

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
المركز الجامعي لعين تموشنت
Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent
Institut de Technologie
Département de Génie Electrique



Projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de Master en :
Domaine : SCIENCE ET TECHNOLOGIE
Filière : TELECOMMUNICATION
Spécialité : Réseaux et Télécommunications

Thème

Réseaux d'antennes patch pour les applications RFID

Présenté Par :

- 1) KHELKHAL NADIA
- 2) TIMIMOUN NOUR EL HANA

Devant le jury composé de :

Mr.K.M.BENDIMERAD	MAA	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Président
Dr.M.DEBBAL	MCA	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant
Dr.A.RABAH	MRA	CDS (Oran)	Co-Encadrant
Dr.A.MERADI	MCB	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Examineur

Année universitaire 2019/2020

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A mes très chers parents

Ma mère **KHELKHAL Khaira**

Qui a oeuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

Mon père **KHELKHAL Mohammed**

Qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

A mon frère unique Said, mes chers sœurs du cœur :

Mouna, Khadidja.

Karima et son mari Anouar.

Amira et son mari Djamel.

Zoulikha et son mari sidahmed et ses fils "Ilyes " et "Rayan"et "Yanis".

A toute la famille,

A mes amies et collègues, ma meilleure amie Samia et tous ceux qui m'ont aidé.

A mon encadreur **DEBBAL Mohammed** et Co-encadreur **RABAH Mohammed Amine**.

A ma binôme **Nour el hana** et sa famille.

NADIA

Dédicaces

A mes très chères parents

Ma mère **LARADJI SABIHA**

Celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse qui s'est sacrifiée de toutes se quelle pouvais pour mon bonheur et ma réussite, cette école de mon enfance qui a été mon ombre durant toutes les années d'études.

Mon père **TIMIMOUN ABDELGHANI**

Celui qui m'a toujours encourager et soutenu, j'espère qu'il trouvera dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon amour.

Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.

A mes chères frères : Redouane, Fouad, Nouredine

A toute la famille, mes Tantes et Oncles, cousins et cousines

A mes amies de toujours : Rita, Sara, Amira

A mon amie d'enfance : Malika

Merci d'être une amie si merveilleuse.

A mes collègues, et tous ceux qui m'ont aidé ;

A mon encadreur **DABBEL Mohammed** et Co-encadreur **RABAH Mohammed Amine**.

A mon binôme **Nadia** et sa famille.

NOUR EL HANA

Remerciements

Au terme de ce travail, nous tenons à remercier **ALLAH**, le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience pour achever ce travail.

A nous très chers parents qui nous a énormément soutenus durant nos études.

Nous avons l'honneur et le plaisir de présenter notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à notre encadreur **Dr DEBBAL Mohammed** Maitre de conférences classe A a centre universitaire BLHADJ Bouchaib d'Ain Temouchent , pour sa précieuse aide, ses orientations et le temps qu'il nous a accordé pour notre encadrement.

Mes remerciement vont aussi a co-encadreur de recherche, Monsieur **Rabah Mohamed Amin** pour co-dirigé ce travail, pour la qualité de son encadrement et ses remarques toujours pertinentes, qui nous ont permis de finaliser ce travail.

Mes mots de reconnaissance vont a **Mr BENDIMERAD** pour avoir accepte de présider cet honorable jury.

Mes mots de reconnaissance vont à Monsieur **MERADI Abdelhafid** Maitre de conférences classe A a centre universitaire BLHADJ Bouchaib d'Ain Temouchent, qui nous a fait l'honneur d'évaluer, d'examiner et d'enrichir notre Travail.

En fin, nous remercions tous nos enseignants du département de génie électrique de centre universitaire BLHADJ Bouchaib d'Ain Temouchent, sans oublier de citer tous les enseignants qui ont contribué a notre formation depuis l'école primaire jusqu'aux études universitaires.

Résumé

L'antenne lecteur RFID permet d'activer les étiquettes/tags et transmettre les informations au lecteur. Elle est l'un des éléments essentiels de l'identification par la technologie RFID et sa miniaturisation possède un très grand intérêt. Par ce travail nous nous intéressons à la technologie SHF plus particulièrement à la conception d'une nouvelle structure d'un réseau d'antennes patch qui rayonne à 2.45 GHZ pour un lecteur RFID .Ces antennes sont constituées de substrat de type FR4 ($\epsilon_r = 4.3$, épaisseur =1.6mm).

La structure de ce réseau permet d'avoir des performances meilleures par rapport à une antenne patch traditionnelle. Nous présentons dans cette étude, le coefficient de réflexion et le diagramme de rayonnement de ce réseau obtenus par simulation sous CST. Une discussion sur les performances, améliorations et perspectives de cette structure d'antenne conclut ce travail.

Mots-clés : Antenne imprimée, RFID , Lecteur ,SHF , Réseaux d'antennes patch , fentes ,CST

Abstract

The RFID reader antenna allows us to activate the labels / tags and transmit the information to the reader. It is one of the essential elements of identification by RFID technology and its miniaturization has a very great interest. By this work we are interested in SHF technology more particularly to the design of a new structure of a patch antenna array that radiates to 2.45 GHZ for an RFID reader. These antenna are made of substrate type FR4 ($\epsilon_r = 4.3$, thickness =1.6 mm).

The structure of this array allows to have better performance compared to a traditional patch antenna. We present in this study, the reflection coefficient and the radiation diagram of this network obtained by simulation under CST. A discussion on the performance, improvements and prospects of this antenna structure concludes this work.

Keywords: Patch Antenna , RFID , Reader , SHF , Patch Antenna Array , slots , CST

ملخص

في السنوات الأخيرة أصبحت وسائل التعريف الآلية منتشرة في العديد من التطبيقات العملية و ذلك عن طريق بطاقات التعريف عن طريق موجات الراديو RFID تعتمد هذه البطاقات على بث المعلومات على شكل اشارات كهرومغناطيسية خاصة يسمح لنا الهوائي الخاص بقارئ هذه الرقائق RFID بتنشيط الملصقات / العلامات) الخاصة به ونقل المعلومات إلى القارئ .وهو واحد من العناصر الأساسية لتحديد الهوية.

من خلال هذا العمل نحن مهتمون بتكنولوجيا SHF و بصورة ادق تصميم مجموعة من الهوائيات المطبوعة التي تشع إلى 2.45 GHZ هذه الهوائيات مصنوعة من نوع الركيذ FR4 ($\epsilon_r = 4.3$ ، سمك =1.6 ملم)

نقدم في هذه الدراسة: (معامل الانعكاس ومخطط الإشعاع لهذه الشبكات التي تم الحصول عليها تردد الرنين عرض النطاق)عن طريق المحاكاة تحت CST ونختتمها بافاق وتحسينات الهيكل الهوائي.

الكلمات الرئيسية : هوائيات المطبوعة ، RFID ، القارئ ، SHF ، مجموعة الهوائيات المطبوع , فتحات , برنامج الحاسوب CST

Table des Matières

Dédicaces	2
Dédicaces	3
Remerciements	4
Résumé.....	5
Table des matières	6
Liste des figures	9
Liste des tableaux	12
Liste des acronymes	13
Introduction générale	15
Chapitre 1 : Généralités sur les antennes	18
1.1 Introduction.....	18
1.2 Notions fondamentales	18
1.2.1 Définition d'une onde électromagnétique	18
1.2.2 Propagation des ondes électromagnétiques	18
1.2.3 L'origine du rayonnement électromagnétique	18
1.2.4 Équation de MAXWELL.....	19
1.2.5 Définition d'une antenne.....	20
1.2.6 Principe de réciprocité	20
1.2.7 Les zones de rayonnement d'une antenne	21
1.3 Les caractéristiques d'une antenne	21
1.3.1 Diagramme de rayonnement.....	21
1.3.2 La directivité	24
1.3.3 Le Gain.....	25
1.3.4 Le Rendement	26
1.3.5 Impédance d'entrée	26
1.3.6 Le VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)	26
1.3.7 Coefficient de réflexion et Adaptation d'une antenne	27
1.3.8 La bande passante (BP).....	28
1.3.9 La Polarisation.....	28
1.3.10 Puissance isotrope rayonnée équivalente (PIRE)	29

1.3.11	Bilan de liaison complet.....	29
1.4	Les types d'antennes.....	30
1.4.1	Les antennes filaires.....	30
1.4.2	Les antennes à fentes	32
1.4.3	Les antennes à ouverture (cornet).....	32
1.4.4	Les antennes à réflecteurs.....	33
1.4.5	Les antennes patches	34
1.5	Classification des antennes.....	35
1.6	Généralités sur les antennes imprimées.....	35
1.6.1	Définition d'une antenne patch.....	35
1.6.2	Structure	35
1.6.3	Mécanisme de rayonnement.....	36
1.6.4	Technique d'alimentation	37
1.6.5	Substrat.....	40
1.6.6	Dimensionnement d'une antenne patch rectangulaire	40
1.6.7	Les méthodes d'analyse	42
1.6.8	Types de réseaux d'antennes.....	42
1.6.9	Avantages et limitation.....	45
1.7	Conclusion.....	45
Chapitres 2: La technologie RFID		46
2.1.	Introduction.....	46
2.2.	Historique.....	46
2.3.	Définition de la technologie RFID.....	47
2.4.	Principe de fonctionnement	48
2.4.1.	Partie matérielle	48
2.4.2.	Partie informatique.....	50
2.4.3.	Partie communication	51
2.5.	Composants d'un système RFID.....	51
2.5.1.	Lecteur mobile	52
2.5.2.	Lecteur fixe.....	52
2.6.	Distance de lecture.....	53
2.6.1.	Le lecteur	53
2.7.	Les types des tags	55
2.7.1.	Tag RFID actif.....	55

2.7.2.	Tag RFID passifs	56
2.7.3.	Tag RFID semi-passif	57
2.8.	Fréquences d'utilisation	57
2.9.	Les applications RFID	58
2.9.1.	Domaine commercial	58
2.9.2.	Domaine de la santé	59
2.9.3.	Domaine de la sécurité	60
2.10.	Avantages et Inconvénients de la technologie RFID	61
2.10.1.	Avantages	61
2.10.2.	Inconvénients	61
2.11.	Conclusion.....	61
CHAPITRE 3 : Simulation d'un Réseau pour lecteur RFID-SHF		63
3.1.	Introduction.....	63
3.2.	Spécifications techniques (cahier des charges).....	63
3.3.	Antenne patch carrée classique pour RFID SHF.....	63
3.3.1.	Antenne patch alimentée par une ligne micro-ruban	64
3.3.2.	Antenne patch alimentée par une ligne micro-ruban en utilisant le transformateur quart d'onde	68
3.3.3.	La nouvelle structure d'antenne patch carrée	72
3.4.	Effet et étude paramétrique de nouvelle antenne	76
3.5.	Simulation d'un réseau de deux antennes imprimées.....	81
3.6.	Simulation d'un réseau de quatre antennes imprimées.....	85
3.7.	Conclusion	90
Conclusion générale		92
Bibliographie.....		94
Annexe : Calcul des dimensions théoriques d'une antenne patch carrée.....		97

Liste des figures

CHAPITRE 1-Généralités sur les antennes

Figure 1. 1 : présentation des champs E et H	18
Figure 1. 2 : Système de communication sans fils comporte une antenne émettrice et une antenne réceptrice	20
Figure 1. 3 : lobes de rayonnement classique d'une antenne directive	22
Figure 1. 4 : puissance rayonnée par une antenne dans une direction de l'espace.....	23
Figure 1.5 : représentation de diagramme de rayonnement	24
Figure 1.6 : les différentes puissances dans la Chaîne de transmission	27
Figure 1.7 : bande passante et coefficient de réflexion.....	28
Figure 1.8 : Type des polarisations	29
Figure 1. 9 : les types des antennes	30
Figure 1.10 : antenne dipolaire	31
Figure 1.11 : Antenne yagi	31
Figure 1.12 : Réseau de fentes	32
Figure 1.13 : Réseau de fentes réel	32
Figure 1.14 : Antenne cornet	33
Figure 1.15 : Schéma illustrant l'antenne parabolique	34
Figure 1.16 : Antenne patch.....	34
Figure 1.17 : Présentation d'une antenne imprimée (Patch)	35
Figure 1.18 : Différentes formes de l'élément rayonnant d'une antenne imprimé	36
Figure 1.19 : Alimentation par onde micro-ruban.....	37
Figure 1.20 : Le patch alimenté par ligne micro-ruban à travers un bord rayonnant	37
Figure 1.21 : Le patch alimenté par ligne micro-ruban à travers un bord non rayonnant	38
Figure 1.22 : le patch couplé capacitivement a ligne micro-ruban.....	38
Figure 1.23 : Antenne micro-ruban alimenté par sonde coaxial.....	39
Figure 1.24 : Alimentation couplée par ouverture.....	39
Figure 1.25 : Alimentation couplée par proximité	40
Figure 1.26 : Géométrie d'une antenne patch rectangulaire.....	40
Figure 1. 27 : Schéma représente la largeur W du patch	41
Figure 1. 28 : Longueur physique du patch	42
Figure 1. 29 : Réalisations de réseau a alimentation (a) linéaire en série, (b) linéaire en parallèle (c) bidimensionnel en parallèle	43
Figure 1.30 : alimentation parallèle de 2^3 éléments rayonnants par 3 étages de diviseurs de puissances	44
Figure 1.31 : réseau bidimensionnel formé de réseaux linéaires à alimentation série et (b) réseau bidimensionnel formé de réseaux linéaires à alimentation parallèle-série.....	44
Figure 1.32 :(a) Réseau bidimensionnel à double alimentation parallèle et (b) grille dans le plan xOy , dont les nœuds représentent la position des éléments d'un réseau bidimensionnel rayonnant dans une direction $\Delta(\theta,\varphi)$	44

CHAPITRE 2-La Technologie RFID

Figure 2. 1 : Les phases de développement de la technologie RFID.....	47
Figure 2. 2 : Type de système d'identification automatique.....	48
Figure 2. 3 : Illustration d'un système RFID.....	48

Figure 2. 4 : Etiquette RFID	49
Figure 2. 5 : Lecteurs RFID fixe et mobile.....	49
Figure 2. 6 : Illustration d'un transpondeur couplé à une antenne.....	50
Figure 2. 7 : Antenne de lecteur RFID.....	50
Figure 2. 8 : Logiciel RFID	50
Figure 2. 9 : Schéma général d'un système d'identification par radiofréquence.....	51
Figure 2. 10 : Relation maître-esclave dans la communication RFID	51
Figure 2. 11 : Lecteur RFID portable	52
Figure 2. 12 : Lecteur RFID fixe.....	52
Figure 2. 13: Comparaison entre lecteur RFID fixe et mobile.....	53
Figure 2. 14 : Tag RFID actif	56
Figure 2. 15 : Tague RFID passif.....	56
Figure 2. 16 : Tague RFID semi-passif.....	57
Figure 2. 17 : Les catégories des fréquences	57
Figure 2. 18 : Domaine commercial.....	59
Figure 2. 19: RFID dans le domaine de la sante	60
Figure 2. 20 : RFID dans domaine de la sécurité	61

CHAPITRE 3-Simulation d'un réseau d'antennes pour lecteur RFID-SHF

Figure 3. 1: Géométrie du Antenne patch carrée alimentée par une ligne micro-ruban sous CST.....	64
Figure 3. 2 : Coefficient de réflexion de l'antenne patch alimentée par une ligne micro-ruban	65
Figure 3. 3 : Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence	66
Figure 3. 4 : Impédance d'entrée de l'antenne patch de forme carrée en fonction de la fréquence (dBi)	66
Figure 3. 5 : Taux d'ondes stationnaires en fonction de la fréquence	67
Figure 3. 6: Diagramme de rayonnement 3D en directivité de l'antenne patch de forme carrée et polaire	67
Figure 3. 7: Géométrie d'antenne patch carrée avec transformateur quart d'onde sous CST.	68
Figure 3. 8: Coefficient de réflexion de l'antenne patch carrée avec transformateur quart d'onde.....	69
Figure 3. 9: Taux d'ondes stationnaires en fonction de la fréquence.....	70
Figure 3. 10: Impédance d'entrée de l'antenne patch de forme carrée en fonction de la fréquence (dBi)	70
Figure 3. 11: Diagramme de rayonnement 3D en gain de l'antenne patch de forme carrée et polaire...71	71
Figure 3. 12: Géométrie de la nouvelle structure d'antenne patch.....	72
Figure 3. 13 : Coefficient de réflexion de nouvelle antenne patch.....	73
Figure 3. 14: Impédance d'entrée de nouvelle antenne patch en fonction de la fréquence (dBi)	74
Figure 3. 15 : Taux d'ondes stationnaires en fonction de la fréquence	74
Figure 3. 16 : Variation de gain en fonction de la fréquence.....	75
Figure 3. 17: Diagramme de rayonnement 3D en directivité de nouvelle antenne patch	75
Figure 3. 18: Diagramme de rayonnement polaire en directivité de nouvelle antenne patch	75
Figure 3. 19: Diagramme de rayonnement 3D en gain de nouvelle antenne patch	76
Figure 3. 20: Diagramme de rayonnement polaire en gain de nouvelle antenne patch.....	76
Figure 3. 21 : Géométrie de la nouvelle antenne patch avec variation des dimensions de la première fente	77
Figure 3. 22 : Coefficient de réflexion avec variation de dimension de première fente.....	78
Figure 3. 23 : Taux d'onde stationnaire.....	79
Figure 3. 24: l'impédance d'entrée de l'antenne	79
Figure 3. 25: Variation de gain en fonction de la fréquence	80

Figure 3. 26 : la représentation 3D du gain.....	80
Figure 3. 27 : la représentation polar en fonction du Theta	81
Figure 3. 28: la représentation polar en fonction du Phi	81
Figure 3. 29: Réseau de deux antenne patch carré avec fentes	82
Figure 3. 30: Coefficient de réflexion du réseau linéaire de deux patch.....	82
Figure 3. 31: l'impédance d'entrée du réseau linéaire de deux patch.....	83
Figure 3. 32: Taux d'onde stationnaire du réseau linéaire de deux patch.....	84
Figure 3. 33: Variation de gain en fonction de la fréquence.....	84
Figure 3. 34: Gain en 3D pour un réseau d'antenne patch 2 éléments carré par une alimentation parallèle.....	85
Figure 3. 35: Gain en polaire pour un réseau d'antenne patch 2 éléments carré par une alimentation parallèle.....	85
Figure 3. 36: Réseau linéaire de quatre antennes (4x1).....	86
Figure 3. 37: Coefficient de réflexion du réseau linéaire de 4patch.....	86
Figure 3. 38: Taux d'onde stationnaire d'un réseau de 4 patchs	87
Figure 3. 39: l'impédance d'entrée d'un réseau de 4 patchs	87
Figure 3. 40 : Variation de gain en fonction de la fréquence.....	88
Figure 3. 41 : Gain en 3D d'un réseau de 4 patchs.....	88
Figure 3. 42 : Gain en polaire d'un réseau de 4 patchs	88
Figure 3. 43: Directivité en 3D d'un réseau de 4 patchs.....	89

Liste de tableaux

CHAPITRE 1-Généralités sur les antennes

Tableau 1. 1: Equations de Maxwell	19
Tableau 1. 2 : Les zones de rayonnement d'une antenne.....	21
Tableau 1. 3: Classification des antennes	35

Chapitre 2-La Technologie RFID

Tableau 2. 1: Principales caractéristiques des bandes de fréquences dédiées à la RFID	55
Tableau 2. 2: Gamme des fréquences dans les différentes régions du monde	58

Chapitre 3-Simulation d'un réseau d'antennes pour lecteur RFID-SHF

Tableau 3. 1 : Cahier des charges	63
Tableau 3. 2 : Dimensions de l'antenne patch carrée.....	64
Tableau 3. 3: Dimensions de l'antenne patch après optimisation sur CST	65
Tableau 3. 4 : Gain et directivité de l'antenne patch carrée	68
Tableau 3. 5: Dimensions d'Antenne patch carrée avec transformateur quart d'onde sous CST	69
Tableau 3. 6 : Synthèse des résultats.....	71
Tableau 3. 7 : Dimension de la nouvelle antenne patch.....	73
Tableau 3. 8: Dimension de la nouvelle antenne patch avec première fente.....	77
Tableau 3. 9 : Variation de la fréquence de résonance et le S11 en fonction des différentes valeurs de la largeur et la longueur de la première fente	78
Tableau 3. 10 : Les résultats pour les différentes structures d'antennes.....	89

Liste des acronymes

BF : Basse Fréquence.

CST : Computer Simulation Technology.

dB : DeciBels.

EM : Electro Magnétique.

FI : Feed Insert.

FDA : Food and Drug Administration

GHz : Giga Hertz.

HF : Haute Fréquence

IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers

IFF: Identify: Friend or Foe

ISM : Industrial Scientific Medical

ISO : International Organization for Standardization

MWS : Micro Wave Studio

NEC :Near Field Communication

ROM :Read Only Memory

RAM : Random AccessMemory

RTF : Reader Talk First

RF : Radio Freaquency

SHF : Super Haute Fréquence

TOS : Taux d'Onde Stationnaire

TTF : Tag Talk Rirst

UHF : Ultra Haute Fréquence

VSWR : Voltage Standing Wave Ratio

3D : Trois Dimensions

2D : Deux Dimensions

Introduction générale

Introduction générale

L'histoire des télécommunications commence en **1794**, quand Claude Chappe met au point le **télégraphe optique**. Et jusqu'à la fin du **19ème siècle** les travaux sur **l'électromagnétisme** connaissent un **développement considérable** par la découverte de l'existence des **ondes électromagnétiques** par le physicien allemand **Heinrich Hertz**.

Cette découverte a donné naissance aux nouvelles techniques de télécommunication et l'apparition des antennes, ces antennes ne cessent d'évoluer et progresser. L'antenne est un des organes clés de système sans fil moderne.

Ce sont des éléments indispensables pour assurer une opération d'émission ou de réception des ondes électromagnétiques dans l'atmosphère terrestre ou dans l'espace. Elles sont présentes dans tous les systèmes de communication sans fil. Afin de répondre aux besoins actuels du domaine de télécommunication et domaine d'applications variées ce qui impose des innovations importantes au niveau de la conception des systèmes et des antennes associées et chaque antenne est conçue pour être utilisée dans une application bien précise : télécommunications mobiles, satellites, télévision, radio.

En effet, l'antenne étant un élément incontournable dans ce type de communication, leur miniaturisation est devenue indispensable pour une conception optimale des systèmes intégrés de la communication mobile et sans fil.

L'enjeu est devenu de proposer des structures d'antennes imprimées permettant de remplacer l'ancienne génération des antennes ayant des grandes dimensions par une nouvelle génération à taille assez minimale permettant de les embarquer dans des espaces plus restreints, tout en conservant leurs caractéristiques électromagnétiques.

Ces antennes présentent des caractéristiques très avantageuses en ce qui concerne le poids, le volume, le coût, la simplicité de fabrication et surtout la possibilité de les implanter sur tout type de dispositif électronique. Cependant, ce type d'antenne présente des limites notamment la bande passante étroite, le faible gain, et la possibilité de résonner à une seule fréquence.

Actuellement les NTIC (Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication) sont devenues au fil du temps une composante essentielle de notre vie quotidienne. Smartphone, bracelet et lunettes connectés... Un futur sans communication ou sans échange des données est inenvisageable autant dans le secteur privé qu'industriel. Identification, traçage, archivage ou encore stockage de données sont devenus indispensables.

La RFID pour <<Radio Frequency Identification>> vient remplacer des technologies en apportant des solutions efficaces dans différents domaines, elle permet de tracer les produits et les animaux, d'identifier des personnes, de sécuriser des lieux ... Les caractéristiques de cette technologie sont : la lecture distante et même sans ligne de vue directe, la rapidité, l'unicité des ID des tags...[1]

Dans le cadre de notre projet nous nous sommes intéressées à la conception d'un réseau d'antennes patch destinée pour une application RFID sous **logiciel CST**.

Introduction générale

Notre contribution s'échelonne sur trois chapitres :

Le premier chapitre structuré en 2 parties :

La 1^{ère} comprend quelques généralités sur les antennes, on commence par donner une définition d'une antenne ainsi qu'à la connaissance de leurs caractéristiques telles que : le diagramme de rayonnement, gain et directivité, la polarisation et la bande passante, ont été introduites et discutées.

La 2^{ème} sera consacrée à la description générale des antennes imprimées, leurs propriétés et leurs caractéristiques, un rappel théorique sur l'antenne imprimée, une présentation des différentes méthodes d'analyse et les différentes techniques d'alimentation.

Dans le deuxième chapitre nous allons focaliser sur le contexte général de la technologie RFID où nous rappellerons l'historique de la technologie RFID et les définitions les concernant. Par la suite, nous allons décrire les composants de ce système et le principe de fonctionnement, ainsi que la communication entre ces composants (Tag/Lecteur), la distance de lecture, la fréquence d'utilisation et l'application RFID et nous finissons par les perspectives des RFID.

Le troisième chapitre concerne l'aspect de la conception d'une antenne imprimée puis un réseau d'antenne patch en utilisant l'environnement de conception CST MICROWAVE STUDIO et nous exposons les résultats numériques obtenus, concernant l'influence des paramètres de la structure au réseau d'antennes patches, toutes les simulations sont suivies par des discussions et des commentaires.

A la fin de ce mémoire, on finira par donner une conclusion générale suivie par une annexe dans lequel on va présenter les Calculs des dimensions théoriques d'une antenne patch carrée et une bibliographie qui contient les références dont on s'est appuyé pour élargir notre horizon de travail

CHAPITRE 1

Généralités sur les antennes

1.1 Introduction

Ce chapitre a pour but de fournir les connaissances nécessaires à la compréhension de fonctionnement des antennes en particulier les antennes imprimées, il est structuré en deux parties : la première partie revient sur des bases théoriques sur le fonctionnement des antennes, la seconde partie sur les antennes imprimées (Patch).

1.2 Notions fondamentales

Le but de ce paragraphe est de revenir sur certaines notions fondamentales d'électromagnétisme avant de se concentrer sur les antennes.

1.2.1 Définition d'une onde électromagnétique

C'est la propagation d'une variation du champ électrique \vec{E} et champ magnétique \vec{H} . Pour la radio on utilise un courant alternatif dans une antenne, le mouvement des électrons va engendrer une onde électromagnétique (OEM) qui se propage à la vitesse de la lumière.

Elle va faire bouger les électrons dans les antennes à distance ainsi on peut communiquer de l'information.

1.2.2 Propagation des ondes électromagnétiques

L'onde électromagnétique est formée par le couplage de deux champs, le champ électrique \vec{E} et le champ magnétique \vec{H} .

Le champ \vec{E} et \vec{H} sont perpendiculaires et orthogonaux à la direction de propagation. Donc la propagation de l'onde électromagnétique dans l'espace libre se propage de cette façon comme le montre la (**Figure 1. 1**) :

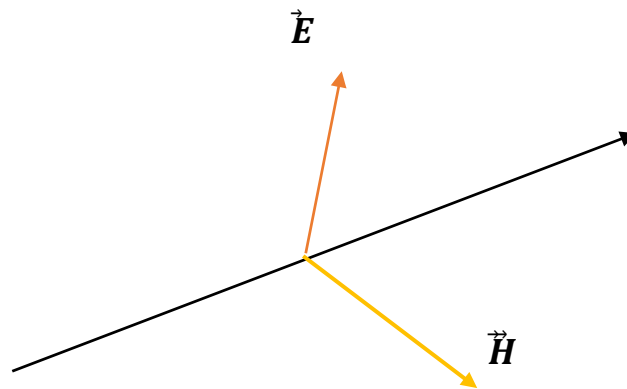


Figure 1. 1 : Présentation des champs \vec{E} et \vec{H} [2]

1.2.3 L'origine du rayonnement électromagnétique

Toute charge et tout mouvement de charge sont capables de créer des champs électriques et magnétiques autour d'eux et devraient être capables de produire un rayonnement électromagnétique (création d'une onde électromagnétique qui se propage librement dans l'espace).

CHAPITRE 1 : Généralités sur les antennes

En effet, la plupart des objets contiennent des charges positives et négatives en équilibre, si bien que les champs électriques que chacune de ces charges génère s'annulent.

Intuitivement, on sent qu'il faut qu'il y ait un déséquilibre dans la distribution de charges et les courants parcourant l'antenne [3][4].

1.2.4 Équation de MAXWELL

« Tout l'électromagnétisme est contenu dans les équations de Maxwell » [Feynman].

• Présentation des équations de maxwell

La répartition des champs électriques et magnétiques dans l'espace produite par une distribution donnée de charges et de courants peut être déterminée en résolvant les équations de Maxwell (voir Tableau 1. 1).

En outre, celles-ci permettent de déterminer comment l'onde électromagnétique se propage dans l'espace. Pour un milieu homogène et isotrope (cas général de la propagation en espace libre ou guidée) [3].

Equation de Maxwell-Gauss	$\text{Div } \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon}$	–	(1.1)
Equation de Maxwell-Thompson	$\text{Div } \vec{B} = 0$		(1.2)
Equation de Maxwell-Faraday	$\text{rot } \vec{E} = -\mu \frac{d\vec{H}}{dt}$		(1.3)
Equation de Maxwell-Ampère	$\text{rot } \vec{H} = \sigma \vec{E} + \epsilon \frac{d\vec{E}}{dt}$		(1.4)

Tableau 1. 1: Equations de Maxwell.

Avec :

ρ : Densité volumique de charge

ϵ : Permittivité électrique (F/m).

ϵ_0 : Permittivité diélectrique dans le vide = $\frac{1}{36\pi} 10^{-9} F/m$

ϵ_r : Permittivité électrique relative telle que $\epsilon = \epsilon_0 \times \epsilon_r$

μ : Perméabilité magnétique (H/m).

μ_0 : Perméabilité magnétique dans le vide = $4\pi 10^{-7} H/m$

μ_r : Perméabilité magnétique relative telle que $\mu = \mu_0 \times \mu_r$

σ : conductivité électrique du milieu (S/m)

1.2.5 Définition d'une antenne

L'une des définitions les plus justes d'une antenne est donnée dans la norme IEEE des définitions des termes pour les antennes.

D'après cette norme, une antenne est un :

« *moyen de rayonnement ou de réception des ondes radio* »[5]

Plus concrètement, c'est un dispositif qui converti une puissance électrique en une puissance rayonnée, c'est-à-dire transporté par une onde électromagnétique, qui peut se propager dans toutes les directions de l'espace lorsque l'antenne est en mode d'émission. En réception tout simplement elle capte les ondes électromagnétique incidentes et les convertit en signaux , comme le montre la (**Figure 1. 2**) .

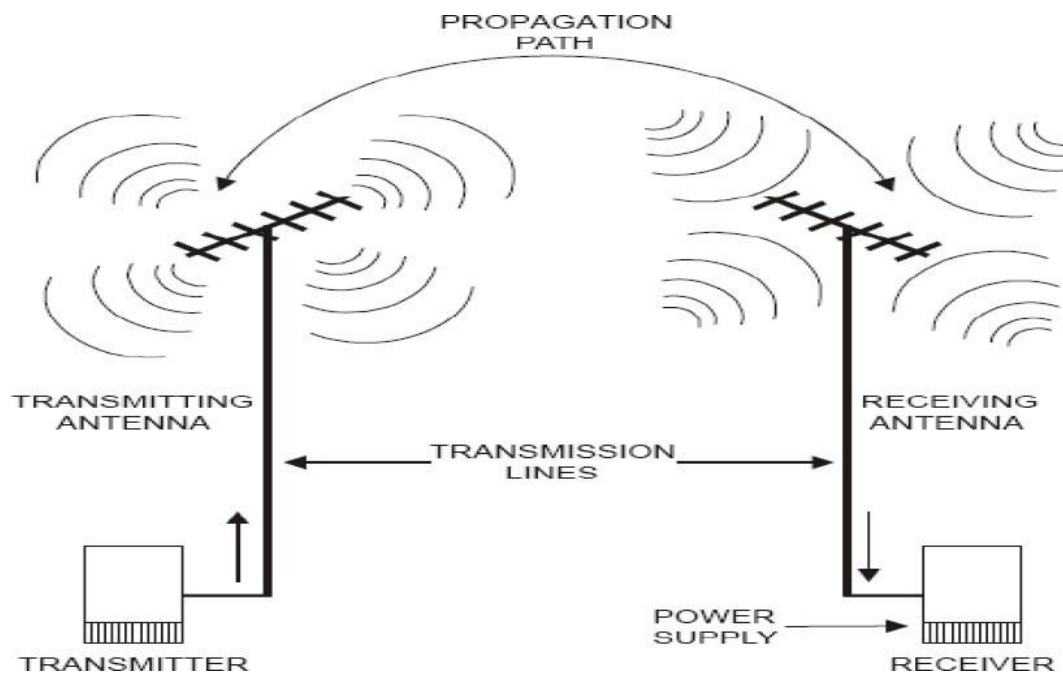


Figure 1. 2 : Système de communication sans fils comporte une antenne émettrice et une antenne réceptrice [5].

L'antenne peut être utilisée (en particulier dans un système de communication) pour diriger l'énergie du rayonnement dans une direction, et de la réduire ou l'annuler dans d'autres directions selon les fréquences.

Ceci dit, l'antenne n'est plus seulement un outil de transmission, mais également un dispositif de transition.

En conséquence la forme d'une antenne est commandée par un besoin particulier. C'est pourquoi, les antennes prennent tantôt les formes d'ouverture, de patch, de réflecteurs, de lentilles, d'ensemble d'éléments, etc.

Une bonne conception de l'antenne peut assouplir les exigences du système et améliorer la performance globale du système[6] .

