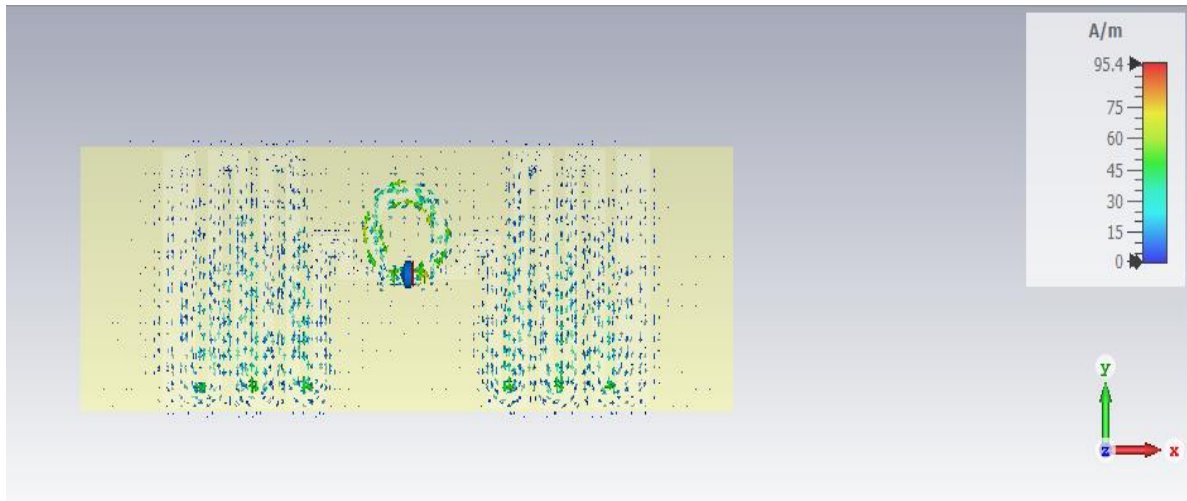
Pour voir l'effet de variation de longueur de la charge sur les caractéristiques de l'antenne Tag RFID, on prend différentes valeurs de  $AT$  (5mm, 22mm et 39mm). L'évolution du coefficient de réflexion est présentée dans la Figure III.33.



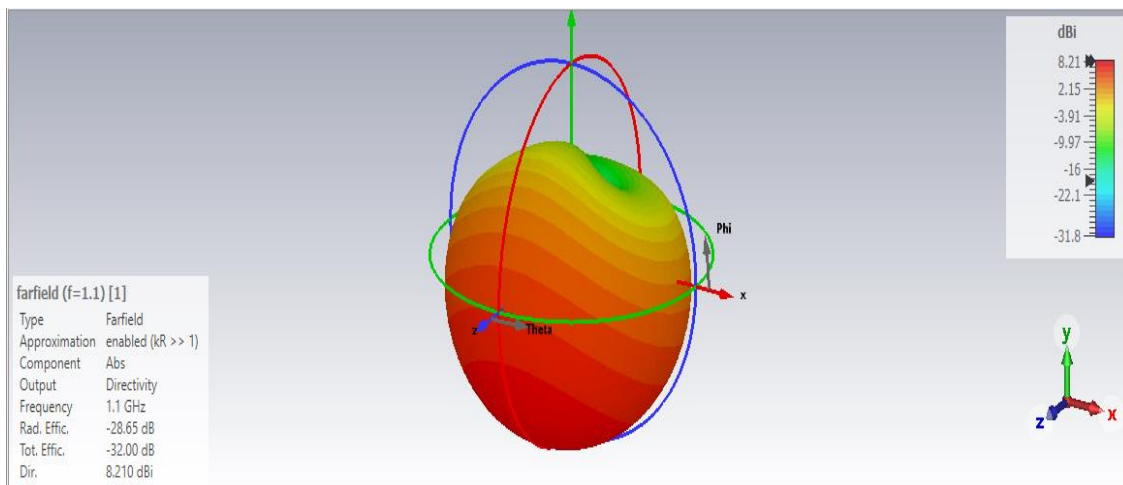
**Figure III.33 :** Coefficient  $S_{11}$  pour différentes longueurs de la charge de l'antenne RFID Tag



**Figure III.34 :** Partie réelle de l'impédance  $Z_{11}$  pour différentes longueurs de la charge de l'antenne Tag RFID



**Figure III.35 :** Distribution des courants surfaciques pour  $AT=39mm$



**Figure III.36 :** Diagramme de rayonnement en 3D pour  $AT=39mm$  @1.1GHz.

On remarque que ce changement a entraîné une très légère augmentation de fréquence.

#### 4. Effet de la largeur de la charge (WT)

Après une étude paramétrique de ce paramètre, on a vu que la variation de ce dernier affecte légèrement sur les différentes caractéristiques (presque les mêmes). Pour cela, on n'a pas reporté les résultats.

### III.5 Conclusion

Dans ce chapitre, on a fait une étude paramétrique de l'antenne Tag RFID en utilisant le simulateur CST studio où on a vu l'effet de quelques paramètres de cette antenne Tag sur leurs caractéristiques en termes de son coefficient de réflexion S11, son impédance d'entrée

$Z_{11}$ , la distribution des courants surfaciques sur le patch de cette antenne Tag, et de même son diagramme de rayonnement pour voir le gain et la directivité de cette antenne. Parmi les paramètres variés durant ce chapitre, on cite les dimensions (largeur et longueur) des méandres, la distance entre ces méandres et des autres. Dans le chapitre suivant, on va voir une optimisation de l'antenne afin de viser la fréquence opérationnelle à la fréquence 915MHZ qui tombe dans la bande UHF.



*Chapitre IV*  
*Conception d'une antenne*  
*Tag RFID*  
*Pour les applications UHF*

## IV.1 Introduction

Après une étude paramétrique d'une antenne Tag RFID dans le troisième chapitre, où on a une idée générale sur l'effet des différents paramètres physiques sur le fonctionnement de l'antenne conçue, et spécialement sur la fréquence opérationnelle ( $S_{11}$ ).

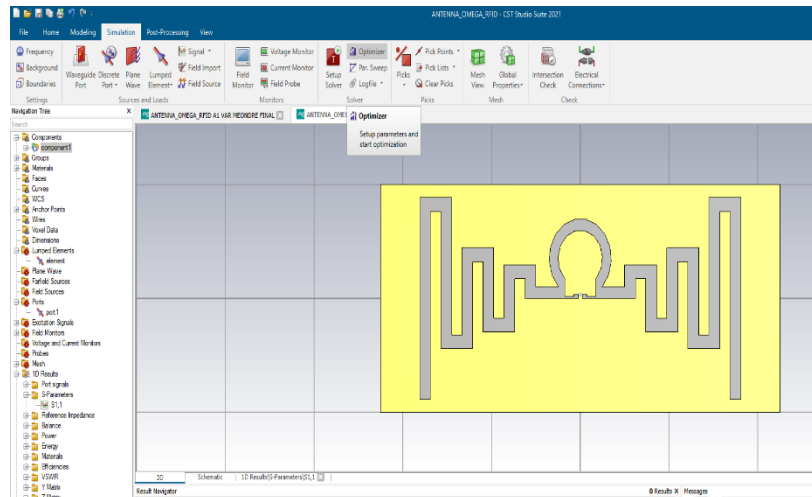
Dans ce dernier chapitre, On va voir l'optimisation d'une antenne Tag RFID pour les applications UHF. Cette tâche d'optimisation joue un rôle important dans l'aboutissement d'une antenne adaptée à la puce utilisée (chip) qui sera fonctionnée dans une fréquence bien précise.

