

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLICUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد- تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd- Tlemcen –
Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : (Télécommunications)

Spécialiste :(Système de Télécommunications)

Par : HAMLIL Walid et OMARA Tayeb

Sujet

Etude et Conception d'antennes circulaires pour les applications de lecteur RFID

Soutenu publiquement, le 13 / 06 / 2023 , devant le jury composé de :

Mr BENDIMRED Fethi Tarek	Professeur	Université de Tlemcen	Président
Mme BENMOSTEFA Naima	MCA	Université de Tlemcen	Examinatrice
Mme GOURARI Fatima Zohra	MCB	Université de Tlemcen	Encadrant

Année universitaire : 2022 /2023

Dédicace

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance... !

Aussi c'est tout simplement que je dédie ce Modeste travail :

A mon très cher père, Mohammed,

Aucun mot, aucune dédicace ne sera exprimé mon respect, ma gratitude. Pour m'avoir laissée la liberté du choix, pour avoir en confiance en moi

A ma très chère mère, Amaria

Des mots ne pourront jamais exprimer la profondeur de mon amour, à toi maman l'être le plus chère sur terre.

*Âme chère frère **Mohammed Zoheir***

*Âme chère sœur **Hadjer***

*A Tout la famille **OMARA et HOCINE***

Aucun langage ne saurait exprimer mon respect et ma considération pour votre soutien et encouragements. Je vous dédie ce travail en reconnaissance de l'amour que vous m'offrez quotidiennement et de votre bonté exceptionnelle. Que Dieu le Tout Puissant vous garde et vous procure santé et bonheur.

*A mon meilleure ami mon binôme **HAMLIL Walid***

*Âmes chères amis **Younes, youcef, chokri, abdelmonaim et salah***

A tous mes amis de ma promotion

Et tous, ceux que j'ai connu durant mon cycle d'étude

OMARA Tayeb

Dédicace

Je dédie ce travail à :

- ❖ *Celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à **ma mère kheira***
- ❖ ***Mon père Ameur** , qui a veillé au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger.*
- ❖ *Mes frères **Alaa** et **Sofiane** qui ont été présent pour m'aider et m'encourager.*
- ❖ *Mes chères sœurs **Lamia** et **Nour el qods** pour leurs encouragements et leurs soutien morale.*
- ❖ *A Tout la famille **HAMLIL** et **HADJI**, Je suis très reconnaissante de l'amour que vous m'offrez quotidiennement et votre bonté exceptionnelle. Que Dieu le Tout Puissant vous garde et vous procure santé et bonheur.*
- ❖ *Âmes chères amis **Mohammed, Amine, Fethallah***
- ❖ *A tous mes amis de ma promotion*
- ❖ *Sans oublier mon binôme **OMARA Tayeb** pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet*
- ❖ *Tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

HAMLIL Walid

Remerciement

Nous remercions tout d'abord, Allah qui nous a donné la force et le courage afin de parvenir à élaborer ce modeste travail.

*Nous tenons à remercier notre encadrant : **Mme. GOURARI Fatima Zohra** maitre de conférences classe B à l'université Abou-Bakr Belkaid- Tlemcen pour m'avoir offert un cadre de travail agréable et un encadrement de qualité.*

*Mes mots de reconnaissance vont à **Mr. BENDIMERAD Fethi Tarik** professeur à l'université Abou-Bakr Belkaid-Tlemcen, pour avoir accepté de présider cet honorable jury.*

*Nous adressons de même nos remerciements à **Mme BENMOSTEFA Naima** maitre de conférences classe A à l'université Abou-Bakr Belkaid-Temcen, d'examiner et d'enrichir notre modeste travail.*

En fin, nous remercions tous nos enseignants du département de Télécommunication de l'université Abou-Bakr Belkaid-Tlemcen, sans oublier de citer tous les enseignants qui ont contribué à ma formation depuis l'école primaire jusqu'aux études universitaires.

Résumé

La RFID utilise un champ électromagnétique pour suivre et identifier électroniquement les étiquettes jointes aux objets et ces étiquettes contiennent des informations stockées électroniquement. La RFID présente de nombreux avantages par rapport aux codes-barres, par exemple, dans le fonctionnement de la lecture des codes-barres, le scanner doit être placé directement devant chaque étiquette et les deux doivent être orientés vers une position très spécifique pour fonctionner correctement. D'autre part, les étiquettes RFID n'ont pas besoin d'être strictement orientées vers les lecteurs RFID tout de suite car la RFID utilise des ondes radio pour communiquer et l'étiquette RFID n'a besoin que d'être dans la plage de lecture du lecteur, qui varie en fonction des types de lecteur RFID portable utilisé, les lecteurs peuvent lire plusieurs balises et identifier plusieurs objets en même temps.

Dans ce projet de fin d'étude nous proposons des antennes circulaires pour les applications lecteur RFID dans la bande.

Mots clé : Identification par radio fréquence RFID, lecteur, tag, CST MICROWAVE STUDIO

Abstract

RFID uses an electromagnetic field to electronically track and identify tags attached to objects, and these tags contain electronically stored information. RFID offers many advantages over barcodes. For example, in barcode scanning, the scanner needs to be positioned directly in front of each barcode, and both need to be oriented in a very specific position to function correctly. On the other hand, RFID tags do not need to be strictly oriented towards RFID readers immediately because RFID uses radio waves to communicate. The RFID tag only needs to be within the reading range of the reader, which varies depending on the types of portable RFID readers used. The

Se readers can read multiple tags and identify multiple objects simultaneously.

In this final year project, we propose circular antennas for RFID reader applications in the band.

Keywords: Radio Frequency Identification (RFID), reader, tag, CST Microwave Studio.

ملخص

تقنية RFID تستخدم مجالاً كهرومغناطيسياً لتتبع وتحديد هوية البطاقات الإلكترونية المرتبطة بالأشياء، حيث تحتوي البطاقات على معلومات مخزنة إلكترونياً. توفر تقنية RFID العديد من المزايا مقارنةً بالباركود، فعلى سبيل المثال، في عملية قراءة الباركود، يجب وضع الماسح الضوئي مباشرة أمام كل بطاقة ويجب توجيهها إلى وضعية محددة جداً ليعمل بشكل صحيح. من ناحية أخرى، فإن البطاقات اللاسلكية ليست بحاجة إلى توجيه صارم نحو قارئ التقنية اللاسلكية على الفور، حيث تستخدم RFID موجات الراديو للتواصل، وتحتاج البطاقة اللاسلكية إلى أن تكون فقط ضمن نطاق قراءة القارئ، والذي يتفاوت حسب أنواع قارئ RFID المحمولة المستخدمة، ويمكن للقارئ قراءة عدة بطاقات وتحديد عدة أشياء في نفس الوقت .

في هذا المشروع التخرج، نقترح استخدام هوائيات دائرية لتطبيقات قارئ RFID في النطاق المحدد.

الكلمات الدالة : قارئ RFID . التعرف بواسطة التقنية اللاسلكية RFID، بطاقة RFID .

Table des matières

DEDICACE	I
REMERCIEMENT	III
RESUME	IV
ABSTRACT	V
ملخص	VI
TABLE DES MATIERES	VII
LISTE DES FIGURES	XII
LISTE DES TABLEAUX	XV
LISTE DES ABREVIATIONS	XVI
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : LA TECHNOLOGIE RFID	3
I.1 Introduction	4
I.2 Présentation générale de la RFID	5
I.2.1 Historique.....	5
I.2.2 Principe de fonctionnement d'un RFID:.....	6
I.3 Architecture d'un système RFID	7
I.3.1 Composants fondamentaux du système RFID.....	7
I.3.1.1 Lecteur RFID.....	8
A) Lecteur fixe.....	9
B) Lecteur mobile.....	10

I.3.1.2	Tag RFID.....	10
I.3.1.3	Back-end (Middleware).....	11
I.4	Caractéristiques des tags RFID:	12
I.5	Type et classification des tags RFID.....	13
I.5.1	Les critères de classification des tags RFID.....	13
I.5.2	Classement des technologies RFID en fonction des fréquences d'utilisation..	14
I.5.2.1	Les technologies HF et LF	14
I.5.2.2	Les technologies UHF et SHF.....	15
I.5.2.3	Les technologies UWB (ULB).....	15
I.5.3	Classement par le mode d'alimentation	16
I.5.3.1	Étiquettes RFID passives	16
I.5.3.2	Étiquettes RFID actives.....	17
I.5.3.3	Étiquettes RFID semi-passif.....	18
I.5.3.4	Étiquette sans puce	18
I.5.4	Mode de couplage lecteur \tags.....	18
I.6	Normes et protocoles des systèmes RFID.....	19
I.6.1	Définition des normes et standards	19
I.6.2	Normes ISO.....	19
I.6.3	Normes EPCglobal.....	20
I.6.3.1	Classification des tags EPC.....	20
I.6.4	Les protocoles	21
I.6.4.1	Protocole ITF et TTF.....	21
I.6.4.2	Protocole EPC Class 1 Gen 2.....	21
I.6.4.3	Protocole LLRP.....	22
I.7	Les applications RFID	22
I.7.1	Applications en automobile.....	22
I.7.2	Applications industrielles:.....	23
I.7.3	Application sécurisée	24
I.8	Avantages et inconvénients de la technologie RFID	25
I.8.1	Avantages	25

I.8.2	Inconvénients	26
I.9	Conclusion.....	26
CHAPITRE II : SYSTEME RFID		28
II.1	Introduction	29
II.2	Principe de communication du système RFID	29
II.2.1	Régions de champs.....	29
II.2.2	Mécanisme de couplage	31
II.3	Paramètres fondamentaux des antennes ondes	32
II.3.1	Les paramètres circuits.....	32
II.3.1.1	L'impédance.....	32
II.3.1.2	Le coefficient de réflexion et Le coefficient de transmission	33
II.3.1.3	Band passante (bandwith)	34
II.3.1.4	Le facteur de qualité Q	35
II.3.1.5	La distance de lecture	36
II.3.2	Les paramètres de rayonnement.....	37
II.3.2.1	Directivité.....	37
II.3.2.2	Le gain.....	37
II.3.2.3	La polarisation.....	37
II.3.2.4	Efficacité de l'antenne	38
II.3.2.5	Le diagramme de rayonnement	40
II.4	Le système RFID passif.....	41
II.4.1	Transfert maximum de puissance.....	41
II.4.2	Équation de transmission Friis	43
II.5	Tags dans le système RFID.....	44
II.5.1	Types d'antennes.....	44
II.5.1.1	Antenne dipolaire	44
II.5.1.2	Antenne patch.....	46
II.5.1.3	Les antennes à ouverture (cornet)	47
II.5.1.4	Antenne de fentes	49

II.5.1.5 Les antennes à réflecteurs (paraboles)	49
II.5.2 Alimentation des antennes microbandes	50
II.5.2.1 Alimentation par câble coaxial.....	51
II.5.2.2 Alimentation par ligne microruban	52
II.5.2.3 Comparaison entre alimentation par câble coaxial et par ligne micro ruban	54
II.6 Conclusion.....	55
CHAPITRE III : CONCEPTION ET SIMULATION.....	56
III.1 Introduction	57
III.2 Logiciel CST Microwave Studio	57
III.2.1 Présentation générale.....	57
III.2.2 L'utilisation de CST dans le domaine de RFID	58
III.3 Les antennes patch circulaires	58
III.3.1 Design d'antenne patch circulaire	60
III.4 Antenne patch polarisée circulairement pour les fréquences UHF.....	61
III.4.1 Structure d'antenne	61
III.4.2 Analyse paramétrique.....	63
III.4.2.1 Variations des dimensions des fentes sur le patch	63
III.4.2.2 Variations des dimensions de la fente sur le plan de masse.....	64
III.5 Antenne micro ruban circulaire pour lecteur RFID SHF	68
III.5.1 Structure d'antenne	68
III.5.2 Études paramétriques de l'effet sur le coefficient de réflexion S11	70
III.5.2.1 Effet du rayon du patch	70
III.5.2.2 Effet de la largeur de la fente des bras 1 et 3	71
III.5.2.3 Effet de la longueur de la fente des bras 1 et 3	72
III.5.2.4 La réalisation d'antenne	75
III.5.3 Conclusion.....	76
CONCLUSION GENERALE	78

BIBLIOGRAPHIE 79

Liste des figures

Fig.I.1:Fonctionnement d'un tag RFID	6
Fig.I.2:Échange de données entre un lecteur et un Tag RFID.....	7
Fig.I.3:Une architecture RFID typique	8
Fig.I.4:Exemples des lecteurs RFID	9
Fig.I.5:Exemples de tag RFID	11
Fig.I.6:Exemple d'une antenne de tag	11
Fig.I.7:Méthode d'alimentation des tags passifs	17
Fig.I.8:Méthode d'alimentation des tags actifs	17
Fig.I.9:Méthode d'alimentation des tags semi-passifs	18
Fig.I.10:Système anti-vol des automobiles avec la technologie RFID.....	23
Fig.I.11:Bibliothèque RFID.....	24
Fig.I.12:Suire l'activité d'une vache à distance.....	24
Fig.I.13:Passport biométrique.....	25
Fig.II.1:Régions de champ d'une antenne.....	30
Fig.II.2:Représentation des zones de radiation d'une antenne	31
Fig.II.3:Mécanisme de rayonnement des antennes.....	31
Fig.II.4: Antenne de réception et son schéma équivalent.....	33
Fig.II.5:Bande passante et coefficient de réflexion	35
Fig.II.6:polarisation linéaire et polarisation circulaire	38
Fig.II.7:Bornes de référence et pertes d'une antenne	39
Fig.II.8:Représentation du diagramme de rayonnement d'une antenne.....	40
Fig.II.9:Circuit général pour transfert maximum de puissance	42
Fig.II.10:Equation de transmission Friis	43
Fig.II.11:Antenne dipolaire	45

Fig.II.12:Diagramme de rayonnement en 3d de l'antenne dipôle	45
Fig.II.13:Différentes formes d'antenne patch	46
Fig.II.14:antenne patch avec les dimensions	46
Fig.II.15:Diagramme de rayonnement d'antenne patch.....	47
Fig.II.16:Les antennes à ouverture (cornet).....	48
Fig.II.17:Diagramme de rayonnement d'antenne cornet.....	48
Fig.II.18: Réseau de fentes	49
Fig.II.19:Les antennes à réflecteurs (paraboles).....	50
Fig.II.20:Alimentation par câble coaxial	51
Fig.II.21:L'alimentation directe	52
Fig.II.22:L'alimentation par incrustation	53
Fig.II.23:L'alimentation par couplage	54
Fig. III.1:La géométrie d'antenne patch circulaire	59
Fig. III.2: Patch circulaire.....	59
Fig. III.3:L'antenne patch.....	62
Fig. III.4:Variations de S_{11} avec différentes longueurs de fente horizontale (l_2)	63
Fig.III.5:Variations de S_{11} avec différentes longueurs de fente verticale (l_1).	64
Fig.III.6:Variation de S_{11} avec différentes longueurs de fente (l_s)	65
Fig.III.7:Variations de S_{11} avec différentes largeurs de fente (w_s).....	65
Fig. III.8: S_{11} en fonction de la fréquence du patch	66
Fig. III.9:Le rapport de tension debout d'onde (VSWR)	67
Fig. III.10:Diagramme de rayonnement de l'antenne en 3D.....	67
Fig. III.11:Diagramme de rayonnement en 2D.....	68
Fig. III.12:Conception géométrique de l'antenne proposée.....	69
Fig. III.13:L'effet de la variation de rayon du patch	71
Fig III.14:L'effet de largeur du bras 1 et bras 3 sur le retour d'atténuation s_{11}	72

Fig.III.15:L'effet de longueur du bras 1 et bras 3 sur le retour d'atténuation s_{11}	72
Fig. III.16: S_{11} en fonction de la fréquence du patch	73
Fig. III.17:Rapport d'onde stationnaire en tension (VSWR) simulé.....	74
Fig. III.18:Diagramme de rayonnement simulé en tracé 3D pour l'antenne proposée	75
Fig. III.19:Diagramme de rayonnement simulé en tracé polaire pour l'antenne proposée avec $\Phi=0^\circ$	75
Fig III.20:Vue de face (patch) et vue arrière (ground) de l'antenne fabriquée.	76

Liste des tableaux

Tableau I.1:Tableau de Classement des technologies RFID en fonction des fréquences d'utilisation	14
Tableau I.2:Tableau des bandes de fréquences.....	15
Tableau II.1:Comparaison entre alimentation par câble coaxial et par ligne micro ruban	54
Tableau III.1:Dimension d'antenne.....	62
Tableau III.2:Les dimensions d'antenne.....	70

Liste des abréviations

CST	Computer simulation technology.
Db	Décibels.
Dbi	Décibels isotropic .
EPC	Electronic Product Code.
GHz	Giga hertz.
HF	Haute fréquence.
ISO	International organisation for standardisation.
ITF	Interrogator-Talks-First.
LF	Low frequency.
LLRP	Low Level Reader Protocol .
Mhz	Mégahertz
Mm	Milli mètre.
MW	Micro-ondes.
Ko	Kilooctets.
RFID	Radio Frequency Identification.
RTF	Reader-Talks-First.
SHF	Super-haute fréquence.
TMZ	Transponder mandatory zone.
TOS	Taux d'onde stationnaire.
TTF	Tag-Talks-First.
UHF	Ultra-haute fréquence.
UWB	Ultra-Wideband (ULB).
VSWR	Rapport de tension debout d'onde.
XML	eXtensible Markup Language

Introduction Générale

La technologie RFID (Radio Frequency Identification) est devenue omniprésente dans notre société moderne, offrant des solutions pratiques et innovantes pour divers domaines tels que la logistique, la gestion des stocks, les systèmes de péage, la traçabilité des produits, et bien plus encore. Les systèmes RFID reposent sur des interactions sans fil entre un lecteur et des étiquettes (tags) RFID, permettant ainsi l'identification et la communication automatiques des objets.

Au cœur des systèmes RFID se trouvent les antennes, qui jouent un rôle essentiel dans la transmission et la réception des signaux radiofréquences. Les antennes circulaires ont émergé comme une solution prometteuse pour les applications de lecteur RFID en raison de leurs caractéristiques directionnelles et de leur capacité à offrir une zone de couverture étendue.

Le présent mémoire de fin d'études PFE Master se concentre sur l'étude et la conception d'antennes circulaires spécifiquement adaptées aux applications de lecteur RFID. L'objectif principal de ce travail est de développer des antennes circulaires efficaces et performantes, capables d'améliorer les performances de lecture des étiquettes RFID tout en garantissant une portée optimale.

Le mémoire est structuré en trois chapitres principaux, qui abordent les aspects fondamentaux de la technologie RFID, les systèmes RFID et la conception d'antennes circulaires. Le premier chapitre fournit une introduction générale à la technologie RFID, expliquant ses principes de base, ses composants essentiels et ses applications courantes. Une attention particulière sera accordée aux différents types d'étiquettes RFID, aux fréquences utilisées et aux protocoles de communication.

Le deuxième chapitre se concentre sur les systèmes RFID, en examinant en détail l'architecture des systèmes RFID, les modes de fonctionnement, les protocoles de communication et les normes internationales. Une étude comparative des différents types de lecteurs RFID sera également réalisée, mettant en évidence leurs avantages, leurs performances et leurs limitations.

Introduction Générale

Le troisième chapitre constitue la partie centrale de ce mémoire, où nous nous pencherons sur la conception et la simulation d'antennes circulaires pour les applications de lecteur RFID. Nous aborderons les principes de conception des antennes circulaires, les techniques de simulation utilisées et les méthodologies de mesure pour évaluer les performances des antennes. Des exemples concrets de conception d'antennes circulaires seront présentés, mettant en évidence les paramètres clés à prendre en compte et les challenges spécifiques rencontrés.

En conclusion, ce mémoire de fin d'études PFE Master offre une étude approfondie sur l'étude et la conception d'antennes circulaires pour les applications de lecteur RFID. En comprenant les fondamentaux de la technologie RFID, en explorant les systèmes RFID existants et en développant des antennes circulaires performantes, nous contribuons à l'amélioration des performances des systèmes RFID et à l'optimisation des applications pratiques dans divers domaines.

Chapitre I: La technologie RFID

I.1 Introduction

La technologie RFID (Radio-Frequency Identification) est une technologie de communication sans fil qui permet d'identifier à distance des objets à l'aide d'une étiquette électronique, appelée tag RFID, et d'un lecteur RFID. Cette technologie a été inventée dans les années 1940, mais ce n'est que dans les années 1960 qu'elle a commencé à être utilisée de manière commerciale.

Elle est utilisée dans de nombreux secteurs, notamment la logistique, la distribution, la santé, la sécurité et la gestion de stock. Elle est particulièrement utile pour suivre et gérer les mouvements des biens et des produits, tout en offrant une meilleure efficacité et une réduction des coûts. [1]

Les tags RFID peuvent être attachés à des objets de différentes tailles, formes et matériaux. Ils peuvent également être passifs ou actifs. Les tags passifs n'ont pas de batterie et utilisent l'énergie du lecteur RFID pour transmettre leurs informations. Les tags actifs ont leur propre source d'énergie et peuvent communiquer avec le lecteur RFID à une distance plus grande que les tags passifs. [2]

La technologie RFID offre de nombreux avantages, tels que la traçabilité des produits, la réduction des coûts, la gestion plus efficace des stocks et la sécurité. Elle peut également aider à améliorer la qualité et la précision des données en fournissant des informations en temps réel.

Cependant, la technologie RFID présente également des inconvénients, notamment des problèmes de confidentialité et de sécurité, ainsi que des coûts élevés de mise en œuvre.

Malgré ces inconvénients, la technologie RFID a connu une croissance rapide et une adoption généralisée dans de nombreux secteurs. Les perspectives d'avenir pour cette technologie sont également prometteuses, car de nouvelles avancées continuent d'être réalisées pour améliorer son efficacité, sa sécurité et sa polyvalence. [3]

I.2 Présentation générale de la RFID

I.2.1 Historique

La technologie RFID a été développée dans les années 1940 par l'armée américaine pour suivre les mouvements de leurs avions et de leurs matériels. Dans les années 1960 les entreprises ont commencé à utiliser cette technologie pour suivre les inventaires et les actifs, au cours des années 1980 et 1990 les entreprises ont continué à perfectionner cette technologie pour devenir plus petit moins cher et plus fiable aujourd'hui la technologie RFID est utilisée dans de nombreux domaines tels que les soins de santé la logistique de transport la gestion des actifs et la sécurité. [4]

Au fil des ans la technologie RFID a évolué pour devenir plus précise, plus fiable et plus abordable, les tags RFID sont devenus plus petits et ont une plus grande portée de Lecture. Les lecteurs RFID sont devenus plus rapides, plus précis et plus fiables, les protocoles de communication ont également été améliorés pour permettre une meilleure gestion de la bande passante et une meilleure sécurité des données.

Avec l'émergence de l'internet des objets (IOT) et l'augmentation de la connectivité, la technologie RFID est de plus en plus utilisée pour connecter les objets physiques au monde numérique. Cela permet de suivre et gérer les actifs en temps réel, d'optimiser le processus d'entreprise et de prendre des décisions informées.

En outre, la RFID est utilisé pour identifier les personnes dans les systèmes de sécurité les systèmes de transport les systèmes de santé les systèmes de paiement le système de contrôle d'accès les cartes d'identité les cartes de crédit les cartes d'accès et les bracelets d'identification sont souvent équipés de plus RFID. [5]

En somme, la technologie RFID est devenu un outil incontournable pour de nombreux secteurs en permettant une identification rapide automatisée et fiable des objets et des personnes.

