

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البليدة

Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا

Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك

Département d'Électronique



## Mémoire de Master

Filière : Télécommunications

Spécialité : Systèmes des Télécommunications

présenté par

ZERFA Sid Ahmed

&

BOUMAAZA Kawter

---

# Conception, simulation et réalisation d'antennes pour lecteur

## RFID UHF

---

Proposé par : Dr HEBIB Sami

Année Universitaire 2017-2018

# Remerciements

---

En préambule, nous remercions ALLAH qui nous a aidé et donné la patience et le courage tout le long de nos années d'étude.

Nous tenons à remercier sincèrement notre promoteur Monsieur HEBIB SAMI, Maître de Conférences à l'université de Blida 1, pour son écoute et sa disponibilité tout au long de la réalisation de ce travail de projet de fin d'études. Il est également remercié pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il a bien voulu nous consacrer et que sans lui ce mémoire n'aurait jamais pu voir le jour.

Nos remerciements s'adressent également aux honorables membres du jury ayant accepté d'examiner notre modeste travail et de siéger à sa soutenance.

Notre grande estime va à tous les enseignants de notre département pour l'effort monumental qu'ils ont consenti afin de faire de nous ce que nous sommes maintenant.

On n'oublie pas nos chers parents pour leur contribution, leur soutien et surtout leur patience.

Enfin, nos remerciements les plus vifs vont aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire, ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

# Dédicaces

J'ai l'immense plaisir de dédier ce travail :

Ceux qui j'adore le plus au monde, mes chers et affectueux parents Assia et Hamid qui m'ont toujours encouragé et poussé vers la réussite, merci d'avoir supporté mes sauts d'humeurs merci d'avoir fait de moi ce que je suis et de m'avoir éclairé le chemin ...

A mes chers frères et sœurs, pour l'amour, l'attention, l'aide et le soutien qu'ils m'ont apportés.

A mes chers neveux Firas, Ishak, Hichem et ma princesse Maria.

A mes chers grands parents.

A mes chers amis Ahmed, Zino, Abdellah, Celia et Houda.

A mon cousin Bilal que je considère comme frère.

A mon binôme Kawter.

A toute ma promotion de Master ST, avec qui j'ai vécu de bons moments, et qui resteront gravés dans ma mémoire et particulièrement : Redha, Bilal et Maissa.

Mr. ZERFA

# Dédicaces

J'ai l'honneur de dédier ce travail :

A mon père et ma mère, pour leurs amours, patiences et leurs sacrifices pour me parvenir à ce niveau, que dieu les protège.

A ma sœur Mounia, son mari Mounir et leur petit prince Wail.

A mon frère Amine, sa femme Imen et leur petite princesse Sofia.

A mon frère Walid.

A mon mari Amine Abdelfatah.

A toute ma famille.

A ma chère copine khaoula.

A mon binôme Sid Ahmed.

A tous mes enseignants.

A tous les amis de ma promo système des télécommunications : Amina, Meriem, Nora, Kheira, Halima, Maissa, Nassiba et Nadjet.

Mlle BOUMAAZA

## Listes des acronymes et abréviations

AM : Amplitude Modulation.

BF : basse fréquence.

DCS : Digital Cellular System.

DIC : Détection, Information et Communication.

EHF : Extrêmement haute fréquence.

ETSI : Institut Européen des Normes de Télécommunications.

FCC : Federal Communications Commission.

FM : frequency modulation

FR4 : Flame Resistant Four.

F/B : front To Back Ratio.

GPS : Global Positioning System.

GSM : Global System for Mobile Communications.

HF : High Frequency.

IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers.

IE3D : Integral Equation Three-Dimensional.

IFF : Identity Friend or Foe.

ISM : Industriel, Scientifique et Médical.

ISO : International Organization for Standardization.

LF : Low Frequency.

MF : Medium Frequency.

NI-USRP : National Instrument Universel Software Radio Peripheral.

OC : Ondes Courtes.

OEM : Onde Electromagnétique.

RADAR : Radio Detection and Ranging.

RF : Radio Frequency.

RFID : Radio Frequency Identification.

RTL : Real Time Localization.

Rx : Reception.

SHF : Super High Frequency.

SMA : Sub Miniature Version A.

TOS : Taux D'ondes Stationnaires.

Tx : Transmission.

UHF : Ultra High Frequency.

UMTS : Universal Mobile Telecommunications System.

VNA : Vector Network Analyzer.

WIFI : Wireless Fidelity.

WIMAX : Worldwide Interoperability for Microwave Access.

---

## ملخص:

يتمثل هذا العمل في تصميم، محاكاة وإنجاز هوائيات لقارئ (RFID UHF). بالإضافة إلى تغطية النطاق (RFID UHF) بأكمله (860-960 ميغاهيرتز)، يجب أن تشع هذه الهوائيات بشكل أحادي مع كسب كافٍ (أكبر من 6 ديسيبل). هوائيان مطبوعان (الحجم الكلي 20\*20 سم<sup>2</sup>). الأول يحتوي على فتحة على شكل حرف "U" بينما يقترن الثاني باستخدام مسبار مقلوب على شكل حرف L. وقد سمح إنجاز وقياس هذين الهوائيين بالتحقق من حسن سير عملها. أظهرت اختبارات tags passifs باستخدام هذين الهوائيين مدى قراءة أكبر من 2 م.

**كلمات المفاتيح:** هوائيات مطبوعة ; RFID UHF ; قارئ RFID UHF ; tags passifs

---

**Résumé :** Ce travail porte sur la conception, la simulation et la réalisation d'antennes pour lecteur RFID UHF. En plus de couvrir la totalité de la bande RFID UHF (860-960 MHz), ces antennes doivent rayonner de façon unidirectionnelle avec un gain suffisant (supérieur à 6dBi). Deux antennes de type patch rectangulaire (taille globale 20\*20 cm<sup>2</sup>) ont été proposées. La première contient une fente de forme « U » tandis que la seconde est alimentée par couplage en utilisant une sonde de forme L inversé. La réalisation et la mesure de ces deux antennes ont permis la validation de leur bon fonctionnement. Des tests en détection de tags passifs en utilisant ces deux antennes ont affiché une portée de lecture supérieure à 2 m.

**Mots clés :** Antenne patch ; RFID UHF ; lecteur RFID UHF ; tags passifs.

---

**Abstract :** This work deals with the design, the simulation and the fabrication of printed antennas intended for RFID UHF readers. Besides of covering the whole RFID UHF band (860-960 MHz), these antennas should radiate in a unidirectional manner with a sufficient gain (higher than 6dBi). Thus, two rectangular patch antennas (overall size 20\*20 cm<sup>2</sup>) were proposed. The first contains a U-slot while an inverted L probe feeds the second. The fabrication and the measurement of these two antennas validate their good performance. Tag detection tests using these two antennas displayed a read range higher than 2m

**Keywords :** patch Antenna ; RFID UHF ; Reader RFID UHF; passive tags

---

# Table des matières

|   |    |
|---|----|
| Introduction générale .....   | 1  |
| Chapitre 1 Généralités sur les antennes .....                                 | 3  |
| 1.1 Introduction .....  | 3  |
| 1.2 Antennes : définition, historique et applications .....                   | 3  |
| 1.2.1 Définition d'une Antenne .....  | 3  |
| 1.2.2 Bref historique .....   | 4  |
| 1.2.3 Applications des antennes.....  | 5  |
| 1.3 Caractéristiques principales d'une antenne .....                          | 6  |
| 1.3.1 Paramètres radioélectriques .....                                       | 6  |
| a Impédance d'entrée .....  | 6  |
| b Coefficient de réflexion $\Gamma$ (ou $S_{11}$ ) .....                      | 7  |
| c Bande passante .....  | 8  |
| 1.3.2 Paramètres de rayonnement .....   | 9  |
| a Diagramme de rayonnement .....  | 9  |
| b Directivité .....   | 10 |
| c Efficacité de rayonnement .....   | 10 |
| d Gain .....  | 11 |
| 1.4 Antennes Imprimées.....   | 11 |
| 1.4.1 Alimentation des antennes imprimées .....                               | 13 |
| a Alimentation par contact .....  | 13 |
| b Alimentation par proximité.....   | 14 |
| 1.4.2 Avantages et inconvénients .....  | 16 |
| 1.4.3 Techniques d'élargissement de la bande passante d'une antenne patch ... | 17 |
| a Introduction de fentes .....  | 17 |

|   |  |    |
|---|--|----|
| b   | Alimentation par couplage.....   | 19 |
| c   | Technique multi-résonateurs.....   | 19 |
| 1.4.4   | Synthèse des techniques d'élargissement de bande passante.....           | 21 |
| 1.5   | Conclusion.....  | 22 |
| Chapitre 2 Notions sur la technologie RFID..... |  | 23 |
| 2.1   | Introduction .....   | 23 |
| 2.2   | Technologie RFID : Définition, domaines d'application et historique..... | 23 |
| 2.2.1   | Définition .....   | 23 |
| 2.2.2   | Domaine d'application .....  | 24 |
| 2.2.3   | Bref Historique sur la technologie RFID .....                            | 24 |
| 2.3   | Principe de fonctionnement d'un système RFID .....                       | 26 |
| 2.4   | Éléments constituant d'un système RFID .....                             | 27 |
| 2.4.1   | Lecteur.....   | 27 |
| 2.4.2   | Système de traitement des données.....                                   | 28 |
| 2.4.3   | Tag .....  | 28 |
| 2.5   | Différents types de tags .....   | 29 |
| 2.5.1   | Tag sans puce.....   | 29 |
| 2.5.2   | Tags avec puces .....  | 29 |
| a   | Tag actif.....   | 29 |
| b   | Tag passif (sans batterie) .....   | 30 |
| c   | Tag semi-passif.....   | 31 |
| 2.5.3   | Comparaison entre différents types de tags avec puce.....                | 31 |
| 2.6   | Fréquences des systèmes RFID .....                                       | 32 |
| 2.7   | Avantages et inconvénients d'un système RFID.....                        | 34 |
| 2.8   | Etat de l'art sur les antennes lecteurs RFID UHF commercialisées .....   | 34 |
| 2.9   | Conclusion.....  | 36 |

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Chapitre 3 | Conception et simulation d'antennes pour lecteur RFID-UHF .....                                    | 37 |
| 3.1        | Introduction .....   | 37 |
| 3.2        | Spécifications techniques (cahier des charges) .....   | 37 |
| 3.3        | Antenne patch rectangulaire classique pour RFID UHF.....   | 38 |
| 3.3.1      | Antenne patch alimentée par une ligne microruban .....   | 39 |
| 3.3.2      | Antenne patch alimentée par une ligne microruban en utilisant le transformateur quart d'onde ..... | 41 |
| 3.3.3      | Antenne patch alimentée par une sonde coaxial.....   | 44 |
| 3.4        | Antenne patch rectangulaire avec une fente de forme U.....   | 47 |
| 3.5        | Antenne patch alimentée par couplage en utilisant une sonde de forme L inversé.....                | 52 |
| 3.6        | Etudes paramétriques.....  | 56 |
| 3.6.1      | Antenne patch avec U-slot .....  | 56 |
| a          | Paramètre <b><i>Lp</i></b> .....   | 56 |
| b          | Paramètre <b><i>Wp</i></b> .....   | 57 |
| c          | Paramètre <b><i>Ls</i></b> .....   | 58 |
| d          | Paramètre <b><i>Ws</i></b> .....   | 59 |
| 3.6.2      | Antenne patch alimentée avec une sonde de forme L inversé.....                                     | 59 |
| a          | Paramètre <b><i>Lp</i></b> .....   | 60 |
| b          | Paramètre <b><i>Wp</i></b> .....   | 60 |
| c          | Paramètre <b><i>Hf</i></b> .....   | 61 |
| d          | Paramètre <b><i>Wo</i></b> .....   | 62 |
| 3.7        | Conclusion.....  | 63 |
| Chapitre 4 | Réalisation et mesure d'antennes pour lecteur RFID-UHF.....  | 64 |
| 4.1        | Introduction .....   | 64 |
| 4.2        | Réalisation des antennes .....   | 64 |

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 4.3 | Mesure des coefficients de réflexion .....                                       | 68 |
| 4.4 | Mesure en détection de tags .....  | 71 |
| 4.5 | Conclusion.....  | 74 |
|     | Conclusion générale.....   | 75 |
|     | Annexe 1 .....   | 76 |
|     | Calcul des dimensions théoriques d'une antenne patch rectangulaire [3].....      | 76 |
|     | Annexe 2 .....   | 79 |
|     | Présentation de l'outil IE3D de <i>Zeland</i> [30] .....                         | 79 |
|     | Annexe 3 .....   | 81 |
|     | Programme Matlab pour le calcul des dimensions d'une antenne patch rectangulaire | 81 |
|     | Bibliographie .....  | 82 |

## Liste des figures

|   |    |
|---|----|
| Figure 1.1. Système de communication sans fil comportant une antenne émettrice et une antenne réceptrice [3]..... | 4  |
| Figure 1.2. Historique des radiocommunications [2].....   | 5  |
| Figure 1.3. Quelques applications d'antenne selon la bande de fréquence [2].....                                  | 6  |
| Figure 1.4. Circuit équivalent d'une antenne [7].....   | 7  |
| Figure 1.5. Exemple d'une bande passante.....   | 8  |
| Figure 1.6. Différentes représentations du diagramme de rayonnement [3].....                                      | 9  |
| Figure 1.7. Diagramme de rayonnement montrant les différents lobes de rayonnement [3].....                        | 9  |
| Figure 1.8. Géométrie d'une antenne patch de forme arbitraire [9].....  | 12 |
| Figure 1.9. Différentes formes de l'élément rayonnant d'une antenne imprimée.....                                 | 12 |
| Figure 1.10. Alimentation par ligne imprimée (technologie microruban) [11].....                                   | 13 |
| Figure 1.11. Alimentation par sonde coaxiale [11].....  | 14 |
| Figure 1.12. Alimentation par guide d'ondes coplanaire (CPW) [11].....  | 15 |
| Figure 1.13. Alimentation par ligne micro ruban et fente [11].....  | 15 |
| Figure 1.14. Alimentation par couplage électromagnétique [11].....  | 16 |
| Figure 1.15. Antenne patch circulaire avec fente en forme de diamant [12].....                                    | 17 |
| Figure 1.16. Antenne patch rectangulaire avec fente en forme T [13].....  | 18 |
| Figure 1.17. Antenne patch rectangulaire avec une fente en forme U [14].....                                      | 18 |
| Figure 1.18. Antenne patch rectangulaire alimentée par L inversé [15].....  | 19 |
| Figure 1.19. Multi résonateurs planaires [16].....  | 20 |
| Figure 1.20. Technique multicouche [16].....  | 20 |
| Figure 2.1. Fonctionnement d'un système RFID [22].....  | 26 |
| Figure 2.2. Exemple d'un lecteur RFID [23].....   | 27 |
| Figure 2.3. Tag RFID [24].....  | 28 |
| Figure 2.4. Exemple tag sans puce [23].....   | 29 |
| Figure 2.5. Exemple d'un tag actif RFID [25].....   | 30 |
| Figure 2.6. Exemple d'un tag RFID passif [23].....  | 31 |
| Figure 2.7. RFID UHF avec tag semi-passif [23].....   | 31 |
| Figure 3.1. Géométrie de l'antenne patch alimentée par une ligne microrubansous IE3D. ....                        | 39 |
| Figure 3.2. Coefficient de réflexion de l'antenne patch alimentée par une ligne microruban. ....                  | 40 |
| Figure 3.3. Coefficient de réflexion de l'antenne patch optimisée. ....   | 40 |
| Figure 3.4. Diagramme de rayonnement 3D de l'antenne patch alimentée par une ligne microruban.....                | 41 |
| Figure 3.5. Géométrie de l'antenne patch avec transformateur quart d'onde sous IE3D. ....                         | 43 |
| Figure 3.6. Coefficient de réflexion de l'antenne patch avec transformateur quart d'onde. ....                    | 43 |
| Figure 3.7. Diagramme de rayonnement 3D de l'antenne patch avec transformateur quart d'onde. ..                   | 44 |

|   |    |
|---|----|
| Figure 3.8. Géométrie de l'antenne patch alimentée par une sonde coaxial sous IE3D.....   | 45 |
| Figure 3.9. Coefficient de réflexion de l'antenne patch alimentée par une sonde coaxial.....                                      | 46 |
| Figure 3.10. Diagramme de rayonnement en 3D de l'antenne patch alimenté par sonde coaxial. ....                                   | 47 |
| Figure 3.11. Modèle de simulation IE3D de l'antenne patch avec U-slot.....  | 48 |
| Figure 3.12. Coefficient de réflexion à l'entrée de l'antenne patch avec fente de forme U. ....                                   | 49 |
| Figure 3.13. Diagrammes de rayonnement en 2D de l'antenne patch avec U-Slot. ....   | 50 |
| Figure 3.14. Diagrammes de rayonnement en 3D de l'antenne patch avec U-Slot à la fréquence 910 MHz.<br>.....                      | 51 |
| Figure 3.15. Variation du gain en fonction de la fréquence de l'antenne patch avec U-Slot.....                                    | 51 |
| Figure 3.16. Modèle de simulation IE3D de l'antenne patch alimentée par un L inversé. ....  | 52 |
| Figure 3.17. Coefficient de réflexion à l'entrée de l'antenne patch avec un L. ....   | 53 |
| Figure 3.18. Diagrammes de rayonnement en 2D de l'antenne patch alimentée par un L inversé. ....                                  | 55 |
| Figure 3.19. Diagrammes de rayonnement en 3D de l'antenne patch alimentée par un L inversé à la<br>fréquence 910 Mhz.....         | 55 |
| Figure 3.20. Variation du gain en fonction de la fréquence de l'antenne patch alimentée par un L<br>inversé. ....                 | 56 |
| Figure 3.21. Coefficient de réflexion pour différentes valeur de $L_p$ .....  | 57 |
| Figure 3.22. Coefficient de réflexion pour différentes valeur de $W_p$ .....  | 58 |
| Figure 3.23. Coefficient de réflexion pour différentes valeur de $L_s$ . ....   | 58 |
| Figure 3.24. Coefficient de réflexion pour différentes valeur de $W_s$ . ....   | 59 |
| Figure 3.25. Coefficient de réflexion pour différentes valeur de $L_p$ .....  | 60 |
| Figure 3.26. Coefficient de réflexion pour différentes valeur de $W_p$ .....  | 61 |
| Figure 3.27. Coefficient de réflexion pour différentes valeur de $L_f$ . ....   | 61 |
| Figure 3.28. Coefficient de réflexion pour différentes valeur de $H_f$ .....  | 62 |
| Figure 3.29. Coefficient de réflexion pour différentes valeur de $W_o$ .....  | 63 |
| Figure 4. 1. Typon de l'antenne patch avec U-Slot à réaliser.....   | 65 |
| Figure 4.2. Typon de l'antenne patch alimentée par un L inversé à réaliser.....   | 65 |
| Figure 4.3. Photographie de l'antenne patch avec U-Slot réalisée. ....  | 66 |
| Figure 4.4. Photographie de l'antenne patch alimenté par un L inversé réalisée. ....  | 67 |
| Figure 4.5. Antenne patch avec U-Slot sous test. ....   | 68 |
| Figure 4.6. Coefficient de réflexion mesuré de l'antenne patch avec U-Slot. ....  | 68 |
| Figure 4.7. Coefficient de réflexion mesuré de l'antenne patch alimentée par un L inversé. ....                                   | 69 |
| Figure 4.8. Comparaison entre le coefficient de réflexion simulé et mesuré de l'antenne patch avec U-<br>Slot.....                | 69 |
| Figure 4.9. Comparaison entre le coefficient de réflexion simulé et mesuré de l'antenne patch<br>alimentée par un L inversé. .... | 70 |
| Figure 4.10. Configuration de test. ....  | 72 |
| Figure 4.11. Exemple des signaux observés lors de la détection d'un tag. ....   | 72 |

|  |    |
|--|----|
| Figure 4.12. La variation de taux de détection en fonction de la distance $dt$ ..... | 74 |
| Figure A1.1 Géométrie d'une antenne patch rectangulaire [10]. .....                  | 76 |
| Figure A2.1. Interface de démarrage de l'outil IE3D.....                             | 79 |
| Figure A2.2. Interface de travail ( <i>MGrid</i> ). .....                            | 80 |
| Figure A2.3. Interface d'affichage des résultats ( <i>Modua</i> ). .....             | 80 |

## Liste des Tableaux

|  |    |
|--|----|
| Tableau 1.1. Avantages et inconvénients des antennes imprimées. ....                           | 16 |
| Tableau 1.2. Synthèse des techniques d'élargissement de bande passante. ....                   | 22 |
| Tableau 2.1. Bref Historique de la RFID [20]. ....   | 26 |
| Tableau 2.2. Comparaison de différents types tags RFID [27] .....                              | 32 |
| Tableau 2.3. Différentes fréquences des systèmes RFID [27]. ....                               | 33 |
| Tableau 2.4. Comparaison de différentes bandes de la technologie RFID [25]. ....               | 33 |
| Tableau 2.5. Quelques avantages et inconvénients de la technologie RFID [22]. ....             | 34 |
| Tableau 2.6. Quelques antennes lecteurs RFID UHF commercialisées [28]. ....                    | 36 |
| Tableau 3.1. Cahier des charges.....   | 38 |
| Tableau 3.2. Dimensions théoriques de l'antenne patch alimentée par une ligne microruban ..... | 39 |
| Tableau 3.3. Dimensions de l'antenne patch après optimisation sur IE3D. ....                   | 40 |
| Tableau 3.4. Dimensions de l'antenne patch avec transformateur quart d'onde. ....              | 43 |
| Tableau 3.5. Dimensions de l'antenne patch alimentée par une sonde. ....                       | 45 |
| Tableau 3.6. Dimensions de l'antenne patch avec U-slot. ....                                   | 48 |
| Tableau 3.7. Gains max et F/B aux fréquences 860, 910 et 960MHz. ....                          | 49 |
| Tableau 3.8. Dimensions de l'antenne patch alimentée par un L inversé.....                     | 53 |
| Tableau 3.9. Gains max et F/B aux fréquences 860, 910 et 960MHz. ....                          | 54 |
| Tableau 4.1. Comparaison des bandes passantes simulées et mesurées. ....                       | 70 |
| Tableau 4.2. Taux de détection de tag en fonction de la distance antenne lecteur-tag.....      | 73 |

# Introduction générale

---

Avec le déploiement massif des produits RFID (L'identification par radio fréquences), il est important de développer des lecteurs ainsi que des tags performants, à faible coût/consommation. Un élément clé des lecteurs ainsi que des tags est l'antenne. En effet, les performances de cette dernière influencent directement sur les performances globales des systèmes RFID. Contrairement aux antennes des tags qui doivent être très compacts avec un rayonnement omnidirectionnel, les antennes des lecteurs RFID doivent fonctionner dans la totalité de la bande RFID, posséder un fort gain et présenter un rayonnement directionnel.

L'objectif de ce projet de fin d'études est la conception et la réalisation d'antennes pour lecteurs RFID UHF. Deux antennes imprimées ( $20 \times 20 \text{ cm}^2$ ) opérant dans la totalité de la bande RFID UHF (860-960 Mhz) ont été ainsi proposées, simulées et validées expérimentalement. La première est un patch rectangulaire avec une fente de forme U et la seconde est une antenne patch rectangulaire excitée par couplage en utilisant une sonde de forme L inversé. Les résultats de mesure sont en concordance avec ceux prédits par simulation et valident ainsi le bon fonctionnement de ces antennes.

Ce manuscrit est structuré en quatre chapitres. Dans le premier chapitre, il s'agit de donner des généralités sur les antennes (définition, historique, applications et principales caractéristiques). Ensuite, une attention particulière est accordée aux antennes imprimées ainsi qu'aux techniques d'élargissement de leurs bandes passantes. Dans le deuxième chapitre, les systèmes RFID sont décrits en détaillant leur principe de fonctionnement, leurs constituants ainsi que leurs bandes de fréquences de fonctionnement. Enfin, quelques antennes commerciales pour lecteurs RFID UHF sont présentés sous forme d'un tableau tout en affichant leurs taille et bande de fréquences

de fonctionnement. Le troisième chapitre est consacré à la conception, simulation électromagnétique d'antennes imprimées pour lecteurs RFID UHF. Les performances radioélectriques et en rayonnement des solutions proposées sont affichées et discutées. Enfin, des études paramétriques sont conduites afin d'optimiser davantage les performances des antennes conçues. Le quatrième et dernier chapitre concerne la réalisation et la mesure des deux antennes pour lecteur RFID retenues. La validation expérimentale est réalisée en deux étapes : (1) Mesures des coefficients de réflexion à l'entrée des antennes à l'aide d'un analyseur de réseau et (2) Mesure en détection de tags en reliant les antennes à un lecteur RFID spécifique. Les résultats de mesures sont très encourageants et valident ainsi le bon fonctionnement des deux antennes proposées.

# Chapitre 1 Généralités sur les antennes

---

## 1.1 Introduction

Les antennes constituent actuellement un des éléments clés des systèmes sans fils modernes. Le rôle d'une antenne est de convertir l'énergie électrique d'un signal en énergie électromagnétique transportée par une onde électromagnétique (ou inversement) [1]. Le transport d'énergie par une onde électromagnétique va donc permettre le transfert d'information sans support physique à travers un canal ou une liaison radioélectrique, à condition que l'onde électromagnétique soit modulée par un signal informatif. Comme tous les canaux de communication, il est soumis aux problèmes posés par le bruit et les perturbations, qui vont limiter les performances du système de transmission. Ces canaux sont aussi dépendants des propriétés de l'antenne qui va donner naissance à l'onde électromagnétique, et à l'environnement autour de l'antenne qui va influencer sur la propagation des ondes électromagnétiques. La connaissance et la modélisation de la propagation et des antennes sont complexes mais nécessaires pour dimensionner un système de transmission sans fils [2].

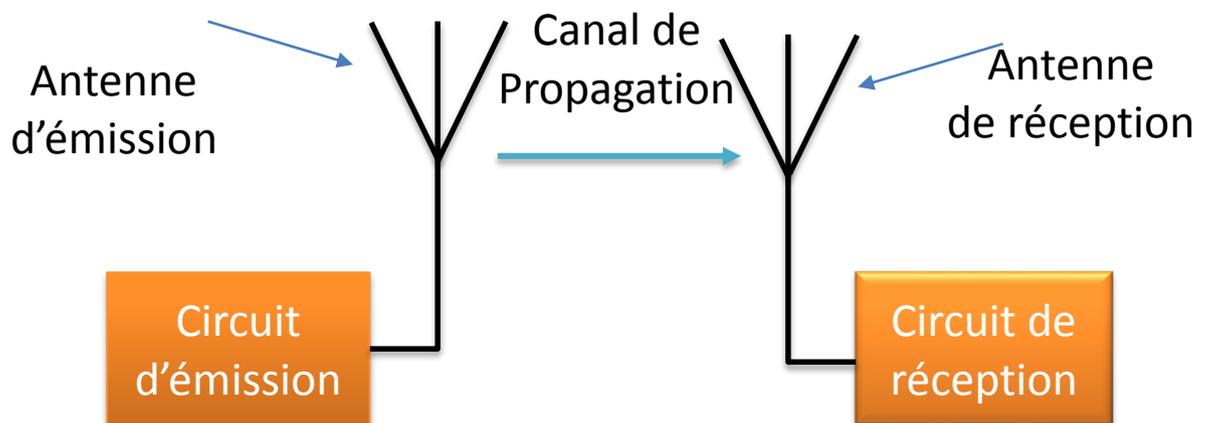
Dans ce chapitre, des généralités sur les antennes seront abordées en donnant leur définition, leurs applications et surtout leurs principales caractéristiques. Ensuite une attention particulière sera accordée aux antennes imprimées et plus précisément les antennes patch de type rectangulaire leurs techniques d'alimentations, ces avantages et inconvénients enfin des techniques d'élargissement de la bande passante de ce type d'antenne.

## 1.2 Antennes : définition, historique et applications

### 1.2.1 Définition d'une Antenne

Les antennes sont une partie essentielle de n'importe quel système sans fil. Une définition traditionnelle est la suivante : « Une antenne d'émission est un dispositif qui assure la transmission de l'énergie entre un émetteur et l'espace libre où cette énergie va se propager. Réciproquement, une antenne de réception est un dispositif qui assure la transmission de l'énergie d'une onde se propageant dans l'espace à un appareil récepteur [2]. Un système de communication sans fil classique contenant une antenne d'émission et une antenne de réception est représenté par la figure 1.1. Selon la définition issue des standards IEEE, une antenne est définie comme un moyen de rayonner ou de recevoir les ondes radio.

Par ailleurs, une antenne est habituellement exigée dans un système sans fil avancé, pour optimiser ou accentuer l'énergie de rayonnement dans certaines directions et pour la supprimer dans d'autres à certaines fréquences. Elle permet de prendre diverses formes, pour répondre à l'exigence particulière. En conséquence, une antenne peut être un fil conducteur, une ouverture, un patch, un réflecteur, une lentille, un ensemble d'éléments (réseau), ....Etc. Une bonne conception de l'antenne peut assouplir les contraintes du système sans fil et améliorer ainsi ses performances globales [1].



