



République Algérienne Démocratique et Populaire.

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique.

Université SAAD DAHLEB BLIDA-1-

Institut d'Aéronautique et des Etudes Spatiales-IAES.

Département de navigation aérienne.

Mémoire de fin d'études.

En vue de l'obtention du diplôme de master en Aéronautique.

Option :

Communication Navigation Surveillance/Air Traffic Management (CNS/ATM)

Thème :

Conception d'antenne monopole large bande pour les systèmes de navigation et communication aérienne.

Réalisé par :

☞ *HAMMOUCHE Mohammed Fakher Islam*

☞ *NEHAOUA Maroua*

Encadré par :

Dr: HAMOUDA Zahir

Dr: KOUIDER ELOUAHED

Boulénouar

Année universitaire : 2019/2020

ملخص:

يجري تطوير تكنولوجيا الطيران على أساس الملاحة الجوية وعمليات الاتصال. لضمان الاتصال والملاحة الآمنة والفعالة للطائرات، تتطلب هوائيات الاتصال المحمولة جواً أن تكون شاملة الاتجاهات ومطابقة بشكل جيد لجهاز الإرسال والاستقبال المقابل وإلى جانب تصميم الهوائي يجب أن يركز على تقليل قوة السحب الديناميكية الهوائية أثناء الطيران. علاوة على ذلك، يجب تطوير هوائيات للتعامل مع الظواهر البيئية مثل تراكم الشحنات الساكنة والبرق والتآكل ودخول المياه. وبصرف النظر عن كل هذه المتطلبات، يجب أن يكون التثبيت بسيطاً بحيث تكون الصيانة سهلة. هوائي شفرة هو مجموعة متنوعة تستخدم على نطاق واسع في VHF، UHF بسبب انخفاض تصميم السحب، المواد خفيفة الوزن.

في هذا العمل، نخطط لتصميم نوع جديد من الهوائي يفي من جهة على متطلبات الإشعاع الكهرومغناطيسي مثل: نمط الإشعاع متعدد الاتجاهات، مكاسب عالية مع الاستقطاب الرأسي، وعلى الجانب الآخر متطلبات الديناميكية الهوائية والتركيب. نظراً لأنه سيتم تركيب هذا الهوائي على الطائرة، ستركز الدراسة على إمكانية استغلال الموقع لتحسين خصائص الإشعاع لمزيج الهوائي-جسم الطائرة.

الكلمات المفتاحية:

هوائي متعدد الاتجاهات، الاتصالات والملاحة الجوية، هوائي شفرة.

Abstract:

Aviation technology is being developed on the basis of aircraft navigation and communicational operations. To ensure safe and efficient communication and navigation for aircrafts, airborne communication antennas require to be highly omnidirectional and well matched to their corresponding transceiver alongside antenna design must focus on minimizing aerodynamic drag force during flight. Furthermore, antennas must be developed to cope with environmental phenomena such as static charge build-up, lightning, erosion and water ingress. Aside all these requirements, installation should be simple so that maintenance is easy. Blade antenna is a variety widely used in the VHF, UHF because of their low drag design, light weight material.

In this work, we plan to design a new type of antenna meeting on the one side the electromagnetic radiation requirements such as: omnidirectional radiation pattern, high gain with vertical polarization, on the other side the aerodynamic and installation requirements. As

this antenna will be mounted on the aircraft, the study will focus on the possibility of exploiting the location to improve the radiation properties of the antenna-fuselage combination.

Keywords: Omnidirectional antenna, aeronautical communication and navigation, blade antenna.

Résumé :

La technologie aéronautique est développée sur la base des opérations de navigation et de communication des aéronefs. Pour assurer une communication et une navigation sûres et efficaces pour les aéronefs, les antennes de communication aéroportées doivent être hautement omnidirectionnelles et bien adaptées à leur émetteur-récepteur correspondant. La conception de l'antenne doit se concentrer sur la réduction de la force de traînée aérodynamique pendant le vol. De plus, des antennes doivent être développées pour faire face aux phénomènes environnementaux tels que l'accumulation de charges statiques, la foudre, l'érosion et la pénétration d'eau. Mis à part toutes ces exigences, l'installation doit être simple afin que la maintenance soit facile. L'antenne lame est une variété largement utilisée dans les bandes VHF, UHF en raison de leur conception à faible traînée et leur matériau léger.

Dans ce travail, nous envisageons de concevoir un nouveau type d'antenne répondant d'une part, aux exigences de radiation électromagnétique telles que : le diagramme de rayonnement omnidirectionnel, gain élevé avec une polarisation verticale, d'autre part, aux exigences aérodynamiques et d'installation. Comme cette antenne sera montée sur l'aéronef, l'étude s'étalera sur la possibilité d'exploiter l'endroit de l'emplacement dans le but d'améliorer les propriétés du rayonnement de la combinaison antenne-fuselage.

Mots-clés : Antenne omnidirectionnelle, communication et navigation aéronautique, antenne lame.



Remerciements

Il n'est meilleur remerciement que notre reconnaissance à ALLAH le tout puissant et le miséricordieux qui lui seul nous a guidé dans le bon sens qui nous a aidés et nous a donnés la patience et le courage d'accomplir ce modeste travail.

En second lieu, nous tenons à remercier nos parents pour la contribution, le soutien et la patience dont ils ont fait preuve en plus de nous avoir encouragé et avoir cru en nous tout au long de ces années.

Avant de commencer la présentation de ce travail, nous profitons de l'occasion pour remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet de fin d'études.

*Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements pour mon grand et Respectueux **Dr HAMOUDA Zahir**, d'avoir accepté de nous encadrer pour notre projet de fin d'études, ainsi que pour son soutien, ses remarques pertinentes et son encouragement.*

*Nous remercions ensuite Notre promoteur **Dr KOUIDER ELOUAHED Boulenouar** pour ses conseils, ses orientations et sa disponibilité.*

Nos remerciements vont aussi à tous nos enseignants d'institut d'aéronautique et des études spatiales et toutes les personnes qui nous ont soutenus jusqu'au bout.

Nous adressons aussi nos sincères remerciements aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail acceptant d'examiner ce mémoire et de l'enrichir par leurs propositions.

*Merci à tous.
Islam, Maroua*

Dédicace

C'est avec un énorme plaisir que je dédie ce modeste travail à

Ma très chère mère

A la femme qui n'a hésité aucun moment à m'encourager, à celle qui est toujours à côté de moi, ma chère mère. Votre prière et votre bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Je vous dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, vous préserver et vous accorder santé, longue vie et bonheur.

Mon très cher père

A celui qui m'a toujours appris comment réfléchir avant d'agir, à celui qui m'a soutenu tout au long de ma vie scolaire, à celui qui n'a jamais épargné un effort pour mon bien, mon cher père. Aucune dédicace ne serait exprimée l'amour, l'estime et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que vous avez consentis pour mon éducation et ma formation.

*A mes très chers frères « **Akram et Narimane et Ihab** »*

Les mots ne suffisant guère pour exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour vous, je vous souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de réussite.

A tous mes cousines « Amira Mounira Nahela Sihem et leurs enfants » et mes cousins « Hichem, Karim, Yassine, Nasser, Sami, skander, Nawfel ».

*A ma chère tante **Zahira**, A toutes mes tantes et oncles et Tous les membres de ma famille, petits et grands que dieu vous procure bonne santé et joyeuse vie.*

A tous mes amis sans exception. A toute la promotion Master II CNS/ATM 2020. A mon binôme Maroua.

A tous ce qui m'ont aidé de près ou de loin dans la réalisation de ce travail. A tous ceux qui me sont chers et que j'ai omis de citer.

Islam

Dédicace

Je dédie ce travail

*A ma chère mère **Azza**, pour son amour ses encouragements et ses sacrifices.*

*A mon chère père **Abdul Razzaq** pour son soutien, son affection et la confiance qu'il m'a accordée.*

A la mémoire de ma chère grand-mère et mon grand-père.

*A vous mes très chers frères **Zaki, Seif et Abdel Wahab** Qui m'avez toujours soutenu, encouragés durant ces années d'étude*

*A mon chère oncle **Mounir** et sa famille généreuse merci pour votre soutien*

*A tous mes amis pour leurs aides et supports dans les moments difficiles, **Aya hadjer, Khoula, Nesrine, Sabrina***

*A tous les membres de ma famille Et tous ceux que m'aiment son oublié mon binôme **Islam** pour sa entente, patience et sa sympathie
Puisse dieu vous donne la sante, le bonheur et surtout la réussite.*

Maroua

Table des matières :

| | |
|------------------------------|-----|
| Résumé..... | I |
| Remerciements..... | III |
| Dédicaces | IV |
| Tables des matières | VI |
| Abréviations /Acronymes..... | X |
| Liste des figures | XII |
| Liste des tableaux..... | XV |
| Introduction générale..... | 1 |

Chapitre I : Généralité sur les antennes

| | |
|---|----|
| I.1 Introduction :..... | 4 |
| I.2 Définition d'une antenne : | 5 |
| I.3 Le rôle des antennes :..... | 6 |
| I.3.1 Antenne Émission : | 6 |
| I.3.2 Antenne Réception : | 6 |
| I.3.3 Antenne Émission et réception (Réciprocité) :..... | 7 |
| I.4 Caractéristiques des antennes : | 8 |
| I.4.1 Caractéristiques électriques :..... | 8 |
| I.4.1.1 Impédance d'entrée :..... | 8 |
| I.4.1.2 Le coefficient de réflexion et Rapport d'Onde Stationnaire (R.O.S) :..... | 9 |
| I.4.1.3 La fréquence de résonance et la bande passante :..... | 10 |
| I.4.1.4 Rendement : | 12 |
| I.4.2 Caractéristiques de rayonnement : | 12 |
| I.4.2.1 Les régions du champ électromagnétique : | 12 |
| I.4.2.2 Diagramme de rayonnement : | 14 |
| I.4.2.3 Directivité et gain : | 16 |
| I.4.2.4 Polarisation :..... | 17 |
| I.5 Puissance isotrope rayonnée équivalente (PIRE) : | 18 |
| I.6 Bilan de puissance : | 19 |
| I.7 Classification de types d'antenne : | 20 |
| I.8 Antenne monopole :..... | 21 |
| I.9 Les antennes et l'aéronef : | 21 |
| I.9.1 Placement des antennes :..... | 22 |

| | | |
|--------|---|----|
| I.10 | Les systèmes de Communication et de Navigation en Aéronautique :..... | 23 |
| I.10.1 | Communication à très hautes fréquences (VHF) : | 23 |
| I.10.2 | Système d’alerte de trafic et d’évitement de collision - Contrôle du trafic aérien (TCAS) : | 23 |
| I.10.3 | L’équipement de mesure de distance (DME) :..... | 24 |
| I.10.4 | Le système de contrôle de la circulation aérienne (ATC) :..... | 25 |
| I.10.5 | L’ILS (Instrument Landing System):..... | 26 |
| I.10.6 | Système de positionnement radioélectrique VOR : | 27 |
| I.10.7 | Le système GPS (Global Positionning System)..... | 28 |
| I.11 | Conclusion | 29 |

Chapitre II : Les Antennes Ultra Large Bande (ULB)

| | | |
|----------|---|----|
| II.1 | introduction :..... | 30 |
| II.2 | Généralités sur l’Ultra Large Bande : | 31 |
| II.2.1 | Bref historique sur la ULB :..... | 31 |
| II.2.2 | Définition de l’ultra large bande :..... | 32 |
| II.2.3 | Comparaison système ULB / Système à bande étroite :..... | 33 |
| II.2.4 | Caractéristiques principales d’ultra large bande :..... | 34 |
| II.2.4.1 | Problème dû à la propagation par trajets multiples :..... | 34 |
| II.2.4.2 | Capacité de la technologie ULB :..... | 35 |
| II.2.4.3 | Communications protégées : | 36 |
| II.2.4.4 | Simplicité relative des systèmes :..... | 36 |
| II.2.4.5 | Propriétés de pénétration :..... | 36 |
| II.2.5 | Différents types d’applications de l’Ultra Large Bande : | 37 |
| II.2.6 | Avantages et inconvénients de l’Ultra Large Bande :..... | 37 |
| II.3 | Les Antennes Ultra Large Bande : | 38 |
| II.4 | Classification des antennes ULB selon leurs formes et leurs spécifications :..... | 38 |
| II.4.1 | Antennes indépendantes de la fréquence :..... | 38 |
| II.4.1.1 | Les antennes spirales :..... | 39 |
| II.4.1.2 | Les antennes Log Périodique : | 40 |
| II.4.2 | Antennes omnidirectionnelles (élémentaires) :..... | 40 |
| II.4.2.1 | Antennes biconiques et ses dérivées : | 41 |
| II.4.2.2 | Antenne Monopoles électriques ultra large bande :..... | 42 |
| II.4.3 | Antenne directive :..... | 43 |

| | | |
|----------|--|----|
| II.4.3.1 | Antenne cornet : | 43 |
| II.4.3.2 | Antenne à transition progressive (Vivaldi) : | 44 |
| II.5 | Les antennes monopoles et l'aéronef : | 44 |
| II.6 | L'Antenne lame (blade antenna) : | 46 |
| II.7 | Radômes : | 47 |
| II.8 | Conclusion : | 48 |

Chapitre III : Conception et simulation d'antenne monopole large bande

| | | |
|-----------|---|----|
| III.1 | Introduction : | 49 |
| III.2 | L'antenne monopole lame large bande : | 50 |
| III.2.1 | Modélisation d'antenne lame : | 50 |
| III.2.2 | Études paramétriques : | 51 |
| III.2.2.1 | Influence du hauteur H et largeur L : | 51 |
| III.2.2.2 | Influences du hauteur H et largeur L et l'angle A de bord incliné : | 53 |
| III.2.2.3 | Influences de la position de la sonde (point d'alimentation) Pa, la distance entre le plan de masse et le monopole Da : | 53 |
| III.2.2.4 | Influences des dimensions du plan de masse Dp : | 55 |
| III.2.2.5 | Influences de tous les paramètres en même temps (H, L, A, Pa, Da, Dp) : | 55 |
| III.2.3 | Conception Antenne monopole lame large bande optimisée : | 56 |
| III.2.4 | Simulation et résultats d'antenne monopole lame optimisée : | 58 |
| III.2.4.1 | La modélisation géométrique (Mesh ou maillage) : | 58 |
| III.2.4.2 | Le coefficient de réflexion S11 : | 58 |
| III.2.4.3 | Taux d'ondes stationnaires TOS (VSWR) : | 59 |
| III.2.4.4 | Le diagramme de rayonnement et le gain : | 60 |
| III.2.4.5 | Les répartitions des champs E/H : | 60 |
| III.3 | L'antenne monopole lame large bande avec un Radôme : | 62 |
| III.3.1 | Résultats des optimisations d'antenne monopole lame avec radôme : | 62 |
| III.3.1.1 | La modélisation géométrique (Mesh) : | 62 |
| III.3.1.2 | Le coefficient de réflexion S11 : | 63 |
| III.3.1.3 | Taux d'ondes stationnaires TOS (VSWR) : | 63 |
| III.3.1.4 | Le diagramme de rayonnement et le gain : | 64 |
| III.3.1.5 | Influence de l'épaisseur de radôme sur l'antenne : | 65 |
| III.4 | L'antenne monopole lame large bande avec des encoches (Notches) : | 65 |
| III.4.1 | Modélisation d'antenne monopole lame avec des encoches par le logiciel : | 66 |

| | |
|---|----|
| III.4.2 L'influence de largeur (L_n) des encoches. | 66 |
| III.4.3 Résultats des optimisations d'antenne monopole lame avec encoches. | 67 |
| III.4.3.1 La modélisation géométrique (Mesh) : | 67 |
| III.4.3.2 Le coefficient de réflexion S_{11} : | 68 |
| III.4.3.3 Taux d'ondes stationnaires TOS (VSWR) : | 68 |
| III.4.3.4 Le diagramme de rayonnement et le gain : | 69 |
| III.4.3.5 Les répartitions des champs E/H : | 69 |
| III.4.4 L'antenne monopole lame avec des encoches couvert par un Radôme : | 70 |
| III.4.4.1 Le coefficient de réflexion S_{11} : | 70 |
| III.4.4.2 Taux d'ondes stationnaires TOS (VSWR) : | 71 |
| III.4.4.3 Le diagramme de rayonnement et le gain : | 72 |
| III.5 L'analyse d'antenne lame sur cylindre métallique : | 73 |
| III.5.1 Le coefficient de réflexion S_{11} : | 73 |
| III.5.2 Le diagramme de rayonnement et le gain : | 74 |
| III.6 Conclusion..... | 75 |
| Conclusion générale | 76 |
| Références bibliographiques | 78 |