I.2.2 Principe de fonctionnement d'un RFID:

Le principe de fonctionnement d'un système RFID (Radio Frequency Identification) est basé sur l'utilisation d'ondes radio pour communiquer des informations entre un émetteur (la puce RFID) et un récepteur (le lecteur RFID).

La puce RFID est généralement intégrée dans un objet ou une étiquette, et contient une petite quantité d'informations stockées électroniquement. Lorsqu'elle est placée à proximité du lecteur RFID, elle émet un signal radio qui est capté par le lecteur, qui à son tour envoie une requête pour récupérer les informations stockées sur la puce. La puce répond alors en envoyant ces informations au lecteur, qui peut les utiliser pour une variété d'applications, telles que la gestion des stocks, le contrôle d'accès, ou la traçabilité des produits. [6] (voir Fig.I.1 et Fig.I.2).

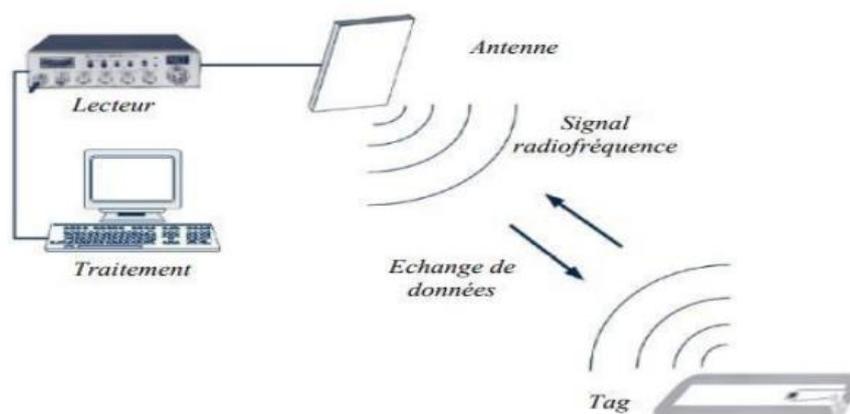


Fig.I.1: Fonctionnement d'un tag RFID

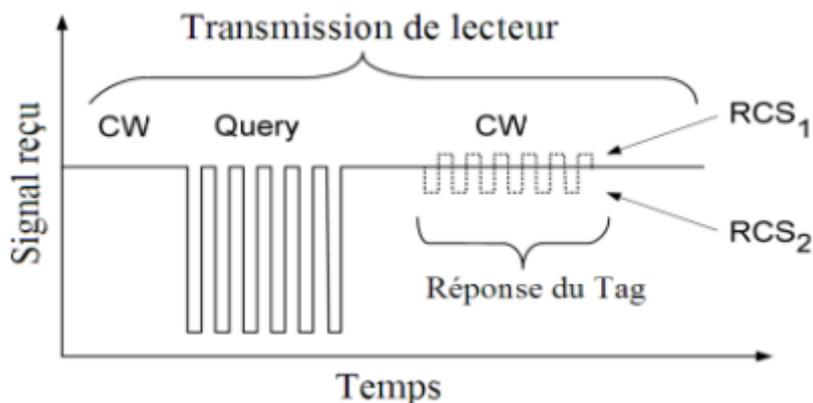


Fig.I.2:Échange de données entre un lecteur et un Tag RFID

I.3 Architecture d'un système RFID

I.3.1 Composants fondamentaux du système RFID

Un système RFID (Radio Frequency Identification) est généralement composé d'un lecteur RFID et d'une ou plusieurs étiquettes RFID. Le lecteur RFID émet un signal radiofréquence qui est reçu par l'étiquette RFID, qui renvoie alors une réponse contenant des données stockées dans la mémoire de l'étiquette. Ces données peuvent être lues par le lecteur RFID et traitées par un système informatique (middleware).

Il existe plusieurs architectures de système RFID, notamment l'architecture à une voie, l'architecture à plusieurs voies et l'architecture de réseau RFID. L'architecture à une voie est la plus simple, elle est composée d'un lecteur RFID et d'une seule étiquette RFID. L'architecture à plusieurs voies permet à un seul lecteur RFID de communiquer avec plusieurs étiquettes RFID simultanément. L'architecture de réseau RFID est utilisée pour connecter plusieurs lecteurs RFID à un système informatique central (middleware ou back end). (Voir Fig.I.3).

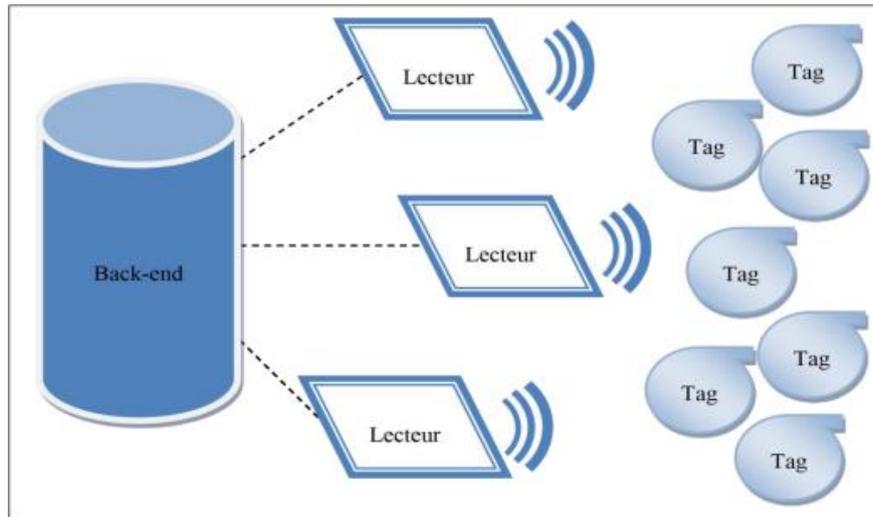


Fig.I.3:Une architecture RFID typique [6]

I.3.1.1 Lecteur RFID

Un lecteur RFID (Radio Frequency Identification) est un dispositif électronique qui permet de communiquer avec des étiquettes RFID à travers une liaison radiofréquence. Les lecteurs RFID sont équipés d'une antenne pour émettre un signal radiofréquence et recevoir la réponse de l'étiquette RFID, ainsi que d'un circuit électronique pour traiter les données reçues. Les lecteurs RFID peuvent être autonomes ou connectés à un système informatique pour stocker et traiter les données collectées.

Un lecteur RFID peut prendre différentes formes et est classé en fonction de son utilisation prévue (voir Fig.I.4). Il n'est pas nécessaire d'entrer en contact direct avec la puce, ce qui en fait un choix courant pour les lecteurs fixes sur le marché. Cependant, ils peuvent également être portables. [19]



Fig.I.4:Exemples des lecteurs RFID

A) Lecteur fixe

- **Surveillance en continu et en temps réel** : Un lecteur RFID fixe reste constamment allumé et immobile, positionné dans un coin du bâtiment pour recueillir en permanence des données.
- **Gestion automatisée des actifs et suivi des stocks** : Grâce à cette surveillance constante, il n'est pas nécessaire de penser à allumer le lecteur et à effectuer des scans. Ainsi, si vous souhaitez suivre quotidiennement les entrées de stocks dans votre bâtiment, un lecteur RFID fixe en fonctionnement permanent est un excellent moyen d'automatiser ce processus.
- **Large zone de lecture** : Tout comme les ordinateurs de bureau ont généralement une puissance de calcul supérieure à celle des ordinateurs portables, les lecteurs RFID fixes offrent généralement une portée de lecture plus étendue que les lecteurs portables, ce qui leur permet de surveiller une zone plus grande en une seule fois.

B) Lecteur mobile

- **Facilement transportables** : Les lecteurs RFID portables sont conçus pour être transportés facilement partout où vous en avez besoin. Ils sont légers, fonctionnent sur batterie et sont souvent conçus pour offrir un confort ergonomique optimal.
- **Déploiement rapide sans installation physique nécessaire** : Contrairement aux lecteurs RFID fixes qui nécessitent une installation physique telle qu'un montage et un câblage, les lecteurs portables peuvent être mis en service rapidement sans besoin d'installation préalable. Il suffit simplement de mettre en marche l'appareil et de lire les étiquettes RFID.

I.3.1.2 Tag RFID

Un tag RFID (Radio Frequency Identification) est un petit dispositif électronique qui utilise la technologie sans fil pour communiquer des données à distance à un lecteur RFID comme représenté en figure (Fig.I.5). Ils sont souvent utilisés pour l'identification automatique des objets, des animaux ou des personnes, ainsi que pour la gestion des stocks et des processus logistiques.

Il est composé d'une antenne et d'une puce électronique qui contient des informations spécifiques sur l'objet ou l'entité qu'il représente dans la figure (Fig.I.6). Lorsqu'un lecteur RFID émet un signal électromagnétique, le tag RFID capte l'énergie du signal et utilise cette énergie pour alimenter la puce électronique. La puce électronique transmet ensuite les données stockées à l'antenne, qui les renvoie au lecteur RFID.

Les tags RFID peuvent être actifs, c'est-à-dire qu'ils contiennent une source d'alimentation interne, ou passive, c'est-à-dire qu'ils n'ont pas de source d'alimentation interne et utilisent l'énergie du signal émis par le lecteur RFID pour fonctionner. Les tags RFID passifs sont généralement moins coûteux et ont une durée de vie plus longue que les tags RFID actifs.



Fig.I.5:Exemples de tag RFID

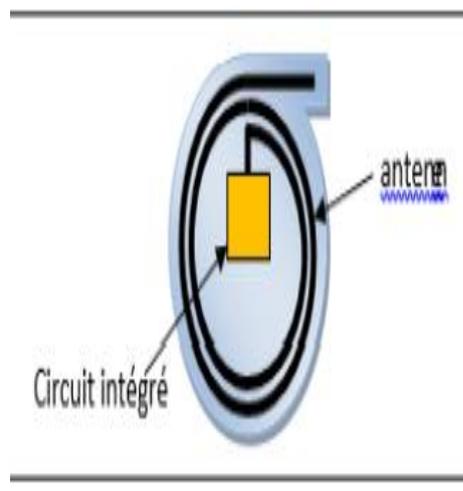


Fig.I.6:Exemple d'une antenne de tag

I.3.1.3 Back-end (Middleware)

Le middleware RFID est un logiciel qui permet de gérer les données collectées par les lecteurs RFID et de les transmettre à d'autres systèmes d'informations, tels que les systèmes de gestion de la chaîne d'approvisionnement ou les systèmes de gestion de la production. Il permet de gérer les données de l'étiquette RFID, de les filtrer, de les regrouper et de les transmettre à d'autres systèmes d'informations pour une utilisation ultérieure. Il peut

également inclure des fonctionnalités telles que la gestion des conflits d'identifiants, la gestion des erreurs de lecture et la gestion des accès aux données.

Il est divisé en deux parties :

- **La partie serveur :** qui est responsable de la collecte de données de différents lecteurs RFID, de la validation et de la filtration de ces données, ainsi que de la transmission des données à d'autres systèmes.
- **La partie client :** qui est responsable de la configuration des lecteurs RFID, de la gestion des erreurs et de la gestion des autorisations d'accès aux données.

Il peut également inclure des fonctionnalités avancées telles que :

- ✓ La gestion des conflits d'identifiants, pour éviter les erreurs de lecture ou d'attribution.
- ✓ La gestion des erreurs de lecture, pour assurer la qualité des données collectées.
- ✓ La gestion des accès aux données, pour protéger les données sensibles.
- ✓ La gestion des événements, pour notifier les utilisateurs des événements importants tels que les lectures manquées ou les erreurs de lecture.

En somme, le middleware RFID est un lien vital pour connecter les données RFID à d'autres systèmes d'informations pour une utilisation efficace et efficiente. Il permet de centraliser les données RFID, de les valider, de les filtrer et de les transmettre à d'autres systèmes pour une utilisation ultérieure. Il permet également de gérer les erreurs de lecture et de gérer les accès aux données pour assurer la sécurité et la qualité des données collectées.

I.4 Caractéristiques des tags RFID:

Les caractéristiques des tags RFID varient selon le type de tag et l'application pour laquelle il est utilisé, mais voici quelques-unes des caractéristiques clés des tags RFID :

- **Capacité de stockage :** Les tags RFID ont une capacité de stockage de données qui varie selon le type de tag. Les tags passifs ont généralement une capacité de stockage

limitée, de l'ordre de quelques kilooctets (Ko) tandis que les tags actifs ont une capacité de stockage plus importante, allant jusqu'à plusieurs mégaoctets.

- **Portée de lecture :** La portée de lecture est la distance maximale à laquelle un lecteur RFID peut lire les données stockées sur un tag RFID. La portée de lecture dépend de plusieurs facteurs, tels que la puissance du lecteur RFID, la fréquence utilisée et l'environnement dans lequel le tag est utilisé.
- **Durée de vie de la batterie :** Les tags actifs sont équipés d'une batterie qui alimente le tag en énergie. La durée de vie de la batterie varie selon le type de tag, la fréquence d'utilisation et l'environnement dans lequel le tag est utilisé.
- **Résistance aux conditions environnementales :** Les tags RFID peuvent être utilisés dans des environnements extrêmes tels que des températures élevées ou basses, des environnements humides ou secs, des environnements avec des interférences électromagnétiques, etc. Les tags doivent être conçus pour résister à ces conditions environnementales.
- **Coût :** Le coût des tags RFID varie selon le type de tag et la quantité achetée. Les tags passifs sont généralement moins chers que les tags actifs, mais les coûts peuvent varier considérablement en fonction de la quantité achetée.

I.5 Type et classification des tags RFID

I.5.1 Les critères de classification des tags RFID

Les tags RFID (Radio Frequency Identification) peuvent être classés selon plusieurs critères, notamment :

- **Mode d'alimentation :** Ce critère fait référence à la manière dont les tags RFID (Radio Frequency Identification) sont alimentés en énergie. Il existe principalement trois modes d'alimentation couramment utilisés pour les tags RFID : le mode actif, le mode passif et le mode semi-passif.

- **fréquence d'opération** : les tags RFID peuvent fonctionner à différentes fréquences, telles que LF (basse fréquence), HF (haute fréquence) et UHF (ultra-haute fréquence). La fréquence détermine la portée de lecture, la vitesse de lecture et le coût du tag.
- **La technologie** : les tags RFID peuvent être actifs ou passifs. Les tags RFID actifs ont leur propre source d'énergie et peuvent transmettre des signaux à une plus grande distance que les tags passifs, qui sont alimentés par les signaux radio émis par le lecteur RFID.
- **La forme** : les tags RFID peuvent être sous forme de cartes, d'étiquettes, de bracelets, de porte-clés, etc. La forme dépend de l'application et des besoins spécifiques du client.

I.5.2 Classement des technologies RFID en fonction des fréquences d'utilisation

Tableau I.1: Tableau de Classement des technologies RFID en fonction des fréquences d'utilisation [7]

Famille	Portée	Capacité de codage	Accès	Niveau de confidentialité	susceptibilité	positionnement	Coût du tag
LF, HF	<1m	qq. kbits	Lecture/Ecriture	Elevé	Métal à 13.56MHz	Indépendant de la polarisation	>0.4 euros
UHF, SHF	1m-100m	qq. kbits	Lecture/Ecriture	Faible	Métal, liquides	Dépend de la polarisation	>0.1 euros
ULB	<60m	qq. bits	Lecture/Ecriture	bon	Métal, liquides	Dépend de la polarisation	>0.3 euros
Sans puce	<1m	256 bits	Lecture/Ecriture	Sans	Métal, liquides	Dépend de la polarisation	>0.005 euros

I.5.2.1 Les technologies HF et LF

Les technologies RFID utilisent des champs proches pour échanger des données entre un tag et un lecteur, et sont souvent utilisées dans des applications où la confidentialité des données est importante, comme dans le cas des passeports. Les passeports utilisent une portée

de lecture de quelques dizaines de centimètres et les puces RFID intégrées servent à stocker des informations cryptographiques pour assurer la sécurité de l'échange de données entre le tag et la base de données. En résumé, les technologies RFID utilisent des champs proches pour assurer la confidentialité des données échangées entre un tag et un lecteur, ce qui est particulièrement important dans les applications telles que les passeports. [7]

I.5.2.2 Les technologies UHF et SHF

Il existe deux types de tags RFID : les tags actifs et les tags passifs, qui diffèrent dans la manière dont ils répondent à la station de base. Les tags passifs utilisent le principe de rétrodiffusion pour renvoyer la réponse au lecteur. La fréquence la plus couramment utilisée pour les tags passifs est de 860 à 960 MHz. Les tags UHF/SHF sont équipés d'une antenne dipôle qui capte le rayonnement électromagnétique et est conçue pour avoir une impédance adaptée à celle de la puce. Les tags passifs n'ont pas besoin de batterie, car l'énergie électromagnétique de la station de base alimente la puce du tag. La puce contient un circuit de récupération d'énergie interne qui alimente un circuit logique et une zone de mémoire en lecture/écriture. En somme, les tags passifs utilisent la rétrodiffusion pour renvoyer la réponse au lecteur et fonctionnent sans batterie grâce à l'alimentation par le champ électromagnétique de la station de base.

Tableau I.2: Tableau des bandes de fréquences

Bande de fréquence (MHz)	Région	Puissance	ΔSER dipôle $\lambda/2$: $0.642 \cdot \lambda^2$	ΔSER min : $0.005m^2$
869.4-869.65	Europe	0.5W ERP	10m	7m
865.5-867.6	Europe	2W ERP	19.7m	10m
902-928	USA	4W EIRP	19.8m	10.2m
2400-2483.5	Europe	0.5W EIRP	4.3m	3.7m
2400-2483.5	Europe/USA	4 W EIRP	7.3m	6.2m

I.5.2.3 Les technologies UWB (ULB)

La technologie UWB (Ultra-Wideband) est une technologie sans fil utilisée dans les systèmes RFID. Les étiquettes RFID utilisant la technologie UWB peuvent offrir des

avantages par rapport aux étiquettes RFID traditionnelles, telles que des portées plus longues, des capacités de localisation précises et une meilleure résistance aux interférences.

La technologie UWB utilise des impulsions radio très courtes et très larges pour transmettre des données. Ces impulsions sont envoyées à des intervalles très courts, ce qui permet à la technologie UWB de transmettre des données à des vitesses très élevées sur une large bande de fréquences. Les étiquettes RFID UWB peuvent donc transmettre des données sur de longues distances tout en conservant une faible consommation d'énergie.

En outre, la technologie UWB permet également une localisation précise en utilisant des techniques de triangulation. En effet, les impulsions radio UWB sont réfléchies par les objets environnants et peuvent être utilisées pour déterminer la position de l'étiquette RFID avec une grande précision.

En raison de ses avantages, la technologie UWB est de plus en plus utilisée dans les systèmes RFID pour des applications telles que le suivi de conteneurs, la surveillance de la chaîne d'approvisionnement et la localisation d'actifs. Cependant, il convient de noter que la technologie UWB est réglementée dans de nombreux pays et son utilisation peut nécessiter une licence ou une autorisation.

En conclusion, la technologie UWB est une technologie sans fil avancée qui offre des avantages significatifs dans les systèmes RFID, notamment une portée plus longue, une localisation précise et une résistance accrue aux interférences.

I.5.3 Classement par le mode d'alimentation

Les systèmes RFID peuvent être classés en fonction de leur mode d'alimentation. Les deux principaux types d'étiquettes RFID sont les étiquettes passives et les étiquettes actives et semi-actives.

I.5.3.1 Étiquettes RFID passives

Les étiquettes RFID passives ne nécessitent pas de source d'alimentation interne et sont activées par les signaux radio émis par le lecteur RFID. Lorsque le lecteur émet un signal radio, l'étiquette passive convertit cette énergie en énergie électrique, qui alimente la puce de l'étiquette et lui permet de transmettre des informations au lecteur. Les étiquettes passives sont

généralement moins coûteuses et ont une durée de vie plus longue que les étiquettes actives, mais leur portée est limitée à quelques mètres. (Voir Fig.I.7)

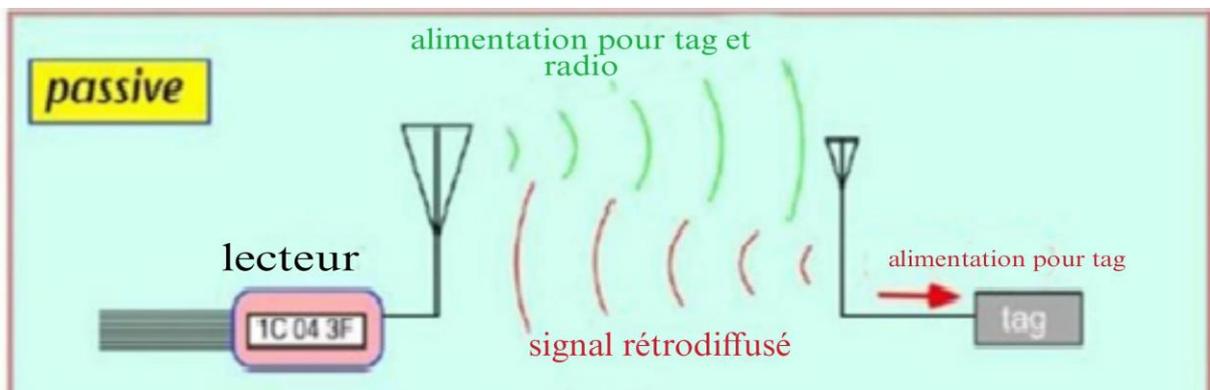


Fig.I.7:Méthode d'alimentation des tags passifs [8]

I.5.3.2 Étiquettes RFID actives

Les étiquettes RFID actives sont alimentées par une source d'énergie interne, généralement une batterie. Elles peuvent transmettre des signaux sur de plus grandes distances que les étiquettes passives et offrent une meilleure précision de localisation. Les étiquettes actives sont souvent utilisées pour suivre des objets en mouvement, tels que des véhicules ou des équipements, ou pour surveiller les conditions environnementales, telles que la température et l'humidité. Cependant, les étiquettes actives sont plus coûteuses que les étiquettes passives et ont une durée de vie limitée en raison de la batterie interne. (Voir Fig.I.8)

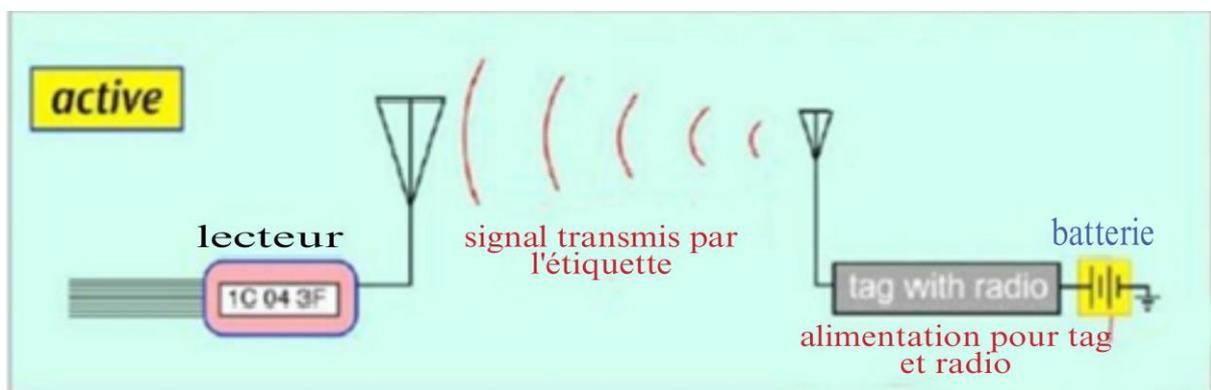


Fig.I.8:Méthode d'alimentation des tags actifs [8]

I.5.3.3 Étiquettes RFID semi-passif

Il existe également un troisième type d'étiquette RFID appelé semi-passif, qui utilise une source d'alimentation interne pour alimenter la puce de l'étiquette, mais qui ne transmet pas de signaux radio sans l'activation d'un lecteur RFID externe. Les étiquettes semi-passives offrent une meilleure portée que les étiquettes passives, mais sont moins coûteuses que les étiquettes actives. (Voir Fig.I.9)

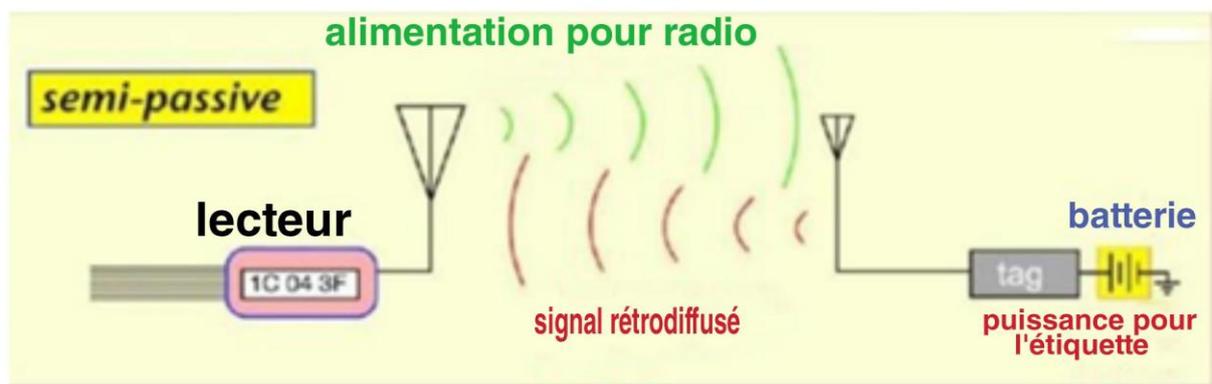


Fig.I.9:Méthode d'alimentation des tags semi-passifs [8]

I.5.3.4 Etiquette sans puce

Une étiquette semi-passive peut être équipée de batterie pour maintenir la mémoire dans l'étiquette ou pour assurer des fonctions supplémentaires [9]. Il est possible d'intégrer des capteurs dans les étiquettes RFID afin de mesurer les changements environnementaux, tels que la température. Cela permet aux étiquettes de disposer d'une portée considérablement plus longue que les étiquettes RFID passives. La batterie intégrée ne sert pas à émettre des signaux, mais plutôt à agir comme une étiquette passive en termes de communication.