1.2.6 Principe de réciprocité

Le principe de réciprocité stipule qu'une antenne peut être utilisée indifféremment en émission ou en réception, c'est-à-dire qu'elle peut être utilisée en réception et/ou en émission avec les mêmes caractéristiques électriques et de rayonnement (les deux bandes de fréquences étant les

CHAPITRE 1 : Généralités sur les antennes

mêmes dans les deux cas)[7] .

1.2.7 Les zones de rayonnement d'une antenne (voir Tableau 1.2)

Zone de Rayleigh	Zone de champ proche, la densité de puissance est quasi constante $r < \frac{D^2}{2\lambda}$.
Zone de Fresnel	la densité de puissance est fluctuante $\frac{D^2}{2\lambda} < r < \frac{2D^2}{\lambda}$.
Zone Fraunhofer	Zone de champ lointain, les champs sont rayonnés sous la forme d'onde plane, la densité de puissance décroît en $1/r^2$ $r > \frac{2D^2}{\lambda}$ D : est le diamètre de la surface équivalente de l'antenne r : la distance de l'antenne au point d'observation [8]

Tableau 1. 2 :Les zones de rayonnement d'une antenne

1.3 Les caractéristiques d'une antenne

1.3.1 Diagramme de rayonnement

C'est la représentation graphique dans l'espace du rayonnement de l'antenne c'est-à-dire la distribution spatiale de puissance en 2D ou 3D. Il est déterminé à région lointaine et varie en fonction de (θ, φ) . Ce diagramme peut-être représenté sur un plan en coordonnées cartésiennes, polaire ou bien dans l'espace à trois dimensions comme le montre la (Figure 1.5).

- **Antenne de référence : la source isotrope**

En effet, l'antenne isotrope n'est qu'un concept théorique car l'antenne réelle ne rayonne pas de façon omnidirectionnelle.

Habituellement, la présentation de diagramme de rayonnement décrit en termes des deux plans \vec{E} et \vec{H} qui sont perpendiculaires l'un à l'autre et ils sont en phase telles que :

- ✓ **Plan \vec{E}** : c'est le plan horizontal contenant le vecteur champ électrique et la direction de rayonnement maximal.
- ✓ **Plan \vec{H}** : c'est le plan contenant le vecteur champ magnétique et la direction de rayonnement maximal[6] .

- **La puissance rayonnée par unité d'angle solide**

C'est un diagramme qui représente les variations de la puissance que rayonne l'antenne par unité d'angle solide qui est définie comme : **le rapport de la surface d'une partie d'une sphère sur le rayon au carré. Son unité est le STERADIAN noté SR** dans les différentes directions de l'espace [2] .

Cette puissance doit intégrer le vecteur du poynting qui se définit :

$$\vec{P} = \frac{1}{2} \vec{E} \wedge \vec{H} \quad (1.5)$$

CHAPITRE 1 : Généralités sur les antennes

Prenons le concept d'une antenne isotrope, qui rayonne leur énergie uniformément dans toute la direction de l'espace, si P est la puissance rayonnée par l'antenne et si la propagation s'effectue sans perte, toute cette puissance peut être récupérée au niveau de la sphère S sa surface étant à $4\pi.r^2$.

S est donnée par :

$$S = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (1.6)$$

La puissance rayonnée dans une direction quelconque (θ, φ) dans un angle solide donc :

$$p(\theta, \varphi) = \frac{P}{4\pi} \quad (1.7)$$

Cette puissance rayonnée est appelée aussi intensité de rayonnement exprimée en WATT/STERADIAN, Donc on notera la puissance P_a une distance R :

$$P(R, \varphi) = \frac{P_a}{4\pi.R^2} \quad \text{W/m}^2 \quad (1.8)$$

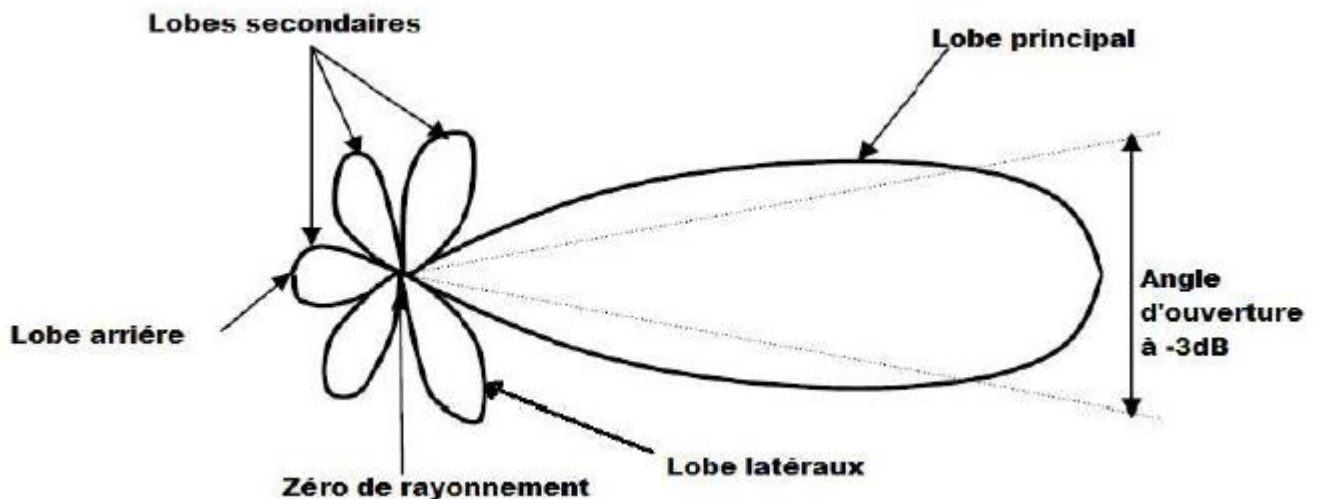


Figure 1.3 : Les lobes de rayonnement classique d'une antenne directive[9].

Sur la (figure 1.3) on peut voir :

- **Le lobe principal** : c'est le lobe correspondant à la direction privilégiée autour laquelle se trouve concentrer une grande partie de la puissance de rayonnement.
- **Lobe secondaire** : présente la puissance restante généralement considéré comme des lobes parasites.

- **Un lobe arrière** : plus faible que le lobe principal, c'est le lobe secondaire présent dans la direction opposée à 180° du lobe principal. Le rapport avant/arrière est le rapport en dB de la puissance rayonnée dans la direction du maximum de rayonnement par rapport à celle rayonnée dans la direction opposée.
 - **Angle d'ouverture** : à -3dB et l'angle $2\theta_3$ caractérise la largeur de lobe principale elle représente une portion entre deux directions de lobe principal où la puissance rayonnée est égale à la moitié de la puissance rayonnée dans la direction maximale. [3]
- **La fonction caractéristique de rayonnement**

La fonction caractéristique (θ, φ) permet de donner une vision globale de rayonnement, c'est le rapport de la puissance (θ, φ) transmise dans une direction donnée de l'espace avec la puissance (θ_0, φ_0) de la direction où le rayonnement est maximal (voir Figure 1.4).

$$r(\theta, \varphi) = \frac{p(\theta, \varphi)}{P_0(\theta_0, \varphi_0)} \quad (1.9)$$

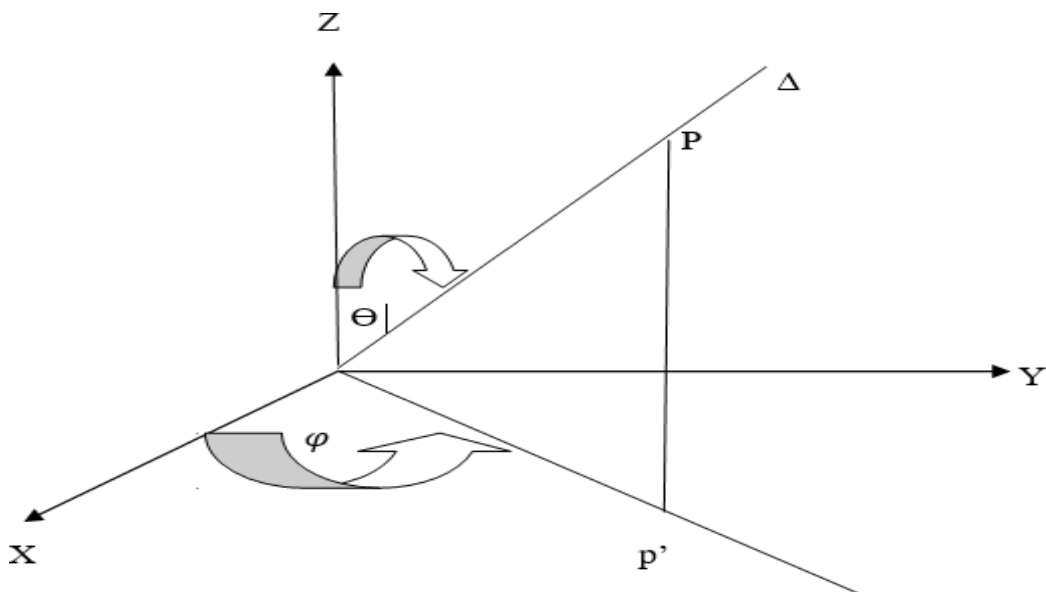


Figure 1.4 : puissance rayonnée par une antenne dans une direction de l'espace. [2]

la fonction caractéristique dans le diagramme de rayonnement peut être présentée sous différentes formes, elle varie entre 0 et 1 selon la direction. [3]

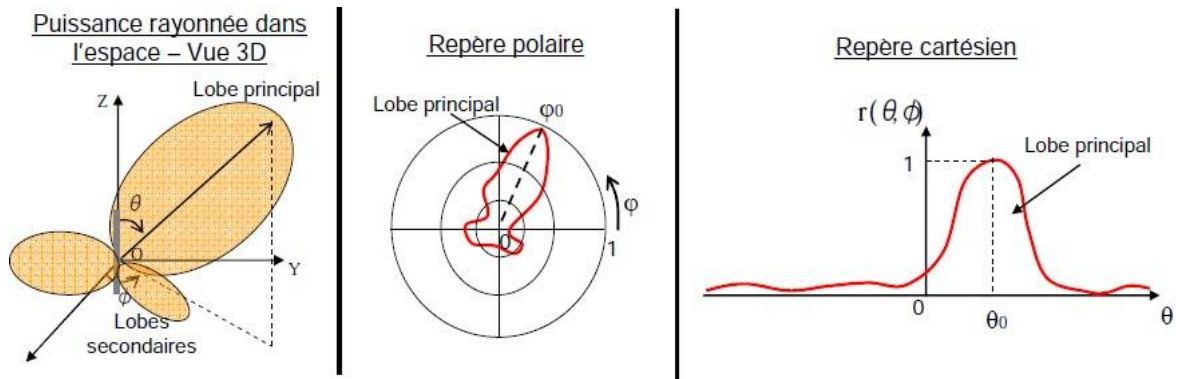


Figure 1.5 : Représentation de diagramme de rayonnement[3]

• Cas de doublet

Le champ rayonné par un dipôle élémentaire ou doublet électrique est un fil de longueur h très inférieure à la longueur d'onde ($h < \lambda/10$). Connecté à une source d'excitation, on considère que l'amplitude du courant est constante le long de l'antenne[10] .

$$E(\theta) = \frac{j}{2\lambda r} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \cdot I \cdot dl \cdot \sin \theta \cdot e^{j(\omega t - \beta r)} \tag{1.10}$$

$$|E(\theta)| = \frac{60\pi}{\lambda r} I \cdot dl |\sin \theta| \tag{1.11}$$

$$|E(\theta)| = \frac{60I}{r} \cdot \frac{\pi dl}{\lambda} |\sin \theta| \tag{1.12}$$

$$|F(\theta, \varphi)|$$

Fonction caractéristique du doublet

Pour une antenne quelconque dont le champ électrique émis s'écrit :

$$E(r, \theta, \varphi) = \frac{A_0}{r} F(\theta, \varphi) \tag{1.13}$$

Avec $A_0 = 60 \cdot I \cdot \pi \cdot dl / \lambda$

1.3.2 La directivité

La **directivité d'une antenne** dans la direction (θ, φ) est le rapport de la puissance $P(\theta, \varphi)$ à la puissance que rayonnerait la source isotrope par unité d'angle solide, la directivité n'a pas d'unité[3] .

En général, on l'exprime en décibels : $D(\theta, \varphi) \text{ dB} = 20 \log D(\theta, \varphi)$
 Il s'agit de quantifier la façon dont une direction de rayonnement est privilégiée.

CHAPITRE 1 : Généralités sur les antennes

Elle caractérise la façon dont cette antenne concentre le rayonnement dans certaines directions de l'espace.

$$D(\theta, \varphi) = \frac{P(r, \theta, \varphi)}{P_{iso}(r)} \quad (1.14)$$

$$D(\theta, \varphi) = \frac{P(r, \theta, \varphi)}{Pr/4\pi} \quad (1.15)$$

Avec :

$$Pr = \iint_0^{4\pi} P(\theta, \varphi) \cdot d\Omega \quad (1.16)$$

$$d\Omega = \sin \theta \cdot d\theta \cdot d\varphi \quad (1.17)$$

Dans la direction du rayonnement maximal (θ_0, φ_0) la directivité est exprimée :

$$D(\theta_0, \varphi_0) = 4\pi \frac{P(\theta_0, \varphi_0)}{Pr} \quad (1.18)$$

1.3.3 Le Gain

le gain (θ, φ) est défini de la même façon que la directivité à condition que les puissances d'alimentations P_a soient les mêmes [7].

$$G(\theta, \varphi) = \frac{p(\theta, \varphi)}{\frac{P_a}{4\pi}} \quad (1.19)$$

Généralement le gain G correspond au gain dans la direction du rayonnement maximal. Il mesure la performance d'une antenne, pour une antenne isotrope

$$G(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{p_0(\theta_0, \varphi_0)}{P_a} \quad (1.20)$$

$$G(dB) = 10 \log 4\pi \frac{p_0(\theta_0, \varphi_0)}{P_a} \quad (1.21)$$

Si l'antenne est omnidirectionnelle et sans pertes, son gain vaut 1 ou 0 dB.

Le gain est généralement exprimé en dB ou en dBi car une antenne isotrope est utilisée comme référence.

On trouve aussi parfois le gain exprimé en dBd, lorsqu'une antenne dipôle est utilisée comme référence.

Quelle est la différence entre directivité et gain ?

Le gain $G(\theta, \varphi)$ dans la direction (θ, φ) est une grandeur proche de la directivité. Il est défini comme :

$$G(\theta, \varphi) = \eta D(\theta, \varphi)$$

η est l'**efficacité** de l'antenne : c'est un chiffre compris entre 0 et 1 qui reflète les pertes présentes sur l'antenne. Plus η est proche de 1, plus la puissance injectée dans l'antenne est rayonnée, donc plus l'antenne est efficace.

1.3.4 Le Rendement

Dans le cas de dégradation de puissance au niveau de l'antenne, soit du fait des pertes ou de mauvaise utilisation, on peut définir le rendement comme suit [11] :

$$\eta = \frac{P_e}{P_f} = \frac{R_r}{R_r + R_p} \quad (1.22)$$

Où

R_r : résistance de rayonnement

R_p : résistance de perte de l'antenne

$$\text{Donc on définit le rendement : } = \frac{\text{puissance rayonner}}{\text{puissance d'alimentation}} \quad (1.23)$$

S'il n'y a pas des pertes le gain est égal à la directivité :

$$G(\theta, \varphi) = D(\theta, \varphi) \quad (1.24)$$

1.3.5 Impédance d'entrée

L'impédance d'entrée est le rapport entre la tension **V_e** entre les bornes A et B et le courant d'alimentation de l'antenne et définit par :

$$Z_e = \frac{V_e}{I_e} = R + jX \quad (1.25)$$

Où

R : c'est la résistance d'entrée aux bornes A et B

X : c'est réactance de l'antenne aux bornes A et B

Z_e : c'est l'impédance d'entrée aux bornes A et B

1.3.6 Le VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)

Dans les notes d'application d'antennes, l'adaptation de l'antenne est souvent caractérisée par le rapport d'onde stationnaire (ROS) ou Voltage Standing Wave Ratio (VSWR). Lorsqu'il y a désadaptation, la réflexion d'une partie de l'onde incidente et l'addition avec l'onde incidente conduit à l'apparition d'une onde stationnaire dans la ligne qui relie l'antenne à la source (ou au récepteur).[3]

Le VSWR est donné par :

$$VSWR = \frac{1 + |S_{11}|}{1 - |S_{11}|} \quad (1.26)$$

$$\text{Avec } S_{11} = \frac{V_r}{V_i} = \frac{Z_{an} - Z_c}{Z_{an} + Z_c} \quad (1.27)$$

Avec

V_r : Amplitude de l'onde réfléchie.

V_i : Amplitude de l'onde incidente.

Le VSWR minimal correspondant à une bonne adaptation. Une bonne conception d'antenne doit avoir une impédance de 50 Ω à 75 Ω.

1.3.7 Coefficient de réflexion et Adaptation d'une antenne

Le rôle d'une antenne est de transférer l'énergie électrique d'un signal en énergie électromagnétique avec un minimum de pertes de puissance.

Pour qu'une antenne fonctionne efficacement, on doit s'intéresser au coefficient de réflexion du signal lorsqu'il arrive à l'entrée de l'antenne.

Le coefficient de réflexion permet de connaître la qualité d'adaptation d'une antenne, il est défini comme étant le rapport de la puissance réfléchi par l'antenne P_r et la puissance émise par le générateur et qui est transportée par la ligne de transmission jusqu'à l'antenne P_i , (voir Figure 1.6) :

$$|S_{11}|^2 = \frac{P_r}{P_i} \quad (1.28)$$

Plus son module tend vers l'infini, plus l'antenne est adaptée. D'après la théorie des lignes de transmission, le coefficient de réflexion peut s'exprimer comme :

$$S_{11} = \frac{Z_e - Z_0}{Z_e + Z_0} \quad (1.29)$$

Z_e : L'impédance d'entrée d'antenne

Z_0 : L'impédance caractéristique de la ligne

$|S_{11}|^2$ est exprimé en décibel (dB) :

$$|S_{11}|_{dB} = 20 \log |S_{11}| \quad (1.30)$$

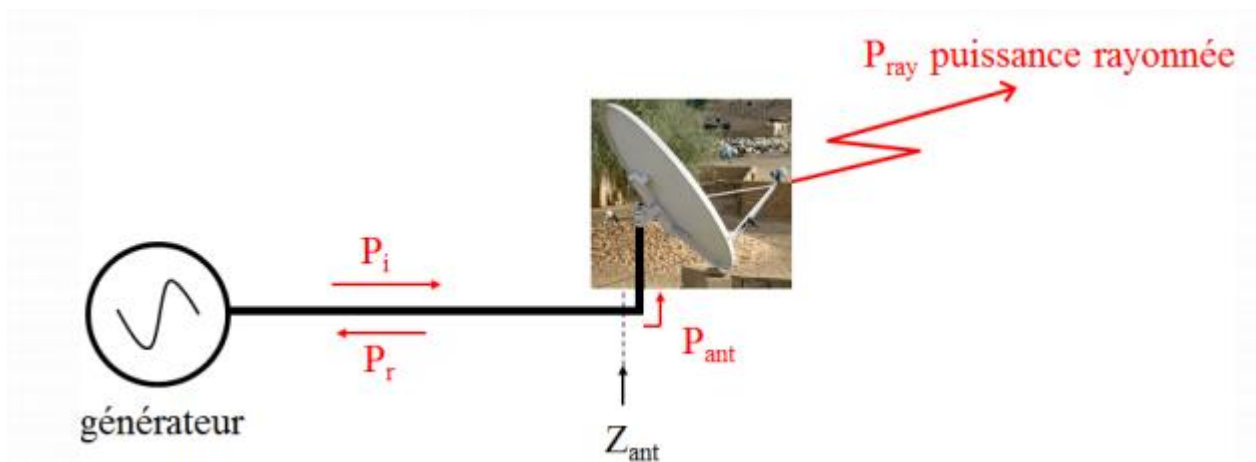


Figure 1.6 : les différentes puissances dans la Chaîne de transmissions[12]

P_{ant} : L'impédance d'entrée d'antenne

Z_{ant} : L'impédance caractéristique de la ligne

CHAPITRE 1 : Généralités sur les antennes

1.3.8 La bande passante (BP)

La plus commune définition de la bande passante d'une antenne est la bande de fréquences ou le transfert d'énergie de l'alimentation vers l'antenne (ou de l'antenne vers le récepteur) est maximale[3],

Elle dépend de l'impédance de rayonnement, la directivité, la polarisation, l'adaptation ou le coefficient de réflexion de l'antenne respecte un certain niveau bien défini à -10dB ou -15dB sur la bande comme le montre la (**Figure 1.7**). Elle présente les caractéristiques, la bande de fréquences est limitée par[6] :

- Le rapport d'ondes stationnaires admissible (**ROS**) (désadaptation de l'antenne par rapport aux systèmes d'émission et / ou de réception) par exemple **ROS** >2
- La variation du gain de l'antenne
- La déformation du diagramme de rayonnement.
- La bande passante est donnée par :

$$\text{BP (\%)} = \left(\frac{f_s - f_i}{f_c} \right) * 100 \quad (1.31)$$

f_c : est la fréquence centrale ou de résonance

f_s : est la fréquence limite supérieure

f_i : est la fréquence limite inférieure

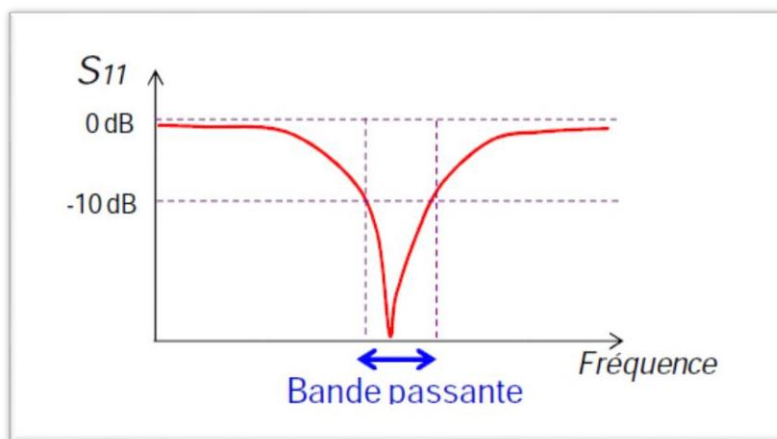


Figure 1.7 : bande passante et coefficient de réflexion[3]

1.3.9 La Polarisation

La polarisation d'une antenne est la polarisation d'une onde plane générée par cette antenne dans une direction bien déterminée dépend à la direction du champ électrique.

La polarisation d'une onde plane correspond à la variation du champ électrique E au cours du temps par rapport à un point d'observation fixe.

Il existe trois types de polarisation : rectiligne, circulaire, elliptique.[13]

CHAPITRE 1 : Généralités sur les antennes

❖ Condition de choix de polarisation d'une antenne

Polarisation rectiligne si la direction de champ électrique E reste constante dans le temps, si la direction change avec le temps c'est -à -dire le champ électrique E représente plusieurs positions successives et l'extrémité du vecteur représentatif décrit un cercle ou une ellipse alors le champ rayonné sera à polarisation circulaire ou elliptique (voir Figure 1.8).

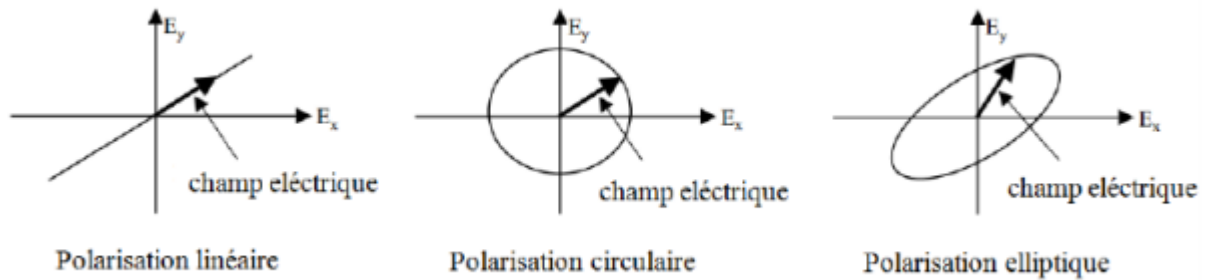


Figure 1.8 : Type des polarisations[4]

1.3.10 Puissance isotrope rayonnée équivalente (PIRE)

C'est le produit entre la puissance rayonnée P_e et le gain G_e dans une direction donnée la puissance isotrope rayonnée équivalente[10] :

$$PIRE = P_e \cdot G_e \quad (1.32)$$

1.3.11 Bilan de liaison complet [10]

Le bilan de liaison permet de calculer la puissance au niveau de la charge en réception en fonction de la puissance fournie à l'antenne d'émission, On connait :

$$Pr = Pe \cdot \frac{Ge \cdot Gr}{Aiso \cdot L} \quad (1.33)$$

Où

Aiso : un facteur d'affaiblissement supplémentaire

Le bilan de liaison inclut l'ensemble des pertes de transmission :

La relation s'écrit aussi en dB :

$$Pr (dBm, dBw) = Pe (dBm, dBw) + Ge (dB) + Gr (dB) - Aiso (dB) - L (dB) \quad (1.34)$$

On utilise également souvent la formule pratique suivante :

$$Aiso (dB) = 20 \log_{10} r + 20 \log_{10} f + 32.44 \quad (1.35)$$

1.4 Les types des antennes

On va voir dans (**Figure 1.9**) les grandes familles d'antennes à l'origine de l'ensemble des structures rayonnantes :

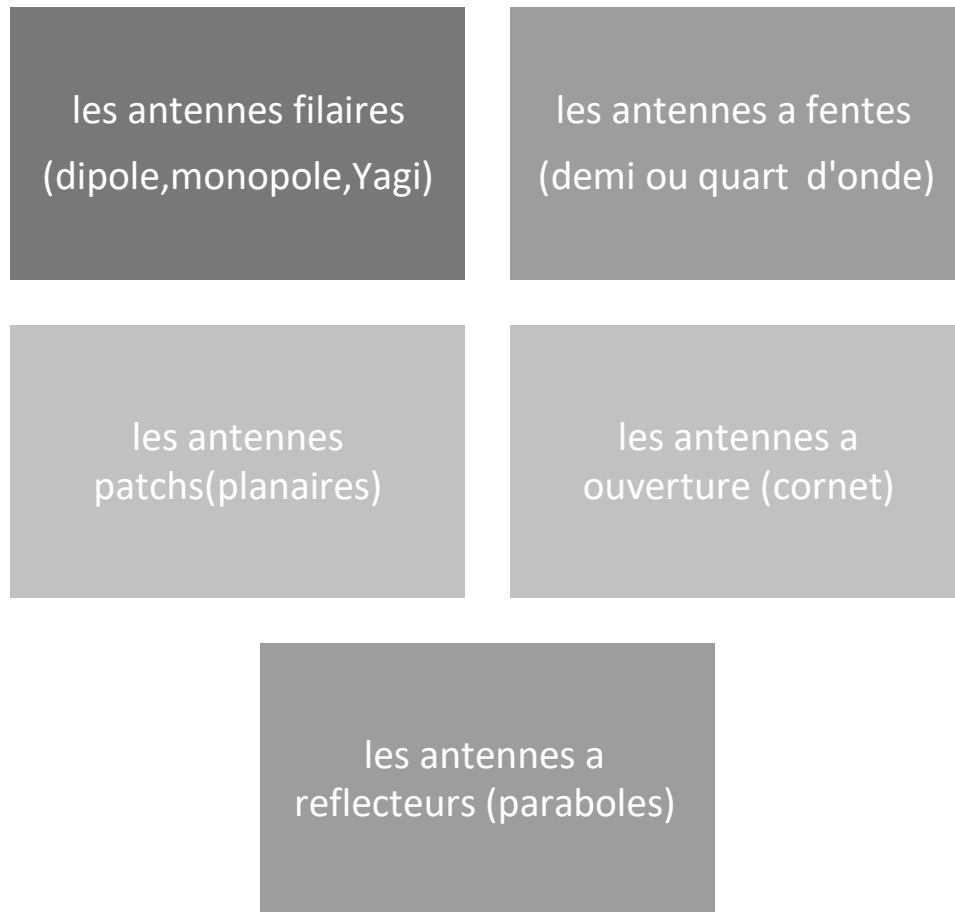


Figure 1.9 : les types des antennes.

1.4.1 Les antennes filaires

Les antennes filaires sont les antennes les plus courantes car elles sont les plus simples et les moins onéreuses on les voit partout sur les toits les avions les voitures. Etc, Parmi ces antennes:

a) Antennes dipôles

Le dipôle est **l'antenne de référence** est constituée de deux 2 tiges cylindriques de diamètre fin, très courts et relie chacun à deux fils parallèles et très proches constituant une ligne bifilaire. Relier à un générateur alternatif en émission ,à la réception cette ligne branchée sur le récepteur [3][14](voir Figure 1.10).



Figure 1.10: antenne dipolaire[15].

Ces antennes du type filaire ont de nombreuses applications. Citons : les antennes pour réception radio, les antennes de talkie- walkie, etc.

b) L'antenne Yagi

Le dipôle est souvent utilisé en association avec des brins purement passifs qui permet de rendre le diagramme plus directif :

- Un **brin réflecteur** légèrement plus long que le brin actif ou une surface réfléchissante
- Plusieurs **brins directeurs** un peu plus courts[15]
(voir Figure 1.11)

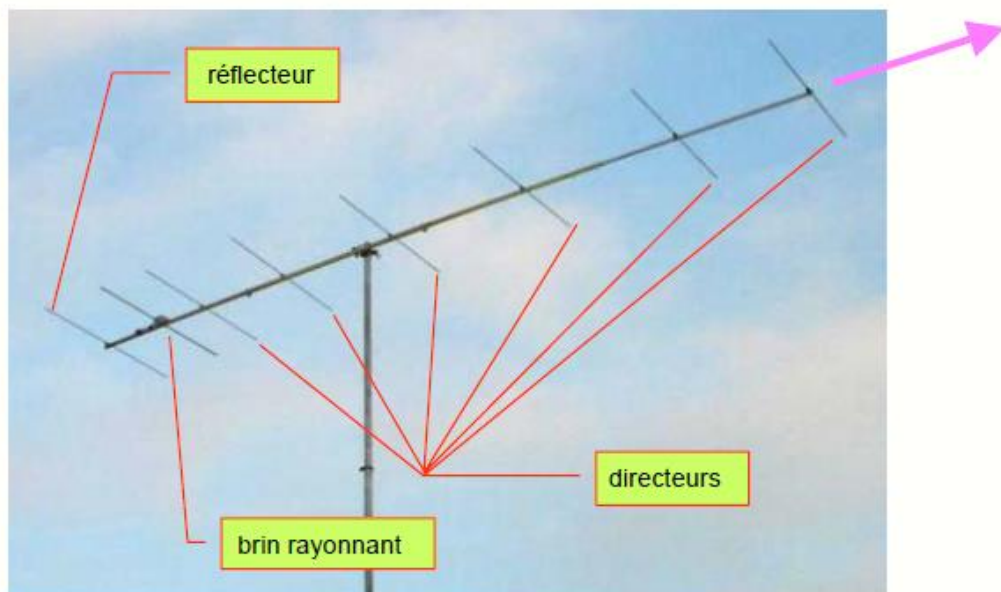


Figure 1.11 : Antenne yagi[15]

1.4.2 Les antennes à fentes

le guide d'onde est le dispositif souvent utilisé dans la transmission de ce type d'antenne , ce dernier est très utilisé dans les avions ou les vaisseaux spatiaux car ils peuvent être facilement montés sur leurs surfaces comme le montre les (Figure 1.12, Figure 1.13) .

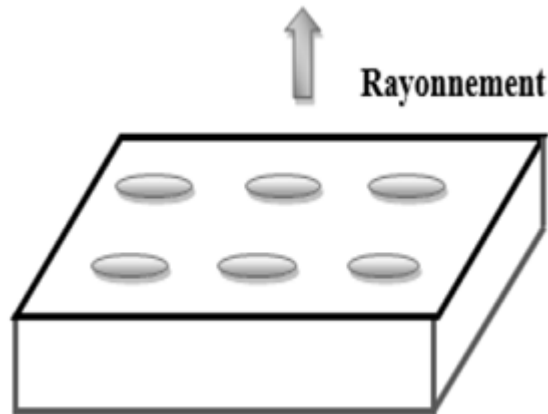


Figure 1.12: Réseau de fente[5]

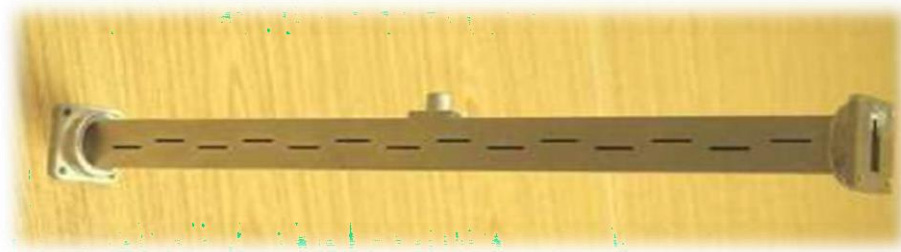


Figure 1.13 : Réseau de fentes réel [15]

1.4.3 Les antennes à ouverture (cornet)

Le guide d'onde rectangulaire est un dispositif très utilisé pour la propagation d'ondes guidées son utilisation est très répandue en hyperfréquence car il offre une qualité de transmission excellente en lui ajoutant un cornet la directivité du guide peut être considérablement augmenté . comme le montre la (Figure 1.14)

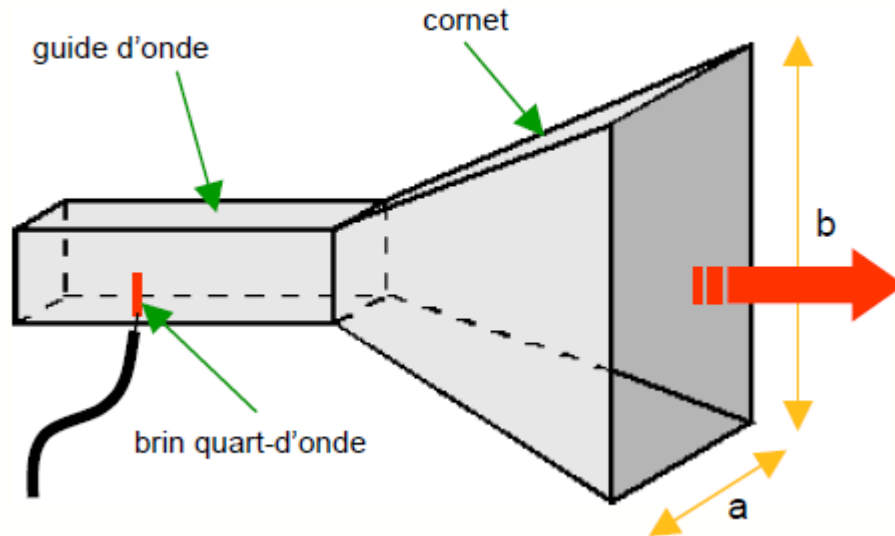


Figure 1.14: Antenne cornet[15]

1.4.4 Les antennes à réflecteurs

Le besoin de la communication à très grandes distance augmente l'exigence d'élaborer des nouvelles formes d'antenne capables de transmettre et de recevoir des signaux à travers des millions de km.