Abréviations /Acronymes:

| | |
|-----------------------|---|
| Hz | Hertz |
| KHz | Kilo Hertz |
| MHz | Méga Hertz |
| GHz | Giga Hertz |
| Km | Kilo mètre |
| IEEE | Institute of Electrical and Electronics Engineers |
| GPS | Global Positioning System |
| ROS | Rapport d'Onde Stationnaire |
| S₁₁ | Coefficient de réflexion |
| VSWR | Voltage Standing Wave Ratio |
| dB | déciBel |
| BW | BandWidth |
| BP | Bande Passante |
| PIRE | Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente |
| EIRP | Effective Isotropic Radiated Power |
| VHF | Very High Frequency |
| TCAS | Traffic Collision Avoidance System |
| Kg | Kilogramme |
| DME | Distance Measuring Equipment |
| Cm | Centimètre |
| ATC | Air Traffic Control |
| SSR | Secondary Surveillance Radar |
| ADS-B | Automatic Dependent Surveillance–Broadcast |
| TACAN | TACTical Air Navigation |
| ILS | Instrument Landing System |
| VOR | VHF Omnidirectional Range |

| | |
|--------------|--|
| LOC | Localizer |
| ADF | Automatic Direction Finder |
| UWB | Ultra-Wideband |
| ULB | Ultra Large Bande |
| RADAR | RAdio Detection And Ranging |
| FCC | Federal Communication Commission |
| IR | Impulse Radio |
| DARPA | Defense Advanced Research Project Agency |
| DSP | Digital Signal Processor |
| dBm | déciBel milliwatt |
| RF | Radio Frequency |
| SNR | Signal to Noise Ratio (rapport signal à bruit) |
| LPD | Low Probability of Detection |
| LPI | Low Probability of Intercept |
| WLAN | Wireless Local Area Network |
| GPR | Ground Penetrating Radar |
| TSA | Tapered Slot Antenna |
| 2D | Two-Dimensional |
| 3D | Three-Dimensional |

Listes des figures :

Chapitre I :

| | |
|--|----|
| Figure I.1 : Système de communication sans fil comportant une antenne émettrice et une antenne réceptrice..... | 5 |
| Figure I.2 : Représentation d'une antenne d'émission seule..... | 6 |
| Figure I.3 : Représentation d'une antenne de réception seule..... | 6 |
| Figure I.4 : Représentation d'une antenne d'émission et de réception. | 7 |
| Figure I.5 : Représentation de l'impédance de l'antenne..... | 9 |
| Figure I.6 : Illustration de la bande passante à -10 dB d'une antenne..... | 11 |
| Figure I.7 : Lignes de champs produites par une antenne demi-onde..... | 12 |
| Figure I.8 : Zones de radiation d'une antenne..... | 13 |
| Figure I.9 : Diagramme de rayonnement. | 15 |
| Figure I.10 : Diagramme de rayonnement source directive. | 16 |
| Figure I.11 : Les trois types de polarisation d'une antenne. | 17 |
| Figure I.12 : Polarisation linéaire du champ électrique E. | 17 |
| Figure I.13 : Exemple de polarisation circulaire du champ électrique E. | 18 |
| Figure I.14 : Exemple de polarisation elliptique du champ électrique E. | 18 |
| Figure I.15 : Bilan de liaison entre deux antennes en communication | 19 |
| Figure I.16 : Antenne monopole | 21 |
| Figure I.17 : Placement des antennes typiques pour un avion Boeing 787..... | 22 |
| Figure I.18 : Antenne communication VHF..... | 23 |
| Figure I.19 : Antenne TACAS | 24 |
| Figure I.20 : DME lame (blade) antenne..... | 25 |
| Figure I.21 : Emplacements d'équipement aéroporté de l'ATC | 26 |
| Figure I.22 : ATC/IFF-DME/TACAN ANTENNA 2442-88-03 | 26 |
| Figure I.23 : VOR/LOC/GS antenna P/N 6243-83-00..... | 27 |
| Figure I.24 : Antenne JD 85 | 27 |
| Figure I.25 : Bandes de fréquences GPS..... | 28 |
| Figure I.26 : Emplacement de l'antenne GPS sur avion | 29 |
| Figure I.27 : Active GPS antenna S67-1575-133..... | 29 |

Chapitre II :

| | |
|--|----|
| Figure II.1 : Chronogramme de l'évolution la technologie UWB. | 32 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| Figure II.2 : Comparaison de Spectre bande étroite et large bande | 32 |
| Figure II.3 : Comparaison en temporel et fréquentiel d'un signal à bande étroite et d'un signal ULB..... | 33 |
| Figure II.4 : Comparaison entre la DSP d'un signal à bande étroite et d'un signal ULB. | 34 |
| Figure II.5 : Propagation par trajets multiples..... | 35 |
| Figure II.6 : Densité spectrale de PIRE : systèmes ULB et autres systèmes radio. | 36 |
| Figure II.7 : Différentes applications de l'Ultra Large Bande..... | 37 |
| Figure II.8 : Antenne log-spiral | 39 |
| Figure II.9 : Antenne spirale d'Archimède | 39 |
| Figure II.10 : Antenne spirale conique..... | 39 |
| Figure II.11 : a) Antenne log-périodique trapézoïdale b) Antenne log-périodique circulaire c) Antenne dipôle log-périodique..... | 40 |
| Figure II.12 : Antenne biconique..... | 41 |
| Figure II.13 : Antenne discône..... | 41 |
| Figure II.14 : Antenne papillon..... | 41 |
| Figure II.15 : Exemple de réalisation pratique d'un monopole circulaire..... | 42 |
| Figure II.16 : Géométrie d'un monopole triangulaire..... | 42 |
| Figure II.17 : Illustration d'un monopole trapézoïdal..... | 43 |
| Figure II.18 : Illustration d'un monopole papillon..... | 43 |
| Figure II.19 : Exemple de cornet ULB..... | 44 |
| Figure II.20 : Différents profils d'antennes TSA | 44 |
| Figure II.21 : Exemples d'antennes lames pour systèmes TCAS, DME, VHF | 46 |
| Figure II.22 : Antenne Lame (Blade Antenna)..... | 46 |
| Figure II.23 : Exemple d'un Radome..... | 47 |

Chapitre III :

| | |
|---|----|
| Figure III.1 : Prototype d'antenne monopole lame | 50 |
| Figure III.2 : Schéma de l'antenne monopole lame avec les paramètres géométriques | 51 |
| Figure III.3 : Coefficient de réflexion(dB)en fonction de la fréquence (GHz) pour différentes variations d'hauteur H..... | 52 |
| Figure III.4 : Coefficient de réflexion(dB)en fonction de la fréquence (GHz) pour différentes variations du largeur L | 52 |
| Figure III.5 : Coefficient de réflexion(dB)en fonction de la fréquence (GHz) pour différentes variations l'angle A, H, L..... | 53 |

| | |
|---|----|
| Figure III.6 : Coefficient de réflexion(dB)en fonction de la fréquence (GHz) pour différentes variations de la position Pa..... | 54 |
| Figure III.7 : Coefficient de réflexion(dB)en fonction de la fréquence (GHz) pour différentes variations de la distance Da..... | 54 |
| Figure III.8 : Coefficient de réflexion(dB)en fonction de la fréquence (GHz) pour différentes variations de plan de masse Dp | 55 |
| Figure III.9 : Coefficient de réflexion(dB)en fonction de la fréquence (GHz) pour différentes variations des paramètres en même temps | 56 |
| Figure III.10 : Antenne monopole lame simulée sous le logiciel..... | 57 |
| Figure III.11 : Modélisation géométrique (Mesh ou maillage)..... | 58 |
| Figure III.12 : Coefficient de réflexion S11 pour l'antenne monopole lame optimisée | 59 |
| Figure III.13 : Résultats du taux d'ondes stationnaires TOS (VSWR). | 59 |
| Figure III.14 : Diagrammes de rayonnement en 3D de l'antenne | 60 |
| Figure III.15 : Répartition du champ électrique E..... | 60 |
| Figure III.16 : Répartition du champ magnétique H | 61 |
| Figure III.17 : Antenne lame avec un radôme..... | 62 |
| Figure III.18 : Représentation du radôme | 62 |
| Figure III.19 : Modélisation géométrique | 62 |
| Figure III.20 : Coefficient de réflexion S11 | 63 |
| Figure III.21 : Taux d'ondes stationnaires TOS (VSWR) | 64 |
| Figure III.22 : Diagrammes de rayonnement en 3D de l'antenne | 64 |
| Figure III.23 : Coefficient de réflexion S11 des différentes épaisseurs | 65 |
| Figure III.24 : Antenne monopole lame avec des encoches..... | 66 |
| Figure III.25 : Coefficient de réflexion(dB)en fonction de la fréquence (GHz) pour différentes variations de largeur (Ln) d'encoche..... | 67 |
| Figure III.26 : Géométrie des cellules (mesh)..... | 67 |
| Figure III.27 : Résultats du coefficient de réflexion de la nouvelle antenne avec encoches.... | 68 |
| Figure III.28 : Taux d'ondes stationnaires TOS..... | 68 |
| Figure III.29 : Diagramme de rayonnement en 3D | 69 |
| Figure III.30 : Répartition du champ électrique E..... | 69 |
| Figure III.31 : Répartition du champ magnétique H | 70 |
| Figure III.32 : Résultats du coefficient de réflexion d'antenne avec encoches et radôme | 71 |
| Figure III.33 : Taux d'ondes stationnaires TOS..... | 71 |
| Figure III.34 : Diagramme de rayonnement en 3D | 72 |
| Figure III.35 : Représentation de montage antenne/cylindre | 73 |
| Figure III.36 : Résultats du coefficient de réflexion d'antenne/cylindre | 74 |

| | |
|--|----|
| Figure III.37 : Diagramme de rayonnement en 3D | 74 |
|--|----|

Listes des tableaux :

| | |
|---|----|
| Tableau I.1 : Systèmes et fréquences typiques pour un aéronef civil | 22 |
| Tableau III.1 : Dimension de l'antenne monopole lame..... | 57 |
| Tableau III.2 : Performances des monopôles lame optimisées..... | 75 |

Introduction générale.

Introduction générale :

La technologie de l'aviation est en cours de développement sur la base des opérations de navigation et de communication des avions, parmi les préoccupations de domaine aéronautique, on trouve les antennes. Ce sont des éléments obligatoires pour assurer une opération d'émission ou de réception des ondes électromagnétiques dans l'espace, elles sont présentes dans tous les systèmes de communication sans fil.

A l'heure actuelle, il existe une course mondiale à la réduction du nombre de structures antennaires à bord, à la réduction de leurs dimensions et à leur intégration dans des endroits plans, courbes et déformables. Puisque le rayonnement des antennes dépend du type d'antenne et de sa position, le choix de leur emplacement est primordial pour assurer le bon fonctionnement de tous les systèmes avioniques. La position des antennes est déterminée en premier lieu par des considérations d'ordres mécaniques et aérodynamiques.

Toutes les antennes, quelles que soient leurs applications, sont caractérisées par des caractéristiques communes telles que la fréquence opérationnelle, la bande passante fractionnaire, le diagramme de rayonnement, le rapport D'onde stationnaire de tension, Le coefficient de réflexion, l'efficacité, la directivité, le gain, la polarisation, etc..., dans les aéronefs, les antennes sont utilisées pour les communications ainsi que pour différents systèmes de navigation allant de 30 MHz à 4 GHz. Ces systèmes de navigation assurent un certain nombre de fonctions pour le fonctionnement de l'avion, telles que la radiogoniométrie, l'équipement de mesure de distance, le système de positionnement global, le système d'atterrissage par micro-ondes, le radar altimètre. Les gros avions dupliquent des systèmes essentiels comme le système de communication à très haute fréquence, le système de surveillance du trafic et d'évitement des collisions et le système de contrôle du trafic aérien. Ils utilisent plus d'une antenne pour des raisons de redondance et de sécurité.[1]

En général, les exigences d'antenne de l'aéronef pour divers systèmes de communication et de navigation sont énumérées comme suit : **Emplacement et placement de l'antenne** : Il est très important de déterminer l'emplacement d'une antenne destinée à être utilisée dans des systèmes avioniques, car cela peut modifier les exigences strictes de conception aérodynamique de l'avion. **Dimensions** : La taille et le poids sont des facteurs importants qui doivent être pris en compte lors de la sélection d'une antenne pour une application particulière. La taille et le poids limitent également les endroits où l'antenne peut être installée. **Fiabilité** : L'antenne candidate doit être capable de résister à une exposition prolongée à des conditions

environnementales difficiles pendant l'exploitation de l'aéronef. **Maintenance** : Une antenne doit être conçue de telle sorte qu'elle nécessite un minimum de temps de réparation et de remplacement si elle ne fonctionne pas.

Les antennes de type « lame » (*blade antennas*) [1] sont généralement utilisées dans l'aéronef pour divers systèmes de communication. L'antenne lame est essentiellement une antenne monopole qui fait généralement autour d'un quart de longueur d'onde. Il est installé sur un plan de masse conducteur. Le plan de masse agit comme un plan image de façon à ce que l'antenne équivalente ait un diagramme de rayonnement très proche de celui d'un dipôle avec un gain maximale proche l'horizon. La construction d'une antenne "blade" s'achève en recouvrant l'élément rayonnant avec un radôme aérodynamique en composite qui a la forme d'un aileron de requin. Elles possèdent un diagramme de rayonnement omnidirectionnel ainsi qu'une polarisation verticale.

Les antennes lame présentent plusieurs avantages à intégrer une antenne dans le fuselage, à savoir : minimisation de la traînée ; réduction des emplacements qui peuvent attirer la foudre ; réduction de l'entretien ; réduction du nombre d'ouvertures dans le fuselage ; réduction du bruit dans le poste de pilotage.

Ce type d'antenne est préféré en cas de création d'une antenne monopôle à bande plus large par rapport aux antennes monopôles à fil mince. Par rapport aux antennes d'avion classiques et aux antennes monopôles, les antennes lames présentent plus d'avantages. Elles sont plus légères, leur forme est plus pratique, leur profil est plus bas et leur volume est plus faible. Les encoches sont découpées dans les antennes à lames afin d'obtenir une meilleure performance à large bande [2]

L'objectif de cette dissertation de fin d'étude est de concevoir un nouveau type d'antenne répondant d'une part, aux exigences de radiation électromagnétique telles que : le diagramme de rayonnement omnidirectionnel, gain élevé avec une polarisation verticale, d'autre part, aux exigences aérodynamiques et d'installation. Comme cette antenne sera montée sur l'aéronef, l'étude s'étalera sur la possibilité d'exploiter l'endroit de l'emplacement dans le but d'améliorer les propriétés du rayonnement de la combinaison antenne-fuselage.