I.5.4 Mode de couplage lecteur \tags

Le mode de couplage est le processus par lequel le lecteur RFID et le tag RFID communiquent entre eux. [10] [11]:

- **Couplage inductif** : Le couplage inductif est utilisé dans les systèmes RFID à basse fréquence (LF) et haute fréquence (HF). Dans ce mode, le lecteur RFID envoie un

signal électromagnétique à l'antenne du tag RFID, qui crée un champ magnétique autour de lui. Ce champ magnétique est utilisé pour alimenter le tag RFID et lui permettre de communiquer avec le lecteur RFID.

- **Couplage par ondes radio** : Le couplage par ondes radio est utilisé dans les systèmes RFID à fréquence ultra-haute (UHF) et à micro-ondes (MW). Dans ce mode, le lecteur RFID envoie un signal électromagnétique à l'antenne du tag RFID, qui renvoie un signal en utilisant une fréquence spécifique. Le lecteur RFID peut alors détecter ce signal et utiliser les informations qu'il contient pour identifier le tag RFID.

I.6 Normes et protocoles des systèmes RFID

I.6.1 Définition des normes et standards

Les normes et les standards sont des règles établies pour garantir la qualité, la sécurité et la fiabilité des produits, des services et des processus, et pour faciliter l'interopérabilité et la compatibilité entre les différents équipements. Ils sont importants pour assurer la confiance des consommateurs, la sécurité des travailleurs, la protection de l'environnement et la compétitivité des entreprises.

I.6.2 Normes ISO

Selon les normes ISO relatives aux protocoles de communication pour les différentes bandes de fréquences, il existe plusieurs standards [10] [12] [13] :

- **ISO 18000-1** : Cette norme définit l'architecture de référence et les paramètres à normaliser pour les systèmes RFID.
- **ISO 18000-2** : Cette norme concerne les paramètres de communication pour les fréquences inférieures à 135 KHz.
- **ISO 18000-3** : Cette norme définit les paramètres de communication pour la fréquence de 13,56 MHz.
- **ISO 18000-4** : Cette norme concerne la fréquence de 2,45 GHz.

- **ISO 18000-5** : Cette norme concerne la fréquence de 5,8 GHz.
- **ISO 18000-6** : Cette norme s'applique aux fréquences situées entre 860 et 930 MHz.
- **ISO 18000-7** : Cette norme concerne le fonctionnement en 433 MHz.

I.6.3 Normes EPCglobal

La norme EPCglobal est une norme mondiale qui définit les spécifications pour la technologie RFID utilisée dans les systèmes de suivi et de traçabilité. Cette norme est gérée par une organisation à but non lucratif appelée EPCglobal, qui a été créée en 2003 pour développer et promouvoir les normes pour les systèmes EPC (Electronic Product Code).

La norme EPCglobal permet l'identification unique et l'échange de données entre les systèmes de différents fournisseurs. Elle comprend une série de spécifications pour les tags RFID, les lecteurs, les logiciels et les interfaces de communication. L'objectif principal de la norme EPCglobal est de faciliter la traçabilité des produits tout au long de la chaîne d'approvisionnement, ce qui peut aider à améliorer l'efficacité, la sécurité et la transparence des processus logistiques. [12] [14] [15]

I.6.3.1 Classification des tags EPC

Les normes EPC définissent différentes classes de tags RFID selon leurs fonctionnalités et leurs caractéristiques. [16] [17]

- **Les classes EPC 0 et 1**: Sont destinées aux tags passifs et permettent le stockage de données EPC et utilisateurs. Les tags de classe 0 sont en lecture seule tandis que les tags de classe 1 sont de type « Write Once / Read Many ». Le protocole UHF Class 1 GEN 2 permet d'optimiser la communication (plusieurs centaines de lectures simultanées) et de renforcer la sécurité des données grâce à des fonctionnalités de blocage et de désactivation des étiquettes avec la fonction "KILL".
- **La classe EPC 2**: Concerne les tags passifs avec une mémoire réinscriptible qui peut stocker le code EPC ainsi que les données utilisateur.

- **La classe EPC 3:** S'adresse aux tags semi-passifs et inclut la caractéristique de la classe 2, avec la possibilité d'inclure des capteurs (de température, d'humidité, etc.) et de conserver un log des données.
- **La classe EPC 4:** Concerne les tags actifs et permet en plus des caractéristiques de la classe 3, la communication entre les tags (communication ad-hoc).

I.6.4 Les protocoles

I.6.4.1 Protocole ITF et TTF

La technologie RFID passive UHF utilise deux familles de protocoles de communication [4] : "Reader-Talks-First" (RTF) ou "Interrogator-Talks-First" (ITF) et "Tag-Talks-First" (TTF). Dans la famille RTF, le lecteur envoie un signal d'alimentation aux tags dans son champ de lecture, mais ceux-ci restent inactifs jusqu'à ce que le lecteur leur envoie une requête d'identification. Les tags répondent ensuite au lecteur s'ils sont à portée. Le protocole UHF Class 1 Gen 2 fait partie de cette famille.

Dans la famille TTF, lorsque le tag entre immédiatement dans le champ du lecteur, il signale sa présence en réfléchissant le signal reçu et en envoyant son identifiant. Le lecteur répond par une brève modulation du signal d'alimentation et le transfert des données peut commencer. Cette technique est utile pour détecter tous les tags à proximité du lecteur, tels que les objets transportés sur un tapis roulant dans un entrepôt ou un aéroport. [18]

I.6.4.2 Protocole EPC Class 1 Gen 2

Le protocole EPC Class 1 Gen2 (ou Gen2) est un protocole de communication RFID UHF largement utilisé dans l'industrie pour identifier et suivre des objets. Il permet d'accroître les performances de communication en permettant plusieurs lectures simultanées et une amélioration de la sécurité des données grâce à des fonctionnalités de blocage et de désactivation de l'étiquette.

Les lecteurs compatibles avec le protocole Gen2 sont capables de lire et d'écrire sur des tags RFID de classe 1 qui sont de type "Write Once / Read Many" (une seule écriture,

plusieurs lectures) et peuvent stocker des données EPC ainsi que des données utilisateur en option.

I.6.4.3 Protocole LLRP

Le protocole LLRP (Low Level Reader Protocol) est un protocole de communication standardisé utilisé dans les systèmes RFID pour échanger des informations entre les lecteurs (readers) et les serveurs de gestion. Il a été développé par EPCglobal, une organisation internationale qui promeut l'utilisation de la technologie RFID dans la chaîne logistique, notamment pour l'étiquetage électronique des produits (EPC).

Le protocole LLRP définit les messages et les formats d'échange de données entre les lecteurs RFID et les serveurs de gestion, ce qui permet d'assurer une interopérabilité entre différents équipements RFID. Il permet également de contrôler les lecteurs à distance, de configurer leurs paramètres et de gérer les événements de lecture (lectures, erreurs, etc.).

Le protocole LLRP utilise une architecture client/serveur, où le lecteur RFID est le client qui envoie des demandes et des réponses au serveur de gestion. Les messages LLRP sont basés sur XML (eXtensible Markup Language), ce qui facilite leur traitement et leur interprétation par les systèmes informatiques. [19]

I.7 Les applications RFID

I.7.1 Applications en automobile

Les applications dans ce secteur incluent des systèmes d'immobilisation pour empêcher le vol de voitures, ainsi que des systèmes de télécommande pour l'entrée sans clé et le démarrage des véhicules. Il existe également des systèmes d'anti-intrusion pour la sécurité des bâtiments industriels, ainsi que des systèmes de péage automatique pour les autoroutes. Les cartes RFID à faible fréquence peuvent être utilisées pour les programmes de fidélité, les cartes de maintenance et de service, ainsi que les cartes de santé des véhicules. Enfin, la technologie RFID à faible fréquence peut être utilisée pour mesurer le poids des chargements des camions, que ce soit en charge ou à vide. (Voir Fig. I.10)



Fig.I.10: Système anti-vol des automobiles avec la technologie RFID

I.7.2 Applications industrielles:

- ✓ Identification et traçabilité dans divers domaines.
- ✓ Systèmes d'alarme et antivols pour les magasins, ainsi que les systèmes EAS.
- ✓ Identification et suivi d'alimentation des animaux dans le secteur de l'agriculture. (Voir Fig. I.12)
- ✓ Blanchisseries industrielles, nettoyage des draps d'hôtels, vêtements professionnels, etc.
- ✓ Suivi des arbres dans les villes pour des besoins de santé et d'arrosage.
- ✓ Gestion et suivi des chaînes de production et d'approvisionnement.
- ✓ Collecte et tri des déchets ménagers et professionnels.
- ✓ Contrôle d'accès dans des immeubles, des zones d'aéroports, ou des zones de haute sécurité.
- ✓ Bibliothèques pour le suivi de l'entrée et de la sortie des livres, le positionnement des ouvrages sur les étagères, les inventaires, etc. (Voir Fig. I.11)
- ✓ Suivi des palettes dans les magasins, pendant le transport.



Fig.I.11: Bibliothèque RFID

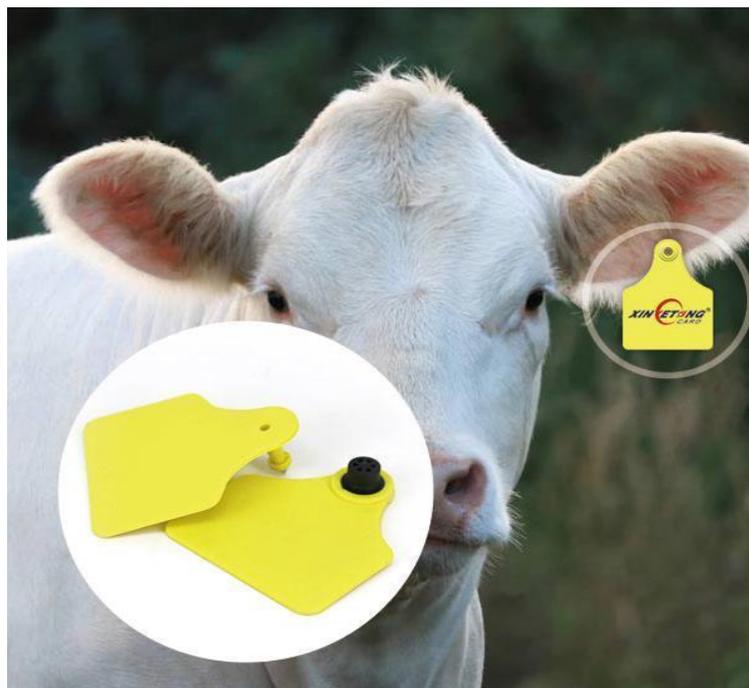


Fig.I.12: Suivre l'activité d'une vache à distance

I.7.3 Application sécurisée

- ✓ **Passeports électroniques** : L'ICAO est l'organisation qui a instauré l'utilisation des passeports électroniques. Les passeports ont des tags intégrés dans leur couverture qui sont conformes aux normes de l'ICAO pour la couche application (DOC 9303) et aux

normes ISO/IEC 14443 pour les couches inférieures. Les informations sur le détenteur du passeport sont stockées dans des groupes de données appelés "DG4". Le DG1 contient toutes les données écrites sur la zone destinée à la lecture automatique du passeport, appelée "MRZ". La MRZ comprend des informations telles que le nom et la date de naissance du titulaire ainsi que la date d'expiration du passeport. Le DG2 contient la photo du titulaire et le DG3, principalement utilisé en Europe, stocke les empreintes digitales du titulaire. (voir Fig.I.13)

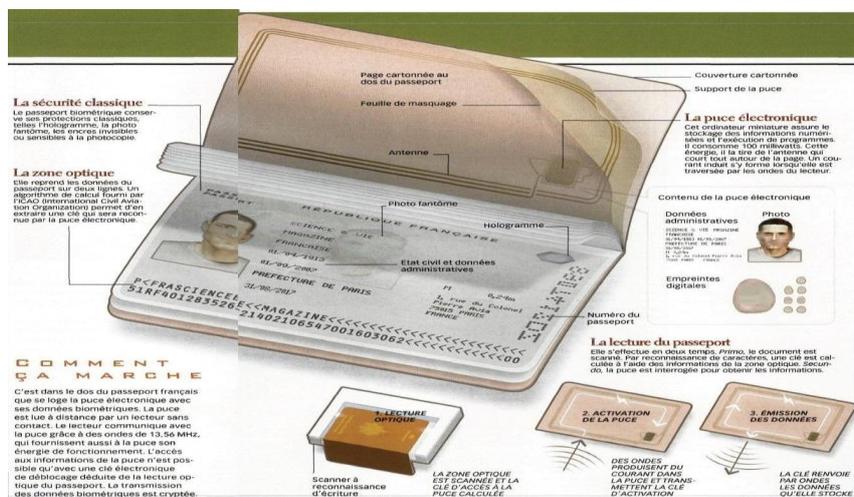


Fig.I.13:Passeport biométrique

I.8 Avantages et inconvénients de la technologie RFID

I.8.1 Avantages

- ✓ Automatisation et amélioration de la précision de la collecte de données.
- ✓ Réduction des coûts et de la main d'œuvre nécessaire pour la collecte de données.
- ✓ Amélioration de la visibilité et de la traçabilité des produits et des actifs.
- ✓ Réduction des erreurs de saisie de données.
- ✓ Augmentation de la productivité et de l'efficacité opérationnelle.
- ✓ Amélioration de la satisfaction client grâce à une meilleure gestion de l'inventaire et des livraisons.
- ✓ Possibilité de collecter des données en temps réel.

- ✓ Possibilité d'interroger des objets sans avoir besoin de contact direct ou de ligne de vue.

I.8.2 Inconvénients

Parmi les inconvénients de la RFID, nous pouvons citer :

- **Coût** : Les systèmes RFID peuvent être coûteux à mettre en place, en particulier pour les entreprises qui ont besoin de remplacer leur infrastructure existante pour intégrer la technologie RFID.
- **Limitation de la portée de lecture** : La portée de lecture de la RFID peut être limitée, ce qui signifie que les lecteurs doivent être positionnés de manière stratégique pour assurer une lecture précise des étiquettes.
- **Interférences** : Les interférences électromagnétiques peuvent perturber les signaux RFID, ce qui peut entraîner des problèmes de lecture et de transmission de données.
- **Sécurité** : Les données stockées sur les étiquettes RFID peuvent être interceptées et volées, ce qui peut compromettre la sécurité et la confidentialité des informations sensibles.
- **Standardisation** : Il n'y a pas de normes universelles pour la RFID, ce qui peut rendre difficile l'intégration et la communication entre différents systèmes.

I.9 Conclusion

En conclusion, le chapitre 1 de ce mémoire a présenté une vue d'ensemble générale de la technologie RFID, en abordant plusieurs points importants tels que le principe de fonctionnement, l'architecture, les bandes de fréquence, les applications, les avantages et les inconvénients. Nous avons appris que la technologie RFID utilise des ondes électromagnétiques pour échanger des données entre un lecteur et une étiquette, ce qui offre des avantages tels que la capacité à lire plusieurs étiquettes en même temps et la possibilité de fonctionner dans des environnements difficiles. Cependant, elle présente également des inconvénients tels que la distance de lecture limitée et le coût relativement élevé des

étiquettes. Nous avons également vu que la technologie RFID est utilisée dans de nombreuses applications telles que la logistique, la gestion d'inventaire, la sécurité et les soins de santé. En fin de compte, ce chapitre nous a donné une compréhension solide de la technologie RFID et de son potentiel en tant que solution pour de nombreux problèmes de suivi et de gestion de données.

Chapitre II: Système RFID

II.1 Introduction

Le rôle d'une antenne est de convertir l'énergie électrique d'un signal en énergie électromagnétique transportée par une onde électromagnétique (ou inversement). [20]

Dans ce deuxième chapitre, d'abord nous allons discuter sur les communications par étiquettes RFID, par la suite nous allons parler sur la distance de lecteur et l'hypothèse de puissance.

Ensuite, nous allons présenter quelques paramètres fondamentaux des antennes, ainsi que le système RFID UHF et SHF passif.

II.2 Principe de communication du système RFID

La communication entre l'étiquette RFID et le lecteur s'effectue soit par rayonnement électromagnétique, soit par couplage. Les bandes de fréquences standardisées les plus largement utilisées pour cette technologie sont les bandes basse fréquence (LF, 125-134 kHz), haute fréquence (HF, 13.56 Mhz), ultra haute fréquence (UHF, 890-960 mhz) et micro Ondes (2.4 GHz et 5.8 GHz). Parmi ceux-ci, LF et HF sont basés sur les couplages de flux magnétique quasi statique entre les lectures et les bobines d'étiquettes.

Les systèmes UHF et hyper fréquences impliquant une interaction électromagnétique entre les vraies antennes et permettant des liaisons de communication plus longues [21]. L'antenne ainsi que la sensibilité de la puce sont les facteurs importants pour décider de la performance globale de l'étiquette RFID en termes de taille global de distance de lecteur et de compatibilité avec les objets marquent.

II.2.1 Régions de champs

L'espace entourant une antenne est généralement subdivisé en trois régions, comme le montre la figure (Fig. II.1).[22]

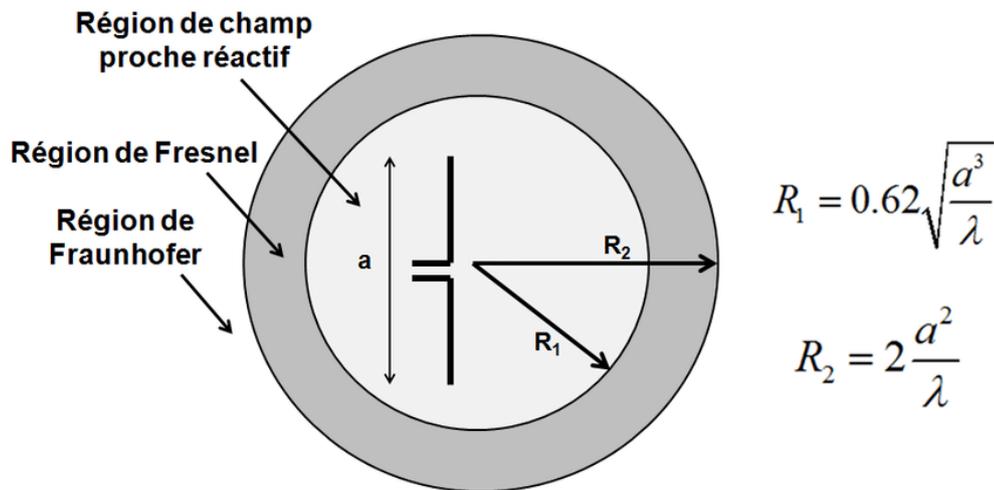


Fig.II.1:Régions de champ d'une antenne

- **Région de Rayleigh (Champ proche réactif)** : est définie comme la partie de la région de champ proche entourant immédiatement l'antenne.

$$R < 0.62 \sqrt{a^3/\lambda}$$

II.1

Où λ : est la longueur d'onde.

D : est la plus grande dimension de l'antenne.

- **Région Fresnel (Champ proche rayonnant)** : Est définie comme la région du champ d'une antenne située entre la région de champ proche réactif et la région de champ lointain. La limite intérieure est considérée comme étant la distance

$$R < 0.62 \sqrt{a^3/\lambda}$$

Et la frontière extérieure la distance $R < a^2/\lambda$.

- **Région Fraunhofer (Champ lointain)** : est définie comme la région du champ d'une antenne où la distribution du champ angulaire est indépendante de la distance à l'antenne. La région de champ lointain est généralement considérée comme existante à des distances de l'antenne.

$$R > a^2/\lambda$$



Fig.II.2:Représentation des zones de radiation d'une antenne

II.2.2 Mécanisme de couplage

La littérature scientifique s'appuie généralement sur la théorie optique pour mieux comprendre les mécanismes de rayonnement des antennes imprimées.(voir Fig. II.3)

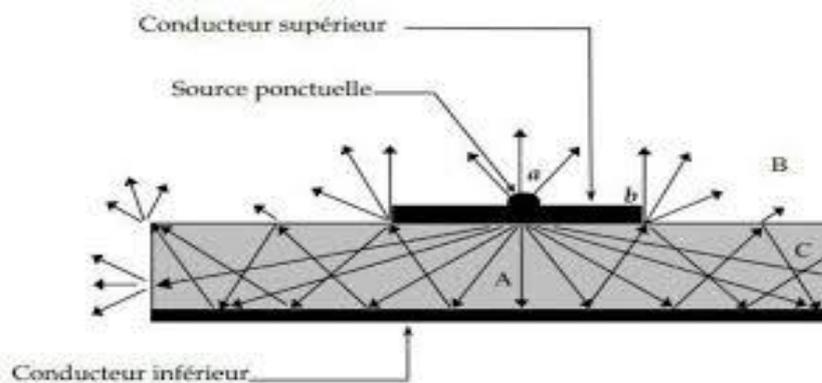


Fig.II.3:Mécanisme de rayonnement des antennes

Une source lumineuse ponctuelle placée en (a) émet un rayonnement uniforme dans toutes les directions.

Une partie de ce dernier est réfléchi par le plan de masse, puis par le conducteur supérieur et ainsi de suite. Certains de ces rayons aboutissent sur l'arrête du conducteur (b), qui les diffracte et par conséquent le champ se décompose en deux composantes normale et tangentielle par rapport au plan de masse.