**Figure 1.1.** Système de communication sans fil comportant une antenne émettrice et une antenne réceptrice.

### 1.2.2 Bref historique

Le développement des radiocommunications est basé sur la théorie de l'électromagnétisme, mise au point au XIXe siècle et améliorée au XXe siècle. Les ondes

électromagnétiques, support des radiocommunications, ont été prévus de manière théorique dans le cadre des équations de Maxwell et mises en évidence expérimentalement par Hertz à la fin du XIXe siècle. Peu de temps après, les premières applications de transmission radio sont apparues. Le XXe siècle est ensuite ponctué d'innovations majeures, qui répondaient à des besoins précis. La figure 1.2 dresse un prompt historique des découvertes et inventions liées aux radiocommunications et aux antennes [2].

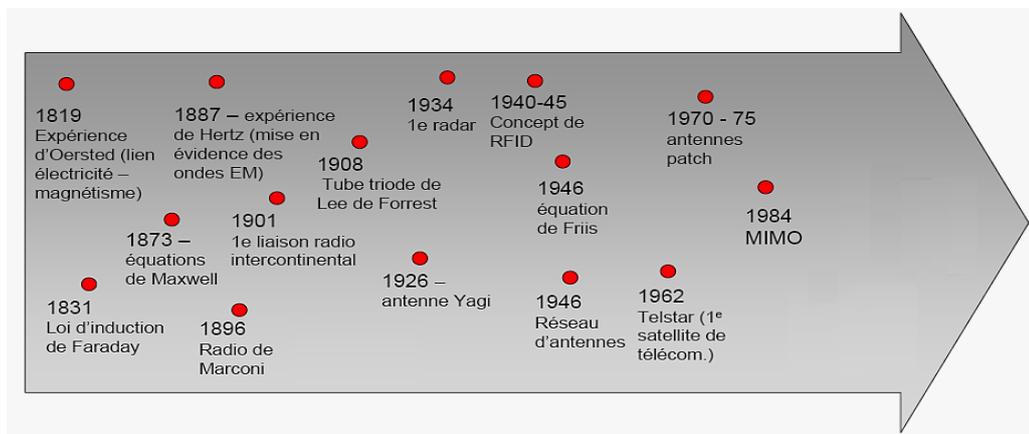


Figure 1.2. Historique des radiocommunications [2].

### 1.2.3 Applications des antennes

Les antennes sont utilisées sur une large gamme de fréquences (ou de longueur d'onde) et pour un grand nombre d'applications [3]. On peut citer :

- Communications sans-fil (GSM, WIFI, Talkie-walkie, ..) ;
- Radio/télédiffusion ;
- Détection, radionavigation et télémessure (Radar, GPS,...) ;
- Relevé à distance et identification (Télé-relevé, RFID, ...) ;
- Récupération d'énergie (Rectenna, ...).

Selon la bande de fréquences, les applications les plus courantes des antennes sont également illustrées dans la figure 1.3.

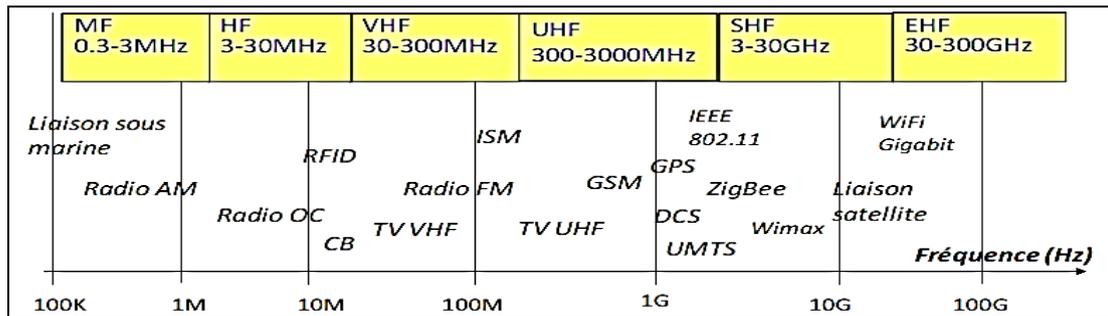


Figure 1.3. Quelques applications d'antenne selon la bande de fréquence [2].

## 1.3 Caractéristiques principales d'une antenne

Indépendamment de sa fréquence de fonctionnement ou de sa structure physique, une antenne est caractérisée par des propriétés et des paramètres communs. Ces paramètres sont classés en deux catégories. La première catégorie caractérise l'antenne comme un élément de circuit électrique tandis que la seconde catégorie s'intéresse à ses propriétés de rayonnement. Les principaux paramètres de l'antenne qui traduisent son comportement comme circuit sont le coefficient de réflexion, l'impédance d'entrée, le rapport d'ondes stationnaires et la bande passante. Les paramètres de rayonnement sont principalement le diagramme de rayonnement, la directivité, le gain et l'efficacité [4]. Ces paramètres seront détaillés par la suite.

### 1.3.1 Paramètres radioélectriques

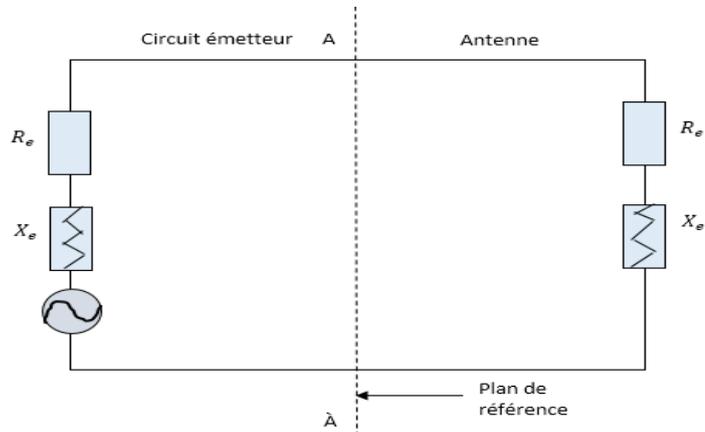
#### a Impédance d'entrée

Une antenne se comporte généralement comme un circuit résonant dont la fréquence de résonance centrale dépend des valeurs de l'inductance  $L$  et de la capacité  $C$ . Ces dernières sont généralement liées à la structure de l'antenne, ses dimensions et à son environnement. Dans un système, l'antenne est connectée aux autres éléments par une ligne de transmission, généralement d'impédance égale à 50 ou 75 Ohms. La réponse fréquentielle d'une antenne est caractérisée par l'évolution en fréquence de son impédance d'entrée complexe. Cette dernière s'écrit [5] :

$$Z_{in}|w| = R|w| + jX|w| \quad (1.1)$$

Où  $R|w|$  et  $X|w|$  représentent respectivement la résistance complexe et la réactance complexe d'entrée de l'antenne.

Le schéma équivalent de l'antenne connectée avec un émetteur est donné par la figure 1.4.



**Figure 1.4.** Circuit équivalent d'une antenne [6].

### ***b* Coefficient de réflexion $\Gamma$ (ou $S_{11}$ )**

On dit qu'une antenne est parfaitement adaptée lorsque son impédance d'entrée ( $Z_e$ ) est égale à l'impédance de la ligne d'alimentation ( $Z_c$ ), sinon on démontre qu'il apparaît un coefficient de réflexion  $\Gamma$  (ou  $S_{11}$ ). Ce dernier est défini comme suit [1] :

$$\Gamma = \frac{Z_e - Z_c}{Z_e + Z_c} \quad (1.2)$$

Où  $Z_e$  et  $Z_c$  représentent respectivement l'impédance d'entrée et impédance caractéristique de la ligne.

Dans la pratique, l'adaptation est caractérisée par le module du coefficient de réflexion ou, le plus souvent, par le "Rapport d'Onde Stationnaire"(R.O.S) défini par :

$$ROS = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (1.3)$$

Le terme de TOS (Taux d'Ondes Stationnaires) peut être utilisé à la place de ROS.

### c Bande passante

La largeur de bande d'une antenne, appelée aussi bande passante, représente la bande de fréquence dans lequel une performance (radioélectrique ou de rayonnement) respecte une certaine spécification (selon application). Dans la pratique, la bande passante la plus courante est celle définie par rapport à l'adaptation de l'antenne et plus précisément au coefficient de réflexion présent à son entrée. On admet généralement qu'une bonne adaptation est réalisée pour un coefficient de réflexion inférieur à -10dB. Les fréquences correspondantes à ces valeurs définissent ainsi la bande passante de l'antenne [7]. On peut également utiliser la notion de la bande passante relative définie comme suit :

$$Bp(\%) = \frac{f_{max} - f_{min}}{f_{max} + f_{min}} \times 2 \times 100 \quad (1.4)$$

Où  $f_{max}$  et  $f_{min}$  sont les fréquences limites correspondant à un maximum de coefficient de réflexion autorisé.

La figure 1.5 montre un exemple d'un coefficient de réflexion ( $S_{11}$ ) ainsi que la bande passante déterminée pour  $|S_{11}| < -10$  dB.

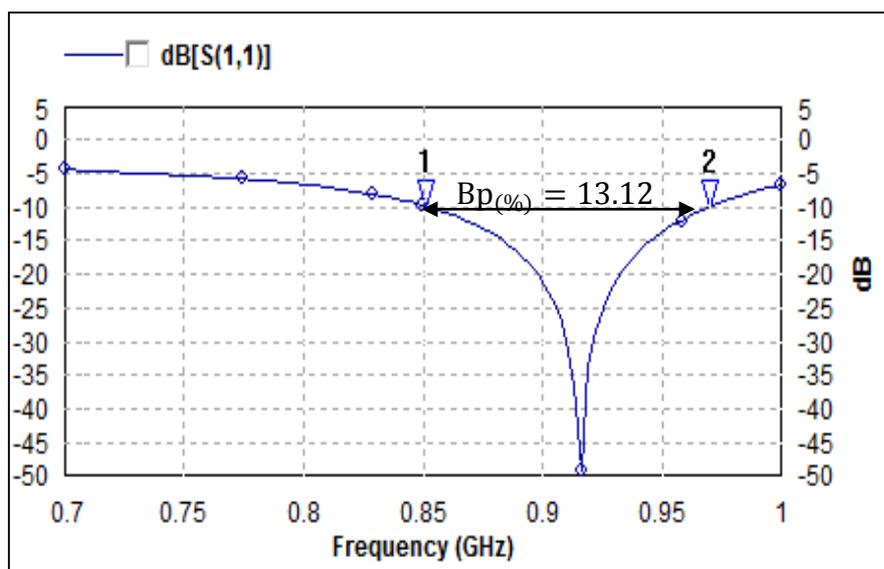
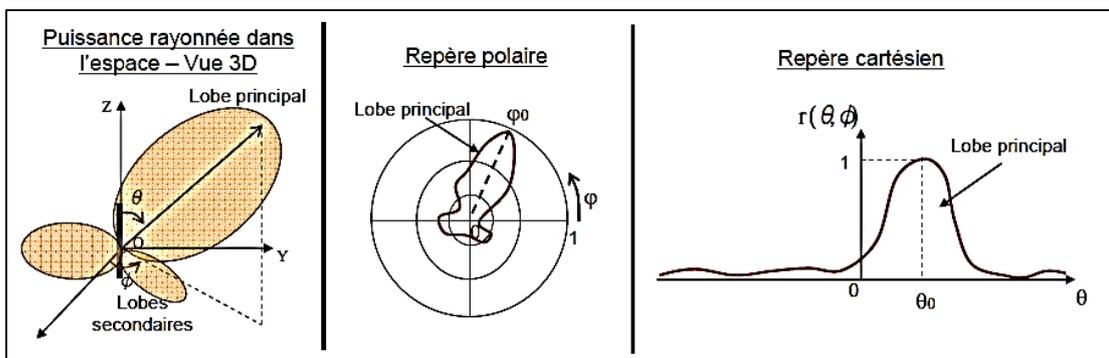


Figure 1.5. Exemple d'une bande passante.

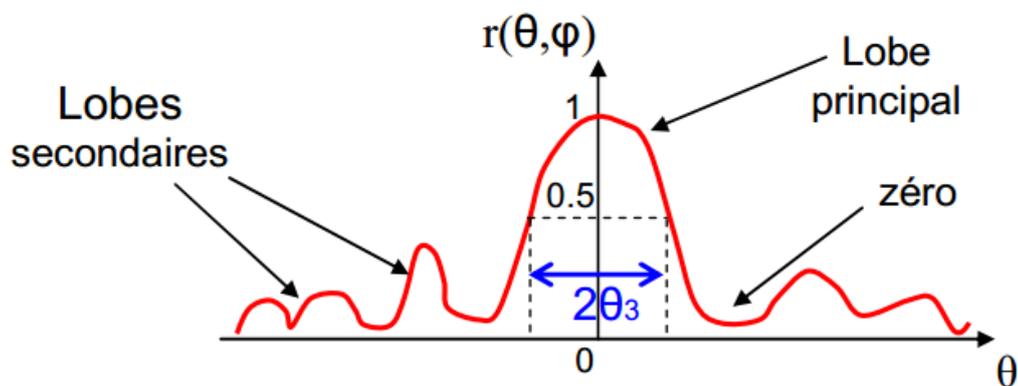
### 1.3.2 Paramètres de rayonnement

#### a Diagramme de rayonnement

C'est la représentation graphique du rayonnement de l'antenne dans l'espace. Il est déterminé en région lointaine et varie en fonction des coordonnées directionnelles  $(\theta, \phi)$ . Ce diagramme peut être représenté sur un plan en coordonnées cartésiennes, polaire ou bien dans l'espace à trois dimensions [3], comme montre la figure 1.6.



Le diagramme est généralement caractérisé par un lobe principal et des lobes de rayonnement secondaires, comme on peut le remarquer dans la figure 1.7.



## **b Directivité**

La directivité  $D(\theta, \varphi)$  d'une antenne dans une direction  $(\theta, \varphi)$  est le rapport de l'intensité de rayonnement dans une direction donnée sur l'intensité de rayonnement moyenne dans toutes les directions (intensité de rayonnement d'une antenne isotrope). Cette grandeur sans dimension est définie comme suit [3] :

$$D(\theta, \varphi) = \frac{U(\theta, \varphi)}{U_0} = \frac{U(\theta, \varphi) \cdot 4 \cdot \pi}{P_{\text{ray}}} \quad (1.5)$$

Où

$U(\theta, \varphi)$  : L'intensité de rayonnement de l'antenne considérée [W/Sr].

$U_0$  : L'intensité de rayonnement de l'antenne isotrope [W/Sr]

$P_{\text{ray}}$  : Puissance rayonnée de l'antenne.

Si la direction n'est pas spécifiée, on parle de direction pour laquelle la directivité est maximale :

$$D_{\text{max}} = \text{MAX}(D(\theta, \varphi)) \quad (1.6)$$

Enfin, la directivité peut être également exprimée par sa valeur en décibel :

$$D(\text{dB}) = 10 \log(D) \quad (1.7)$$

Une antenne isotrope (c'est une antenne imaginaire qui rayonne uniformément dans toutes les directions) possède une directivité unitaire ( $D=D_{\text{max}}=1$  (0dB))

## **c Efficacité de rayonnement**

L'efficacité totale d'une antenne tient compte des pertes ohmiques et diélectriques dues aux matériaux utilisés et des pertes liées à la désadaptation [3]. L'efficacité due à la désadaptation notée  $\eta_d$  est directement liée au paramètre  $S_{11}$  et est définie par :

$$\eta_d = 1 - |S_{11}|^2 \quad (1.8)$$

L'efficacité due aux pertes ohmiques/diélectriques (appelée efficacité de rayonnement) notée  $\eta_{ray}$ , est le rapport entre la puissance rayonnée et la puissance acceptée par l'antenne.

$$\eta_{ray} = \frac{P_{ray}}{P_{accp}} \quad (1.9)$$

$P_{ray}$ : La puissance rayonnée d'une antenne.

$P_{accp}$ : La puissance acceptée par une antenne.

#### **d Gain**

Le gain est une performance en étroite relation avec la directivité, mais qui prend en compte l'efficacité de l'antenne [3]. Il est défini à une direction donnée ( $\theta, \varphi$ ) comme suit :

$$G(\theta, \varphi) = \eta_{ray} \cdot D(\theta, \varphi) \quad (1.10)$$

Le gain maximal  $G_{max}$  est défini par :

$$G_{max}(\theta, \varphi) = e \cdot D_{max}(\theta, \varphi) \quad (1.11)$$

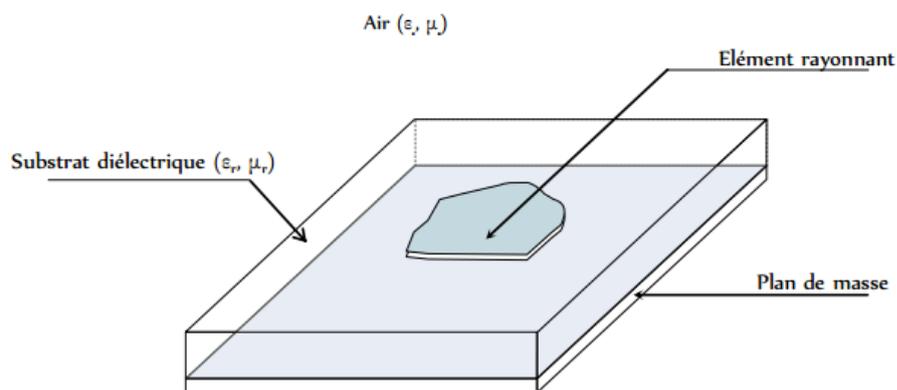
Le gain peut être exprimé en décibels :

$$G(\theta, \varphi)(dB) = 10 \log(G(\theta, \varphi)) \quad (1.12)$$

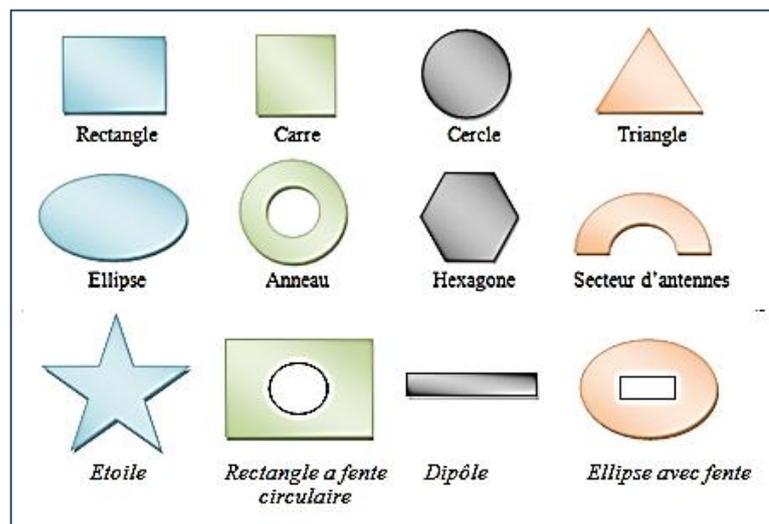
## **1.4 Antennes Imprimées**

Le concept d'antennes imprimées ou patch est apparu dans les années 50, mais le véritable développement ne s'est fait que dans les années 70 [7]. Ces antennes présentent principalement l'avantage du faible coût/encombrement, simple profil et l'intégration aisée avec les circuits RF planaires. Elles sont réalisées par gravure d'un circuit imprimé et sont utilisées dans de nombreuses applications à partir des bandes VHF.

Dans sa structure de base, une antenne imprimée se compose d'une surface métallique rayonnante (patch) sur un côté du substrat diélectrique, et d'un plan de masse métallique de l'autre côté comme représenté sur la Figure 1.8. Le patch peut prendre plusieurs formes, mais on se donne généralement des formes régulières (carré, circulaire, ...) dans le but de simplifier l'analyse de la structure [8]. La figure 1.9 montre différentes formes d'antennes imprimées. Des formes plus élaborées sont toutefois employées pour répondre à des contraintes spécifiques sur l'antenne.



**Figure 1.8.** Géométrie d'une antenne patch de forme arbitraire [8].



**Figure 1.9.** Différentes formes de l'élément rayonnant d'une antenne imprimée.

### 1.4.1 Alimentation des antennes imprimées

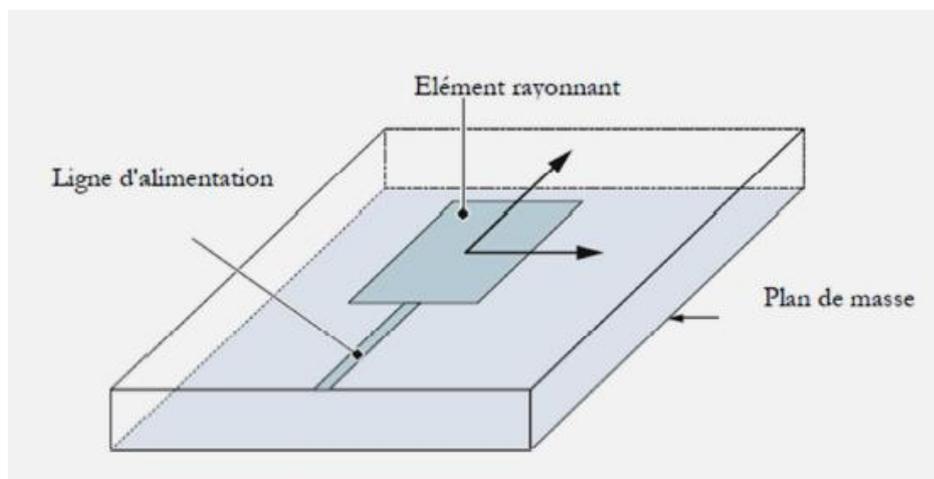
La méthode d'alimentation de l'antenne dépend de la manière dont l'antenne est intégrée dans le dispositif. Elle peut être classée en 2 catégories :

#### *a Alimentation par contact*

On peut distinguer deux principales catégories :

- Alimentation par ligne imprimée (figure 1.10)

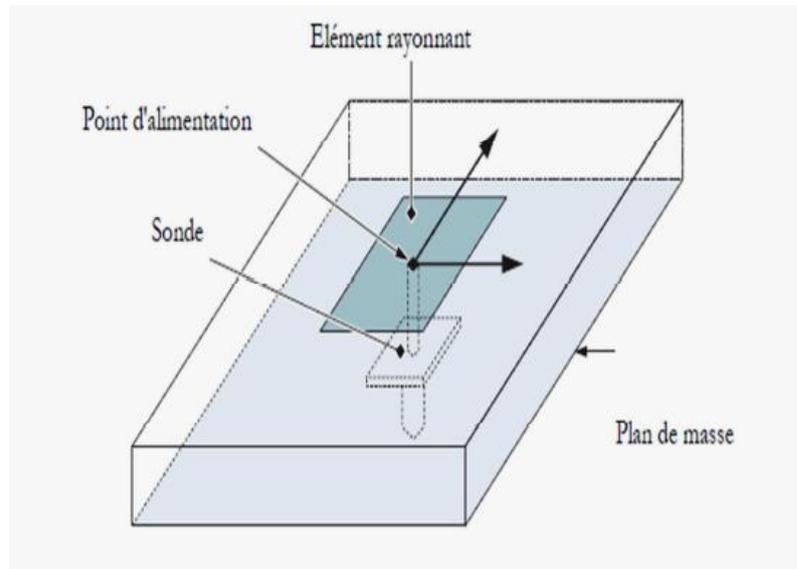
Une ligne imprimée est reliée au patch et lui amène de l'énergie. Elle l'inconvénient de générer un rayonnement parasite.



**Figure 1.10.** Alimentation par ligne imprimée (technologie microruban) [8].

- Alimentation par sonde coaxiale (figure 1.11)

Un connecteur standard (SMA) est soudé au plan de masse qui est perforé pour permettre à l'âme central d'être relié à l'élément rayonnant en traversant le diélectrique. L'énergie est amenée par un guide coaxial.



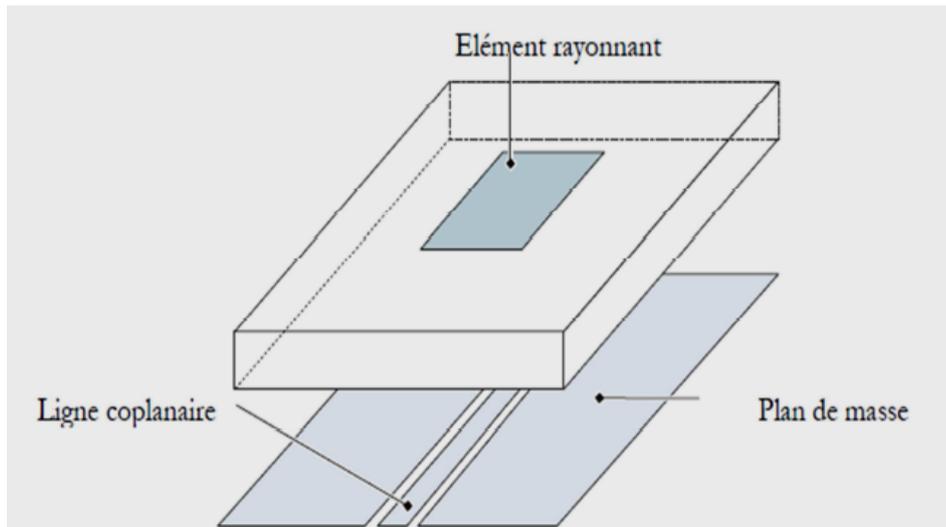
**Figure 1.11.** Alimentation par sonde coaxiale [8].

### ***b*** Alimentation par proximité

On peut distinguer trois importantes catégories

- Alimentation par guide d'ondes coplanaire (figure 1.12)

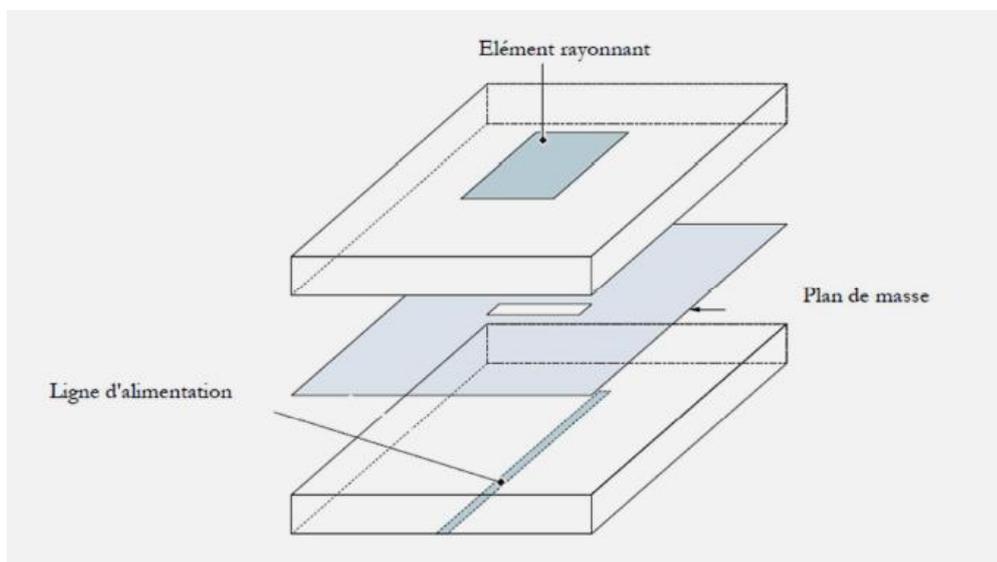
Le guide d'onde coplanaire est une ligne de transmission efficace qui présente l'avantage de placé la ligne d'alimentation au même niveau que le plan de masse. Il est constitué d'un ruban central métallique placé entre deux plans de masse parallèle entre eux. Déposé sur la même face d'un substrat diélectrique. Cette technique n'est pas adaptée pour alimenter une structure d'antenne symétrique.



**Figure 1.12.** Alimentation par guide d'ondes coplanaire (CPW) [8].

- Alimentation par fente (figure1.13)

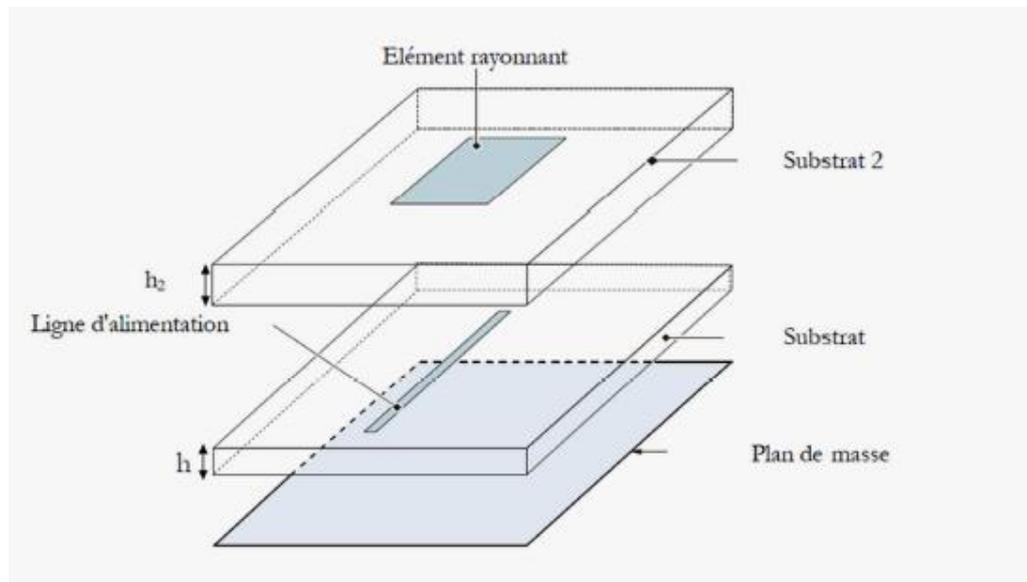
Une ligne est disposée au dos du plan de masse, qui est entaillé d'une fente sous l'élément rayonnant afin que l'énergie amenée par la ligne soit communiquée à l'antenne.