Une forme nommée **réflecteur parabolique** constituée de la source d'émission à une partie métallique réfléchissante, reconnaissables par leur forme, parabolique à l'arrière et conique à l'avant du fait de la forme du radôme qui protège la source, placée au foyer comme le montre la (Figure 1.15).

Cette forme répond à ces besoins et est considérée comme un des meilleures antennes directives est donc très utilisée au-delà de 1 GHz.

L'onde se réfléchit sur la parabole et se **concentre au foyer**

L'embouchure du guide d'onde est placée au voisinage du foyer
le diamètre du réflecteur parabolique est D [14].

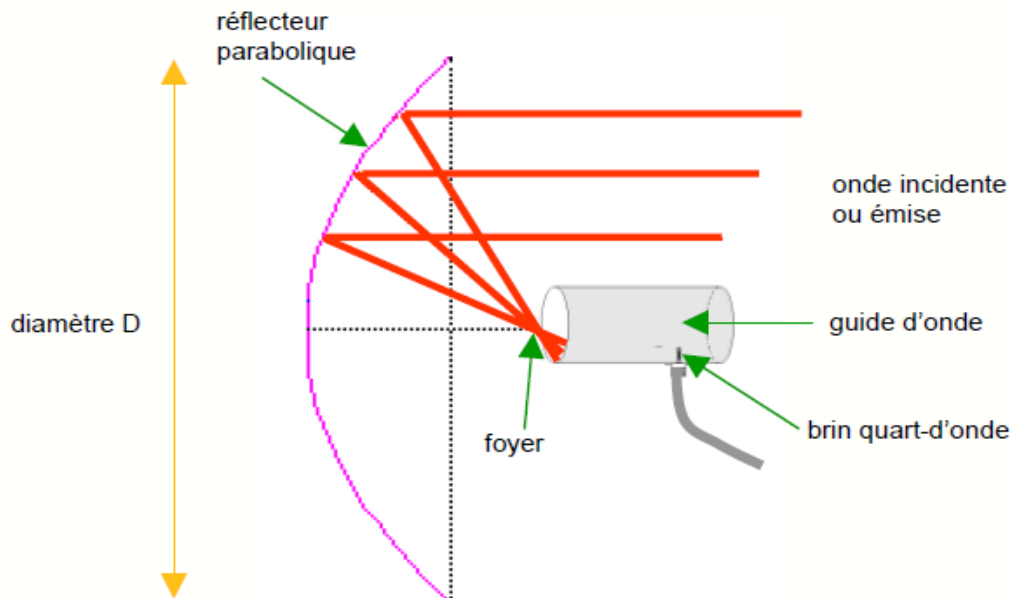


Figure 1.15: Schéma illustrant l'antenne parabolique[15]

1.4.5 Les antennes patches

L'antenne imprimée, appelée aussi antenne patch est un type récent d'antenne constituée d'un diélectrique, possédant un plan de masse métallique sur une face. Sur l'autre face, une gravure métallique permet de supporter des courants de surface. Sa structure est montrée dans la (Figure 1.16) .

L'avantage de l'antenne patch est que les gravures des parties métalliques peuvent prendre des formes très variées en fonction des objectifs fixés pour la répartition du rayonnement dans l'espace. Aussi le faible coût de fabrication[14][3] .

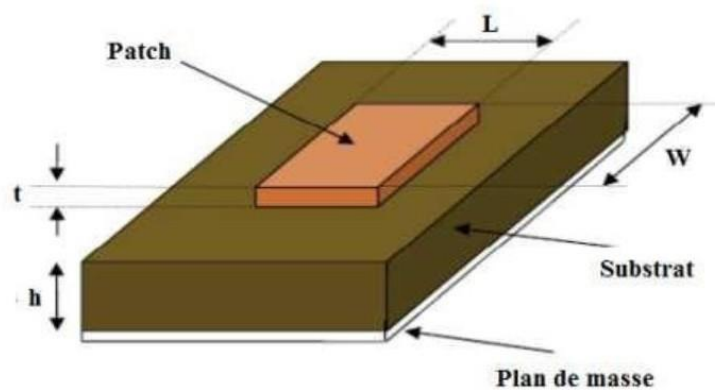


Figure 1.16: Antenne patch [3]

1.5 Classification des antennes (voir Tableau 1.3)

Selon la forme géométrique	Selon le gain	Selon la forme de faisceau	Selon le largeur de bande
<ul style="list-style-type: none"> • Antennes filaires : dipôle, boucle, spirale. • Antennes à ouvertures : cornet, fente. • Antennes imprimées : patch, dipôle imprimé, spirale 	<ul style="list-style-type: none"> • Gain élevé : planaire. • Gain moyen : cornet. • Gain bas : dipôle, fente, patch. 	<ul style="list-style-type: none"> • Omnidirectionnelle : dipôle. • Faisceau étroit : planaire. • Faisceau large : antenne réseau. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bande large : spirale. • Bande étroite : patch, fente.

Tableau 1. 3: Classification des antennes.

1.6 Généralités sur les antennes imprimées

1.6.1 Définition d'une antenne patch

Les antennes imprimées ou micro-ruban, ou « Patch » en anglais sont des éléments rayonnants planaires [3] constituées d'une ligne micro-ruban de forme particulière qui les rend applicables aux différentes situations d'intégration voir la (Figure 1.17), cependant cette technique est souvent utilisable dans des nombreuses applications ajoutons que la simplicité de leurs structures réside dans leur faible cout .

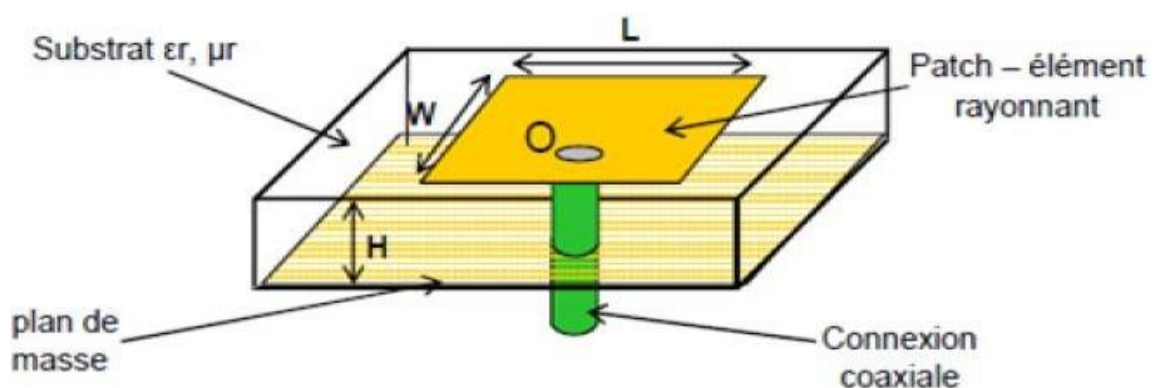


Figure 1.17 : Présentation d'une antenne imprimée (Patch) [7]

1.6.2 Structure

Une antenne patch construite à base d'un mince conducteur métallique tel que le cuivre ou l'or habituellement de 17.5 μm à 35 μm d'épaisseur en hyperfréquence sont 9 μm en

CHAPITRE 1 : Généralités sur les antennes

millimétriques, il peut prendre plusieurs formes arbitraires appelées élément rayonnant.

en pratique le patch peut prendre différentes forme comme le montre (**Figure 1.18**) : rectangulaires, circulaires, à fente, ou formes plus élaborées.

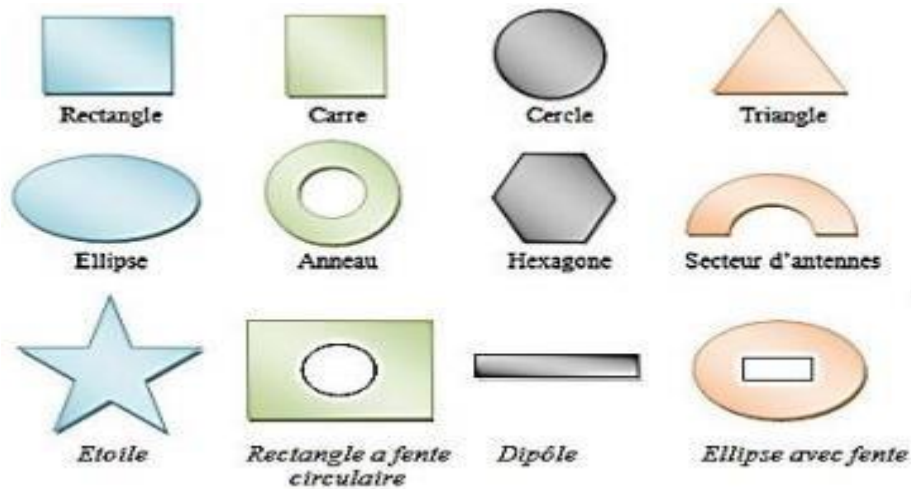


Figure 1.18: Différentes formes de l'élément rayonnant d'une antenne imprimée [8]

Leurs dimensions sont généralement de l'ordre de $\lambda/2$ à λ .

Déposé sur la surface d'un substrat diélectrique épais qui représente sur la face inférieure entièrement métallisé un plan conducteur plan de la masse, ce dernier est utilisé pour augmenter la puissance rayonnée par l'antenne et réduire les pertes par l'effet joule et augmente la bande passante de l'antenne.

1.6.3 Mécanisme de rayonnement

L'antenne patch rectangulaire est considérée comme étant une antenne facile à modéliser à partir de sa forme géométrique qui effectue une meilleure compréhension de son mécanisme de rayonnement.

A cause de l'excitation de la ligne d'alimentation par une source RF, une onde électromagnétique va se propager sur cette dernière pour rencontrer et attaquer l'élément rayonnant qui est généralement plus large que la ligne.

Dans ce cas une distribution de charge qui va s'établir sur et sous le composant rayonnant entre le plan de masse et l'interface substrat ce qui va engendrer :

- ✓ Une modélisation de l'antenne micro-ruban rectangulaire par une cavité
- ✓ Une inversion des phases des composantes verticales du champ électrique sur la longueur de l'antenne.
- ✓ des rayonnements qui sont en phase dans le plan de l'antenne et dus aux composantes horizontales des lignes de champ qui entourent l'élément imprimé

La répartition des lignes de champ dépend essentiellement de :

- De la largeur w des circuits de métallisation
- Des caractéristiques du substrat : à savoir sa constante diélectrique et son épaisseur h [16]

1.6.4 Technique d'alimentation

L'alimentation des antennes représente une partie très importante dans les processus de la conception. Et pour ce but plusieurs techniques ont été considérées.

Les méthodes d'alimentation des antennes peuvent être classées en deux catégories :

- **Les alimentations par contact** (par sonde ou ligne micro ruban)
- **Les alimentations par proximité** (couplage électromagnétique par ligne ou fente)

A. Alimentation directe par une ligne micro ruban

Dans ce premier type d'alimentation une ligne micro-ruban est directement connectée à l'élément rayonnant au bord du Patch comme le montre **(la figure 1.19)**

Cette dernière est miniaturisée dans la largeur par rapport au Patch [17]. C'est une technique très utilisable dans les antennes imprimées, ce type d'alimentation est facile à mettre en œuvre et a été modélisé, elle est gravée sur la même face de l'antenne et simple à adapter à la résonance mais peut engendrer un rayonnement parasite qui peut devenir considérable et une bande passante typiquement entre 2 et 5% [18]

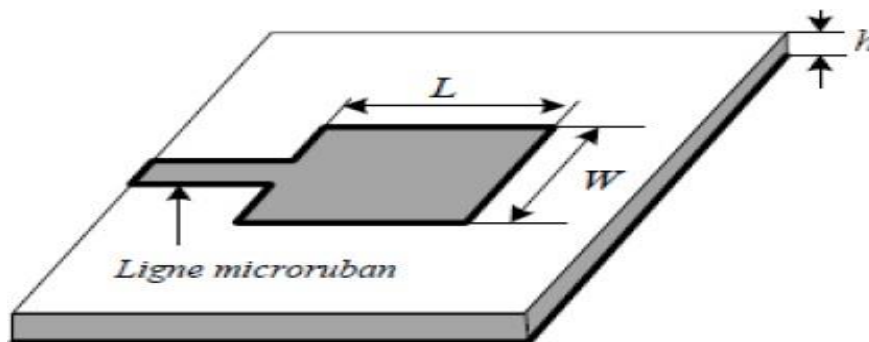


Figure 1.19: Alimentation par onde micro-ruban [5]

On peut distinguer trois types :

- ✓ **Alimentation par ligne micro-ruban à travers un bord rayonnant :**

C'est la technique la plus utilisée, dans ce cas une connexion directe de la ligne d'alimentation sur le côté rayonnant du patch la **(Figure 1.20)** illustre cette technique, il existe une variation de l'impédance d'entrée car le point d'alimentation est déplacé le long de ce côté [16].

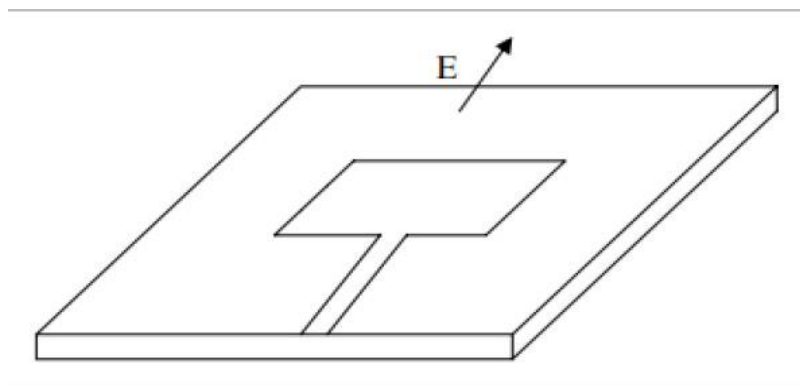


Figure 1.20 : Le patch alimenté par ligne micro-ruban à travers un bord rayonnant. [5]

✓ Alimentation par ligne micro-ruban à travers un bord non rayonnant

La ligne d'alimentation entre en contact avec le patch sur le bord non rayonnant (**Figure 1.21**), dans ce cas les calculs sont plus complexes, car les courants de la ligne d'alimentation, sont orthogonaux à ceux du patch[16].

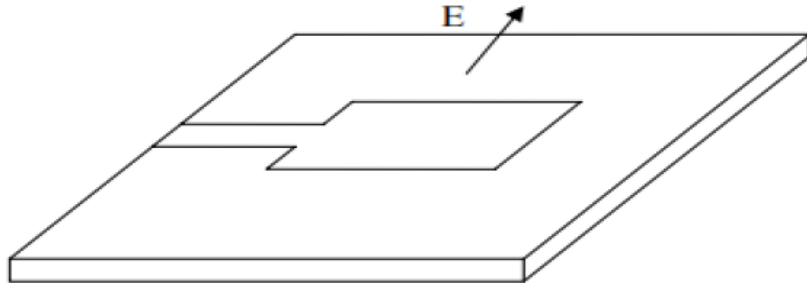


Figure 1.21: Le patch alimenté par ligne micro-ruban à travers un bord non rayonnant[5]

✓ Antenne patch rectangulaire couplée capacitivement à une ligne micro ruban

Antenne patch rectangulaire couplée capacitivement à une ligne micro-ruban, C'est un cas où l'élément rayonnant est couplé capacitivement à la ligne micro ruban injectée dans le substrat la (**Figure 1.22**) illustre cette technique.

L'utilisation de substrats différents entre les lignes d'excitation et antenne peut améliorer la largeur de la bande passante de l'antenne.[16]

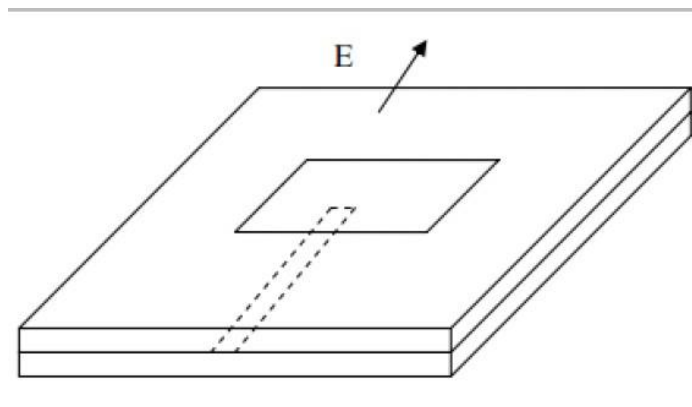


Figure 1.22: le patch couplé capacitivement a ligne micro-ruban[5]

B. Alimentation par sonde coaxiale

L'alimentation par sonde coaxiale est une autre méthode très utilisée pour alimenter les antennes micro-rubans sa structure est montrée sur **la Figure 1.23** [11], elle est réalisée par un contact direct de conducteur central (intérieur) qui est soudé avec l'élément rayonnant (Patch) [19].

Après avoir traversé le diélectrique, tandis que son conducteur externe est relié au plan de masse. La réalisation de l'adaptation d'impédance se fait en déplaçant le point d'alimentation sur le patch,

L'avantage principal de ce type d'alimentation est quelle est applicable à n'importe quel endroit choisi à l'intérieur du patch avec une facilité de fabrication et moins de rayonnement parasite [5].

cette méthode présente aussi des inconvénients au niveau du diagramme de rayonnement tel que le pic de courant localisé au niveau de l'élément rayonnant qui peut causer une dissymétrie dans le diagramme de rayonnement un second inconvénient réside sur la bande passante étroite et la difficulté de modélisation surtout pour des substrats électriquement épais [19].

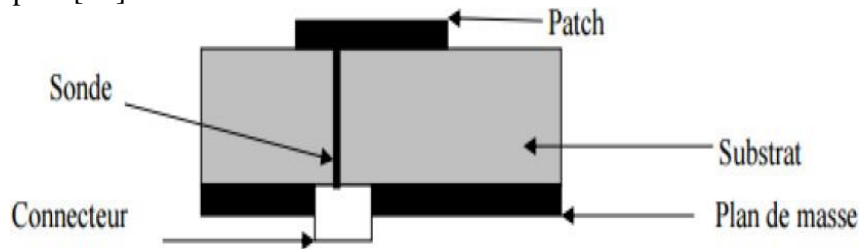


Figure 1.23: Antenne micro-ruban alimenté par sonde coaxiale[5]

C. Alimentation couplée par ouverture

C'est un type d'alimentation où le patch de rayonnement et la ligne d'alimentation sont séparés en plan de masse comme le montre (**la Figure 1.24**).

La conjonction entre le patch et la ligne d'alimentation est faite par une ouverture ou une fente dans le plan de masse [20] .

Généralement pour but d'optimisation de rayonnement de patch on opte pour l'utilisation des matériaux à permittivité élevée pour le substrat inférieur, et des matériaux à faible constante diélectrique pour le substrat supérieur.

A cause des couches multiples ce type d'alimentation est difficile à concevoir car ces derniers augmentent l'épaisseur d'antenne cependant elle offre l'élargissement de bande passante.

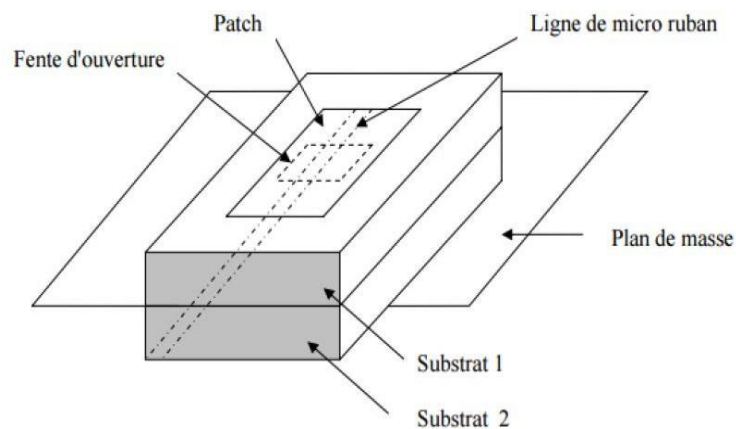


Figure 1.24 : Alimentation couplée par ouverture[5]

D. Alimentation couplée par proximité

Ce type d'alimentation est réalisé par le couplage de deux substrats diélectriques qui sont employés de façon que la ligne d'alimentation soit insérée entre eux et le patch soit sur le substrat supérieur la (Figure 1.25) illustre cette technique , Cette technique permet d'atteindre une meilleure bande passante de 13%.

Son avantage principal réside dans l'affaiblissement du rayonnement parasite et l'obtention d'une bande passante plus large et ce par l'augmentation globale de l'épaisseur de l'antenne.Cependant elle est très difficile à mettre en œuvre[19]

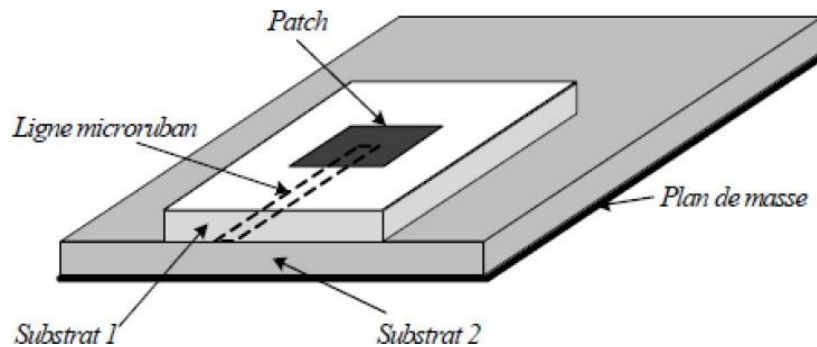


Figure 1.25: Alimentation couplée par proximité[7]

1.6.5 Substrat

Les substrats exploités dans la conception de ces antennes imprimées sont des couches intermédiaires diélectrique, leurs importance réside dans leurs influence directe sur la fréquence de résonance, la bande passante, et le rayonnement de l'antenne.

Leurs permittivités relatives doivent être faible ($\epsilon_r \leq 3$)

La constante diélectrique du substrat varie de (2,2 à 12) et les matériaux les plus couramment utilisés sont des composites à base de : téflon ($2 \leq \epsilon_r \leq 3$ et $\tan \delta = 10^{-3}$), et du polypropylène ($\epsilon_r = 2,18$ et $\tan \delta = 3 \cdot 10^{-4}$)

Ainsi que mousses synthétiques contenant beaucoup de minuscules poches d'air ($\epsilon_r = 1.03$ et $\tan \delta = 10^{-3}$) [21][11]

1.6.6 Dimensionnement d'une antenne patch rectangulaire

Dans cette partie on se focalisera sur la procédure de conception d'une antenne patch rectangulaire, Celle-ci peut être utilisée pour un premier dimensionnement.

L'antenne patch possède les caractéristiques suivantes : la longueur **L**, la largeur **W**, L'épaisseur du substrat **h** et de permittivité relative comme le montre (Figure 1.26) .

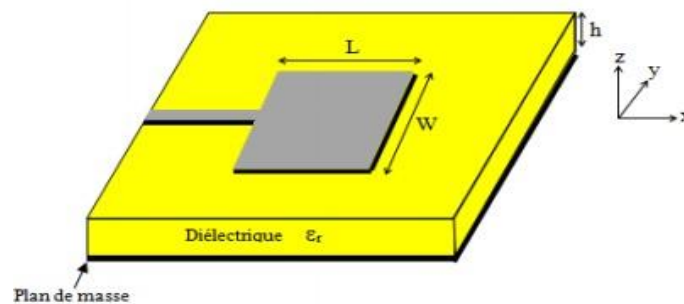


Figure 1.26: Géométrie d'une antenne patch rectangulaire.[2]

L'expression de la permittivité diélectrique effective ϵ_{eff} est donnée par [22]:

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{w}\right)^{-1/2} \quad \text{pour } \frac{h}{w} \geq 1 \quad (1.36)$$

Avec

ϵ_r : représente la permittivité relative
h : épaisseur du substrat

1.6.6.1 La largeur du patch

La largeur du patch a un effet mineur sur les fréquences de résonance et sur le diagramme de rayonnement de l'antenne. Par contre, elle joue un rôle pour l'impédance d'entrée (sur le bord) de l'antenne (Figure 1.27).

Pour un bon rendement de l'antenne la largeur W doit être en pratique :

$$W = \frac{c}{2f} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (1.37)$$

Où

C : la vitesse de la lumière.
f : la fréquence de résonance.

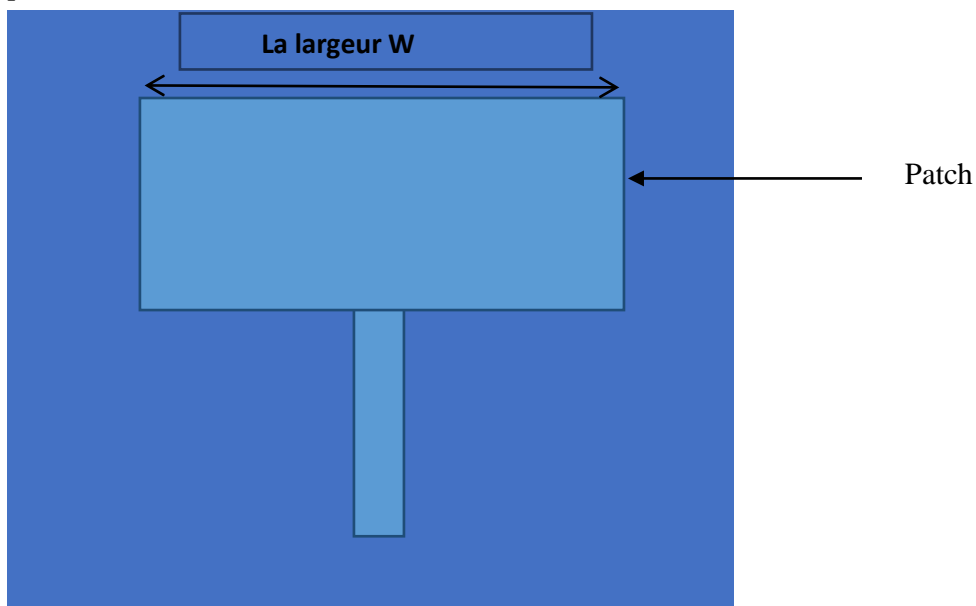


Figure 1. 27: Schéma représente la largeur W du patch.

1.6.6.2 La longueur de l'antenne patch

La longueur du patch comme le montre la (Figure 1.28) détermine les fréquences de résonance de l'antenne. Il ne faut surtout pas oublier de retrancher deux fois la longueur ΔL qui correspond au débordement des champs :

$$L = w - 2\Delta L \quad (1.38)$$

La longueur **L** doit être légèrement inférieure que la longueur d'onde dans le diélectrique.

CHAPITRE 1 : Généralités sur les antennes

A cette fréquence d'opération, λ dépend du constant diélectrique efficace ϵ_{eff} . L'effet de débordement du champ fait électriquement, le patch semble plus grand que sa dimension physique. Il y'a donc une augmentation de ΔL de chaque côté de patch.

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{w}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{w}{h} + 0.8\right)} \quad (1.39)$$

Donc, la dimension effective du patch sera :

$$L_{eff} = L + 2\Delta L \quad (1.40)$$

Où

W : la largeur de patch.

ΔL : la longueur incrémentielle du patch.

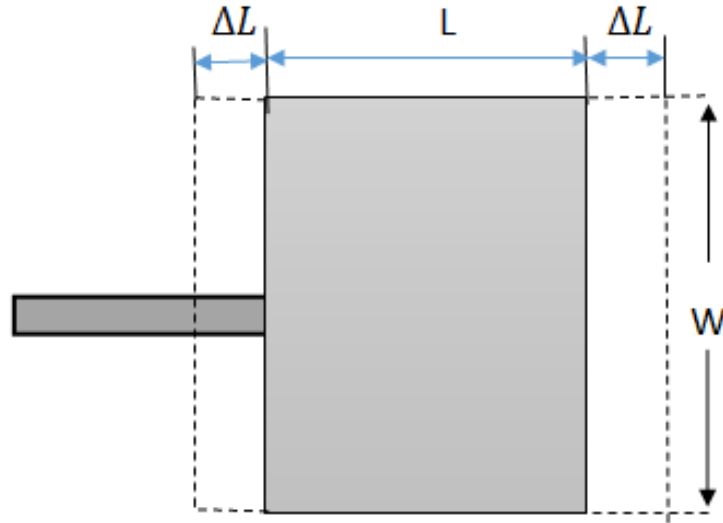


Figure 1.28 : Longueur physique du patch

1.6.7 Les méthodes d'analyse

les antennes patch possèdent plusieurs méthodes d'analyse , ces méthodes peuvent être soit numérique soit analytiques[11].

1.6.7.1 Méthodes numériques[11]

(Méthodes des moments, méthodes des différences finies, méthode de Domaine de temps de différence Finie (FDTD) ; Méthode Spectrale), ces méthodes permettent d'étudier des antennes de toutes formes, Elles consistent d'abord à avoir des connaissances électromagnétiques sur la surface étudiée son inconvénient qu'elles possèdent des formules complexes donc un temps de calcul important.

1.6.7.2 Méthodes analytiques

Des méthodes plus rapides pour analyser les antennes patches On distingue :

- Le modèle de la ligne de transmission (TLM). :la meilleure méthode pour la structure des patches rectangulaires.
- Le modèle de cavité.

1.6.8 Types de réseaux d'antennes[11]

Un réseau d'antennes est présenté par une association des différents éléments rayonnants pour avoir des caractéristiques bien définies tel que : Gain élevé et lobe principal conformé, Il existe deux types de réseau : linéaire et bidimensionnel à alimentation en série ou en parallèle ou la combinaison série-parallèle comme illustre les figures suivante (**Figure 1. 29**) :

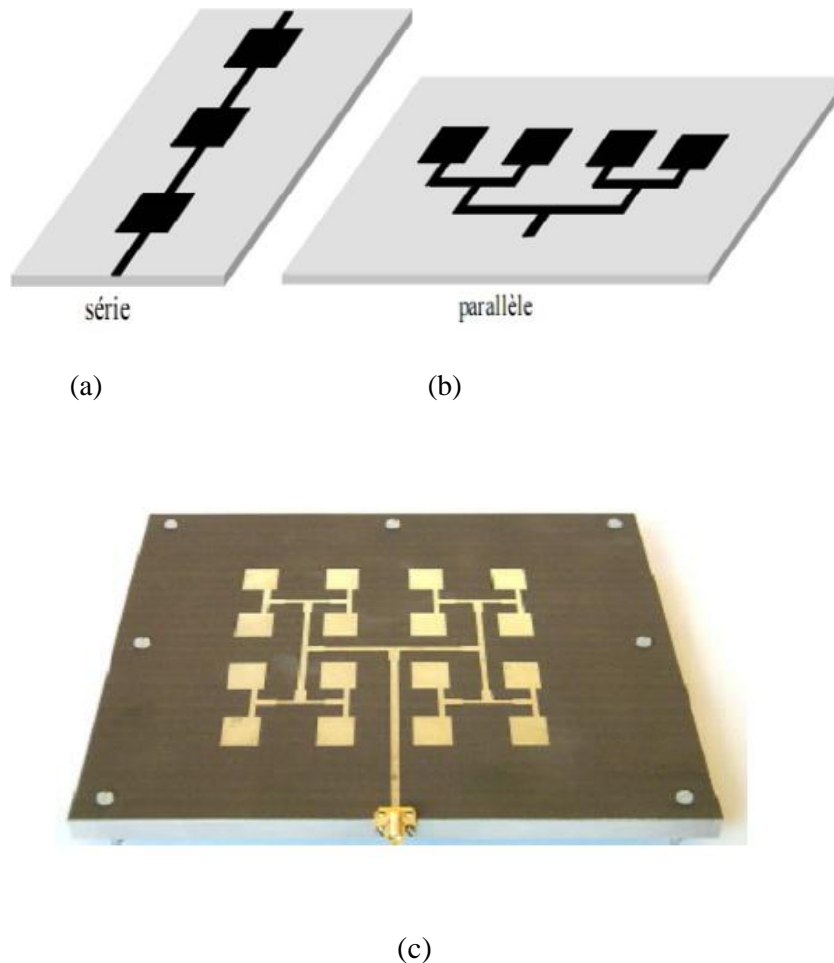


Figure 1. 29: Réalisations de réseau a alimentation (a) linéaire en série, (b) linéaire en parallèle,(c) bidimensionnel en parallèle[11]

1.6.8.1 Réseaux linéaires à alimentation parallèle[11]

2^n Éléments rayonnants peuvent être alimentés en parallèle par des lignes micro-rubans 1 formant n étages de 2 diviseurs de puissance à chaque étage m.(voir Figure 1.30).