## IV.2 Outil de simulation

Il existe un grand nombre des simulateurs électromagnétiques qui sont dédiés à la conception de divers circuits microondes passifs et actifs, tels que les antennes RFID dans notre cas, les filtres RF, et d'autres circuits. Parmi ces simulateurs, il existe des simulateurs ouverts et des autres commerciaux, où on peut mentionner ici le CST studio, ADS Momentum, le paraview, et le Ansoft HFSS. Dans ce mémoire, nous allons concevoir une antenne Tag RFID en utilisant le simulateur commercial CST studio 2021. Notre objectif est d'obtenir une antenne Tag passif qui fonctionne sur une fréquence UHF (915 MHz). Pour aboutir à cet objectif, on va optimiser les paramètres de l'antenne conçue.

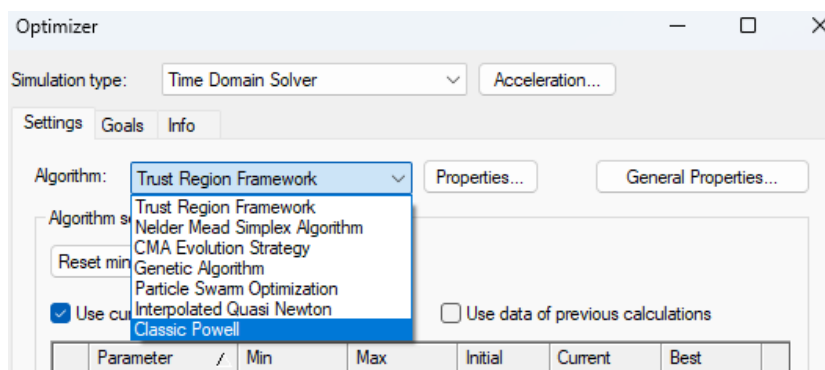
## IV.3 Optimisation par le CST studio

Comme indiqué précédemment, le choix du CST studio était motivé par la robustesse de cet outil dans la conception des circuits micro-ondes (antenne RFID) en 3D, contrairement à d'autres outils tels que le ADS Momentum qui présente quelques limitations dans la conception des modifications sur le plan de masse et le substrat. Le simulateur CST offre une solution spécialisée (onglet spéciale pour la conception de la technologie RFID) pour simuler et concevoir des composantes haute fréquence en utilisant des outils électromagnétiques en trois dimensions (3D). Il est très utilisé dans les secteurs de recherche scientifique et l'industrie. Le simulateur CST studio a la possibilité de faire l'optimisation de différents paramètres d'une antenne RFID grâce à un processus d'optimisation (*Optimizer*). La Figure IV.1 illustre l'option optimisation (*optimizer*) qui existe dans l'interface de ce simulateur.



**Figure IV.1 :** Optimisation sous le simulateur CST studio.

Avant de lancer le processus de l'optimisation sous CST, on doit choisir l'algorithme adéquat pour faire l'optimisation. Le CST offre plusieurs algorithmes tels que Trust Region Farmwork, Nelder Mead Simplex Algorithm, CMA Evaluation Strategy, Genetic Algorithm (GA), Interpolated quasi newton et particale swam optimization. Dans notre cas, on a choisi la méthode GA pour sa robustesse et sa performance de convergence globale.



**Figure IV.2 :** Choix de l'algorithme d'Optimisation sous le simulateur CST studio.

### IV.3.1 Aperçu sur la méthode d'optimisation

L'optimisation est le processus qui consiste à minimiser ou à maximiser une fonction objective ou fonction de cout. Cette fonction doit avoir un lien mathématique avec les différents individus, qui sont existés dans la population, afin de les évalués. Dans le cas d'une antenne Tag RFID, l'optimisation consiste à approximer d'une manière précise un de ces paramètres tel que la fréquence de résonance, l'impédance d'entrée ou le coefficient de réflexion  $S_{11}$ . Parmi ces méthodes d'optimisation, on peut citer les méthodes stochastiques telles que les algorithmes génétiques, l'essaim particulier (PSO) et des autres analytiques telles que la méthode de Newton [23].

### IV.3.2 Algorithme génétique

Les algorithmes génétiques (GA) sont inspirés du concept de sélection naturelle élaboré par Charles Darwin. Son principe est de simuler l'évolution d'une population d'individus, à laquelle on applique ; itérativement, différents opérateurs génétiques (sélection, croisement et mutation). Si la sélection s'opère à partir d'une fonction d'adaptation, alors la population tend à s'améliorer.

Les algorithmes génétiques (GA) présente de nombreux avantages par rapport aux méthodes d'optimisation classique [22].

- Elle optimise les variables réelles et binaires.
- Elle ne nécessite pas le calcul des dérivées d'une fonction de cout (semi aléatoire).
- Capable d'obtenir un minimum global sans rester piégée dans un minimum local.
- Elle peut aboutir à une liste de solutions.

L'inconvénient majeur réside dans le temps de convergence qui est très lent.

### IV.4 Modélisation de la puce sous CST

L'antenne Tag RFID est conçue, sous le simulateur CST, d'une manière similaire pour les autres antennes imprimées. Pour assurer un bon fonctionnement de cette Tag, on doit avoir une bonne adaptation entre la puce (chip) et l'antenne passif. Dans notre travail, on va utiliser la puce Monza 3 avec une impédance  $Z_{\text{chip}}=32-j216 \Omega @915\text{MHz}$ .

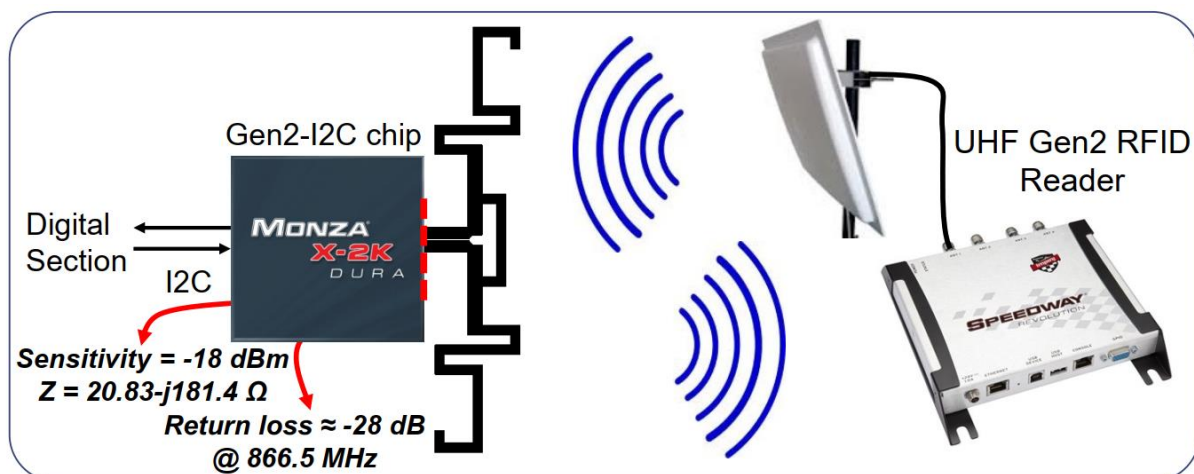


Figure IV.3 : Système RFID en utilisant puce de type Monza 2 [24].