**Figure 1.13.** Alimentation par ligne micro ruban et fente [8].

- Alimentation par couplage (figure 1.14)

L'alimentation par couplage, moins répandue, utilise le couplage direct d'une ligne micro ruban située entre l'élément rayonnant et le plan de masse positionnée entre deux couche de diélectrique, placé l'un au-dessus de l'autre.



**Figure 1.14.** Alimentation par couplage électromagnétique [8].

## 1.4.2 Avantages et inconvénients

Le tableau 1.1 résume les différents avantages et inconvénients des antennes imprimées par rapport aux autres types d'antennes [7].

| Avantages                   | Inconvénients                    |
|-----------------------------|----------------------------------|
| - Faible coût.              | - Bande passante étroite.        |
| - Simple profil             | - Faible tenue en puissance.     |
| - Faible encombrement/poids | - Faible gain.                   |
| - Facile de réalisation.    | - Faible pureté de polarisation. |
| - Intégration aisée.        |                                  |

**Tableau 1.1.** Avantages et inconvénients des antennes imprimées.

Un inconvénient majeur de l'antenne patch reste sa très faible bande passante. Des techniques d'élargissement de la bande passante seront présentées par la suite.

### 1.4.3 Techniques d'élargissement de la bande passante d'une antenne patch

Dans la littérature scientifique, diverses techniques sont utilisées pour améliorer la bande passante d'une antenne patch, à savoir : Introduction d'une ou de plusieurs fentes, utilisation d'une excitation par couplage ou sinon l'introduction de résonateurs supplémentaires. Ces différentes techniques seront présentées par la suite.

#### a Introduction de fentes

Cette technique consiste à modifier la forme classique d'un patch introduisant une ou plusieurs fentes. Par la suite, quelques exemples seront présentés.

- Antenne patch circulaire avec fente en forme de diamant :

Il s'agit d'insérer une fente en forme de diamant sur un patch circulaire. Cette technique est montrée par la figure 1.15.

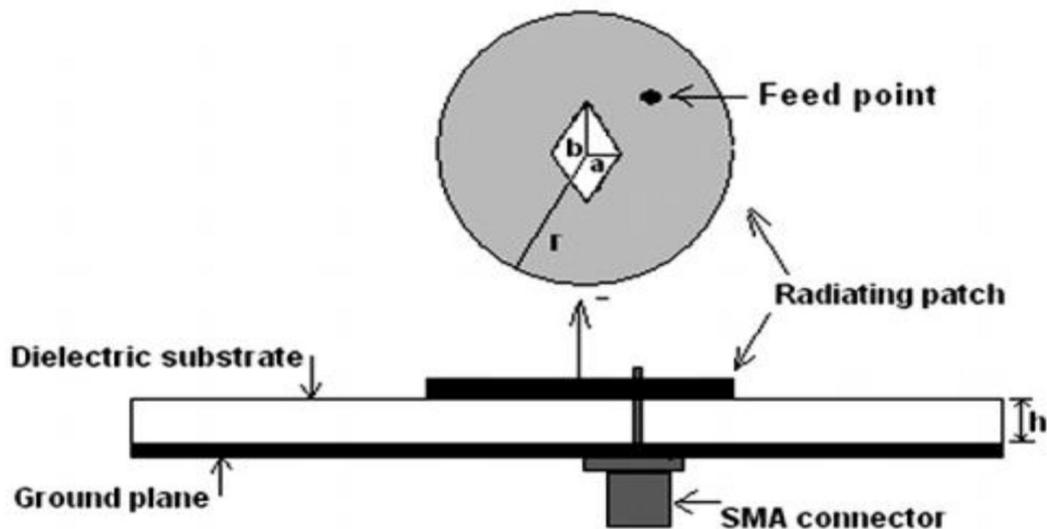
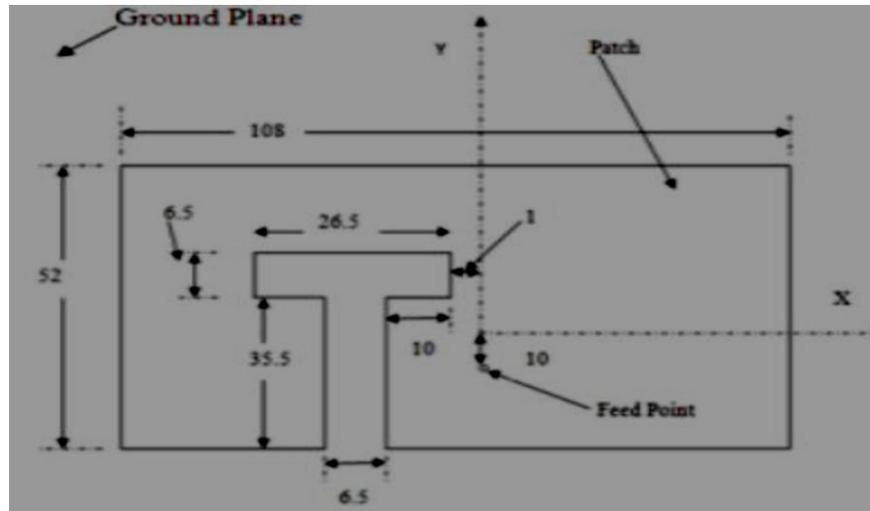


Figure 1.15. Antenne patch circulaire avec fente en forme de diamant [9].

- Antenne patch rectangulaire avec une fente en forme « T »

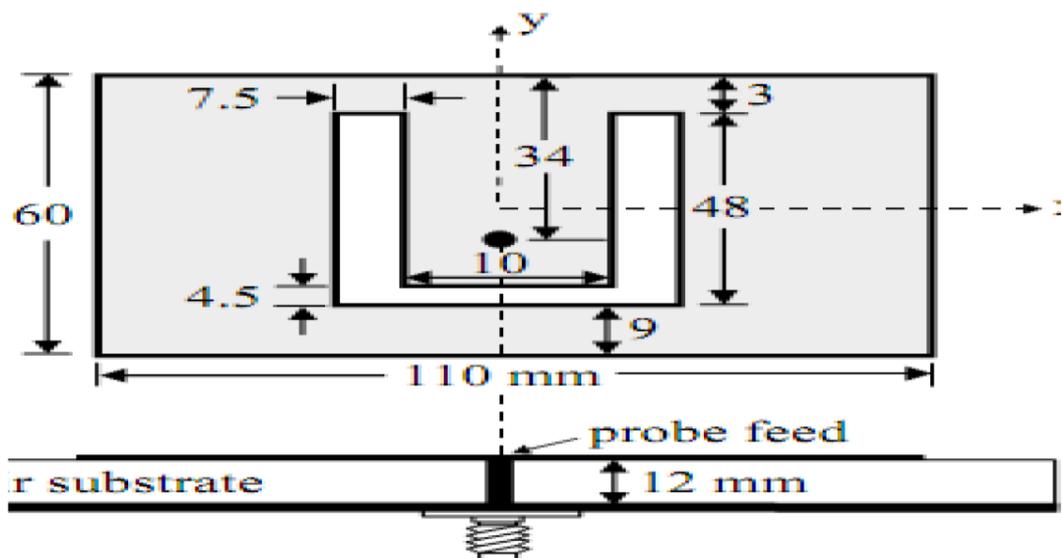
Cette technique consiste dans l'introduction d'une fente en forme « T » dans un patch rectangulaire (voir figure 1.16).



**Figure 1.16.** Antenne patch rectangulaire avec fente en forme T [10].

- Antenne patch rectangulaire avec une fente en forme « U »

Une autre technique illustrée par la figure 1.17, représente un patch rectangulaire avec une fente en forme « U ».



**Figure 1.17.** Antenne patch rectangulaire avec une fente en forme U [11].

### **b Alimentation par couplage**

Dans cette technique, l'alimentation du patch se fait par couplage et non pas par contact. Ce couplage peut être réalisé directement en plaçant une ligne d'alimentation à proximité ou à travers une fente [12].

Une technique par couplage en utilisant une sonde en forme de L inversé a été utilisée est illustré par la figure 1.18.

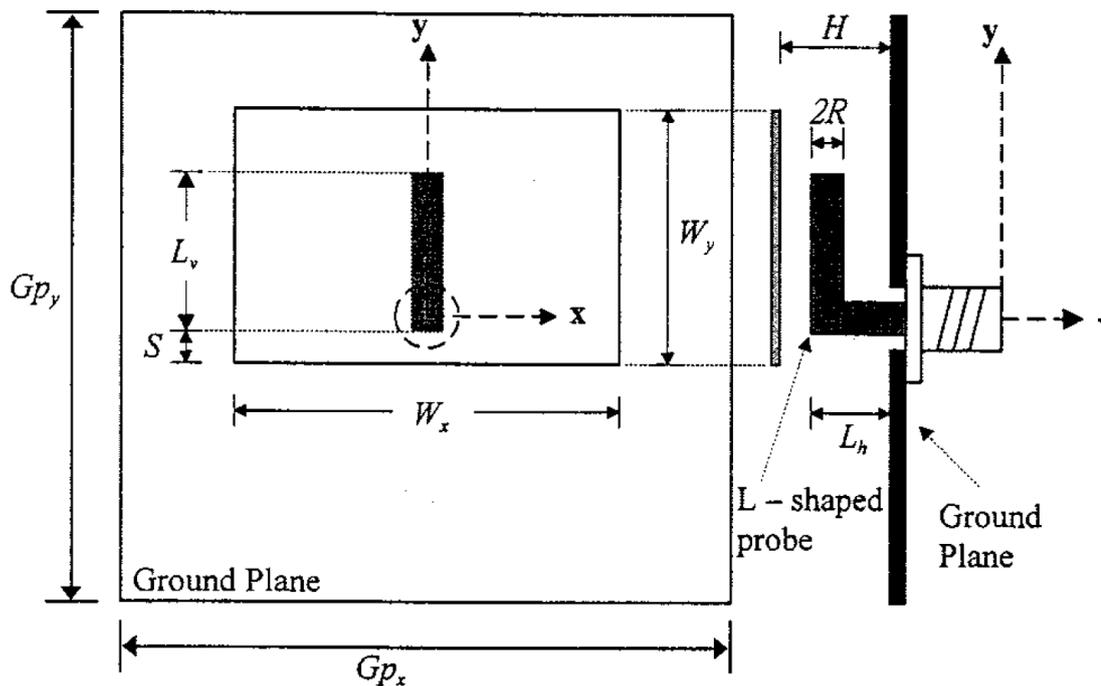


Figure 1.18. Antenne patch rectangulaire alimentée par L inversé [13].

### **c Technique multi-résonateurs**

Cette technique consiste à ajouter un ou plusieurs résonateurs placés à proximité de l'antenne patch principale. Le fonctionnement de ces résonateurs à des fréquences proches de celle de l'antenne patch principale permet d'élargir la bande passante globale. Pour cette technique, on peut distinguer deux types de configurations : multi-résonateurs planaires ou empilés (multicouches).

- Multi-résonateurs planaires

Dans cette technique un ou plusieurs résonateurs sont imprimés sur la même surface que celle du patch rectangulaire principal (voir figure 1.19).

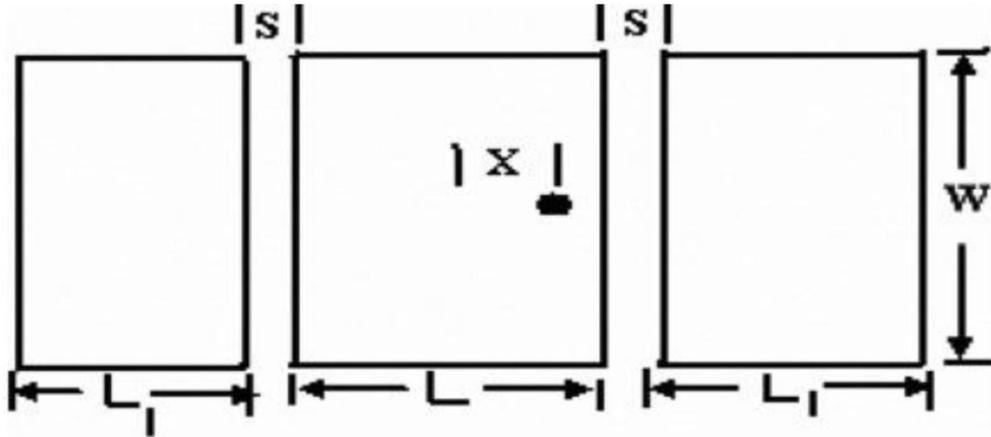


Figure 1.19. Multi résonateurs planaires [14].

- Multi-résonateurs multicouche

Contrairement à la technique précédente, les résonateurs sont placés sur différentes couches, et empilées l'une sur l'autre. Un exemple de deux couches est montré sur la figure 1.20.



Figure 1.20. Technique multicouche [14].

### 1.4.4 Synthèse des techniques d'élargissement de bande passante

Une synthèse non exhaustive des différentes techniques d'élargissement de bande passante d'une antenne patch est donnée par le tableau 1.2.

|          | Technique                  | Antenne   | <i>B<sub>p</sub></i> (%)<br>Annoncée |
|----------|----------------------------|---|--------------------------------------|
| <b>1</b> | Introduction de fentes.    | Antenne patch circulaire avec fente en forme de diamant [9].    | 13,58 %.                             |
|          |                            | Antenne patch rectangulaire avec une fente en forme « T » [10]. | 25,23 %.                             |
|          |                            | Antenne patch rectangulaire avec une fente en forme « U » [11]. | 27,5%.                               |
| <b>2</b> | Alimentation par couplage. | Couplage par fente [12].  | 12.7 %.                              |
|          |                            | Couplé par L [13].  | 36 %.                                |
|          |                            | Multi résonateurs plantaires [14].                              | 25.7 %.                              |

|          |                              |                                     |       |
|----------|------------------------------|-------------------------------------|-------|
| <b>3</b> | Technique multi résonateurs. | Multi résonateurs multicouche [14]. | 70 %. |
|----------|------------------------------|-------------------------------------|-------|

**Tableau 1.2.** Synthèse des techniques d'élargissement de bande passante.

## 1.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons passé en revue les antennes en donnant leur définition, un bref historique et leurs principales applications et caractéristiques. Ces dernières ont portées sur les caractéristiques radioélectriques et de rayonnement. Ensuite, une attention particulière a été consacrée aux antennes imprimées (patch) du à leurs avantages par rapport aux antennes classiques à savoir : faible coût/encombrement et leur facilité d'intégration les technique d'alimentations. Enfin, les principales techniques d'amélioration de bande passante des antennes imprimées ont été décrites et comparées. Le chapitre suivant sera consacré à la présentation de la technologie RFID.

# Chapitre 2 Notions sur la technologie RFID

---

## 2.1 Introduction

L'identification par radiofréquence, mieux connu comme la RFID, est une technologie intelligente qui est très performante, flexible et convient bien pour des opérations automatiques [15]. A la différence d'autres technologies d'identification comme les codes à barres, la RFID est une méthode d'identification automatique qui utilise les ondes radio pour lire les données contenues dans des dispositifs appelés étiquettes ou Tags RFID. La technologie RFID est utilisée principalement pour surveiller, identifier et suivre des objets, des animaux et des personnes à distance en utilisant les ondes radio.

Ce chapitre est organisé comme suit. Après une brève présentation de la technologie RFID en donnant son principe de fonctionnement, historique et quelques applications, les différents constituants d'un système RFID seront décrites à savoir : le lecteur, les tags et système de traitement de données. Ensuite, les différents types de tags ainsi que les fréquences de fonctionnement de la technologie RFID seront détaillés. Enfin, un état de l'art sommaire et non exhaustif de différentes antennes commerciales pour lecteurs RFID sera présenté.

## 2.2 Technologie RFID : Définition, domaines d'application et historique

### 2.2.1 Définition

La RFID (en anglais *Radio Frequency Identification*, ou encore nommée identification par radiofréquence, ou plus simplement radio-identification) utilise, comme son nom l'indique, des ondes radiofréquences pour l'identification des biens ou des personnes [16].

D'une façon générale, un système RFID est composé d'un émetteur et d'un récepteur. L'émetteur a comme rôle de fournir au récepteur à la fois de l'énergie radiofréquence (RF) et des informations et/ou commandes. Le récepteur, qui comporte l'information nécessaire pour identifier le bien auquel il est attaché, reçoit l'énergie et la commande transmises par l'émetteur, puis envoie son « information » (c'est-à-dire son identifiant). Dans l'univers de la RFID, l'émetteur est appelé la station de base ou plus fréquemment lecteur, et le récepteur est généralement appelé tag, étiquette, ou transpondeur RFID [17].

### **2.2.2 Domaine d'application**

La qualité ainsi que l'authentification et la sécurité des objets achetés, des transactions financières mais aussi de leur transport physique est un enjeu de plusieurs d'euros pour l'industrie [18]. La technologie RFID est à ce jour le moyen le plus utilisé pour résoudre cette partie de l'équation, que ce soit sous forme de contrôle d'accès, de sécurisation bancaire, ou bien d'Authentification. La technologie RFID permet d'associer une quantité d'information personnelle à chaque objet et ce de façon unique. Les origines et le cheminement ainsi que les preuves de qualité et d'authenticité peuvent désormais faire partie intégrante de la fiche signalétique des objets. La technologie RFID peut être déployée dans plusieurs domaines à savoir : Logistique, Traçabilité, paiement, implants et systèmes intelligents,...

### **2.2.3 Bref Historique sur la technologie RFID**

La technologie d'identification par radiofréquence RFID est véritablement née durant la Seconde Guerre mondiale. Les Allemands, les Japonais, les Américains et les Britanniques ont utilisé tous un radar qui avait pour rôle d'envoyer un signal questionnant les Tags placés sur les avions afin de distinguer les alliés des ennemis. L'identification à distance a été proposée par Stockman en 1948 [19]. Le tableau 2.1 dresse un historique rapide de l'évolution de la RFID.

|      |   |
|------|---|
| 1948 | Les études d'Harry Stockman ont donné lieu aux premiers articles scientifiques sur la RFID.   |
| 1960 | Les applications commerciales sont de plus en plus visées, d'autres brevets sont déposés surtout autour de la problématique du contrôle d'accès. Le premier tag fait son apparition.  |
| 1970 | La RFID commence à être commercialisée. Elle rentre véritablement en pleine phase de recherche et développement dans le domaine industriel. Le tag RFID passif fait sa première apparition. Il permet de réduire le cout de fabrication avec des portées faibles de quelques centimètres. Les premiers tags RFID de ce type sont conçus avec des éléments discrets. |
| 1980 | Les fabricants des tags RFID se multiplient. Le bétail et le suivi des chaines de production dans les industries automobiles font l'objet des premières applications commerciales de la RFID. En Europe l'application RFID pour la traçabilité des animaux fait son apparition.   |
| 1990 | C'est le début de la mise en place des normes pour la RFID [1]. IBM, Philips, TI, Tagsys, Motorola produisent des tags RFID pour les bandes 915 MHz et 2.4 GHz. La diode schottky CMOS permet la fabrication de la puce RFID.   |
| 2000 | Le développement de la RFID se poursuit. La taille des étiquettes RFID dépend uniquement des dimensions des antennes des tags. Les fabricants des produits RFID (lecteurs, tags et puces) deviennent nombreux partout dans le monde.  |
| 2004 | La mise en place du standard EPC pour la RFID UHF sous la norme ISO 18000-6C [1, 15,16].  |

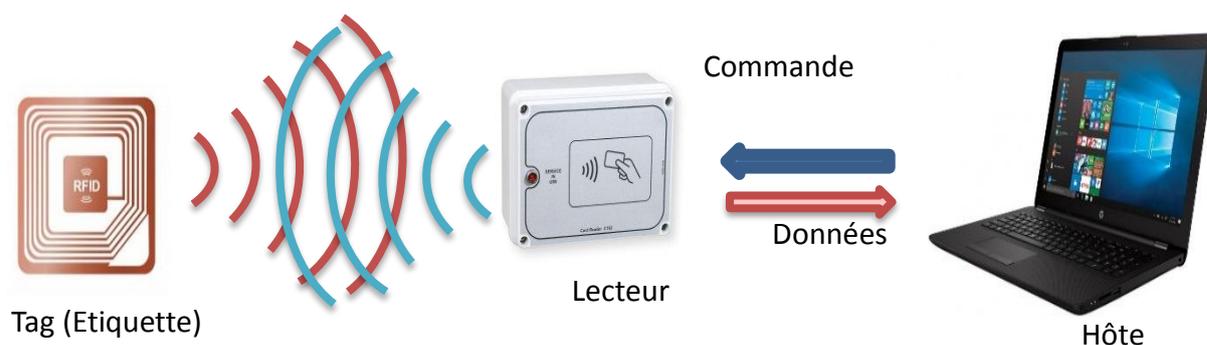
|      |   |
|------|---|
| 2007 | Première conférence internationale, IEEE exclusivement sur la thématique RFID.  |
| 2010 | La conférence IEEE RFID-TA fait son apparition de même que la RFID sans puce intègre le marché. Du point de vue de la régulation, la RFID gagne des nouvelles bandes de fréquence et profite de quelques milliwatts supplémentaires autorisés sur certaines fréquences. |

**Tableau 2.1.** Bref Historique de la RFID [20].

### 2.3 Principe de fonctionnement d'un système RFID

Un signal radio est émis par un lecteur via une antenne. Les transpondeurs passant à proximité, utilisent l'énergie électromagnétique émise par cette antenne pour s'alimenter et transmettre les données qu'ils contiennent. La fréquence du signal radio émit par l'antenne peut varier de 125KHz à 2,45GHz. De cette fréquence dépendra la distance de communication entre le transpondeur et l'antenne (de 1 à 10m) ainsi que la vitesse de transfert des données (de 10Kb/s à 200Kb/s) [21].

La figure 2.1 présente le fonctionnement général d'un système RFID.



**Figure 2.1.** Fonctionnement d'un système RFID.

## 2.4 Éléments constituant d'un système RFID

Pour équiper une entreprise avec un système RFID, celle-ci doit donc mettre en place un équipement de base spécifique composé de tags, lecteurs et un système de traitement de données comme indiqué sur la figure 2.1.

### 2.4.1 Lecteur

Un lecteur RFID est un appareil qui est utilisé pour interroger le tag RFID. Le lecteur joue le rôle d'émetteur et de récepteur. Le lecteur comporte une antenne (émetteur) qui émet des ondes radio alors le tag répond en renvoyant ses données. Le lecteur utilise son antenne (récepteur) attachée pour recueillir les données reçues à partir de tag. Il transmet ensuite ces données à un ordinateur pour traitement. La communication de 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 [19]. Le lecteur RFID communique juste avec des tags qui sont dans son champ de lecture. Les lecteurs peuvent prendre plusieurs formes et tailles fonctionnent sur de nombreuses fréquences différentes, et peuvent offrir une large gamme de fonctionnalités. Un exemple d'un lecteur RFID est illustré par la figure 2.2.



**Figure 2.2.** Exemple d'un lecteur RFID [19].

## 2.4.2 Système de traitement des données

Les données captées par le lecteur sont transmises et traitées par un système informatique comportant un logiciel, tel qu'un système de contrôle d'inventaire, d'un système de contrôle d'accès ou d'un système de contrôle de production.

## 2.4.3 Tag

Le tag correspond à une étiquette électronique, appelé également transpondeur (TRANSmetter - resPONDEUR) ou marqueur [21]. Le transpondeur comprend une antenne associée à une puce électronique qui peut répondre aux requêtes émises depuis un émetteur-récepteur (voir figure 2.3).

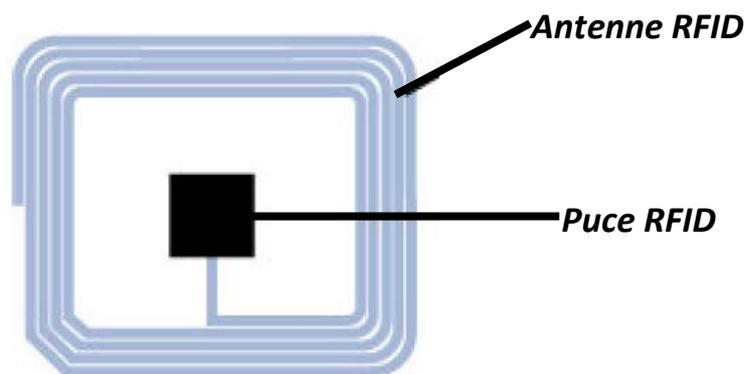


Figure 2.3. Tag RFID avec puce [21].

Les tags peuvent être de deux types : Tag RFID avec puce et sans puce. Les tags RFID sans puce, couramment connues sous la dénomination Chipless RFID Tag, représentent des solutions à très faible coût. Les tags RFID avec puce se divisent en trois catégories : actifs, semi-passifs, passifs. Plus de détails sur ces différents types de tags seront donnés par la suite.

## 2.5 Différents types de tags

### 2.5.1 Tag sans puce

Ce sont des tags qui ne disposent pas de circuit électrique et qui utilisent des principes physique ou chimiques pour générer un code d'identification. Ce type de tag constitué de réflecteur positionné sur un matériau piézoélectrique et d'une antenne reliée à un transducteur qui transforme les ondes radiofréquences en ondes acoustiques (et vice-versa). Cette technique fonctionne très bien à 2.4 GHz. A des fréquences très élevées les pertes sont trop grandes pour que ce principe soit utilisé [22], (voir figure 2.4).

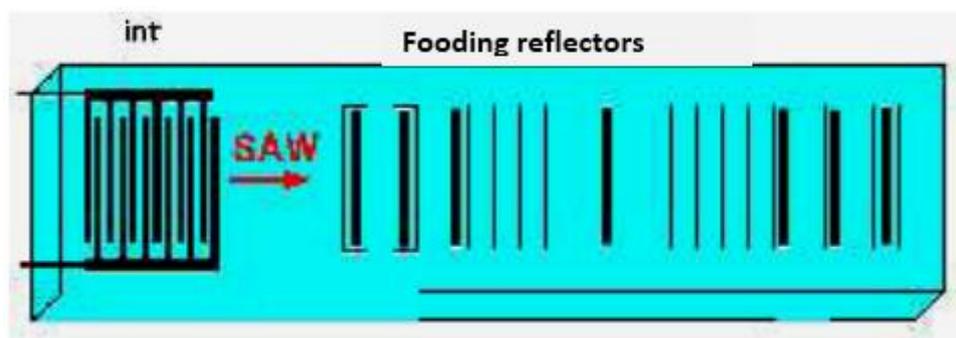


Figure 2.4. Exemple tag sans puce [22].

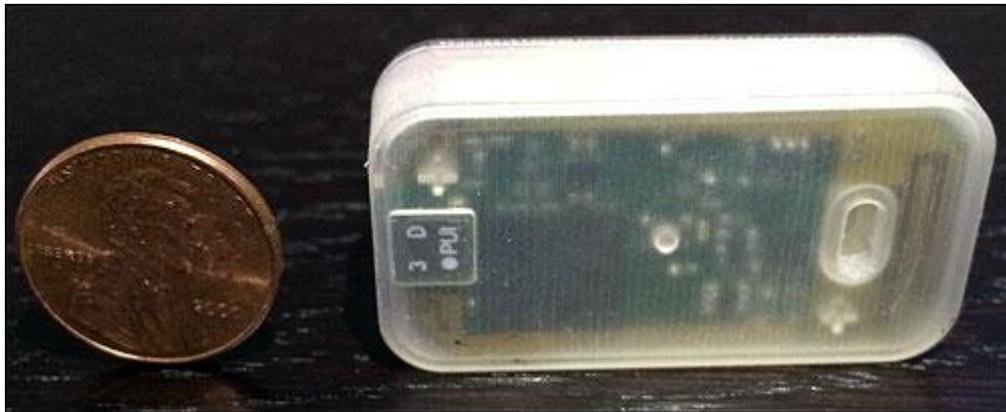
### 2.5.2 Tags avec puces

On peut différencier les tags RFID constitués d'une puce en fonction de leur source d'alimentation. On peut distinguer trois catégories : tag actif, tag passifs et tag semi-passif [23].

#### *a* Tag actif

Les étiquettes actives sont les plus chères car elles sont plus complexes à produire et assurent, outre des fonctions de transmission, des fonctions soit de captage soit de traitement de l'information captée, soit les deux. De ce fait, elles ont besoin d'une alimentation embarquée et sont donc caractérisées par la durée de vie de celle-ci. Si le prix est un facteur discriminatif, il faut savoir que ces étiquettes s'avèrent particulièrement bien adaptées à certaines fonctions, dont notamment la création de

systemes d'authentification, de sécurisation, d'antivol, etc....En général, elles sont idéales pour tout ce qui concerne le déclenchement d'une alerte ou d'une alarme. Elles peuvent émettre à plusieurs centaines de mètres. Un exemple d'un tag RFID actif est montré par la figure 2.5.