Cette alimentation présente des avantages car elle est large bande puisque, les distances parcourues jusqu'à chacun des éléments rayonnants sont les mêmes et il est possible de disposer, sur les voies d'accès à ces éléments, des déphaseurs et des atténuateurs (ou des amplificateurs) afin de faire varier la phase et l'amplitude de l'onde pour conformer localement ou, globalement le diagramme de rayonnement.

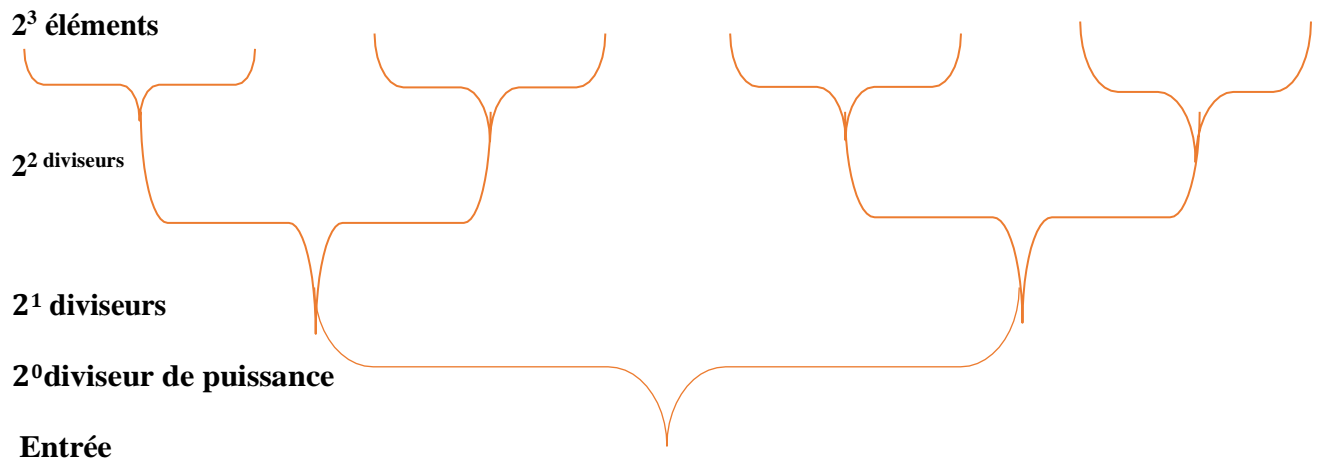


Figure 1.30: alimentation parallèle de 2^3 éléments rayonnants par 3 étages de diviseurs de puissances[11]

1.6.8.2 Réseaux bidimensionnels[11]

Afin d’obtenir un effet de réseau pouvant conformer le diagramme de rayonnement dans la direction souhaitée, dans les plans \vec{E} (le plan horizontal) et \vec{H} (le plan contenant le vecteur champ magnétique et la direction de rayonnement maximal), il est nécessaire d’avoir recours à des réseaux bidimensionnels et qui ont pour but d’augmenter le gain

Ces réseaux augmentent le gain et l’alimentation peut-être une combinaison série - série, série - parallèle ou parallèle – parallèle(voir Figure 1.31, 1.32).

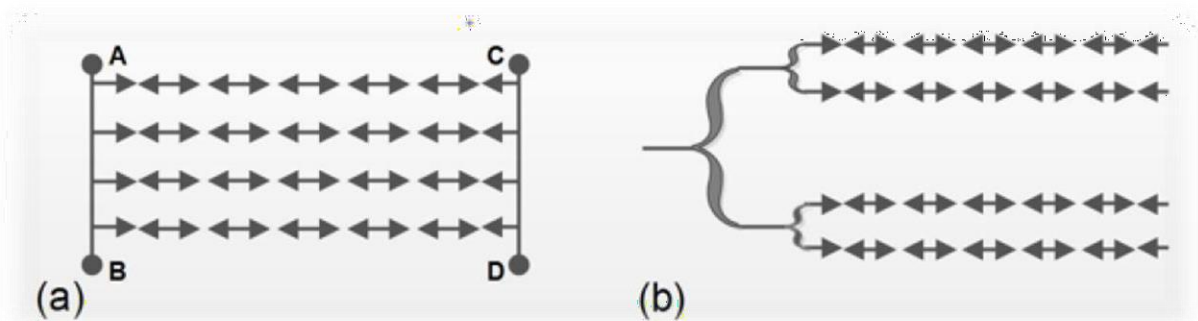


Figure 1.31: (a)réseau bidimensionnel formé de réseaux linéaires à alimentation série et (b) réseau bidimensionnel formé de réseaux linéaires à alimentation parallèle-série[11]

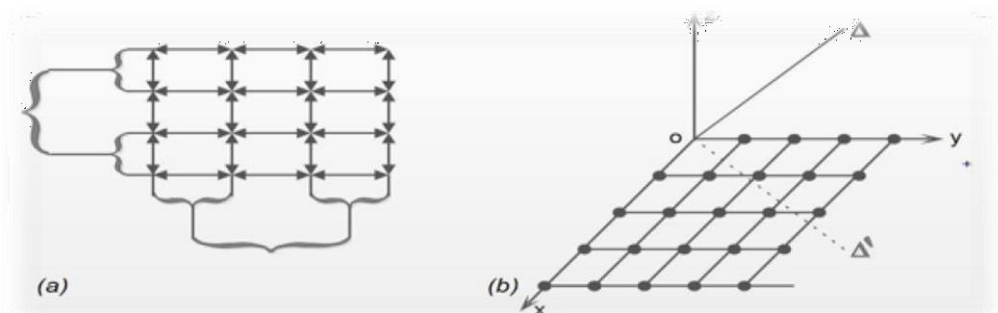


Figure 1.32:(a) Réseau bidimensionnel à double alimentation parallèle et (b) grille dans le plan xOy , dont les noeuds représentent la position des éléments d’un réseau bidimensionnel rayonnant dans une direction $\Delta(\theta,\varphi)$ [11]

CHAPITRE 1 : Généralités sur les antennes

1.6.9 Avantages et limitations

De nos jours, L'utilisation d'antennes imprimées est devenue usuelle dans les systèmes de télécommunications. leur configuration et dimensions favorisent leurs intégrations sur de nombreux mobiles (avion, voiture, missile,) Les avantages des antennes imprimées [16][23]:

- Faible poids, encombrement réduit
- Faible volume et épaisseur réduite,
- Faible coût de fabrication,
- Compatibilité avec des circuits intégrés (antennes actives),
- Réseau d'antennes.
-

Ces antennes présentent malheureusement, également des désavantages :

- Largeur de bande étroite
- Faible gain (6dB)
- Sur un grand plan de masse, ces antennes rayonnent uniquement dans le demi-plan
- Supportent uniquement des faibles puissances (<100 W)
- Pertes de rayonnement par ondes de surface dans le substrat diélectrique

1.7 Conclusion

La maîtrise de la théorie des antennes est plus que nécessaire, notre objectif dans ce chapitre est de comprendre le principe de fonctionnement des antennes basé sur les notions fondamentales et les caractéristiques des antennes tel que : le diagramme de rayonnement de l'antenne patch que nous essayerons de simuler et de voir tous ses résultats théoriques en pratique et d'être apte de vérifier les résultats de la simulation à l'aide du logiciel de simulation cst (microwave studio), ensuite on a détaillé les antenne imprimée , on a donné une petite description : quelques techniques d'alimentations ainsi que son mécanisme de base.

Après ce bref aperçu sur les bases des antennes imprimées, le chapitre suivant sera consacré à la technique RFID.

CHAPITRE 2

La technologie RFID

2.1. Introduction

Actuellement, la technologie d'identification par radiofréquence (RFID) est de plus en plus présente dans notre vie quotidienne. Les systèmes RFID sont principalement utilisés pour identifier les objets et/ou suivre leurs déplacements.

L'objectif de ce chapitre est de présenter cette technologie RFID. Nous évoquons son principe de fonctionnement. Par la suite, nous citerons les différents types de tags, Enfin nous terminons par l'exposition de ses différentes applications.

2.2. Historique

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

En 1940 : La notion de RFID (identification par fréquences radio) date de la 2ème guerre mondiale ; elle est liée au développement de la radio et du radar. Pour savoir si les avions qui arrivaient dans l'espace aérien britannique étaient amis ou ennemis, les alliés plaçaient dans leurs avions d'imposantes balises, ou transpondeurs, afin de répondre aux interrogations de leurs radars.

Ce système, dit IFF (Identify : Friend or Foe ; de nos jours, le contrôle du trafic aérien reste basé sur ce principe), est la première utilisation de la RFID. La première étude dont on dispose sur le sujet est un travail Harry Stockman, qui sera suivi notamment par les travaux de F. L. Vernon et ceux de D.B. Harris. Ces deux derniers articles sont considérés comme les fondements de la RFID et décrivent les principes qui sont toujours utilisés aujourd'hui[24].

Durant **les années 70**, les systèmes RFID restèrent une technologie protégée à usage militaire supportée par les états pour la sécurité de sites sensibles notamment dans le secteur du nucléaire[25]

Dans **les années 1980**, les avancées technologiques permettent l'apparition du tag passif qui s'affranchit de source d'énergie embarquée sur l'étiquette, réduisant de ce fait son coût et sa maintenance.

1983 : Le premier brevet associé à la RFID est déposé.

Les années 1990 voient le début de la normalisation pour une interopérabilité des équipements RFID.

2000 : C'est un « boom » des applications. Grâce la miniaturisation de la technologie quelques années. **2004** : La mise en place du standard EPC pour la RFID UHF sous la norme ISO 18000-6C

2007 : Première conférence internationale, IEEE exclusivement sur la thématique RFID.

2010 : La conférence IEEE RFID-TA fait son apparition de même que la RFID sans puce intègre le marché. Du point de vue de la régulation, la RFID gagne des nouvelles bandes de

CHAPITRE 2 : La Technologie RFID

fréquence et profite de quelques milliwatts supplémentaires autorisés sur certaines fréquences[24].

Les phases de développement de la technologie RFID ainsi que les principaux événements seront brièvement décrites dans la(**Figure 2.1**) :

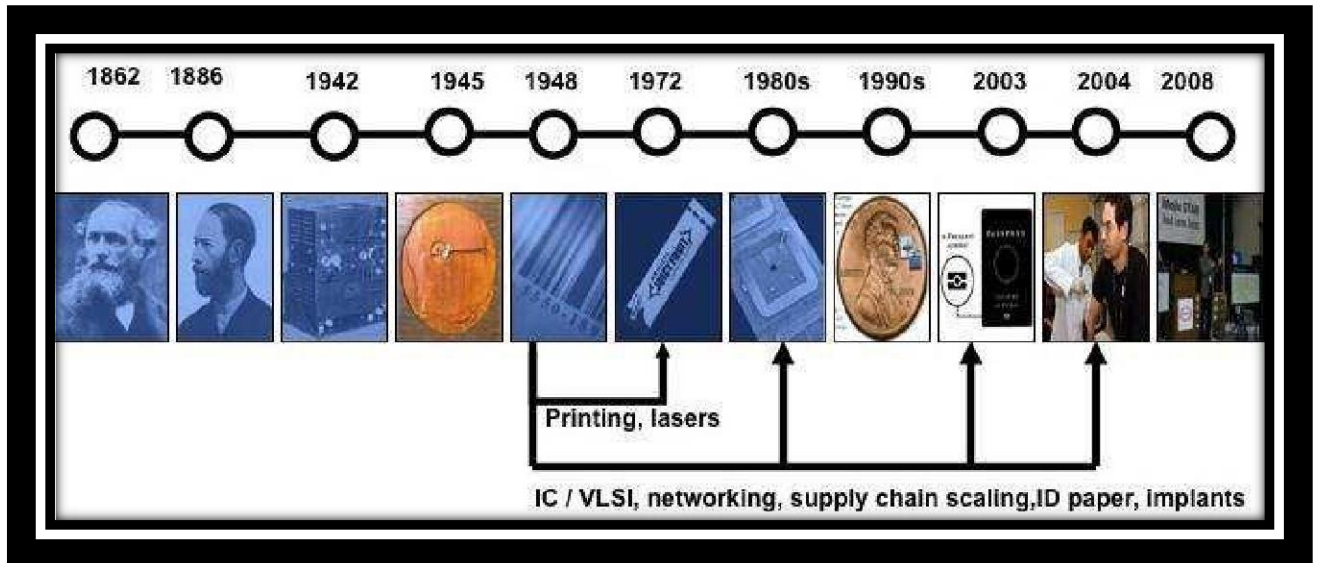


Figure 2. 1 : les phases de développement de la technologie RFID[26]

2.3. Définition de la technologie RFID

La RFID est une technologie d'identification automatique (Automatic **ID**entification ou **Auto-ID**), englobe toutes les technologies qui utilisent les ondes radio pour identifier automatiquement des objets ou des personnes comme illustré sur (**Figure 2. 2**)(**Figure 2. 3**)

Ce système est très attractif pour les entreprises, elle leur offre la possibilité d'une gestion automatique du nombre conséquent d'informations qu'elles doivent traiter ainsi on la trouve dans :

- Suivi des colis.
- Identification d'animaux.
- Gestion d'une bibliothèque

Elle est équipée d'un émetteur fixe ou mobile, d'un récepteur sous forme d'antenne et d'une puce (une ou plusieurs) appelée tag [27]

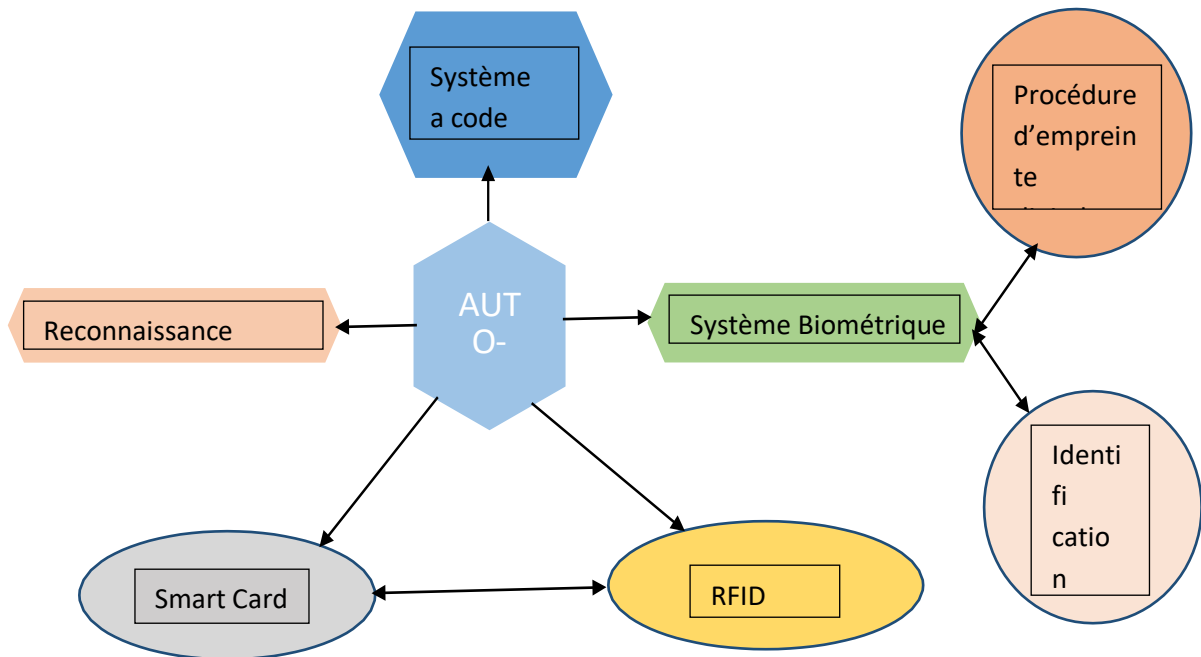


Figure 2. 2 : type de système d'identification automatique. [28]

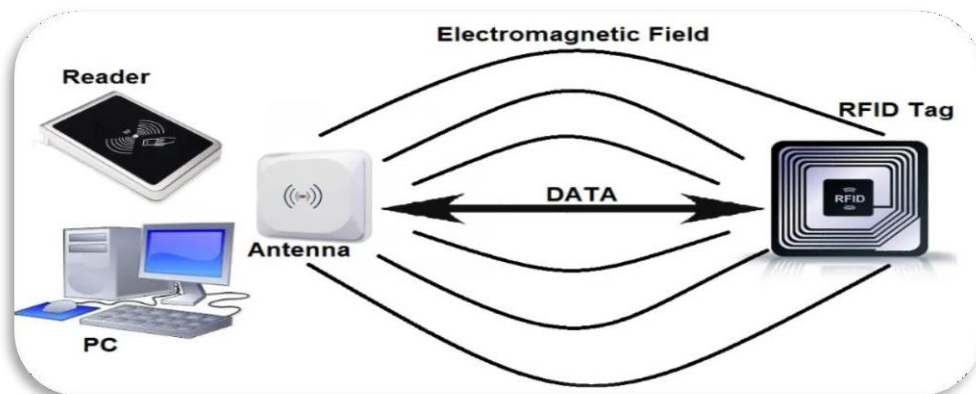


Figure 2. 3 : illustration d'un système RFID.[25]

2.4. Principe de fonctionnement

Un système RFID peut être divisé en trois parties principales : matérielle, logiciel, et communication .[1]

2.4.1. Partie matérielle

Représente les composantes électroniques elle contient : un petit élément attaché à des objets ou des personnes à identifier, appelé une étiquette transpondeur ou tag, lecteur[1][25]

2.4.1.1. Etiquette RFID

Similaire au code à barre optique est un support d'informations qui combine le traitement d'un signal et le stockage des données (voir la Figure 2. 4).

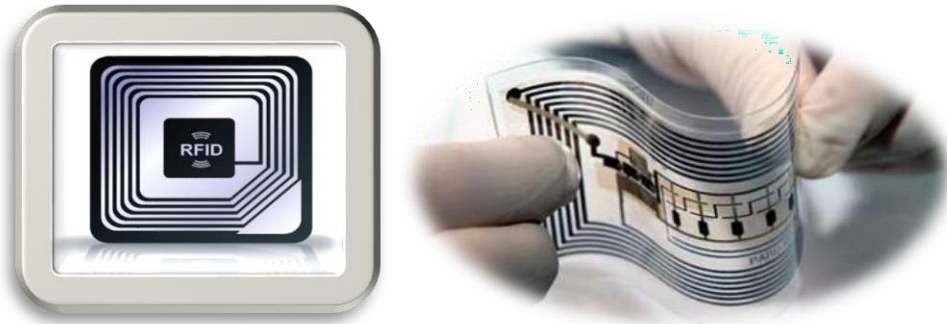


Figure 2. 4 : Etiquette RFID.[25]

2.4.1.2. Lecteur RFID

Fixe ou portable comme le montre (**Figure 2. 5**), c'est un élément essentiel à l'utilisation de la RFID, transmet un signal selon une fréquence déterminée vers une ou plusieurs étiquettes radio situées dans son champ de lecture. Celles-ci transmettent en retour un signal de communication prédéfini et les données sont échangées.

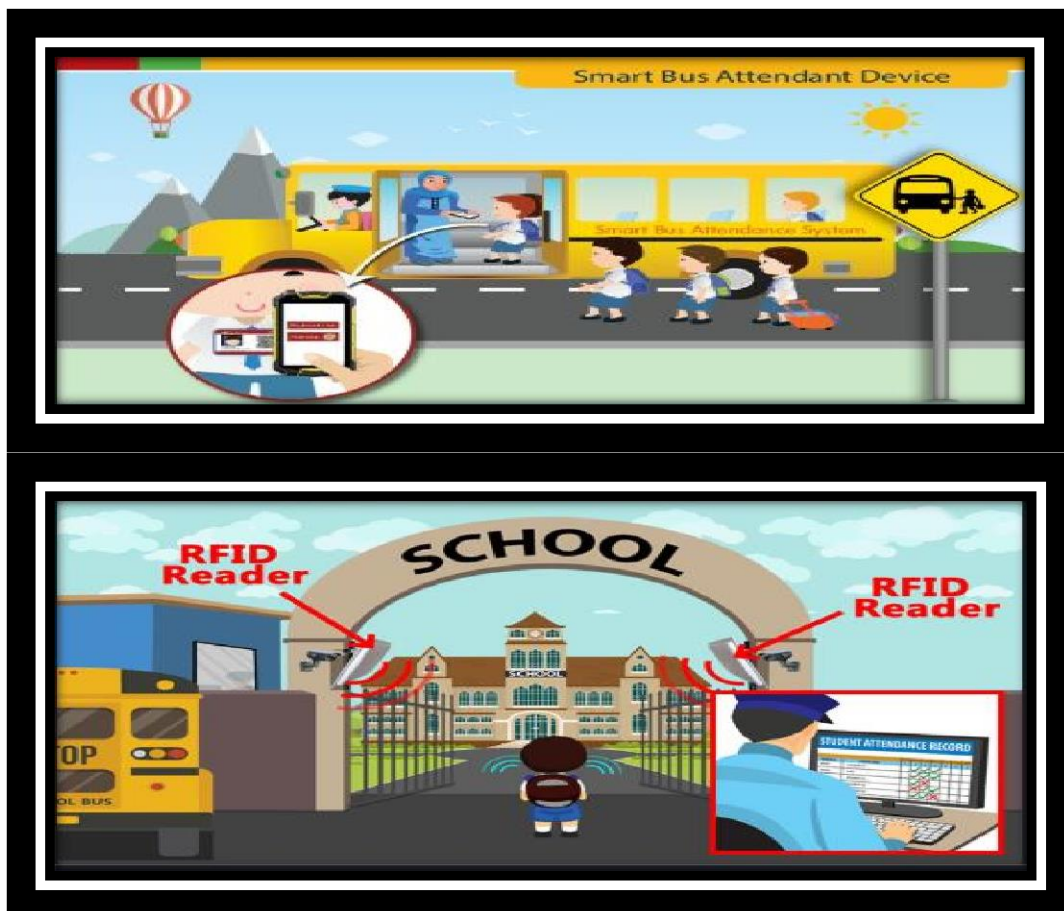


Figure 2. 5 : lecteurs RFID fixe et mobile.[1]

2.4.1.3. Transpondeur

(TRANSMitter/resPONDER) circuit électronique ou « circuit intégré », diffusé sur un circuit imprimé et couplé à une antenne comme l'illustre la (**Figure 2.6**). La mémoire d'un transpondeur comprend généralement ROM et une RAM

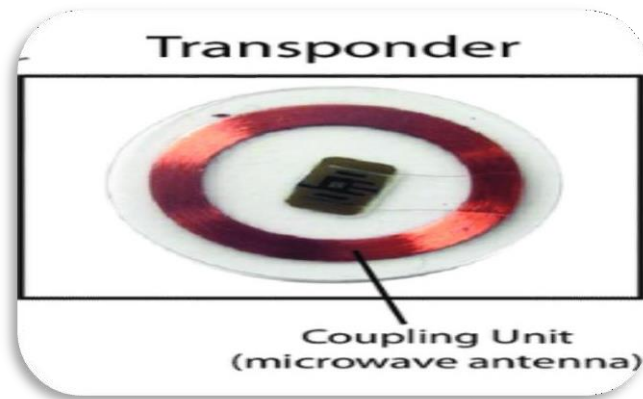


Figure 2. 6 : illustration d'un transpondeur couplé à une antenne.[27]

2.4.1.4. Une antenne

Qui est généralement intégrée au lecteur RFID et à l'étiquette RFID comme le montre (**Figure 2. 7**). Elle permet d'activer les tags afin de recevoir des données et d'en transmettre les informations.



Figure 2. 7 : Antenne de lecteur RFID.[26]

2.4.2. Partie informatique

Il s'agit des logiciels et des applications RFID(**Figure 2. 8**), c'est le cerveau de la chaîne RFID. Il permet de transformer les données brutes émises par la puce RFID en informations compréhensibles, il est bien sûr géré par un ordinateur.



Figure 2. 8 : logiciel RFID.[1]

2.4.3. Partie communication

La communication s'effectue entre les antennes qui sont les éléments responsables de l'échange de données associé à un transfert d'énergie entre le lecteur et l'étiquette par des ondes RF comme le montre (**Figure 2. 9**). La communication s'établit dès que le premier interlocuteur réagit .On distingue deux protocoles de communication[29] :

- **TTF (Tag Talk First)** : il signifie que l'étiquette qui communique en premier. Les étiquettes transmettent directement les données au lecteur.
- **RTF (Reader Talk First)** : il signifie que le lecteur qui communique en premier. Les étiquettes attendent une requête depuis le lecteur afin de transmettre les données.

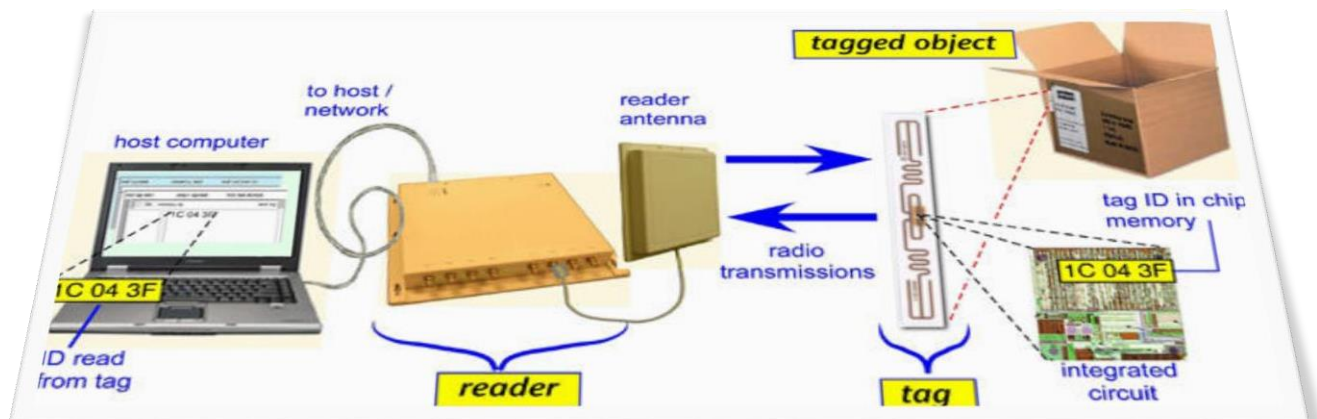


Figure 2. 9 : Schéma général d'un système d'identification par radiofréquence.[29]

2.5. Composants d'un système RFID

Comme précédemment cité le lecteur RFID est un élément essentiel dans le système constitué essentiellement d'une antenne et d'un module RF. Dès lors que le tag se retrouve dans la zone d'action du lecteur, une énergie est fournie au tag pour qu'il puisse fonctionner. Il envoie des commandes spécifiques et reçoit en retour des informations contenues dans la puce. Dans un autre cas le lecteur peut lire, ainsi les informations reçues sont envoyées vers un autre dispositif qui va se charger du traitement des données (ordinateur).

La communication du système RFID est basée sur le principe de relation Maître-Esclave, où le lecteur RFID joue le rôle de Maître et le Tag celui d'esclave (**Figure 2. 10**) [30]



Figure 2. 10 : Relation maître-esclave dans la communication RFID.[25]

Le lecteur RFID communique juste avec des Tags qui sont dans son champ de lecture. Les fréquences utilisées sont variables et dépendent du type d'application. On distingue deux types de lecteurs :

2.5.1. Lecteur mobile

Prend l'apparence d'un flasher, il doit être peu encombrant pour être maniés par un utilisateur , Il est composé d'une antenne et d'un système d'exploitation qui permet d'identifier les tags [30]

Dans ce cas c'est le lecteur qui se déplace donc plus besoin de déplacer le tag Un lecteur portable est présentée dans la **Figure 2. 11** :



Figure 2. 11 : Lecteur RFID portable[27]

2.5.2. Lecteur fixe

Le lecteur RFID fixe est implanté dans des systèmes de portique à travers lesquels les tags transitent. Pour pouvoir détecter les tags, l'antenne du lecteur doit respecter un cahier des charges : un rayonnement directif avec de faibles lobes secondaires afin de ne pas détecter des tags à proximité de la zone de lecture et un gain suffisamment élevé pour pouvoir détecter les tags à une distance raisonnable[30]

Un lecteur fixe est présenté dans la **Figure 2. 12**.

Une comparaison entre les deux lecteurs est présentée dans la **Figure 2.13**.

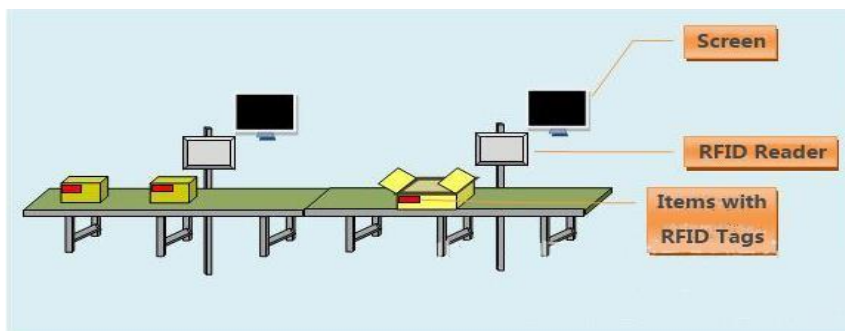


Figure 2. 12 : lecteur RFID fixe.
[27]

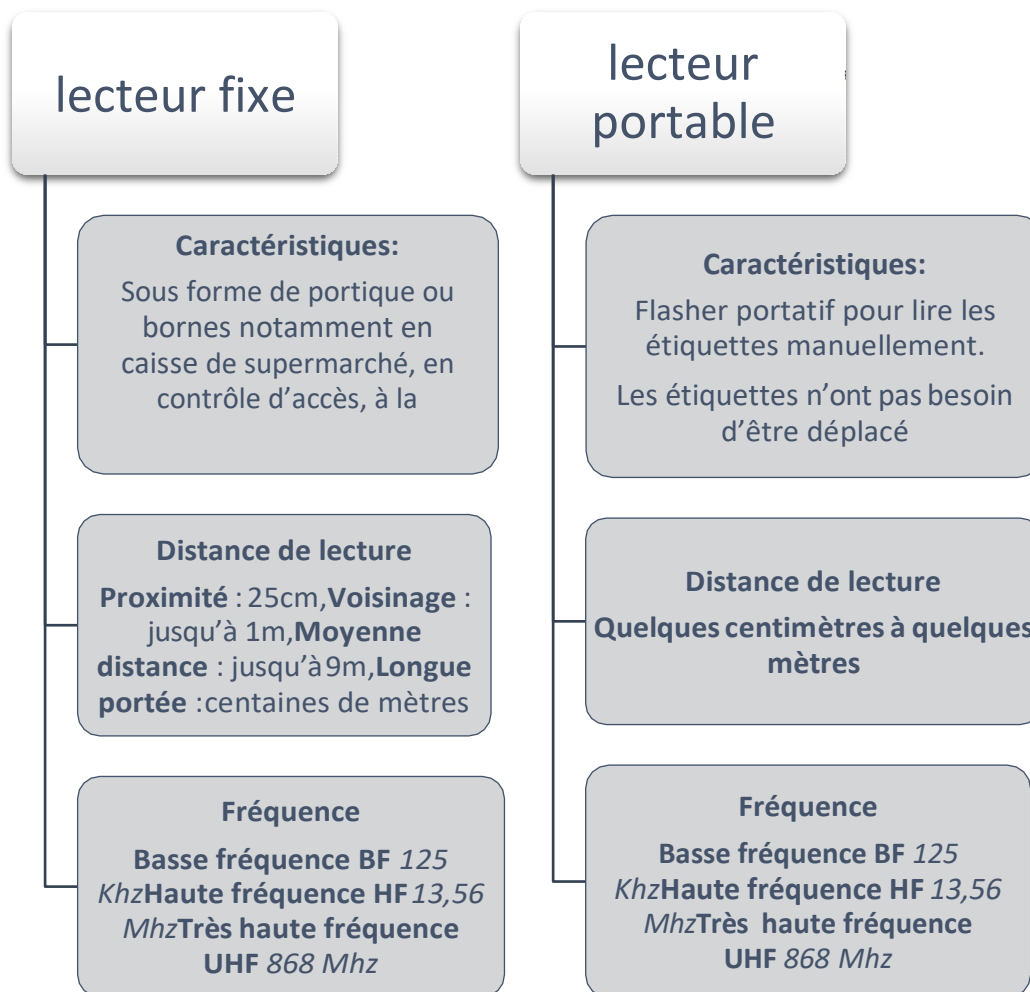


Figure 2. 13: Comparaison entre lecteur RFID fixe et mobile

2.6. Distance de lecture

2.6.1. Le lecteur[31]

Le lecteur/enregistreur est constitué d'un circuit qui émet une énergie électromagnétique à travers une antenne, et d'une électronique qui reçoit et décode les informations envoyées par le transpondeur et les envoie au dispositif de collecte des données. Non pas seulement il peut lire les étiquettes RFID, il est à même d'écrire leur contenu. Le lecteur RFID est l'élément responsable de la lecture des étiquettes radiofréquence et de la transmission des informations qu'elles contiennent, cette communication entre le lecteur et l'étiquette s'effectue en quatre temps :

- 1) Le lecteur transmet par radio l'énergie nécessaire à l'activation du tag
- 2) Il lance alors une requête interrogeant les étiquettes à proximité
- 3) Il écoute les réponses et élimine les doublons ou les collisions entre réponses ;
- 4) Enfin, il transmet les résultats obtenus aux applications concernées.