Nous pouvons donc considérer trois domaines:

- **La région A :** Dans cette région, le champ électromagnétique s'accumule plus fortement, Cette propriété est également utilisée pour se propager le long des lignes micro-ruban. Quand les fréquences sont basses, Le champ électromagnétique est concentré dans cette région. Il y a donc une propagation sans rayonnement, c'est la plus dense en rayons.
- **Région B :** Zone d'espace libre au-dessus du substrat dans laquelle il y a une diffusion libre du champ. La contribution des sources fixes est faible. La majeure partie du rayonnement du rayonnement provient de l'extrémité du conducteur supérieur (point "B"), le reste du champ reste à l'intérieur du substrat et sera considéré comme une perte dans le diélectrique. On obtient ainsi une antenne dont l'efficacité radiative est très limitée.
- **Région C :** Certains rayons atteignent les surfaces de séparation (air isolant) avec du pâturage et restent piégés à l'intérieur de l'isolant. Il peut arriver que certains de ces rayons se dispersent lorsqu'ils atteignent le bord du substrat (point "c"), générant ainsi un rayonnement parasite. Cette dernière est à l'origine du couplage entre les éléments, lorsque les antennes imprimées sont connectées à un réseau. Au-dessus d'une fréquence spécifique, ce phénomène affecte fortement le rayonnement de l'antenne. Autrement dit, si la qualité du diagramme de rayonnement se détériore, en particulier au niveau du lobe secondaire. [23]

II.3 Paramètres fondamentaux des antennes ondes

II.3.1 Les paramètres circuits

II.3.1.1 L'impédance

L'impédance d'entrée de l'antenne est essentiellement l'impédance offerte par l'antenne à ses bornes. Il est défini comme le rapport de la tension au courant à travers les deux bornes d'entrée de l'antenne. Généralement, l'impédance de l'antenne est donnée comme:[24]

$$Z_a = R_a + jX_a \quad \text{II.2}$$

En général, la partie résistive R_a dans l'équation (II.2) se compose de deux éléments :

$$R_a = R_r + R_p \quad \text{II.3}$$

R_r : Résistance avec rayonnement.

R_p : Résistance avec perte.

- Si nous supposons que l'antenne est attachée à un générateur à impédance interne :

$$Z_g = R_g + jX_g \quad \text{II.4}$$

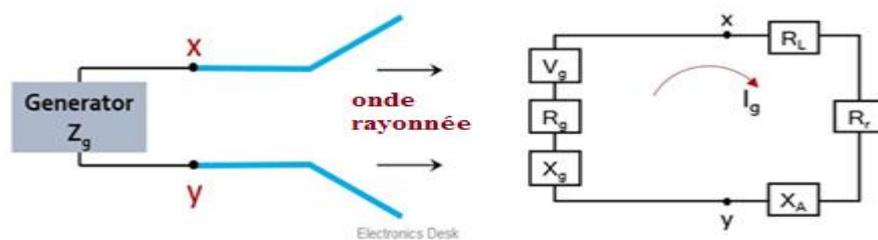


Fig.II.4: Antenne de réception et son schéma équivalent

L'impédance d'entrée est définie comme l'impédance présentée par une antenne à ses bornes ou le rapport de la tension au courant à une paire de bornes "X" et "Y" comme indiqué dans le figure (Fig. II.4).

II.3.1.2 Le coefficient de réflexion et Le coefficient de transmission

Les antennes sont généralement conçues pour correspondre à l'impédance caractéristique Z_0 réelle de la ligne de transmission (généralement 50Ω ou 75Ω) afin de minimiser le rapport d'ondes stationnaires (VSWR) [25]. Ensuite, définissez le coefficient de réflexion Γ de l'antenne comme

$$\Gamma = \frac{(Z_L - Z_0)}{(Z_L + Z_0)} \quad \text{II.5}$$

Le TOS est donné par la formule suivante :

$$TOS = \frac{1+\Gamma}{1-\Gamma} \quad \text{II.6}$$

Il se peut qu'il n'affiche pas la véritable impédance s'il n'y a pas de ligne de transmission entre l'antenne et la charge. Dans ce cas, nous devons maximiser la puissance transférée à la charge. On définit donc le coefficient de réflexion en puissance Γ^* (II.7) par :

$$\Gamma^* = \frac{(Z_L - Z_a^*)}{(Z_L + Z_a^*)} \quad \text{II.7}$$

Le coefficient de transmission de force T (II.8) peut être défini comme Elle correspond au rapport de la puissance transmise au consommateur sur la puissance totale maximale autorisée lui a transféré

$$T = 1 - |\Gamma^*|^2 \quad \text{II.8}$$

A partir de (II.5) et (II.8) Vous pouvez déduire la relation (II.9) reliant les coefficients de Transmettre à l'antenne et ses impédances de charge(Z_L, Z_a), en tenant compte de l'antenne à la réception.

$$T = \frac{4R_a R_L}{|Z_a + Z_L|^2} \quad \text{II.9}$$

II.3.1.3 Band passante (bandwith)

La largeur de bande d'une antenne désigne la plage de fréquences sur laquelle l'antenne peut fonctionner correctement. La largeur de bande de l'antenne est le nombre de Hz pour lequel l'antenne présentera un câble d'acier inférieur à 2:1

La bande passante peut également être décrite en termes de pourcentage de la fréquence centrale de la bande.

$$BP = \frac{\Delta f}{f_c} \times 100 \quad \rightarrow \quad BP = \frac{f_{max} - f_{min}}{f_c} \times 100 \quad \text{II.10}$$

f_{max} : est la fréquence la plus élevée dans la bande.

f_{min} : est la fréquence la plus basse dans la bande.

f_c : est la fréquence centrale dans la bande.

De cette façon, la bande passante est constante par rapport à la fréquence. Si la bande passante était exprimée en unités absolues de fréquence, elle serait différente selon la fréquence centrale. Différents types d'antennes ont des limites de bande passante différentes. [26]

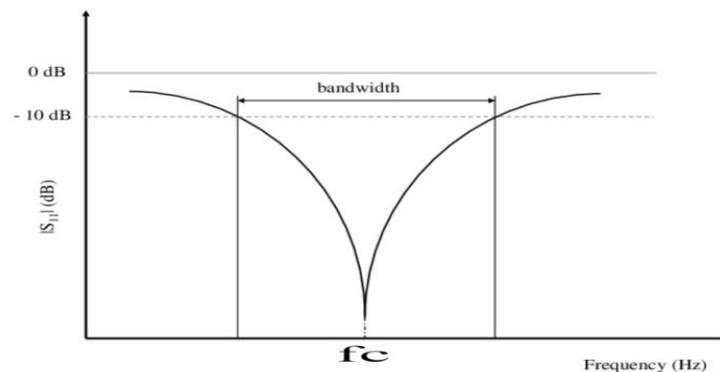


Fig.II.5: Bande passante et coefficient de réflexion

La bande passante peut être définie en fonction du coefficient de réflexion, à condition que le diagramme de rayonnement ne change pas sur cette bande. [27]

II.3.1.4 Le facteur de qualité Q

Le facteur de qualité Q du circuit résonant est exprimé par :

$$Q = 2\pi \frac{\text{énergie stockée par cycle}}{\text{l'énergie rayonnée et l'énergie dissipée par}} \quad \text{II.11}$$

Pour une antenne, l'énergie perdue correspond à l'énergie rayonnée et à l'énergie dissipée par les pertes de conduction et par les pertes diélectriques. (Équation II.11)

La bande passante BP est liée au facteur de qualité Q du circuit RLC à la fréquence de résonance. Le facteur de qualité décrit la quantité de résistance présente pendant la résonance. [20]

$$Q = \frac{f_{res}}{BP} \quad \text{II.12}$$

Une antenne à Q élevé rayonne très efficacement à des fréquences de rayonnement sur une bande de fréquences très étroite.

Les antennes à faible facteur de qualité Q sont à large bande, mais elles captent le bruit présent dans la bande de fonctionnement et dégradent la qualité du signal reçu. [20]

II.3.1.5 La distance de lecture

Est l'un des facteurs les plus importants dans l'évaluation des performances d'une conception d'antenne d'étiquette. Cette distance, également appelée "distance de lecture", est donnée par la formule. [28]

$$r = D_{max} = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{EIRP \times G_{tag} \times \Gamma}{P_{th}}} \quad \text{II.13}$$

Où :

G_{tag} : Le gain de l'antenne du tag.

$EIRP$: Puissance isotrope rayonnée équivalente.

P_{th} : Sensibilité de la puce.

Γ : est le coefficient de transmission donné comme dans l'équation II.14. [29]

$$\Gamma = \frac{4R_p R_a}{|Z_p + Z_a|} \leq 1 \quad \text{II.14}$$

Noté que :

$Z_p = R_p + jX_p$: Impédance de la puce.

$Z_a = R_a + jX_a$: Impédance de l'antenne.

II.3.2 Les paramètres de rayonnement

II.3.2.1 Directivité

La directivité d'une antenne est définie comme le rapport de l'intensité de rayonnement dans une direction donnée de l'antenne à l'intensité de rayonnement moyennée dans toutes les directions, et mathématiquement peut être exprimée comme [30]

$$D(\theta, \varphi) = \frac{(4 \cdot \pi \cdot U_{\max})}{P_r} \quad \text{II.15}$$

II.3.2.2 Le gain

Le gain d'antenne est parfois appelé fonction de l'angle. Dans ce cas, nous traçons essentiellement le diagramme de rayonnement, où les unités (ou l'ampleur du diagramme) sont mesurées en gain d'antenne.

Le terme Gain d'antenne décrit la quantité de puissance transmise dans la direction du pic de rayonnement à celle d'une source isotrope. Le gain d'antenne est plus souvent cité que la directivité dans la fiche technique d'une antenne parce qu'il tient compte des pertes réelles qui se produisent.

Le gain d'antenne (G) peut être lié à la directivité (D) et à son rendement η

$$G(\theta, \varphi) = \eta \times D(\theta, \varphi) \quad \text{II.16}$$

Et on a le gain $G(\theta, \varphi)$ d'antenne en fonction de l'intensité de puissance rayonnée dans une certaine direction $U(\theta, \varphi)$ et de puissance totale qui serait rayonnée par une antenne isotrope sans pertes P_A . [31]

$$G(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{U(\theta, \varphi)}{P_A} \quad \text{II.17}$$

II.3.2.3 La polarisation

La polarisation est une autre considération importante pour les antennes de lecteurs RFID. Pour maximiser la portée de l'étiquette, la polarisation de l'antenne doit être adaptée à celle de l'antenne du lecteur. [32]

On distingue les types de polarisations :

- **Polarisation linéaire** : pour la polarisation linéaire, le vecteur reste dans un plan que l'onde se propage à travers l'espace. La polarisation linéaire comporte deux sous-catégories : polarisation verticale ou polarisation horizontale. Le terme utilisé pour décrire la relation entre les grandeurs des deux composants de champ électrique polarisés linéairement. (voir Fig. II.6)
- **Polarisation circulaire et elliptiquement** : La polarisation circulaire et elliptiquement comporte deux sous-catégories : droitier ou gaucher polarisation. Dans une onde polarisée circulaire pure les deux composants de champ électrique ont magnitude et le rapport axial, AR, est de 1 ou 0 dB ($10 \log AR$). Dans une onde polarisée linéairement pure, le rapport axial est égal à l'infini ($AR=\infty$). (voir Fig. II.6)

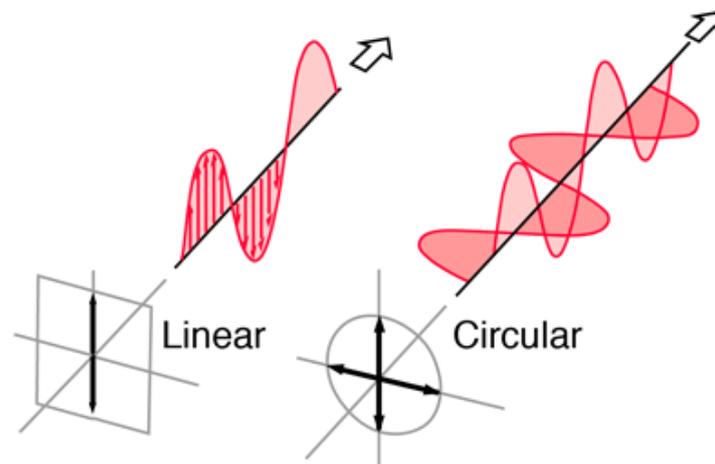


Fig.II.6:polarisation linéaire et polarisation circulaire [26]

II.3.2.4 Efficacité de l'antenne

Un certain nombre de gains d'efficacité sont associés à une antenne et peuvent être définis à l'aide de la figure 7 [28]. L'efficacité totale de l'antenne e_0 est utilisée pour tenir compte des pertes aux bornes d'entrée et dans la structure de l'antenne. Ces pertes peuvent être dues, conformément à la figure 7(b), à

1. Réflexions en raison du décalage entre la ligne de transmission et l'antenne.
2. Pertes RI^2 (conduction et diélectrique).

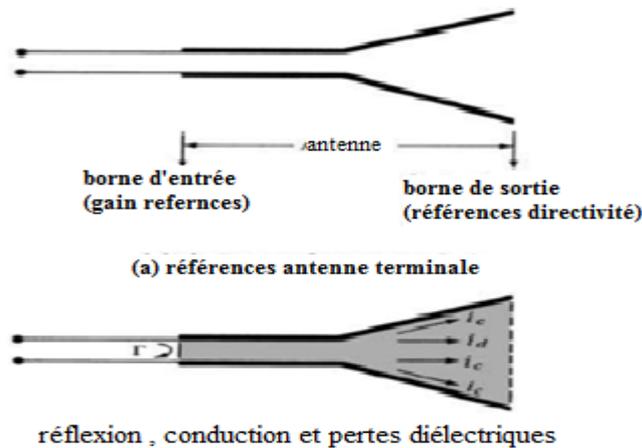


Fig.II.7:Bornes de référence et pertes d'une antenne

En général, l'efficacité globale peut s'écrire comme suit :

$$e_0 = e_r e_c e_d \quad \text{II.18}$$

e_0 = efficacité totale (sans dimension).

e_r = réflexion (non-concordance) efficacité = $(1 - |\Gamma|^2)$ (sans dimension).

e_c = efficacité de conduction (sans dimension).

e_d = rendement diélectrique (sans dimension).

Γ = coefficient de réflexion de la tension aux bornes d'entrée de l'antenne (Équation II.18).

Habituellement e_c , e_d sont très difficiles à calculer, mais ils peuvent être déterminés expérimentalement. Même par des mesures, ils ne peuvent pas être séparés, et il est généralement plus commode d'écrire comme

$$e_0 = e_r e_{cd} = e_{cd}(1 - |\Gamma|^2) \quad \text{II.19}$$

Où

$e_{cd} = e_c e_d$ = L'efficacité du rayonnement de l'antenne, qui est utilisé pour relier le gain et la directivité.

II.3.2.5 Le diagramme de rayonnement

Le rayonnement est le terme utilisé pour désigner l'émission ou la réception d'un front d'onde sur une antenne, en précisant sa puissance. Dans toute illustration, le dessin dessiné pour représenter le rayonnement d'une antenne est son diagramme de rayonnement. En observant le diagramme de rayonnement de l'antenne, la fonction et la direction de l'antenne peuvent être facilement comprises.

La puissance émise par l'antenne fonctionne dans la plage proche et lointaine. [33]

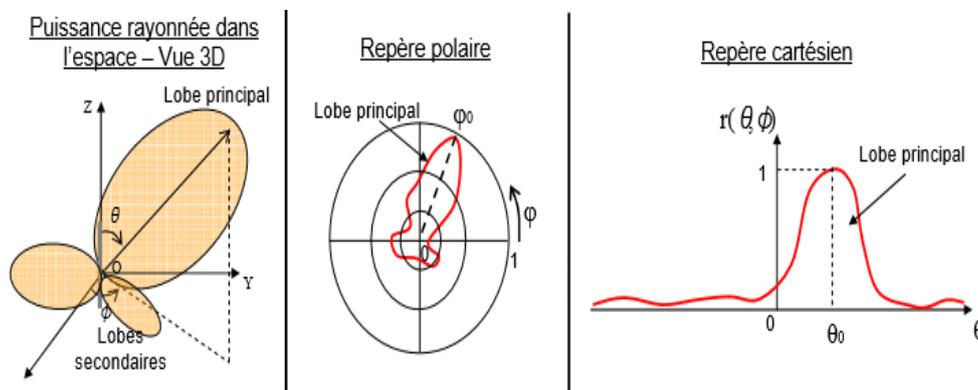


Fig.II.8: Représentation du diagramme de rayonnement d'une antenne

Avec :

$$R(\varphi, \theta) = \frac{P(\theta, \varphi)}{P_0(\theta_0, \varphi_0)} \quad \text{II.20}$$

$P(\theta, \varphi)$: Puissance rayonnée dans une direction quelconque.

$P_0(\theta_0, \varphi_0)$: Puissance rayonnée max.

$R(\varphi, \theta)$: La fonction caractéristique. [34]

Un diagramme de rayonnement aide à identifier la région spatiale autour de l'antenne et les directions dans lesquelles elle est fortement ou faiblement rayonnée. Bien que chaque diagramme de rayonnement soit spécifique à une antenne, il est possible de définir trois types typiques de diagrammes de rayonnement. [35]

- **Antenne isotrope** : Une antenne qui émet de l'énergie de manière égale dans toutes les directions spatiales. Cette antenne est purement théorique et sert de référence. Détermination de la directivité ou du gain de l'antenne réelle.
- **Antenne omnidirectionnelle** : se caractérise par la faculté à rayonner de manière égale dans toutes les directions contenues dans un plan.
- **Antenne directive** : est une antenne qui va concentrer l'énergie qu'elle rayonne dans une direction de l'espace.

II.4 Le système RFID passif

II.4.1 Transfert maximum de puissance

L'équivalent de Thévenin est utile pour trouver la puissance maximale qu'un circuit linéaire peut fournir à une charge. Nous supposons que nous pouvons ajuster la résistance de charge RL. [36]

Si l'ensemble du circuit est remplacé par son équivalent Thévenin à l'exception de la charge, comme illustré à la figure (Fig. II.9).

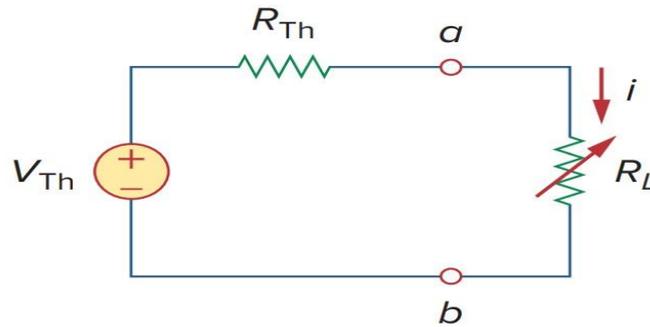


Fig.II.9:Circuit général pour transfert maximum de puissance

La puissance fournie à la charge est :

$$P = i^2 R_L = \left(\frac{V_{th}}{R_{th} + R_L} \right)^2 R_L \quad \text{II.21}$$

La puissance maximale est transférée à la charge lorsque la résistance de charge est égale à la résistance Thévenin vue de la charge ($R_L = R_{Th}$).

Pour prouver le théorème de transfert de puissance maximum, nous différencions p dans l'équation. (II.21) par rapport à R_L et définissez le résultat égal à zéro. On obtient

$$\frac{dP}{dR_L} = V_{Th}^2 \left[\frac{(R_{th} + R_L)^2 - 2R_L(R_{th} + R_L)}{(R_{th} + R_L)^4} \right] \quad \text{II.22}$$

$$= V_{Th}^2 \left[\frac{(R_L + R_{th} - 2R_L)}{(R_{th} + R_L)^3} \right] = 0 \quad \text{II.23}$$

Cela implique que

$$0 = (R_L + R_{th} - 2R_L) = (R_{th} - R_L) \quad \text{II.24}$$

Qui donne

$$R_{th} = R_L \quad \text{II.25}$$

Montrant que le transfert de puissance maximal a lieu lorsque la résistance de charge R_L est égale à la résistance de Thévenin R_{Th} . Nous pouvons facilement confirmer que l'équation (II.25) donne la puissance maximale en montrant que :

$$\frac{d^2 P}{dR_L^2} < 0$$

La puissance maximale transférée est obtenue en remplaçant l'équation (II.25) dans l'équation (II.21)

Pour :

$$P_{max} = \frac{V_{Th}^2}{4R_{Th}} \quad \text{II.26}$$

II.4.2 Équation de transmission Friis

Les antennes d'émission et de réception se font face. On suppose que les deux antennes sont orientées dans la direction de leur maximum d'émission et de réception et sont disposées à une distance D_r l'une de l'autre comme illustré da la figure (Fig. II.10). On veut calculer la puissance détectée P_{Rx} dans l'antenne de réception connaissant la puissance P_{Tx} alimentant l'antenne d'émission. On connaît les caractéristiques des antennes utilisées, à savoir les gains de l'antenne d'émission G_{Tx} et de réception G_{Rx} . [37]

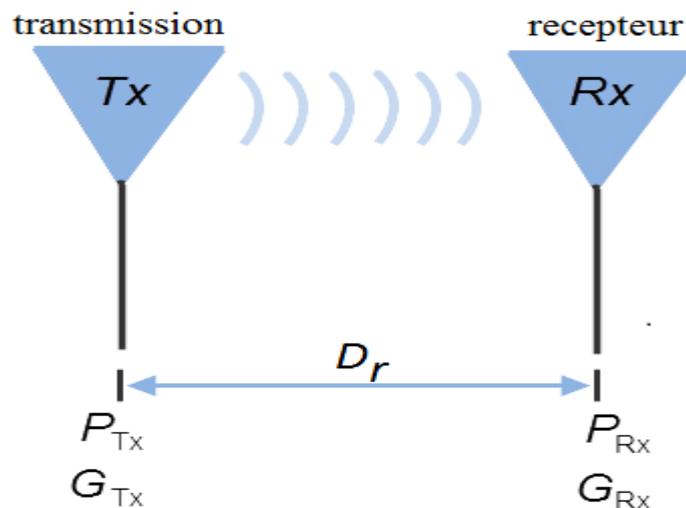


Fig.II.10:Equation de transmission Friis

Le gain de l'antenne d'émission G_{Tx} s'écrit en fonction de la puissance surfacique U par unité d'angle solide.

$$G_{Tx} = \frac{U}{P_{Tx}/4\pi} \quad \text{II.27}$$

L'intensité de l'onde au niveau de la réception vaut :

$$I = \frac{U}{D_r} \quad \text{II.28}$$

L'intensité de l'onde I au niveau de l'antenne de réception est donc liée au gain de l'antenne d'émission.

$$I = \frac{G_{Tx}P_{Tx}}{4\pi/D_r^2} \quad \text{II.29}$$

D'après la formule : $P_{Rx} = IG_{Rx} \frac{\lambda^2}{4\pi}$

Ce qui donne : $P_{Rx} = G_{Tx}G_{Rx} \left(\frac{\lambda}{4\pi D_r}\right)^2 P_{Tx}$ II.30

II.5 Tags dans le système RFID

II.5.1 Types d'antennes

Les antennes peuvent être regroupées en cinq grandes familles, largement reconnaissables à leur forme [38] :

II.5.1.1 Antenne dipolaire

Une antenne dipôle se compose de deux fils très courts et alignés, chacun connecté à deux fils parallèles très proches pour former une ligne bifilaire comme le montre la figure suivante.

En émission, cette ligne est reliée à un générateur alternatif, caractérisé par sa fréquence et son impédance interne.

À la réception la ligne bifilaire est branchée sur un récepteur.