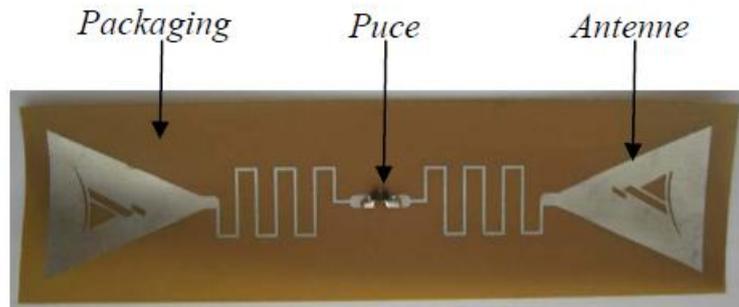


**Figure 2.5.** Exemple d'un Tag actif RFID [23].

#### ***b Tag passif (sans batterie)***

Ces tags, ne disposant pas d'alimentation externe, dépendent de l'effet électromagnétique de réception d'un signal émis par le lecteur. C'est ce courant qui leur permet d'alimenter leurs microcircuits. Ils sont peu coûteux à produire et sont généralement réservés à des productions en volume. Ce sont eux que l'on trouve plus particulièrement dans la logistique et le transport. Ils utilisent différentes bandes de fréquences radio selon leur capacité à transmettre à distance plus ou moins importante et au travers de substances différentes (air, eau, métal). La distance de lecture est inférieure à un mètre. Les basses et hautes fréquences sont normalisées au niveau mondial. Ces puces sont collées sur les produits pour un suivi allant jusqu'aux inventaires. Elles sont jetables ou réutilisables suivant les cas [22].

La figure 2.6 illustre un exemple d'un tag RFID UHF passif. Ce type de tag est constitué d'une antenne et d'une puce électronique tous les deux intégrés sur le même support.



**Figure 2.6.** Exemple d'un tag RFID passif [22].

### ***c* Tag semi-passif**

Ces tags constituent un compromis entre les tags passifs et actifs. En effet, de même façon que les tags actifs, ils disposent d'une batterie externe afin d'alimenter récepteur radio et les circuits intégrés de contrôle. Toutefois, ils ne disposent pas d'émetteur radio et utilisent ainsi une modulation retro-réflexive pour transmettre les informations aux lecteurs de la même façon que les tags passifs. Un exemple d'un tag semi passif est montré sur la figure 2.7 [22].



**Figure 2.7.** RFID UHF avec Tag semi-passif [22].

## **2.5.3 Comparaison entre différents types de tags avec puce**

Le tableau 2.2 dresse un comparatif entre les tags avec puce actifs, semi-passif et passif.

| Type               | Distance | Données | Durée de vie | Coût |
|--------------------|----------|---------|--------------|------|
| <b>Actif</b>       | +++      | +++     | +            | +++  |
| <b>Semi-passif</b> | ++       | ++      | ++           | ++   |
| <b>Passif</b>      | +        | +       | +++          | +    |

**Tableau 2.2.** Comparaison de différents types tags RFID [24]

## 2.6 Fréquences des systèmes RFID

La fréquence utilisée dépend du type d'application visée et les performances recherchées. En effet, on distingue 4 bandes fréquentielles dédiées à la technologie RFID :

- 1- Basses fréquences (LF) de 125 kHz à 135 kHz (ISO11784/5, ISO14223) ;
- 2- Hautes fréquences (HF) à 13.56 MHz (ISO 14443A 1-4, ISO 14443B 1-4, ISO 15693-3 et ISO 18000-3) ;
- 3- Ultra-hautes fréquences (UHF) de 902 à 928MHz aux USA, de 865 MHz à 868 MHz dans l'Union européenne (ISO 18000-6 ISO18000-6, EPC Gen2) ;
- 4- Micro-ondes (SHF) à 2.45 GHz ou à 5.8 GHz (ISO 18000-4, ISO 18000-5).

En général, une fréquence plus élevée présente l'avantage de permettre un échange d'informations (entre lecteur et marqueur) à des débits plus importants qu'en basse fréquence [25]. Les débits importants permettent l'implémentation de nouvelles fonctionnalités au sein des marqueurs (cryptographie, mémoire plus importante, anticollision, .....). Par contre une fréquence plus basse bénéficiera d'une meilleure pénétration dans la matière.

Les bandes de fréquence allouées à la RFID, la puissance d'émission autorisée et d'autres spécifications relatives à l'application sont contrôlées par des organisations de normalisation internationales et régionales telles que l'ISO et l'ETSI. Le tableau 2.3 résume les différentes bandes de fréquences utilisées pour la technologie RFID [24].

|                              | LF   | HF  | UHF                               | SHF                             |
|------------------------------|--|---|-----------------------------------|---------------------------------|
| <b>Bande</b>                 | 125-134 KHz                                    | 13.56 MHz                                   | 860-960 MHz                       | 2.45-5.8 GHz                    |
| <b>Longueur d'onde</b>       | 2400 m   | 22 m  | 33 cm                             | 9 cm                            |
| <b>Zone de champ</b>         | Proche   | Proche                                      | Proche/Lointain                   | Lointain                        |
| <b>Nature des tags</b>       | Passif   | Passif                                      | Actif/Passif                      | Actif                           |
| <b>Quelques applications</b> | Identification animale ;<br>Systèmes d'alarme. | Prépaiement ;<br>Forfait de station de ski. | Inventaire ;<br>Gestion d'actifs. | RTL ;<br>Télépéage autoroutier. |

**Tableau 2.3.** Différentes fréquences des systèmes RFID [24].

La comparaison de différents systèmes de radio-identification en termes de distance, débit, pénétration et cout, est représentée dans le tableau 2.4.

| RFID système       | Fréquence   | Distance | Débit | Pénétration | Cout |
|--------------------|-------------|----------|-------|-------------|------|
| <b>LF</b>          | 125-134 KHz | +        | +     | ++++        | ++   |
| <b>HF</b>          | 13.56 MHz   | ++       | ++    | +++         | ++++ |
| <b>UHF</b>         | 860-960 MHz | +++      | +++   | ++          | ++++ |
| <b>Micro-ondes</b> | 2.4-5.8GHz  | ++       | ++++  | +           | ++   |

**Tableau 2.4.** Comparaison de différentes bandes de la technologie RFID [23].

D'après le tableau 2.4, les bandes de fréquence UHF offrent une moins bonne pénétration du signal à travers les obstacles que la bande HF, mais elles permettent d'atteindre des distances de lecture plus grandes et un débit d'échange d'informations plus important.

## 2.7 Avantages et inconvénients d'un système RFID

Le tableau 2.5 résume les différents avantages et inconvénients de la technologie RFID [26].

| Avantages  | Inconvénients   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>-Grand volume de données ;</li> <li>-Sécurité d'accès au contenu ;</li> <li>-Souplesse dans le positionnement ;</li> <li>-Possibilité de mise à jour du contenu.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Le cout ;</li> <li>-La perturbation par l'environnement physique ;</li> <li>-La sensibilité aux ondes électromagnétique parasites.</li> </ul> |

Tableau 2.5. Quelque avantages et inconvénients de la technologie RFID [26].

## 2.8 Etat de l'art sur les antennes lecteurs RFID UHF commercialisées

Dans le commerce, on peut trouver plusieurs solutions d'antennes pour les lecteurs RFID. Le tableau 2.6 présente quelques prototypes d'antennes pour lecteur RFID

| Types d'antennes   | Fréquences de fonctionnement | Dimensions              | Aperçus des antennes  |
|--|------------------------------|-------------------------|---|
| <b>Times-7RFID Race Timing Antenna System (FCC/ETSI).</b>      | (902-928 MHz),(864-869 MHz)  | 1220 x 600 x 12 mm      |     |
| <b>Invengo XC-AF26 RFID Antenne (FCC).</b>                     | (902-928 MHz)                | 431 x 431 x 60 mm       |    |
| <b>MTI MT-262006/TRH/A/K (RHCP) Outdoor RFID Antenna (FCC)</b> | (902-928 MHz)                | 305 x 305 x 25 mm       |  |
| <b>LAIRD PA9-12 (LP) OUTDOOR RFID ANTENNA (FCC)</b>            | (902-928 MHz)                | 411.5 x 373.4 x 35.5 mm |  |

|  |                             |                    |  |
|--|-----------------------------|--------------------|--|
| <b>TIMES-7 A5530 (CIRCULAR) OUTDOOR RFID ANTENNA</b> | (902-928 MHz),(864-869 MHz) | 1220 x 600 x 12 mm |  |
| <b>ALIEN ALR-9650 INTEGRATED RFID READER</b>         | (902-928 MHz)               | 232 x 229 x 51 mm  |  |

Tableau 2.6. Quelques antennes lecteurs RFID UHF commercialisées [27].

## 2.9 Conclusion

Dans ce chapitre, après une brève présentation de la technologie RFID en donnant son principe de fonctionnement, historique et quelques applications, nous avons décrit ses différents constituants à savoir : le lecteur, les tags et système de traitement de données. Des tableaux de comparaison ont été fournis afin de comparer les différents types de tags ainsi que les fréquences de fonctionnement. Enfin, un état de l'art sommaire et non exhaustif de différentes antennes pour lecteurs RFID a été présenté.

Le chapitre suivant concerne la simulation et la conception d'antennes pour lecteur RFID UHF.

# Chapitre 3 Conception et simulation d'antennes pour lecteur RFID-UHF

---

## 3.1 Introduction

La RFID-UHF constitue la norme la plus utilisée dans l'identification par radiofréquence [28]. Un système RFID se compose principalement de deux composants qui sont le tag et le lecteur. Un élément clé de ce dernier est l'antenne car sa performance influe directement sur la portée de lecture. En plus d'être directive, l'antenne du lecteur doit également couvrir la totalité de la bande RFID UHF.

Pour répondre à ces besoins, l'objectif dans ce chapitre est de concevoir et de simuler une antenne à fort gain et fonctionnant dans la totalité de la bande RFID UHF (860-960 MHz). Ainsi, deux antennes imprimées ont été dimensionnées, simulées et optimisées. Les performances de simulation obtenues montrent le bon fonctionnement de ces antennes.

Ce chapitre est organisé comme suit. Après la présentation du cahier des charges requis plusieurs configurations à base de patch rectangulaire classique ont été proposées et simulées. En cause de leurs faibles bandes passantes, deux techniques d'élargissement de bande ont été utilisées avec succès : introduction d'une fente de type U et alimentation à l'aide d'une sonde de type L. Les performances en simulation de ces antennes seront présentées et discutées. Enfin des études paramétriques ont permis de mieux comprendre le fonctionnement de ces antennes.

## 3.2 Spécifications techniques (cahier des charges)

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

Le substrat utilisé pour cette conception est le FR4 ( $\epsilon_r=4.4$ , épaisseur=1.6mm et  $\tan\delta=0.0013$ ) pour son faible coût et sa disponibilité.

| Performance                     | Spécification             |
|---------------------------------|---------------------------|
| <b>Bande passante</b>           | [860-960]MHz ou 11 %      |
| <b>Gain</b>                     | > 6 dBi                   |
| <b>Taille</b>                   | La plus compacte possible |
| <b>Adaptation</b>               | $ S_{11}  < -10$ dB       |
| <b>Diagramme de rayonnement</b> | Unidirectionnel           |

**Tableau 3.1.** Cahier des charges.

L'outil de simulation électromagnétique utilisé est IE3D de ZELAND [29], adapté à la simulation des antennes imprimées. Plus de détails sur ce logiciel sont portés en Annexe2.

### 3.3 Antenne patch rectangulaire classique pour RFID UHF

Dans cette partie on s'intéressera à la conception d'une antenne imprimée de type patch rectangulaire travaillant à la fréquence centrale de la bande RFID UHF, i.e., 910 MHz. Pour rappel, le substrat utilisé est le FR4 ( $\epsilon_r=4.4$ , épaisseur=1.6mm et  $\tan\delta=0.0013$ ). Dans un premier temps, les dimensions analytiques de l'antenne ont été calculées à partir des équations A1.5 – A1.7 de l'Annexe 1. Afin de faciliter ce calcul, un script MATLAB, dont le détail est donné en Annexe 3, a été développé. La dimension du plan de masse a été fixée à deux fois la dimension du patch rectangulaire.

Dans un deuxième temps, les simulations électromagnétiques par l'outil IE3D ont porté sur trois types d'excitations directes à savoir : ligne microruban 50  $\Omega$ , transformateur d'impédance et enfin sonde coaxiale. Trois antennes ont été ainsi dimensionnées et seront présentées par la suite.

### 3.3.1 Antenne patch alimentée par une ligne microruban

Le modèle de simulation d'une telle structure est celui illustré sur la figure 3.1. La largeur de la ligne d'excitation ( $w_f$ ) de type microruban a été prise égale à 3mm afin d'assurer une impédance caractéristique de  $50\Omega$ . La longueur ( $y_0$ ), correspondante à une impédance d'entrée du patch à  $50\Omega$ , a été déterminée à l'aide de l'équation A1.5 de l'Annexe 1. Les dimensions analytiques de cette antenne sont résumées dans le tableau 3.2.

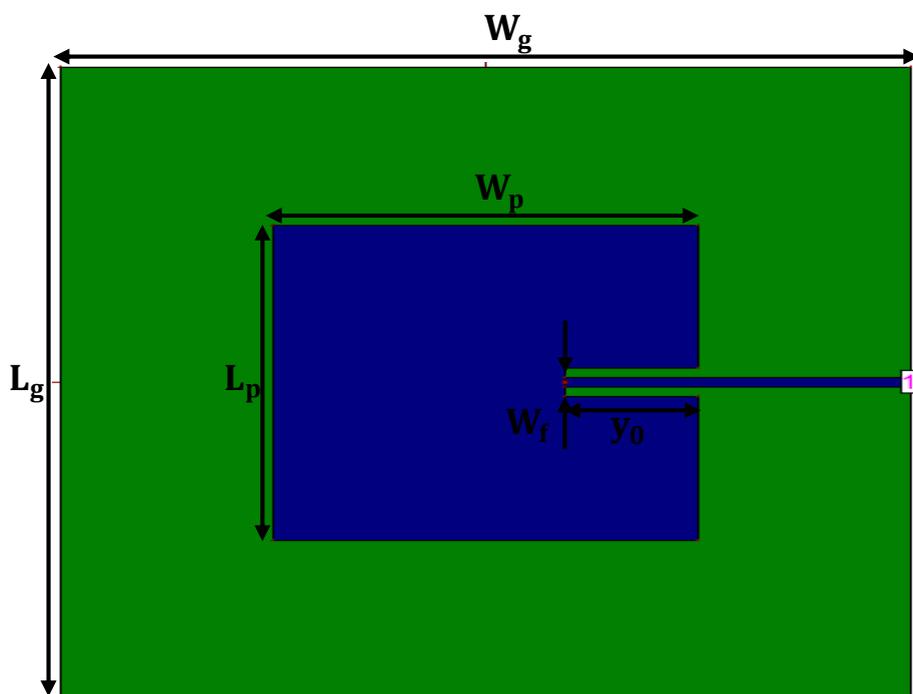
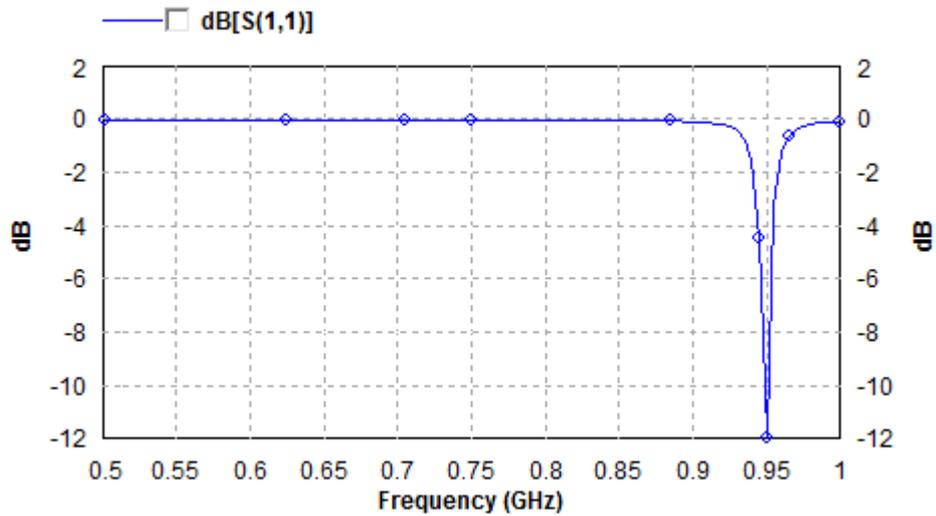


Figure 3.1. Géométrie de l'antenne patch alimentée par une ligne microrubansous IE3D.

| Paramètre   | $L_g$ | $W_g$ | $L_p$ | $W_p$ | $y_0$ | $W_f$ |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Valeur (mm) | 200.4 | 156.8 | 100.2 | 78.4  | 27    | 3     |

Tableau 3.2. Dimensions théoriques de l'antenne patch alimentée par une ligne microruban

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

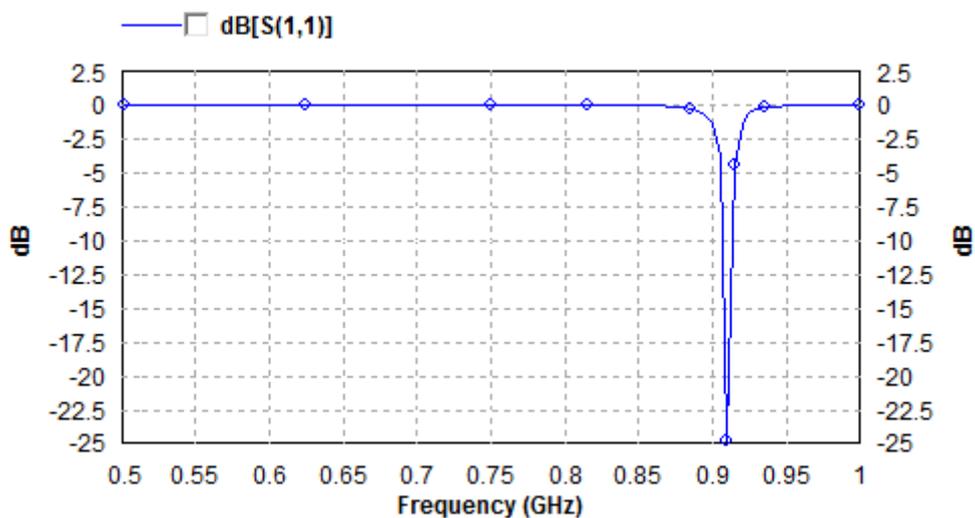


**Figure 3.2.** Coefficient de réflexion de l’antenne patch alimentée par une ligne microruban.

La figure 3.2 montre un décalage de fréquence de fonctionnement. En effet, au lieu d’obtenir une fréquence centrée à 910 MHz, la simulation indique une fréquence de 950 MHz. Les nouvelles dimensions optimisées pour retrouver la fréquence de fonctionnement sont données dans le tableau 3.3. Le coefficient de réflexion de l’antenne optimisée est montré par la figure 3.3.

| Paramètre   | $L_g$ | $W_g$ | $L_p$ | $W_p$ | $y_0$ | $W_f$ |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Valeur (mm) | 200.4 | 166   | 100.2 | 83    | 27    | 3     |

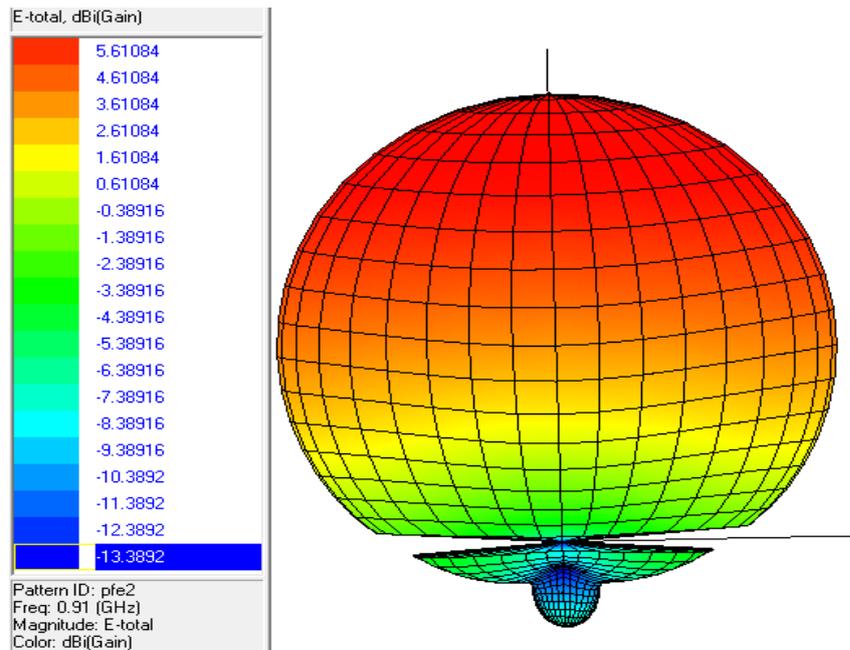
**Tableau 3.3.** Dimensions de l’antenne patch après optimisation sur IE3D.



**Figure 3.3.** Coefficient de réflexion de l’antenne patch optimisée.

D'après la figure 3.3, la fréquence est maintenant centrée à 910 MHz avec une bonne adaptation ( $|S_{11}|=-24.81$  dB).Cependant, la bande passante relative enregistrée est de seulement 0.88%.

Le diagramme de rayonnement en 3D à la fréquence 910 MHz est illustré par la figure 3.4. Il est à noter un gain maximal de 5.61 dBi.



**Figure 3.4.** Diagramme de rayonnement 3D de l'antenne patch alimentée par une ligne microruban.

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

Cette méthode consiste de relier la ligne microruban directement au bord de l'antenne en utilisant un adaptateur d'impédance de type quart d'onde. Ce dernier est placé entre la ligne microruban 50Ω et l'antenne dont l'impédance d'entrée est généralement différente de 50Ω.

L'impédance caractéristique d'un transformateur quart d'onde ( $Z_T$ ) est donnée par :

$$Z_T = \sqrt{Z_C * Z_L} \tag{3.1}$$

Où  $Z_C$  est l'impédance caractéristique de la ligne microruban,  $Z_L$  est l'impédance à l'entrée du patch qui peut être déterminée à partir de l'équation 157 e l'annexe 1 en prenant  $Y_0=0$ .

La longueur du transformateur ( $L_T$ ) peut être calculée comme suit :

$$L_T = \frac{\lambda_g}{4} = \frac{\lambda_0}{4\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (3.2)$$

$\lambda_0$  : Longueur d'onde de guide.

$\lambda_g$  : Longueur d'onde en espace libre.

L'outil LINE GAUGE d'IE3D a été utilisé pour le calcul des caractéristiques des lignes microruban de ce transformateur.

Le modèle de simulation sur IE3D de l'antenne patch avec le transformateur quart d'onde en technologie microruban est représenté sur la figure 3.5.

Les dimensions finales (après optimisation) de cette antenne sont résumées dans le tableau 3.4.

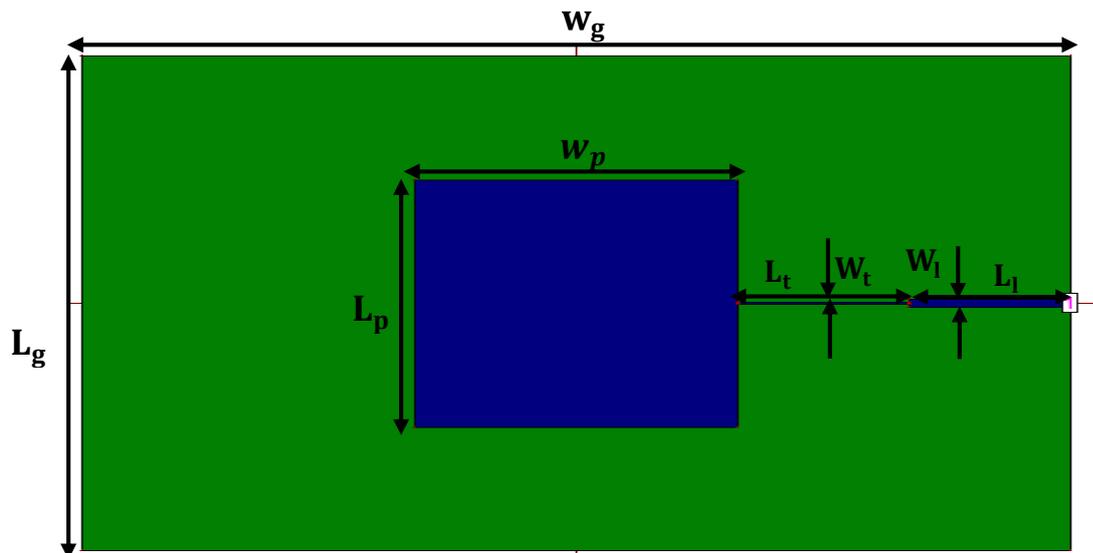


Figure 3.5. Géométrie de l'antenne patch avec transformateur quart d'onde sous IE3D.

| Paramètre  | $L_g$ | $W_g$ | $L_p$ | $W_p$ | $L_t$ | $L_l$ | $W_t$ | $W_l$ |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Valeur(mm) | 208   | 250   | 104   | 81.6  | 43.11 | 41.11 | 0.71  | 3     |

Tableau 3.4. Dimensions de l'antenne patch avec transformateur quart d'onde.

La figure 3.6 représente le coefficient de réflexion à l'entrée de l'antenne patch ayant les dimensions optimisées du tableau 3.4.

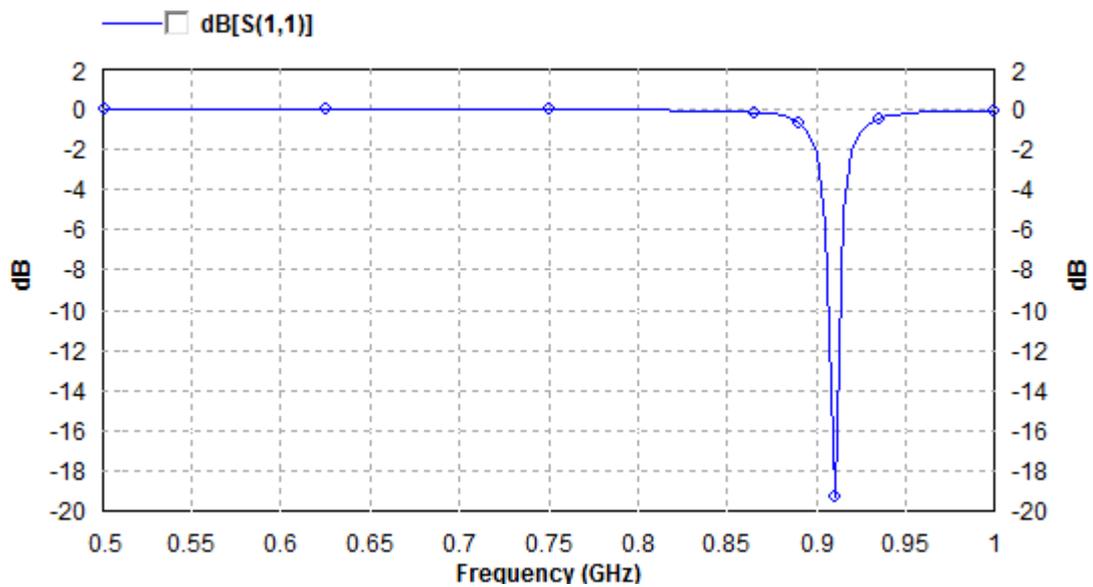
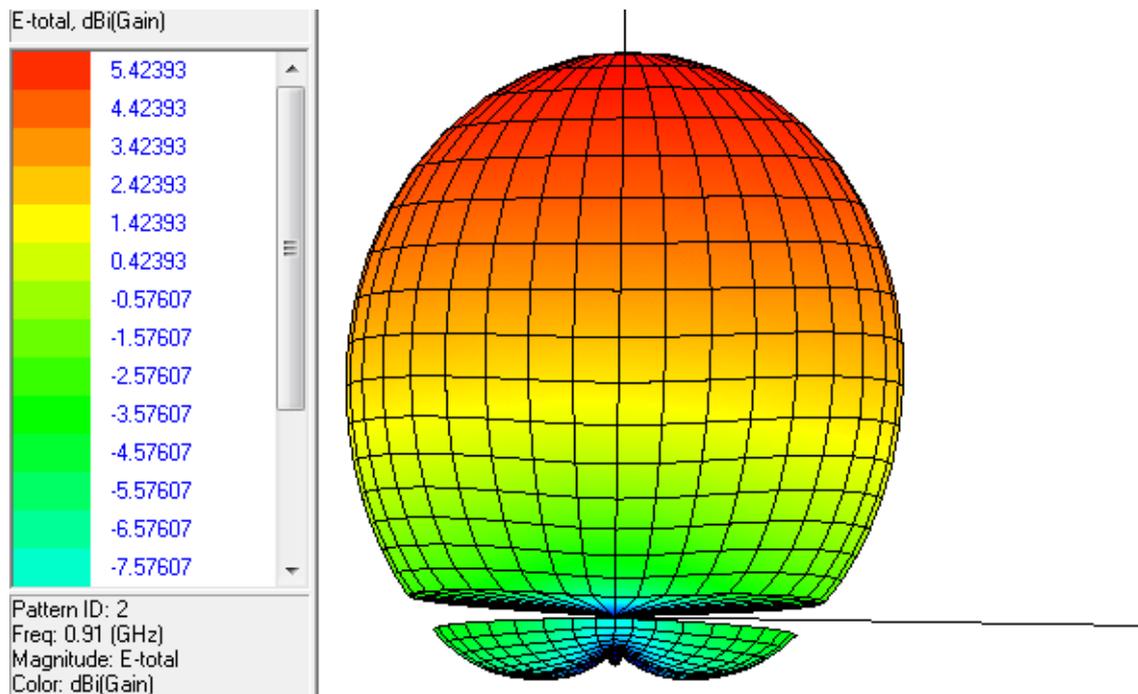


Figure 3.6. Coefficient de réflexion de l'antenne patch avec transformateur quart d'onde.