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

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

La distance de lecture d'un système RFID dépend de la configuration des composants du système et les paramètres suivants est donnée par la formule [32]

$$d_{max} = \frac{c}{4\pi f} \sqrt{\frac{EIRP \cdot r \cdot G_{tag}}{p_{th}}} \quad (2.1)$$

Où

G_{tag} : est le gain de l'antenne du tag

$EIRP$: puissance isotrope rayonnée équivalente.

p_{th} : sensibilité de la puce, Γ est le coefficient de transmission

$$\Gamma = \frac{4R_p R_a}{|Z_p + Z_a|^2} \leq 1 \quad 2 \quad (2.2)$$

Quelles fréquences pour quelles distances de lecteur ?

La fréquence est la caractéristique qui permet d'établir la communication entre la puce et l'antenne. Toutes les puces sur le marché n'ont donc pas la même fonctionnalité.

Les puces se différencient en grande partie par la fréquence de fonctionnement et la distance de lecture. Plus la fréquence est élevée, plus la distance de lecture s'agrandit. En fonction de ces éléments, la puce sera plus ou moins puissante et plus onéreuse. Quatre types de fréquence sont résumés dans **Tableau 2. 1** :

❖ Les fréquences comprises entre 125 et 148 KHZ (basse fréquence)

Dans ce cas la distance de lecture correspondantes ces fréquences va de quelque centimètre ,Les étiquettes sont d'un poids et taille réduits ,ces système peuvent être intégrés dans tout type de matériaux tels que le textiles ou le plastique[33].

❖ Fréquence de 13.56 MHZ

La portée de lecture va de quelques centimètre à environ 1 mètre, dans ce cas les antenne peuvent être imprimée ou gravées ce qui rend ces étiquette fines ces systèmes sont souvent très utilisé des différentes applications pour l'identification des produits et les personnes (passeport, carte sans contact), cette technologie est basé sur l'application NEC (Near Field Communication) de plus en plus présente dans les smartphones et les carte bancaires[34].

❖ Fréquences de 434 MHZ ou comprises entre 865 et 868 MHZ (Ultra haute fréquence UHF)

La portée maximal de détection d'une étiquette pour cette gamme est environ 3 à 10 mètre ,On trouve ces type d'étiquette dans les applications la lecture très rapide et à distance d'un nombre d'étiquettes important (gestion de stock)[34] .

❖ **Fréquences comprises entre 2.45 et 5,8 GHZ (SHF Super Haute Fréquence)**

La portée de lecture est en général 75 centimètres mais peut atteindre plusieurs dizaines de mètres pour les étiquettes RFID actives[33], Voici un aperçu des fréquences de la RFID dans le tableau 2.1 :[24]

Fréquence	<135KHz BF	13.56 MHz HF	434 MHz Entre 865 et 868 MHz UHF	Entre 2.45et 5.8 SHF
Portée maximum	0,5 m	1m	3 à 6 m	1 m(passif)
Caractéristiques générales	-Tag relativement chers même pas gros volumes. - Faible dégradation des performances en milieu métallique ou liquide.	-Tags moins chers que les tags LF. -Bien adapté aux applications à courte portée. - Fréquence unique dans le monde. -Les plus utilisés actuellement.	-Tags moins chers que les tags HF et LF en gros volume. - Performances dégradées par rapport à la HF en milieu métallique ou aqueux. -Adapté au lecteur en volume à longue distance.	-Tags les plus chers dus à la présence d'une source interne d'énergie (tag actif). -Très forte sensibilité aux métaux et liquides. - Liaison lecteur/tag plus directive. - échanges de données plus importants

Tableau 2. 1: Principales caractéristiques des bandes de fréquences dédiées à la RFID.

2.7. Les types des tags

Le tag RFID est un circuit électronique qui comprend une puce et une antenne et qui répond aux commandes émises par le lecteur. On distinguera trois types de tag :

2.7.1. Tag RFID actif

Les tags actifs embarqués une alimentation (batteries, piles), un transmetteur et un récepteur radiofréquence. Ils peuvent émettre des données de manière autonome (voir Figure 2.14). Ils se trouvent particulièrement dans des applications de télémétrie, ainsi que de surveillance à la personne et de traçabilité logistique, pour communiquer un grand nombre d'informations sur de grandes distances. Ils ont de meilleures portées et capacités de calcul et des mémoires plus importantes.[27]

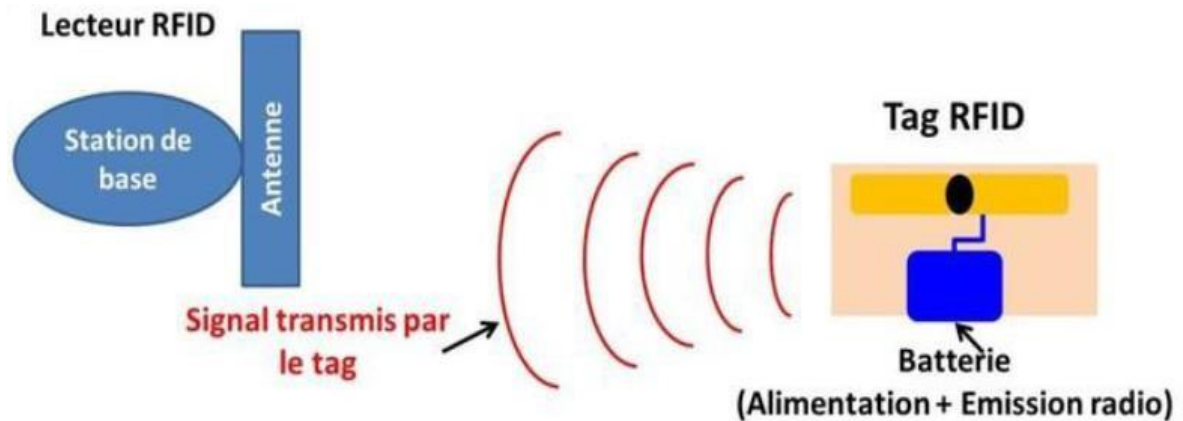


Figure 2. 14 : tag RFID actif. [27]

L'avantage principal de ce type de tag réside dans le fait que le tag n'est pas forcément obligé d'être à proximité du lecteur.

Leur inconvénient réside dans le coût est très élevé, généralement supérieur à la centaine de dollars par unité et la durée de vie limitée de la batterie embarquée[35].

2.7.2. Tag RFID passifs

C'est le type de tag le plus utilisé sur le marché, il ne dispose pas de leur propre source d'énergie. Toute l'énergie nécessaire à leur fonctionnement est fournie par le lecteur (voir Figure 2. 15). Il utilise le principe de modulation par réflexion pour transmettre leurs données aux lecteurs.

Cependant, comparé au tag actif, le tag passif est moins coûteux et peut être de plus petite dimension : de 3 à 10 mètres en fonction de la puissance de transmission du lecteur RFID, Il ne possède ni batterie, ni transmetteur radiofréquence et ne génère donc pas d'onde radiofréquence[36].

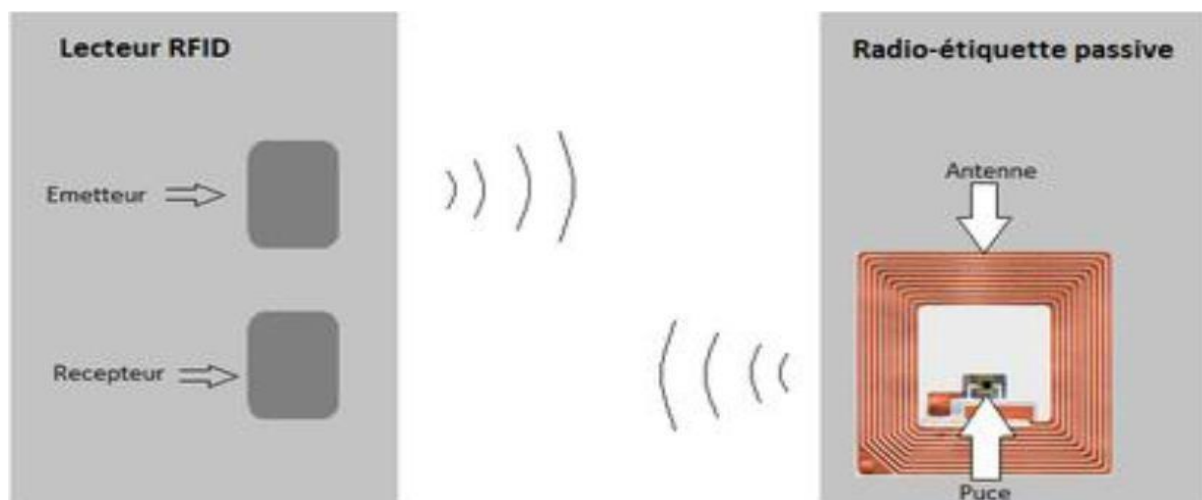


Figure 2. 15 : Tag RFID passif. [1]

2.7.3. Tag RFID semi-passif

Ces tags sont similaires aux cartes d'identification passive comme le montre (**Figure 2. 16**). Ils emploient des technologies proches, mais avec quelques différences importantes. Ils disposent en effet eux aussi d'une petite batterie qui fonctionne en permanence, ce qui libère l'antenne pour d'autres tâches, notamment la réception de signaux de retour. Ces tags sont plus robustes et plus rapides en lecture et en transmission que les tags passifs, mais ils sont aussi plus chers.[31]

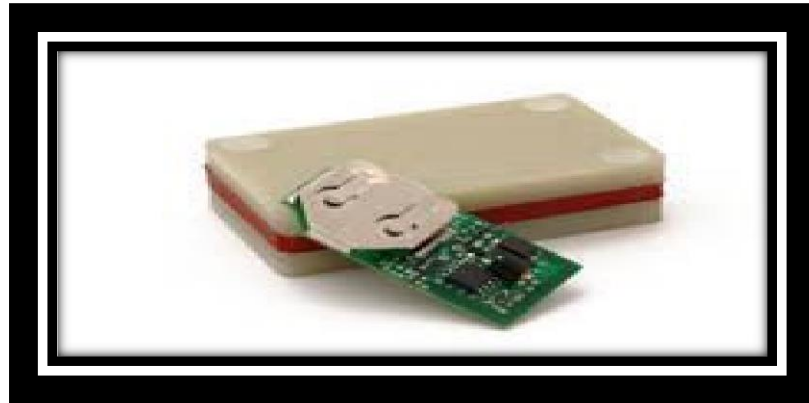


Figure 2. 16 : Tague RFID semi-passif.[31]

2.8. Fréquences d'utilisation [35]

La communication entre le tag et le lecteur est régie par un protocole de communication dont la principale caractéristique est la fréquence radio d'échange, l'objectif principal de la norme RFID est déterminé des normes d'émission radio fréquences, en principe, utiliser que les plages de fréquences spécifiquement réservées aux applications industrielles, scientifiques ou médicales, Ces plage de fréquences est de type ISM (Industrial Scientific Medical frequency range), De manière très schématique on distingue quatre catégories comme illustré sur (**Figure 2. 17**) et (**Tableau 2. 2**) :

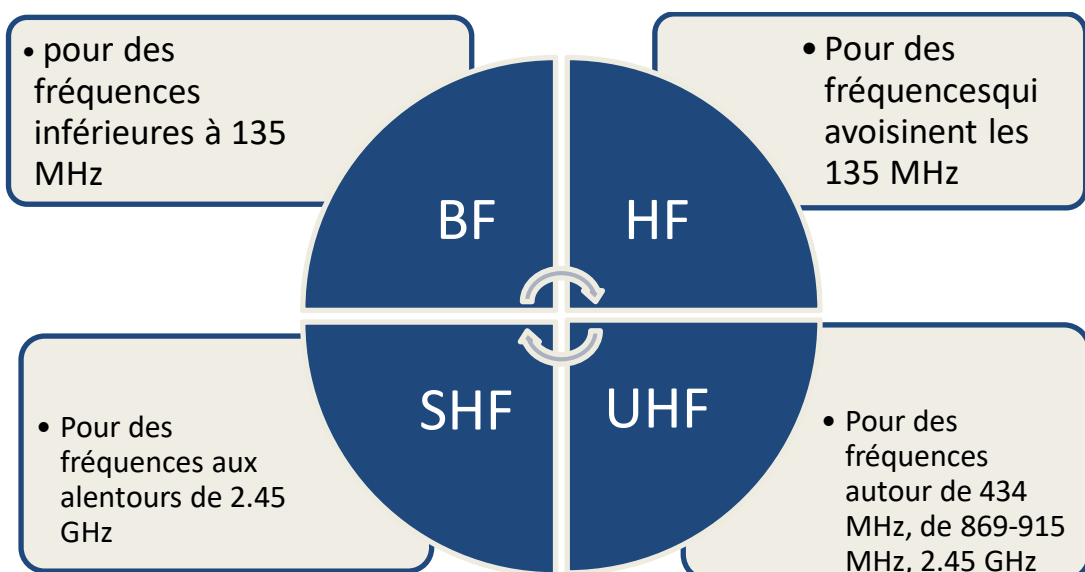


Figure 2. 17: Les catégories des fréquences des fréquences.

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

Tableau 2. 2: Gamme des fréquences dans les différentes régions du monde[26]

2.9. Les applications RFID

Dans nos jours, Les applications RFID sont déjà très nombreuses et qui se développent dans tous les secteurs d'activités elles s'enrichissent tous les jours de nouvelles idées (la santé, transport, l'industrie, sécurité ...etc), ces secteurs présentent chaque domaine avec des exemples concrets de la vie de tous les jours.

2.9.1. Domaine commercial

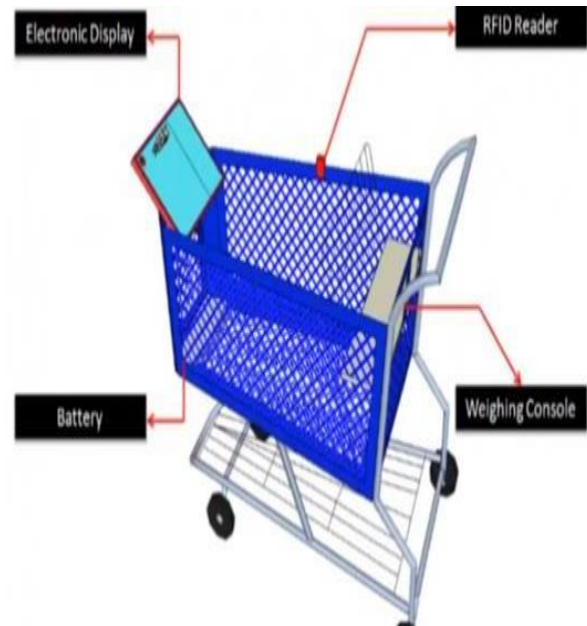
Les étiquettes ayant recours à la technologie RFID peuvent être utilisées pour permettre le paiement sans contact aux points de vente par exemple : les articles possédant une technologie RFID sont automatiquement lus à la sortie du magasin pour paiement et éviter la fraude (**Figure 2. 18**).

Des étiquettes RFID lavables peuvent être incorporées dans les vêtements (wearable computing) afin de prévenir ou détecter les contrefaçons de marques spécifiques et de prouver l'authenticité d'un produit.

[37]



a) Système antivol



b) caddie intelligent

Figure 2. 18 : domaine commercial[25]

2.9.2. Domaine de la santé [27]

La population mondiale est estimée à près de 7 milliards et ne cesse d'augmenter avec une hausse (86 millions de personnes par an), ces statistiques affecteront sans aucun doute le secteur de la santé vu la forte demande qui accompagnera cette évolution démographique.

Cela va sans dire qu'une forte et rapide demande de soins médicaux va s'ensuivre, de plus un défaut du personnel de santé qualifié sera un challenge important pour les centres de soins, mais le problème le plus important auquel fera face ce secteur sera les erreurs médicales qui sont de l'ordre du nombre de patients. Face à de telles difficultés, les services de soins et de santé auront un grand intérêt à investir dans un nouveau système basé sur la technologie RFID qui minimisera les impacts de cette expansion qualifiée de baby-boom. La FDA (Food and Drug Administration) encourage cette technologie (voir Figure 2.19), leurs principaux objectifs sont :

- La sécurité des patients
- La contrefaçon des médicaments
- Le rappel des produits
- La consolidation de la chaîne d'approvisionnement et de distribution des produits pharmaceutiques.

Ainsi on peut citer des exemples d'application qui sont :

✓ Réseau d'approvisionnement en médicaments

De nos jours, l'industrie pharmaceutique voit un avantage à adopter cette technologie notamment pour la contrefaçon des médicaments, c'est les organismes tel que la FDA qui ont encouragé l'implémentation de la RFID pour la lutte contre la vente de produits pharmaceutiques contrefaits. En prenant compte de l'aspect de sécurité du patient et de la

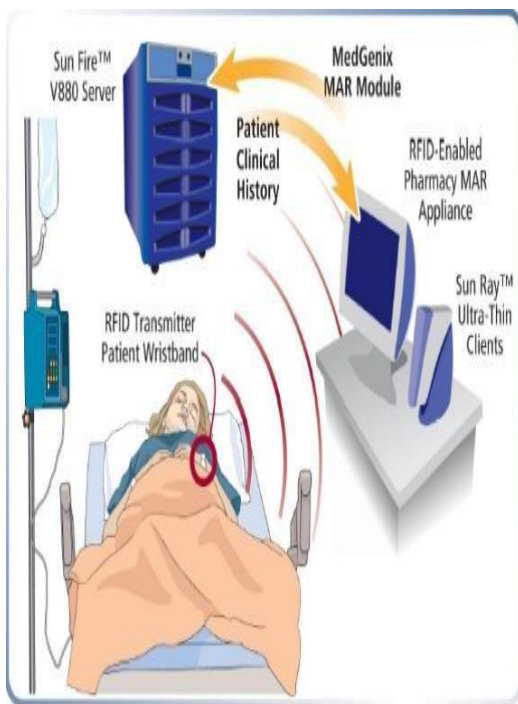
CHAPITRE 2 : La Technologie RFID

distance de lecture, le tag HF passif est le plus approprié pour cette application. Toutefois, la dimension pose problème.

✓ Gestion des patients

La gestion des patients se fera à travers des bracelets électroniques munis de tag RFID UHF afin de vérifier les informations du patient au niveau de différents points de contrôle, c'est un atout car il peut communiquer immédiatement la position du patient et le dossier médical ; une combinaison de technologie passive et active aidera à surveiller le patient. Parmi les avantages de cette gestion on peut citer :

- Optimisation du flux des patients à travers leur historique médical.
- Diminution des patients perdus ou bien mal dirigés, une alarme sera utilisée pour l'indiquer.
- Une meilleure sécurité du patient et le respect des bonnes procédures.
- L'identification des patients est automatisée et sans risque, ainsi le staff pourra se concentrer sur la maladie tandis que les résultats, les médications utilisées et toutes les informations le concernant seront enregistrés.



a) Suivi des patients et des médicaments

b) Suivi des nouveau-nés

Figure 2. 19: RFID dans le domaine de la sante[1]

2.9.3. Domaine de la sécurité

La sécurité est l'une des applications les plus évidentes de la RFID. Citons comme exemple les balises et badges RFID, permettent de contrôler l'accès d'une zone ; les puces RFID dans les nouveaux passeports biométriques pour identifier rapidement les voyageurs et réduit le taux d'erreur, l'identification des animaux domestiques, etc (**Figure 2. 20**).[37]



a) Étiquette RFID de bagage.



b) RFID pour le contrôle d'accès

Figure 2. 20 : RFID dans domaine de la sécurité. [1]

2.10. Avantages et Inconvénients de la technologie RFID

2.10.1. Avantages

- Sécurité d'accès au contenu.
- Simplification des processus de lecture.
- Lire rapidement plusieurs étiquettes RFID en même temps (traitement rapide).
- Protection de l'étiquette RFID pour résister aux contraintes (chocs, traitement thermiques, lavage).
- Une plus grande durée de vie.
- Une moindre sensibilité aux conditions environnementales.
- Réduction de travail manuel.

2.10.2. Inconvénients

- Cout très élevé.
- Perturbation par l'environnement physique.
- Perturbation induite par les étiquettes entre elle.
- Sensibilité aux ondes électromagnétiques parasites.
- Absence d'un standard unique.
- Crainte concernant la protection de la vie.

2.11. Conclusion

Ce chapitre donne un aperçu général des systèmes d'identification automatique (Auto-ID), On a commencé par une description de la technologie RFID par la suite on a décrit le principe de fonctionnement et les composants de cette technologie suivis par les types de tags existant sans oublier la fréquence d'utilisation et on a fini par les différents domaines d'application (santé, culture, industrie ...).

Cette technologie apporte tant d'avantage et elle n'a jamais cessé de croître, Cette étude nous a permis de tracer un cadre à suivre pour mener à terme l'objectif de ce mémoire. Le point central est de simuler un réseau d'antennes patch pour les applications RFID

Dans le chapitre prochain et à partir d'une application RFID nous allons faire la simulation d'un réseau d'antenne patch et l'adapter aux applications récentes.

CHAPITRE 3
Simulation d'un
Réseau pour lecteur
RFID-SHF

3.1. Introduction

Après avoir détaillé tout ce qui est théorique sur le concept des antennes imprimées, nous allons appliquer ces informations pour concevoir une antenne imprimée à 2.45GHz sous le logiciel de conception CST Microwave Studio qui sera décrit en premier, les dimensions de cette antenne sont calculées théoriquement (Annexe).

Ce chapitre est organisé comme suit. Après la présentation du cahier des charges requis plusieurs configurations à base de patch carrée classique ont été proposées et simulées. Par la suite nous allons essayer à partir de la nouvelle structure de voir l'effet du couplage entre deux éléments de patches et aussi quatre éléments de patches à fin de répondre aux exigences de l'application en question à savoir Le gain, le S_{11} , VSWR, le diagramme de rayonnement.

3.2. Spécifications techniques (cahier des charges)

Les antennes à concevoir dans ce projet doivent être en technologie imprimées et doivent satisfaire les spécifications techniques résumées dans le **tableau 3.1**.

Performance	Spécification
Adaptation	$ S_{11} < -10\text{dB}$
Diagramme de rayonnement	Unidirectionnel
Gain	$3\text{dBi} < \text{Gain} < 6\text{dBi}$
Taille	La plus compacte possible

Tableau 3. 1 : Cahier des charges

Le substrat utilisé pour cette conception le FR4 ($\epsilon_r=4.3$, épaisseur=1.6mm) pour son faible coût et sa disponibilité.

L'outil de simulation électromagnétique utilisé est CST.

3.3. Antenne patch carrée classique pour RFID SHF

Dans cette partie on s'intéressera à la conception d'une antenne imprimée de type patch carrée travaillant à la fréquence centrale de la bande RFID SHF 2.45GHz. le substrat utilisé est le FR4 ($\epsilon_r=4.3$, $h=1.6\text{mm}$). Dans un premier temps, les dimensions analytiques de l'antenne ont été calculées à partir des équations de l'annexe.

Dans un deuxième temps, les simulations par l'outil CST ont porté sur trois types d'excitation directes à savoir : ligne microruban, transformateur d'impédance et enfin nouvelle structure d'antenne.

3.3.1. Antenne patch alimentée par une ligne microruban

La figure 3.1 illustre la structure d'antenne patch que nous avons conçu .la largeur de ligne d'excitation W_f de type microruban égale à **2.932mm** et la longueur F_i , correspondante a une impédance d'entrée du patch **50Ω**, les dimensions analytiques de cette antenne sont résumées dans le **Tableau 3. 2**:

Noms	Valeurs (mm)	Appellations
Longueur du plan de masse	72.54	Lg
Largeur du plan de masse	72.54	Wg
Longueur du substrat	72.54	Lsub
Largeur du substrat	72.54	Wsub
Longueur du patch	36.27	Lp
Largeur du patch	36.27	Wp
Hauteur de substrat	1.6	H
Epaisseur du patch	0.035	Tm
La longueur de l'encoche	4.8	F_i
La largeur de l'encoche	1	G_i
Largeur du la ligne	2.932	W_f

Tableau 3. 2 : Dimensions de l'antenne patch carrée

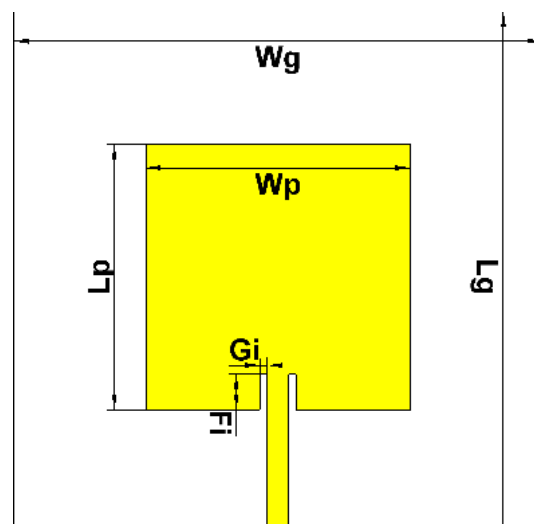


Figure 3. 1: Géométrie d'antenne patch carrée alimentée par une ligne micro-ruban sous CST

Le coefficient de réflexion à l'entrée de l'antenne patch ayant les dimensions théoriques du **tableau 3.2** est illustre par la **figure 3. 2**

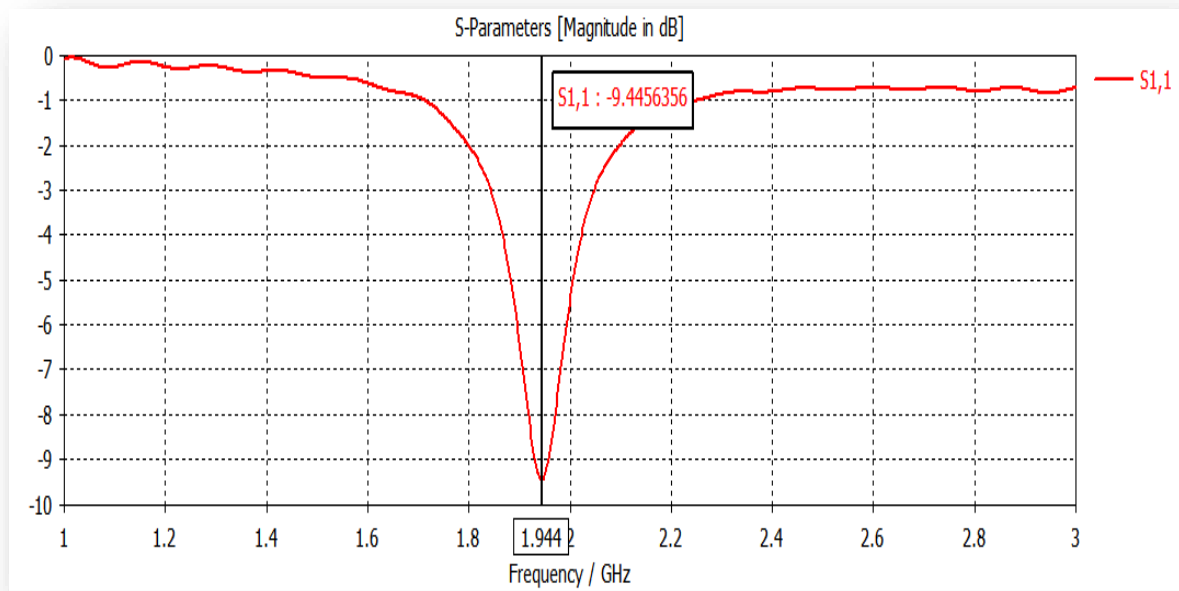


Figure 3. 2 : Coefficient de réflexion de l'antenne patch alimentée par une ligne microruban

La **figure 3.2** montre un décalage de fréquence de fonctionnement .En effet, au lieu d'obtenir une fréquence centré a 2.45GHz, la simulation indique une fréquence de 1.94GHz .la nouvelles dimension optimisées pour retrouver la fréquence de fonctionnement sont données dans le **tableau 3.3**.

Paramètres	Valeurs (mm)
Wp	28.65
Lp	28.65
Fi	9
Wf	1.137
Wg	2*Wp
Lg	2*Lp
Ws	2*Wp
Ls	2*Lp
H	1.6
Tm	0.035

Tableau 3. 3: Dimensions de l'antenne patch après optimisation sur CST

CHAPITRE 3 : Simulation d'un Réseau pour lecteur RFID-SHF

Dans cette partie, nous présentons les résultats de simulation obtenus en termes de coefficient de réflexion, impédance d'entrée, taux d'ondes stationnaires et diagramme de rayonnement autour d'une fréquence de résonance de 2.45GHz. Ces résultats sont représentés respectivement sur les figures 3.3 ; 3.4 ; 3.5 ; 3.6 :

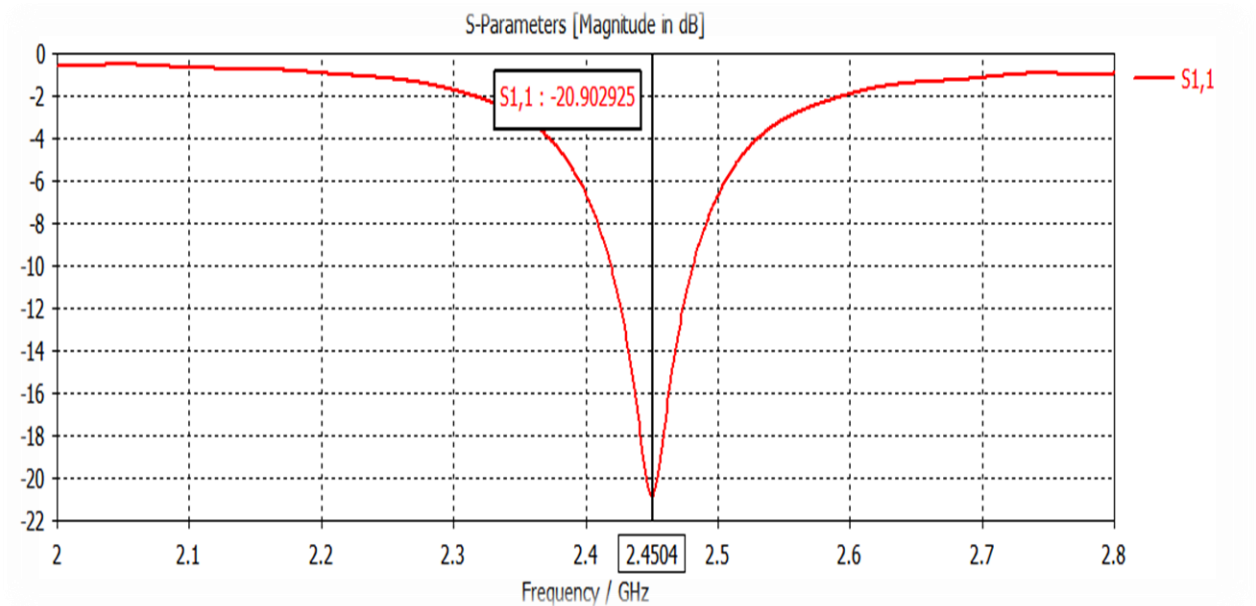


Figure 3.3 : Coefficient de réflexion en fonction de la fréquence

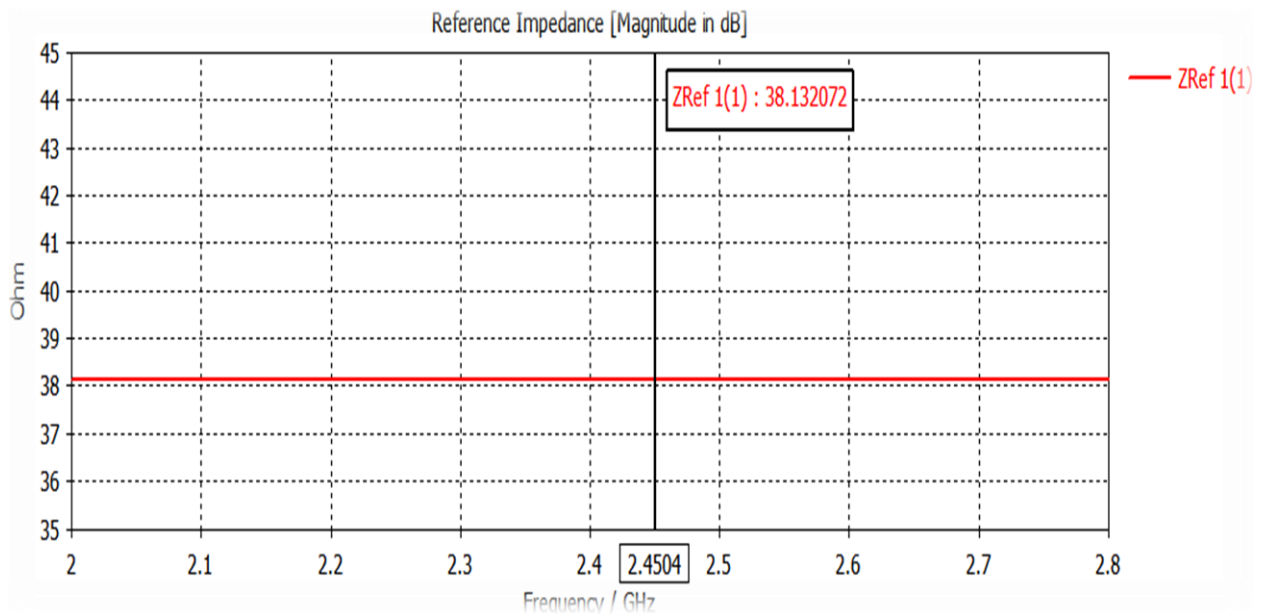


Figure 3.4 : Impédance d'entrée de l'antenne patch de forme carrée en fonction de la fréquence (dBi)