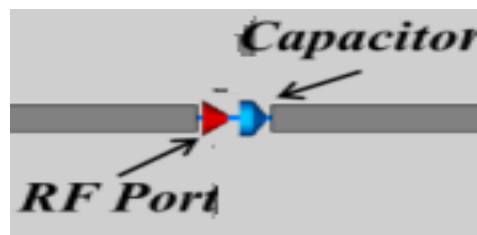
L'antenne conçue doit avoir des impédances recommandées (correspondante à chaque fréquence) afin de l'adapter à la puce Monza 3 sur les fréquences centrales des principales

régions de fonctionnement (Amérique du Nord, Europe et Japon). Le Tableau suivant délivre l'impédance recommandée suivant la fréquence adoptée dans chaque région.

**Tableau IV.1 : Configuration d'impédance pour la puce Monza 3.**

Configuration		Single-ended
Impédance « Tag silicium Intrinsic »		1529Ω // 775fF
Impédance d'antenne recommandée	866 MHz	32+j228Ω
	915 MHz	32+j216Ω
	956 MHz	32+j207Ω

Dans le simulateur CST, on va utiliser la résistance de la puce comme une résistance de port (résistance d'entrée) de l'antenne, alors que la partie imaginaire sera modélisée par une capacité « *lumped element* » (voir la figure suivante).



**Figure IV.4 : Modélisation de la puce dans le simulateur CST.**

## VI.5 Conception d'une antenne Tag RFID

Après une étude paramétrique approfondie dans le chapitre précédent, on doit utiliser le processus d'optimisation afin de faire un ajustement de quelques paramètres qui affectent sur la fréquence de fonctionnement, l'adaptation de l'antenne et de même sur le gain réalisé. Cette antenne Tag RFID sera fonctionnée à la fréquence 915 MHz.

Avant de lancer l'optimisation en utilisant le simulateur CST Microwave studio, on doit faire les étapes suivantes :

- ❖ *Choix des paramètres à optimiser* : en cliquant sur l'icône *Optimizer* dans le menu de simulation, puis on va cocher (choisir) les paramètres à optimiser.

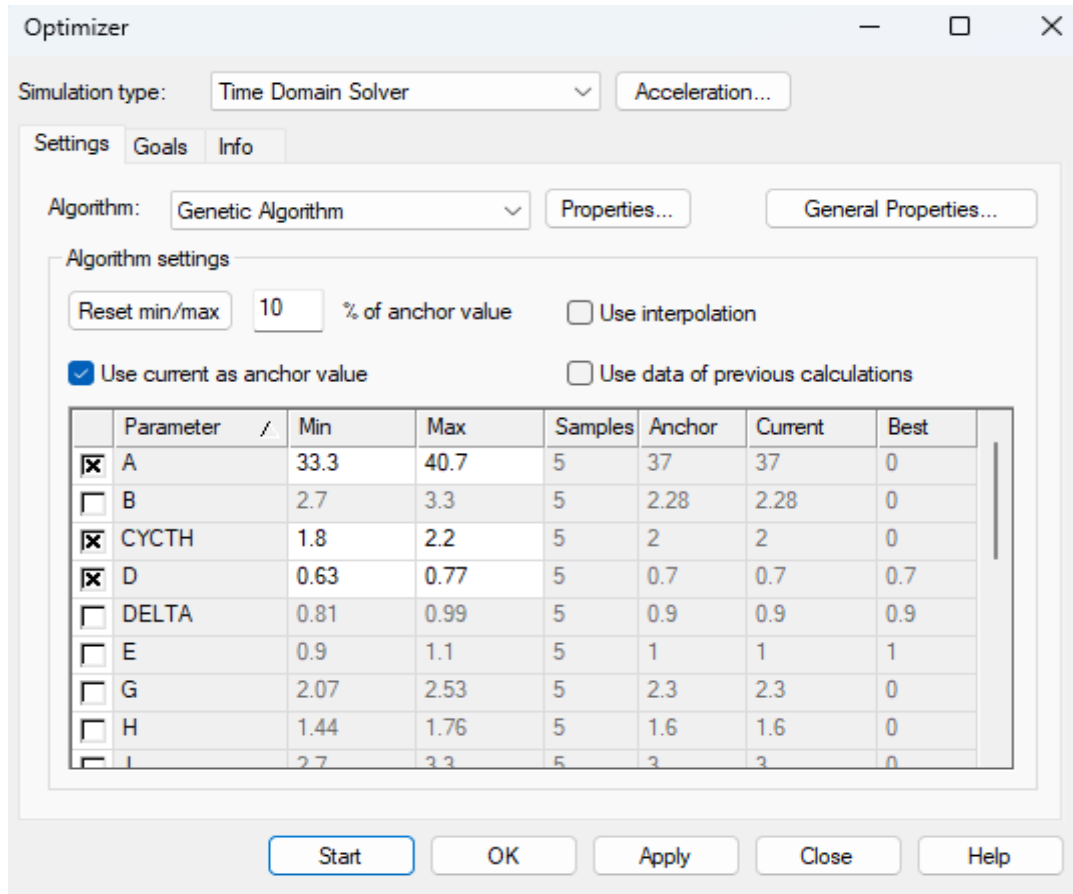


Figure VI.5 : Choix des paramètres à optimiser

- ❖ *Identification de l'objectif*: on va définir l'objectif (le goal). Dans notre cas, Le coefficient de réflexion  $S_{11}$  doit être inférieur à -10 dB autour de la fréquence désirée (915MHz)

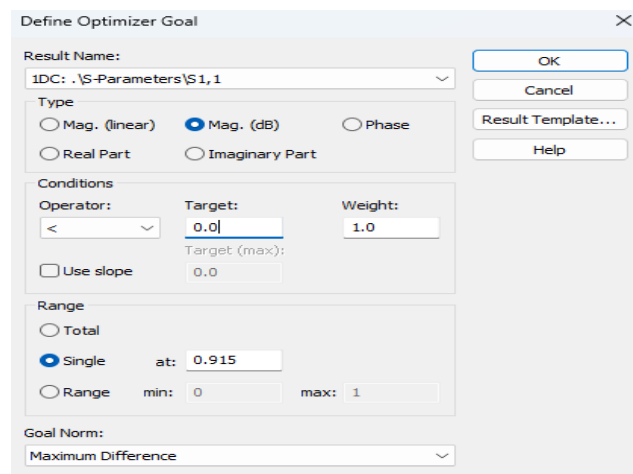
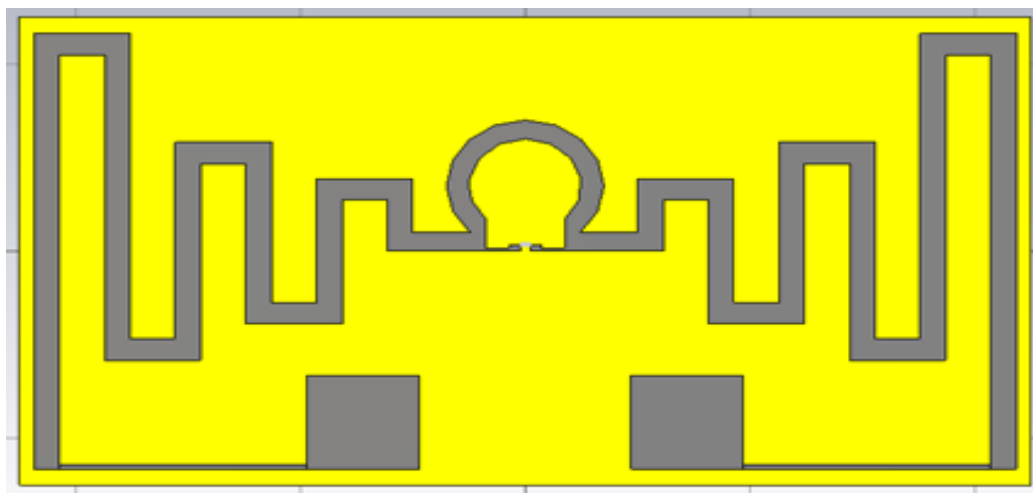