Actuellement, les grands avions utilisent des antennes lames qui sont très visibles, encombrantes et susceptibles d'être endommagées, Par conséquent, et afin d'améliorer l'aérodynamisme des avions commerciaux efficaces, il devient nécessaire de disposer d'antennes conformes, à hauteur réduite et multifonctionnelles.

L'objectif de ce travail est de concevoir des antennes conformes et peut contribuer à améliorer les propriétés aérodynamiques des avions commerciaux. On cherche une réduction du poids et de la traînée aérienne, on couvre l'antenne par un radôme qui est une enceinte structurelle étanche qui protège une antenne contre les conditions environnementales difficiles. Le radôme est construit en un matériau qui atténue au minimum le signal émis ou reçu par l'antenne. En d'autres termes, le radôme est transparent aux ondes électromagnétiques.

L'objectif de notre projet est de faire une conception d'une nouvelle antenne monopole de type lame large bande pour les systèmes de navigation et communication aérienne. Ce manuscrit se compose de trois chapitres qui ont constitué les différentes étapes du mémoire.

Dans le premier chapitre, il s'agit de donner des généralités sur les antennes (définition, le rôle, classification et principales caractéristiques). Ensuite, une attention particulière est accordée aux antennes aéroportées dans un aéronef et leur placement.

Dans la deuxième partie, nous abordons les antennes utilisables dans Les systèmes de communication et de navigation en Aéronautique tel que : communication VHF, l'équipement de mesure de distance, le système de surveillance du trafic et d'évitement des collisions et le système de contrôle du trafic aérien.

Dans le chapitre deux, nous proposons une présentation de la technologie ultra large bande, un bref historique son domaine utilisation, ces avantages et ses caractéristiques et leur application en générale. Ensuite, nous avons présenté de façon générale les différentes antennes de la technologie ULB ses classification selon leurs formes et leurs spécifications. Puis nous avons basé sur les antennes monopole de type lame (blade antenna).

Enfin dans le troisième chapitre est consacré à la présentation d'antenne étudiée, un prototype d'antenne monopole à lame a été conçu, fabriqué et mesuré grâce à logiciel de simulation électromagnétique. La spécification du système requise pour antenne proposée en termes de Le coefficient de réflexion, de diagramme de rayonnement et de bande passante est atteinte, tout en conservant de bonnes caractéristiques de rayonnement, ce qui en fait de bons candidats pour les applications avioniques des aéronefs.

Chapitre I :

Généralité sur les antennes.

Chapitre I : Généralité sur les antennes.

I.1 Introduction :

Le mot antenne est d'origine latine (antenna) et servait à désigner la vergue du gréement des navires romains. Une telle dénomination convenait donc particulièrement bien aux structures filaires rayonnantes déployées par les pionniers de la radiotélégraphie dès la fin du XIXe siècle.

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 prévues 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. Leur développement s'est fait en parallèle avec celui de l'électronique au début du siècle. Le XXe siècle est ensuite ponctué d'innovations majeures, qui répondaient à des besoins précis.[3]

L'essor actuel des communications impose des innovations importantes au niveau de la conception des systèmes et des antennes associées, dont les formes aujourd'hui très diverses varient beaucoup selon les utilisations.

Les antennes doivent être utilisées dans plusieurs applications. Par exemple, les communications mobiles impliquant des avions, des engins spatiaux, des navires ou des véhicules terrestres nécessitent des antennes.

Les antennes sont également populaires dans les situations de diffusion où un terminal d'émission peut desservir un nombre illimité de récepteurs, qui peuvent être mobiles (par exemple, autoradio). Les applications radios non diffusées telles que la radio municipale (police, incendie, sauvetage), le radioamateur et les communications personnelles sans fil nécessitent également des antennes. Il existe également de nombreuses applications de non communication pour les antennes. Il s'agit notamment de la télédétection et des applications industrielles. Les systèmes de télédétection sont actifs (p. ex. Radar) ou passifs (p. ex. Radiométrie) et reçoivent l'énergie dispersée ou les émissions inhérentes des objets.[4]

Dès l'origine, l'antenne est l'élément qui est utilisé pour diffuser les ondes électromagnétiques par rayonnement. Elle joue deux rôles réciproques : la transmission et la réception.

Il est important d'avoir une connaissance globale de leur fonctionnement lors du choix d'un dispositif rayonnant. La compréhension de ce fonctionnement aidera, d'une part à utiliser l'antenne au mieux de ses performances et d'autre part, à en réaliser une conception optimale.

Chapitre I : Généralité sur les antennes.

Dans ce chapitre nous allons tout d'abord traiter de façon générale les antennes, la définition, les notions de bases des quelques propriétés et caractéristique des antennes, puis on parle de certains systèmes de navigation et de communication aéronautiques et leur antennes aéroportée sur les aéronefs.

I.2 Définition d'une antenne :

Une antenne d'émission est un élément conducteur qui transforme une énergie électrique en énergie de rayonnement électromagnétique. Une antenne de réception traduit un rayonnement électromagnétique en courant électrique induit. La même antenne peut servir à recevoir ou à émettre si elle est alimentée en courant (réciprocité des antennes).

Les antennes sont utilisées dans des gammes de longueur d'onde très différentes pour un très grand nombre d'applications dont nous citons quelques exemples [5] :

- ⊗ Ondes kilométriques (30 à 300 kHz) et hectométriques (300 à 30000 kHz) pour la radiodiffusion à modulation d'amplitude, les signaux horaires et les liaisons avec les sous-marins.
- ⊗ Ondes décamétriques (3 à 30MHz) pour les liaisons intercontinentales ou maritimes.
- ⊗ Ondes métriques (30 à 300MHz) pour la radiodiffusion à modulation de fréquence, la télévision et les communications et radionavigations aéronautiques.
- ⊗ Ondes décimétriques (300 à 3000MHz) pour la télévision, le radar et les liaisons avec les mobiles.
- ⊗ Ondes centimétriques (3 à 30GHz) pour les liaisons terrestres par faisceaux hertziens et les liaisons spatiales.

Un système de communication sans fil classique contenant une antenne d'émission et une antenne de réception est représenté par la **figure I.1** Selon la définition issue des standards IEEE, une antenne est définie comme un moyen de rayonner ou de recevoir les ondes radio.

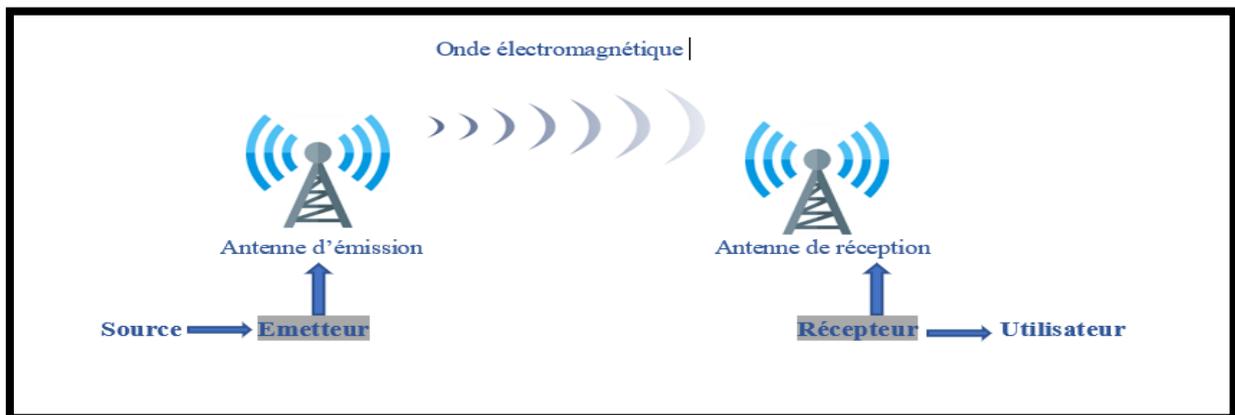


Figure I.1 : Système de communication sans fil comportant une antenne émettrice et une antenne réceptrice.

Chapitre I : Généralité sur les antennes.

I.3 Le rôle des antennes :

I.3.1 Antenne Émission :

Le rôle de l'antenne d'émission est de transformer la puissance électromagnétique guidée, issue d'un générateur en une puissance rayonnée. Dans ce sens, c'est un transducteur, la représentation elle est donnée **figure I.2**

Les antennes d'émission seule sont largement utilisées dans de nombreuses applications :

- ⊗ Émetteurs de télévision et de radio, terrestres ou satellisés ;
- ⊗ Balises de navigation aérienne ou maritime ;
- ⊗ Émetteurs satellisés des systèmes GPS (Global Positioning System) ;
- ⊗ Communications lointaines (stations terriennes des satellites d'exploration, pour lesquels les antennes d'émission et de réception sont distinctes) ;

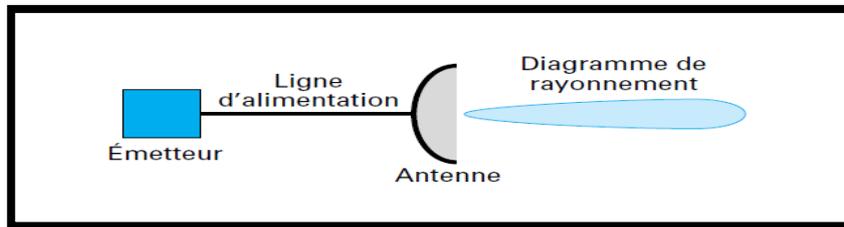


Figure I.2 : Représentation d'une antenne d'émission seule.

I.3.2 Antenne Réception :

De façon inverse, la puissance rayonnée peut être captée par une antenne de réception. Dans ce sens, l'antenne apparaît comme un capteur et un transformateur de puissance rayonnée en puissance électromagnétique guidée. Elle joue le même rôle qu'un télescope qui capte la lumière issue des étoiles et la transforme, comme représente **la figure I.3**

Les antennes de réception seule sont largement utilisées dans de nombreuses applications :

- ⊗ Réception de télévision ou de radio (émetteurs au sol ou satellisés) ;
- ⊗ Réception de signaux émis par les balises de navigation aérienne ou maritime ;
- ⊗ Réception des signaux émis par les satellites GPS ;
- ⊗ Réception des signaux horaires ;

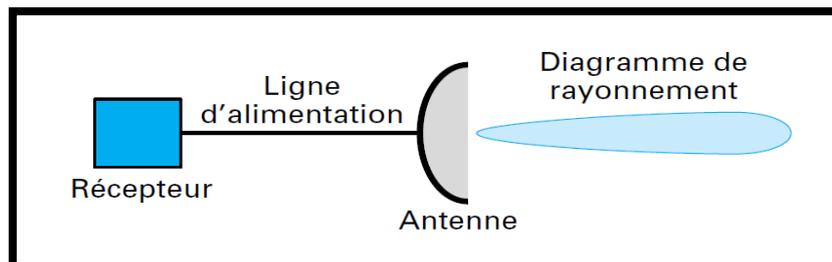


Figure I.3 : Représentation d'une antenne de réception seule.

Chapitre I : Généralité sur les antennes.

I.3.3 Antenne Émission et réception (Réciprocité) :

Dans la plupart des cas, une antenne peut être utilisée en réception ou en émission (**figure I.4**) avec les mêmes propriétés rayonnantes. On dit que son fonctionnement est réciproque.

Ces antennes sont utilisées notamment pour :

- ⊗ Les radars : la plupart des radars utilisent la même antenne pour émettre des impulsions, puis recevoir les échos de l'environnement ;
- ⊗ Les radiotéléphones (un émetteur central fixe et plusieurs petits émetteurs-récepteurs mobiles) ;
- ⊗ Les « talkies-walkies » (deux, ou plus, petits émetteurs-récepteurs mobiles) ;
- ⊗ Les liaisons lourdes par satellites (stations au sol fixes communiquant par relais satellisé) ;
- ⊗ Les liaisons légères par satellites (un mobile au sol, communiquant avec une station fixe au sol, grâce à un relais satellisé) ;
- ⊗ Les liaisons sol-sol ou air-sol par radiotéléphonie. [6]

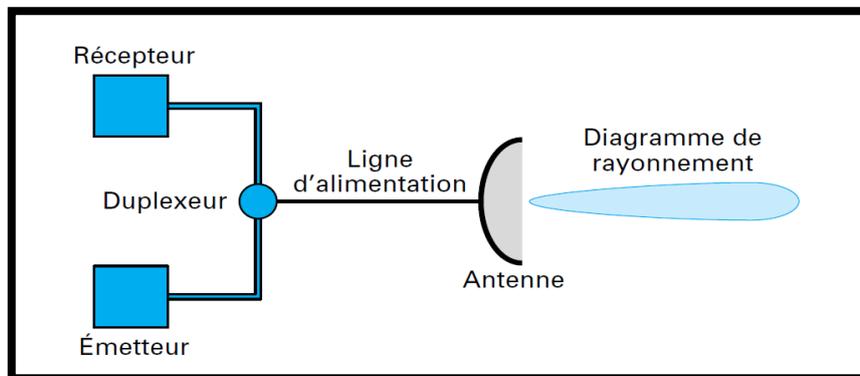


Figure I.4 : Représentation d'une antenne d'émission et de réception.

L'antenne a plusieurs rôles dont les principaux sont les suivants :

- ⊗ Permettre une adaptation correcte entre l'équipement radioélectrique et le milieu de propagation.
- ⊗ Assurer la transmission ou la réception de l'énergie dans des directions privilégiées.
- ⊗ Transmettre le plus fidèlement possible une information.

Chapitre I : Généralité sur les antennes.

I.4 Caractéristiques des antennes :

Indépendamment de sa fréquence de fonctionnement ou de sa structure physique, une antenne est caractérisée par des propriétés et des paramètres communs.

Les antennes se caractérisent généralement par quelques paramètres importants qui permettent de comparer les structures entre elles, mais surtout qui fixent les performances, ces paramètres peuvent être mesurés ou simulés.

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.

Un grand nombre de paramètres permettent de classer les antennes tels que la directivité, Impédance d'entrée, le diagramme de rayonnement, la bande passante, la polarisation, etc.

Alors la performance d'une antenne peut être évaluée à partir de ses paramètres qui sont présentées ci-dessous.

I.4.1 Caractéristiques électriques :

I.4.1.1 Impédance d'entrée :

L'impédance d'entrée d'une antenne est définie comme le rapport entre la tension et le courant aux terminaux de l'antenne ou comme le rapport entre les composantes appropriées des champs électriques et magnétiques, schématiser dans la **figure I.5**. L'expression de l'impédance d'entrée d'une antenne Z_{ant} se décompose en une partie réelle R_{ant} et une partie imaginaire X_{ant} et s'écrit comme suit [7] :

$$Z_{ant} = R_{ant} + jX_{ant} \quad (I.1)$$

Z_{ant} : Impédance caractéristique de la ligne d'alimentation.

La partie réelle de l'impédance R_{ant} regroupe une partie due aux pertes ohmiques et diélectriques des matériaux et la résistance de rayonnement de l'antenne et elle s'écrit comme suit :

$$R_{ant} = R_{pertes} + R_{ray} \quad (I.2)$$

Chapitre I : Généralité sur les antennes.