L'analyse de ce résultat (figure 3.6), indique que la fréquence est centrée à 910 MHz avec une bonne adaptation ( $|S_{11}| = -19.22\text{dB}$ ) et une bande passante limite de 1%.

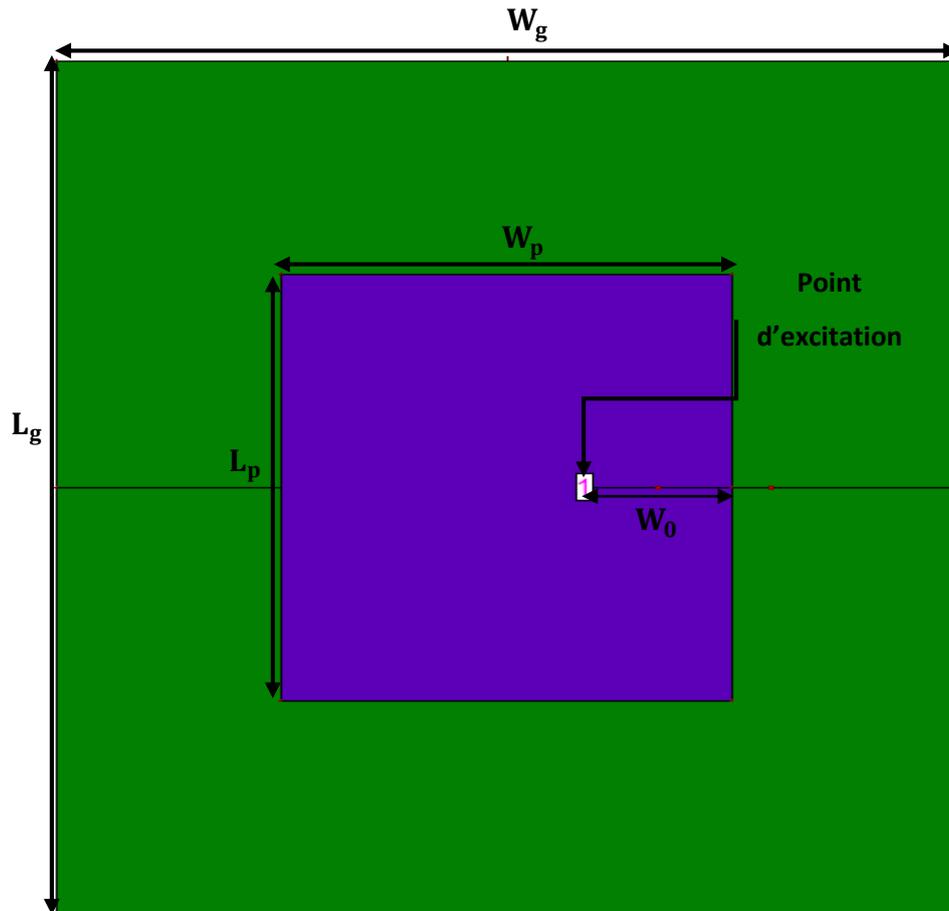
Le diagramme de rayonnement en 3D à la fréquence 910 MHz est donné par la figure 3.7. Il est à noter un gain maximal de 5.42 dBi.



**Figure 3.7.** Diagramme de rayonnement 3D de l'antenne patch avec transformateur quart d'onde.

### 3.3.3 Antenne patch alimentée par une sonde coaxial

Contrairement aux deux solutions d'excitation présentées précédemment, l'antenne patch de cette partie est alimentée en utilisant une sonde coaxiale. Le modèle de simulation sur IE3D de cette configuration est montré par la figure 3.8. La position du point d'excitation a été choisie afin d'assurer une impédance d'entrée du patch à  $50\Omega$ . Le tableau 3.5 résume les dimensions optimisées de l'antenne patch alimentée par une sonde coaxiale fonctionnant à 910 MHz.

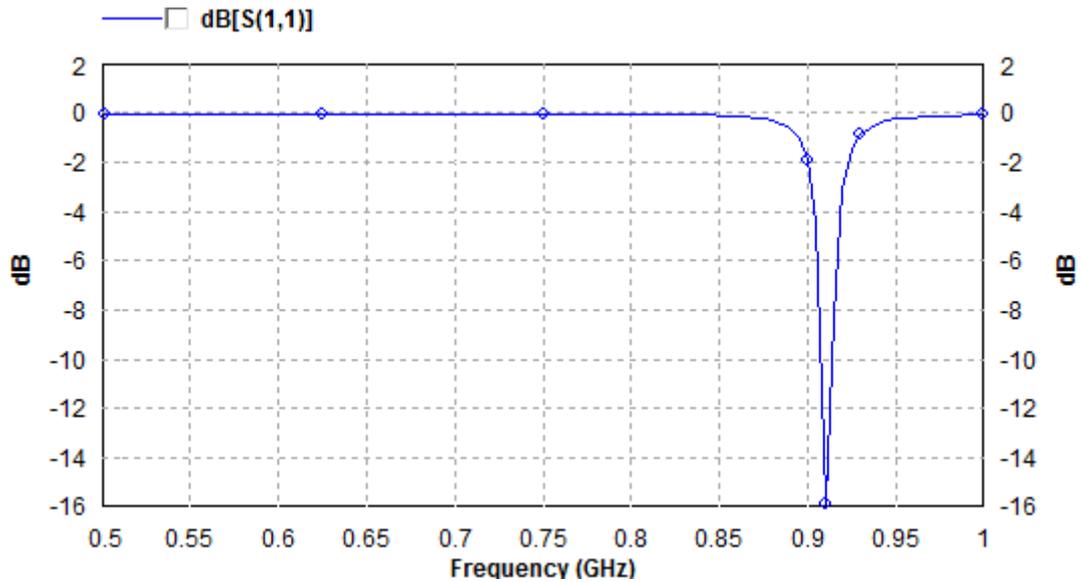


**Figure 3.8.** Géométrie de l'antenne patch alimentée par une sonde coaxial sous IE3D.

| Paramètre   | $L_g$ | $W_g$ | $L_p$ | $W_p$ | $W_0$ |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Valeur (mm) | 200.4 | 162   | 100.2 | 81.5  | 14    |

**Tableau 3.5.** Dimensions de l'antenne patch alimentée par une sonde.

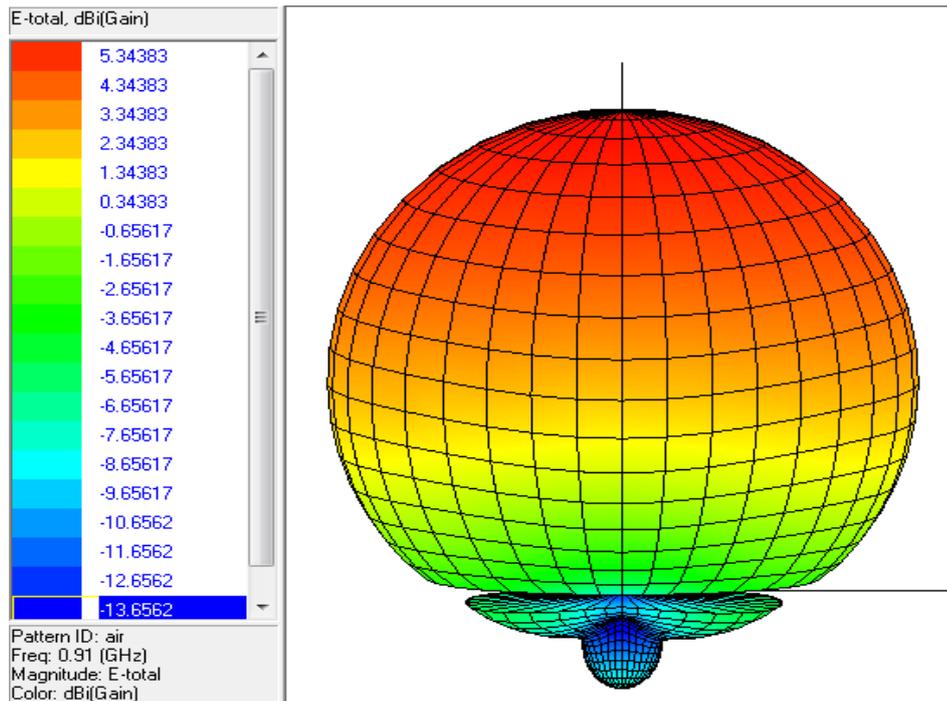
La figure 3.9 représente le coefficient de réflexion à l'entrée de l'antenne patch ayant les dimensions optimisées du tableau 3.5.



**Figure 3.9.** Coefficient de réflexion de l'antenne patch alimentée par une sonde coaxial.

L'analyse de ce résultat (figure 3.9), indique que la fréquence est centrée à 910 MHz avec une bonne adaptation ( $|S_{11}| = -15.86$  dB), et avec une faible bande passante de 1.53%.

La figure 3.10 représente le diagramme de rayonnement en 3D à la fréquence 910 MHz. Le gain maximal est de 5.34 dBi.

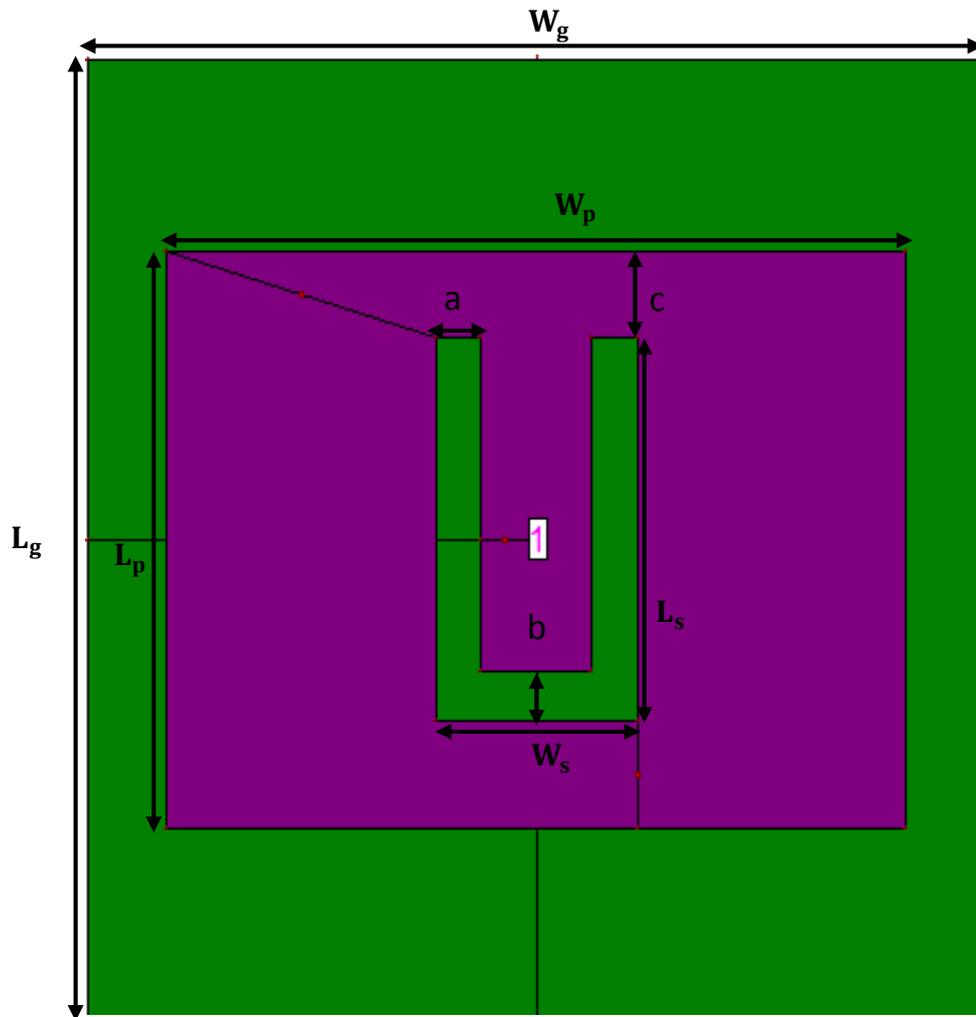


**Figure 3.10.** Diagramme de rayonnement en 3D de l'antenne patch alimenté par sonde coaxial.

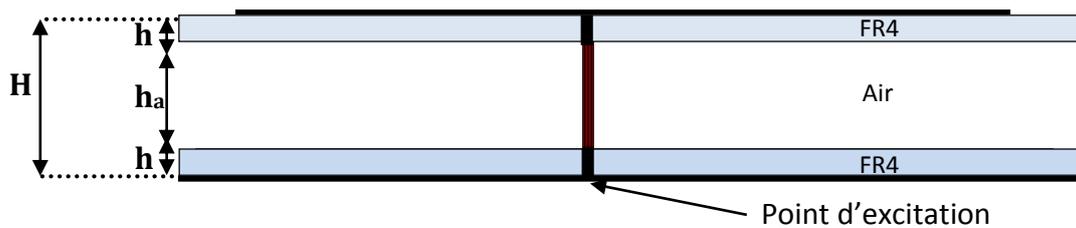
Contrairement à nos attentes, la simulation électromagnétique des trois antennes de type patch rectangulaire classique a montré deux inconvénients : (1) Une bande passante très faible (de l'ordre de 1 %) et (2) un gain insuffisant (inférieur à 6 dBi). Ceci dit, ces antennes ne satisfassent pas le cahier des chargés initialement fixé. Des techniques pour l'élargissement de bande passante seront investiguées par la suite.

### 3.4 Antenne patch rectangulaire avec une fente de forme U

Afin d'augmenter la bande passante de l'antenne patch classique de la partie précédente, deux modifications ont été apportées : (1) Augmenter la hauteur H du patch en introduisant une couche d'air et (2) Ajout d'une fente de forme U (U-Slot) dans la partie rayonnante du patch. Le modèle de simulation de cette configuration est présenté par la figure 3.11. Le patch rectangulaire ainsi que son plan de masse sont imprimés chacun sur un substrat de type FR4 ( $h=1.6\text{mm}$  et  $\epsilon_r=4.4$ ) et sont séparés par une couche d'air d'épaisseur  $h_a$ . Le point d'excitation de type sonde coaxiale s<sup>2</sup>e situe au milieu du patch rectangulaire. Les dimensions après optimisation de cette antenne sont résumées dans tableau 3.6.



(a) Vue de dessus



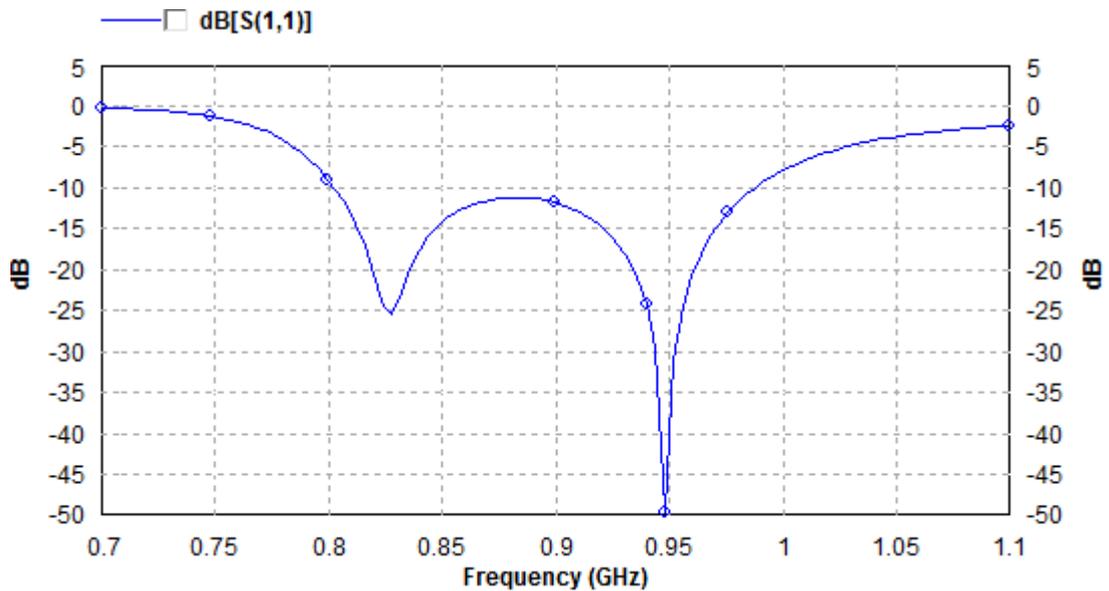
(b) Vue de côté

Figure 3.11. Modèle de simulation IE3D de l'antenne patch avec U-slot.

| Paramètre   | $L_g$ | $W_g$ | $L_p$ | $W_p$ | $L_s$ | $W_s$ | a  | b  | c    | H   | $h_a$ | H  |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|----|------|-----|-------|----|
| Valeur (mm) | 200   | 200   | 120.5 | 164.7 | 80    | 45    | 10 | 10 | 17.9 | 1.6 | 26.8  | 30 |

Tableau 3.6. Dimensions de l'antenne patch avec U-slot.

Le coefficient de réflexion à l'entrée de l'antenne patch avec fente de forme U est illustré par la figure 3.12.



**Figure 3.12.** Coefficient de réflexion à l'entrée de l'antenne patch avec fente de forme U.

L'analyse de la figure 3.12 montre que l'antenne est bien adaptée ( $|S_{11}| < -10$  dB) d'une large bande passante de 802 à 986 MHz (20.58%) couvrant ainsi la totalité de la bande RFID UHF (860 à 960 MHz).

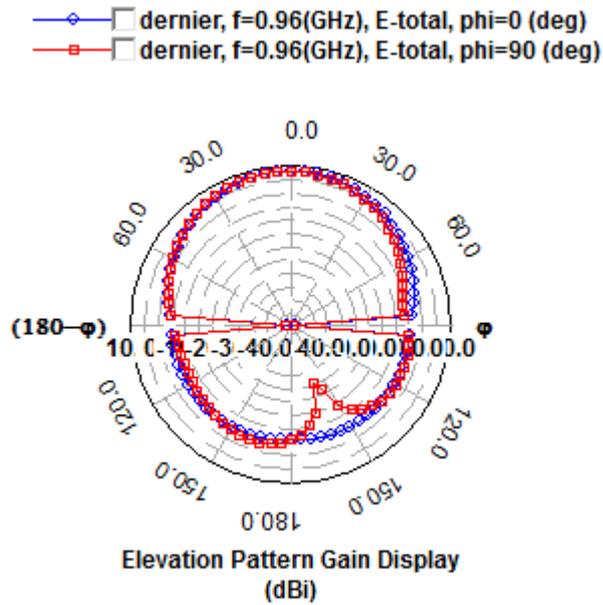
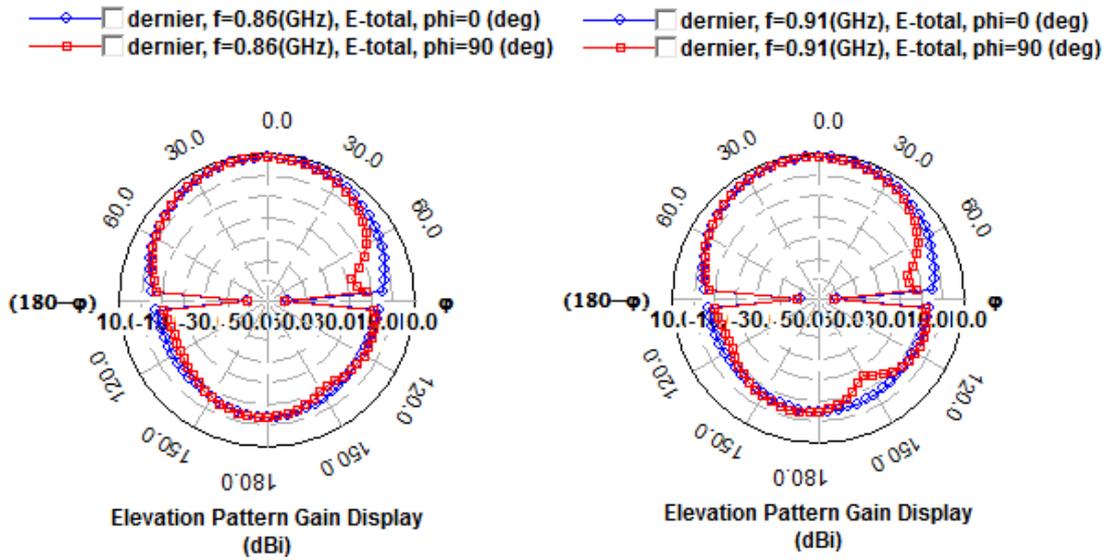
Les diagrammes de rayonnement (plan E et H) à 860, 910 et 960MHz sont illustrés par la figure 3.13. Le diagramme de rayonnement en 3D est donné uniquement à la fréquence centrale ( $f=910$  MHz) et est illustré par la figure 3.14.

Les gains max et les F/B (*Front to Back ratio*) aux fréquences 860, 910 et 960MHz sont récapitulés dans le tableau 3.7. La figure 3.15 indique la variation du gain en fonction de la fréquence.

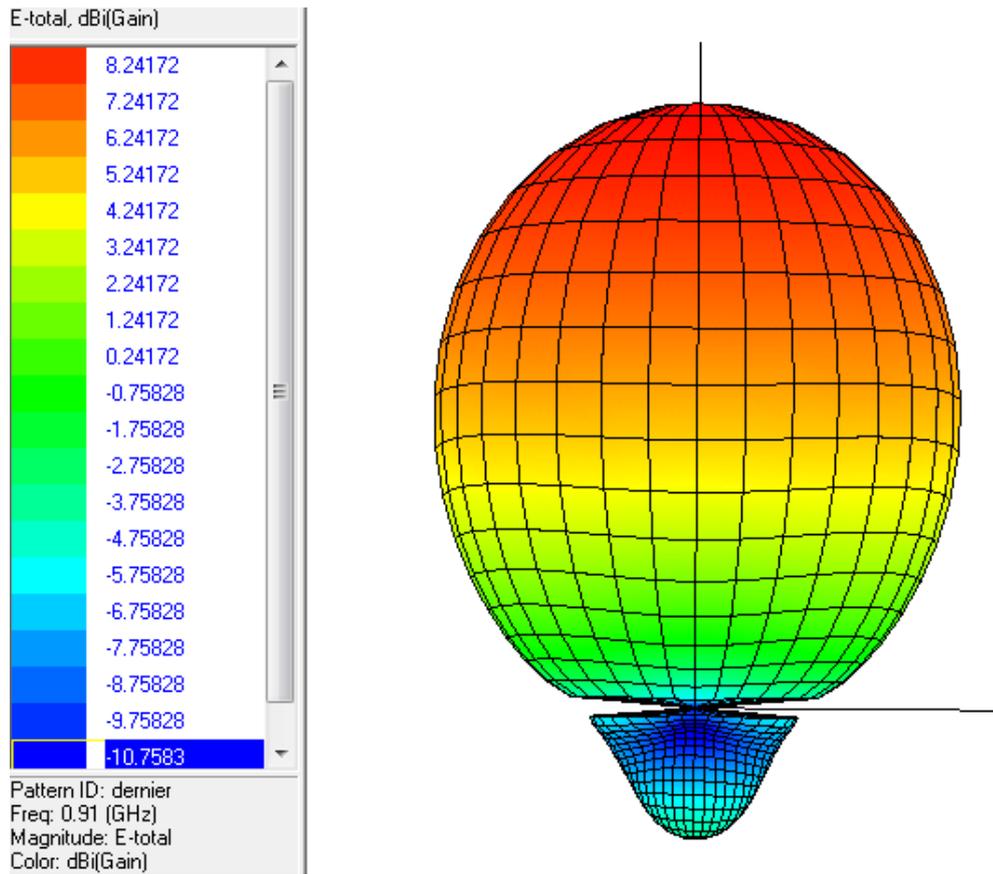
| Fréquences (MHz) | 860  | 910  | 960  |
|------------------|------|------|------|
| Gain max (dBi)   | 8.18 | 8.24 | 7.91 |
| F/B (dB)         | 13   | 14   | 14.4 |

**Tableau 3.7.** Gains max et F/B aux fréquences 860, 910 et 960MHz.

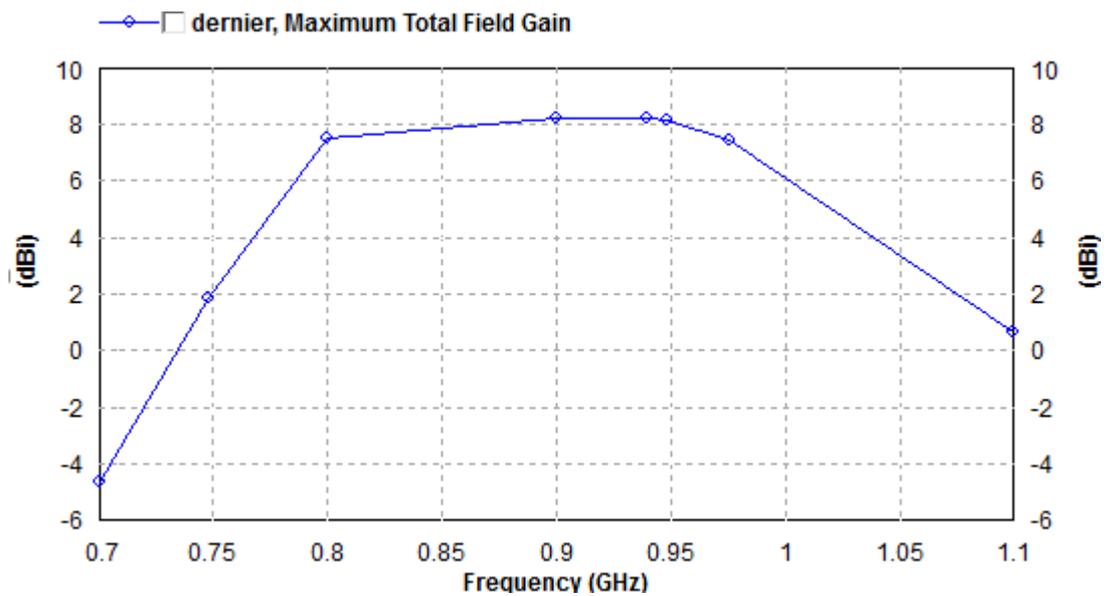
En conclusion, les diagrammes de rayonnement aux trois fréquences sont assez similaires et sont relativement unidirectionnel ( $F/B > 10\text{dB}$ ). Les valeurs des gains max obtenus par simulation respectent bien le cahier des charges fixé précédemment.



**Figure 3.13.** Diagrammes de rayonnement en 2D de l’antenne patch avec U-Slot.



**Figure 3.14.** Diagrammes de rayonnement en 3D de l'antenne patch avec U-Slot à la fréquence 910 MHz.



**Figure 3.15.** Variation du gain en fonction de la fréquence de l'antenne patch avec U-Slot.

### 3.5 Antenne patch alimentée par couplage en utilisant une sonde de forme L inversé

Dans cette partie, une excitation par couplage a été utilisée pour améliorer la bande passante étroite de l'antenne patch classique. Le modèle de simulation IE3D de cette antenne est illustré par la figure 3.16. Le patch rectangulaire ainsi que son plan de masse sont imprimés chacun sur un substrat de type FR4 ( $h=1.6$  et  $\epsilon_r=4.4$ ) et sont séparés par une couche d'air d'épaisseur  $h_a$ . L'excitation de cette antenne est réalisée à l'aide d'une sonde de forme L inversé. Les dimensions après optimisation de cette antenne sont résumées dans tableau 3.8.