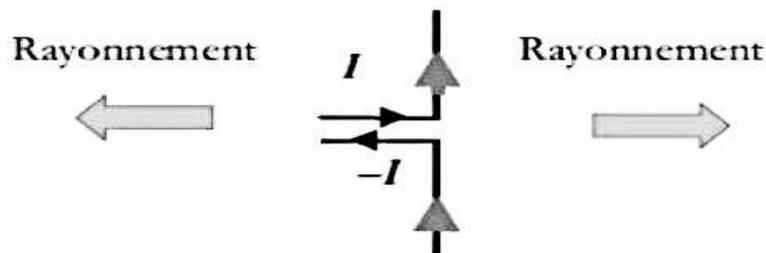


Fig.II.11:Antenne dipolaire

Dans une ligne bifilaire, les courants sont dans la direction opposée, tandis que dans un dipôle, les courants sont dans la même direction. L'influence de ces deux courants s'annule dans la ligne bifilaire. Ce sont les courants variables, de même sens, qui rayonnent et créent l'onde électromagnétique dans l'espace. En raison de la symétrie du dipôle, le rayonnement a lieu autour axes, matérialisés par du fil. Il est isotrope dans un plan perpendiculaire à cet axe. Le rayonnement est nul dans la direction du fil. On ne peut donc pas parler de rayonnement isotrope.[38]

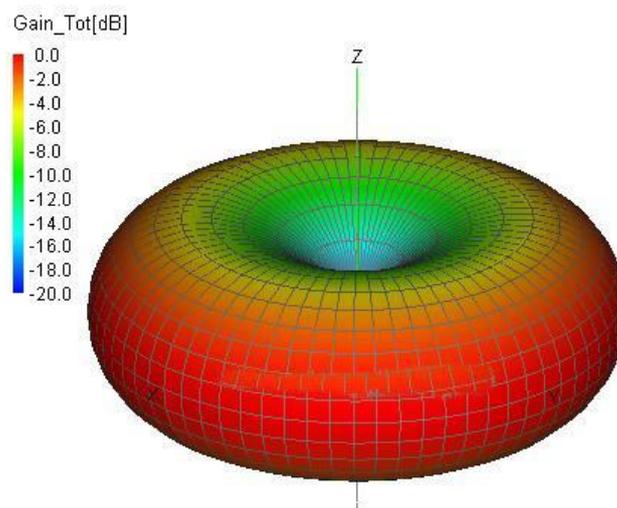


Fig.II.12:Diagramme de rayonnement en 3d de l'antenne dipôle

II.5.1.2 Antenne patch

L'antenne patch appelée aussi antenne plaquée, est un nouveau type d'antenne dont le développement et l'utilisation sont de plus en plus fréquents. Il se compose d'un diélectrique qui a une surface métallique de mise à la terre sur un côté, également connue comme le substrat qui est séparé le patch de plan de masse.

Il existe différentes formes d'antenne patch, en fonction des propriétés requises et de la méthode d'alimentation. (Voir Fig. II.13)

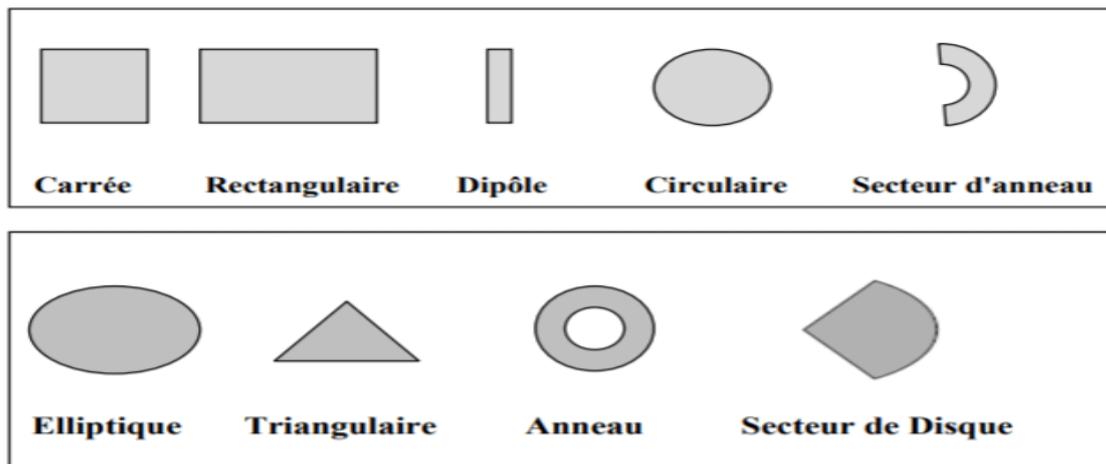


Fig.II.13:Différentes formes d'antenne patch

L'antenne patch qui est conçue principalement en contrôlant par deux paramètres la longueur (L) et la largeur (W). Le paramètre (L) contrôle la fréquence de résonance et (W) a un impact important sur l'impédance d'entrée comme montre la figure (Fig. II.14).

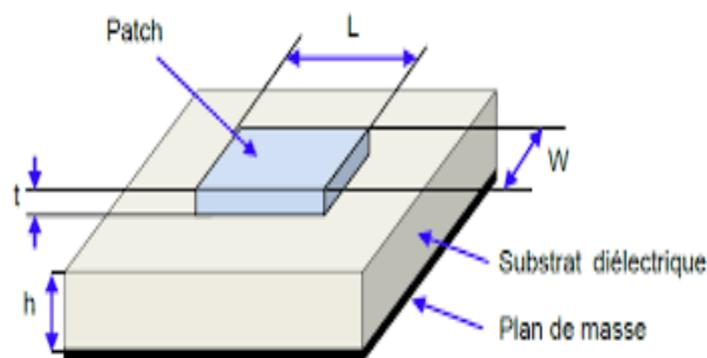


Fig.II.14:antenne patch avec les dimensions

Une antenne fournit un gain élevé qui atteint généralement 5 dbi à 7 dbi. Tout en conservant un diagramme de rayonnement plus orienté dans une direction perpendiculaire à la surface du patch comme illustré dans (Fig. II.15).[38]

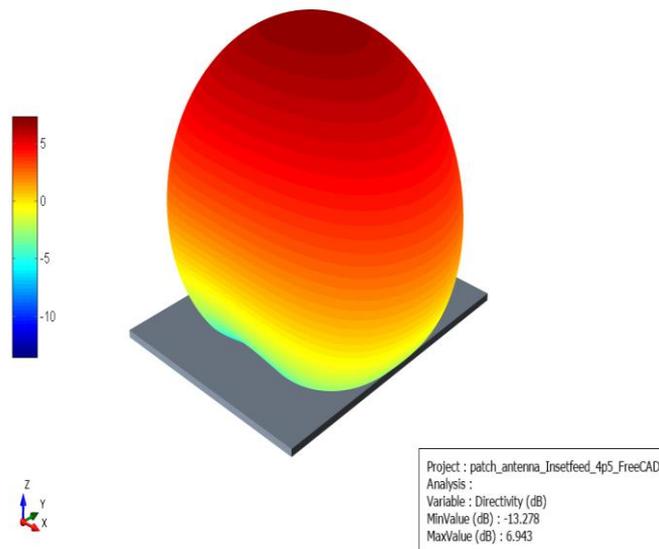


Fig.II.15:Diagramme de rayonnement d'antenne patch

II.5.1.3 Les antennes à ouverture (cornet)

Un dispositif largement utilisé pour propager des ondes guidées est le guide d'onde rectangulaire. Sa qualité de transmission est excellente. Pour cette raison, il est utilisé en haute fréquence. Son utilisation est très répandue dans les micro-ondes. Le transformateur de puissance électromagnétique contrôlée en puissance rayonnée est une antenne d'angle (Fig. II.16). Sa forme permet une transition progressive des dimensions du guide d'onde vers l'espace libre.

Les transitions ont différentes formes : linéaire, exponentielle... Le cornet sert de dispositif d'adaptation entre l'impédance de la sirène et l'impédance du vide.

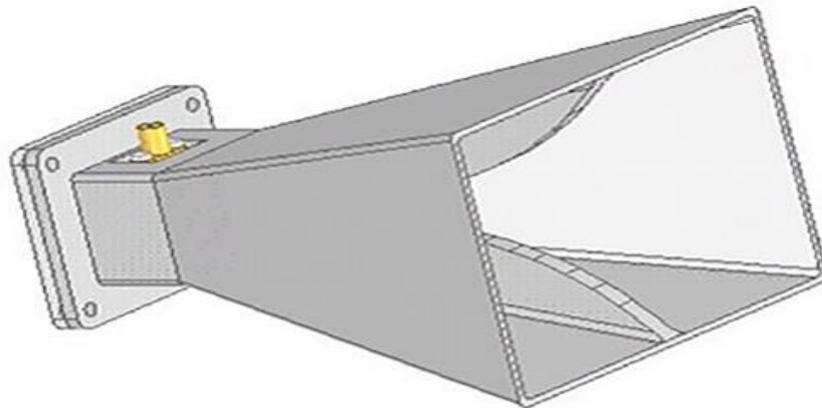


Fig.II.16:Les antennes à ouverture (cornet)

Un guide d'ondes est un dispositif à micro-ondes largement utilisé en raison de sa très faible perte de propagation même à des fréquences élevées et de sa capacité à résister à la puissance.

De ce fait, les antennes cornets qui lui sont associées sont également largement utilisées comme moyen de conversion d'une onde guidée en une onde rayonnée. Nous les trouvons dans toutes les bandes de fréquences, dans de nombreux systèmes comme les radars, les antennes paraboliques.[38]

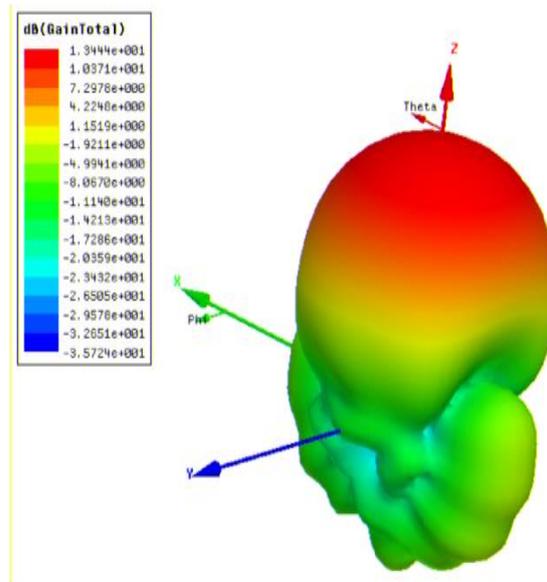


Fig.II.17:Diagramme de rayonnement d'antenne cornet

II.5.1.4 Antenne de fentes

Lors de l'utilisation d'un guide d'onde comme dispositif de transmission, il est possible d'anticiper un rayonnement dans une direction différente de l'axe du guide en usinant des fentes dans le corps du guide. (Fig. II.18)

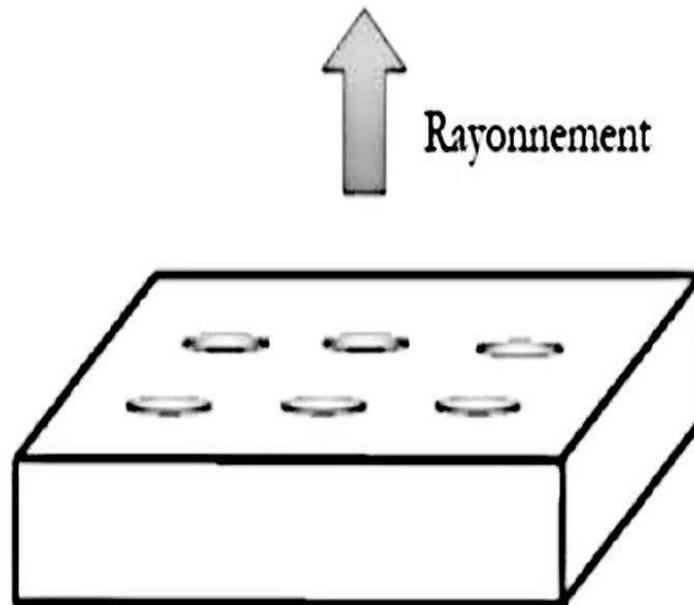


Fig.II.18: Réseau de fentes

Le rayonnement s'effectue alors perpendiculairement au plan perforé de la ligne. Ce type d'appareil est utilisé lorsque le rayonnement doit être localisé. Par exemple, dans les tunnels où la transmission des ondes est faible, on peut placer un réseau de fentes de rayonnement. Généralement, la ligne est au sommet du tunnel avec des émissions descendantes.[38]

II.5.1.5 Les antennes à réflecteurs (paraboles)

Une antenne à réflecteur est constituée d'une source de rayonnement reliée à une pièce métallique réfléchissante, souvent de forme parabolique montré dans la figure suivante.

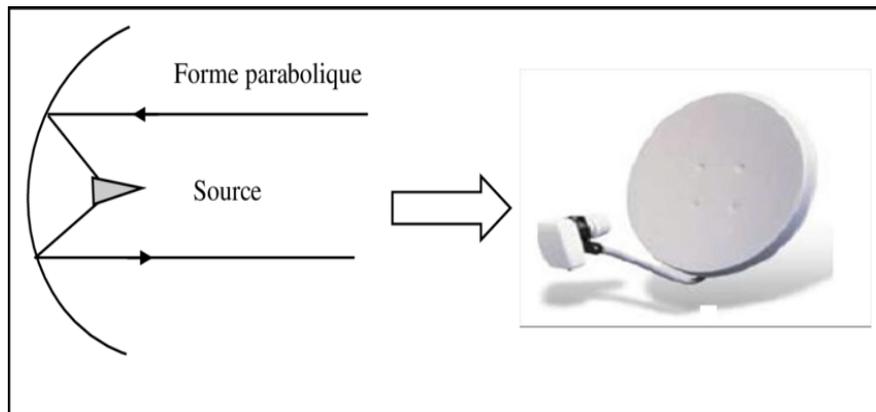


Fig.II.19:Les antennes à réflecteurs (paraboles)

Une source située au foyer de la parabole envoie une onde vers le réflecteur parabolique. Selon la propriété bien connue d'une parabole, tous les rayons sont réfléchis parallèlement.

Ces antennes permettent de recevoir un signal d'un satellite situé à très grande distance. Les antennes de ce type sont largement utilisées pour la réception de la télévision. Leur orientation est choisie pour viser satellite spécifique.

Afin d'éviter les perturbations par la pluie ou la neige, Ces antennes sont généralement recouvertes d'un radôme. C'est le cas des antennes qui sont très sensibles aux conditions utilisées pour la transmission hertzienne. Ils sont reconnaissables à leur forme, parabolique à l'arrière et conique à l'avant en raison de la forme du couvercle qui protège la source située dans le foyer.[38]

II.5.2 Alimentation des antennes microbandes

L'alimentation des antennes micro ruban joue un rôle crucial dans leur conception, car elle permet de transférer l'énergie en hyperfréquence du système de transmission vers l'antenne. Les techniques d'alimentation utilisées peuvent affecter l'adaptation d'impédance d'entrée, la polarisation, les modes de fonctionnement, le rayonnement parasite, les ondes de surface et la géométrie de l'antenne.

Les techniques d'alimentation des antennes imprimées peuvent être classées en deux catégories principales : l'alimentation par contact (sonde ou ligne micro-ruban) et

l'alimentation sans contact (couplage électromagnétique par ligne ou par fente). Il est important de comprendre les avantages et les inconvénients de chaque technique pour choisir la plus appropriée pour une application donnée.

En outre, la sélection de la technique d'alimentation appropriée peut affecter les performances globales de l'antenne, notamment en termes de gain, de directivité, de bande passante et d'efficacité. Par conséquent, une analyse approfondie des techniques d'alimentation est nécessaire pour optimiser la conception de l'antenne et améliorer ses performances. [38]

II.5.2.1 Alimentation par câble coaxial

Il s'agit d'une des techniques de base utilisées pour alimenter la puissance micro-ondes. Le câble coaxial est connecté à l'antenne de sorte que son conducteur extérieur soit fixé au plan de masse tandis que le conducteur intérieur est soudé au patch métallique. [39]

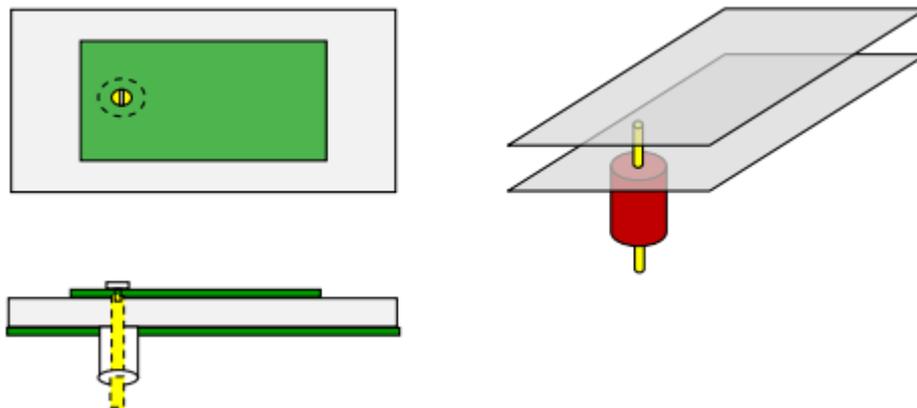


Fig.II.20:Alimentation par câble coaxial

L'alimentation coaxiale est simple à concevoir, facile à fabriquer, facile à assortir et a une faible radiation parasite. Cependant, l'alimentation coaxiale présente l'inconvénient de nécessiter une grande précision de soudure. Il y a des difficultés à utiliser l'alimentation coaxiale avec un réseau d'antennes car un grand nombre de joints de soudure seront nécessaires. L'alimentation coaxiale donne généralement une bande passante étroite et lorsqu'un substrat épais est utilisé, une sonde plus longue sera nécessaire, ce qui augmente la

puissance de surface et l'inductance d'alimentation techniques de base utilisées pour alimenter la puissance micro-ondes. Le câble coaxial est connecté à l'antenne de sorte que son conducteur extérieur soit fixé au plan de masse tandis que le conducteur intérieur est soudé au patch métallique, ce qui augmente la puissance de surface et l'inductance d'alimentation. [40] [41]

II.5.2.2 Alimentation par ligne microruban

Dans l'alimentation par ligne microstrip, le patch est alimenté par une ligne microstrip située sur le même plan que le patch. Dans ce cas, à la fois l'alimentation et le patch forment une seule structure. L'alimentation microstrip est simple à modéliser, facile à mettre en correspondance et facile à fabriquer. C'est également un bon choix pour une utilisation dans les réseaux d'alimentation d'antennes en réseau. Cependant, l'alimentation microstrip présente l'inconvénient d'une bande passante étroite et de l'introduction d'un couplage entre la ligne d'alimentation et le patch, ce qui entraîne une radiation parasite et nécessite une mise en correspondance entre le patch microstrip et la ligne d'alimentation de 50Ω . L'alimentation microstrip peut être classée en 3 catégories :

- L'alimentation directe :** dans le cas de l'alimentation directe d'un patch d'antenne par une ligne microstrip, le point d'alimentation est situé sur un bord du patch, comme illustré dans la figure (Fig. II.21). Cette configuration nécessite un réseau d'adaptation entre la ligne d'alimentation et le patch (tel qu'un transformateur quart d'onde). Le transformateur quart d'onde compense les différences d'impédance entre le patch et la ligne d'alimentation de 50 ohms. Le calcul du transformateur quart d'onde se fait à l'aide de formules qui peuvent être trouvées dans différentes sources. [40][42]

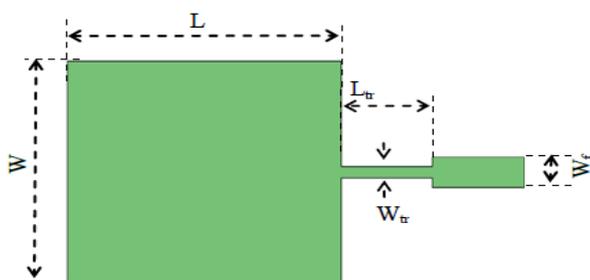


Fig.II.21:L'alimentation directe

L : Longueur du patch
W : Largeur du patch
w_f : Largeur de la ligne d'alimentation de 50 ohms
L_{tr} : Longueur du transformateur quart

- **L'alimentation par incrustation** : est une méthode d'alimentation d'une antenne dans laquelle le point d'alimentation est situé à l'intérieur du patch d'antenne. L'emplacement de l'alimentation est le même que celui utilisé pour une alimentation coaxiale. La ligne d'alimentation de 50 ohms est entourée d'un espace d'air jusqu'au point d'alimentation, comme illustré dans la figure (Fig. II.22). Cette configuration permet de fournir le signal directement à l'intérieur du patch, offrant ainsi une méthode alternative à l'alimentation directe ou à d'autres techniques d'alimentation. [39][41]
- **L'alimentation par couplage** avec espace d'air, la ligne d'alimentation ne touche pas directement le patch d'antenne. Il existe un espace d'air entre la ligne de 50 ohms et le patch, comme illustré dans la figure (Fig. II.23). L'antenne est alimentée par le couplage entre la ligne d'alimentation de 50 ohms et le patch.

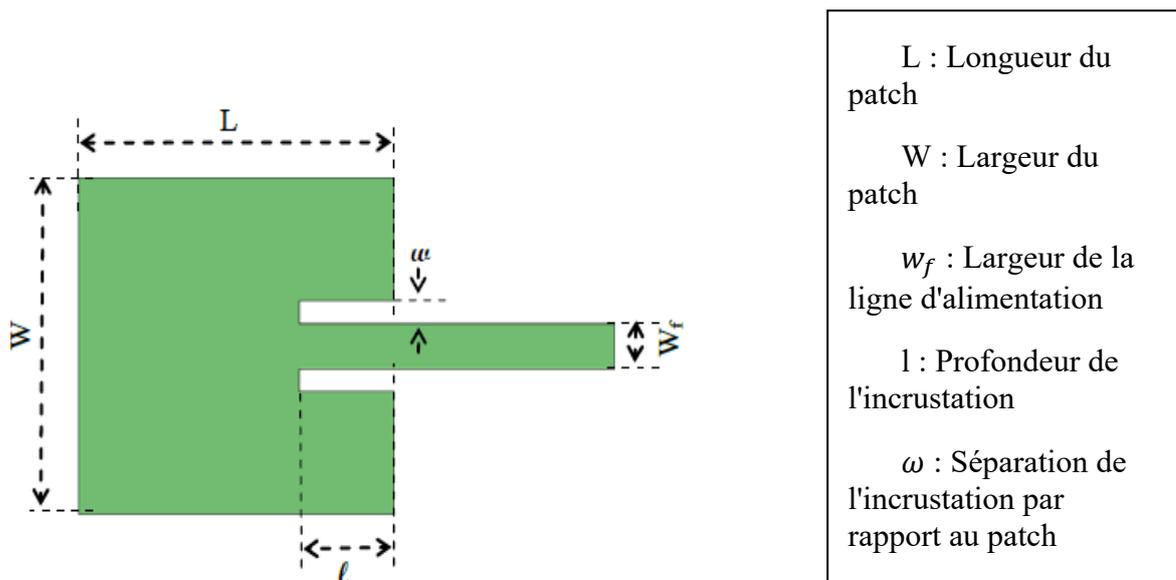


Fig.II.22:L'alimentation par incrustation

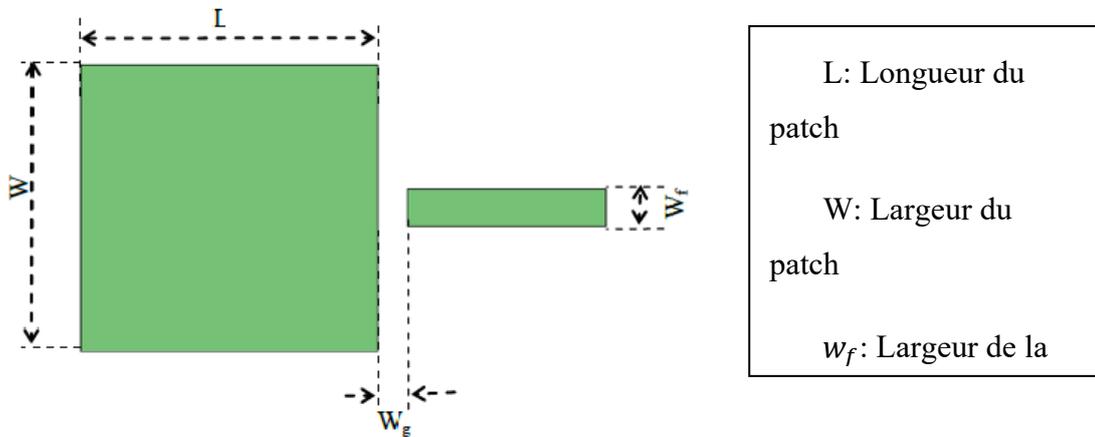


Fig.II.23:L'alimentation par couplage

II.5.2.3 Comparaison entre alimentation par câble coaxial et par ligne micro ruban

Les types d'alimentation les plus utilisés sont l'alimentation par câble coaxial et l'alimentation par ligne micro ruban, à cause de facilité de mise en œuvre.