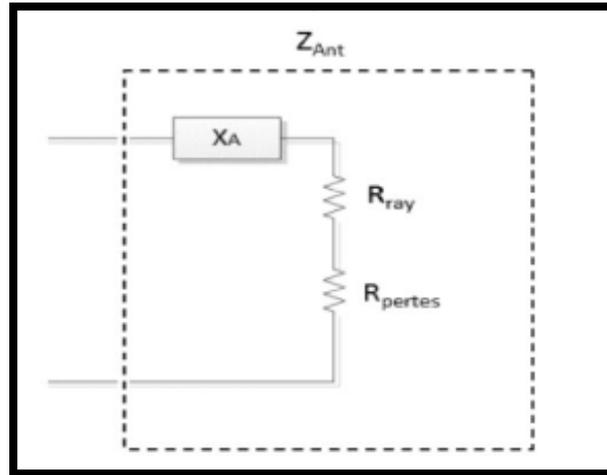


Figure I.5 : Représentation de l'impédance de l'antenne

Pour s'assurer que la puissance a été transférée de l'alimentation vers l'antenne, il est nécessaire d'avoir une adaptation d'impédance. Le transfert maximal de puissance est obtenu lorsque l'impédance de l'alimentation est égale à l'impédance conjuguée de l'antenne et comme S_{11} est fonction de la fréquence alors Z_{ant} varie aussi avec la fréquence. Cette impédance d'entrée en fonction de S_{11} est donnée par la formule :

$$Z_{ant} = Z_c \frac{1+S_{11}}{1-S_{11}} \quad (I.3)$$

Z_c : l'impédance Caractéristique peut prendre différentes valeurs en fonction des applications.

I.4.1.2 Le coefficient de réflexion et Rapport d'Onde Stationnaire (R.O.S) :

Une chaîne de transmission radiofréquence est toujours composée au minimum d'un générateur et d'une charge. Lorsque l'antenne est utilisée en émission, le générateur est constitué par le circuit de sortie de l'émetteur et la charge par l'antenne qui rayonne les signaux électromagnétiques. A l'inverse en mode réception, l'antenne constitue le générateur qui collecte les signaux électromagnétiques et le circuit d'entrée du circuit récepteur constitue la charge. Le coefficient de réflexion d'une antenne représente le rapport des amplitudes des ondes incidentes sur les ondes réfléchies.

Pour une antenne d'impédance Z_{ant} , reliée à la source par une ligne d'impédance Caractéristique Z_c , le coefficient de réflexion peut être défini comme suite :

$$S_{11} = \Gamma = \frac{Z_{ant}-Z_c}{Z_{ant}+Z_c} \quad (I.4)$$

Chapitre I : Généralité sur les antennes.

Z_c : l'impédance Caractéristique peut prendre différentes valeurs en fonction des applications. Le module du coefficient de réflexion est souvent exprimé en décibel (dB) et est noté $|S_{11}|$ et se définit comme suit :

$$|S_{11}|_{dB} = 20\text{Log}(S_{11}) \quad (\text{I.5})$$

Les pertes par réflexion RL (en dB) sont alors données par la relation :

$$RL = -20\text{Log}|\Gamma| \quad (\text{I.6})$$

Plus simplement, le coefficient de réflexion est un paramètre qui permet de quantifier la quantité du signal réfléchi par rapport au signal incident. Il permet de caractériser l'adaptation de l'antenne au circuit qui la précède. Plus l'antenne est adaptée plus le coefficient de réflexion est faible. Ainsi, avec un coefficient de réflexion à -10 dB, 90% de la puissance est transmise à l'antenne.

Le coefficient de réflexion permet de connaître la qualité d'adaptation d'une antenne. En effet, plus son module tend vers l'infini négativement, plus l'antenne est adaptée. Souvent, la fréquence de résonance d'une antenne est celle où le coefficient de réflexion est minimal.

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.) Lorsque l'adaptation n'est pas parfaite, la partie de l'onde réfléchie se superpose à l'onde incidente pour ne former qu'une seule onde, appelée onde stationnaire. Il se définit comme le rapport des valeurs maximales et minimales de l'amplitude de l'onde stationnaire. Le ROS ou, en anglais, VSWR pour Voltage Standing Wave Ratio peut également s'exprimer à partir du coefficient de réflexion que nous venons de définir à travers l'expression [8] :

$$ROS = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (\text{I.7})$$

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

I.4.1.3 La fréquence de résonance et la bande passante :

La bande passante d'une antenne définit donc la plage de fréquence dans laquelle le coefficient de réflexion est inférieur à un seuil fixé arbitrairement. Généralement la bande passante correspond à la plage de fréquence pour laquelle le coefficient de réflexion est inférieur de -10 dB. Mais dans certaines applications, ce niveau peut être relevé à -6 dB ce qui permet de relâcher certaines contraintes lors de la conception d'une antenne, c'est le cas, par exemple, pour

Chapitre I : Généralité sur les antennes.

certaines antennes de téléphone mobile. Il est cependant communément admis que si le seuil auquel est considéré la bande passante n'est pas précisé, il s'agit de la bande passante pour un S_{11} inférieur à -10 dB . La **figure I.6** montre le paramètre S_{11} d'une antenne en fonction de la fréquence et met en évidence la bande passante à -10 dB . Dans cet exemple la bande passante qui s'exprime en Hertz (Hz) est de 226 Mhz.[9]

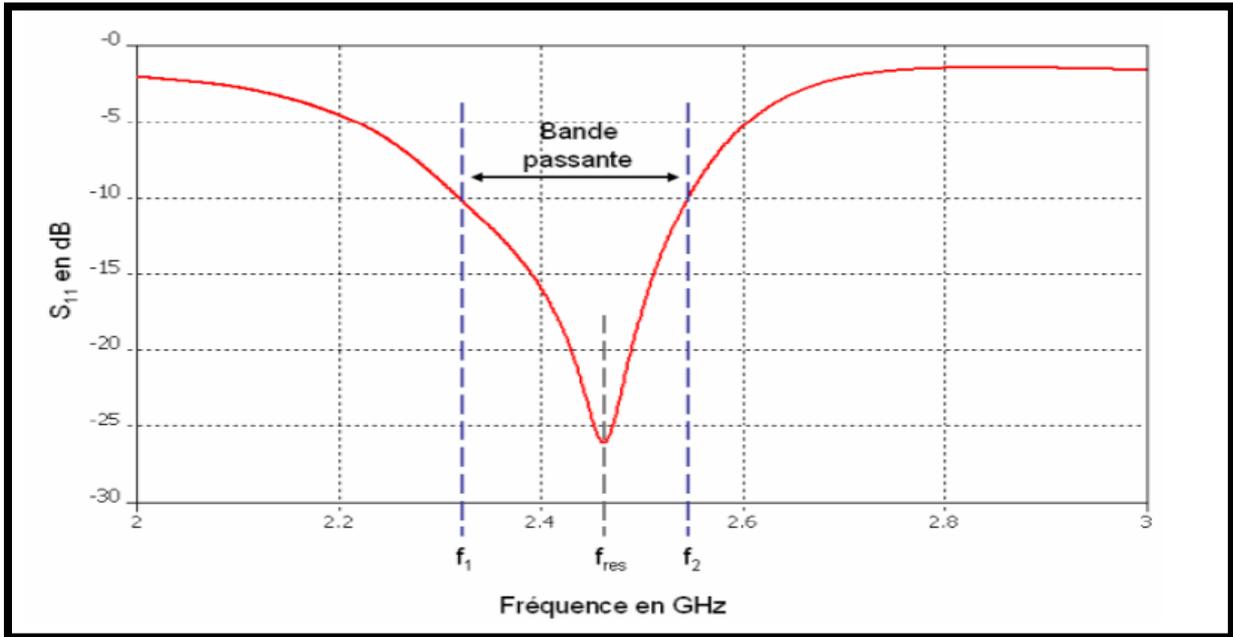


Figure I.6 : Illustration de la bande passante à -10 dB d'une antenne.

La fréquence de résonance, f_{res} correspond à la fréquence pour laquelle l'antenne est la mieux adaptée, c'est-à-dire pour laquelle le coefficient de réflexion est le plus faible. Sur une bande passante donnée, il est possible d'observer plusieurs minima donc plusieurs fréquences de résonance.

La bande passante est définie par la formule suivante :

$$BW = \frac{f_2 - f_1}{f_c} \quad (\text{I.8})$$

Avec f_2 et f_1 la fréquence maximale et la fréquence minimale entre lesquelles le coefficient de réflexion est inférieur à -10 dB et f_c la fréquence centrale.

Afin de comparer des structures d'antennes, on exprime souvent la bande passante, BP , d'une antenne en pourcentage par rapport à la fréquence de résonance.

$$BP(\%) = \frac{f_2 - f_1}{f_c} * 100 \quad (\text{I.9})$$

Chapitre I : Généralité sur les antennes.

I.4.1.4 Rendement :

Soit P_a la puissance d'alimentation d'une antenne, cette puissance est transformée en une puissance rayonnée P_r . Dans le sens de l'émission, la puissance rayonnée est inférieure à la puissance d'alimentation. L'antenne est un transformateur imparfait. Il y a des pertes lors de la transformation d'énergie, comme dans tout système. L'efficacité de l'antenne est définie par :

$$\eta = \frac{P_r}{P_a} \quad (\text{I.10})$$

Elle permet de mesurer le taux de transformation. C'est un rendement au sens thermodynamique du terme : $\eta \leq 1$

I.4.2 Caractéristiques de rayonnement :

Un grand nombre de paramètres électriques que nous venons de définir sont valables pour d'autres composants d'une chaîne de transmission radiofréquence. Mais, ce qui différencie réellement les antennes sont leur capacité à rayonner qui se définit au moyen de plusieurs paramètres que nous allons présenter dans cette partie.

I.4.2.1 Les régions du champ électromagnétique :

Les champs dans la proximité de l'antenne sont extrêmement complexes à analyser. La **Figure (I.7)** montre un exemple des lignes de champ produites par une antenne demi onde.[5]

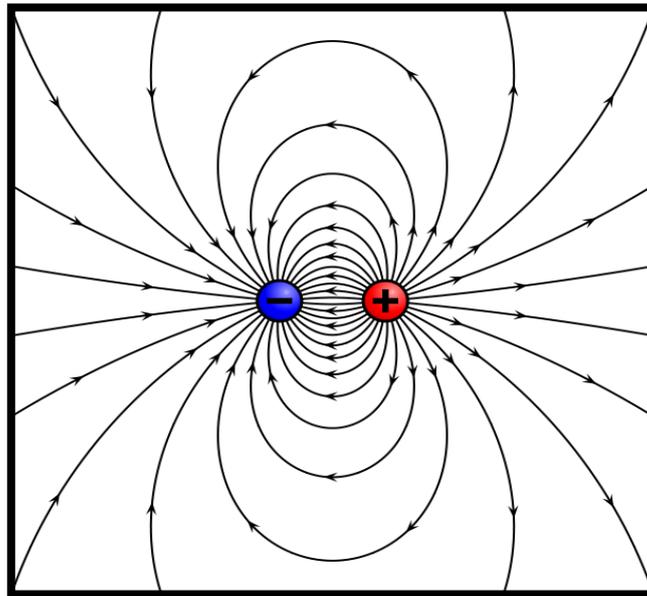


Figure I.7 : Lignes de champs produites par une antenne demi-onde.

Chapitre I : Généralité sur les antennes.

D_{se} Est le diamètre de la surface équivalente de l'antenne et r la distance à l'antenne. Les physiciens ont défini plusieurs zones autour de l'antenne (voir Figure I.8).

☞ Zone de Rayleigh :

Dans cette zone de champ proche (ou zone de Rayleigh), il y a échange d'énergie réactive entre l'antenne et le milieu extérieur. A courte distance (par rapport à la longueur d'onde) pour $r < \frac{D_{se}^2}{2\lambda}$, la densité de puissance est quasi constante (tube d'énergie).

☞ Zone de Fresnel :

Dans une seconde zone $\frac{D_{se}^2}{2\lambda} < r < \frac{2D_{se}^2}{\lambda}$: la densité de puissance est fluctuante.

☞ Zone de Fraunhofer :

Dans la zone du champ lointain (ou de Fraunhofer), à grande distance par rapport à la longueur d'onde, les champs sont rayonnés sous la forme d'une onde quasiment plane. Dans cette zone, $r > \frac{2D_{se}^2}{\lambda}$ la densité de puissance décroît en $\frac{1}{r}$.

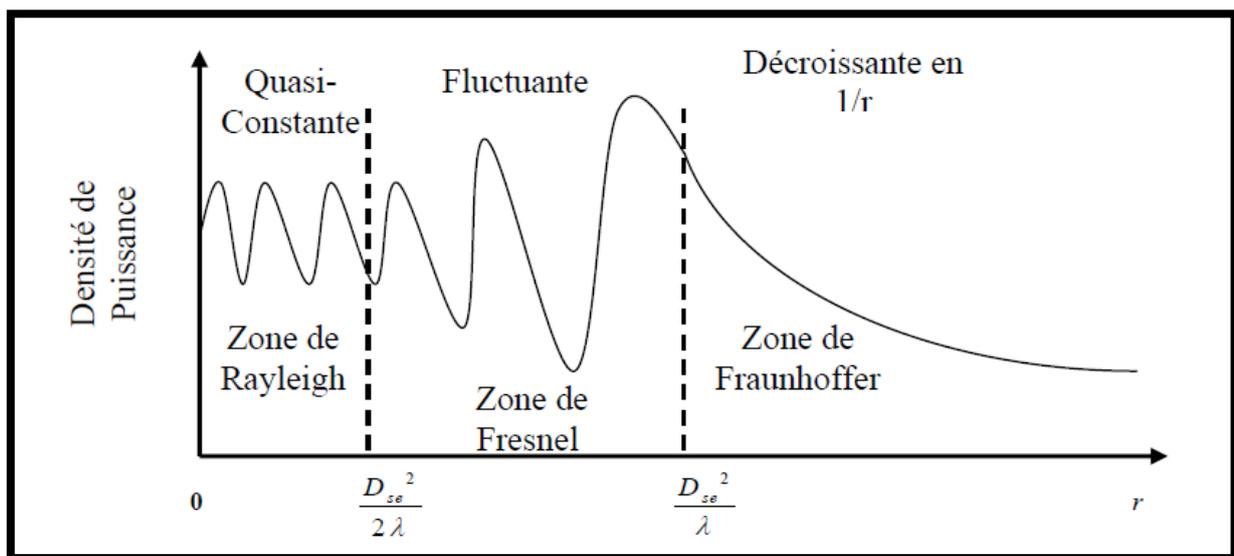


Figure I.8 : Zones de radiation d'une antenne.

Chapitre I : Généralité sur les antennes.

I.4.2.2 Diagramme de rayonnement :

La représentation graphique de la fonction caractéristique de l'antenne porte le nom de « *diagramme de rayonnement* ». C'est une représentation du rayonnement en 2-D ou 3-D de la puissance, du gain ou du champ électrique rayonné à grande distance qui est en fonction de θ (angle de Site : plan vertical) et φ (angle d'Azimut : plan horizontal) [10].

Classiquement, on a pris l'habitude de représenter le diagramme de rayonnement dans deux plans perpendiculaires qui sont : **le plan E** et **le plan H**. Le plan E (plan vertical) est défini comme le plan contenant l'axe de l'antenne et le champ électrique. Le plan H (plan Horizontal) est défini comme le plan contenant l'axe de l'antenne et le champ magnétique.