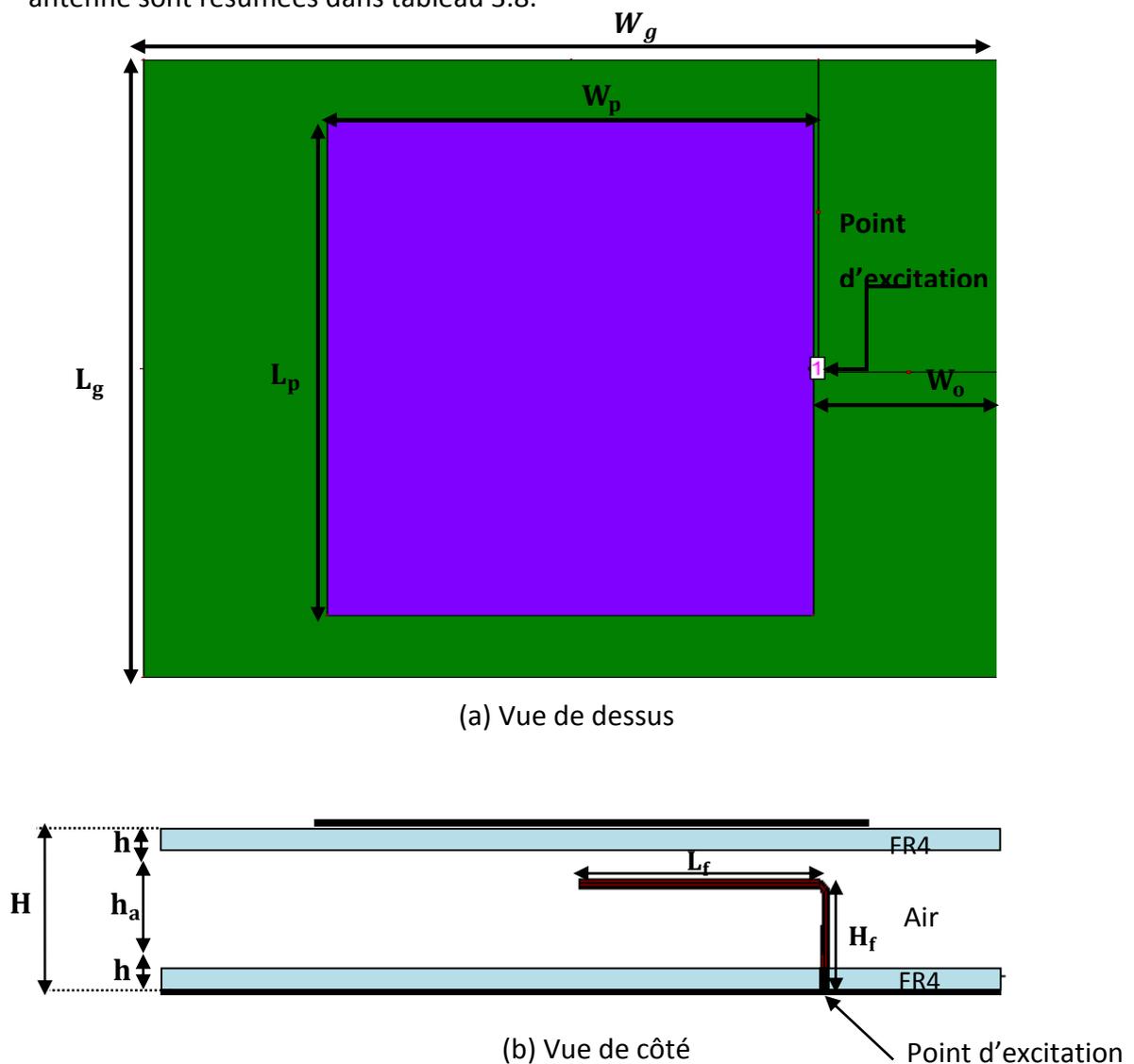
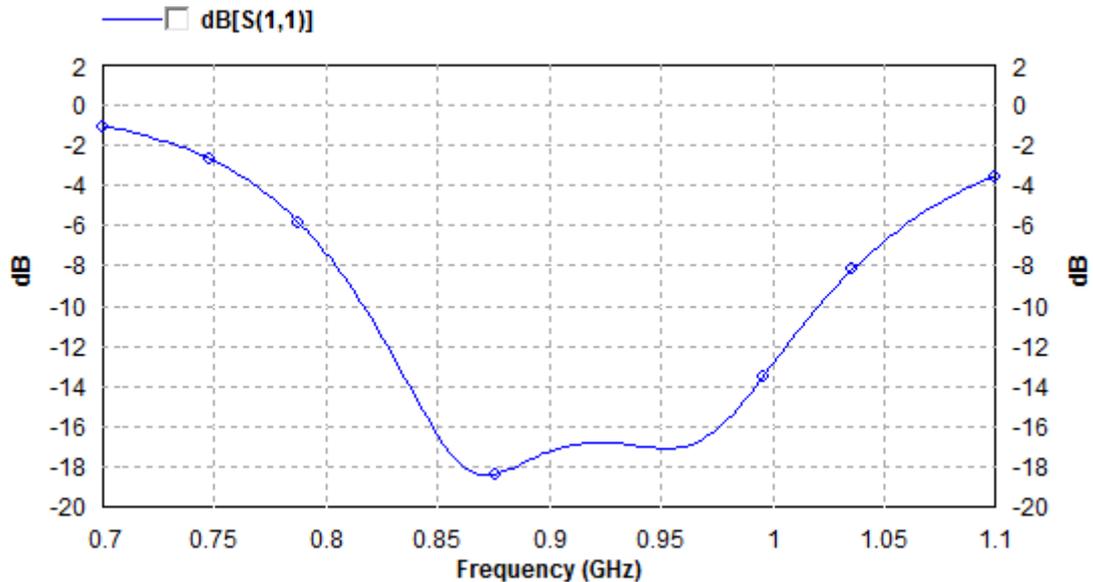


Figure 3.16. Modèle de simulation IE3D de l'antenne patch alimentée par un L inversé.

| Paramètre   | $L_g$ | $W_g$ | $L_p$ | $W_p$ | $L_f$ | $H_f$ | H  | $h_a$ | H   | $W_o$ |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|-------|-----|-------|
| Valeur (mm) | 200   | 200   | 160   | 114   | 59    | 19    | 30 | 26.8  | 1.6 | 57    |

**Tableau 3.8.** Dimensions de l'antenne patch alimentée par un L inversé.

Le coefficient de réflexion à l'entrée de l'antenne patch alimentée par un L inversé est exposé sur la figure 3.17.



**Figure 3.17.** Coefficient de réflexion à l'entrée de l'antenne patch avec un L.

L'analyse de la figure 3.17, montre la bonne adaptation de l'antenne ( $|S_{11}| < -10$  dB), avec une large bande passante de 817 à 1027 MHz (22.77%) couvrant la totalité de la bande RFID UHF (860 à 960 MHz).

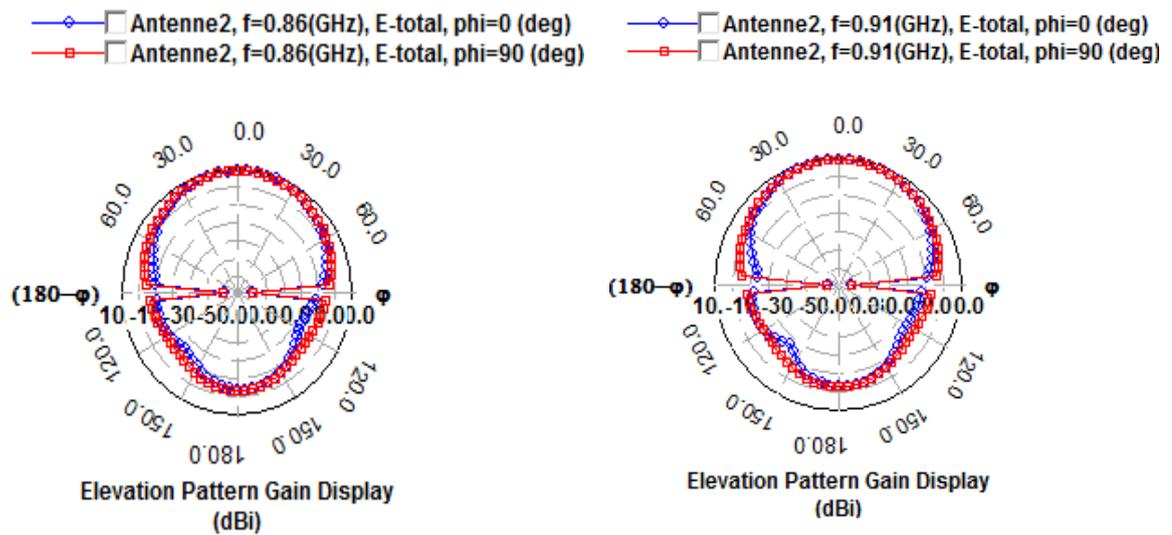
Les diagrammes de rayonnement (plan E et H) à 860, 910 et 960 MHz sont illustrés par la figure 3.18. Le diagramme de rayonnement en 3D est donné uniquement à la fréquence centrale ( $f=910$  MHz) et est illustré par la figure 3.19.

Les gains max et les F/B (*Front to Back ratio*) aux fréquences 860, 910 et 960 MHz sont récapitulés dans le tableau 3.9. La figure 3.20 indique la variation du gain en fonction de la fréquence.

| Fréquences (MHz) | 860  | 910  | 960  |
|------------------|------|------|------|
| Gain (dBi)       | 8.12 | 8.45 | 8.64 |
| F/B (dB)         | 13   | 12.8 | 11.2 |

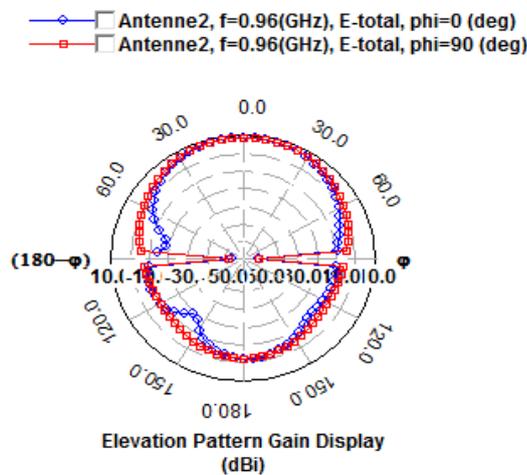
Tableau 3.9. Gains max et F/B aux fréquences 860, 910 et 960MHz.

En conclusion, les diagrammes de rayonnement aux trois fréquences sont assez similaires et sont relativement unidirectionnel (F/B>10dB). Les valeurs des gains max obtenus par simulation respectent bien le cahier des charges fixé précédemment.



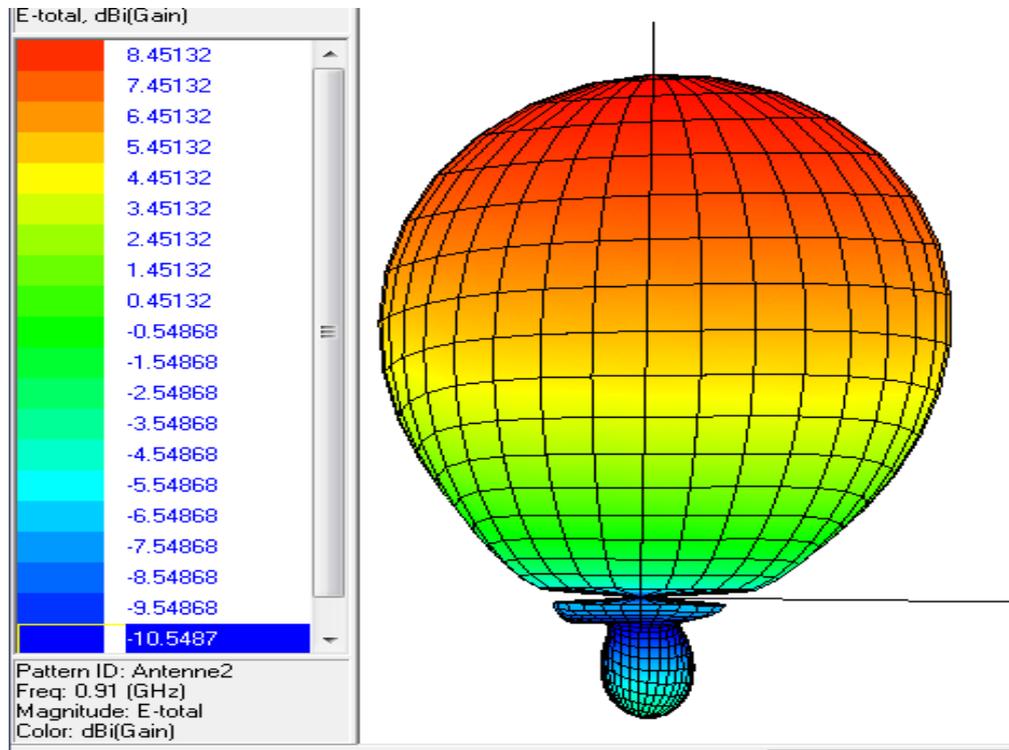
(a) f=860 MHz.

(b) f=910 MHz.

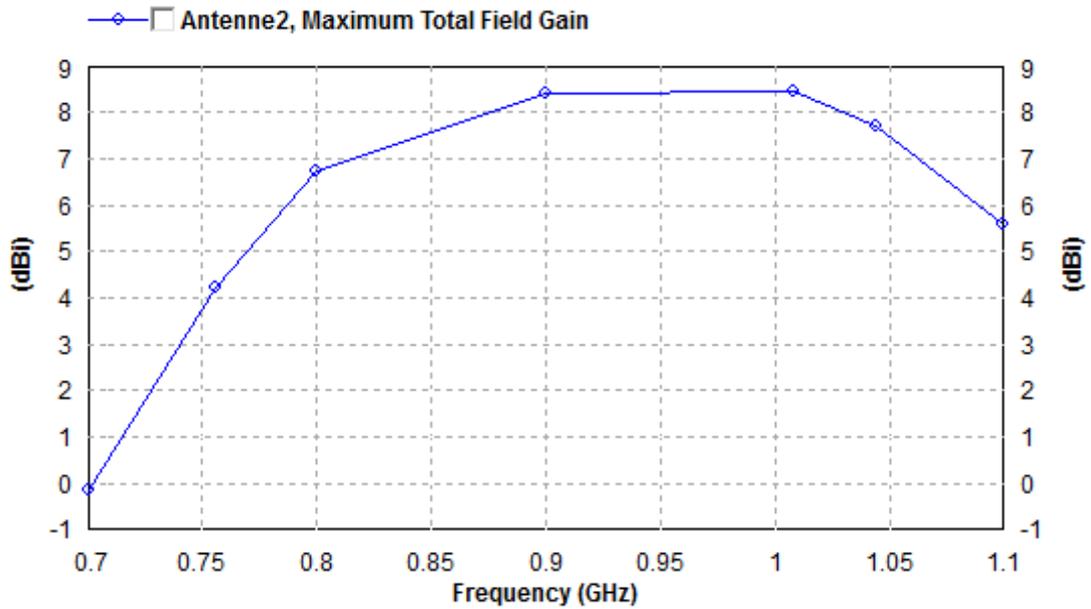


(c) f=960Mhz

**Figure 3.18.** Diagrammes de rayonnement en 2D de l'antenne patch alimentée par un L inversé.



**Figure 3.19.** Diagrammes de rayonnement en 3D de l'antenne patch alimentée par un L inversé à la fréquence 910 Mhz.



**Figure 3.20.** Variation du gain en fonction de la fréquence de l'antenne patch alimentée par un L inversé.

## 3.6 Etudes paramétriques

Dans cette partie, des études paramétriques sur les deux antennes conçues précédemment seront présentées et discutées. Cette étude concerne uniquement les performances en adaptation et en bande passante. Elle est réalisée en variant à chaque fois un paramètre de -5% et +5% et en gardant inchangés les autres paramètres. L'objectif est d'étudier l'influence de chaque paramètre et de comprendre ainsi le fonctionnement de telles antennes.

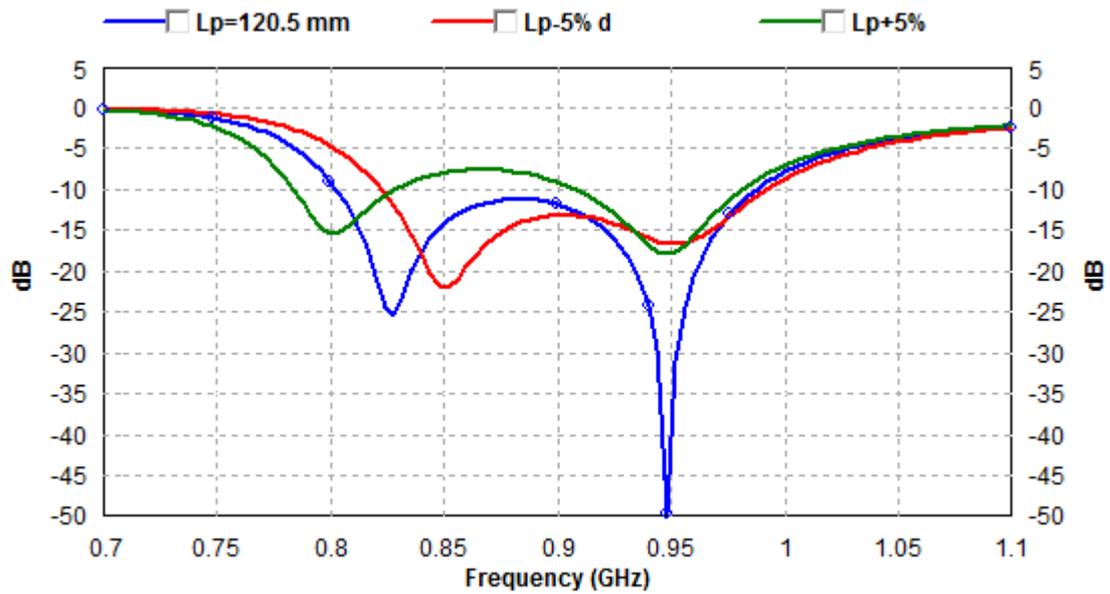
### 3.6.1 Antenne patch avec U-slot

#### *a* Paramètre $L_p$

Dans cette étude, la longueur du patch ( $L_p$ ) a été variée en gardant les autres paramètres constants. La figure 3.21 présente l'effet de la variation de  $L_p$  sur le coefficient de réflexion de l'antenne.

D'après les résultats de la figure 3.21 on constate que la longueur du patch joue principalement sur la fréquence de la première résonance et par conséquent sur la

fréquence minimale de la bande passante. Toutefois, la fréquence de la seconde résonance reste presque inchangée.



**Figure 3.21.** Coefficient de réflexion pour différentes valeur de  $L_p$ .

**b Paramètre  $W_p$**

L'effet de la variation du paramètre  $W_p$  (largeur du patch) sur l'adaptation de l'antenne est montré par la figure 3.22.

L'analyse de la figure 3.22 indique que la variation de la largeur du patch joue très légèrement sur les niveaux d'adaptation et sur la deuxième fréquence de résonance.

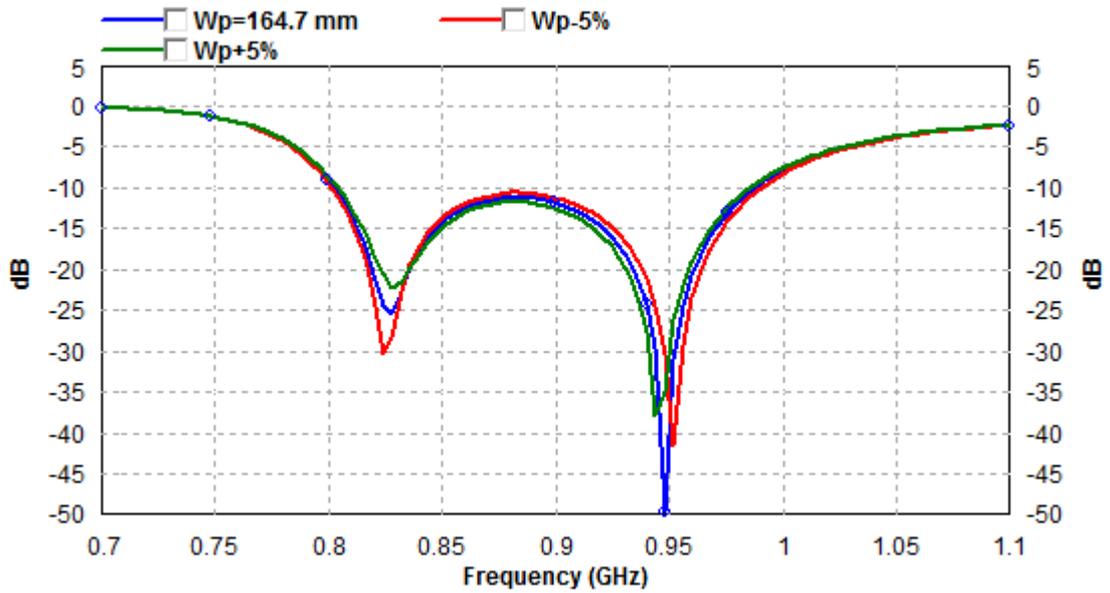


Figure 3.22. Coefficient de réflexion pour différentes valeur de  $W_p$ .

### c Paramètre $L_s$

La variation du paramètre  $L_s$  (longueur du slot) sur le coefficient de réflexion de l'antenne est illustrée par la figure 3.23.

Il est à constater que la longueur du slot influence principalement sur la deuxième fréquence de résonance et par conséquent sur la fréquence maximale de la bande passante. La fréquence de la première résonance reste pratiquement inchangée.

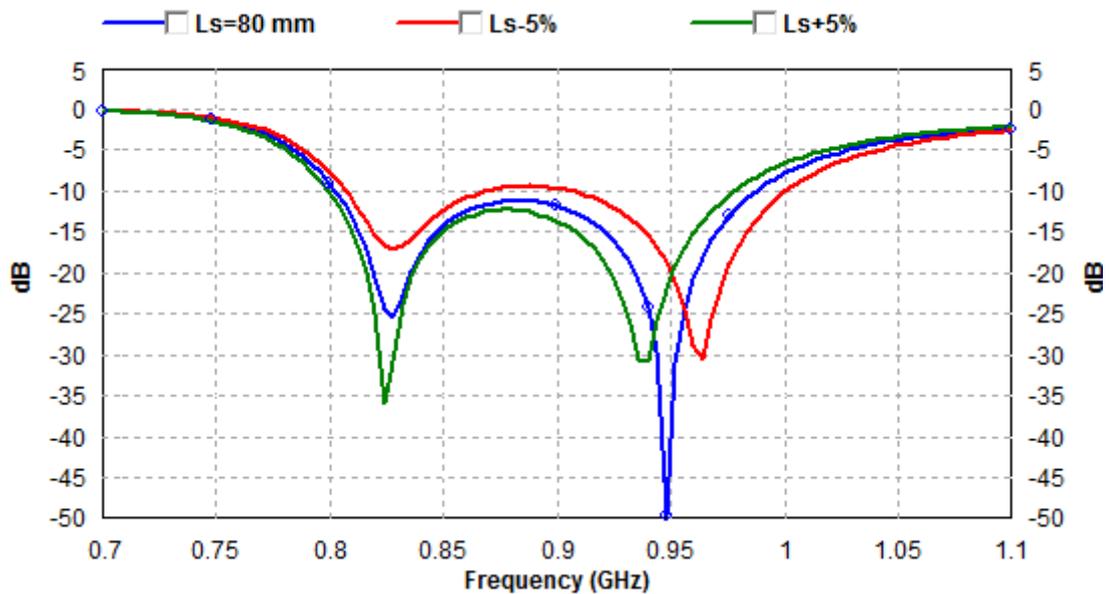


Figure 3.23. Coefficient de réflexion pour différentes valeur de  $L_s$ .

#### d Paramètre $W_s$

Il s'agit d'étudier l'influence de largeur du slot ( $W_s$ ) sur l'adaptation de l'antenne. La figure 3.24 montre l'effet de cette largeur sur le coefficient de réflexion de l'antenne. La largeur du slot joue simultanément sur la première et la deuxième fréquence de résonance tout en gardant relativement la même bande passante.

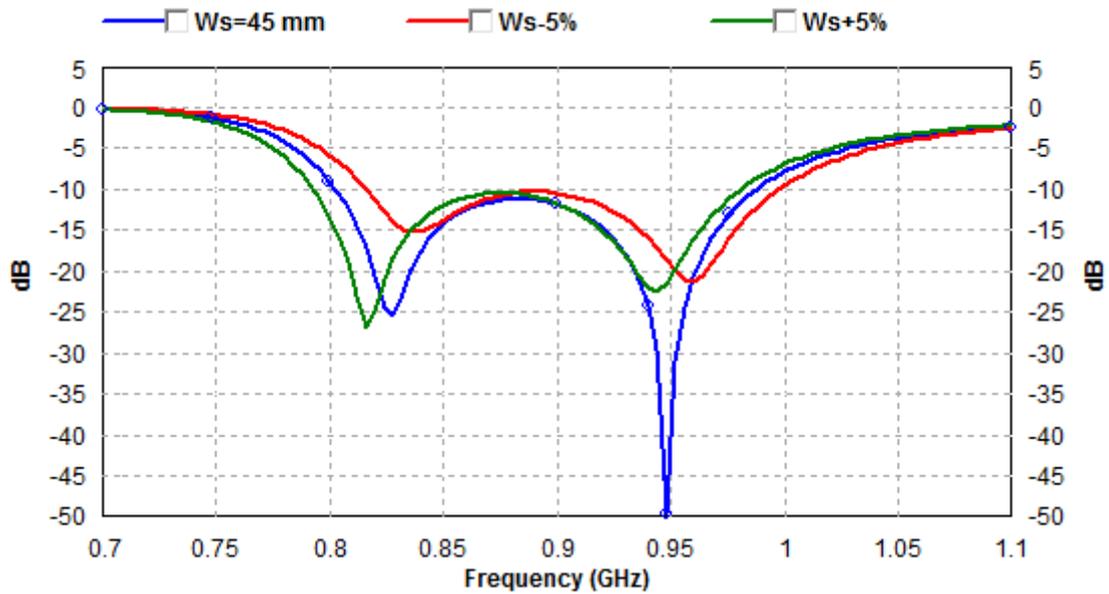


Figure 3.24. Coefficient de réflexion pour différentes valeur de  $W_s$ .

D'après les études paramétriques effectuées les valeurs retenues pour notre antenne sont :

$L_p=120.5$ mm,  $W_p=164.7$ mm,  $L_s=80$ mm et  $W_s=45$ mm. Ces valeurs engendrent l'antenne possédant le meilleur compromis en termes de taille, adaptation et bande passante.

### 3.6.2 Antenne patch alimentée avec une sonde de forme L inversé

### a Paramètre $L_p$

Dans cette étude, la longueur du patch ( $L_p$ ) a été variée en gardant les autres paramètres constants. La figure 3.25 présente l'effet de la variation de  $L_p$  sur le coefficient de réflexion de l'antenne.

D'après les résultats de la figure 3.24, on constate que la longueur du patch ( $L_p$ ) joue un rôle déterminant sur l'adaptation et la bande passante de l'antenne.

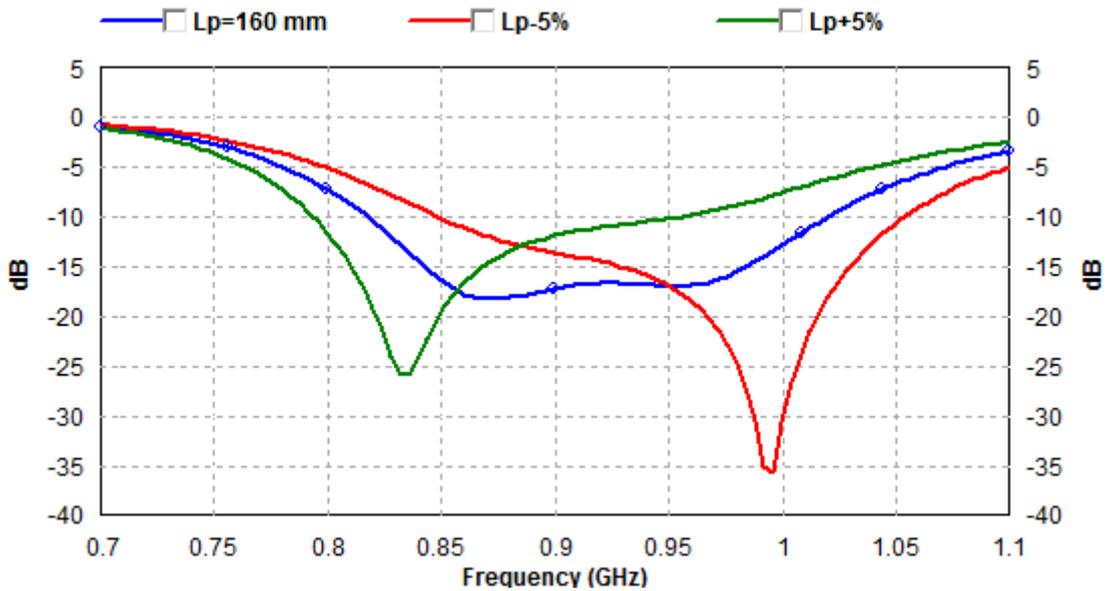


Figure 3.25. Coefficient de réflexion pour différentes valeur de  $L_p$ .