Tableau II.1:Comparaison entre alimentation par câble coaxial et par ligne micro ruban [43]

Caractéristiques	Alimentation Par micro ruban	Alimentation Coaxial
Rayonnement parasite	Plus	Plus
Fiabilité	Meilleur	Pauvre
Facilité de fabrication	Facile	Soudure et Forage requis
Bande passante	2 à 5%	2 à 5%

II.6 Conclusion

Les antennes sont des dispositifs fondamentaux pour les communications sans fil et les systèmes de transmission de signaux. Les différents types d'antennes offrent des performances et des caractéristiques uniques, telles que la directivité, le gain, la polarisation et la largeur de bande, qui sont optimisées pour différents besoins en matière de communication. En comprenant les paramètres fondamentaux des antennes, il est possible de sélectionner la meilleure antenne pour une application donnée, ce qui peut améliorer l'efficacité et la qualité des transmissions de signaux.

De plus, les paramètres fondamentaux et les types d'antennes sont importants pour la communication par étiquette RFID, car ils influencent la portée, la précision et l'efficacité de la communication. En comprenant ces paramètres et ces types d'antennes, il est possible de choisir la meilleure antenne pour une application RFID donnée, ce qui peut améliorer la qualité et la précision des communications.

Chapitre III: Conception et simulation

III.1 Introduction

Le chapitre précédent a exposé les principales caractéristiques des antennes RFID et en particulier celles des antennes de lecteurs RFID. Dans ce chapitre, nous allons nous intéresser à la conception et à la simulation des antennes patch circulaire pour un lecteur RFID. Cette antenne sera destinée à être utilisée dans une application RFID spécifique, nécessitant une portée de lecture optimale et une couverture angulaire étendue.

La conception d'une antenne RFID est un processus complexe qui nécessite la prise en compte de nombreux paramètres, tels que la fréquence de fonctionnement, l'impédance, la bande passante, la directivité, la polarisation, l'efficacité, la taille et la forme de l'antenne. Le choix de la méthode de simulation est également crucial pour valider les performances de l'antenne.

Dans ce chapitre, nous allons présenter les différentes étapes de conception et de simulation d'une antenne circulaire de lecteur RFID en utilisant le logiciel de simulation électromagnétique CST Microwave Studio. Nous allons aborder les principes de conception de l'antenne, la modélisation de la structure, la simulation et l'analyse des résultats. [44]

III.2 Logiciel CST Microwave Studio

III.2.1 Présentation générale

CST Microwave Studio est un logiciel de simulation électromagnétique très puissant et largement utilisé dans l'industrie des hautes fréquences et des micro-ondes. Il permet de simuler et de concevoir des antennes, des circuits et des systèmes complexes à travers une interface graphique conviviale.

Le logiciel CST Microwave Studio utilise la méthode des éléments finis (FEM) pour résoudre les équations de Maxwell dans des structures électromagnétiques tridimensionnelles. Cette méthode permet une analyse précise des propriétés électromagnétiques des structures, telles que l'impédance, la bande passante, la directivité, la polarisation, l'efficacité et la réponse en fréquence.

Le logiciel CST Microwave Studio offre également de nombreuses fonctionnalités pour la conception et l'optimisation des structures électromagnétiques, telles que l'optimisation

paramétrique, la bibliothèque de matériaux, les scripts de simulation et l'analyse de sensibilité.

CST Microwave Studio est utilisé dans de nombreux domaines, tels que les télécommunications, les antennes, les circuits imprimés, les radars, les systèmes d'imagerie, les capteurs, l'aérospatiale, la défense et la médecine. [45]

III.2.2 L'utilisation de CST dans le domaine de RFID

Le logiciel CST Microwave Studio est particulièrement utile pour la conception et l'optimisation des antennes RFID. En effet, la technologie RFID repose sur la communication entre un lecteur et un tag RFID, qui sont tous deux équipés d'antennes. Les antennes doivent être conçues de manière à émettre et recevoir des signaux électromagnétiques de manière efficace, tout en garantissant une bonne portée et une faible consommation d'énergie.

Le logiciel CST permet de modéliser et simuler la communication entre l'antenne du lecteur et l'antenne du tag RFID, en prenant en compte les caractéristiques du milieu environnant, les propriétés des matériaux, ainsi que les paramètres de conception tels que la forme, la taille, le nombre de tours et la polarisation de l'antenne. Cela permet de réaliser des simulations pour optimiser la conception des antennes RFID afin de garantir une communication fiable et efficace. [46]

En somme, CST Microwave Studio est un outil précieux pour la conception et l'optimisation des antennes RFID, qui sont des éléments clés de la technologie RFID.

III.3 Les antennes patch circulaires

Outre le patch rectangulaire, la configuration suivante la plus populaire est le patch ou disque circulaire, comme illustré dans les Figures (Fig. III.1) et (Fig. III.2). Il a également reçu beaucoup d'attention non seulement en tant qu'élément unique. [47] [48]

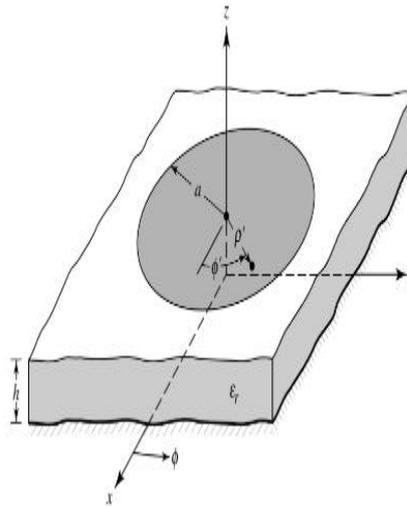


Fig. III.1: La géométrie d'antenne patch circulaire

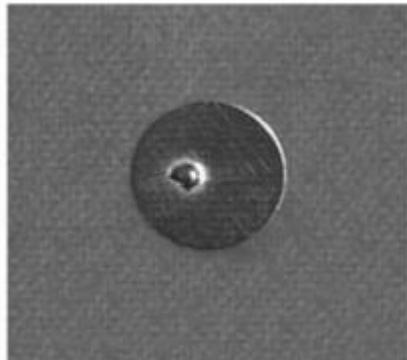


Fig. III.2: Patch circulaire

Les modes pris en charge par l'antenne patch circulaire peuvent être trouvés en traitant le patch, le plan de masse et le matériau entre les deux comme une cavité circulaire. Comme avec le patch rectangulaire, les modes principalement pris en charge par une antenne microstrip circulaire dont la hauteur du substrat est faible ($h \ll \lambda$) sont TM_z où z est pris perpendiculairement au patch. En ce qui concerne les dimensions du patch, il y a deux degrés de liberté à contrôler (longueur et largeur) pour l'antenne microstrip rectangulaire. Par conséquent, l'ordre des modes peut être modifié en modifiant les dimensions relatives de la largeur et de la longueur du patch (rapport largeur-longueur). Cependant, pour le patch circulaire, il n'y a qu'un seul degré de liberté à contrôler (rayon du patch). Cela ne change pas

l'ordre des modes ; cependant, cela modifie la valeur absolue de la fréquence de résonance de chacun [49].

Outre l'utilisation d'une analyse en ondes complètes [50], [51], [52], l'antenne patch circulaire ne peut être analysée facilement qu'en utilisant le modèle de cavité [53], [54], [55]. Cela peut être accompli en utilisant une procédure similaire à celle du patch rectangulaire, mais en utilisant maintenant des coordonnées cylindriques [49]. La cavité est composée de deux conducteurs électriques parfaits en haut et en bas pour représenter le patch et le plan de masse, et d'un conducteur magnétique parfait cylindrique autour de la périphérie circulaire de la cavité. Le matériau diélectrique du substrat est supposé être tronqué au-delà de l'étendue du patch.

III.3.1 Design d'antenne patch circulaire

Sur la base de la formulation du modèle de cavité, une procédure de conception est présentée qui conduit à des conceptions pratiques d'antennes microstrip circulaires pour le mode T_{mz} dominant 110. La procédure suppose que les informations spécifiées incluent le constant diélectrique du substrat (ϵ_r), la fréquence de résonance (f_r) et la hauteur du substrat h . La procédure est la suivante :

$$\text{Epsilon } r (\epsilon_r) \quad , \quad f_r \text{ (en Hz)} \quad , \quad \text{et } h \text{ (en cm)}$$

Déterminez le rayon 'a' réel du patch.

La procédure de conception consiste à utiliser une approximation de premier ordre pour la solution de (III.1) en trouvant a_e à l'aide de (III.2) et en le substituant dans (III.1) pour a_e et pour a dans la fonction logarithmique. Cela conduit à

$$a_e = a \left\{ 1 + \frac{2h}{\pi a \epsilon_r F} \left[\ln \left(\frac{\pi a}{2h} \right) + 1.7726 \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad \text{III.1}$$

$$(f_r)_{110} = \frac{1.8412 v_0}{2\pi a_e \sqrt{\epsilon_r}} \quad \text{III.2}$$

$$a = \frac{F}{\left\{1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r F} \left[\ln \left(\frac{\pi a}{2h} \right) + 1.7726 \right] \right\}^{1/2}} \quad \text{III.3}$$

Où:

$$F = \frac{8.791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad \text{III.4}$$

N'oubliez pas que h dans (III.3) doit être en cm.

Exemple:

Concevez une antenne microstrip circulaire en utilisant un substrat (RT/duroid 5880) avec une constante diélectrique de 2,2, h = 0,1588 cm (0,0625 pouce) afin de résonner à 10 GHz.

Solution : En utilisant (III.4)

$$F = \frac{8.791 \times 10^9}{10 \times 10^9 \sqrt{2.2}}$$

Par conséquent, en utilisant (III.3)

$$a = \frac{F}{\left\{1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r F} \left[\ln \left(\frac{\pi a}{2h} \right) + 1.7726 \right] \right\}^{1/2}} = 0.525 \text{ cm (0.207 inch)}$$

Un patch circulaire expérimental basé sur cette conception a été construit et testé. Il est alimenté par une sonde par une ligne coaxiale depuis le bas.

III.4 Antenne patch polarisée circulairement pour les fréquences UHF

III.4.1 Structure d'antenne

Une antenne circulaire se compose d'un patch circulaire et d'un plan de masse en dessous comme elle montre la figure (Fig. III.3). Les dimensions de l'antenne sont les suivantes. Les dimensions sont indiquées dans le tableau (TAB III.1 : Dimension d'antenne):

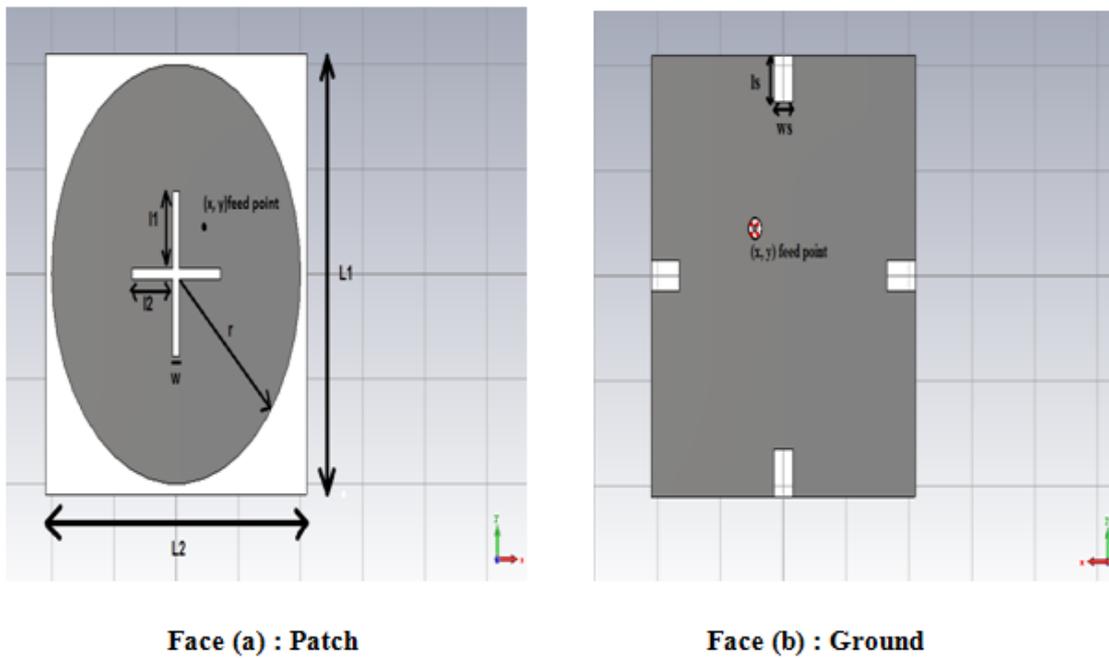


Fig. III.3:L'antenne patch

Tableau III.1:Dimension d'antenne

Paramètre	Dimension (mm)
L1, L2	84
R	80
W	2
l1	15.75
l2	14.25
x,y	9,9
Is	9
Ws	6

L'alimentation coaxiale est utilisée pour fournir le signal RF à l'antenne. Elle est connectée à une ou plusieurs zones spécifiques du patch, généralement à travers une ligne de transmission coaxiale. Les dimensions de l'alimentation coaxiale, telles que sa largeur et sa distance par rapport au patch, sont également importantes pour optimiser l'impédance et les performances de l'antenne.

Il convient de noter que les dimensions spécifiques de l'antenne circulaire peuvent varier en fonction des exigences de l'application, de la fréquence de fonctionnement et des objectifs de conception. Les valeurs indiquées dans le tableau doivent être adaptées en conséquence pour répondre aux besoins spécifiques du système RFID ou de l'application dans laquelle l'antenne sera utilisée. [56]

III.4.2 Analyse paramétrique

III.4.2.1 Variations des dimensions des fentes sur le patch

Les fentes sur l'antenne patch jouent un rôle important dans l'adaptation ainsi que dans la polarisation circulaire. Les variations de longueur des fentes horizontales et verticales sont présentées, en commençant par la longueur de la fente horizontale l_2 dans la figure (Fig.III.4)

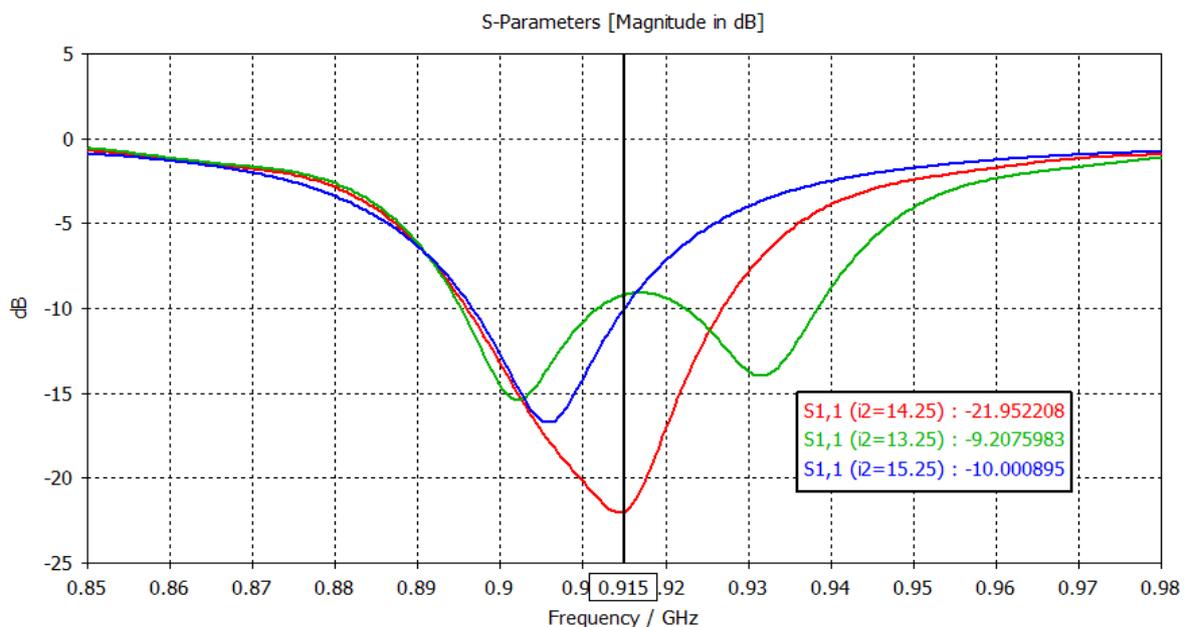


Fig. III.4: Variations de S_{11} avec différentes longueurs de fente horizontale (l_2)

Nous pouvons observer que un changement de 1 mm de la longueur des fentes horizontales affecte l'adaptation.

De même, les variations de la longueur de la fente verticale sont présentées ci-dessous dans la figure (Fig. III.5).

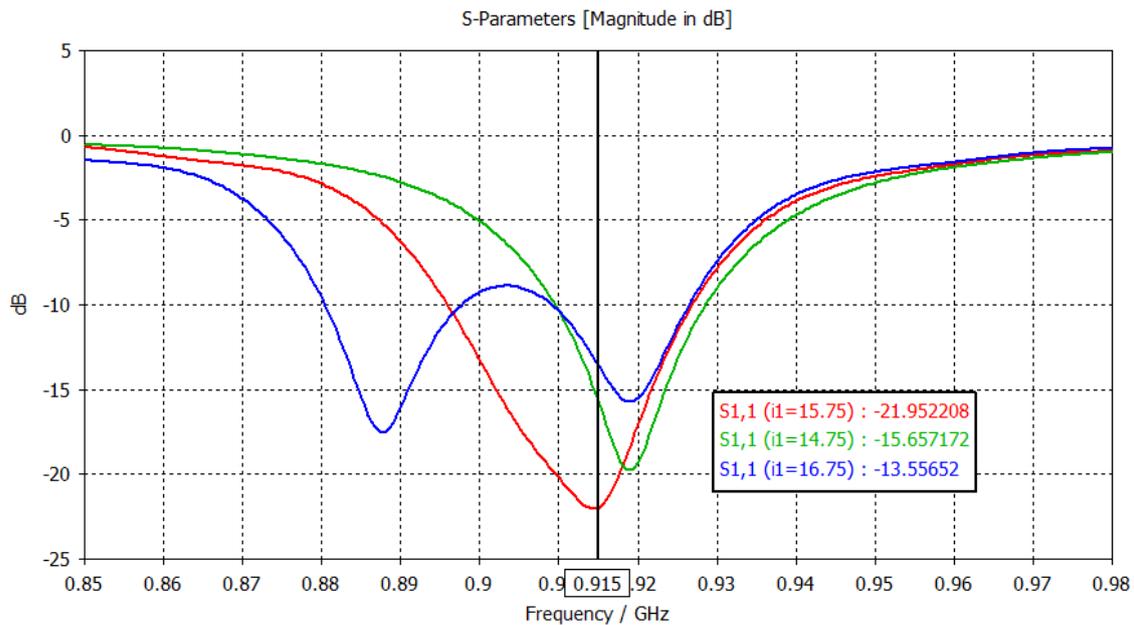


Fig.III.5: Variations de S_{11} avec différentes longueurs de fente verticale (l).

Il est clairement observable que seulement pour $l=15,75$ mm, nous obtenons une bonne adaptation près de 915 MHz. Pour toutes les autres longueurs présentées, nous obtenons une adaptation acceptable à 915 MHz. Par conséquent $l=15,75$ mm est le choix optimal de longueur.

III.4.2.2 Variations des dimensions de la fente sur le plan de masse

Pour réduire l'effet de ces modes parasites, des fentes sont découpées sur le plan de masse. Les longueurs et largeurs des fentes sont variées pour étudier leur effet sur les caractéristiques de l'antenne et choisir les dimensions optimales pour les fentes. La variation de la longueur de la fente est présentée en premier dans la Figure (Fig. III.6).

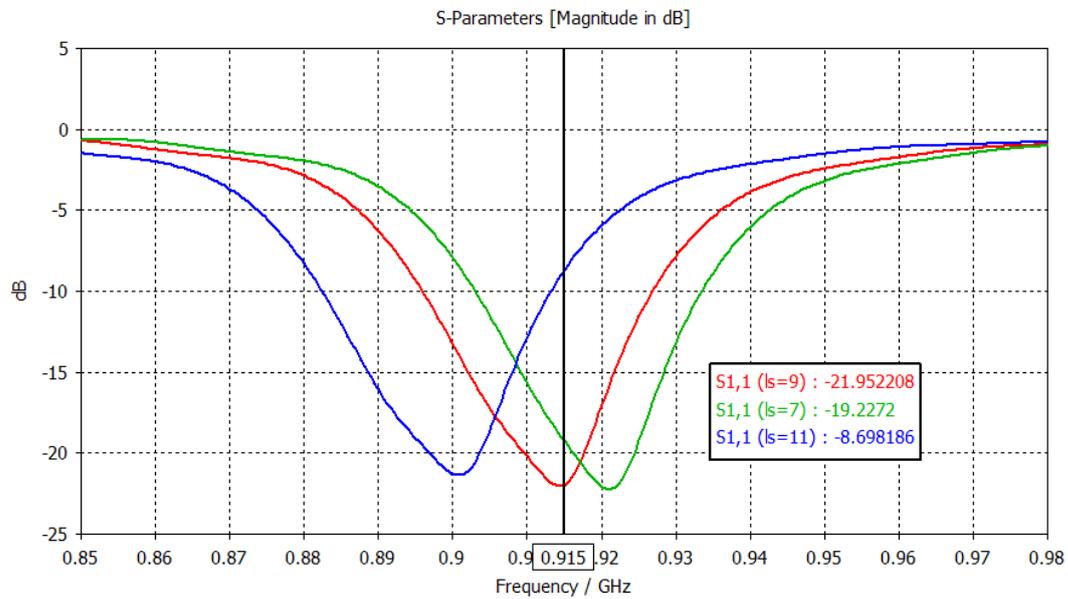


Fig.III.6:Variation de S₁₁ avec différentes longueurs de fente (ls)

Nous pouvons observer que pour $l_s=11$, nous n'obtenons pas de résonance près de 915 MHz. mais pour $l_s=9$ et $l_s=7$, nous obtenons une bonne adaptation près de 915 Mhz. Ainsi, $l_s=9$ est choisi car il réussit en quelque sorte à réduire les modes parasites tout en conservant les caractéristiques S_{11} requises dans la région de fréquence requise. Les variations de la largeur de la fente sont présentées dans la figure (Fig. III.7).