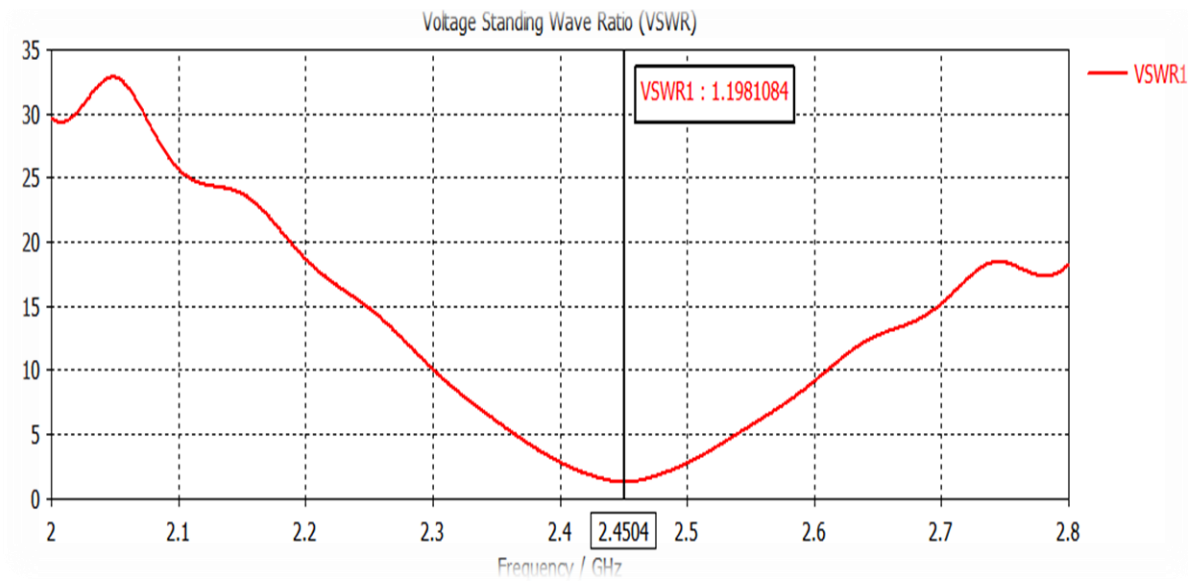


Figure 3. 5 : Taux d’ondes stationnaires en fonction de la fréquence

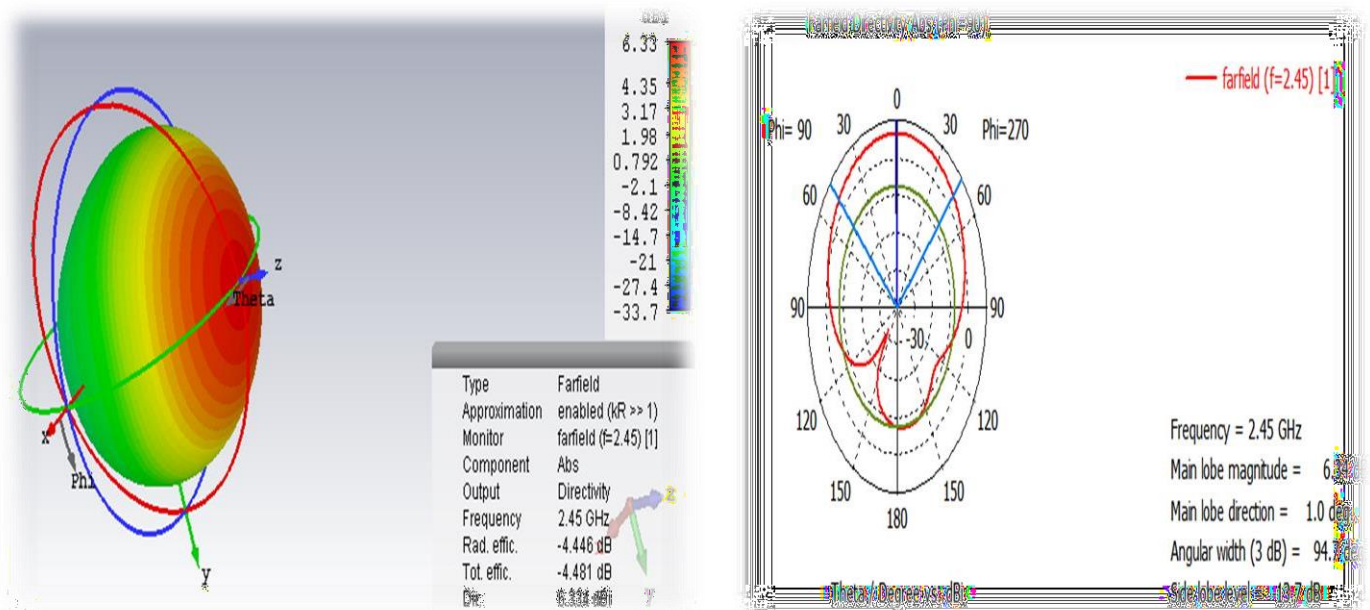


Figure 3. 6: Diagramme de rayonnement 3D en directivité de l’antenne patch de forme carrée et polaire

D’après la **figure 3.3** , la fréquence est maintenant centrée a 2.45GHz avec une bonne adaptation $|S_{11}| = -20.90$ dB.

Le VSWR est inferieure a 2, ce qui montre une adaptation d’impédance entre l’antenne et la ligne de transmission.

Le tableau 3. 4 présente les résultats de gain et directivité et l’angle d’ouverture a la fréquence 2.45GHz :

Fréquence	Gain	Directivité	L'angle D'ouverture
2.45GHz	1.89dB	6.334dBi	94.7°

Tableau 3. 4 : Gain et directivité de l'antenne patch carrée

Nous constatons que la directivité de l'antenne patch de forme carrée atteint une valeur maximale de 6.34dB pour une fréquence de résonance de 2.45GHz. ce résultat est acceptable pour assurer le bon fonctionnement de cette antenne.

3.3.2. Antenne patch alimentée par une ligne microruban en utilisant le transformateur quart d'onde

Cette méthode consiste à relier la ligne micro-ruban directement au bord de l'antenne en utilisant un adaptateur d'impédance de type quart d'onde.

La figure 3. 7 représente la structure d'antenne patch carrée avec transformateur quart d'onde sous CST. Les dimensions finales de cette antenne sont résumées dans le tableau 3.5.

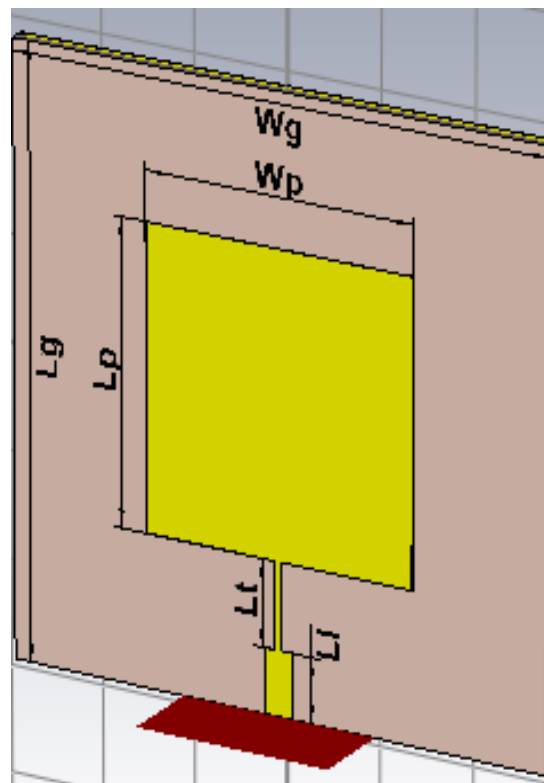


Figure 3. 7: Géométrie d'antenne patch carrée avec transformateur quart d'onde sous CST.

Paramètres	Valeurs (mm)
Wp	28.65
Lp	28.65
Wg	2*Wp
Lg	2*Lp
Ws	2*Wp
Ls	2*Lp
Wt	0.72
Wl	3
Lt	8.18
Ll	6.16
Tm	0.035
H	1.6

Tableau 3. 5: Dimensions d'Antenne patch carrée avec transformateur quart d'onde sous CST

La figure 3.8 Représente le coefficient de réflexion a l'entrée de l'antenne patch ayant les dimensions optimisées du **tableau 3.5**.

Par ailleurs les figures 3.9, 3.10, 3.11 représentent respectivement : le taux d'ondes stationnaires, l'impédance d'entrée et le diagramme de rayonnement.

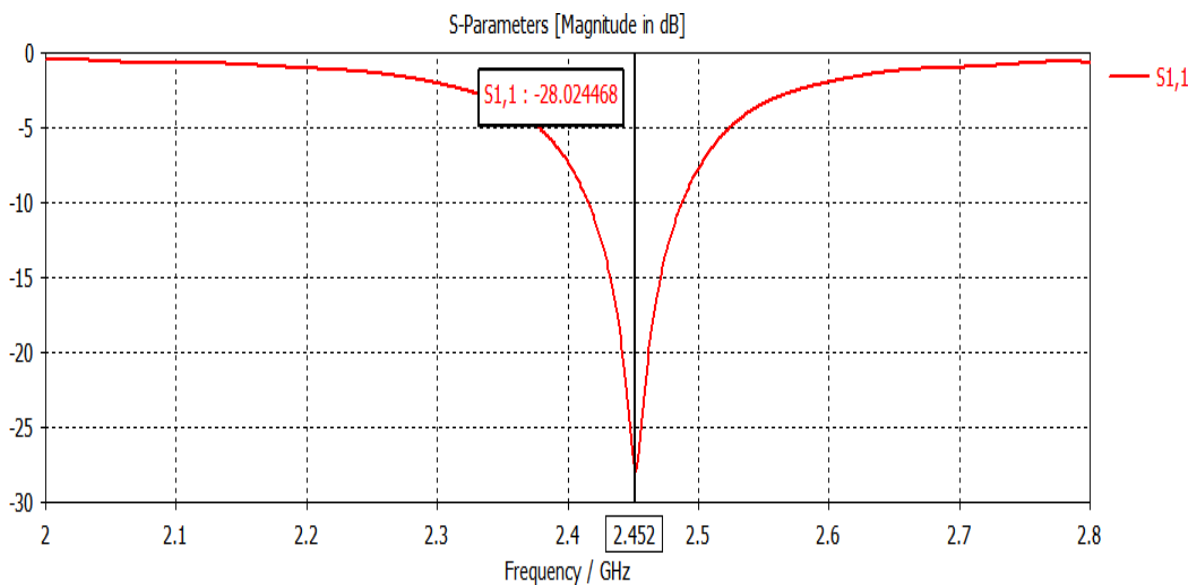


Figure 3. 8: Coefficient de réflexion de l'antenne patch carrée avec transformateur quart d'onde

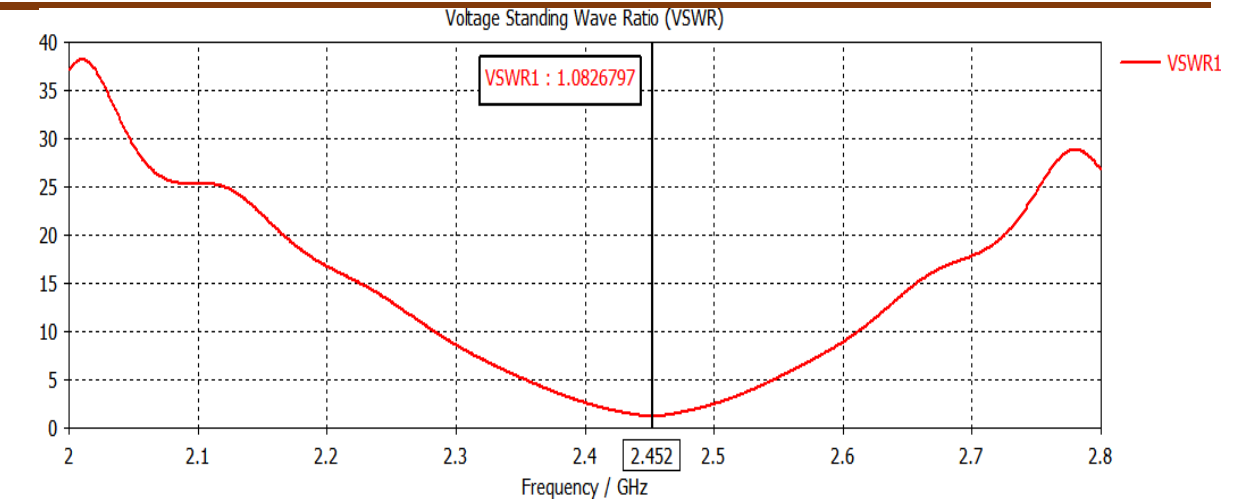


Figure 3. 9: Taux d'ondes stationnaires en fonction de la fréquence

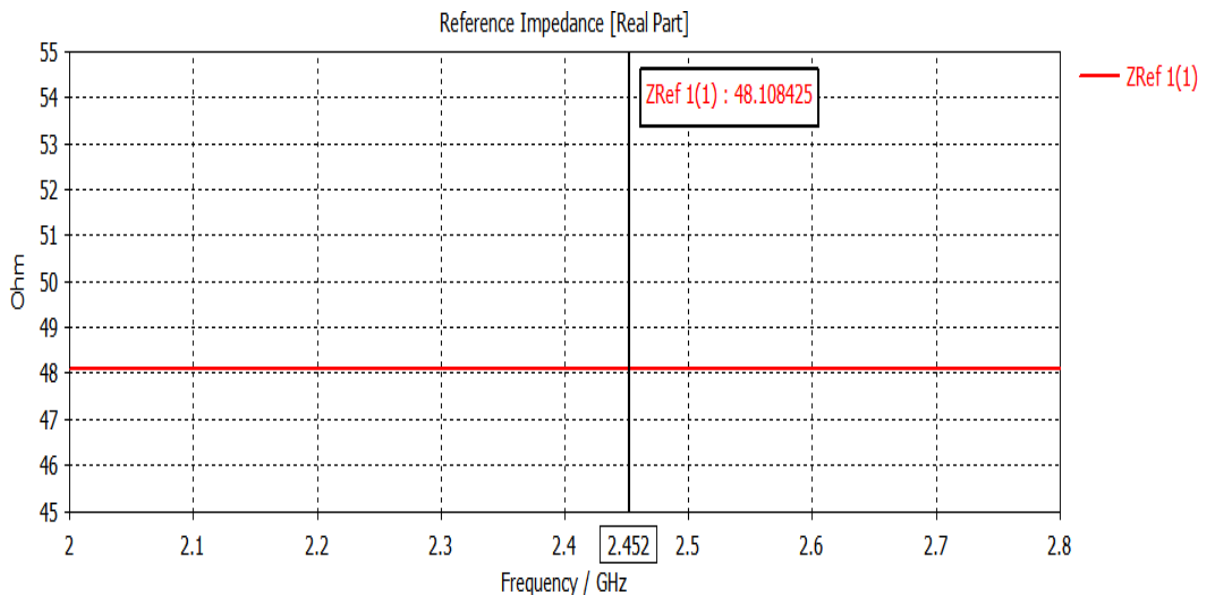


Figure 3. 10: Impédance d'entrée de l'antenne patch de forme carrée en fonction de la fréquence (dBi)

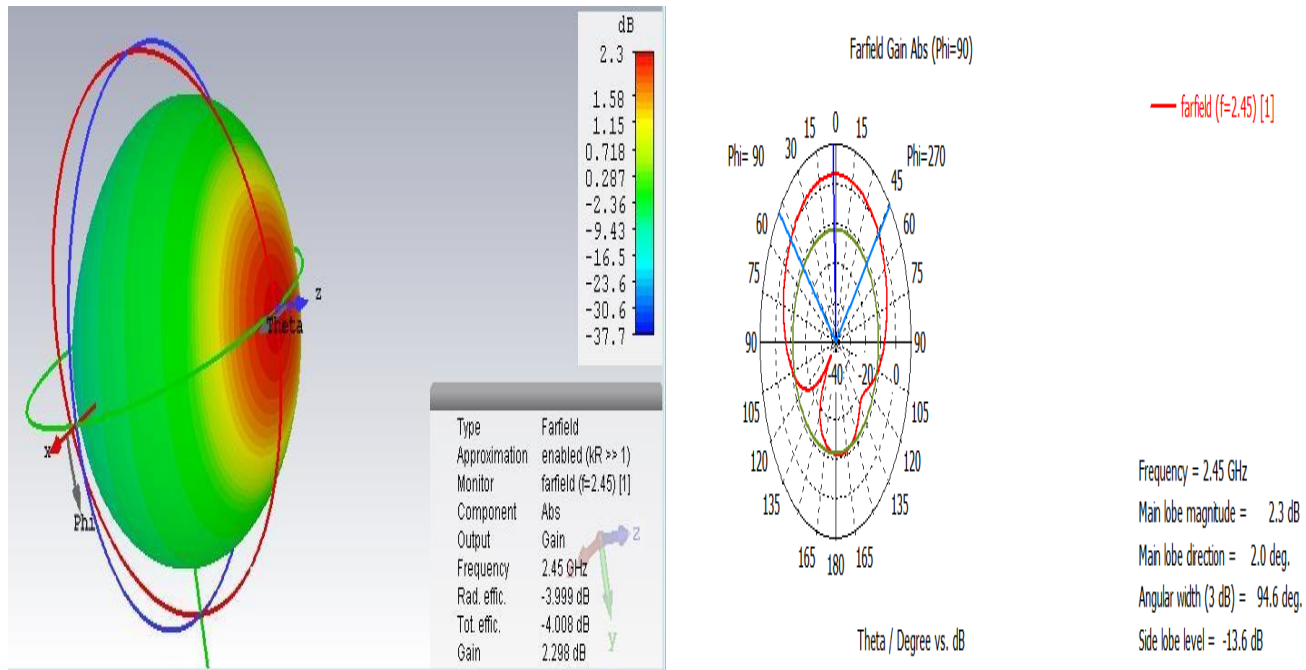


Figure 3. 11: Diagramme de rayonnement 3D en gain de l’antenne patch de forme carrée et polaire

La Comparaison des différentes structures d’antennes est faite dans le tableau 3.6

	Antenne alimentée par une ligne microruban	Antenne alimentée par une ligne microruban en utilisant le transformateur quart d’onde
Le coefficient de réflexion S11 (dB)	-20.90	-28.02
VSWR (dB)	1.19	1.08
Gain (dB)	1.89	2.29
Directivité (dB)	6.33	6.29
Fréquence de résonance (GHZ)	2.45	2.45

Tableau 3. 6 Synthèse des résultats

L’analyse de ces résultat (3. 8 ;3. 9 ;3. 10; 3. 11), indique que la fréquence est centrée a 2.45GHz avec une bonne adaptation $|S_{11}|=-28.02$ dB et une bande passante limite de 2.97% .

Le diagramme de rayonnement en 3D à la fréquence 2.45GHz est donné par la **figure 3. 11**, la valeur du gain est 2.3dB.

Le VSWR est inférieure a 2 dans la bande [2.4-2.5GHz],ce qui montre une bonne adaptation d’impédance entre l’antenne et la ligne de transmission.

On remarque que :

- La fréquence de résonance est la fréquence désirer 2.45 GHZ pour les deux géométrie
- le VSWR est inférieur à 2 pour les deux géométries
- le coefficient de réflexion de l'Antenne patch alimentée par une ligne microruban en utilisant le transformateur quart d'onde est meilleur que celle de l'Antenne patch alimenté par une ligne microruban
- des performances électromagnétiques (gain, directivité) de l'Antenne patch alimentée par une ligne microruban en utilisant le transformateur quart d'onde est meilleur que celle de l'Antenne patch alimenté par une ligne microruban

3.3.3. La nouvelle structure d'antenne patch carrée

La nouvelle structure d'antenne patch est composée d'un patch de forme carrée imprimée sur un substrat de type **FR-4 lossy**, de permittivité relative de **4.3** d'épaisseur de **1.6mm**, L'antenne est couplée à deux type d'alimentation (voir la figure 3.12):

- ✓ une ligne quart d'onde de longueur **Ll** et de largeur **Wl** .
- ✓ une ligne microruban ayant un port d'alimentation de 50ohm.

Les fentes carrées insérées aux bords de l'élément rayonnant ayant une largeur **Wf** et **Lf** .

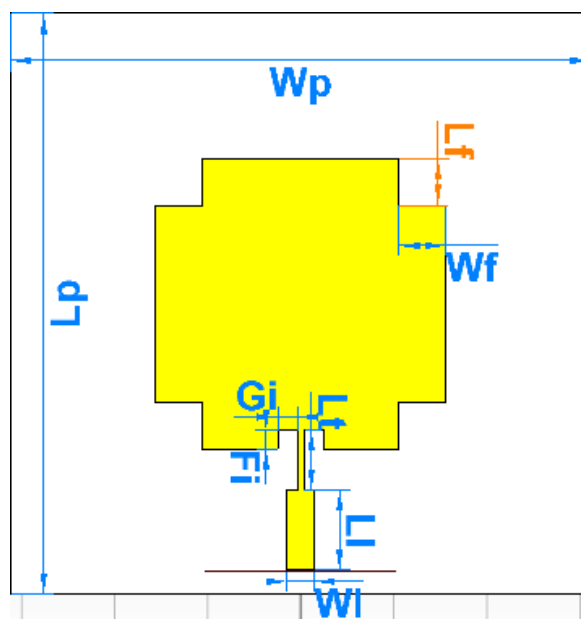


Figure 3. 12:La Géométrie de la nouvelle structure d'antenne patch.

Le tableau 3. 7 Regroupe les dimensions finales de la nouvelle antenne patch :

Paramètres	Valeurs (mm)
Wp	31.15
Lp	31.15
Wg	2*Wp
Lg	2*Lp
Wt	0.73
Wl	2.932
Lt	6.43
Ll	8.60
Wf	5
Lf	5
h	1.56
Tm	0.035
Fi	4.8
Gi	1

Tableau 3. 7 : Dimension de la nouvelle antenne patch

Les paramètres de la nouvelle antenne patch : coefficient de réflexion, impédance d'entrée , taux d'ondes stationnaires , variation de gain , diagrammes de rayonnement en directivité puis en gain (3D et polaire) sont représentés respectivement sur les figures notées 3.13 à 3.20 sans discontinuité.

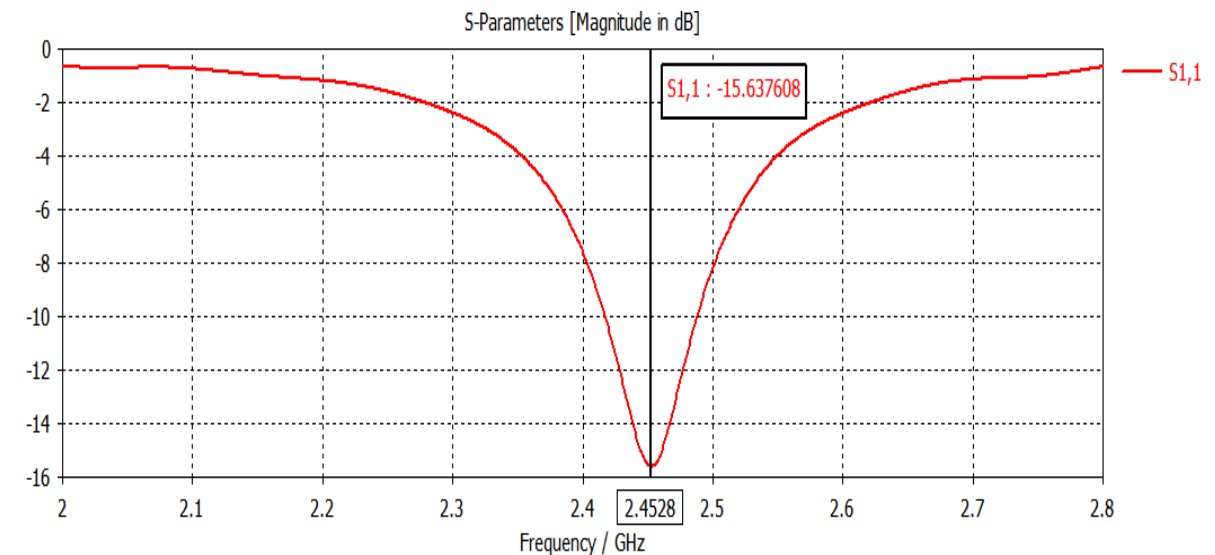


Figure 3. 13 : Coefficient de réflexion de nouvelle antenne patch.

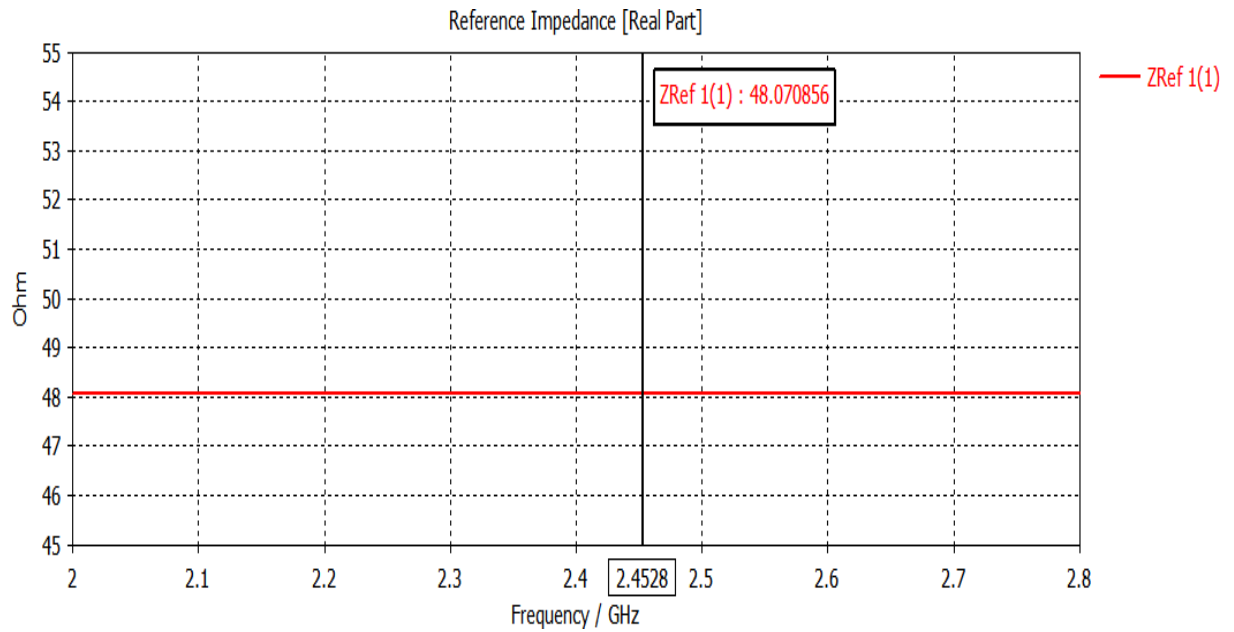


Figure 3. 14: Impédance d'entrée de nouvelle antenne patch en fonction de la fréquence (dBi)

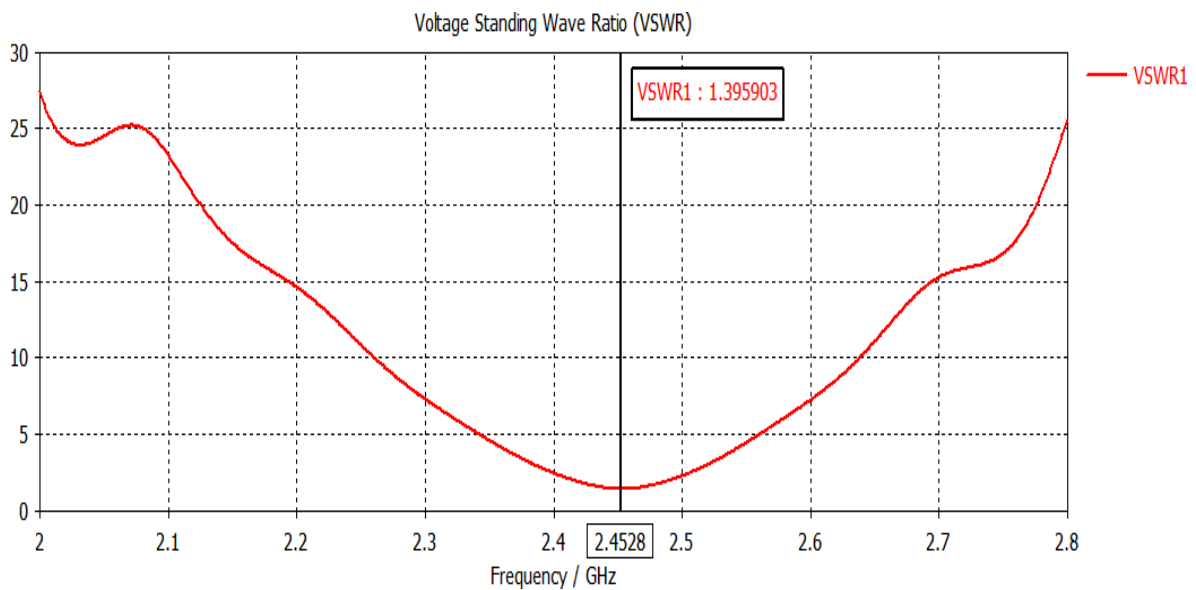


Figure 3. 15 : Taux d'ondes stationnaires en fonction de la fréquence

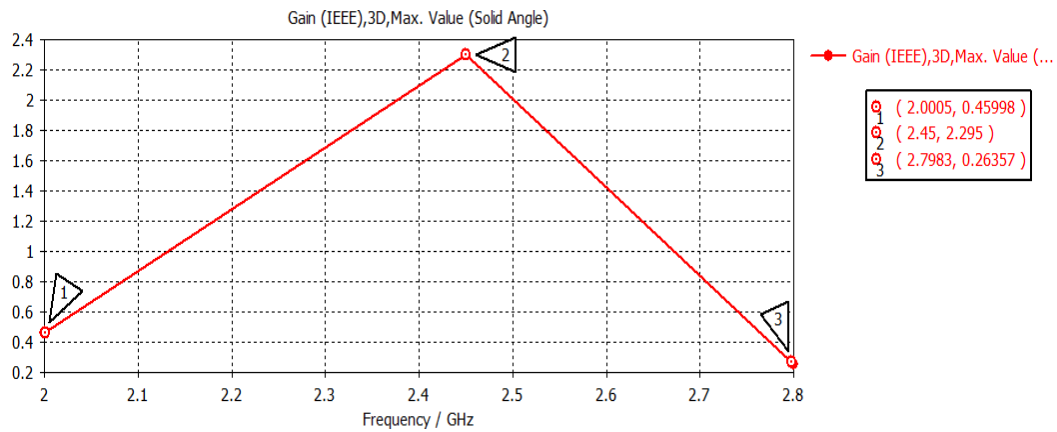


Figure 3. 16 : Variation de gain en fonction de la fréquence

La variation de gain en fonction de la fréquence est augmente d'une façon continue jusqu'à la troisième valeur (2.45GHZ :2.38dB) puis il diminue.