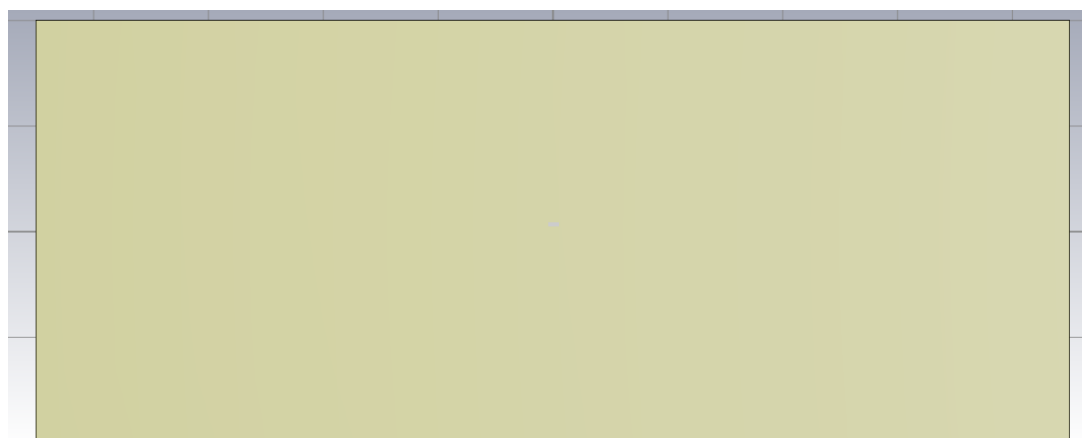
Figure VI.6 : Identification de l'objectif d'optimisation (Goal)

#### IV. 5.1 Géométrie de l'antenne proposée

Après une optimisation lourde et fastidieuse, La structure finale de l'antenne Tag RFID conçue est montrée dans la figure suivante



(a)



(b)

**Figure VI.7:** Géométrie de l'antenne Tag RFID Finale : Vue au-dessus en (a) et Vue au-dessous en (b)

Après l'optimisation, les dimensions optimales des différents paramètres sont obtenues. On va délivrer quelques paramètres avec ses valeurs optimales dans le tableau suivant :

Tableau IV. 2 : Dimensions de l'antenne Tag RFID proposée

Paramètre	Description	Valeur en mm
T	Epaisseur du cuivre	0.035
W26	-	0.5
D	-	0.7
DELTA	-	0.9
E	-	1
H	Epaisseur du sbstrat	1.6
LRECT	-	2
CYCTH	-	2
B	Largeur des méandres	2.28
J	-	3
G	Gap entre les méandres	4
LRECT0	-	4
R	Rayon du cylindre (boucle)	7
O	-	7
WRET0	-	7
W27	-	10
L27	-	10
WRECT	-	20
L26	-	22
A	Longueur du dernier méandre	46.25
WGND	Largeur de la masse	50
LGND	Longueur de la masse	90
Wsub	Largeur du substrat	50
Lsub	Longueur du substrat	90

### IV.5.2 Résultats de simulation

Après la simulation, l'antenne Tag RFID proposée présente une fréquence de résonance de 915 MHz avec une adaptation près de -17 dB comme illustré dans la figure suivante.

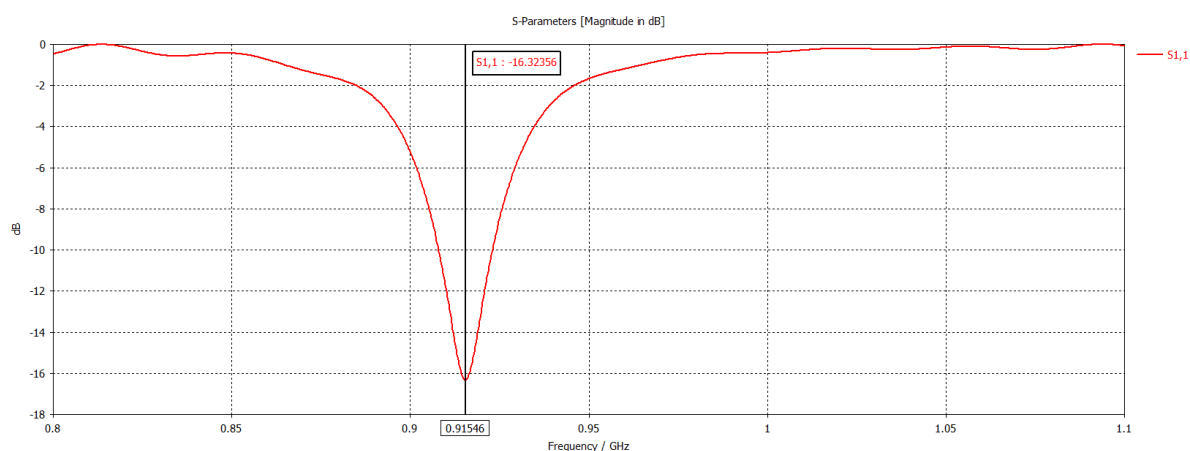
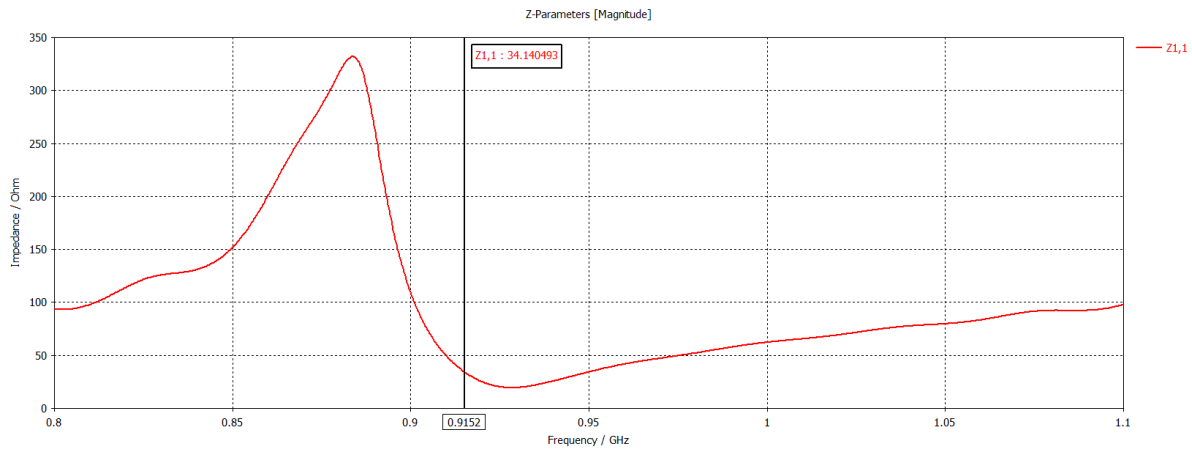