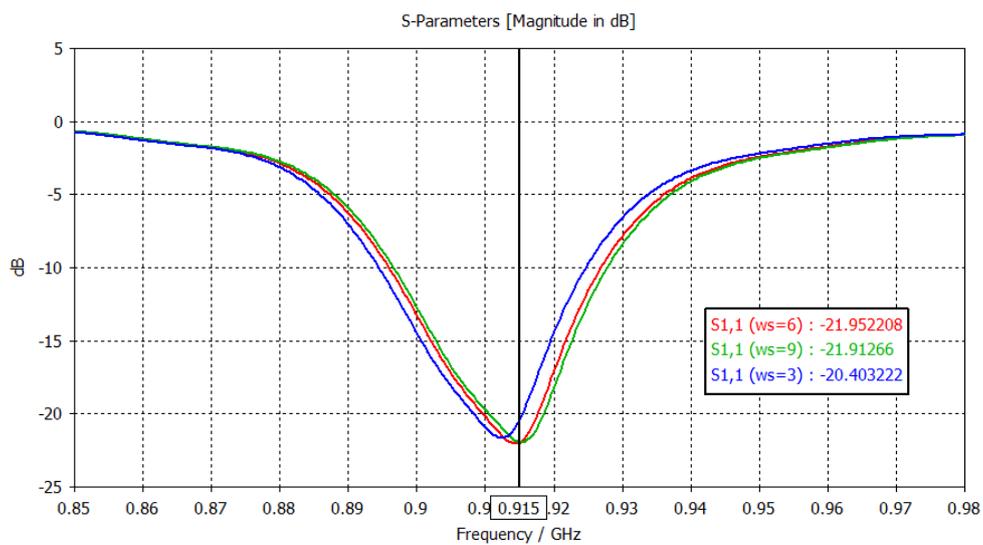


Fig.III.7:Variations de S₁₁ avec différentes largeurs de fente (ws)

Bien qu'il n'y ait pas beaucoup de différence avec différentes valeurs de w_s , nous pouvons remarquer que $w_s=6$ mm offre la meilleure suppression des modes parmi toutes les options. Cela justifie le choix de $w_s=6$ mm.

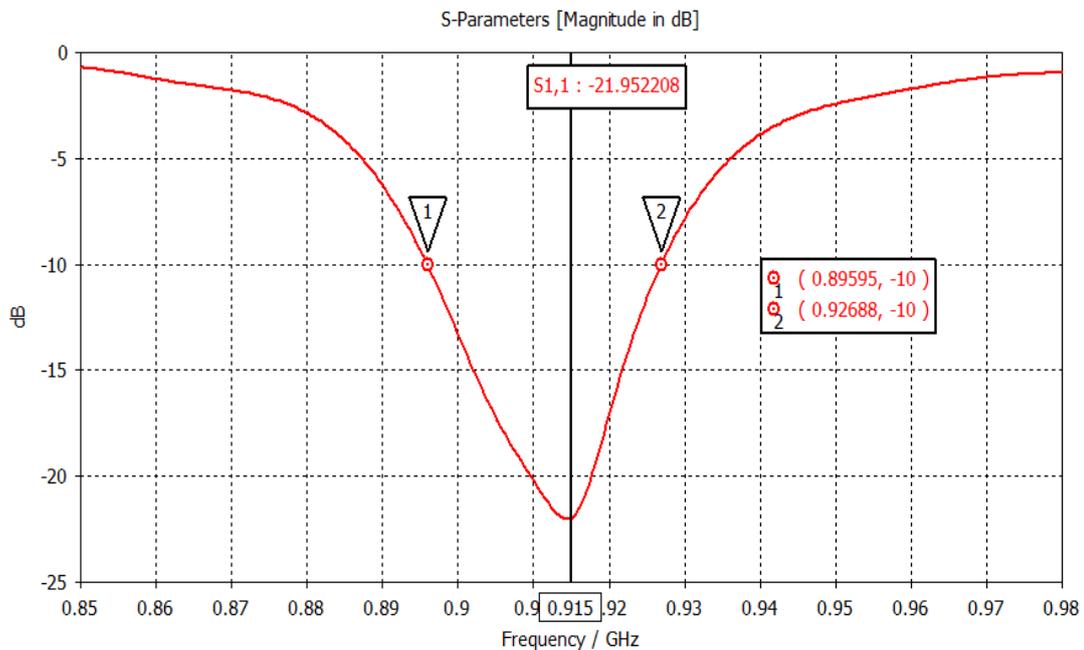


Fig. III.8: S11 en fonction de la fréquence du patch

Finalement, il est clair que les fentes au niveau de l'antenne et le plan de masse jouent un rôle important dans l'adaptation de l'antenne à la fréquence souhaitée de 915 MHz, et la figure (Fig. III.8) montre les caractéristiques S11 de l'antenne avec des fentes aux dimensions correctes. De plus, les fentes aident à la miniaturisation de la taille de l'antenne.

Le rapport de tension de l'onde (VSWR) est important pour trouver une bonne efficacité de la conception d'antenne. De plus, le VSWR est toujours utilisé comme indicateur de la puissance renvoyée par l'antenne.

Pour une application pratique, la valeur de VSWR devrait être un nombre réel et positif avec des valeurs inférieures à 2. Ainsi, dans la figure (Fig. III.9), le VSWR est égal à 1,17 et cette valeur satisfait à la conception d'antenne pratique.

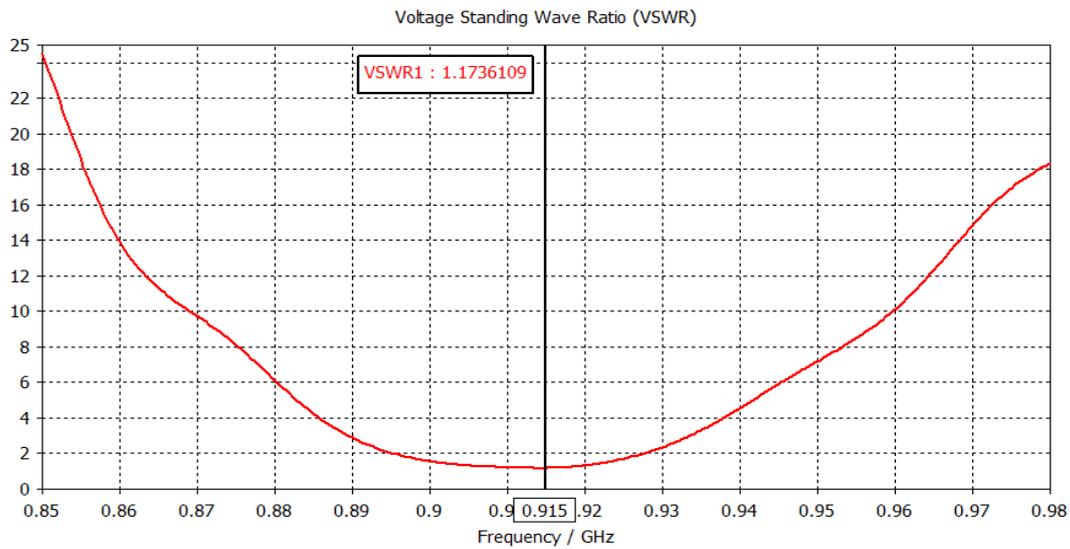


Fig. III.9:Le rapport de tension debout d'onde (VSWR)

La figure (Fig. III.10) montre le diagramme de rayonnement simulé en 3D. La majorité du rayonnement standard est concentrée dans une direction et peut être obtenue tout au long de la fréquence de fonctionnement de l'antenne. La valeur de directivité de l'antenne est de 4.05 dBi pour 915 MHz.

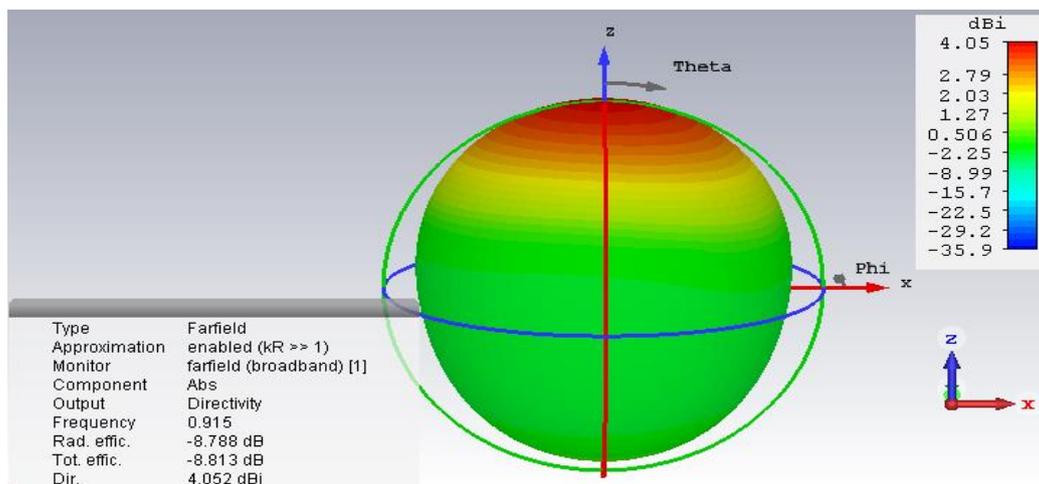


Fig. III.10:Diagramme de rayonnement de l'antenne en 3D

La figure (Fig. III.11) montre que la largeur de faisceau était de 112.7 degrés lorsque la direction principale était à 0 degré. La largeur de faisceau est importante à considérer car elle montre la mesure de la zone dans laquelle l'antenne reçoit le signal.

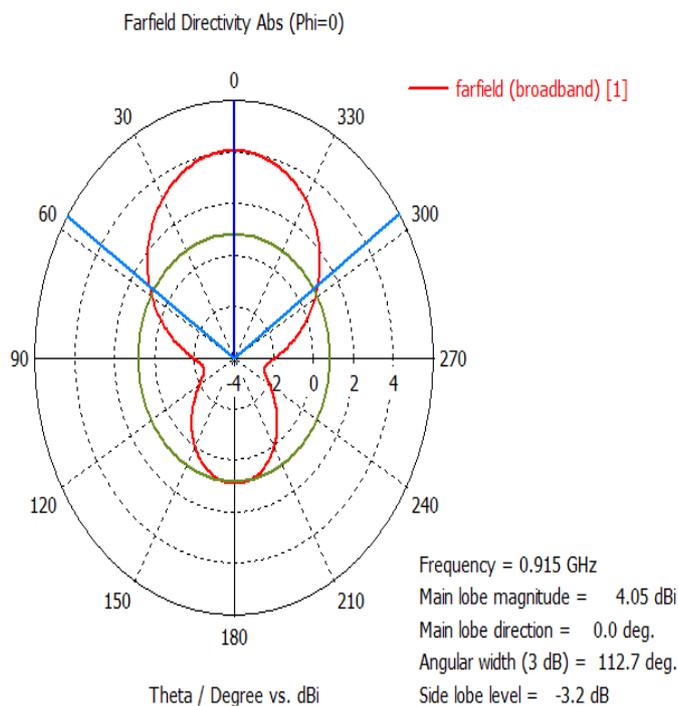


Fig. III.11:Diagramme de rayonnement en 2D

III.5 Antenne micro ruban circulaire pour lecteur RFID SHF

III.5.1 Structure d'antenne

L'antenne circulaire est constituée d'un patch circulaire placé au-dessus d'un plan de masse avec une alimentation par ligne microruban, comme illustré dans la figure (Fig.III.12). Les dimensions de l'antenne sont récapitulées dans le tableau III.2.

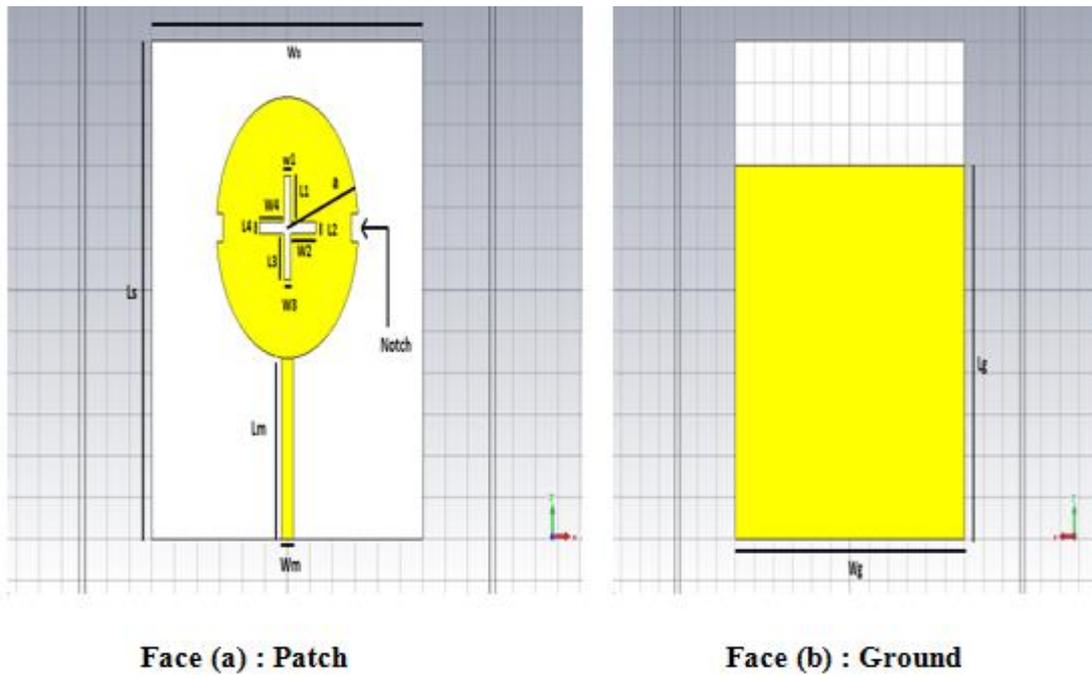


Fig. III.12: Conception géométrique de l'antenne proposée

Le modèle mathématique correspondant a été analysé dans la conception de l'antenne circulaire. [3]

La relation entre le rayon du patch circulaire (a), la fréquence de résonance (f_r), la constante diélectrique (ϵ_r) et l'épaisseur du substrat (h). Défini dans l'équation III.3 à l'aide de l'équation de F (III.4).

L'antenne microstrip de forme circulaire se compose de quatre bras gravés sur le substrat diélectrique métallisé. Le plan de masse recouvre une section du diélectrique qui ne se trouve pas directement sous les monopôles.

L'antenne est alimentée par une ligne microruban via les valeurs par défaut de cette conception d'antenne sont indiquées dans le Tableau III.2

Tableau III.2: Les dimensions d'antenne

Paramètre	Symbole	Segment	Dimension (mm)
Patch	a	Radius	31.5
Notch	W_n	Largeur	3
	L_n	Longueur	7
Arm 1	W_1	Largeur	3
	L_1	Longueur	11
Arm 2	W_2	Largeur	11
	L_2	Longueur	3
Arm 3	W_3	Largeur	3
	L_3	Longueur	11
Arm 4	W_4	Largeur	11
	L_4	Longueur	3
Ground	W_g	Largeur	120
	L_g	Longueur	90
Substrat	W_s	Largeur	120
	L_s	Longueur	120
	H	Hauteur	1.6
	ϵ_r	Diélectrique Constant	4.3
SMA	Ω	Impédance	50
Ligne microruban	L_m	Largeur	43.5
	W_m	Longueur	5

III.5.2 Études paramétriques de l'effet sur le coefficient de réflexion S11

Afin d'étudier l'effet de l'affaiblissement de retour, de la caractéristique de la largeur de bande et du déplacement de la fréquence de résonance, une étude paramétrique a été utilisée en changeant les variations des dimensions de l'antenne.

III.5.2.1 Effet du rayon du patch

L'effet du rayon du patch a été simulé en trois dimensions qui sont 31 mm (vert), 31,5 mm (rouge) et 32 mm (bleu). D'après la figure (Fig. III.13) nous avons constaté que la diminution

de la valeur de a entraîné une légère augmentation de la fréquence de résonance de l'antenne conçue, de 2.45 GHz à 2.49 GHz. De plus, le rayon d'un patch avec une valeur de 31,5 mm a donné une perte de retour de -34,43 dB.

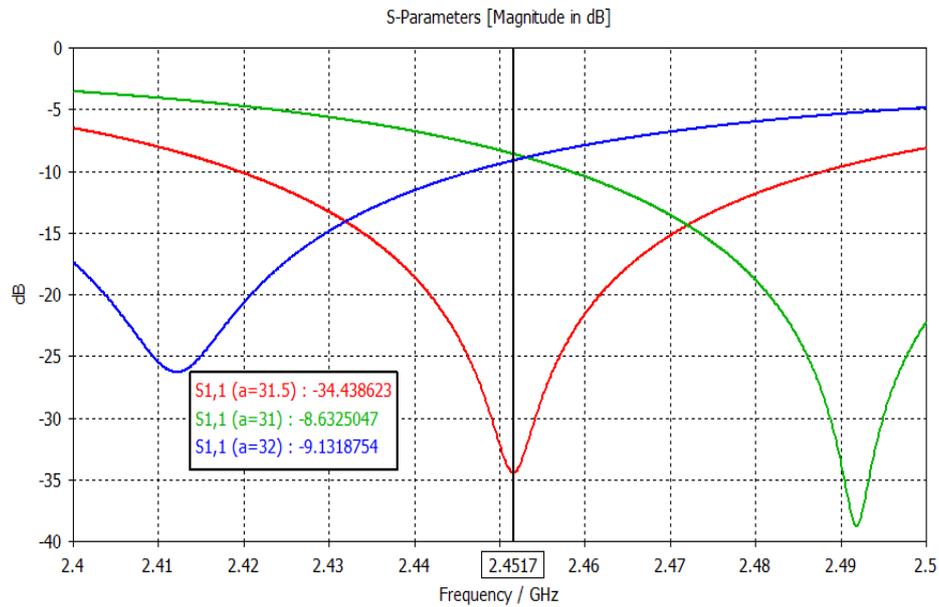


Fig. III.13:L'effet de la variation de rayon du patch

III.5.2.2 Effet de la largeur de la fente des bras 1 et 3

L'effet de la largeur de la fente du bras 1 et du bras 3 a été simulé pour trois largeurs qui sont 1 mm (vert), 3 mm (rouge) et 5 mm (bleu) comme indiqué dans la figure (Fig. III.14). En utilisant une valeur de 3 mm, une adaptation est observée à 2,45 GHz par rapport à 1 mm et 5 mm qui montrent une mauvaise adaptation.

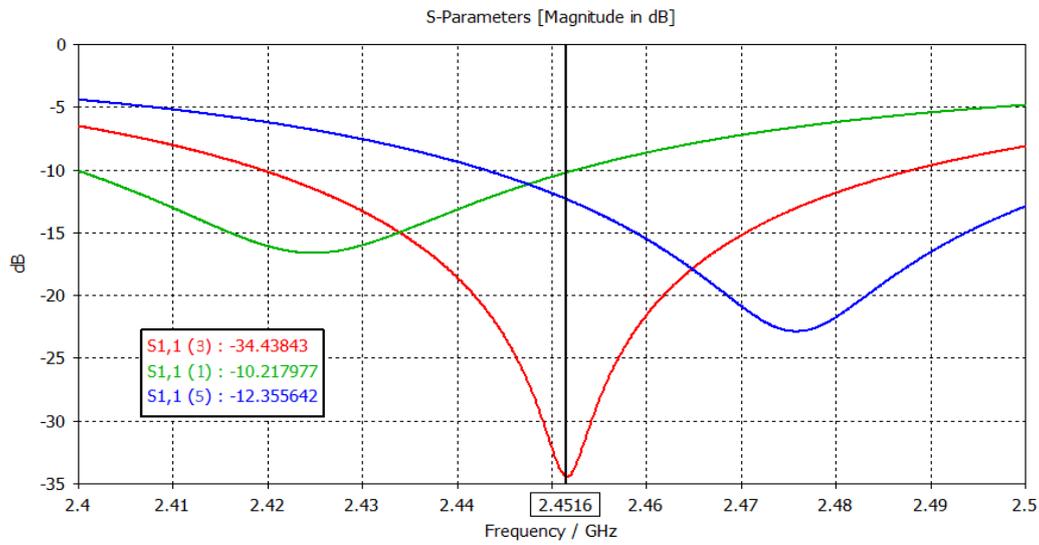


Fig III.14:L’effet de largeur du bras 1 et bras 3 sur le retour d’atténuation s11

III.5.2.3 Effet de la longueur de la fente des bras 1 et 3

La figure (Fig. III.15) montre le résultat de la variation de la perte de retour par rapport à la taille des bras 1 et 3. Trois longueurs ont été simulées qui sont 9mm (bleu), 11mm (rouge) et 13 mm (vert) .La conception de la longueur du bras est extrêmement importante dans la conception d'antenne car la S11 est sensible à cet effet de variation. Selon la simulation, il montre que le meilleur résultat de S11 est à -34,43 dB avec une longueur de 11 mm. Ainsi que l'adaptation la plus proche et exact a la fréquence 2,45 GHz.

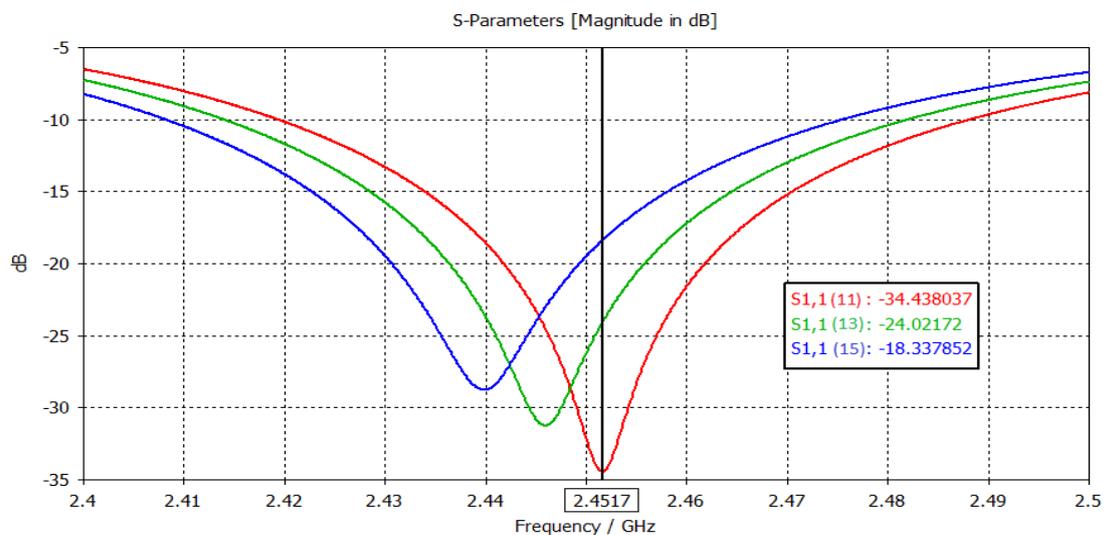


Fig.III.15:L’effet de longueur du bras 1 et bras 3 sur le retour d’atténuation s11

La simulation des paramètres importants du prototype de l'antenne proposée a été réalisée à l'aide du logiciel CST Microwave Design Studio. Il est à noter que la simulation dans le domaine temporel est utile pour étudier la propagation du champ le long des pistes en FR4, tels que le coefficient de réflexion S11, le rapport d'onde stationnaire en tension (VSWR) et la directivité.