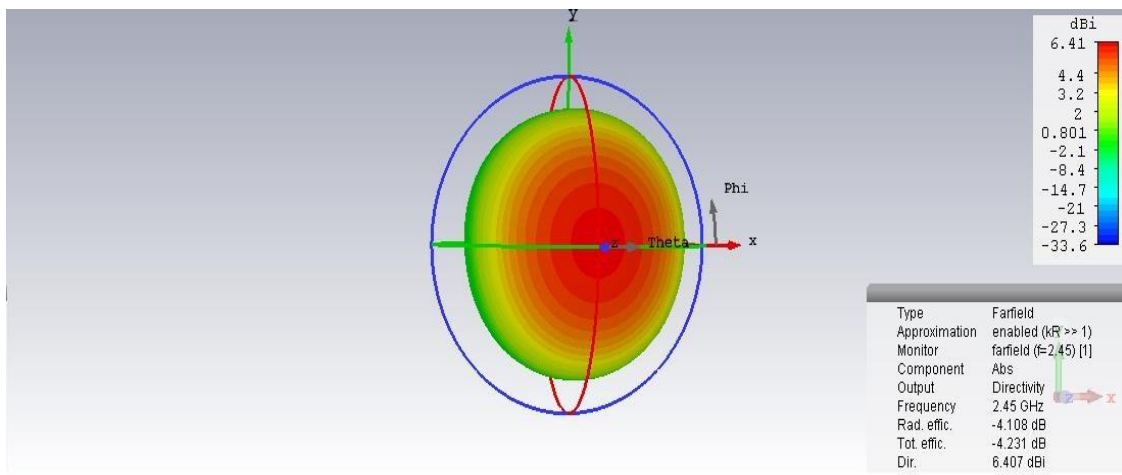


Figure 3. 17: Diagramme de rayonnement 3D en directivité de nouvelle antenne patch

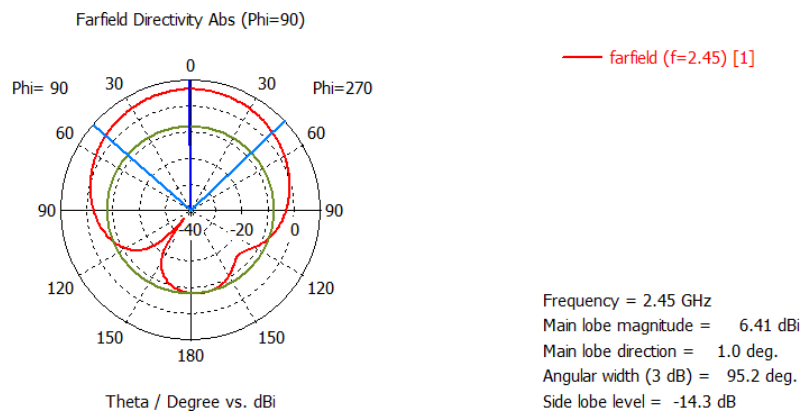


Figure 3. 18: Diagramme de rayonnement polaire en directivité de nouvelle antenne patch

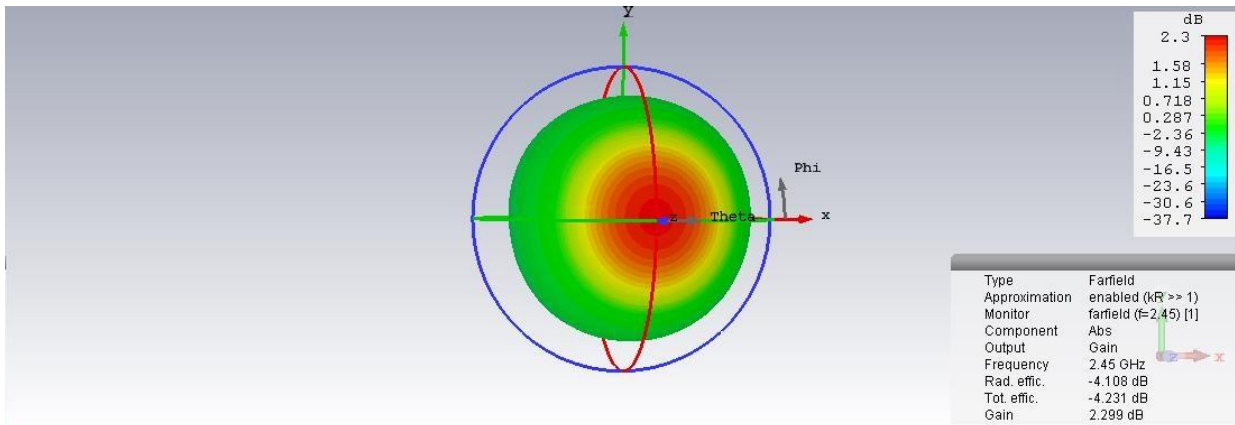


Figure 3. 19: Diagramme de rayonnement 3D en gain de nouvelle antenne patch

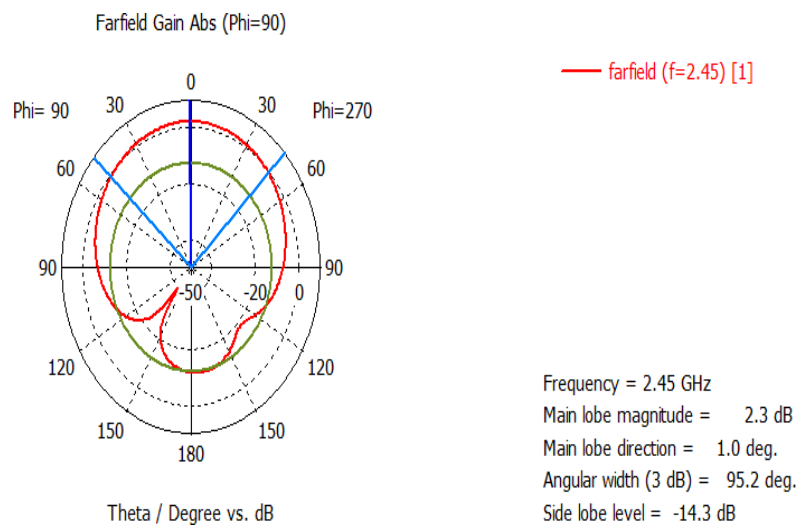


Figure 3. 20: Diagramme de rayonnement polaire en gain de nouvelle antenne patch

L'analyse de résultat du paramètre S11 ,indique que la fréquence est centrée a 2.45GHz avec une bonne adaptation $|S_{11}|=-15.64\text{dB}$.

Le lobe de rayonnement contenant le maximum d'énergie et de direction maximal de rayonnement, la directivité égale à 6.41dB, dont la fréquence de résonance est égale à 2.45GHz.et le gain égale à 2.3dB.

3.4. Effet et étude paramétrique de nouvelle antenne

• Effet de première fente

Afin de réaliser des résultats satisfaisants et mettre en évidence l'influence de paramètre de la fente, une étude paramétrique a été effectuée dans laquelle on a varié les dimensions de la première fente comme montre **la figure 3.21** :

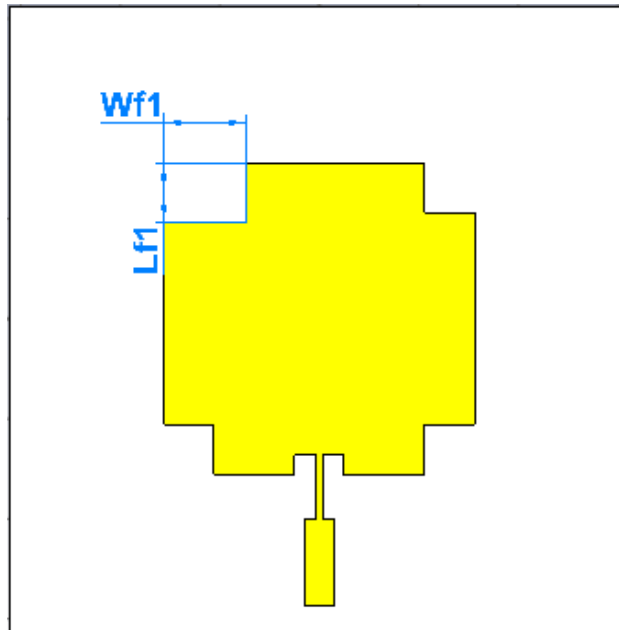


Figure 3. 21 : Géométrie de la s nouvelle antenne patch avec variation des dimensions de la première fente

Le tableau 3.8 regroupe les dimensions de la nouvelle antenne patch avec première fente.

Paramètres	Valeurs (mm)
W_p	31.15
L_p	31.15
W_g	$2*W_p$
L_g	$2*L_p$
W_t	0.73
W_l	2.932
L_t	6.43
L_l	8.60
W_f	5
L_f	5
H	1.56
T_m	0.035
F_i	4.8
G_i	1
W_{f1}	8.23
L_{f1}	6

Tableau 3. 8: Dimension de la nouvelle antenne patch avec première fente

Le coefficient de réflexion S_{11} , qui va nous permettre de visualiser le niveau d'adaptation de la fente sur la fréquence de résonance désirée, le résultat de comparaison est présenté par la figure 3.22 :

• **Le coefficient de réflexion**

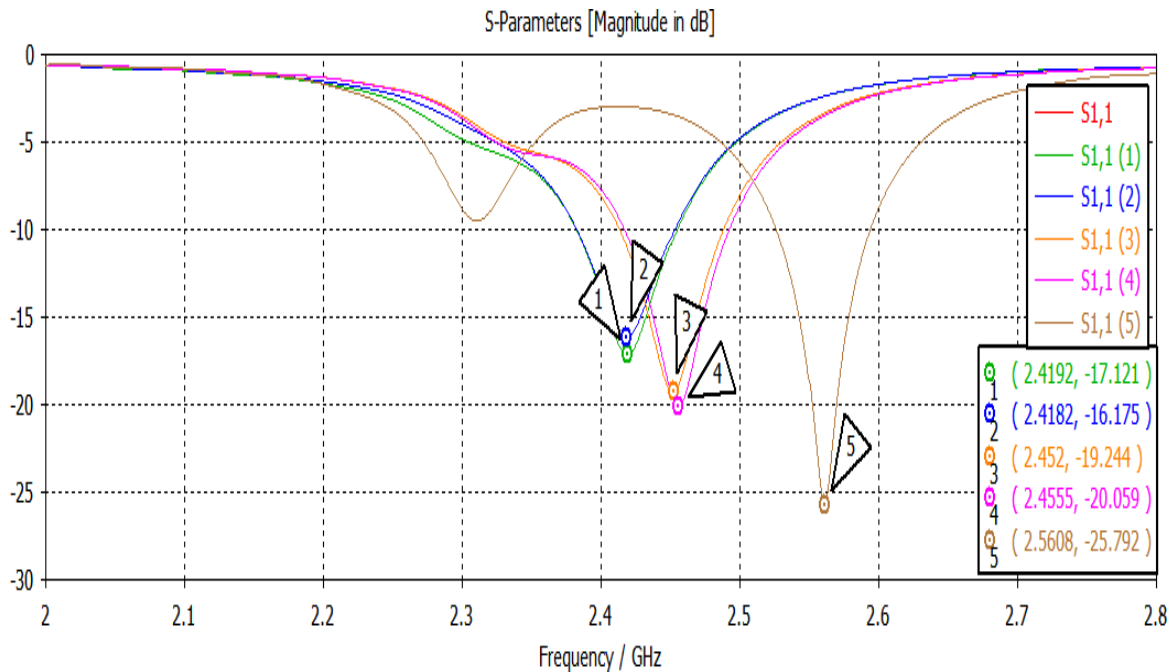


Figure 3. 22 : Coefficient de réflexion avec variation de dimension de première fente

Le **tableau 3.9** nous montre la variation du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence pour différentes valeurs de la largeur Wf1 et la longueur Lf1 de la première fente.

Largeur Wf1 (mm)	Longueur Lf1 (mm)	Fréquence de résonance (GHZ)	S11 (dB)
5.33	8.58	2.419	-17.12
6	6	2.418	-16.18
8.12	6	2.452	-19.24
8.23	6	2.456	-20.06
8.58	6	2.561	-25.79

Tableau 3. 9: Variation de la fréquence de résonance et le S11 en fonction des différentes valeurs de la largeur et la longueur de la première fente

D'après ces résultats obtenus, on peut dire que lorsqu'on augmente la largeur Wf1 à 8.23 mm de la fente. On obtient une bonne adaptation autour de 2.456 ou le coefficient de réflexion a une valeur intéressante à -20.06dB donc le quatrième résultat est le meilleur.

• **Taux d'onde stationnaire VSWR**

Les résultats de simulation du VSWR pour différentes dimension de la fente sont donnés dans la figure 3.23 :

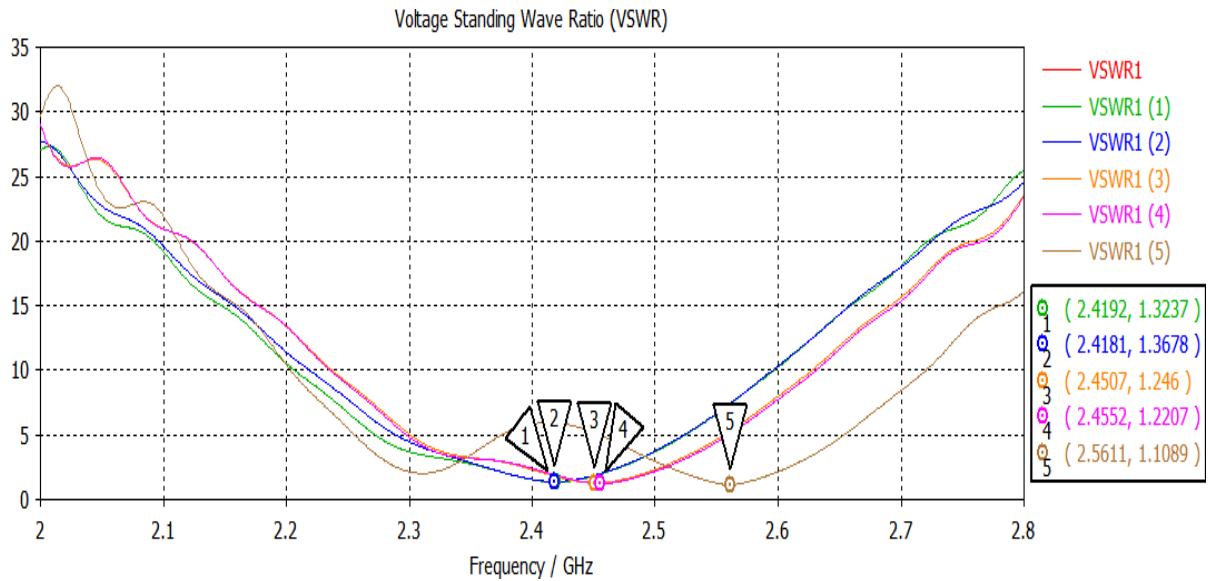


Figure 3. 23 : Taux d'onde stationnaire.

On peut voir d'après la **Figure 3.23** que le taux d'onde stationnaire de notre antenne est en dessous de 2 ce qui indique une bonne adaptation d'impédance entre l'antenne et la ligne d'alimentation, le VSWR est meilleur au niveau de quatrième résultat VSWR=1.22 avec une fréquence de résonance de 2.45GHz.

• **L'impédance d'entrée**

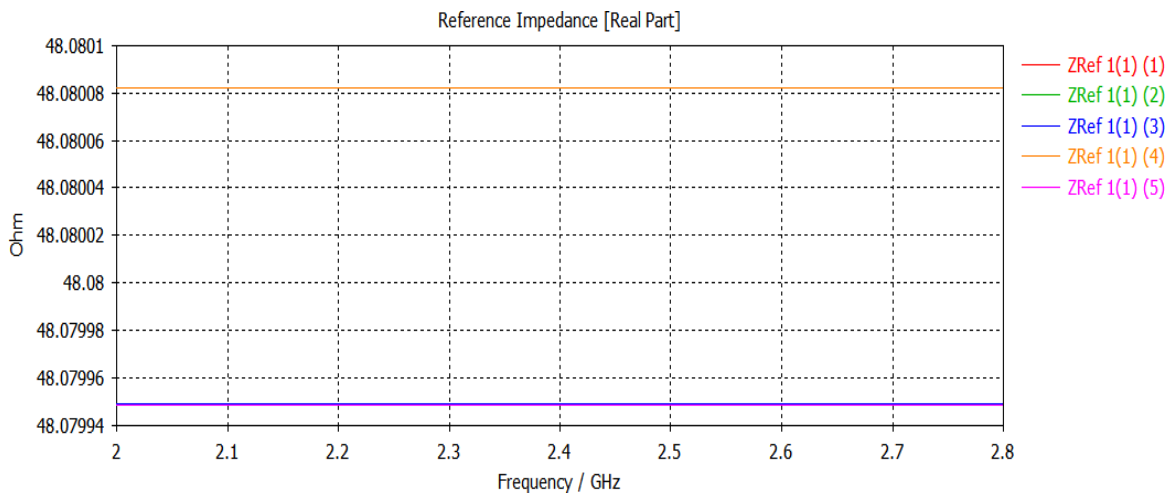


Figure 3. 24: l'impédance d'entrée de l'antenne

Le résultat de l'impédance d'entrée dans Figure 3. 24 vaut 48Ω, est proche à celle de l'impédance caractéristique 50ohm, ce qui engendre une bonne fourniture de l'énergie vers la ligne d'alimentation utilisée.

On constate que la fente numéro 4 représente une bonne adaptation pour la fréquence 2.45GHZ.

• **Diagramme de rayonnement en Gain et Directivité**

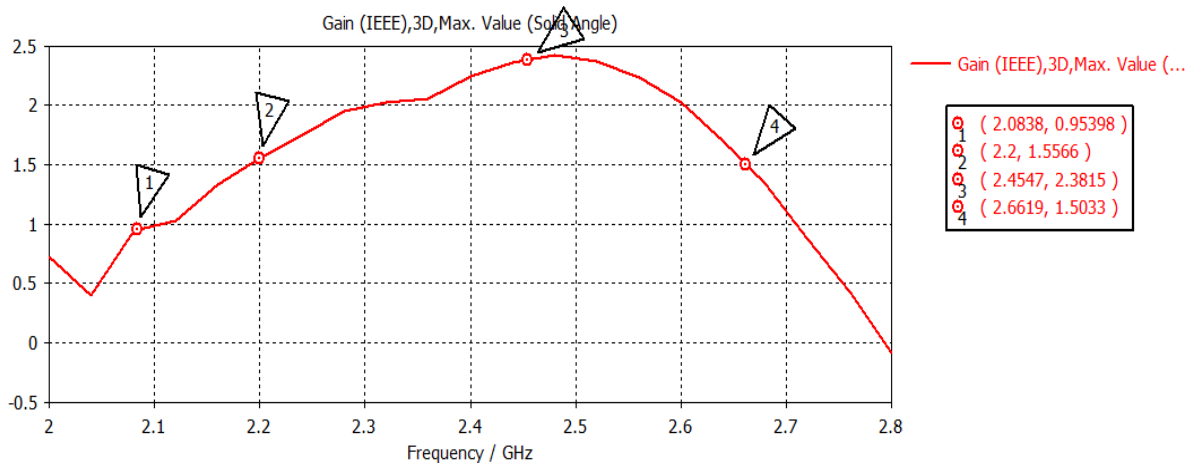


Figure 3. 25: Variation de gain en fonction de la fréquence

La représentation du gain en fonction de la fréquence est présenté en figure 3.25.

Le diagramme de rayonnement 3D de cette antenne reflète la valeur du Gain (Figure 3.26) et la directivité, et sur le plan polaire on peut voir l'angle d'ouverture de cette antenne (Figure 3.27 puis 3.28) :

- La valeur du gain est 2.156dB
- La directivité de cette antenne est 6.531
- L'angle d'ouverture est 91.9 deg

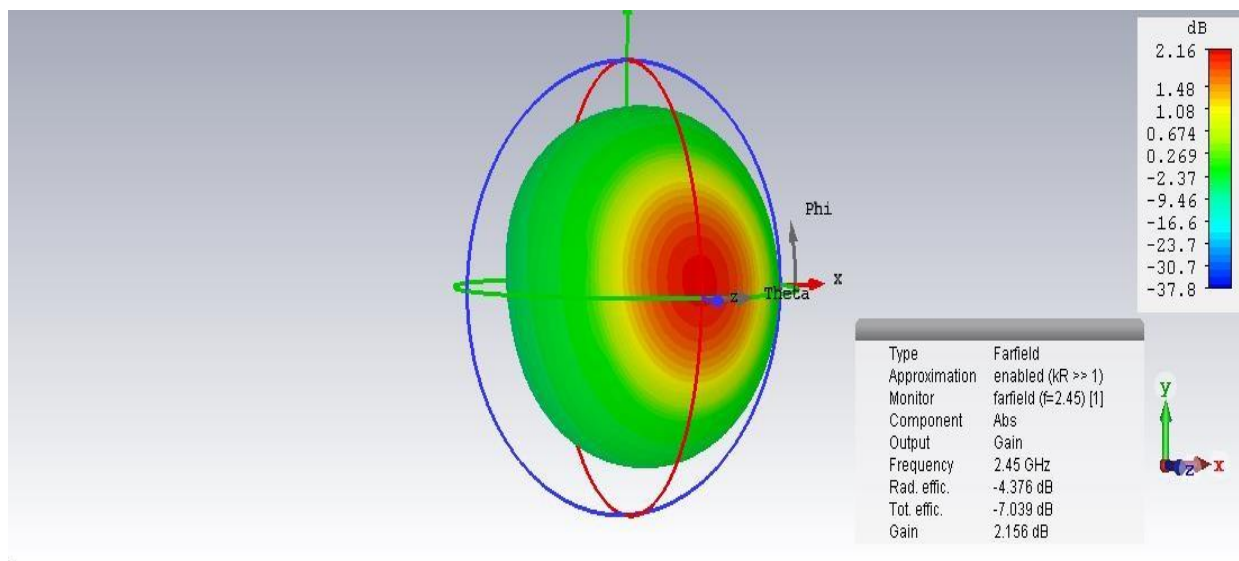


Figure 3. 26 : la représentation 3D du gain

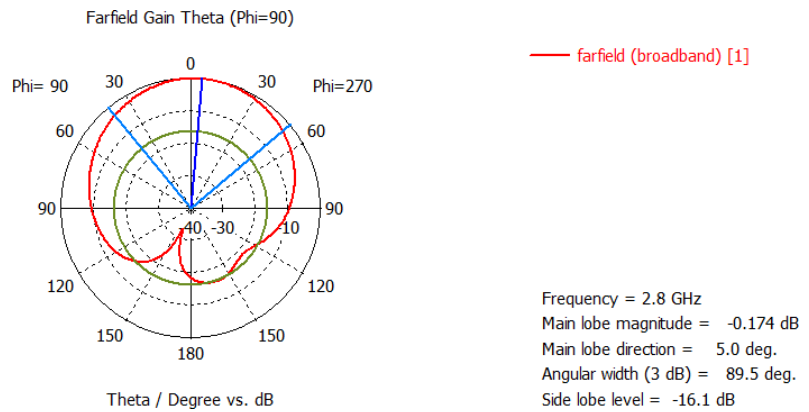


Figure 3. 27 : la représentation polar en fonction du Theta

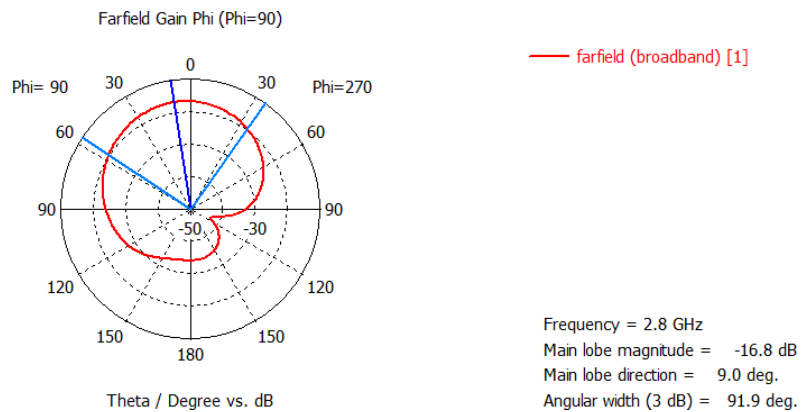


Figure 3. 28: la représentation polar en fonction du Phi

3.5. Simulation d'un réseau de deux antennes imprimées

La figure 3.29 représente un réseau de deux antennes patch carrée, séparées par une distance d , En utilisant les dimensions du quatrième résultats citées précédemment pour les fentes carrées insérées aux bords de l'élément rayonnant ayant une largeur $Wf1=8.23\text{mm}$ et une longueur $Lf1=6\text{mm}$.

Nous optons par la méthode d'alimentation parallèle par le biais d'un réseau d'alimentation sous forme d'une jonction T (diviseur de puissance) excité par une source 50Ω .

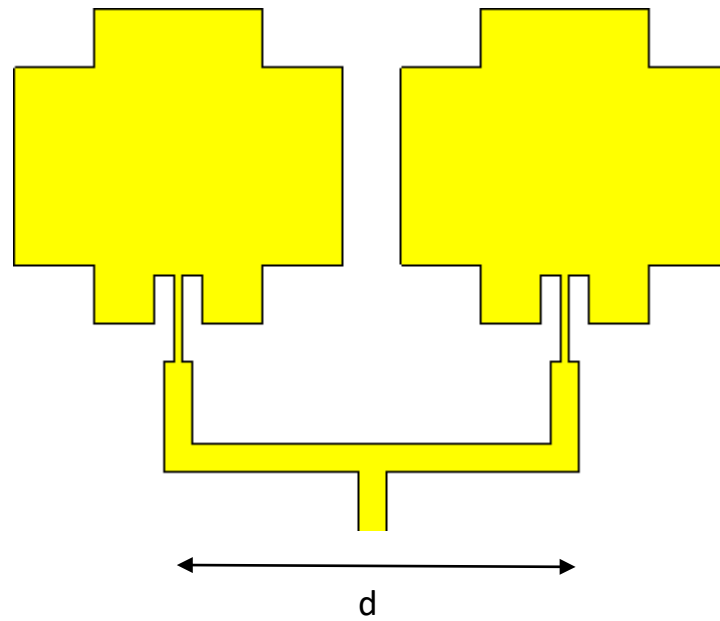


Figure 3. 29: Réseau de deux antennes patch carrées avec fentes

• Le coefficient de réflexion

Le résultat obtenu pour le coefficient de réflexion de la structure du réseaux d'antennes 2*2 dans la bande [2-2.8 GHz] est représenté dans la Figure 3.30 :

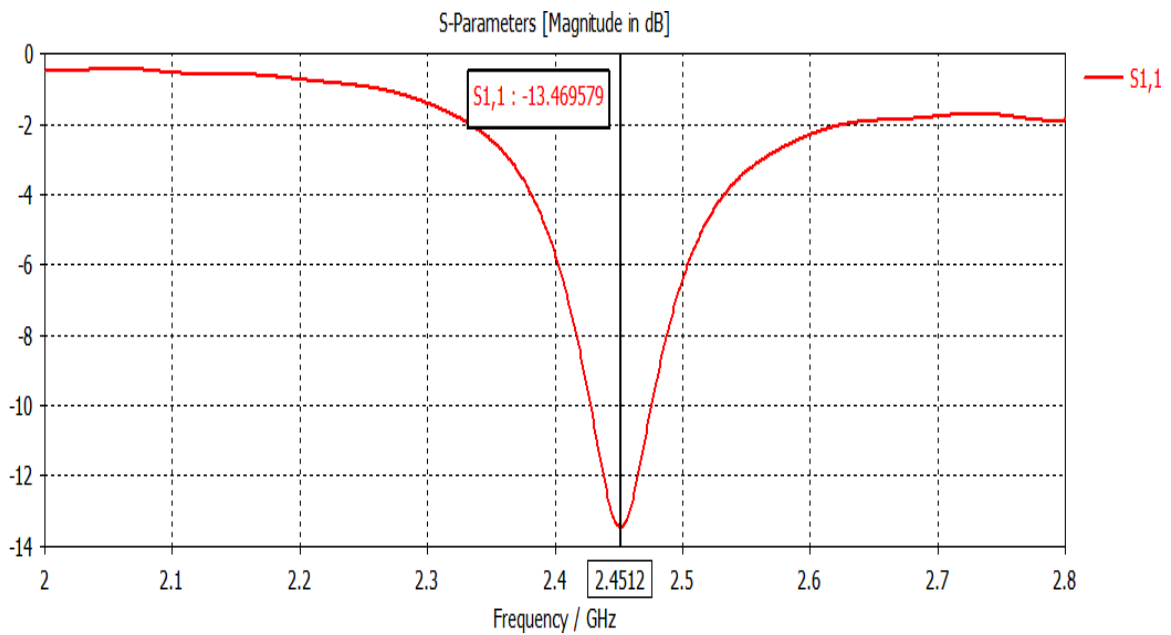


Figure 3. 30: Coefficient de réflexion du réseau linéaire de deux patch

Ces résultats montrent que ce réseau d'antenne représenté une bonne adaptation dans la bande [2GHz _ 2.8GHz], elle est parfaitement adaptée à la fréquence désirée de 2.45 GHz avec un coefficient de réflexion intéressants de -13.46dB

- **Impédance d'entrée**

La géométrie du ce réseau d'antenne et son mode d'alimentation influent sur l'impédance d'entrée du réseau, la **Figure 3. 31** montre une adaptation du réseau obtenue dans la bande

[2GHz _2.8GHz]

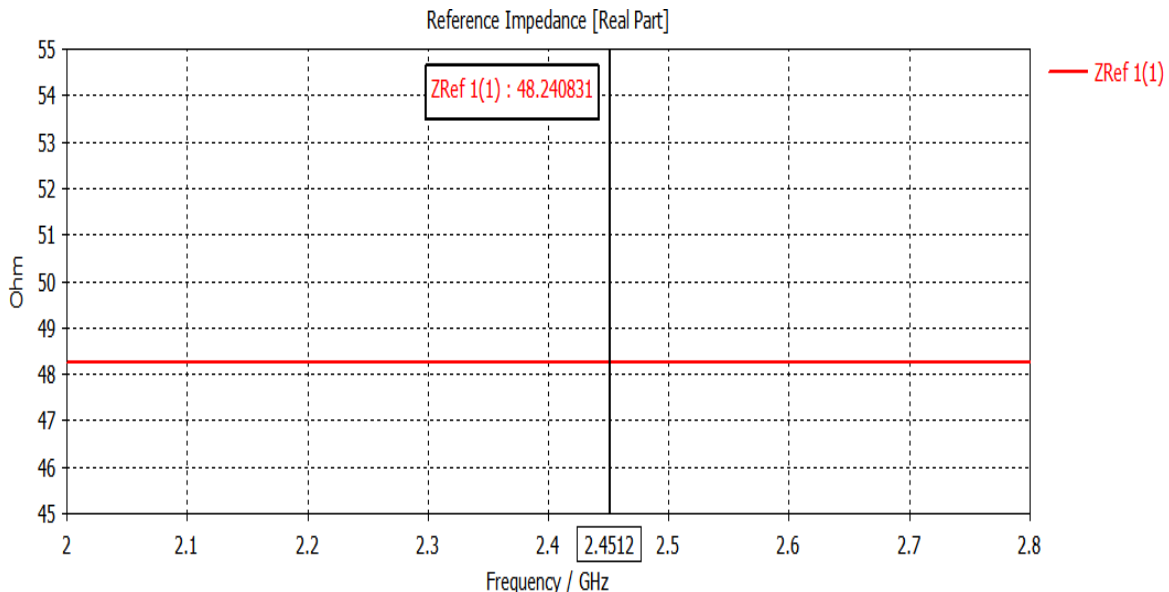


Figure 3. 31:l'impédance d'entrée du réseau linéaire de deux patch

Le résultat de l'impédance d'entrée vaut 48Ω , est proche à celle de l'impédance caractéristique 50Ω , ce qui engendre une bonne fourniture de l'énergie vers la ligne d'alimentation utilisée.on constate qu'il ya une bonne adaptation pour la fréquence 2.45GHz.

- **Rapport d'onde stationnaire (VSWR)**

La figure 3.32 représente le VSWR du quatrième fente dans la gamme de fonctionnement de réseaux d'antennes étudiée. D'après la figure, on constate que le taux d'ondes stationnaires est inférieur à 2 dans toute la gamme de fréquence des réseaux antenne étudiée ce qui indique une bonne adaptation d'impédance entre le réseau et la ligne d'alimentation, $VSWR=1.53$

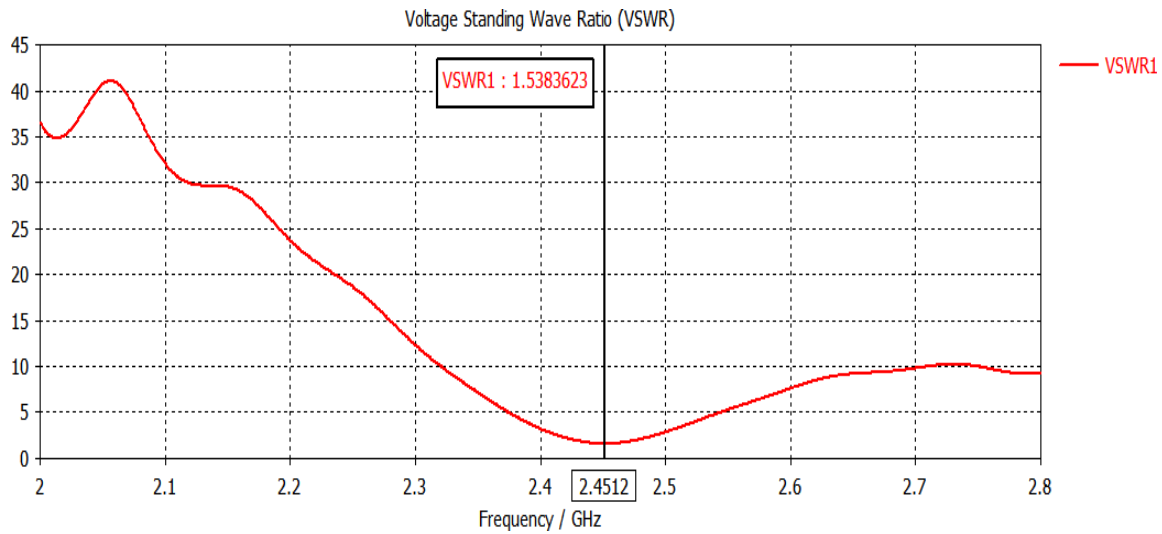


Figure 3. 32: Taux d'onde stationnaire du réseau linéaire de deux patch.