C'est un diagramme qui représente les variations de la puissance que rayonne l'antenne par unité d'angle solide dans les différentes directions de l'espace. Prenons le cas d'une antenne isotrope, c'est à dire rayonnant de la même façon dans toutes les directions, soit **P** la puissance totale rayonnée par l'antenne isotrope, la puissance rayonnée par unité de surface à la distance **r**, ou la densité de puissance **S** a cette distance dans n'importe quelle direction est donnée par :

$$S = \frac{P}{area} = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (\text{I.11})$$

Alors l'intensité de rayonnement de l'antenne isotrope U_i peut être écrite comme :

$$U_i = r^2 S = \frac{P}{4\pi} \quad (\text{I.12})$$

L'antenne isotrope n'existe pas et n'est pas réalisable. En réalité, l'énergie rayonnée par une antenne est répartie inégalement dans l'espace, certaines directions sont privilégiées : ce sont les **lobes de rayonnement**.

Un type plus pratique est l'antenne directionnelle qui rayonne plus de puissance dans certaines directions et moins de puissance dans d'autres directions. Un cas particulier de l'antenne directionnelle est l'antenne omnidirectionnelle, dont le diagramme de rayonnement peut être constant dans un seul plan (plan E), et varie dans le plan orthogonal (horizontal) (plan H). Le diagramme de rayonnement de l'antenne directive est montré dans **la figure (I.9)** ci-dessous :

Chapitre I : Généralité sur les antennes.

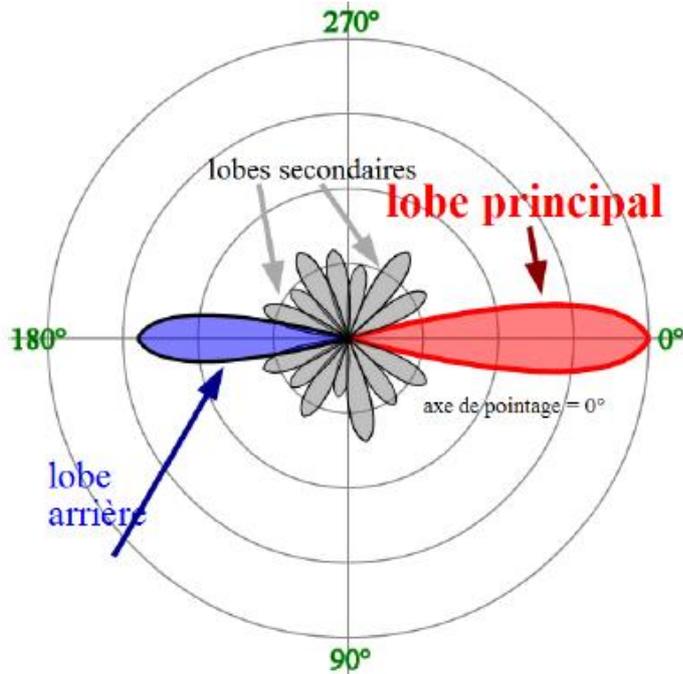


Figure I.9 : Diagramme de rayonnement.

Un lobe principal : C'est le lobe de rayonnement contenant le maximum d'énergie et la direction du maximum de rayonnement.

Un angle d'ouverture : L'angle d'ouverture d'une antenne est l'angle de direction pour lequel la puissance rayonnée est la moitié de la puissance rayonnée dans la direction la plus favorable.

Il est donc représentatif de la directivité de l'antenne. Plus cet angle est étroit plus l'antenne est directive.

Des lobes secondaires : Tous les autres lobes sont appelés lobes secondaires. Ils représentent le rayonnement de l'antenne dans les directions indésirables. Le niveau du lobe secondaire est en général exprimé sous forme de rapport entre la densité de puissance dans le lobe en question et celle du lobe principal. Ce rapport est appelé le niveau des lobes secondaires et il est exprimé en dB.

Un lobe arrière (rayonnement arrière) : C'est le lobe secondaire présent dans la direction opposée à 180° du lobe principal. Le rapport avant/arrière est le rapport en dB de la puissance rayonnée dans la direction du maximum de rayonnement par rapport à celle rayonnée dans la direction opposée.

Dans la plupart des systèmes antennaires, les lobes secondaires sont indésirables. Une bonne conception d'antenne doit permettre de minimiser les lobes secondaires.

Chapitre I : Généralité sur les antennes.

I.4.2.3 Directivité et gain :

La directivité d'une antenne dans une direction (φ, θ) donnée peut être exprimée par le rapport de la densité de puissance rayonnée P_r par la puissance rayonnée par une antenne isotrope.

$$D(\varphi, \theta) = \frac{P_r(\varphi, \theta)}{P_{r \text{ isotrope}}/4\pi} \quad (\text{I.13})$$

Une antenne directive possède, généralement, un lobe principal nettement plus important que les autres lobes, illustrer dans la **figure I.10**, dites lobes secondaires.

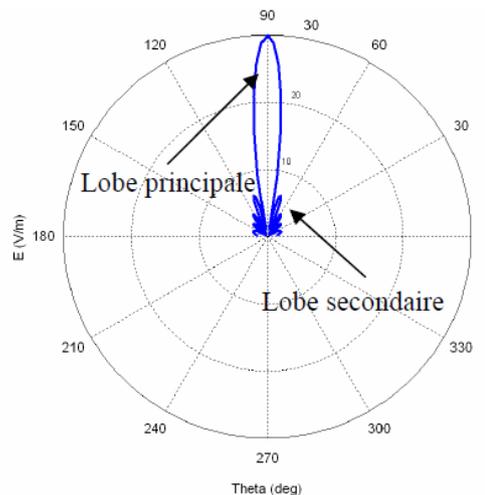


Figure I.10 : Diagramme de rayonnement source directive.

De même, le gain d'une antenne dans une direction peut être exprimé par le rapport de la puissance rayonnée dans une direction par la puissance absorbée par une antenne isotrope. Dans une antenne, la puissance d'alimentation P_a n'est pas nécessairement rayonnée en totalité, du fait des pertes intrinsèques dans les matériaux constituant l'antenne. Par conséquent, si on remplace P_r par P_a dans la relation (I.13), on obtient une quantité $G(\varphi, \theta)$ appelée gain dans la direction (φ, θ) , tel que [11] :

$$G(\varphi, \theta) = \frac{P_r(\varphi, \theta)}{P_a/4\pi} \quad (\text{I.14})$$

$$\text{Avec : } P_r = P_a \eta \quad (\text{I.15})$$

Chapitre I : Généralité sur les antennes.

Généralement cette grandeur est exprimée en dB .

$$G_{dB}(\varphi, \theta) = 10 \text{ Log} \left(4\pi * \frac{P_r(\varphi, \theta)}{P_a} \right) \quad (\text{I.16})$$

I.4.2.4 Polarisation :

La polarisation d'une antenne dans une direction donnée est caractérisée par la projection dans le plan perpendiculaire à la direction de propagation, de la courbe décrite dans le temps par l'extrémité du champ électrique (ou magnétique) de l'onde rayonnée dans la zone lointaine. La puissance reçue par une antenne donnée dépend donc du rendement de la polarisation. Ce rendement est défini par le rapport entre la polarisation de l'antenne émettrice et la polarisation de l'antenne réceptrice. Il existe trois types de polarisation du champ électromagnétique : [11]

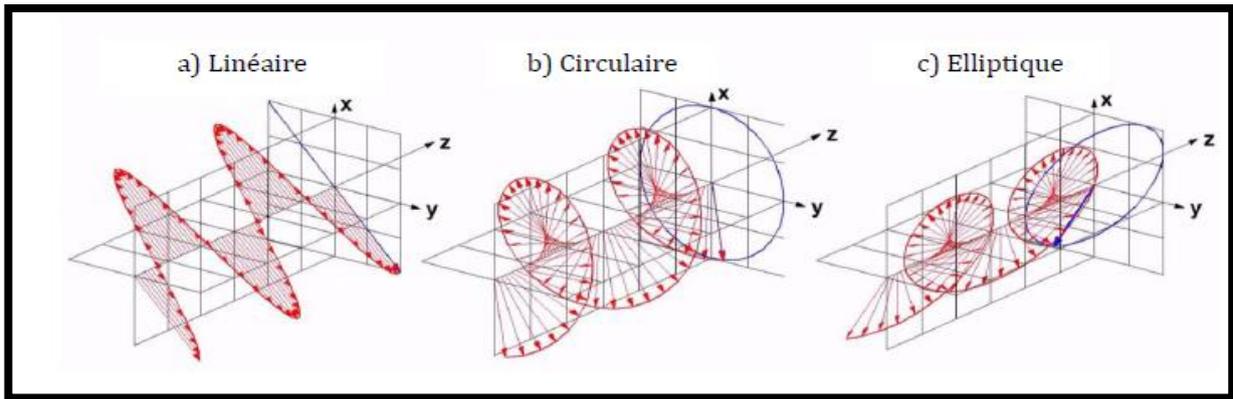


Figure I.11 : Les trois types de polarisation d'une antenne.

☞ **La polarisation linéaire** (dite aussi rectiligne). Elle est définie par l'orientation constante du champ électrique E par rapport à un repère, en fonction du temps et de l'espace (**figure I.12**). Cette polarisation est dite horizontale, si l'orientation du champ électrique E est horizontale par rapport au sol. Elle est dite verticale si l'orientation du champ est perpendiculaire au sol.



Figure I.12 : Polarisation linéaire du champ électrique E .

Chapitre I : Généralité sur les antennes.

☞ **La polarisation circulaire**, est une polarisation du champ E qui varie en fonction du temps. L'orientation du champ électrique E décrit un cercle. L'intensité du champ est toujours la même. L'orientation décrit une rotation vers la droite ou la gauche, d'où l'appellation de polarisation circulaire droite ou de polarisation circulaire gauche comme s'affiche dans la **figure I.13**.



Figure I.13 : Exemple de polarisation circulaire du champ électrique E.

☞ **La polarisation elliptique**, est une polarisation du champ électrique E qui est variable en fonction de temps. L'orientation et module du champ E décrivent une ellipse. De même que la polarisation circulaire, deux cas sont possibles : la polarisation elliptique droite et la polarisation elliptique gauche comme représenter la **figure I.14**.



Figure I.14 : Exemple de polarisation elliptique du champ électrique E.

I.5 Puissance isotrope rayonnée équivalente (PIRE) :

La puissance isotrope rayonnée équivalente d'une antenne (PIRE ou EIRP en anglais) est un terme souvent utilisé en télécommunications (principalement dans les bilans de liaison) qui définit, dans la direction de rayonnement maximal, la puissance électrique qu'il faudrait apporter à une antenne isotrope pour obtenir la même puissance rayonnée dans cette direction. Elle se calcule comme suit : $PIRE = G * P_a$ (I.17)

Chapitre I : Généralité sur les antennes.

I.6 Bilan de puissance :

Pour assurer la communication entre deux terminaux sans fil, il faut que la puissance captée par une antenne réceptrice dépasse un certain seuil. Cette puissance reçue peut être exprimée par la relation de Friis.[11] Elle dépend de la puissance émise par l'antenne émettrice, de la fréquence de fonctionnement, de la distance qui sépare les deux antennes, comme schématiser la **fig.I.15**, des gains des antennes et des pertes dans le canal de transmission (de l'air, dans la plupart des cas). Le canal de transmission représente le milieu traversé par l'onde électromagnétique avant qu'elle atteigne l'antenne réceptrice.

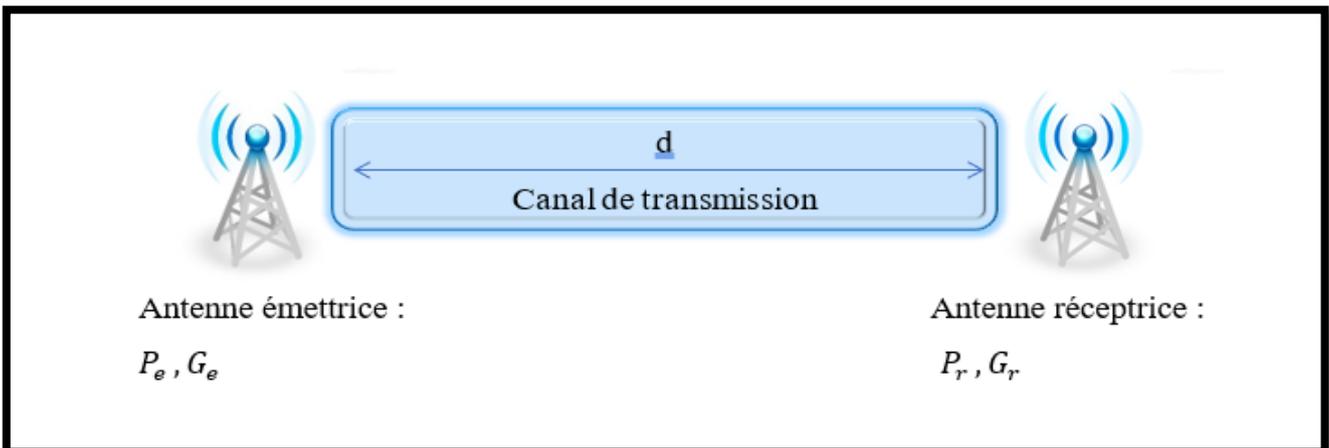


Figure I.15 : Bilan de liaison entre deux antennes en communication.

Dans le vide, la relation de Friis s'exprime comme suit :

$$P_r = P_e * G_e * G_r * \frac{\lambda^2}{(4\pi d)^2} \eta_p \quad (\text{I.18})$$

P_e : Puissance émise par l'antenne émettrice.

P_r : Puissance reçue par l'antenne réceptrice.

G_e : Gain de l'antenne émettrice.

G_r : Gain de l'antenne réceptrice.

d : Distance entre les antennes.

λ : Longueur d'onde de propagation.

η_p : rendement de polarisation.

$\frac{\lambda^2}{(4\pi d)^2}$: Affaiblissement dans l'espace libre.

Cette expression ne prend pas en compte les pertes de polarisation ou de désadaptations des antennes.

Chapitre I : Généralité sur les antennes.

Les pertes dans l'espace libre $\frac{\lambda^2}{(4\pi d)^2}$ varient de manière importante comme l'inverse du carré de la distance et de la fréquence. La distance R est supposée assez grande pour que les antennes soient en zone de champ lointain l'une par rapport à l'autre.

Le bilan de liaison est couramment évalué grâce à la formule de Friis. Cette relation n'est valable que dans un cas idéal, où les deux antennes communicantes sont parfaitement alignées et qu'il n'y a pas d'obstacle entre les deux.

Dans la partie suivante, on énonce quelques généralités sur les différents types d'antennes existants. Tout d'abord la notion des antennes monopôles ultra large bande sera précisée et des exemples seront donnés.

I.7 Classification de types d'antenne :

Il existe plusieurs types d'antennes selon la géométrie, le gain la forme du faisceau et la bande passante. On peut les classer comme suit [12] :

- ☞ Les formes ou géométries : Antennes filaires (dipôle, boucle, spirale), antennes imprimées (patch, dipôle imprimé, spirale), antennes à ouverture (cornet, fente) ;
- ☞ Le gain : Gain élevé (planaire), gain moyen (cornet), gain bas (dipôle, fente, patch) ;
- ☞ La forme de faisceau : Omnidirectionnelle (dipôle), faisceau étroit (planaire), faisceau large (antenne réseau) ;
- ☞ La largeur de bande : Bande large (spirale, hélix), bande étroite (patch, fente)
- ☞ Domaine d'utilisation (liaison terrestre, liaison spatiale, faisceaux hertziens, radar ...).

Chapitre I : Généralité sur les antennes.

I.8 Antenne monopole :

Une autre catégorie d'antenne ultra large bande est constituée par les monopoles filaire. Les antennes monopoles filaire ce sont généralement les plus familières à tout sont utilisées dans beaucoup d'applications [13] : automobiles - immeubles - bateaux – avions...etc.