### b Paramètre $W_p$

L'effet de la variation du paramètre  $W_p$  (largeur du patch) sur l'adaptation de l'antenne est illustré par la figure 3.26.

L'analyse de la figure 3.26 indique que la largeur du patch influe légèrement sur les niveaux d'adaptation.

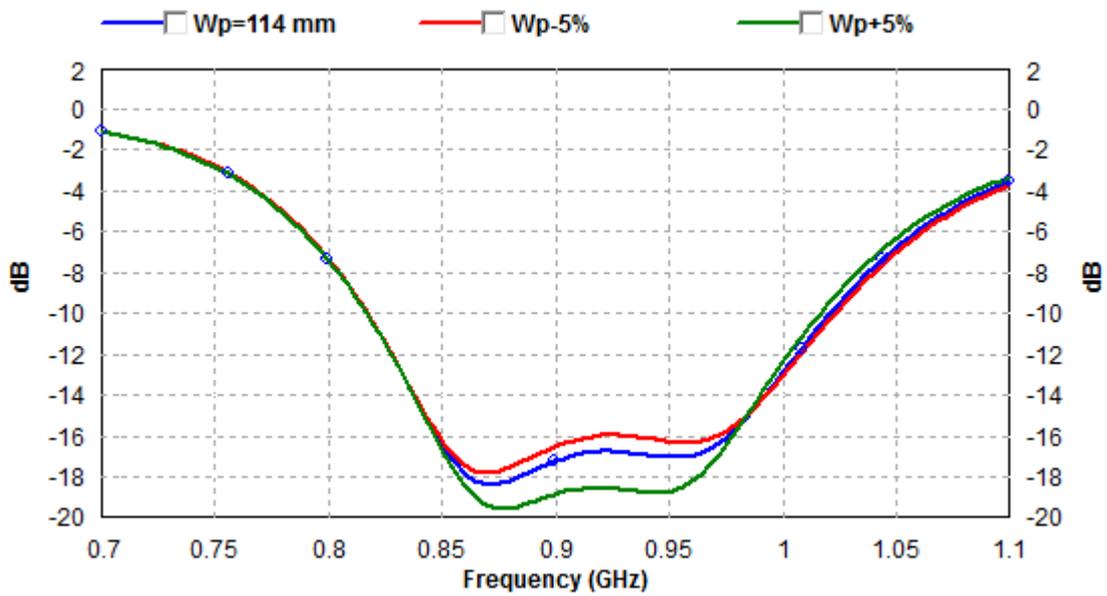


Figure 3.26. Coefficient de réflexion pour différentes valeur de  $W_p$ .

La variation du paramètre  $L_f$  (longueur horizontale de la sonde en L inversé) sur le coefficient de réflexion est montrée par la figure 3.27.

Il est à constater que  $L_f$  s'agit principalement sur les niveaux d'adaptation. Toutefois, ce paramètre n'influe pas beaucoup sur la bande passante.

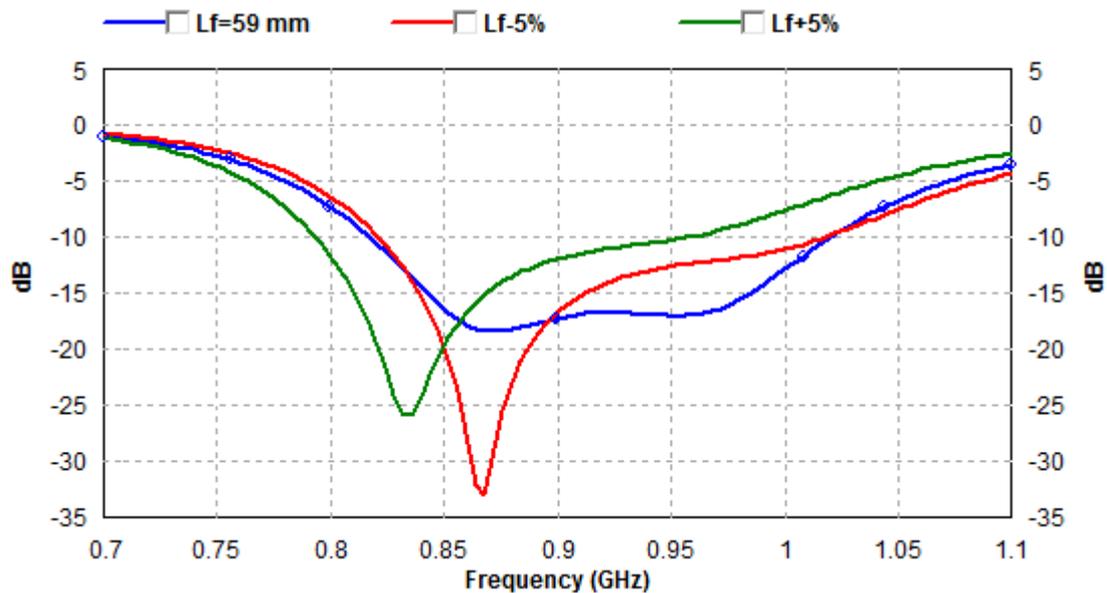


Figure 3.27. Coefficient de réflexion pour différentes valeur de  $L_f$ .

### c Paramètre $H_f$

La figure 3.28 montre l'effet de la variation du paramètre  $H_f$  (longueur verticale de la sonde en L inversé) sur l'adaptation de l'antenne. L'analyse de cette figure montre que  $H_f$  joue non seulement sur les niveaux d'adaptation et sur la bande passante de l'antenne.

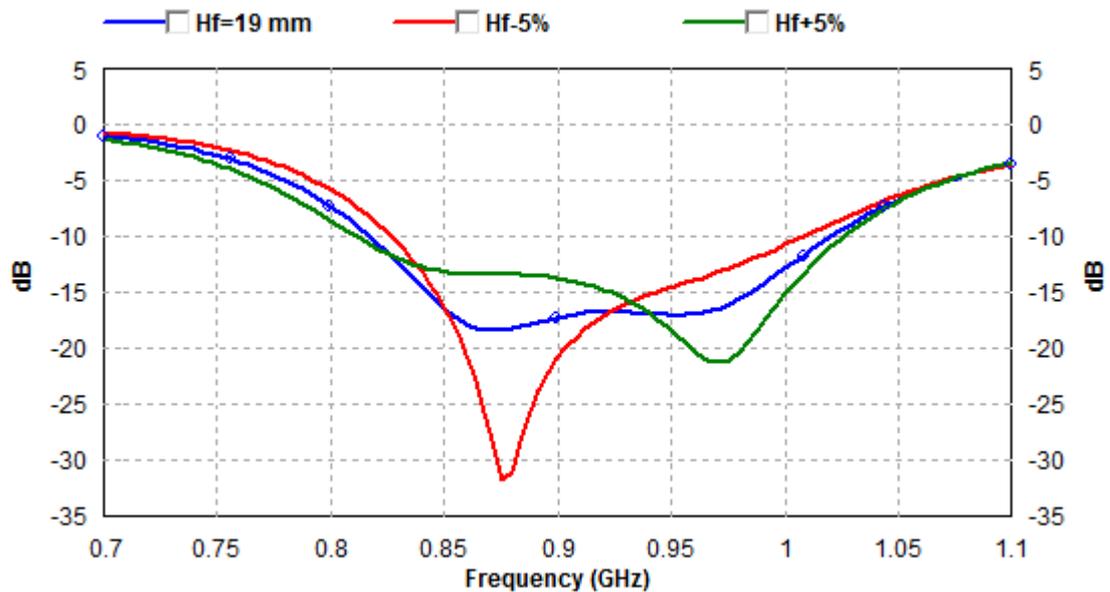
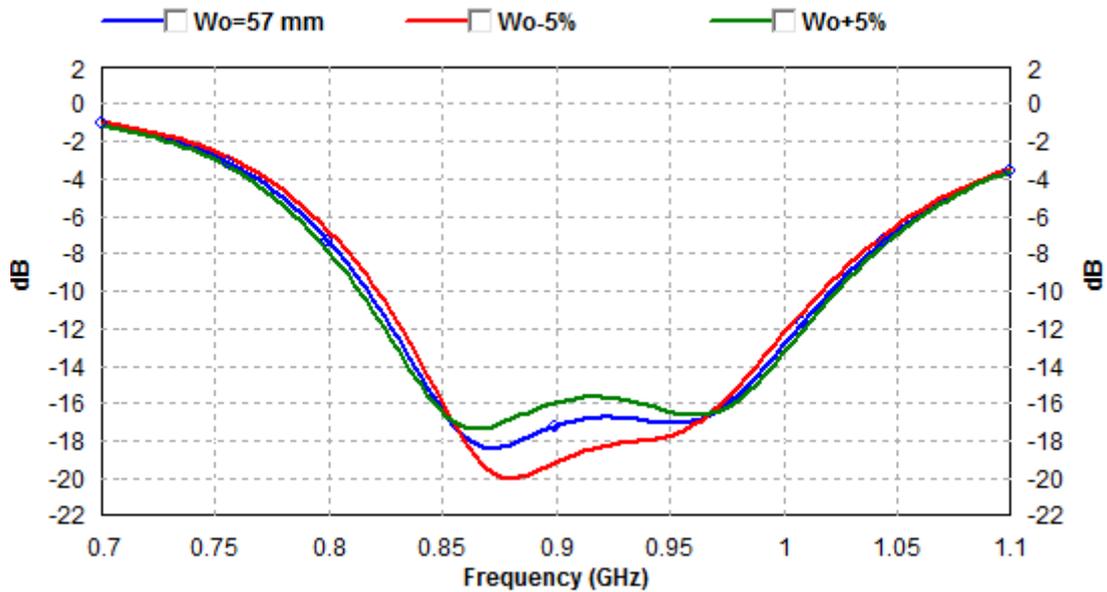


Figure 3.28. Coefficient de réflexion pour différentes valeurs de  $H_f$ .

#### d Paramètre $W_o$

Il s'agit d'étudier l'influence du paramètre  $W_o$  (La position du point d'alimentation) sur l'adaptation de l'antenne. La figure 3.29 présente l'effet de ce paramètre sur le coefficient de réflexion.

D'après la figure 3.29, on constate que le paramètre  $W_o$  joue légèrement sur la bande passante.



**Figure 3.29.** Coefficient de réflexion pour différentes valeur de  $W_o$ .

D'après les études paramétriques présentées précédemment, les valeurs retenues pour notre antenne sont :  $L_p=160$ mm,  $W_p=114$ mm,  $L_f=59$ mm,  $H_f=19$ mm et  $W_o=57$  mm. Ces valeurs génèrent l'antenne possédant le meilleur compromis en termes de taille, adaptation et bande passante.

### 3.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous nous sommes intéressés à la simulation électromagnétique et à la conception d'antennes imprimées pour le système RFID UHF. En effet, après avoir exposé le cahier des charges, trois antennes patch classique, imprimées directement sur FR4, avec différents types d'excitations ont été dimensionnées et simulées. L'inconvénient majeur de ces trois antennes reste leurs très faibles bandes passantes ainsi que leurs gains insuffisants. Afin d'y remédier, des techniques d'élargissement de bande passante ont été utilisées avec succès et deux solutions ont été ainsi identifiées. Les résultats de simulation de ces dernières montrent leur bon fonctionnement. Des études paramétriques ont été également effectuées pour ces deux antennes. La réalisation et la validation expérimentale de ces antennes seront présentées dans le chapitre suivant.

# Chapitre 4 Réalisation et mesure d'antennes pour lecteur RFID-UHF

---

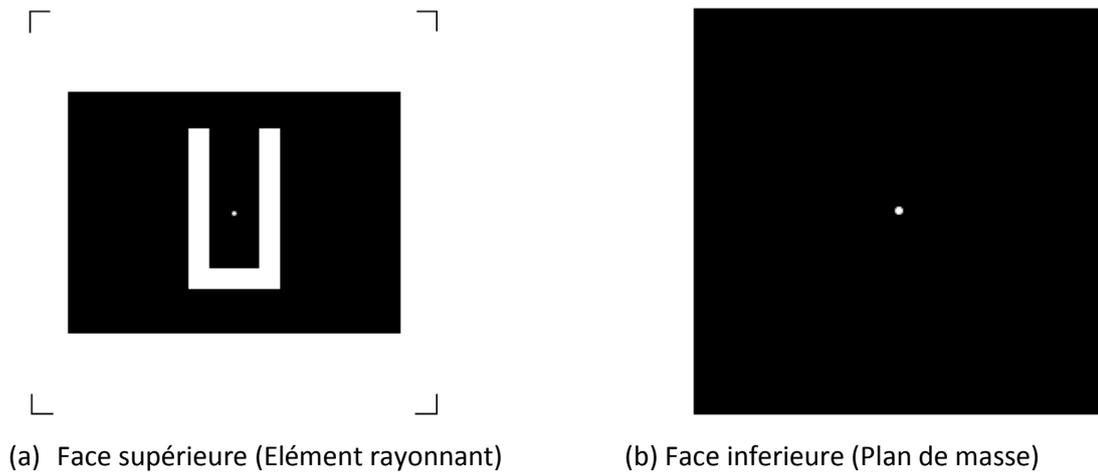
## 4.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons la réalisation ainsi que la validation expérimentale des deux antennes pour lecteur RFID UHF conçues et simulé dans le chapitre 3.

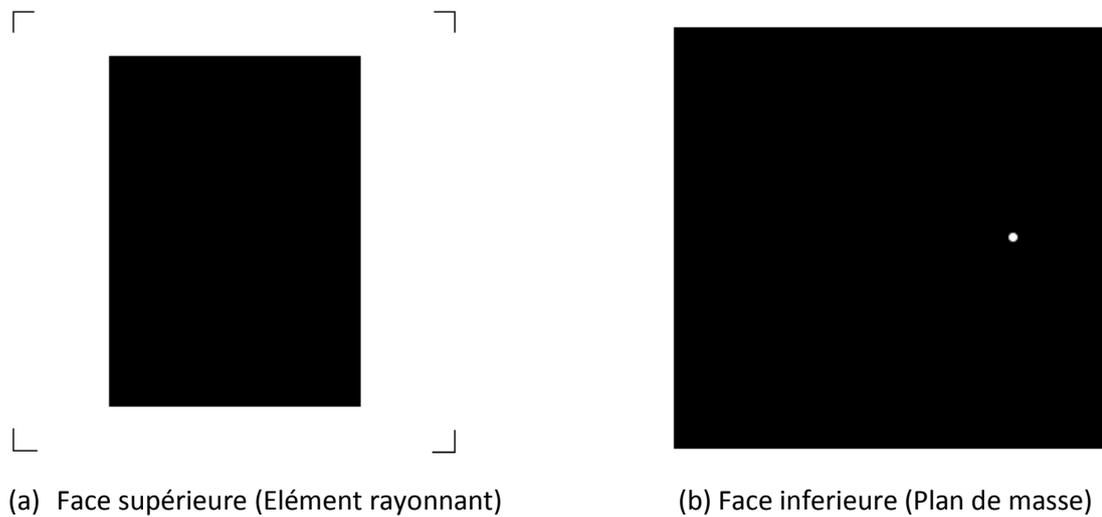
Ce chapitre est organisé comme suit. Après la description détaillée des étapes de réalisation des antennes (génération des masques, soudure et montage de l'antenne en utilisant des supports adaptés), des photographies des deux antennes ainsi réalisées seront montrées. Ensuite, la validation expérimentale des antennes s'est faite en deux étapes. La première consiste à la mesure du coefficient de réflexion à l'aide d'un VNA et le confronter aux résultats issues de la simulation électromagnétique. La seconde étape consiste dans le test direct de ces antennes en détection de tags avec un lecteur RFID spécifique. Les deux étapes de validation expérimentale précédentes ont montrés le bon fonctionnement de ces antennes.

## 4.2 Réalisation des antennes

Les antennes à réaliser sont celles présentées dans les figures 3.11 et 3.16 et leurs dimensions sont celles données dans les tableaux 3.6 et 3.8 respectivement. Le substrat utilisé pour la réalisation est le FR4 ( $\epsilon_r=4.4$ , épaisseur=1.6mm et  $\tan\delta=0.0013$ ). Deux plaques de substrat FR4 simple face seront utilisées pour chaque antenne à réaliser : une pour l'élément rayonnant et l'autre pour le plan de masse. Les masques des deux antennes à réaliser sont illustrés par les figures 4.1 et 4.2



**Figure 4. 1.** Typon de l'antenne patch avec U-Slot à réaliser.

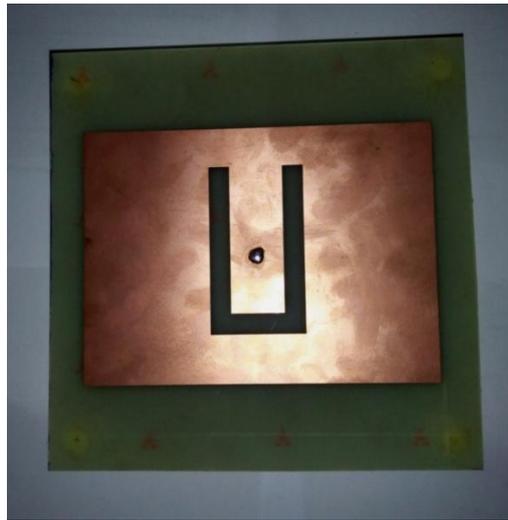


**Figure 4.2.** Typon de l'antenne patch alimentée par un L inversé à réaliser.

Après réalisation des circuits imprimés (faces supérieures et inférieures) par l'entreprise ALMITECH située à Kouba, nous avons procédé au montage des deux antennes. Pour cela, on a soudé les connecteurs de type SMA aux endroits d'excitation des antennes. Ensuite, le conducteur central de ces connecteurs a été prolongé avec un fil en cuivre de diamètre 2.25 mm. Pour la première antenne, i.e., antenne avec U-slot, ce fil est directement soudé à l'élément rayonnant tandis que pour la seconde antenne, i.e., antenne avec excitation de type L-probe, ce fil permet d'alimenter l'élément rayonnant par couplage de proximité. Il est à noter que pour ce dernier cas, la difficulté d'une telle réalisation par rapport à celle d'une excitation directe. Enfin, quatre petits

supports en plastiques ont été utilisés pour maintenir la distance ( $h_a$ ) de la couche d'air nécessaire au bon fonctionnement de l'antenne.

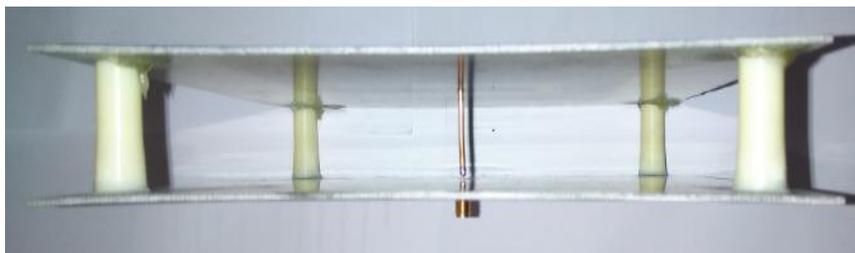
Les figures 4.3 et 4.4 représentent respectivement les photographies de l'antenne patch avec U-Slot et l'antenne patch alimentée par un L inversé.



(a) Vue de dessus.



(b) Vue dessous.

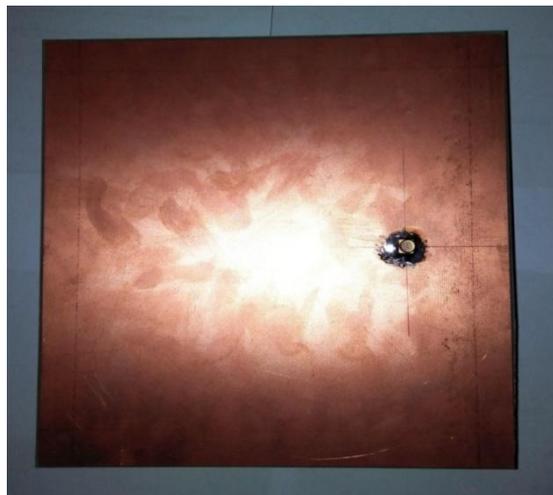


(c) Vue de côté.

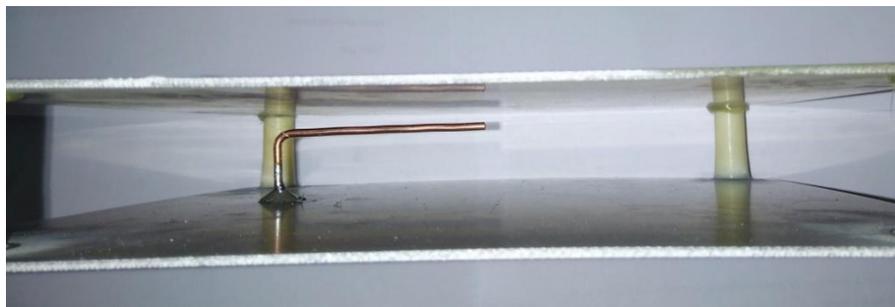
**Figure 4.3. Photographie de l'antenne patch avec U-Slot réalisée.**



(a) Vue de dessus.



(b) Vue dessous.



(c) Vue de côté

**Figure 4.4.** Photographie de l'antenne patch alimenté par un L inversé réalisée.

### 4.3 Mesure des coefficients de réflexion

Les mesures de coefficient de réflexion des deux antennes réalisées ont été effectuées en utilisant l'analyseur de réseau vectoriel (VNA) R&S ZVL disponible au laboratoire DIC (pavillon 16). Ce dispositif à deux ports permet de mesurer les paramètres S dans la bande 9KHz jusqu'à 3 GHz. Après calibration du VNA dans la bande 0.7 GHz à 1.1 GHz, les deux antennes ont été caractérisées en les connectant avec un câble coaxial de type SMA. La configuration de mesure de l'antenne patch avec une fente de type U-slot est montrée dans la figure 4.5.

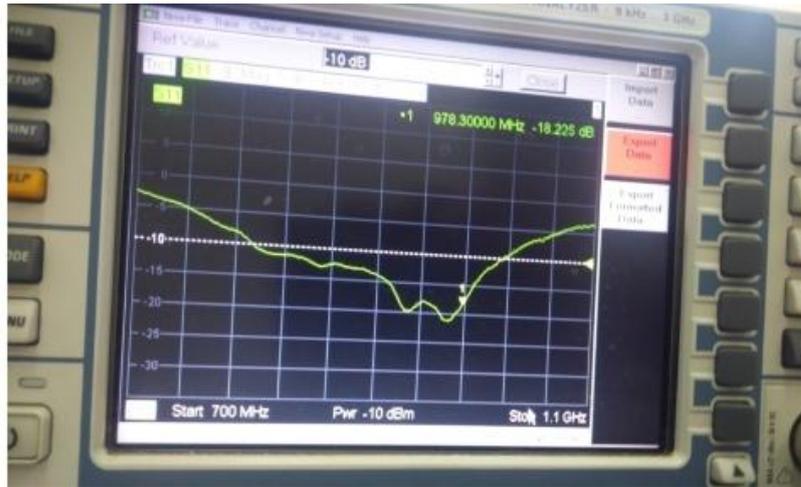


Figure 4.5. Antenne patch avec U-Slot sous test.

Les résultats de mesure des coefficients de réflexion des deux antennes photographiés directement du VNA sont illustrés respectivement par les figures 4.6 et 4.7.

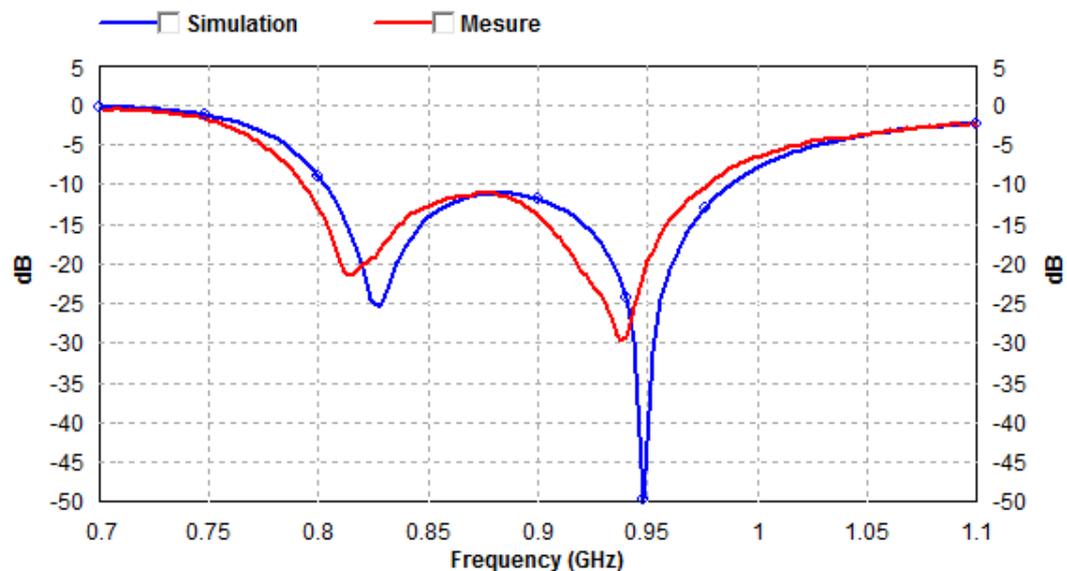


Figure 4.6. Coefficient de réflexion mesuré de l'antenne patch avec U-Slot.

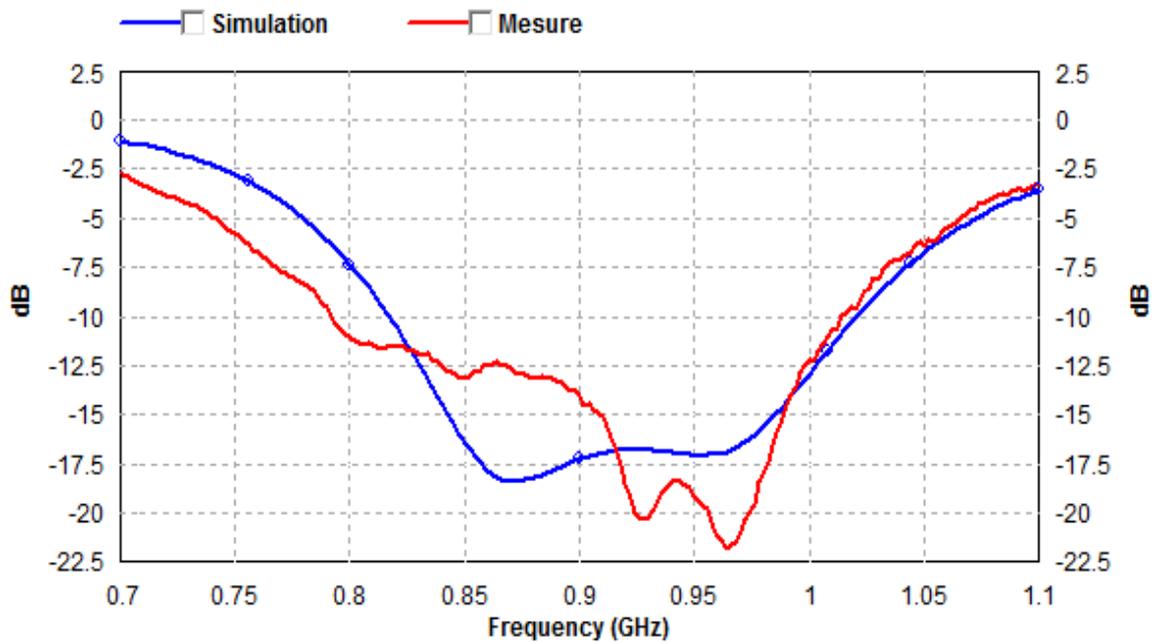


**Figure 4.7.** Coefficient de réflexion mesuré de l'antenne patch alimentée par un L inversé.

Après avoir exportés les résultats de l'analyseur sous format de fichiers « S1P » vers IE3D, nous les avons confrontés avec les résultats de simulation électromagnétique. La comparaison simulation/mesure pour l'antenne patch avec U-Slot est donnée par la figure 4.8 tandis que celle de l'antenne alimentée par un L inversé est montrée par la figure 4.9. Le tableau 4.1 compare les bandes passantes simulées et mesurées des deux antennes réalisées.