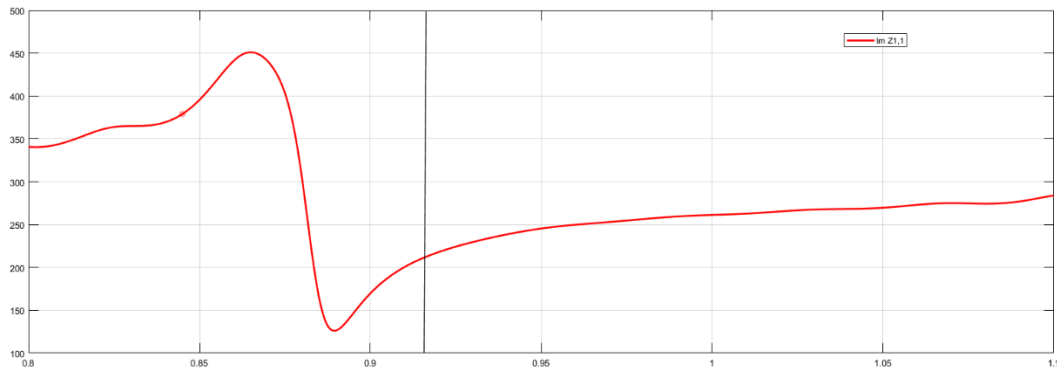
Figure IV.9 : Coefficient  $S_{11}$  pour l'antenne Tag RFID conçue

La bande passante d'une antenne est la bande de fréquence pour laquelle les performances radioélectriques de cette antenne restent conformes à une norme imposée. A partir de l'évolution de coefficient  $S_{11}$ , on déduit que la bande passante est près de 20 MHz.

Dans les antennes Tag RFID, un autre paramètre important présenté dans l'évolution de l'impédance d'entrée de l'antenne conçue ( $Z_{ant}$ ) doit être la valeur conjuguée de celle de la puce. Dans notre cas, on a  $Z_{puce}=32-j216\Omega$  (voir la partie précédente).



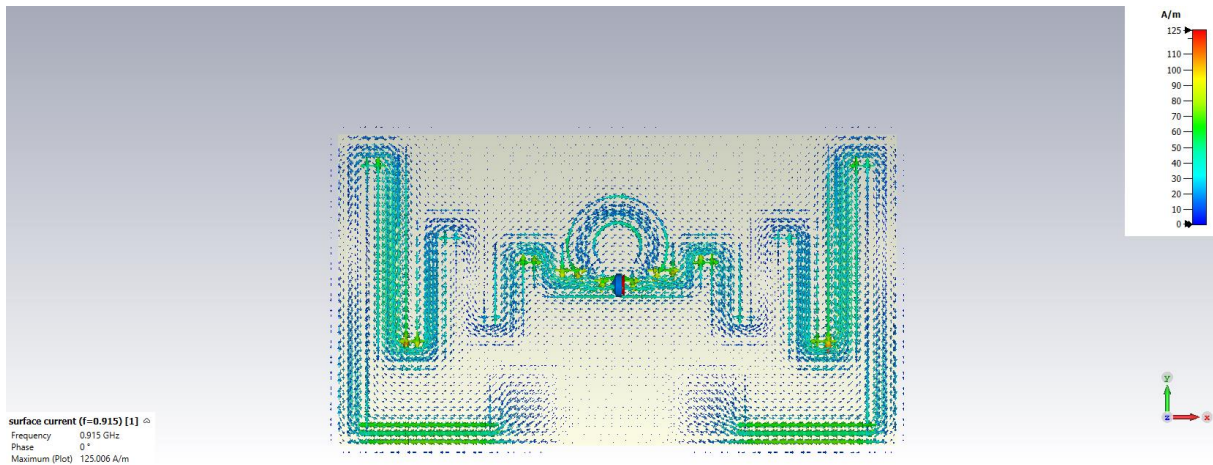
**Figure IV.10 :** Evolutions de la partie réelle de l'impédance  $Z_{11}$  de l'antenne proposée.



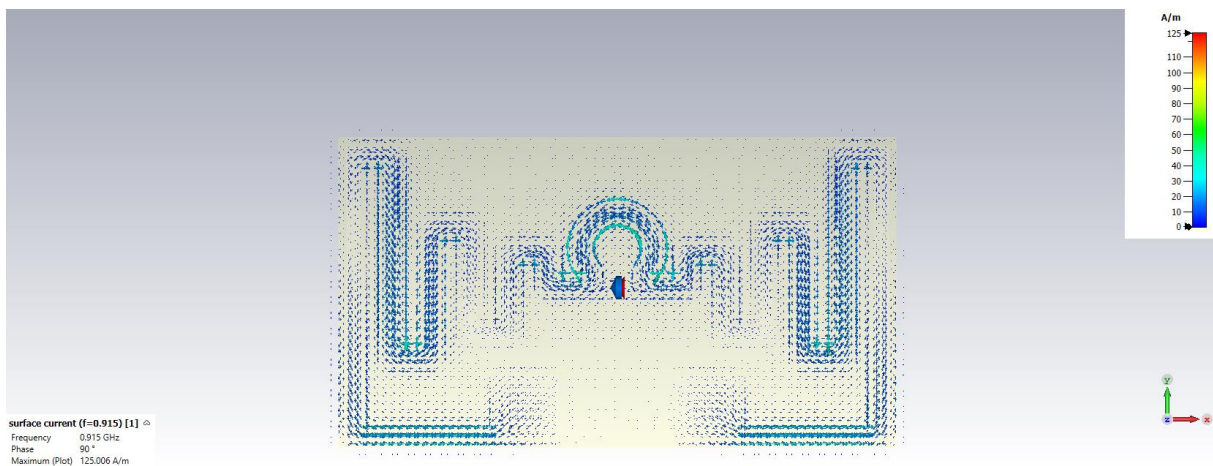
**Figure IV.10 :** Evolutions de la partie imaginaire de l'impédance  $Z_{11}$  de l'antenne proposée.

On voit que l'antenne à la fréquence 915 MHz présente une résistance  $R_{ant}=34\Omega$  (voir Figure IV.9) et une réactance  $X_{ant}=209\Omega$  (partie imaginaire). Enfin, l'antenne présente une impédance  $Z_{ant}=34+j209\Omega$  ce qui forme une impédance inductive et presque égale au conjugué de  $Z_{puce}= 32-j216\Omega$  @915MHz.