L'antenne filaire est alimentée par un câble coaxial standard. L'antenne elle-même se compose de trois parties : un substrat et support métallique et fil métallique.

La **Figure I.16**, illustre une antenne monopole.

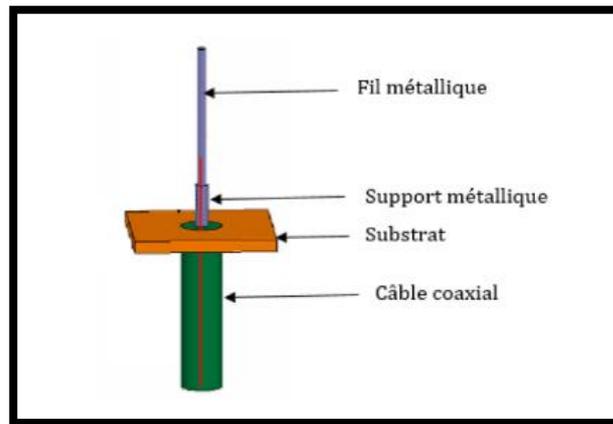


Figure I.16 : Antenne monopole

I.9 Les antennes et l'aéronef :

Une introduction sera faite sur les systèmes de navigation et de communication pour les avions commerciaux et long-courriers de façon à présenter la problématique. Tous les systèmes décrits dans cette section sont connectés aux antennes extérieures des avions. Ces antennes fournissent une interface entre l'avion et le monde extérieur. Cette section n'est pas une présentation exhaustive de tous les systèmes utilisés dans une plateforme aéronautique, mais plutôt un survol pour parvenir à décrire la problématique de notre travail. Nous avons plusieurs types d'antenne, nous allons parler seulement sur les antennes de communication et de navigation qui essentielles dans autre projet [14].

Le **tableau I.1** présente les systèmes de communication et navigation typiques ainsi que les fréquences associées et leur polarisation pour un aéronef civil.

Chapitre I : Généralité sur les antennes.

| System Description | Quantity | Frequency | Polarization | Function |
|---------------------|----------|---------------|--------------|--|
| ADF | 1-2 | 190-1750 KHz | Vertical | Automatic Direction Finding |
| HF Voice | 1-2 | 3-25 MHz | Horizontal | Long Range Communication |
| VHF Voice (FM) | 1 | 30-76 MHz | Vertical | Communication with Air Traffic Control |
| Marker Beacon | 1 | 75 MHz | Horizontal | Instrument Landing System |
| VOR/Localizer | 2 | 108-118 MHz | Horizontal | Bearing/Instrument Landing System |
| VHF Voice (AM) | 2 | 118-152 MHz | Vertical | Civil Aviation |
| UHF Voice | 2 | 224-400 MHz | Vertical | Military |
| Glide Path | 1 | 329-335 MHz | Horizontal | Instrument Landing System |
| DME/TACAN | 2 | 962-1214 MHz | Vertical | Navigation Distance and Bearing |
| ATC Transponder/IFF | 2 | 1030/1090 MHz | Vertical | Traffic Control/Identification |
| GPS | 1 | 1525-1585 MHz | RH Circular | Navigation |
| Radar Altimeter | 1 | 4.2-4.4 GHz | Horizontal | Navigation/Ground Proximity |
| Weather Radar | 1 | 9.375 GHz | Horizontal | Navigation/Weather Avoidance |

Tableau I.1 : Systèmes et fréquences typiques pour un aéronef civil.

I.9.1 Placement des antennes :

Puisque le rayonnement des antennes dépend du type d'antenne et de sa position, le choix de leur emplacement est primordial pour assurer le bon fonctionnement de tous les systèmes avioniques. Contrairement à ce qu'on pourrait penser, la position des antennes est déterminée en premier lieu par des considérations d'ordres mécaniques et aérodynamiques, les considérations électromagnétiques venant quant à elles en second plan. En outre, chaque système impose ses conditions en ce qui concerne le diagramme de rayonnement.

La Figure I.17 montre la configuration des antennes typiques pour un avion Boeing 787.

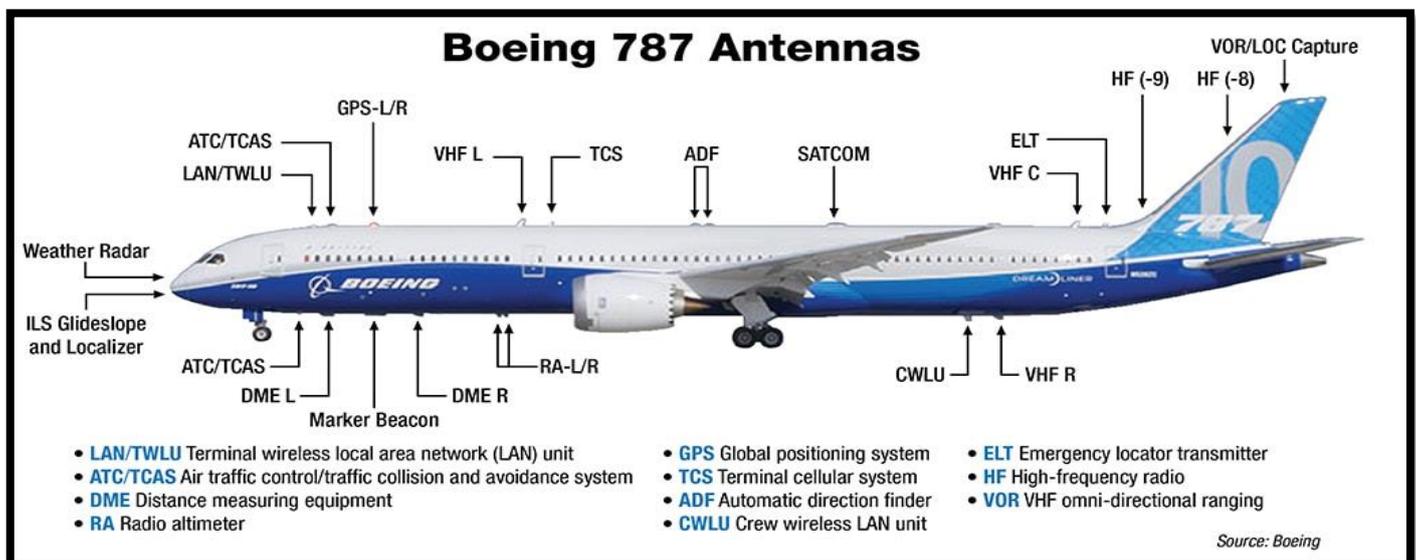


Figure I.17 : Placement des antennes typiques pour un avion Boeing 787 [15]

Chapitre I : Généralité sur les antennes.

I.10 Les systèmes de Communication et de Navigation en Aéronautique :

Aujourd'hui, avec des milliers d'avions en altitude à tout moment, les systèmes de communication et de navigation sont essentiels pour un vol sûr et réussi. En continuant le développement est en cours. Des dispositifs de communication et de navigation plus petits, plus légers et plus puissants augmentent la conscience de la situation sur le poste de pilotage. Couplé à l'amélioration des affichages et des systèmes de contrôle de gestion, l'avancement de l'électronique aéronautique est utilisé pour accroître la sécurité aérienne. [16]

I.10.1 Communication à très hautes fréquences (VHF) :

La communication à très hautes fréquences est utilisée pour communiquer entre avion et autre avion, et autre avion et une station sol à l'approche. Les ensembles de communication aéroporté de VHF fonctionnent dans la portée de fréquence à partir de 118,000MHz à 136,975MHz. Les récepteurs VHF sont constitués seulement des fréquences de communication. Théoriquement la portée de contact est la distance à l'horizon et cette distance est déterminée par les tailles des antennes de transmission et de réception. La portée VHF atteint les 80Km. La distance d'utilisation est en moyenne de 54Km à 243Km. [17]

L'antenne VHF est une antenne blindée elle est connectée au poste VHF à travers un câble coaxial. L'antenne est vissée sur le fuselage, l'antenne VHF produit des radiations quasi-omnidirectionnelle. la figure I.18 exemple d'un antenne communication VHF pour avion.



Figure I.18 : Antenne communication VHF

I.10.2 Système d'alerte de trafic et d'évitement de collision - Contrôle du trafic aérien (TCAS) :

Le système d'alerte de trafic et d'évitement de collision (Traffic Collision Avoidance System - TCAS) est un instrument développé pour éviter les collisions des avions en vol. Il cherche dans l'espace aérien au voisinage de l'aéronef les autres avions équipés de

Chapitre I : Généralité sur les antennes.

transpondeurs actifs, et ce, indépendamment du contrôle de trafic aérien. Le système est obligatoire pour les avions dont le poids est supérieur à 5700 kg.

Le système TCAS est basé sur la communication entre les différents transpondeurs.[14]

Chaque avion “interroge” les autres aéronefs sur une portée déterminée sur la fréquence de 1030 MHz. Par la suite, les autres aéronefs “répondent” en retour sur la fréquence de 1090 MHz. Ainsi, le système est capable de construire une carte en trois dimensions de l’aéronef dans l’espace aérien et de calculer sa distance par rapport aux autres avions en mesurant le temps des signaux aller-retour entre eux ; l’information sur l’altitude est fournie par les autres appareils et le relèvement est donné par l’antenne directionnelle installée sur l’avion. Le système TCAS II emploie une antenne directionnelle placée au-dessus de l’avion ainsi qu’une antenne omnidirectionnelle, ou bien une autre directionnelle, installée au-dessous de l’appareil. Deux antennes de plus sont requises lorsque le transpondeur est utilisé en Mode S. Chaque transpondeur mode S possède un identificateur numérique de 24 bit unique. L’antenne directionnelle mentionnée auparavant est typiquement constituée d’un réseau de quatre patchs, elle a donc un profil très bas. L’antenne omnidirectionnelle a une polarisation verticale et elle est similaire à celle employée dans le système DME. La fig.I.19 illustre d’une antenne TCAS.



Figure I.19 : Antenne TCAS

I.10.3 L’équipement de mesure de distance (DME) :

L’équipement de mesure de distance (Distance Measurement Equipment - DME) est un radio-transpondeur qui montre de façon continue la distance qui sépare l’aéronef d’une station DME au sol. Des paires d’impulsions (de largeur de 3.5 microsecondes) espacées de 12 ou 3.6 microsecondes sont envoyées par l’avion pour interroger la station au sol. Cette dernière transmet alors les impulsions de retour vers l’avion, avec le même intervalle de temps mais à une fréquence différente. Elle ajoute aussi un délai supplémentaire de 50 microsecondes. Une

Chapitre I : Généralité sur les antennes.

photo illustrant les antennes utilisées par le système DME est montrée à la Figure I.20. Le récepteur de bord mesure le temps aller-retour de ce signal et déduit la distance par rapport à la station au sol. Le système cherche des balises à l'avant de l'avion. Par conséquent, l'antenne est placée dans la partie inférieure (avant) du fuselage. En pratique deux antennes sont utilisées pour assurer la redondance. Les antennes pour ce système sont des monopoles ou des fentes verticales. Du fait que la longueur d'onde à 1 GHz est 30 cm, un monopole d'un quart de longueur d'onde aurait 7.5 cm de hauteur. Une antenne de cette taille est souvent incorporée dans une lame ou blade ; aussi appelé aileron de requin. Cet appareil de mesure de distance opère dans la bande 960MHz-1215MHz et son signal a une polarisation verticale [14].



Figure I.20 : DME lame (blade) antenne

I.10.4 Le système de contrôle de la circulation aérienne (ATC) :

Les systèmes de contrôle de la circulation aérienne (ATC) permettent au sol contrôleurs pour maintenir une séparation sûre des aéronefs, à la fois sur sol et dans l'air. Le système est basé sur le radar de surveillance secondaire (SSR), maintenant amélioré avec haute intégrité numérique liaisons de données, y compris le mode ATC s et automatique surveillance dépendante-diffusion (ADS-B). [18]

Les avions de transport commercial sont installés avec deux antennes ATC, un panneau de commande et deux transpondeurs illustrés à la **figure I.21**. Depuis le système ATC et la mesure de la distance (DME) fonctionne dans la même fréquence gamme, un circuit de suppression mutuelle est utilisé pour prévenir les transmissions simultanées.

Chapitre I : Généralité sur les antennes.

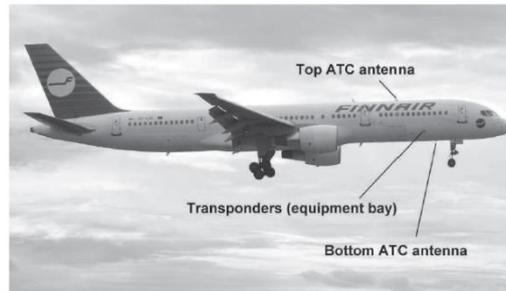


Figure I.21 : Emplacements d'équipement aéroporté de l'ATC

L'ATC/IFF-DME/TACAN ANTENNA 2442-88-03 est exemple d'antenne DME au niveau de l'avion, comme illustré dans la **figure I.22**



Figure I.22: ATC/IFF-DME/TACAN ANTENNA 2442-88-03

I.10.5 L'ILS (Instrument Landing System):

Le système ILS guide l'aéronef à partir d'une distance de 6 à 11 km jusqu'à la ligne centrale de la piste et fournit l'écart de l'avion par rapport à la pente nominale d'approche. C'est-à-dire qu'il permet de trouver la trajectoire d'approche au point de contact des roues du train d'atterrissage avec la piste, ILS, est un système d'approche de précision très utile en cas de mauvaise visibilité ou de visibilité nulle. L'ILS comprend :

- Un système de guidage horizontal appelé LOCALIZER
- Un système de guidage vertical appelé GLIDESLOPE
- Des radiobalises d'alignement appelées MARKER BEACONS.[19]

Le localizer est constitué d'un ensemble d'antennes situé au niveau du sol et situé dans le prolongement de la piste. Le localizer émet une onde électromagnétique qui permet au pilote de trouver le centre de la piste d'atterrissage sur le plan horizontal. En effet, il émet un double faisceau radioélectrique permettant de fournir au pilote une indication d'écart horizontal par rapport à l'axe de piste.

Chapitre I : Généralité sur les antennes.

La **figure I.23** montre une antenne localizer VOR/LOC/GS antenna P/N 6243-83-00 de type lame 'blade', Qui fonctionne dans la bande de fréquence 108-118 MHz, avec une polarisation linéaire horizontale.



Figure I.23: VOR/LOC/GS antenna P/N 6243-83-00

I.10.6 Système de positionnement radioélectrique VOR :

Le système VOR (VHF omnidirectional Ranging) fonctionne dans la bande de fréquence 108-117.95 MHz. Ce système de positionnement radioélectrique est utilisé en navigation aérienne pour trouver des trajets prédéfinis. Un récepteur VOR permet de déterminer la position de l'aéronef par rapport à une station au sol (balise émetteur VOR dont la position est connue). En utilisant deux balises VOR l'avion peut déterminer sa position de façon précise par triangulation. Les antennes VOR qui sont installées sur les avions ont un diagramme de rayonnement omnidirectionnel et une polarisation horizontale.

Exemple antenne pour hélicoptère JD 85 VOR/LOC/blade **figure I.24** [20]

Le JD 85 est une antenne de navigation VOR/LOC/GS conçue pour une application militaire et commerciale. Cette antenne à profil bas est conçue pour résister à des conditions environnementales extrêmes et convient aussi bien aux hélicoptères qu'aux jets supersoniques de haute performance.