Le rapport d'onde stationnaire en tension (VSWR) est important pour déterminer l'efficacité de la conception de l'antenne. De plus, le VSWR est souvent utilisé comme indicateur de la puissance réfléchiée par l'antenne. Pour une application pratique, la valeur de VSWR devrait être un nombre réel et positif, avec des valeurs inférieures à 2. Ainsi, dans la Figure (Fig. III.17), le VSWR est égal à 1,03, ce qui satisfait les exigences d'une conception d'antenne pratique.

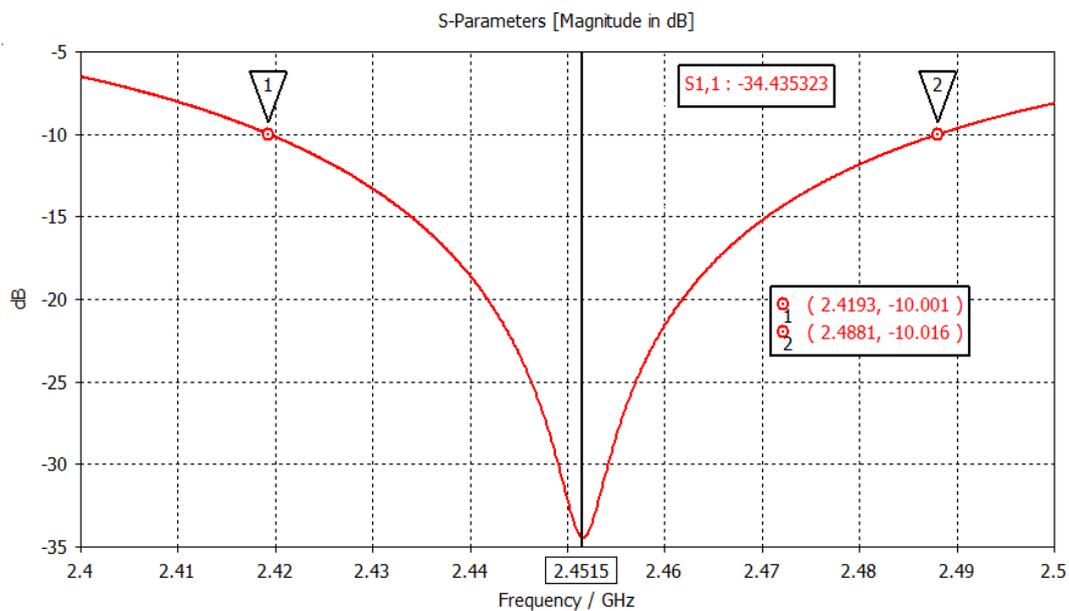


Fig. III.16: S11 en fonction de la fréquence du patch

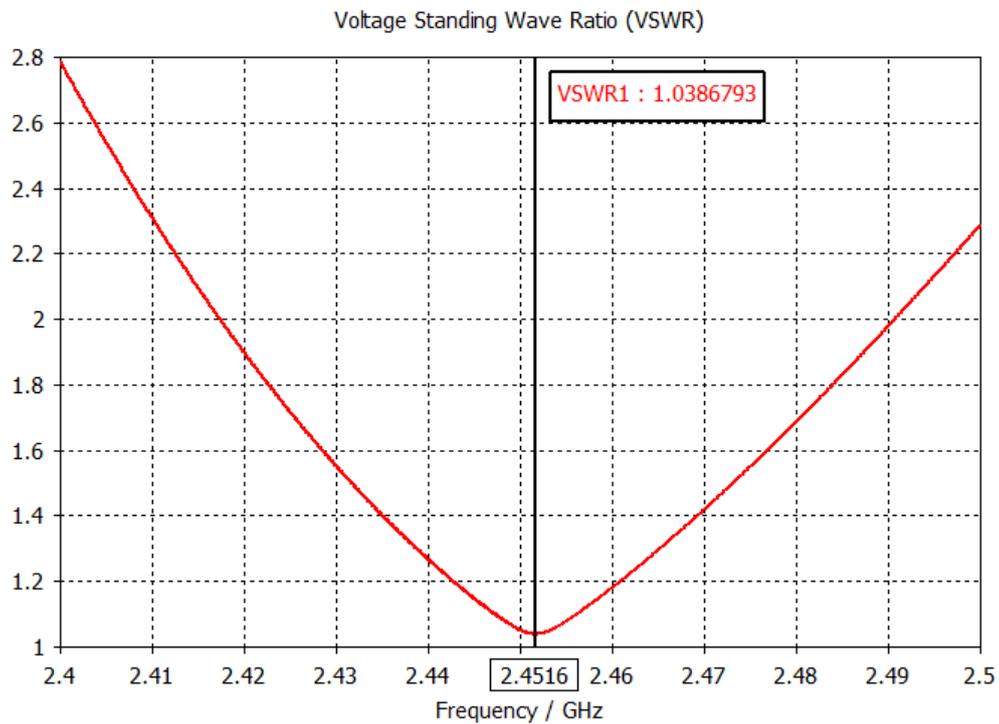


Fig. III.17: Rapport d'onde stationnaire en tension (VSWR) simulé.

La figure (Fig. III.18) : Montre le diagramme de rayonnement simulé dans le tracé en 3D. La majeure partie du rayonnement est concentrée dans une direction et peut être obtenue sur toute la plage de fréquences de fonctionnement de l'antenne. La valeur de la directivité pour l'antenne est de 4.57 dBi pour 2.45 GHz.

La figure (Fig. III.19) : Montre la largeur du lobe qui est de 61,4 degrés lorsque la direction principale est à 0 degré. La largeur du lobe est importante car elle indique la mesure de la zone sur laquelle l'antenne reçoit le signal.

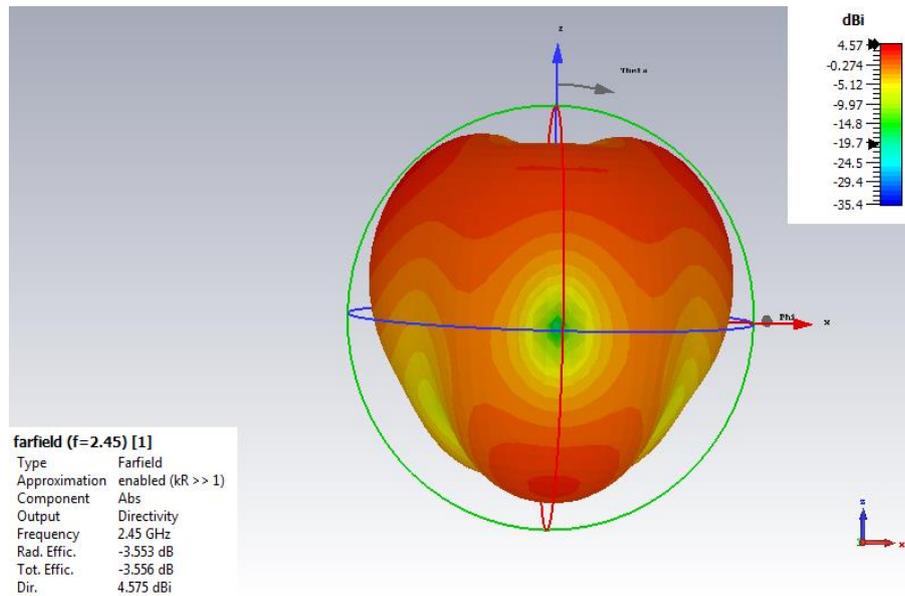


Fig. III.18:Diagramme de rayonnement simulé en tracé 3D pour l'antenne proposée

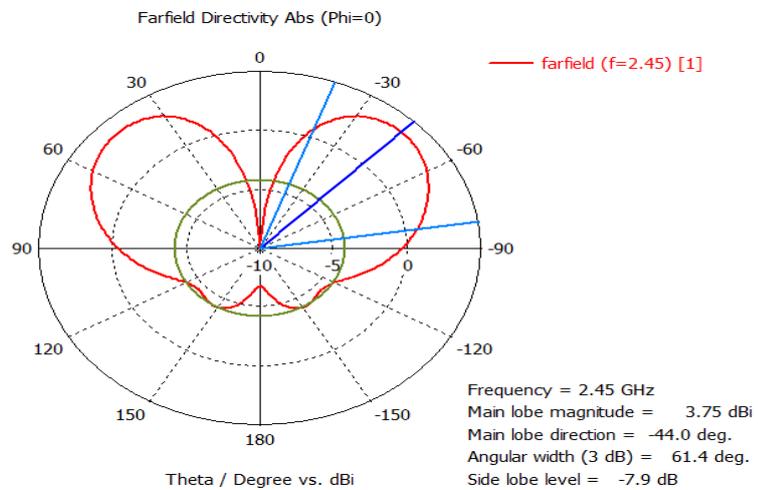
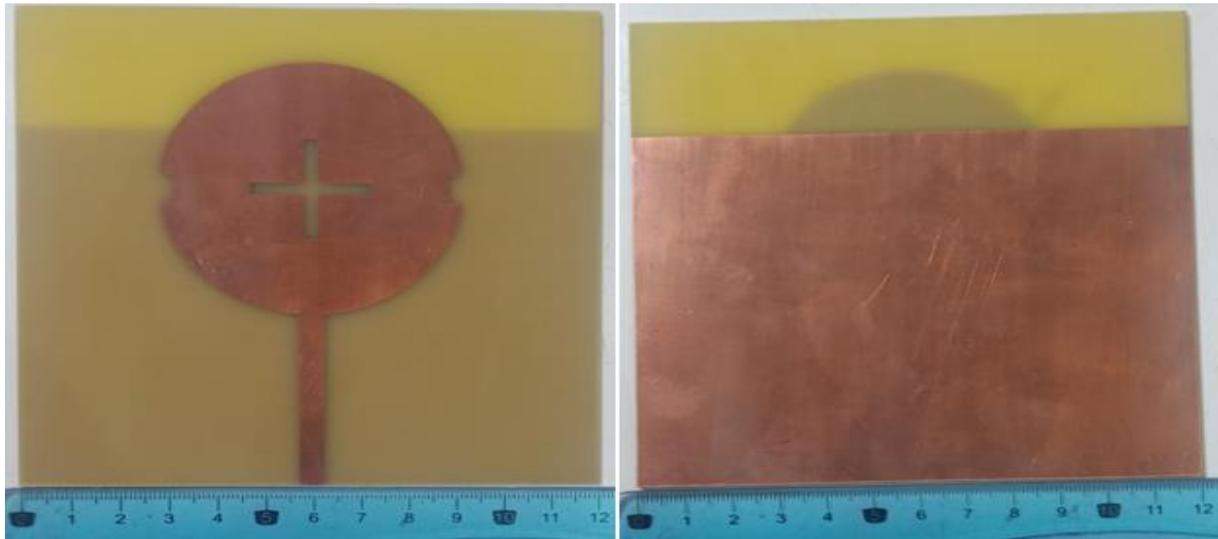


Fig. III.19:Diagramme de rayonnement simulé en tracé polaire pour l'antenne proposée avec Phi=0°

III.5.2.4 La réalisation d'antenne

Cette partie décrit le processus de fabrication de l'antenne circulaire pour un lecteur RFID fonctionnant à une fréquence de 2,45 GHz. Cette section met en évidence la collaboration entre nous et la société Almitech, spécialisée dans les circuits électroniques, pour la réalisation des circuits électroniques nécessaires à l'antenne.



Patch

Ground

Fig III.20: Vue de face (patch) et vue arrière (ground) de l'antenne fabriquée.

La partie de fabrication de l'antenne a impliqué l'utilisation de matériaux tels que le FR-4 et le cuivre. Les fichiers Gerber et les dimensions d'antenne ont été exportés à partir du logiciel CST et envoyés à la société Almittech pour la fabrication. Le FR-4 a été choisi comme matériau de base en raison de ses propriétés diélectriques et le cuivre a été utilisé comme matériau conducteur en raison de sa conductivité élevée. Almittech a ensuite fabriqué l'antenne en suivant les étapes de préparation, d'application de la couche de cuivre, de photolithographie, d'usinage, d'assemblage et de finition. L'antenne fabriquée est illustrée dans la figure ci-dessus (Fig. III.20).

III.5.3 Conclusion

Dans ce chapitre nous sommes intéressés à la simulation électromagnétique à la conception d'antennes circulaires avec une nouvelle structure pour les systèmes RFID SHF et UHF. En effet, après avoir exposé le cahier des charges, deux antennes patch, imprimées directement sur FR4, avec une alimentation par ligne microruban et l'autre coaxial ont été dimensionnés et simulés. Des études paramétriques ont été également effectuées pour la nouvelle structure des antennes. Nous avons reporté les résultats en termes de coefficient de réflexions et de diagramme de rayonnement et la directivité par simulation sous CST.

La conception de l'antenne du lecteur RFID utilisant CST présente plusieurs avantages, tels que :

- Le logiciel CST permet d'exporter les données de simulation de l'antenne, facilitant ainsi le partage et l'analyse des résultats obtenus lors des simulations.
- Le modèle CST permet de fusionner des paramètres variables pour la géométrie de l'antenne. Cela simplifie le processus de conception en offrant la possibilité d'ajuster et d'optimiser les caractéristiques de l'antenne selon les besoins spécifiques du lecteur RFID.

En fin nous intéressées à la réalisation expérimentale de deuxième antenne pour lecteur RFID SHF utilisé les analyseurs réseaux le coefficient de réflexion et le rapport d'onde stationnaire.

Conclusion générale

La technologie de l'identification par radiofréquence (RFID) utilise les ondes radio pour identifier des objets étiquetés. Elle est largement utilisée dans diverses applications commerciales et industrielles, allant du suivi des articles le long d'une chaîne d'approvisionnement au suivi des articles empruntés dans une bibliothèque.

Dans cette étude, nous sommes concentrés sur la conception d'antennes de lecteur RFID circulaire, destinées à fonctionner dans la bande de fréquence UHF-RFID, ainsi que des antennes pour la fréquence micro-ondes RFID (2,45 GHz).

Après avoir présenté les généralités sur la technologie RFID, nous avons introduit les systèmes RFID en détaillant leur principe de fonctionnement, leurs composants et leurs fréquences de fonctionnement. Ensuite, nous nous sommes penchés sur les antennes de lecteur, en expliquant leur principe de fonctionnement et en présentant différents types d'antennes, avec un intérêt particulier pour les antennes circulaire.

À la suite, nous avons souligné l'importance des antennes imprimées (patch) et exposé quelques techniques d'alimentation, ainsi que leur mécanisme de base.

La dernière partie de notre mémoire a porté sur la conception et la simulation de deux antennes circulaires avec des modes d'alimentation différents, fonctionnant à des fréquences spécifiques. Les modifications apportées, telles que l'ajout de fentes, ont contribué à améliorer l'adaptation d'impédance et les performances globales des antennes. Ces résultats de conception peuvent être utiles pour les applications lecteur RFID dans les fréquences UHF et SHF, en offrant une meilleure communication entre les lecteurs et les étiquettes RFID. En plus de la réalisation de deuxième antenne pour les fréquences SHF.

Enfin les résultats obtenus se révèlent satisfaisants, ce qui ouvre la voie à des travaux d'optimisation et de réalisation à venir dans un futur proche.

Bibliographie

- [1] Finkenzeller, K. (2010). RFID handbook: fundamentals and applications in contactless smart cards, radio frequency identification and near-field communication. John Wiley & Sons.
- [2] Li, X., & Wang, N. (2019). RFID technology and its applications in intelligent logistics. *IEEE Access*, 7, 33912-33926.
- [3] Wang, Z., Zhang, S., & Yang, X. (2020). RFID technology and its application in intelligent transportation systems. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 11(11), 5045-5062.
- [4] [Http://www.rfidjournal.com](http://www.rfidjournal.com).
- [5] PAULIN ILUNGA KATAMBA TECHNOLOGIE RFID (RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION) : CONCEPTS ET STRATÉGIE DE MISE EN ŒUVRE 2007.
- [6] Hsu, C.-C., Lu, H.-C., & Shieh, J.-S. (2010). Design and analysis of an RFID-based in door positioning system. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 57(9), 3285-3295.
- [7] Arnaud Vena Etienne Perret Smaïl Tedjini La RFID sans puce « théorie, conception, mesures » 2016
- [8] F.Z.Marouf « Etude et conception d'antenne imprimé identification radio fréquence RFID UHF » thèse doctorat Université de Tlemcen, soutenue en 2013
- [9] Hai Liu, Miodrag Bolic, Amiya Nayak, and Ivan Stojmenovi, Integration of RFID and wireless sensor networks. *Encyclopedia On Ad Hoc And Ubiquitous Computing : Theory and Design of Wireless Ad HOC Sensor, and Mesh Networks*, pages 319–348, 2010.
- [10] H. Lehpamer, *RFID Design Principles*, Norwood, MA: ARTECH HOUSE, INC., 2008.
- [11] Institut National de Recherche et de Sécurité, «Champs électromagnétiques - La RFID - ED 4217,» Mars 2010.
- [12] International Organization for Standardization (ISO): <https://www.iso.org/home.html>

Bibliographie

- [13] Finkenzeller, K. (2010). RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication (3rd ed.). Wiley.
- [14] EPCglobal website : <https://www.epcglobalinc.org/>
- [15] GS1 website : <https://www.gs1.org/>
- [16] GS1 EPCglobal, "Tag class definitions," November 2007. Available: http://www.gs1.org/docs/epcglobal/TagClassDefinitions_1_0-whitepaper-20071101.pdf.
- [17] RFID Technology and Applications, Stephen B. Miles, Cambridge University Press, 2008.
- [18] Manianguisse Mond'industriel, «La RFID : Radio Frequency IDentification,» [En ligne]. Available: <http://manianguisse.ifrance.com/Main/ProdStragIndust/Ingenierie/La RFID.html>.
- [19] EPCglobal, "Low Level Reader Protocol (LLRP) Specification", Version 1.1, 2007.
- [20] Alexandre Boyer, « ANTENNES SUPPORT DE COURS ENONCE DE TRAVAUX DIRIGES. »
- [21] Behzad Razavi , « A Study of Phase Noise in CMOS Oscillators », IEEE JOURNAL OF SOLID-STATE CIRCUITS, VOL. 31, NO. 3, MARCH 1996
- [22] A. Zitouni, «Antenne, Polycopié de Cours », Maître de Conférences Classe B, Université Hassiba Benbouali de Chlef, Faculté de Technologie, Département d'Electronique, Septembre, 2018
- [23] Abdellatif Hafiane " Etude du couplage d'antennes imprimées par la méthode des différences finies et extraction du modèle électrique" thèse doctorat .université de Marne la Vallee. France 2003
- [24] Abdulmuttalib A. H. Aldouri & Mohammed Kamil. 1. ANTENNAS. Definition
- [25] Anthony Ghiotto, « Conception D'antenne De Tag RFID UHF, Application a réalisation par jet de matière », thèse de doctorat, Institut Polytechnique de Grenoble, novembre 2008

Bibliographie

- [26] support de cour "Antennes ", Alexandre Boyer, institut national des sciences appliqueé de toulouse, France 2011.
- [27] support de cour " Antennes et lignes de transmission " ,aliane saidani institut superiuer d'informatique et des technologies de communication ,Tunisie 2005 .
- [28] E.Makroum « Conception d'antennes spirales rectangulaires pour TAG RFID UHF».
- [29] Yassin Belaizi « Etude et conception d'un capteur-RFID passif en bande UHF : application à l'agroalimentaire », Université Montpellier, 2018. Français. ffNNT: 2018MONTTS061ff. fftel-02134586.
- [30] Jamal W. Salman and Mudhaffer M. A meen, " Parametric Study of the Rectangular Microstrip Antenna Using Cavity Model ", Journal of Engineering and Development Vol. 10, No. 2, June 2006, pp.72-88.
- [31] antenna-theory.com, 2009-2020.
- [32] « RFID Design Principles » seconde édition ,de Harvey LehpamerJournal of Engineering and Developmen Vol. 10, No. 2, J.
- [33]https://www.tutorialspoint.com/antenna_theory/antenna_theory_radiation_pattern.htm consulter le 24/06/2020.
- [34] de cour "Antennes" ,Alexandre Boyer, institut national des sciences appliqueé de toulouse, France 2011.
- [35] Anthony Ghiotto, « Conception D'antenne De Tag RFID UHF, Application a réalisation par jet de matière », thèse de doctorat, Institut Polytechnique de Grenoble, novembre 2008.
- [36] Gabriel Cormier « CHAPITRE 3 TECHNIQUES D'ANALYSE DE CIRCUITS ».
- [37] Electromagnétisme – Fondements et applications J.P. Peres, R.Carles, R.Fleckinger, Masson.
- [38] J.blins and s renault 4g la convergence ultime article rédigé dans [www.01net .com](http://www.01net.com) 2004.
- [39] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl , A. Ittipiboon, Microstrip Antenna Design Handbook,Arteck House, 2001.

Bibliographie

- [40] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design* 3rd edition, John Wiley & Sons, Inc., 2005.
- [41] Y. T. Lo, S. W. Lee, *Antenna Handbook*, Van Nostrand Reinhold, 1993.
- [42] David M. Pozar, *Microwave Engineering* 2nd edition, John Wiley & Son, Inc. 1998.
- [43] M. Diblng , “Développement du concept de l’antenne à résonateur bie pour la génération de la polarisation circulaire,” Université de Limoges, thèse de Doctorat, 20 mars. 2006.
- [44] Balanis, C. A. (2016). *Antenna theory: analysis and design* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- [45] Thaysen, J., & Jakobsen, K. B. (2013). *CST microwave studio 2013: getting started and basic concepts*. CST AG.
- [46] Saravanan, S., & Pandian, S. R. (2012). Design and analysis of circularly polarized RFID reader antenna. *Microwave and Optical Technology Letters*, 54(6), 1406-1409.
- [47] Special issue, *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. 34, No. 3, Mar. 1986.
- [48] T. S. Rappaport, *Smart Antennas: Adaptive Arrays, Algorithms, & Wireless Position Locations—Selected Readings*, IEEE, NJ, 1998.
- [49] D. E. N. Davies, “Circular Arrays,” *The Handbook of Antenna Design*, Vol. 2, Chapter 12, pp. 299–329, Steven Peregrinus, Stevenage, 1983.
- [51] B. Widrow and S. D. Stearns, *Adaptive Signal Processing*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1985.
- [51] K.-K. Yan and Y. Lu, “Sidelobe Reduction in Array-Pattern Synthesis using Genetic Algorithm,” *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. 45, No. 7, July 1997.
- [52] Y. Bahçeci and T. M. Duman, “Combined Turbo Coding and Unitary Space-Time Modulation,” *IEEE Trans. Commun.*, Vol. 50, No. 8, pp. 1244–1249, Aug. 2002.
- [53] T. Sarkar, M. C. Wicks, M. Salazar-Palma and R. J. Bonneau, *Smart Antennas*, John Wiley—IEEE Press, 2003.

Bibliographie

- [54] P. Strobach, "Equirotational Stack Parameterization in Subspace Estimation and Fitting," *IEEE Trans. Signal Process.*, Vol. 48, pp. 713–722, Mar. 2000.
- [55] I. Ziskind and M. Wax, "Maximum Likelihood Localization of Multiple Sources by Alternating Projection," *IEEE Trans. Acoustics, Speech, and Signal Process.*, Vol. 36, No. 10, pp.1553–1560, Oct. 1988.
- [56] Aznabet, I., Ennasar, M.A., El Mrabet, O., Andia-Vera, G., Khalladi, M. and Tedjni, S., "A Broadband Modified T-Shaped Planar Dipole Antenna for UHF RFID Tag Applications", *Progress Electromagnetics Research C*. pp.137-144, 2017.