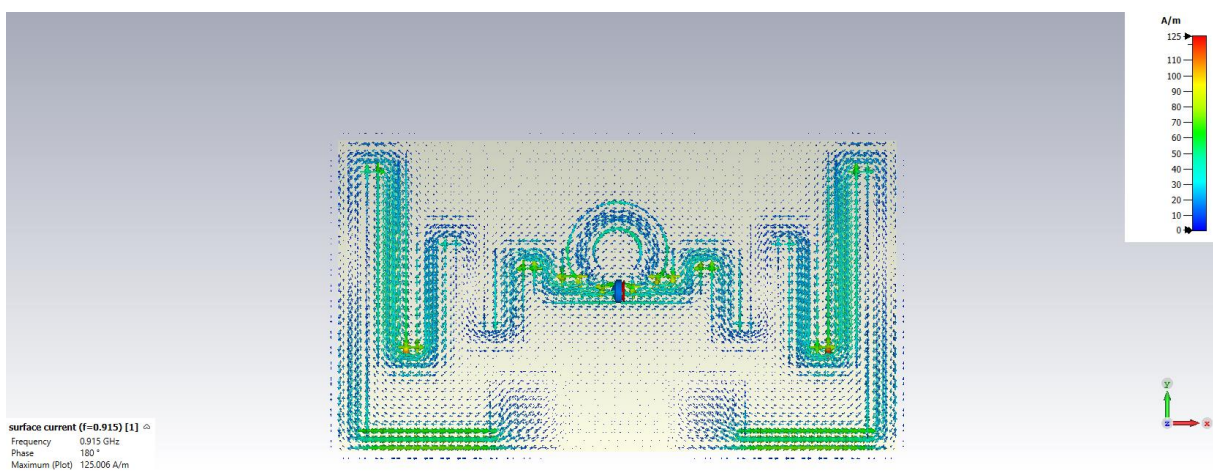
Courant surfacique



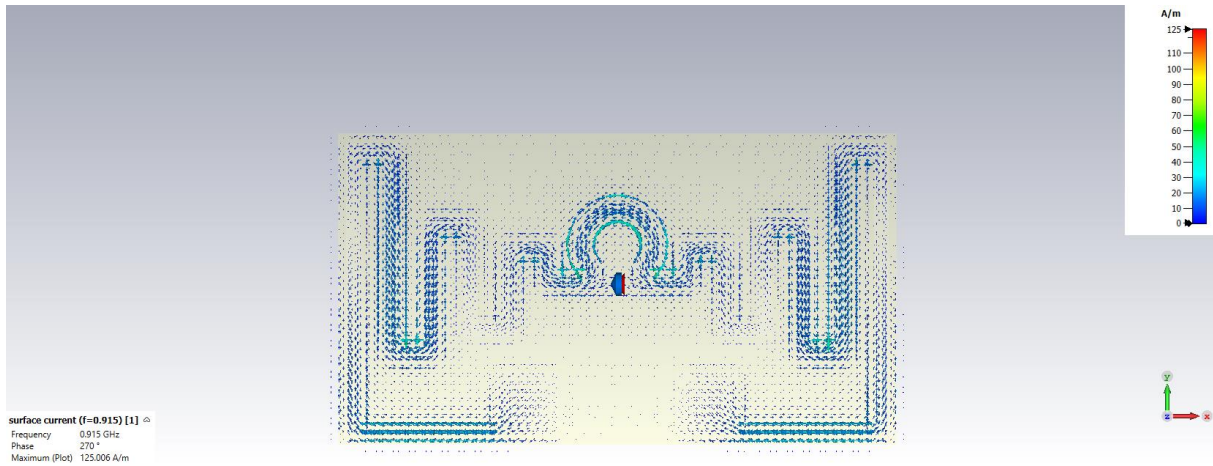
(a) :  $\Phi=0^\circ$



(b) :  $\Phi=90^\circ$



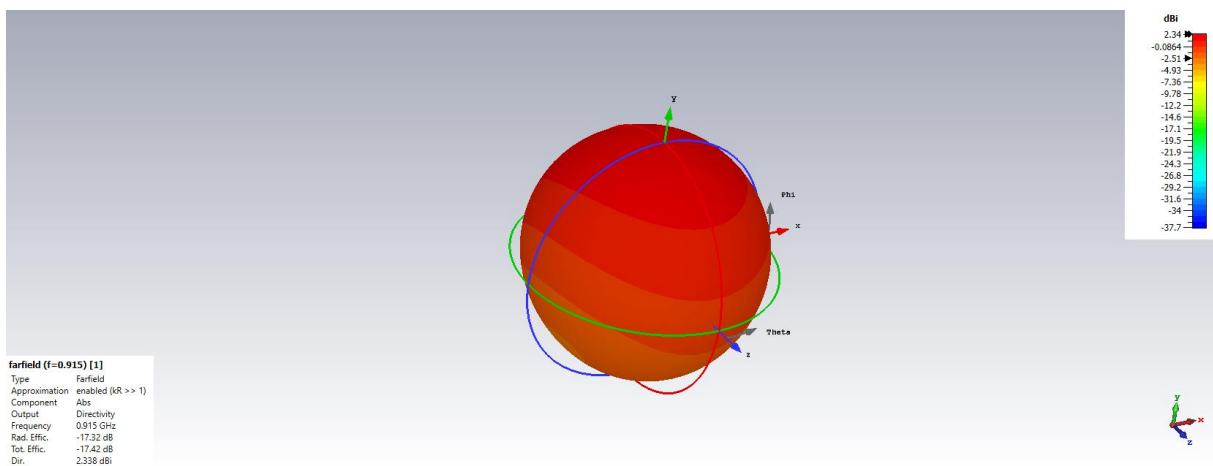
(c) :  $\Phi=180^\circ$



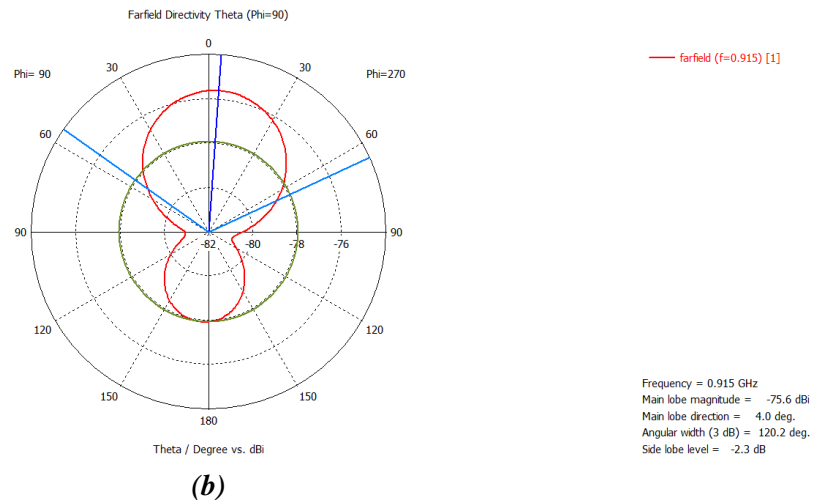
(d) :  $\Phi=270^\circ$

**Figure IV.11** : Distribution des courants surfaciques sur l'antenne proposée à la fréquence 915MHZ pour différentes valeurs de phase :  $\Phi=0^\circ$  en (a),  $\Phi=90^\circ$  en (b),  $\Phi=180^\circ$  en (c) et  $\Phi=270^\circ$  en (d).

On remarque que la distribution du courant surfacique donne plusieurs informations sur l'antenne conçue. Parmi ces informations, on peut citer la distribution du champs électrique et magnétique, ce qui affecte fortement sur les performances de l'antenne en termes de diagramme de rayonnement, le gain, et la fréquence de résonance.



(a)




**Figure IV.12 :** Diagramme de rayonnement de l'antenne présentée dans Figure IV.7 à la fréquence 0.915 MHz, 3D en (a) et en 1D en (b)

A la fréquence 915MHz, on présente le diagramme de rayonnement du champ lointain en 3D en Figure IV.12 (a) et en 1D en (b). Le gain réalisé total maximums est de l'ordre 2.34 dBi @915MHz.

## IV.6 Conclusion

Dans ce chapitre, on a fait la conception d'une antenne Tag RFID qui fonctionne à la fréquence 915MHz. Cette fréquence est dédiée aux applications UHF. La structure finale de l'antenne proposée est atteinte après une étude paramétrique approfondie et une optimisation lourde et fastidieuse qui nous permet d'ajuster quelques paramètres afin d'aboutir à notre guise. Plusieurs résultats sont illustrés en termes de coefficient de réflexion, l'impédance d'entrée  $Z_{11}$ , la distribution des courants surfaciques et le diagramme de rayonnement.