Figure I.24 : Antenne JD 85

Chapitre I : Généralité sur les antennes.

I.10.7 Le système GPS (Global Positioning System)

Le GPS est un système de navigation à base de satellites conçu pour fournir instantanément des informations de position, de vitesse et de temps pratiquement à n'importe où, n'importe quand et dans n'importe quelles conditions météorologiques.

Le système GPS est composé de trois segments :

- Le segment spatial : constitué d'un ensemble de satellites évoluant en orbite autour de la terre.
- Le segment sol ou segment de contrôle : comportant une infrastructure de pilotage et de surveillance des satellites en orbite.
- Le segment utilisateur : constitué par l'ensemble des utilisateurs civils et militaires recevant et tirant profit des signaux diffusés par les satellites. [19]

Le système GPS fonctionne dans la bande de fréquence $L1=1575.42\pm 10$ MHz et $L2=1227.6\pm 10$ MHz (voir **figure I.25**) avec une polarisation circulaire droite RHCP (Right Hand Circular Polarisation).

Il existe une autre bande de fréquence modernisé $L5=1176.45.42\pm 12$ MHz qui destinée à l'usage civile pour améliorer le système.

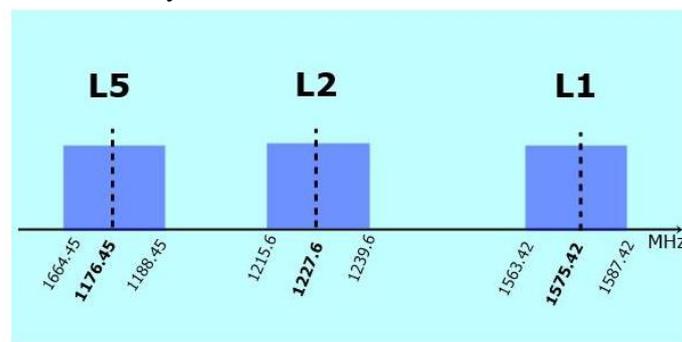


Figure I.25 : Bandes de fréquences GPS

Les antennes GPS à bord de l'avion doivent être montées sur le sommet du fuselage comme le montre la **figure I.26** et être orientées parallèlement à l'horizon pour assurer une visibilité maximale des satellites qui fournissent des données de positionnement. La **figure I.27** représente une antenne GPS (Active GPS antenna) d'un Boeing 737.

Chapitre I : Généralité sur les antennes.

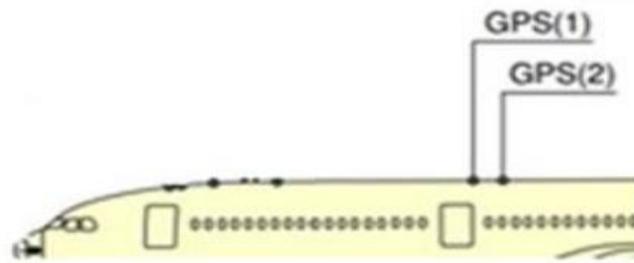


Figure I.26 : Emplacement de l'antenne GPS sur avion



Figure I.27: Active GPS antenna S67-1575-133

I.11 Conclusion

La variété de types des antennes on la grande possibilité de les utilisés dans des nombreuses technologies. Ainsi que ses caractéristiques permis le bon choix de l'antenne étudié.

Dans ce chapitre nous avons dressé un état de l'art sur les antennes : définitions, le rôle des antennes, les caractéristiques radioélectriques et de rayonnement. Puis on a présenté placement des antennes dans les aéronefs.

Nous avons développé dans la deuxième partie certains systèmes de navigation et de communication aéronautiques comportent plusieurs bandes de fréquence à partir de 1 MHz jusqu'à 10 GHz. Chacun de ces systèmes ont des unités récepteur-transmetteur et des antennes associées situées à l'extérieur de l'aéronef. Plusieurs de ces systèmes requièrent des antennes qui possèdent un diagramme de rayonnement omnidirectionnel et une polarisation verticale (par exemple VHF, DME, ATC entre autres).

Dans les chapitres qui suivent nous allons nous intéresser aux technologies récentes les antennes ultra large bande.

Chapitre II :
Les Antennes Ultra Large
Bande (ULB).

Chapitre II : Les Antennes Ultra Large Bande (ULB).

II.1 introduction :

La technologie Ultra Large Bande (UWB, Ultra Wideband) utilisée depuis le milieu des années 1960 dans des applications de type RADAR, connaît un spectaculaire développement depuis qu'en 2002 la FCC (Federal Communications Commission), organe de régulation américain, a autorisé notamment l'utilisation gratuite de la bande de fréquence [3,1-10,6 GHz] pour les communications sans fil.[21]

La technologie Ultra Large Bande est une technologie de transmission radio qui consiste à utiliser des signaux dont le spectre s'étale sur une large bande de fréquences. On parle souvent d'une bande allant de 500 MHz jusqu'à plusieurs GHz.

La technologie ULB est mise au point à l'origine pour des applications militaires et on a commencé à l'utiliser dans des applications civiles. Puis suscitant un intérêt grandissant au sein de la communauté scientifique et industrielle, elle fut transportée aux applications de télécommunications.

Pourquoi cette orientation vers l'Ultra Large Bande ? Les propres caractéristiques de l'Ultra Large Bande comme son large support spectral et sa forte résolution temporelle permettent de proposer des systèmes de communication à très hauts débits, pouvant ainsi atteindre plusieurs centaines de Mbits/s, voire 1 Gbits/s. Cette largeur de bande est favorable pour des émissions en milieux perturbés ou plusieurs fréquences et normes différentes y sont présentes. En revanche, les puissances d'émission autorisées sont largement inférieures aux normes radio et limitent donc la portée des communications à quelques centaines de mètres, pour des bas débits, dans le meilleur des cas. On en conclut ainsi que la technologie ULB est parfaitement positionnée pour le marché des radiocommunications de proximité.[22]

Concevoir des antennes adéquates aux systèmes de communication sans fil à bande ultra large (ULB) est notre but majeur. Dans ce chapitre, nous nous intéresserons principalement à la technologie ULB et plus exactement aux antennes ULB et leurs caractéristiques.

Chapitre II : Les Antennes Ultra Large Bande (ULB).

II.2 Généralités sur l'Ultra Large Bande :

II.2.1 Bref historique sur la ULB :

L'utilisation de la technologie ULB font l'objet de beaucoup de recherches aujourd'hui, mais leur histoire a débuté il y a plus de 100 ans **Figure II.1.**[21]

À l'époque où G. Marconi réalise la toute première transmission sans fil longue distance d'un code morse reliant l'île de Wight à Cornwall en Angleterre, Bien que l'utilisation des transmissions à distances sur fil remonte à l'époque du XIXème siècle, les techniques de télécommunications modernes doivent leurs fondements théoriques aux publications de Claude Shannon en 1948.

La génération des impulsions ultra brèves est un sujet d'étude qui a commencé à intéresser les chercheurs ainsi que les industriels depuis les années 60. Cependant, le terme Ultra Large Bande (ULB) attribué par le ministère de la défense américain et dont l'acronyme anglais est UWB (*Ultra Wide-Band*) n'est apparu qu'en 1989. En 1973 G.F. Ross a déposé le premier brevet sur l'utilisation de l'Ultra Large Bande dans le domaine des télécommunications. A cette époque la majorité des travaux de recherche développés étaient confidentiels et sous le contrôle du gouvernement américain. En 1994, cette confidentialité est levée et depuis lors, le domaine de l'Ultra Large Bande a suscité un grand intérêt chez les chercheurs et les industriels. En 1992 *P. Withington* et *L. Fullerton*, ont écrit le premier article sur les systèmes impulsions ULB dans le domaine des télécommunications appelés Impulse Radio (IR) précédemment. Il s'en suivra les travaux entamés par *Scholtz* en 1993. L'intérêt de ces systèmes est que la transmission peut atteindre des débits très forts (quelques Giga bits par seconde) en raison de la courte durée des impulsions.

L'année 1998 fut marquée par l'annonce d'un avis d'information publique par la « Federal Communications Commission » (FCC) qui proposait d'évaluer la possibilité d'utiliser des systèmes ULB notamment pour des applications civiles. Divers industriels et organismes ont donné un avis positif pour l'utilisation de l'ULB. A la suite de cette évaluation la FCC a adopté en 2000 un avis de proposition de réglementation dans lequel les avantages que pourraient apporter les systèmes ULB sont reconnus. La FCC a décidé que 7.5GHz de spectre serait autorisé dans la bande [3.1 - 10.6 GHz] pour les communications ULB. [23]

Chapitre II : Les Antennes Ultra Large Bande (ULB).

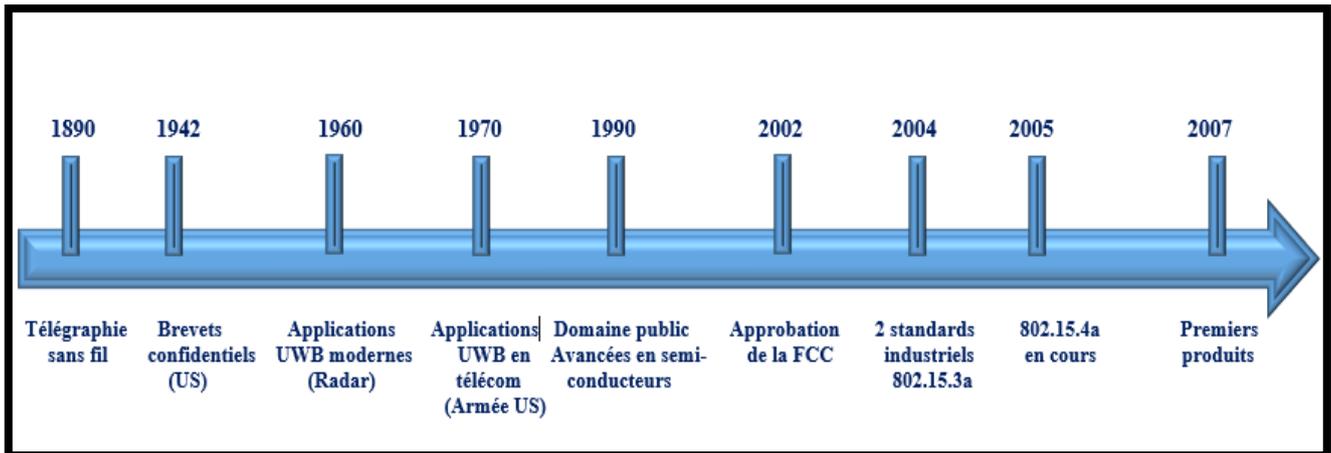


Figure II.1 : Chronogramme de l'évolution la technologie UWB.

II.2.2 Définition de l'ultra large bande :

La première définition de l'Ultra Large Bande est donnée par la DARPA (*The Defense Advanced Research Project Agency*), précisant qu'un système ULB transmet des signaux d'ondes électromagnétiques distinguées par une largeur de bande relative BP_R (*Fractional Bandwith*) à -10dB de la puissance maximale émise supérieure ou égal **0.25**. La largeur de bande relative est définie par la relation suivante : [23]

$$BP_R = \frac{2(f_H - f_L)}{(f_H + f_L)} = \frac{(f_H - f_L)}{f_c} \geq 0.25 \quad (\text{II.1})$$

$$\text{Avec } f_c = \frac{f_H + f_L}{2} \quad (\text{II.2})$$

f_H et f_L représentent respectivement les fréquences supérieure et inférieure de la bande de fréquences considérée et f_c la fréquence centrale de la bande de fréquences dans la **figure II.2**.

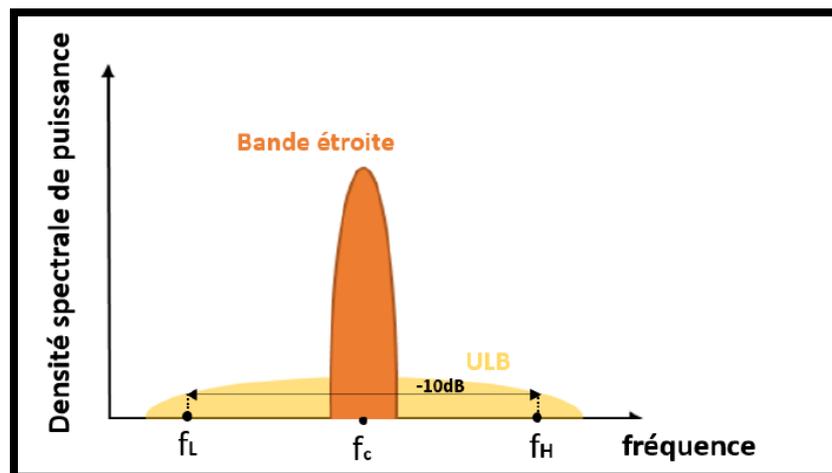


Figure II.2 : Comparaison de Spectre bande étroite et large bande.

Chapitre II : Les Antennes Ultra Large Bande (ULB).

En février 2002, la FCC (*Federal Communication Commission*) a modifié cette définition et l'a remplacée par une nouvelle.

Un signal est dit ultra large bande si :

☞ Sa bande passante est au minimum de 500 MHz (à -10 dB) ;

☞ Sa bande passante relative est supérieure à 0.2.

$$BP_R = \frac{2(f_H - f_L)}{(f_H + f_L)} > 0.2 \quad (\text{II.3})$$

Où f_H et f_L désignent respectivement les fréquences limites hautes et basses du spectre de signal, fréquences prises -10dB. Les deux conditions ne sont pas forcément remplies en même temps.

II.2.3 Comparaison système ULB / Système à bande étroite :

Les caractéristiques de la technique ultra à large bande (ULB) diffèrent largement de celles des techniques classiques. En effet, cette technique transmet et reçoit des formes d'onde basées sur des impulsions de très courtes durées (1 ns) alors que les techniques conventionnelles envoient et reçoivent des formes d'onde sinusoïdales étalées dans le temps ayant de ce fait une densité spectrale de puissance beaucoup plus étroite que celle des signaux ULB, illustrer **fig.II.3.** [24]

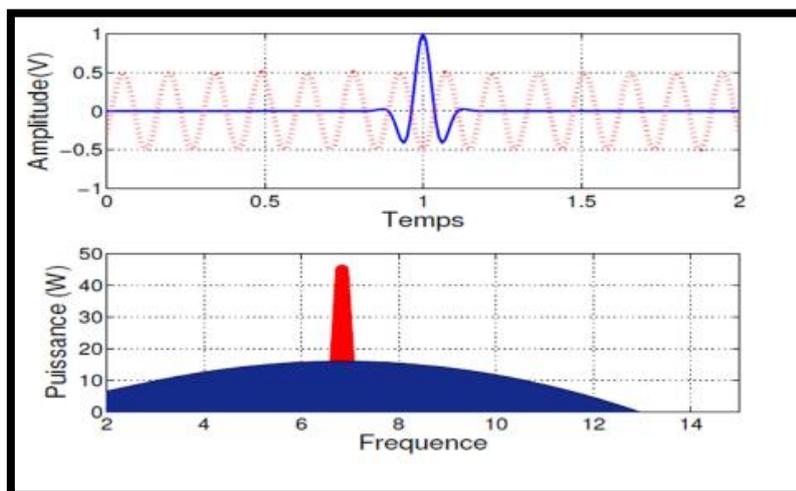


Figure II.3 : Comparaison en temporel et fréquentiel d'un signal à bande étroite et d'un signal ULB.

Chapitre II : Les Antennes Ultra Large Bande (ULB).