**Figure 4.8.** Comparaison entre le coefficient de réflexion simulé et mesuré de l'antenne patch avec U-Slot.



**Figure 4.9.** Comparaison entre le coefficient de réflexion simulé et mesuré de l'antenne patch alimentée par un L inversé.

| Antenne                                 | Bande passante simulée |             | Bande passante mesurée |             |
|---|------------------------|-------------|------------------------|-------------|
|   | Absolue(MHz)           | Relative(%) | Absolue(MHz)           | Relative(%) |
| Antenne patch avec U-Slot               | [802,986]              | 20.58%      | [792,974]              | 20.61%      |
| Antenne patch alimenté par un L inversé | [817,1027]             | 22.77%      | [794,1015]             | 24.43%      |

**Tableau 4.1.** Comparaison des bandes passantes simulées et mesurées.

A partir des figures 4.8 et 4.9 et le tableau 4.1, il est à noter un léger décalage fréquentiel des bandes passantes et cela pour les deux antennes. Pour la première antenne un très bon accord entre simulation et mesure a été enregistré et les bandes passantes mesurée et simulée sont presque les mêmes (décalage fréquentiel de 1%). Cependant, pour la deuxième antenne, la bande passante mesurée est plus grande que celle simulée car un décalage de 2.89% a été constaté pour la fréquence basse. Ces écarts entre simulations

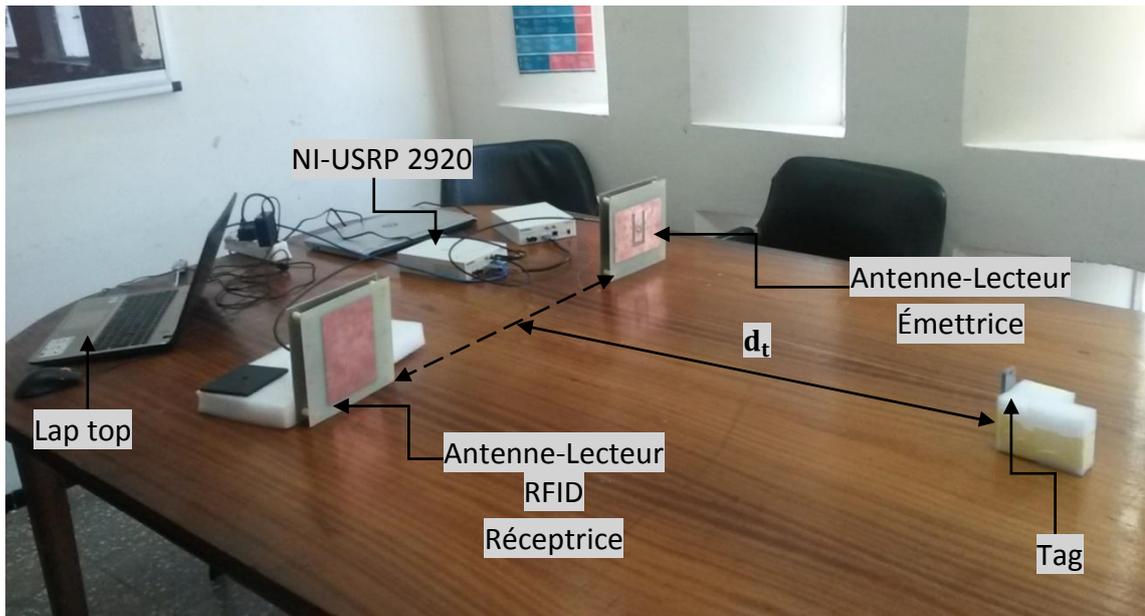
et mesure peuvent être attribués aux défauts de fabrication et/ou aux incertitudes de mesure. Malgré ces écarts, les résultats obtenus en mesure pour les deux antennes respectent bien les spécifications fixées dans notre cahier des charges. La prochaine étape concerne la validation de ces antennes avec une mesure de détection de tags passifs.

#### **4.4 Mesure en détection de tags**

Dans cette partie et dans le but de valider davantage le bon fonctionnement des deux antennes réalisées, ces dernières vont être utilisées pour la détection de tags passifs commerciaux. La configuration de test, montrée par la figure 4.10, a été réalisée dans la salle de réunion du département d'électronique (Pavillon16). Elle contient :

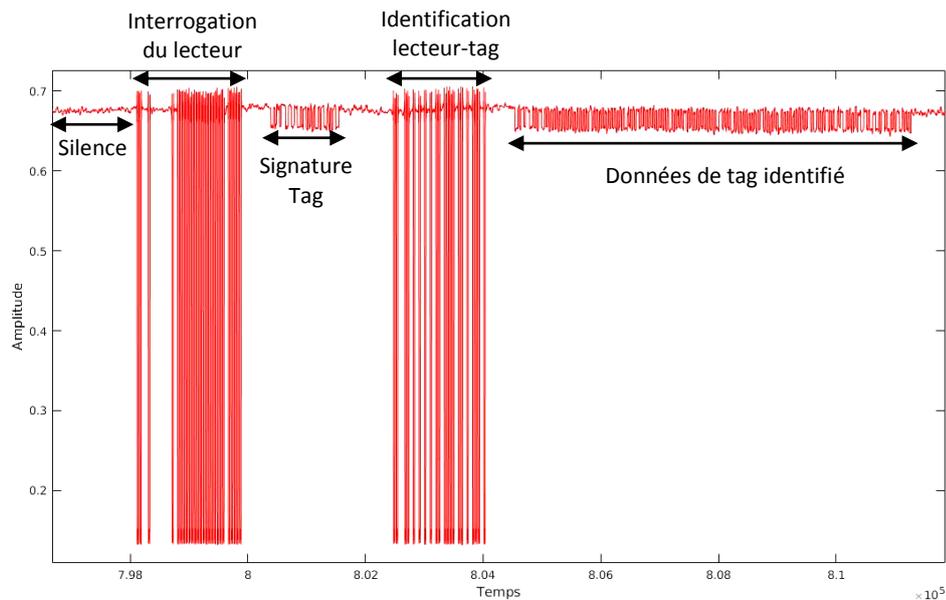
- 1) Un dispositif radio défini par logiciel (NI-USRP-2920) qui est utilisé en tant que lecteur RFID UHF. Ce dispositif a été configuré par les étudiants Khenoussa et Bourahla de l'université USTHB dans le cadre de leur projet de fin d'études sous la direction de Mr METREF Adel. Il est à rappeler que un USRP représente un émetteur-récepteur RF accordable avec un convertisseur analogique-numérique à haute vitesse et un convertisseur numérique-analogique pour transmettre les signaux I et Q en bande de base à un ordinateur hôte.
- 2) L'antenne patch avec une U-slot en tant que antenne d'émission tandis que l'antenne patch alimentée avec un L inversé en tant que antenne de réception.
- 3) Un Tag passif de type « OMNI-ID MAX » disponible au laboratoire DIC. Ce tag fonctionne dans la gamme de fréquences européenne (866 à 868 MHz).
- 4) Un ordinateur hôte de type laptop utilisé pour la commande de l'USRP ainsi que pour l'acquisition de données via un port Ethernet Gigabit

Le principe du test est de tester la détection du tag passif tout en variant la distance  $d_t$  (voir figure 4.10). Cette dernière commence à 20 cm jusqu'à 260 cm avec un pas de 20 cm. Trois mesures de détection ont été effectuées pour chaque distance considérée.



**Figure 4.10.** Configuration de test.

Le lecteur joue le rôle d'émetteur et de récepteur. En mode émission, il envoie 200 requêtes-codées, via l'antenne d'émission, alors que le Tag répond en lui renvoyant ses données. Le lecteur utilise son antenne de réception pour recueillir les données (plusieurs requêtes-décodées différentes) reçues à partir du Tag. Il transmet ensuite ces données à un ordinateur pour le traitement. Un exemple des signaux visualisés lors de la détection d'un tag est montré par la figure 4.11.



**Figure 4.11.** Exemple des signaux observés lors de la détection d'un tag.

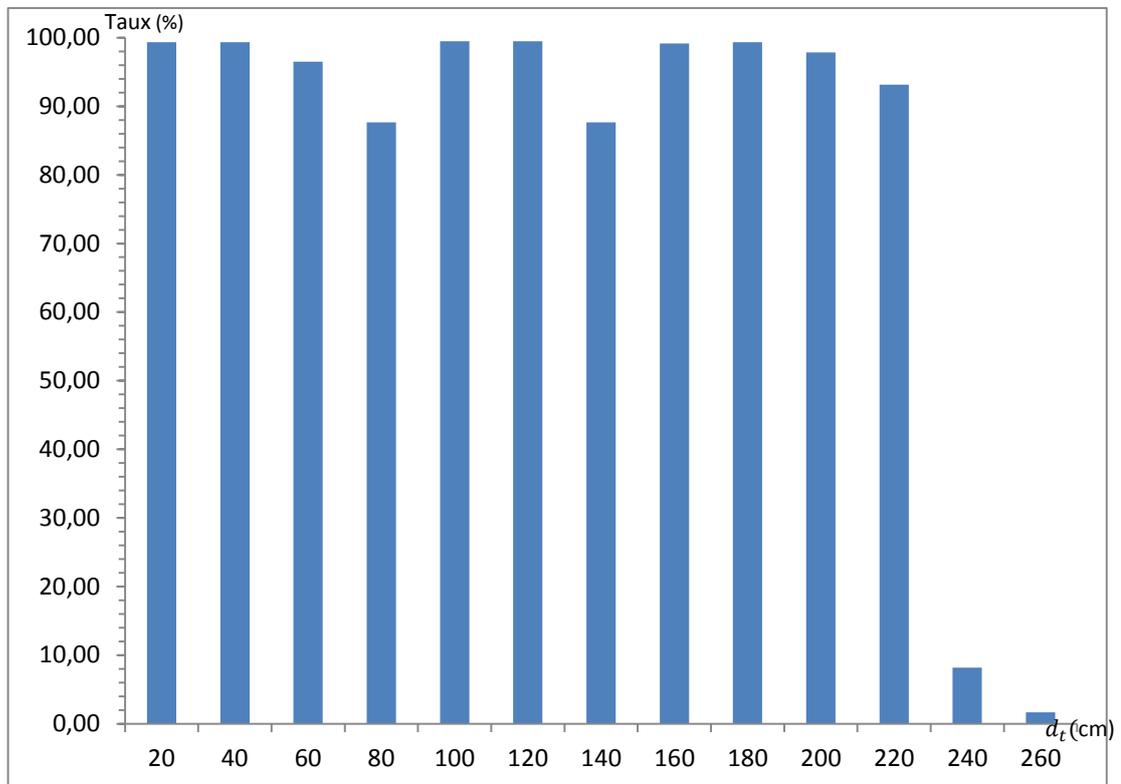
Les différentes mesures sont présentées dans le tableau (4.2). Ce dernier comprend le taux de détection en fonction de la distance  $d_t$ . Une illustration graphique de ce tableau est donnée par la figure 4.12.

| Distance (di en cm) | Requêtes   | Requêtes   | Requêtes   | Moyenne            | Taux                  |
|---------------------|------------|------------|------------|--------------------|-----------------------|
|                     | Décodées 1 | Décodées 2 | Décodées 3 | Des trois Requêtes | (moyenne*100)/200 (%) |
| 20                  | 199        | 198        | 199        | 198,67             | 99,33                 |
| 40                  | 199        | 198        | 199        | 198,67             | 99,33                 |
| 60                  | 198        | 199        | 182        | 193,00             | 96,50                 |
| 80                  | 198        | 137        | 191        | 175,33             | 87,67                 |
| 100                 | 199        | 199        | 199        | 199,00             | 99,50                 |
| 120                 | 199        | 199        | 199        | 199,00             | 99,50                 |
| 140                 | 199        | 198        | 129        | 175,33             | 87,67                 |
| 160                 | 198        | 199        | 198        | 198,33             | 99,17                 |
| 180                 | 198        | 199        | 199        | 198,67             | 99,33                 |
| 200                 | 198        | 198        | 191        | 195,67             | 97,83                 |
| 220                 | 199        | 190        | 170        | 186,33             | 93,17                 |
| 240                 | 20         | 14         | 15         | 16,33              | 8,17                  |
| 260                 | 0          | 0          | 10         | 3,33               | 1,67                  |

**Tableau 4.2.** Taux de détection de tag en fonction de la distance antenne lecteur-tag.

D'après les résultats observés dans le tableau 4.2 et la figure 4.12, on constate que le taux de détection dépend de la distance. En effet, ce taux est relativement stable pour

des distances allant de 20 à 220 cm. Cependant, à partir de 200 cm, le taux de détection chute brusquement et s'annule. Cette distance est la portée de notre système.



**Figure 4.12.** La variation de taux de détection en fonction de la distance  $d_t$ .

En conclusion, les différents tests menés dans cette partie ont permis de valider le bon fonctionnement des antennes réalisés pour lecteur RFID UHF.

## 4.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés à la validation expérimentale des antennes pour lecteur RFID UHF dimensionnées dans le chapitre 3. Afin d'y parvenir, nous avons tout d'abord réalisé les deux prototypes d'antennes en décrivant les différentes étapes nécessaires. Ensuite, nous avons validé expérimentalement à l'aide d'un VNA les coefficients de réflexions de ces antennes ainsi que leurs bandes passantes. Enfin, le fonctionnement des antennes réalisées a été validé en environnement réel en utilisant un tag commercial et un lecteur RFID spécifique. La portée maximale de lecture est de 2.2 m.

## Conclusion générale

---

La RFID est une technologie majeure qui connaît depuis plus d'une dizaine d'années un essor considérable en termes d'applications dans de très nombreux domaines. Dans ce travail de projet de fin d'études, nous avons dimensionné, simulé, réalisé et validé expérimentalement deux antennes de type patch rectangulaire pour lecteur RFID UHF.

Après la présentation de généralités sur les antennes, nous avons mis l'accent sur les antennes imprimées (patch) et exposé les différentes techniques permettant de corriger leur principal inconvénient à savoir la bande passante très étroite. Ensuite, les systèmes RFID ont été introduits en détaillant leur principe de fonctionnement, leurs constituants ainsi que leurs fréquences de fonctionnement. Quelques antennes commerciales pour lecteurs RFID UHF ont été comparées en termes de bande de fréquence de fonctionnement et taille.

L'étape de conception des antennes pour lecteur RFID UHF a débuté par la présentation du cahier des charges et de l'outil de simulation électromagnétique utilisé. Du à leurs faible bande passante et gain, les antennes patch rectangulaire classiques ne permettent pas de satisfaire le cahier des chargé fixé. Afin de palier à cet inconvénient, deux techniques d'élargissement de bandes ont été appliquées avec succès. Les deux solutions ainsi obtenues ont été fabriquées et validées expérimentalement à l'aide d'un analyseur de réseau. Le test de ces antennes en détection de tags dans un système RFID complet a réussi en affichant une portée de lecture de plus de 2m.

## Calcul des dimensions théoriques d'une antenne patch rectangulaire [3]

Dans sa version rectangulaire (voir figure A1.1), l'antenne patch est constituée d'un élément rayonnant de forme rectangulaire de longueur  $L$  et largeur  $W$ , imprimé sur un substrat d'une épaisseur  $h$  et de permittivité  $\epsilon_r$ .

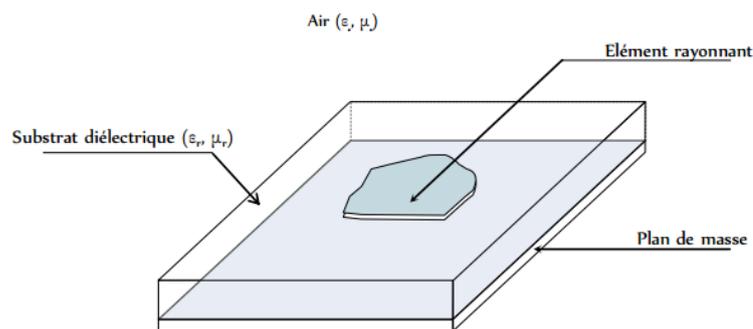


Figure A1.1 Géométrie d'une antenne patch rectangulaire [8].

L'expression de la permittivité effective  $\epsilon_{eff}$  est donnée par :

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{W}\right)^{1/2} \quad (A1.1)$$

Avec

$\epsilon_r$  : Représente la constante diélectrique

$h$  : Épaisseur du substrat.

La largeur du patch  $W$  est donnée comme suit :

$$W = \frac{c}{2f} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_{r+1}}} \quad (\text{A1.2})$$

où

$c$  : La Vitesse de la lumière.

$f$  : La fréquence de fonctionnement.

La longueur de l'antenne est donnée par :

$$L = W - 2\Delta L \quad (\text{A1.3})$$

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8\right)} \quad (\text{A1.4})$$

Où

$W$  : La largeur du patch.

$\Delta L$ : La longueur incrémentielle du patch.

L'équation qui sert à déterminer l'impédance d'entrée du patch  $R_{in}$  à une distance  $y_0$  à partir du bord du patch est la suivante :

$$R_{in}(y = y_0) = \frac{1}{2G_r} \cos^2\left(\frac{\pi}{L} y_0\right) \quad (\text{A1.5})$$

Avec

$$G_r = \frac{1}{120\lambda_0} \left[1 - \frac{1}{24}(k_0 h)^2\right] \quad (\text{A1.6})$$

Tel que :

$$k_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0} \quad (\text{A1.7})$$

$k_0$  : Nombre d'onde.

$\lambda_0$  : Représente la longueur d'onde dans l'espace libre.

$y_0$  : Distance à partir du bord du patch.

$G_r$  : L'admittance équivalente.

## Présentation de l'outil IE3D de Zeland [30]

IE3D de Zeland est un outil performant de simulation électromagnétique et d'optimisation des circuits hyperfréquences et plus particulièrement des antennes. Il est adopté comme une norme industrielle dans la simulation électromagnétique après son introduction à IEEE en 1993.

IE3D est basé sur l'équation intégrale 3D/méthode du moment pour des simulations pleine onde à haute précision et à haute efficacité. En plus des circuits planaires, IE3D permet également de gérer des structures 3D. Son principe de fonctionnement est très simple. Après avoir introduit la structure à simuler sous la forme d'un ensemble de polygones sur l'interface *MGrid* (Figure A2.2), l'utilisateur peut lancer la simulation ou l'optimisation électromagnétique. Les résultats sont affichés directement sur l'interface *Modua* (Figure A2.3).

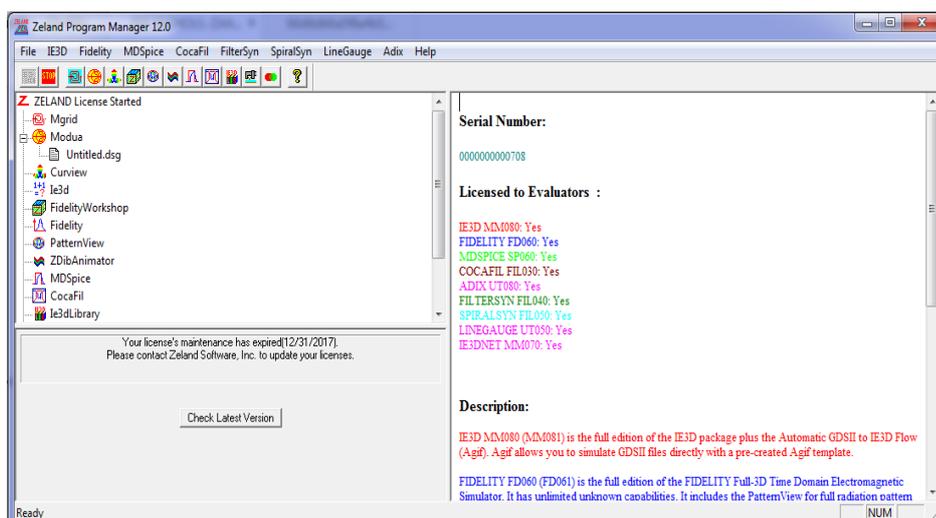


Figure A2.1. Interface de démarrage de l'outil IE3D.

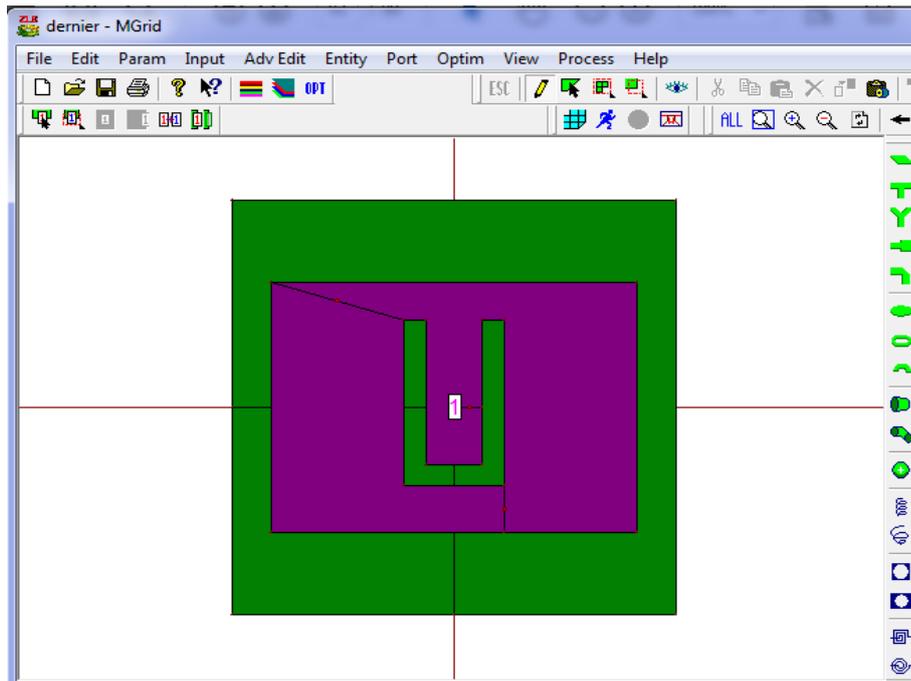


Figure A2.2. Interface de travail (MGrid).

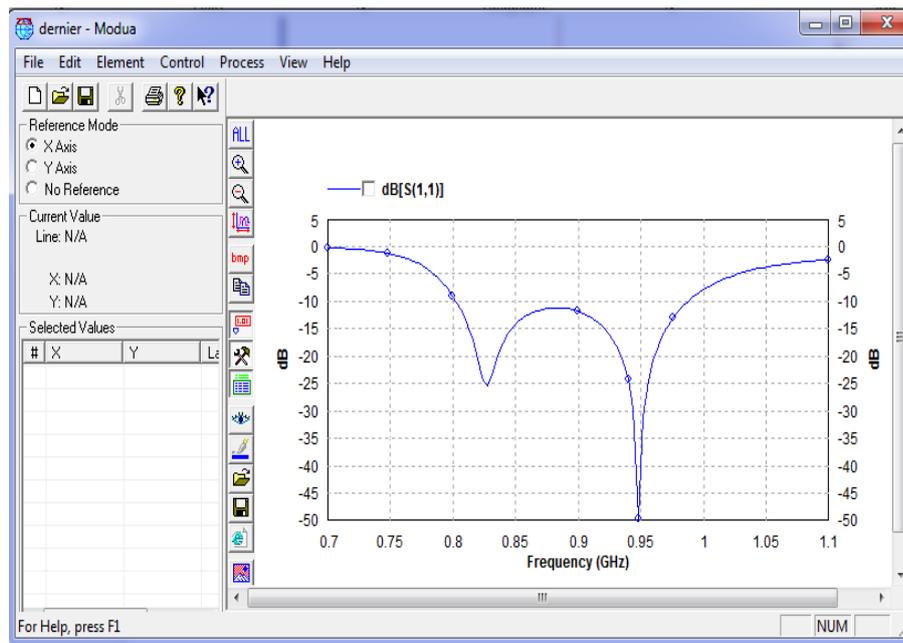


Figure A2.3. Interface d'affichage des résultats (Modua).

### Programme Matlab pour le calcul des dimensions d'une antenne patch rectangulaire

```
%initialisation
Clear;
Clc;
Format short;
%données d'entrées
c=3e8; epsr=4.4; freq=910e6; h=1.6e-3; lam0=c/freq;
wf=3e-3;
%calcul de la largeur du patch en m
w=(lam0/2)*sqrt(2/(1+epsr));
% Calcul de la longueur du patch en m
epse=((1+epsr)/2)+((epsr-1)/2)*(1+12*(h/w))^-0.5
lame=c/(freq*sqrt(epse));
dl=0.412*h*((epse+0.3)/(epse-
0.258))*((w/h)+0.264)/((w/h)+0.8)
l=(lame/2)-2*dl;
epsee=((1+epsr)/2)+((epsr-1)/2)*(1+12*(h/wf))^-0.5
z0=(120*pi)/(sqrt(epsee)*((wf/h)+1.393+0.667*log(1/(wf/h)+1
.444)))
% Calcul de la largeur et la longueur du patch en mm
wmm=w*1000
lmm=l*1000
```

## Bibliographie

---

- [1] Kahal Kamel, Harichane Moustafa, « Modélisation des antennes patch 'Stacked gap-coupled multi-resonator rectangular microstrip antennas », mémoire de fin d'études, Institut de Télécommunications Abdelhaffid BOUSSOUF, Oran, juin 2016.
- [2] Alexandre Boyer, « Support de cours 5eme Année Réseaux et Telecom », Institut National des Sciences Appliquée de Toulouse, 2011.
- [3] Hebib Sami, « Antennes », cours, Université SAAD DAHLED BLIDA, 2017.
- [4] Chouti Leila, « Contribution à l'étude d'antennes imprimées rectangulaires double bande et multi bandes tenant compte de l'effet de couplage », Mémoire de fin d'études, Université Mentouri, Constantine, 2009.
- [5] Trong Duc Nguyen, « Conception d'antenne intelligente reconfigurable pour la radio cognitive », thèse de doctorat, Université de Grenoble, 2006.
- [6] Ahmed Benomar « Etude des Antennes à Résonateurs Diélectriques », thèse de doctorat, Université de Limoges-Université de Tlemcen (Cotutelle), 2015.
- [7] TANYA Sharma, OSHIN ATAL, « Design of Ultra Small Microstrip Patch Antenna for Wireless Communication Applications », Mémoire de fin d'études, National Institute of Technology Rourkela, Inde, Mai 2013.
- [8] Ziani Kerarti Djalal, « Etude et conception d'antennes ultra large bande », Mémoire de Magister, université de Tlemcen, 2011.
- [9] Garima, Bhatnagar, J.S. Saini, « Design of broadband circular patch microstrip antenna with Diamond shape slot », Indian Journal of Radio and Space Physics, Vol. 40, page number: 275-281, Oct. 2011.

- [10] Lolit Kumar Singh, Bhaskar Gupta and Partha P. Sarkar, «T-slot Broadband Rectangular Patch Antenna », International Journal of Electronic and Electrical Engineering, Vol. 4, pages: 43-47, 2011.
- [11] T. Huynh and K. Lee, « Single-layer single-patch wideband microstrip antenna », Electron. Lett., vol 31, pages: 1310–1311, Aug. 3, 1995.
- [12] Girish Kumar and K.P. Ray, « Broadband microstrip antennas », Artech House antennas and propagation library, page number: 15-17, ISBN 1-58053-244-6, 2003.
- [13] MakLuk , Lee Chow, « Experimental Study of a Microstrip Patch Antenna with an L-Shaped Probe », IEEE AP, Vol. 48, No. 5, May 2000.
- [14] Girish Kumar and K.P. Ray: « Stacked gap-coupled multi-resonator rectangular microstrip antennas », IEEE international symposium, Vol. 3, pages: 514 – 517, Aug. 7, 2001, Boston.
- [15] Jeremy Landt, « The history of RFID », IEEE Potentials, October/November 2005.
- [16] Cyril Luxey, Robert Staraj, Georges Kossiavas, Albert Papiernik, « Antennes imprimées-Bases et principes E3310 », Techniques de l'ingénieur, Mai 2007.
- [17] Delphine Bechevet, « Contribution au développement de tag RFID UHF et Microondes sur matériaux plastiques », thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, décembre 2005.
- [18] Rafael Antonio Quiroz Moreno, « Solutions novatrices pour l'amélioration du taux de lecture de tags RFID UHF dans des environnements complexes », thèse de doctorat, Université Paris-Est, 2014.
- [19] Mondher Dhaouadi, « Conception et optimisation des antennes RFID UHF en vue d'améliorer la fiabilité des systèmes RFID », thèse de doctorat, Ecole Supérieure des Communications de Tunis, 2014.
- [20] Mossaab DAIKI, « Contribution au développement d'antennes lecteur champ proche pour les systèmes RFID UHF passifs », thèse de doctorat, École Doctorale EEATS, 2015.

- [21] Nemmiche Adila, Daliyoucef Wahiba, « Etude et intégration d'un dispositif d'identification basé sur la technologie RFID », mémoire e projet de fin d'études, Université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen, 2013.
- [22] Klaus Finkenzeller, « RFID Handbook : fundamentals and applications in contactless Smart Cards and Identification », John Wiley, Inc, New York, 2003.
- [23] Anthony Ghiotty, « Conception D'antenne De Tag RFID UHF, Application a réalisation par jet de matière », thèse de doctorat, Institut Polytechnique de Grenoble, novembre 2008.
- [24] Benoit Pascal, Franchi Jean Christophe, « RFID et Service Haute Débit Wimax », Rapport d'étude, université de Nice, 2014.
- [25] Rafael Antonio Quiroz Moreno, « Solutions novatrices pour l'amélioration du taux de lecture de tags RFID UHF dans des environnements complexes », thèse de doctorat, Université Paris-Est, 2014.
- [26] Iyadh Gammoudi, « Application des antennes RFID à base de liquide crystalolymère dans un environnement souterrain », mémoire de fin d'études, Université Québec, aout 2017.
- [27] URL : <https://www.atlasrfidstore.com/rfid-antennas>, 15 mars 2018.
- [28] ARAB Tarek, «Etude des matériaux composites (Titanate oxyde) : application pour la réalisation des substrats d'antennes miniatures », mémoire de Magister, Université Setif, 2014.
- [29] IE3D, «Manuel IE3d version 14 », Zeland software.