*Conclusion*  
*Générale*

### Conclusion générale

Dans ce travail, nous avons conçu une antenne Tag RFID en utilisant le simulateur CST studio. L'antenne passive conçue est dédiée pour les applications UHF. Pour ce faire, on a établi une étude paramétrique d'une antenne Tag qui fonctionne à la fréquence 915MHz. L'antenne Tag est appareillée par une puce de type Monza 3 avec une impédance  $Z_{\text{puce}}=32-j216\Omega$  @915MHz. Cette puce est modélisée, sous CST studio, par une résistance et une capacité (*lumped element*).

L'objectif de notre travail était la conception d'une antenne passive RFID avec une impédance inductive qui présente une grande adaptation avec la puce Monza 3. Cette adaptation présentée dans un coefficient de réflexion  $S_{11} < -10\text{dB}$  à la fréquence 915MHz.

Dans le premier chapitre, on a présenté les différentes notions de bases liées aux systèmes RFID. De même, on a présenté le principe de fonctionnement d'un système RFID, ses domaines d'applications ainsi que ses avantages et inconvénients. A la fin du chapitre nous avons étudié l'état de l'art sur les antennes tag RFID.

Le deuxième chapitre est consacré à une étude analytique d'une antenne RFID. De même, on a présenté les différentes notions de base liées à la performance d'une antenne RFID. Parmi ces caractéristiques de performance, on peut citer la sensibilité, la portée de lecture et l'adaptation d'impédance.

Dans le troisième chapitre, on a présenté une étude paramétrique sur plusieurs paramètres d'antenne tel que la création des méandres sur le dipôle ce qui réduit fortement la taille physique de l'antenne, les dimensions du méandres (longueur et largeur) et ...etc.

Dans la partie d'optimisation avec l'un des algorithmes intégrés dans le simulateur CST, on a présenté plusieurs étapes importantes du processus d'optimisation sous le CST : identification des paramètres à varier, la gamme de variation, méthode d'optimisation choisie et les objectifs d'avoir une antenne RFID conçue et qui fonctionne à la fréquence 915MHz pour les applications UHF.

Comme perspectives pour les travaux au futur, nous avons proposé de concevoir une antenne RFID sans puce (*chipless*) ce qui permet de gagner la puce elle-même. De même, la

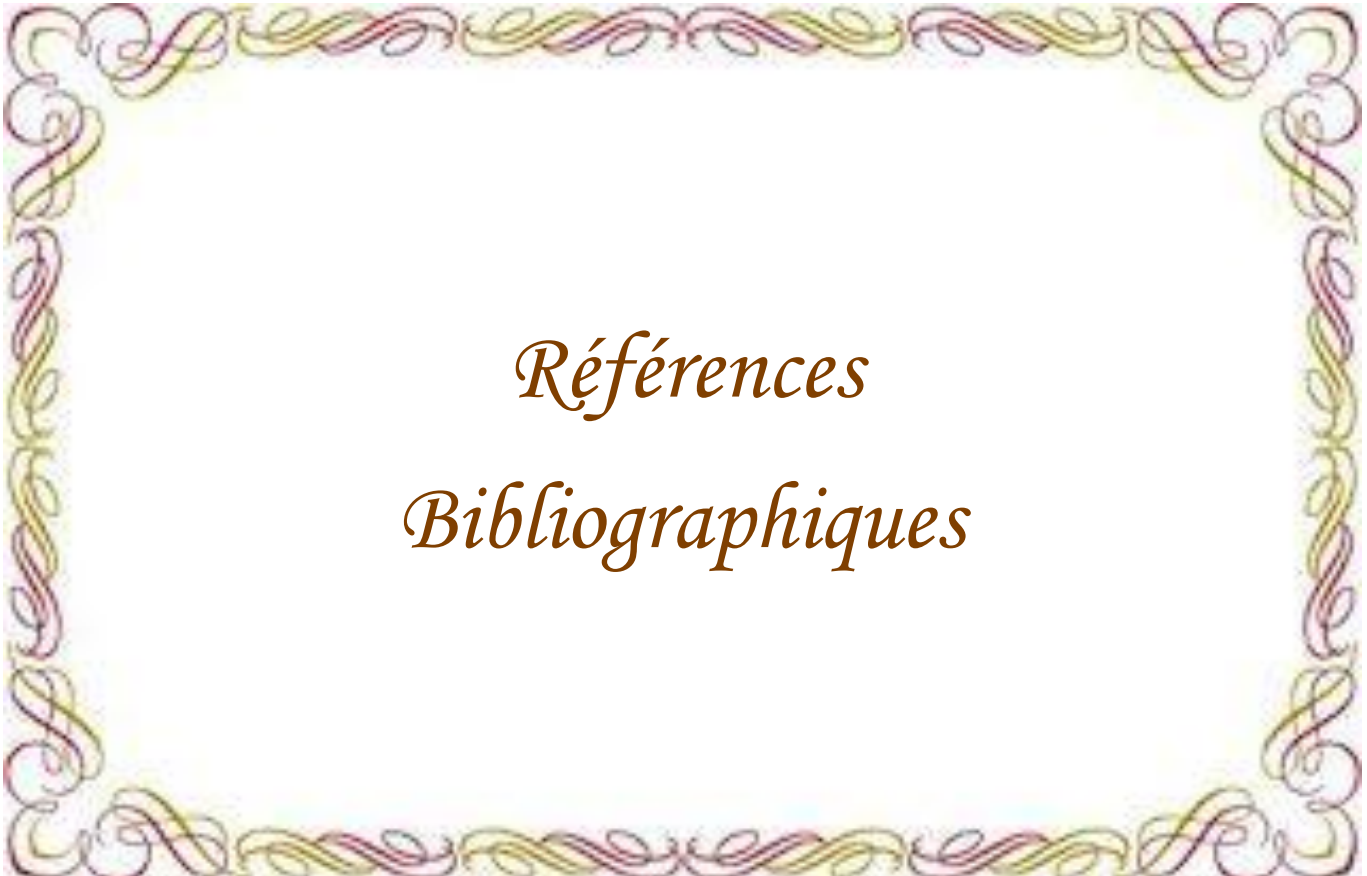
## *Conclusion générale*

---

réalisation de l'antenne conçue ce qui permet de faire un système RFID complet (Reader+ Tag) où on peut faire des autres mesures telle que la mesure de la distance de lecture et la sensibilité.

De même, on a la possibilité de concevoir une autre forme de l'antenne RFID en utilisant des autres techniques pour améliorer les performances de l'antenne conçue et de même pour faire la miniature de cette antenne.

Ces points et des autres peut englober un axe de recherche au futur.