- **Diagramme de rayonnement en gain et directivité**

Le diagramme de rayonnement 3D de réseau linéaire de 2patch reflète la valeur du Gain et la directivité, et sur le plan polaire on peut voir l'angle d'ouverture de cette antenne (Figures 3.33, 3.34 et 3.35):

- La valeur du gain est 3.63dB
- La directivité de cette antenne est 7.51dBi
- L'angle d'ouverture est 89.6deg

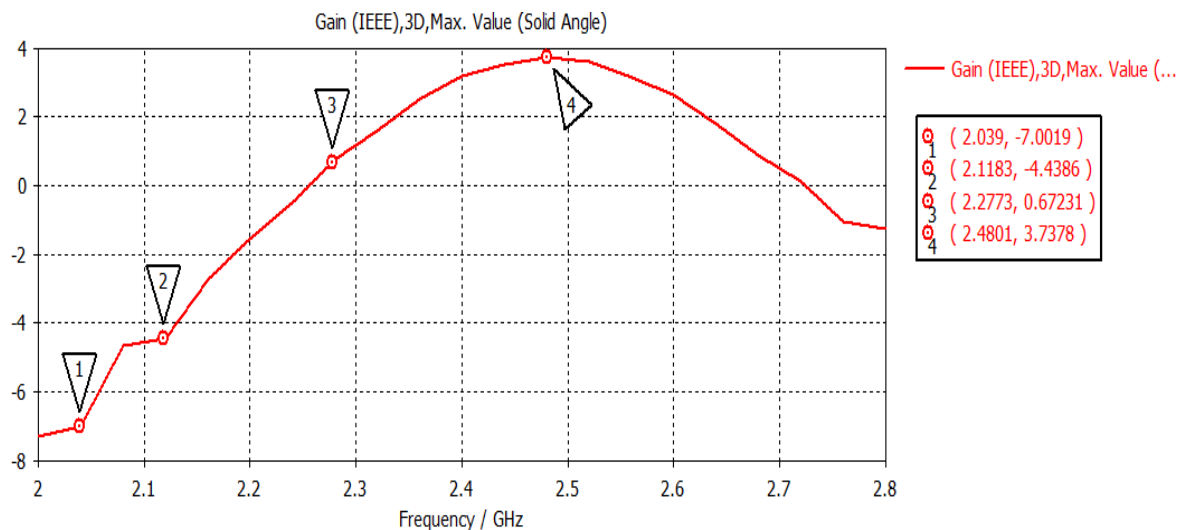


Figure 3. 33: Variation de gain en fonction de la fréquence

le gain de la fréquence pour un réseau d'antennes à deux éléments augmente d'une façon continue jusqu'à (2.84GHZ : 3.73dB)

Les figures suivantes montrent la représentation polaire et 3D du gain et la directivité :

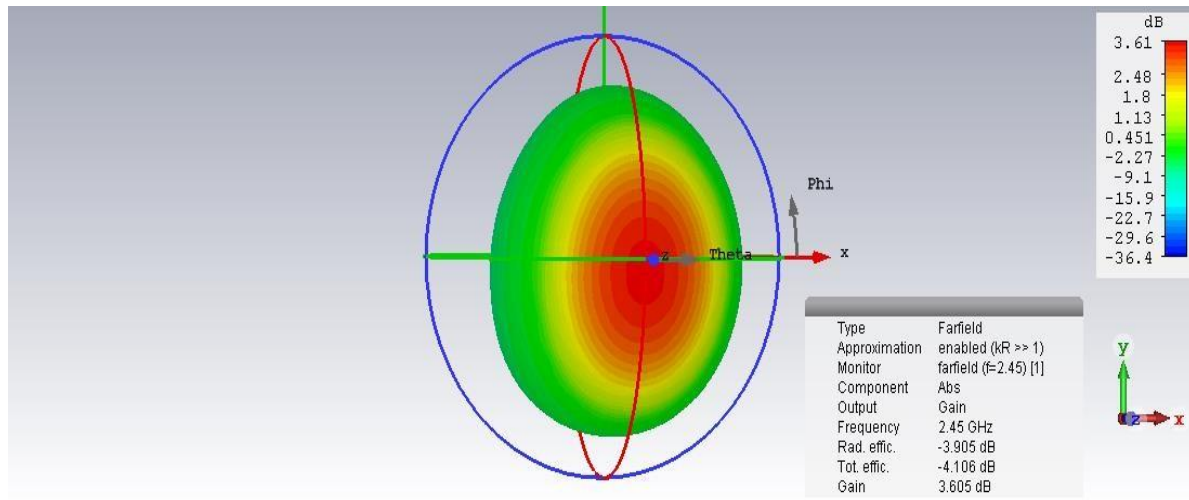


Figure 3. 34: Gain en 3D pour un réseau d'antenne patch 2 éléments carré par une alimentation parallèle

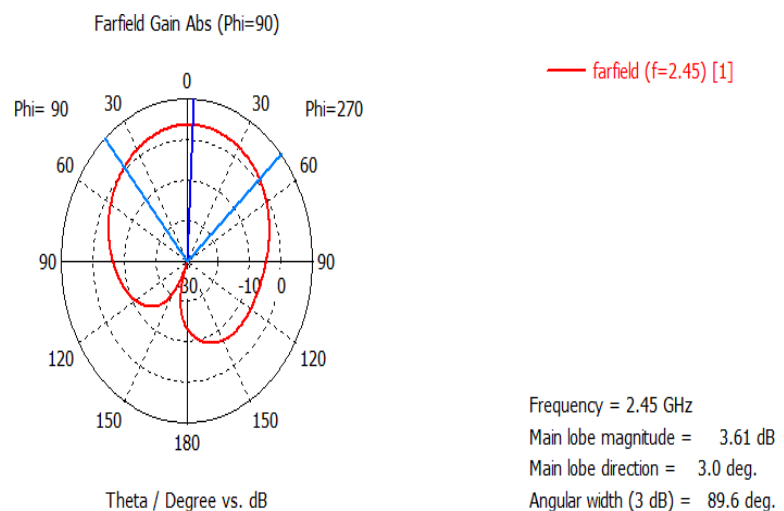


Figure 3. 35: Gain en polaire pour un réseau d'antenne patch 2 éléments carré par une alimentation parallèle

3.6. Simulation d'un réseau de quatre antennes imprimées

nous allons nous intéresser au réseau linéaire de quatre (4x1) antennes patch. En utilisant les mêmes dimensions citées précédemment et un espacement de d entre les quatre patches, un réseau d'antenne à quatre patches carré est conçu. Nous optons par la méthode d'alimentation parallèle par le biais d'un réseau d'alimentation sous forme d'une jonction T (diviseur de puissance) excité par une source 50Ω . le but de cette étude est de voir l'influence du quatrième fente sur le réseau.

La figure 3.36 représente un réseau de quatre antennes patch carrée, séparées par une distance d :

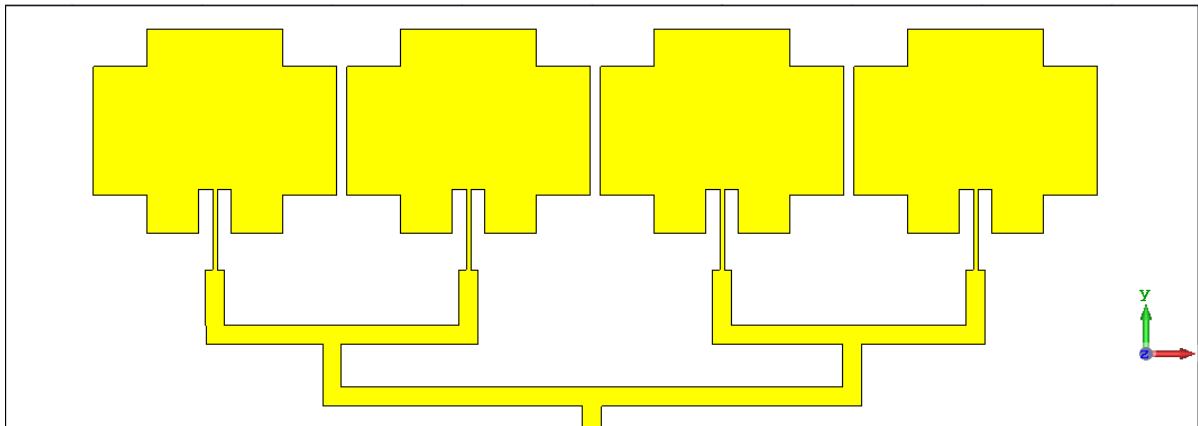


Figure 3. 36: Réseau linéaire de quatre antennes (4x1)

- Le coefficient de réflexion

la Figure 3. 37 représente la courbe de variation de S_{11} (dB) en fonction de la fréquence, nous voyons bien que l'adaptation de l'antenne patch atteint

$S_{11} = -14.17$ dB

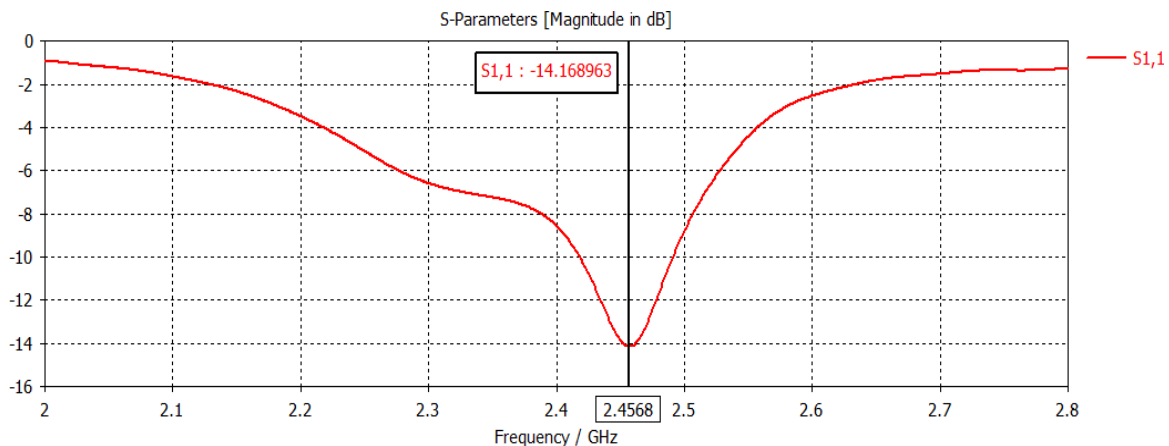


Figure 3. 37: Coefficient de réflexion du réseau linéaire de 4patch

- Rapport d'onde stationnaire (VSWR)

la figure 3.38 représente le VSWR du quatrième fente dans la gamme de fonctionnement de réseaux d'antennes étudiée. D'après la figure, on constate que le taux d'ondes stationnaires est inférieur à 2 dans toute la gamme de fréquence du réseaux antenne étudiée ce qui indique une bonne adaptation d'impédance entre le réseau et la ligne d'alimentation, $VSWR=1.48$

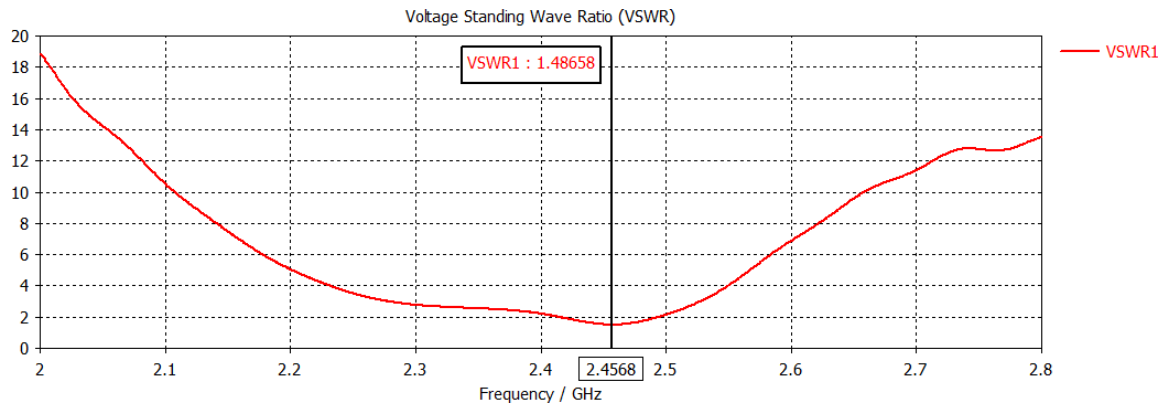


Figure 3. 38: Taux d'onde stationnaire d'un réseau de 4 patches

- **L'impédance d'entrée**

Le résultat de l'impédance d'entrée de l'antenne apparaît sur la Figure 3. 39 est proche à celle de l'impédance caractéristique 50ohm, ce qui engendre une bonne fourniture de l'énergie vers la ligne d'alimentation utilisée. On constate qu'il y a une bonne adaptation pour la fréquence 2.45GHz.

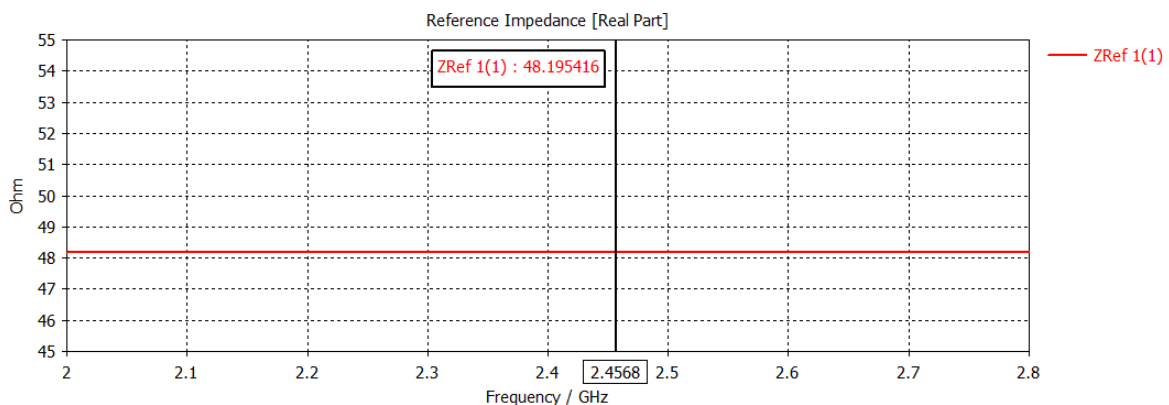


Figure 3. 39:l'impédance d'entrée d'un réseau de 4 patches

- **Diagramme de rayonnement du gain et de la directivité**

Le diagramme de rayonnement 3D de cette antenne reflète la valeur du Gain et la directivité, et sur le plan polaire on peut voir l'angle d'ouverture de ce réseau d'antennes(Figures 3.40,3.41,3.42,3.43) :

- La valeur du gain est 5.53dB
- La directivité de cette antenne est 9.72dBi
- L'angle d'ouverture est 84.5deg

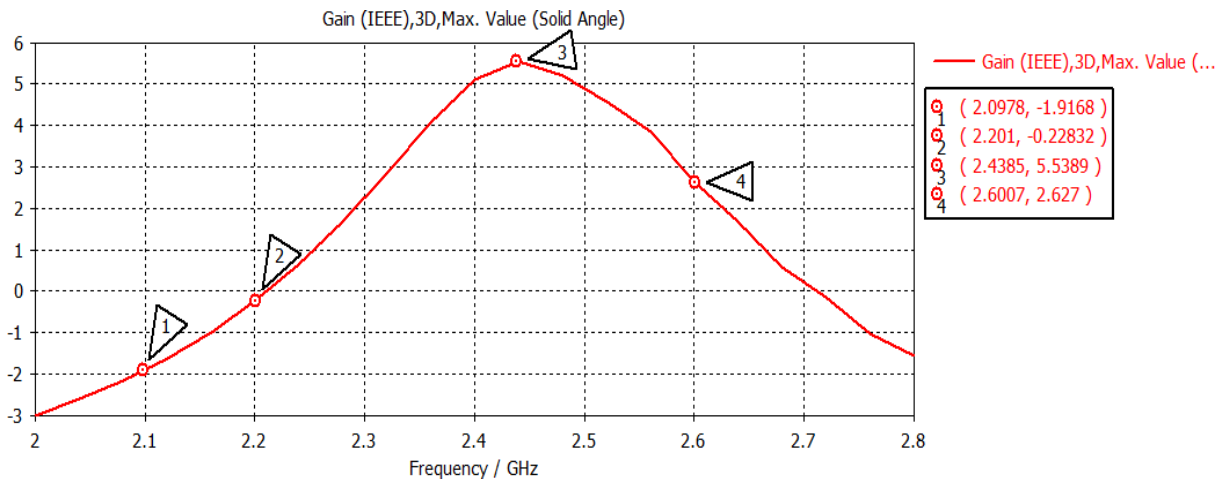


Figure 3. 40 : Variation de gain en fonction de la fréquence

le gain de la fréquence pour un réseaux d'antennes à quatre éléments augmente d'une façon continue jusqu'à un seuil (2.43GHZ : 5.53dB) puis il diminue.

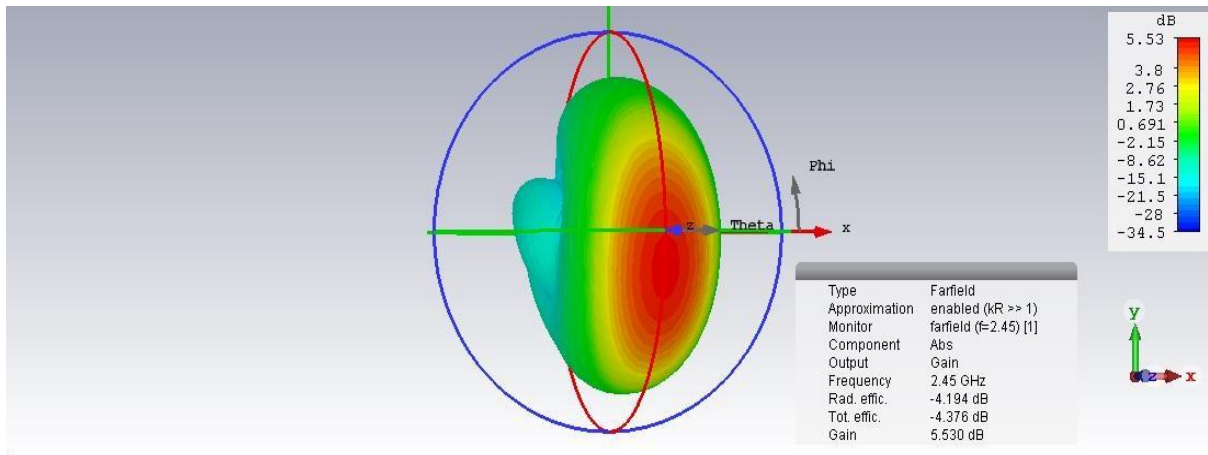


Figure 3. 41 : Gain en 3D d'un réseau de 4 patches

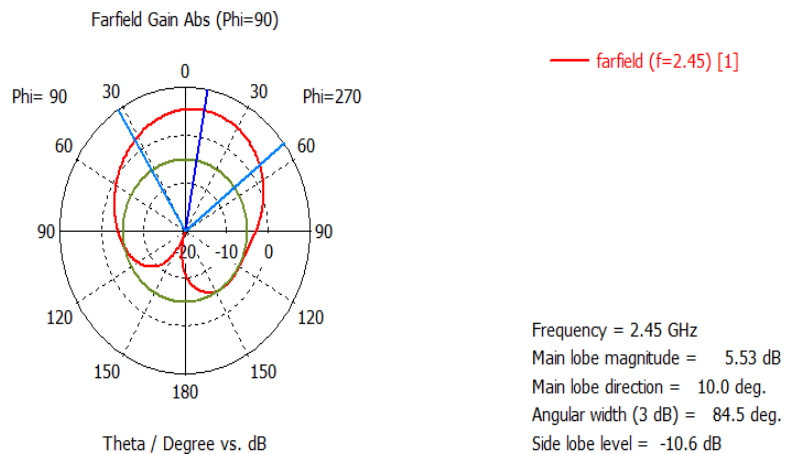


Figure 3. 42 : Gain en polaire d'un réseau de 4 patches

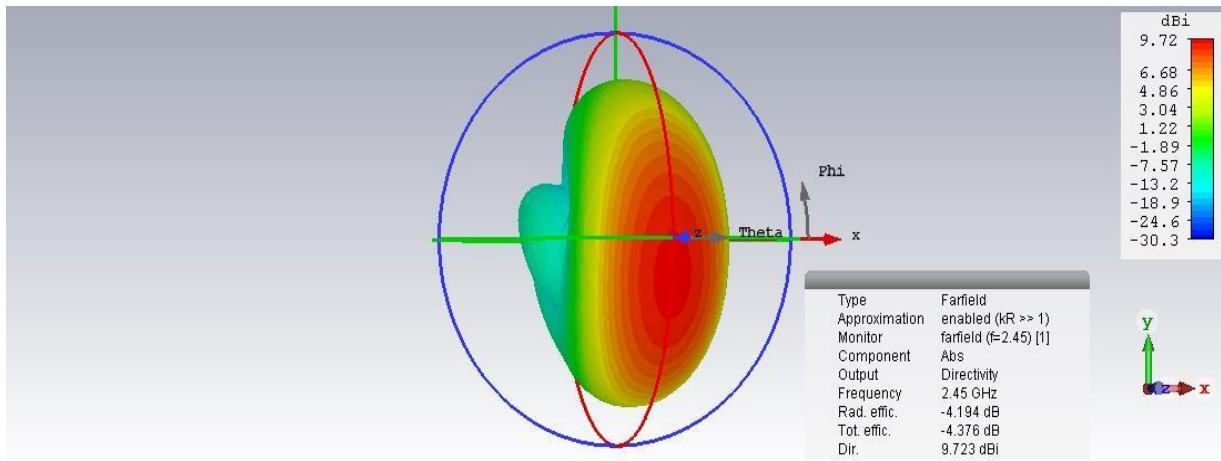


Figure 3. 43: Directivité en 3D d'un réseau de 4 patches

La Comparaison des différentes structures d'antennes (voir Tableau 3.10)

	Le coefficient de réflexion S11 (dB)	VSWR (dB)	Gain (dB)	Directivité (dBi)
Antenne patch	-15.64	1.39	2.3	6.41
Réseau deux patch en parallèle	-13.46	1.33	3.63	7.51
Réseau quatre patch en parallèle	-14.17	1.48	5.53	9.72

Tableau 3. 10 : Les résultats pour les différentes structures d'antennes.

Pour valider les résultats de nos réalisations , nous allons comparer les performances d'une antenne d'un seul élément patch et d'un réseau à deux éléments rayonnants et d'un réseau à quatre éléments rayonnants , et les résultats indiqués dans (tableau 3.10) des fréquences de résonnances le S11 , VSWR , GAIN , DIRECTIVITE des trois structures, et on remarque que :

- le gain pour un réseau deux et quatre à alimentation parallèle est améliorée par rapport à une antenne à un seul éléments

- La directivité pour un réseau deux et quatre à alimentation parallèle est améliorée par rapport à une antenne à un seul élément
- le VSWR pour un réseau deux et quatre à alimentation parallèle est petit par rapport à une antenne à un seul élément
- le coefficient de réflexion performance d'une antenne d'un seul élément patch est meilleur par rapport un réseau deux et quatre à alimentation parallèle

3.7. Conclusion

Dans ce chapitre nous nous sommes intéressés à la simulation électromagnétique et à la conception d'antennes imprimées et des réseaux d'antennes avec une nouvelle structure pour les systèmes RFID SHF.

En effet, après avoir exposé le cahier des charges, deux antennes patch ,imprimées directement sur FR4,avec différentes types d'excitations ont été dimensionnées et simulées. Ainsi une antenne patch avec une nouvelle structure.

Des études paramétriques ont été également effectuées pour la première fente. Nous avons reporté les résultats en termes de coefficient de réflexions et de diagramme de rayonnement et l'impédance d'entrée et le TOS obtenus par simulation sous CST.

A la fin de ce chapitre, nous avons simulé un réseau d'antenne composé de deux et quatre éléments et le gain obtenu était respectivement de 3.61dB et 5.53 dB, ce gain est amélioré en augmentant la taille du réseau de 2 éléments à 4 éléments.

Les résultats obtenus sont satisfaisants et laissent penser à des travaux d'optimisation futurs.

Conclusion Générale

L'organisation de notre travail nous a permis de bien assimiler l'ensemble des connaissances collectées dans le domaine des antennes et la technologie RFID. Nous avons dans un premier temps présenté les antennes en général, en étudiant leurs éléments fondamentaux, leurs caractéristiques. Ainsi que la technologie des antennes imprimées et leurs caractéristiques particulières, puis nous avons présente les éléments et composants constituant un système RFID.

La conception des antennes lecteur RFID porte un très grand intérêt. Dans ce travail, nous avons fait la modélisation et caractérisation d'une antenne patch avec une nouvelle structure. Ensuite nous nous intéressons sur la conception d'un réseau d'antennes patch pour les applications de lecteur RFID à la fréquence de travail qui est de 2.45 GHz.

Les performances de l'antenne et de réseaux sont étudiées en fonction des paramètres géométriques (largeur, longueur et hauteur) en vue d'optimiser le gain, la bande passante, l'impédance d'entrée de l'antenne, etc....

Nous avons reporté les résultats en termes de coefficient de réflexion et de diagramme de rayonnement de cette antenne obtenus par simulation sous CST.

Comme perspectives nous proposons l'étude des réseaux d'antennes micro-rubans en augmentant le nombre des éléments de ces réseaux.

Bibliographie

- [1] A. sfaih. B.yahiaoui, ""Technologie RFID : Étude et application", mémoire de master, Université de Béjaia ,2014/2015."
- [2] P.: M. EL MOUEDEN, "COURS ANTENNES , High-Tech Ecoles d'Enseignement Supérieur, 2009/2010."
- [3] Alexandre BOYER, "Techniques et systèmes de transmission", cours 5ème année RT, Institut national des sciences appliquees de TOULOUSE, 2011.
- [4] T. Sofiane, "Caractérisation d'antennes avec le banc de mesure «Lucas nülle-Unitrain» en bande X.", mémoire de master, Université Mouloud Mammeri, 2016.
- [5] C. A. Balanis, *Antenna theory: analysis and design*. John wiley & sons, 2016.
- [6] A.Kamil, "CONCEPTION D'UNE ANTENNE PATCH ULTRA-LARGE BANDE (3.1 GHz-10.6 GHz), Maîtrise en télécommunications, Université du Québec , 2011," 2011.
- [7] M. BENAZZOUZ, "Comparaison des Performances des Algorithmes de Formation Adaptatifs Non-Aveugles (LMS, RLS) et Aveugles (CMA, LS-CMA, RLS-CMA) dans les Antennes Intelligentes.", mémoire de master, université blida 1, 2011.
- [8] R.Gherici, ""Antennes Intégrées pour la mesure en zone proche de la Puissance Rayonnée par une Source Micro-onde", mémoire de master, Université de Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, 2010/2011."
- [9] A. MEFTAHI and R. OUZZIR, "Conception des nouvelles topologies des antennes multi fonctionnelles,UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID TLEMCEN,2016-2017," *Master, Univ. ABOU BEKR BELKAID TLEMCEN*, pp. 2016–2017, 2017.
- [10] Guillaume vellemaude, ""Caracteristiques_Generales_des_Antennes "Cours d'antennes INRIA , 7 mars 2011." .
- [11] M. . mekouch. A. Bakouche, "L'effet des caractéristiques de l'antenne patch d d d sur sa directivité, mémoire de master, Université de Béjaia , 2013/2014," 2014.
- [12] A. C. LEPAGE, "Caractéristiques des antennes," ParisTech, 1999.
- [13] N. Prayongpun, "Modélisation et étude de la capacité du canal pour un système multi-antennes avancé exploitant la diversité de polarisation.", thèse de doctorat, Université Joseph-Fourier-Grenoble I, 2009.
- [14] O. et coll. Picon, *Les Antennes: Théorie, Conception et Applications*. 2009.
- [15] J. Muller, "Les antennes Fondamentaux.", Sitelec 2010.
- [16] S. MANSOUR, M. ALAOU, and T. EL BAHRI, "Rapport"Antennes Patch", mémoire de licence, Ecole Nationale des Sciences Appliquee De Khouribga, MAROC ,2014/2015."
- [17] A. Djamel, "Etude et Optimisation d'Antennes Fractales Plaquées," *Mémoire Magister, Univercité Abou Bekr Belkaid Tlemcen, Alger.*, 2009.
- [18] T. Mohamed and H. Eddine, "Conception et Simulation d ' une antenne micro-ruban circulaire, mémoire de master, Université Mohamed Khider Biskra ,juin 2014," 2014.
- [19] MOUNIB Hicham, HAMAIZIA Zahra, " Conception et simulation d'une antenne micro ruban," mémoire de master, *Univ. Mohamed Khider Biskra*, 2012.
- [20] L. Chouti, "Contribution à l'étude d'antennes imprimées rectangulaires double bande et multi-bandes tenant compte de l'effet de couplage," *Mémoire de master, université 8 Mai 1945 Guelma*,

2009.

- [21] Y. Tighilt, "Identification des antennes microrubans multicouches par la méthode spectrale et les réseaux de neurones.", mémoire de master, Université Ferhat Abbas Sétif, 2018.
- [22] D. Linda, "Contribution à l'étude des structures microbandes rayonnantes par la méthode des moments application à la forme triangulaire.", Thèse de doctorat, Université de Constantine, 2017.
- [23] H. SEKIMI and N. BERRACHICHE, "Conception et Réalisation d'un Nouveau Design d'Antenne Imprimée pour le Système Radio Altimètre.", mémoire de master, université blida, 2018.
- [24] F. Daout, S. Jacquet, and X. Durocher, "Conception, Simulation, Réalisation et mesure d'une antenne imprimée rectangulaire 2.4 GHz.", *J3eA*, vol. 8, p. 0001, 2009.
- [25] L. Abadlia Baghdad and N. Benouda, "identification par radiofréquence (RFID)", mémoire de master, université de Mostaghanem, 2018.
- [26] B. Naguib and B. Mohamed, "Réseaux et Télécommunication pour les applications RFID", mémoire de master, centre universitaire Belhadj Bouchaib, Ain temouchent, 2019.
- [27] M. A. Louiza, "Conception d'un Tag RFID à polarisation circulaire sous CST", mémoire de master, Université A. MIRA-BEJAIA" 2019.
- [28] Y. A. SANOGO, "RÉALISATION À L'AIDE D'UNE PLATEFORME NI PXI-E D'UN LECTEUR RFID RECONFIGURABLE POUR DES APPLICATIONS EN MILIEUX HOSTILES", thèse de doctorat, L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES" 2016.
- [29] C. Lalouche and S. Boutoumi, "Conception d'une antenne RFID large bande à haut gain.", mémoire de master, Université Abderrahmane Mira-Bejaia, 2019.
- [30] S. Mejjaoui and R. F. Babiceanu, "RFID-wireless sensor networks integration: Decision models and optimization of logistics systems operations," *J. Manuf. Syst.*, vol. 35, pp. 234–245, 2015.
- [31] N. Raimbault, "Antenne hélice compacte directive à polarisation circulaire pour dispositif RFID.", mémoire de master, Université Abderrahmane Mira-Bejaia, 2015.
- [32] B. Youssef, B. Bassim Sendague, and O. R. Joao Gabriel, "Projet rfid", Telecom SudParis, 2011.
- [33] F. Z. Gourari, "Conception d'antennes en technologie micro-ruban pour des applications RFID passifs", mémoire de master, Université de Tlemcen, 2014." 2014.
- [34] groupe RNI Carsat-Cramif/INRS and Ch. Bisseriex, Carsat Auvergne P. Laurent, Carsat Centre-Ouest A. Deleau, "LA RFID (Radio Frequency Identification)," *ARTICLE*, Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles, pp. 4/4, Septembre 2018.
- [35] F. Z. Marouf, "Etude-et-conception d'antennes imprimées par identification radio fréquence RFID UHF.", thèse de doctorat, Université de Tlemcen, 2013.
- [36] F. Y. GACEM and Z. SI ABDELHADI, "Conception d'un système de gestion des patients d'un cabinet médical par la technologie RFID.", mémoire de master, Université de tlemcen, 2018.
- [37] A. Ghiotto, "Conception d'antennes de tags RFID UHF, application à la réalisation par jet de matière.", thèse de doctort, unievrsité de Grenoble 2008.

ANNEXE

Calculs des dimensions théoriques

Annexe : Calculs des dimensions théoriques d'une antenne patch

Antenne patch est constituée d'un élément rayonnant de forme carrée de longueur **L** et largeur **W**, imprimé sur un substrat d'une épaisseur **h** et de permittivité ϵ_r .

Le tableau suivant représente les équations utilisées pour le calcul de notre antenne carrée à une fréquence de 2.45GHz.

Paramètre d'antenne	Equations	
Longueur du patch (L)	$L = \frac{c}{2f\sqrt{\frac{(\epsilon_r + 1)}{2}}}$	A1.1
Longueur effective (Leff)	$Leff = \frac{c}{2f\sqrt{\epsilon_{reff}}}$	A1.2
L'extension de la longueur (ΔL)	$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3)\left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{reff} - 258)\left(\frac{W}{h} - 0.8\right)}$	A1.3
Constante diélectrique (ϵ_{reff})	$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{W}\right)^{-1/2}$	A1.4
Largeur du patch (W)	$W = \frac{c}{2f\sqrt{\frac{(\epsilon_r + 1)}{2}}}$	A1.5
Longueur du substrat (Lg)	$Lg = L * 2$	A1.6
Largeur du substrat (Wg)	$Wg = W * 2$	A1.7
L'impédance caractéristique de la ligne microruban	$ZC = \frac{119.9}{\sqrt{2(\epsilon_r + 1)}} \left[\ln\left(4 \frac{h}{Wf} + \sqrt{16\left(\left(\frac{h}{Wf}\right)^2 + 2\right) - \frac{1}{2}\left(\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1}\right)\left(\ln\frac{\pi}{2} + \frac{1}{\epsilon_r} \ln\frac{4}{h}\right)}\right) \right]$	A1.8

Tableau A.1 : paramètres de l'antenne patch carre

- C : la vitesse de la lumière $c=3*10^8$ m/s
- Fr : fréquence de résonance
- ϵ_r : permittivité du substrat
- h : l'épaisseur du substrat