*Références*  
*Bibliographiques*

*Références bibliographiques*

- [1] A. Soares Boaventura and N. B. Carvalho, “Radio Frequency Identification Engineering, How to Engineer an RFID Reader” Cambridge University Press, Edition 2024.
- [2] D. Parret, “Identification radiofréquence et cartes à puce sans contact”, deuxième édition. Dunod Electronique, 2001.
- [3] V. Chawla and D. Ha, “An overview of passive RFID,” IEEE Communications Magazine, vol. 45, no. 9, pp. 11–17, Sep. 2007, doi: 10.1109/mcom.2007.4342873.
- [4] J. Demčák, K. Židek, and T. Krenický, “Digital Twin for Monitoring the Experimental Assembly Process Using RFID Technology,” Processes, vol. 12, no. 7, p. 1512, Jul. 2024, doi: 10.3390/pr12071512.
- [5] <https://www.impinj.com/about-us/news-room/2008/impinj-introduces-monza-3-rfid-tag-chips-with-industry-leading-performance>, Date de visite : Juin 2025.
- [6] [https://www.nxp.com/products/SL3S1203\\_1213](https://www.nxp.com/products/SL3S1203_1213), Date de visite : Juin 2025
- [7] D. M. Dobkin, “UHF RFID Tags,” The RF in RFID, pp. 189–237, 2013, doi: 10.1016/b978-0-12-394583-9.00005-3.
- [8] R. Abdulghafor et al., “Recent Advances in Passive UHF-RFID Tag Antenna Design for Improved Read Range in Product Packaging Applications: A Comprehensive Review,” IEEE Access, vol. 9, pp. 63611–63635, 2021, doi: 10.1109/access.2021.3074339.
- [9] T. M. Brown-Brandl et al., “A review of passive radio frequency identification systems for animal monitoring in livestock facilities,” Appl. Eng. Agric., vol. 35, no. 4, pp. 579–591, 2019.
- [10] B. Fennani, H. Hamam, and A. O. Dahmane, “RFID overview,” ICM 2011 Proceeding, pp. 1–5, Dec. 2011, doi: 10.1109/icm.2011.6177411.
- [11] <https://www.myrfidsolution.com/comment-fonctionne-un-systeme-rfid>. Date de visite: Juin 2025.
- [12] C. Bajaj, S. Kumar, D. Kumar Upadhyay, B. Kumar Kanaujia, D. Gupta, and T. Ali, “Modern RFID Reader Antennas: A Review of the Design, State-of-the-Art, and Research Challenges,” IEEE Access, vol. 13, pp. 16427–16443, 2025, doi: 10.1109/access.2024.3524387.
- [13] Sudhir Bhaskar “Some Investigations on UHF RFID antenna” PHD thesis, Banaras Hindu University, 2019.
- [14] <https://www.asiarfid.com/what-is-rfid-tag.html> Date de visite: juin 2025.

## *Référence bibliographique*

- [15] H. Sun, B. Tao, and O. M. Ramahi, “Proximity Coupled Cavity Backed Patch Antenna for Long Range UHF RFID Tag,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 64, no. 12, pp. 5446–5449, Dec. 2016, doi: 10.1109/tap.2016.2606881.
- [16] S. Bhaskar and A. K. Singh, “A COMPACT MEANDER LINE UHF RFID ANTENNA FOR PASSIVE TAG APPLICATIONS,” *Progress In Electromagnetics Research M*, vol. 99, pp. 57–67, 2021, doi: 10.2528/pierm20082103.
- [17] Z. Wang, et al. “Single-Fed Broadband Circularly Polarized Stacked Patch Antenna with Horizontally Meandered Strip for Universal UHF RFID Applications,” *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 59, no. 4, pp. 1066–1073, Apr. 2011.
- [18] Xiao-Dong Wei, Bin-Jie Hu, and Hong-Lin Zhang, “Novel UHF Near-Field RFID Reader Antenna Based on Double-Sided Parallel-Strip Line,” *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 13, pp. 419–422, 2014, doi: 10.1109/lawp.2014.2308252.
- [19] T. G. Tang, Q. M. Tieng, and M. W. Gunn, “Equivalent circuit of a dipole antenna using frequency-independent lumped elements,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 41, no. 1, pp. 100–103, 1993, doi: 10.1109/8.210122.
- [20] D. M. Dobkin, “Tag Antennas,” *The RF in RFID*, pp. 299–359, 2013, doi: 10.1016/b978-0-12-394583-9.00007-7.
- [21] S. Preradovic, Ed., “Advanced Radio Frequency Identification Design and Applications,” Ed. 2011, doi: 10.5772/617.
- [22] Website: [https://orangetags.com/wp-content/downloads/datasheet/Impinj/Monza\\_3\\_Dura\\_Product\\_Brief.pdf](https://orangetags.com/wp-content/downloads/datasheet/Impinj/Monza_3_Dura_Product_Brief.pdf). Date de visite : Juin 2025.
- [23] E. H. Kenane and F. Djahli, “Optimum design of non-uniform symmetrical linear antenna arrays using a novel modified invasive weeds optimization,” *Archives of Electrical Engineering*, vol. 65, no. 1, pp. 5–18, Mar. 2016, doi: 10.1515/ae-2016-0001.
- [24] L. Catarinucci, R. Colella, and L. Tarricone, “Prototyping flexible UHF RFID tags through rapid and effective unconventional techniques: Validation on label-type sensor-tag,” *2012 IEEE International Conference on RFID-Technologies and Applications (RFID-TA)*, pp. 176–181, Nov. 2012, doi: 10.1109/rfid-ta.2012.6404506.

## Abstract

UHF RFID (Ultra High Frequency, 860-960 MHz) antennas are the most essential components of medium- and long-distance RFID systems. These antennas work by electromagnetic coupling, enabling them to read from several meters away without contact.

Their design is typically based on dipole antennas or printed dipole antennas, optimized for the embedded chip for smooth data transmission. These antennas are widely used in logistics, inventory management and industry due to their high speed and ability to read multiple tags simultaneously.

In this work, an RFID antenna has been designed using full-wave 3D simulation software, where we modeled a Monza 3 embedded chip using lumped elements. To reach the final model of our proposed Tag RFID antenna, many design techniques such as meanders, omega loop, and tapered meanders are used in the design the antenna. The obtained results are very acceptable, which is confirmed by several parameters such as the reflection coefficient  $S_{11}$ , impedance  $Z_{11}$  vs frequency, and the antenna pattern.

**Key words:** RFID technology- Monza 3, RFID antenna- antenna design- UHF applications

## ملخص

تعتبر هوائيات UHF RFID (التردد فائق العالي، 860-960 ميغاهيرتز) أبرز المكونات الأساسية في أنظمة التعريف بالترددات الراديوية للاتصال اللاسلكي على المسافات المتوسطة والطويلة. تعمل هذه الهوائيات عن طريق الاقتران الكهرومغناطيسي، مما يمكنها من القراءة من على بعد عدة أمتار من دون تلامس.

يعتمد تصميمها عادةً على هوائيات ثنائيات القطب (antennes dipôles) أو الهوائيات المطبوعة (antennes imprimées)، مع تحسين مواعمتها للشريحة المدمجة من أجل نقل سلس للبيانات. تُستخدم هذه الهوائيات على نطاق واسع في مجالات الخدمات اللوجستية وإدارة المخزونات وقطاع الصناعة نظراً لسرعتها الفائقة وقدرتها على قراءة عدة بطاقات (tags) في وقت واحد.

في هذا العمل المقدم، قمنا بتصميم هوائي من نوع ارفيد باستخدام برنامج محاكاة ثلاثي الأبعاد كامل الموجة أين قمنا بنمذجة شريحة مدمجة من نوع مونزا 3. للوصول للنموذج النهائي للهوائي، عدة تقنيات أُستعملت في التصميم على شاكلة اللغات، حلقة على شكل حرف أوميغا، وكذا التناقص المخروطي للغات. النتائج المحصل عليها كانت مرضية و مقبولة حيث تم التأكد منها عن طريق عدة معاملات من بينها معامل الإنعكاس  $S_{11}$  ، الممانعة بدلالة الذبذبات، والمخطط الإشعاعي.

**الكلمات المفتاحية:** تكنولوجيا RFID- مونزا 3، هوائي RFID- تصميم الهوائي- تطبيقات التردد فوق العالي