Le masque spectral de puissance de l'ULB représenté sur la **Figure II.4** est défini pour permettre une densité spectrale de puissance très faible (DSP maximale : -41.3 dBm/MHz) sur toute la bande de fréquences de l'ULB. Cette puissance très faible sur une très large bande passante permet à d'autres systèmes à bande étroite de coexister avec l'ultra large bande. Ces caractéristiques ont présenté une myriade d'occasions et de défis aux concepteurs dans une grande variété de domaines comprenant la conception de circuit et de système RF mais aussi la conception d'antenne.

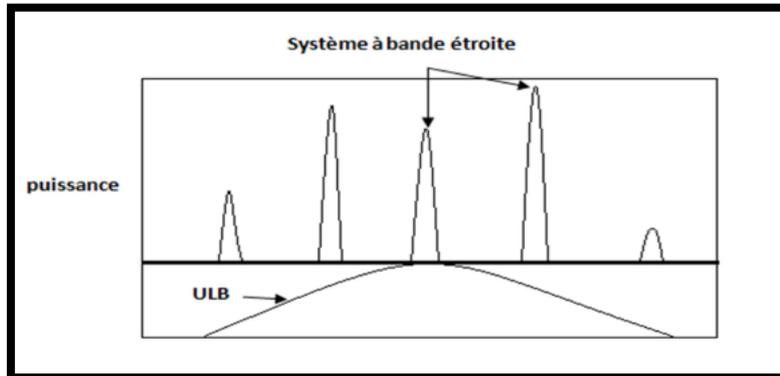


Figure II.4 : Comparaison entre la DSP d'un signal à bande étroite et d'un signal ULB.

II.2.4 Caractéristiques principales d'ultra large bande :

La technologie à bande ultra-large (ULB) possède certaines caractéristiques intéressantes :

II.2.4.1 Problème dû à la propagation par trajets multiples :

L'évanouissement du signal dû à la propagation par trajets multiples peut sensiblement réduire l'efficacité des systèmes de communications classiques. Dans le cas des communications ultra large bande, le signal transmis possède une largeur de bande très importante, quelques GHz en pratique (dit de façon équivalente une résolution temporelle très fine) comme la fenêtre d'observation du récepteur est très étroite, elle permet de se protéger des erreurs de transmission dues à l'interférence provenant des multi trajets **Figure II.5**. Cette caractéristique permet à la technologie ULB d'être performante dans des environnements encombrés

Chapitre II : Les Antennes Ultra Large Bande (ULB).

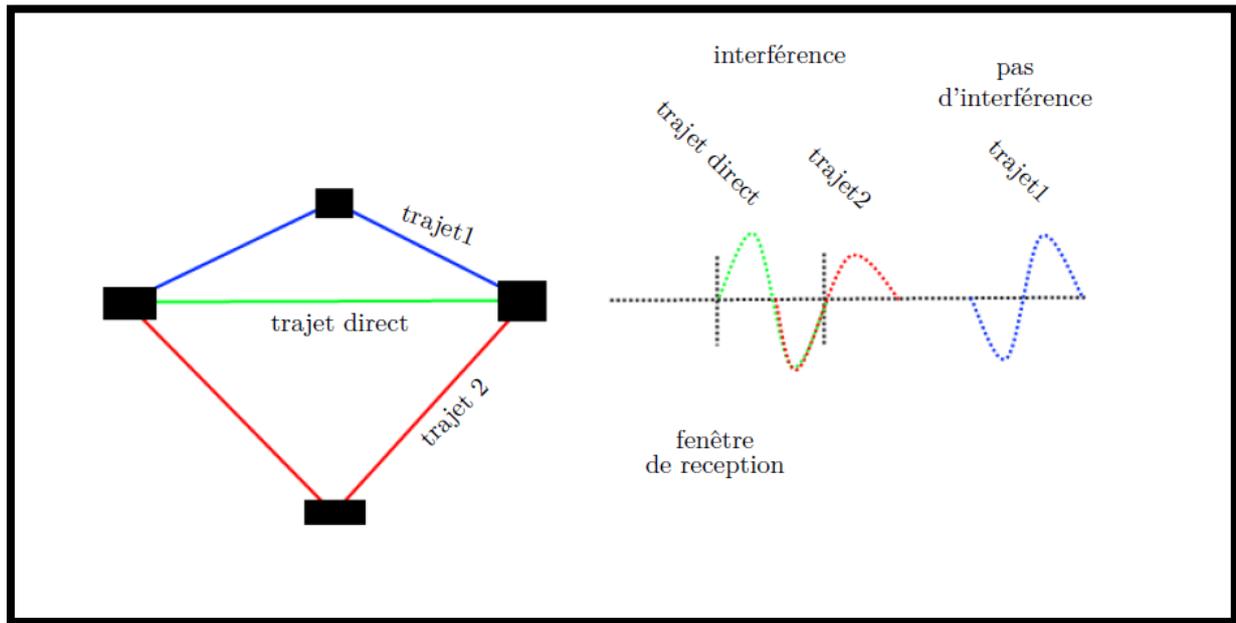


Figure II.5 : Propagation par trajets multiples.

II.2.4.2 Capacité de la technologie ULB :

Le théorème de Shannon nous enseigne que la capacité d'un système est donnée par la formule suivante :

$$C = B \cdot \text{Log}_2(1 + \text{SNR}) \quad (\text{II.4})$$

Où **B** désigne la bande passante du système et **SNR** le rapport signal à bruit.

De cette formule, on déduit que la capacité d'un système croît linéairement avec la bande passante mais croît seulement logarithmiquement avec le rapport signal à bruit. Par conséquent, pour augmenter la capacité d'un système, la meilleure méthode consiste à augmenter sa bande passante ; c'est ce qui est réalisé par la technique ULB.

Comme conséquence à cette faible densité spectrale de puissance, les signaux ULB sont plus difficiles à détecter et les communications ULB sont par conséquent mieux sécurisées. D'autre part, cette propriété limite la portée des communications ULB à quelques dizaines de mètres. Les applications visées par l'ULB sont donc des applications à courte portée et à haut débit, comme les réseaux ad hoc par exemple.[25]

Chapitre II : Les Antennes Ultra Large Bande (ULB).

La **Figure II.6** : situe les systèmes ULB par rapport à d'autres systèmes radio du point de vue de la densité spectrale de puissance émise.

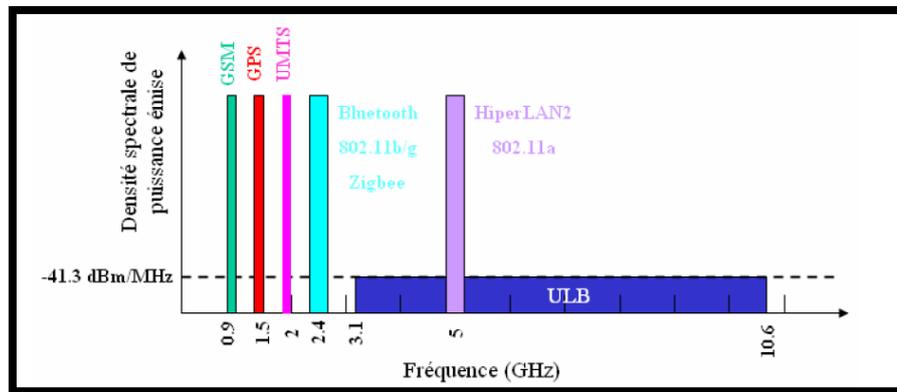


Figure II.6 : Densité spectrale de PIRE : systèmes ULB et autres systèmes radio.

II.2.4.3 Communications protégées :

Les signaux ULB sont plus secrets et potentiellement plus difficiles à détecter que les signaux de radiocommunication classiques, parce qu'ils occupent une grande largeur de bande, peuvent être produits sous une forme semblable au bruit, peuvent être transmis à un niveau de densité spectrale de puissance bien inférieur au bruit de fond des récepteurs de radiocommunication classiques, et peuvent être transmis avec un code de synchronisation unique à des millions de bits par seconde.

Ces caractéristiques permettent la transmission protégée de signaux avec une faible probabilité de détection (LPD) et une faible probabilité d'interception (LPI).

II.2.4.4 Simplicité relative des systèmes :

Dans les systèmes de communication sans fil qui utilisent la technologie ULB, l'information de la bande de base peut moduler directement des impulsions courtes au lieu de moduler une onde sinusoïdale. Dans cette forme de mise en œuvre, l'émetteur-récepteur ULB ne comprend aucun synthétiseur à boucle à verrouillage de phase, ni oscillateur commandé par tension, ni mélangeur, ni amplificateur de puissance. L'émetteur-récepteur ULB a donc une architecture relativement simple par comparaison à l'émetteur-récepteur superhétérodyne, ce qui pourrait se traduire par des coûts inférieurs de l'équipement.[26]

II.2.4.5 Propriétés de pénétration :

Les signaux ULB ont une bonne capacité de pénétration dans les murs et les obstacles et ils permettent la localisation de grande précision. Ces propriétés seraient également utiles dans des applications telles que l'imagerie médicale.

Chapitre II : Les Antennes Ultra Large Bande (ULB).

II.2.5 Différents types d'applications de l'Ultra Large Bande :

La technologie UWB est présentée comme une solution très intéressante et innovatrice pour un grand nombre d'applications qui sont généralement classées en trois catégories : La détection, La géolocalisation, Les communications sans fil (Wireless).[24]

- ☞ Bande de fréquences 24 GHz et 77 GHz : applications liées aux véhicules
- ☞ Bande de fréquence <1 GHz : radar GPR et radar "see through wall"
- ☞ Bande 1.99-10.6 GHz : Applications médicales (imagerie).
- ☞ Bande 3.1-10.6 GHz : Système de communications sans fil et applications liées à la localisation.

La **fig.II.7** résume les applications ULB en fonction de la distance et du débit de transmission.

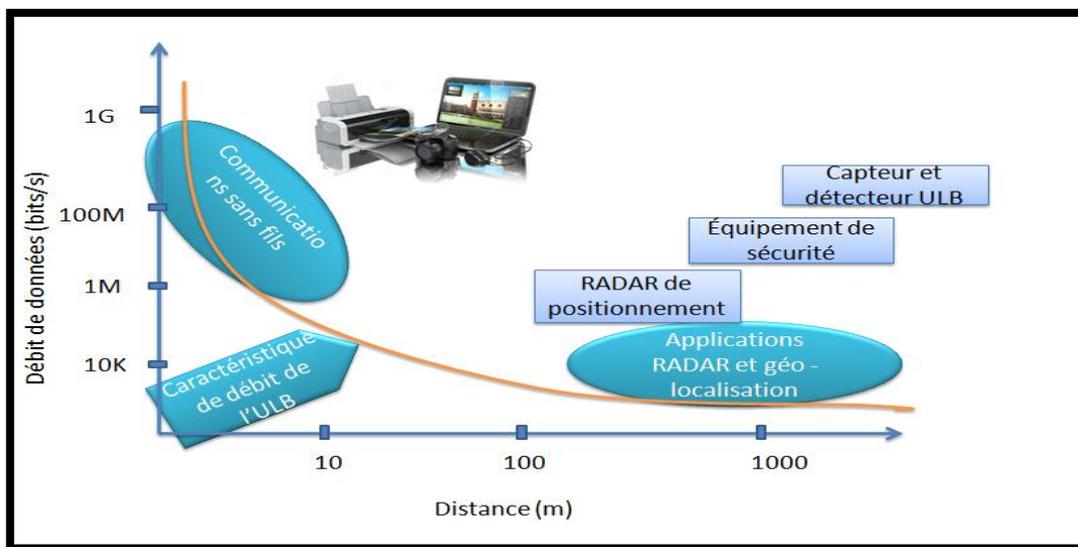


Figure II.7 : Différentes applications de l'Ultra Large Bande.

II.2.6 Avantages et inconvénients de l'Ultra Large Bande :

Débit important pour un Wireless Local Area Network (WLAN).

- ❖ Bonne capacité de pénétration dans les murs et obstacles.
- ❖ Précision temporelle élevée.
- ❖ Possibilité d'une architecture commune pour les applications de communications, de localisation et de radar.
- ❖ Réduction des évanouissements causés par les trajets multiples.
- ❖ Consommation électrique maîtrisable.

Un des inconvénients liés à l'utilisation de cette technique de communication tient au fait que les fréquences utilisées sont déjà employées par d'autres systèmes, ce qui rend possible l'existence d'interférences.[26]

Chapitre II : Les Antennes Ultra Large Bande (ULB).

II.3 Les Antennes Ultra Large Bande :

Dans une transmission UWB, les antennes jouent un rôle essentiel dans la formation du signal du fait de leurs caractéristiques et de leurs interactivités avec les autres éléments de la chaîne. La caractérisation des antennes UWB nécessite de faire appel à de nouveaux paramètres spécifiques. Cependant les antennes UWB reste des antennes, et les paramètres classiques sont toujours utiles pour les caractériser. Ainsi, il est d'abord nécessaire d'adapter leur prise en compte habituelle. Par exemple pour caractériser le rayonnement d'une antenne UWB fonctionnant dans la bande [3,1-10,6 GHz], il sera nécessaire de disposer de plusieurs diagrammes de rayonnement pour plusieurs fréquences de la bande considérée. Ensuite pour tenir compte du transfert d'énergie mais aussi des propriétés de rayonnement, une caractérisation complémentaire vise à décrire les antennes comme des filtres fréquentiels directifs et dispersifs, à analyser leur comportement temporel et spatial, et à quantifier les distorsions subies par les impulsions émises et reçues.[21]

De nombreuses antennes ULB, ont été développées principalement pour le domaine des télécommunications ULB. Généralement ces dernières sont peu directives contrairement aux besoins du réseau à concevoir. La diversité des antennes ULB est tellement vaste qu'il est impossible de faire un recensement exhaustif des antennes existantes.

II.4 Classification des antennes ULB selon leurs formes et leurs spécifications :

Nous allons, présenter les différents types d'antennes ULB qui sont communément utilisées. Ces antennes ont été classées selon certaines propriétés : particularités géométriques ou spécificité du diagramme de rayonnement (antenne omnidirectionnel ou directive).

Toutes ces antennes possèdent naturellement une bande passante assez élevée.

II.4.1 Antennes indépendantes de la fréquence :

Les antennes indépendantes de la fréquence sont connues depuis longtemps et ont été définies par Rumsey en 1957. Ce sont des antennes qui sont entièrement définies par leurs dimensions angulaires. Les performances de l'antenne (diagramme de rayonnement, impédance d'entrée) sont indépendantes de la fréquence. Pour ce type d'antenne, si l'on multiplie toutes les dimensions de l'antenne par un facteur X, les performances de l'antenne restent inchangées, seule la fréquence de travail augmente du même facteur X. [24]

Chapitre II : Les Antennes Ultra Large Bande (ULB).

Théoriquement, ces antennes présentent une bande passante infinie, cependant, en pratique leur bande passante est finie à cause des dimensions finies de l'antenne.

II.4.1.1 Les antennes spirales :

Ces antennes ont été décrites par John Dyson en 1959. Il existe trois types de spirales : spirale Logarithmique, spirale Conique et la spirale de type Archimède.[27]

a) L'antenne Spirale Logarithmique :

L'antenne est constituée de deux brins connectés dans un point d'alimentation.



Figure II.8 : Antenne log-spiral.

b) L'antenne Spirale d'Archimède :

Cette antenne est constituée de deux spirales de largeur constante imbriquées l'une dans l'autre et ayant la même origine



Figure II.9 : Antenne spirale d'Archimède.

c) L'antenne Spirale Conique :

Cette antenne est constituée d'un cône de diélectrique sur lequel reposent deux spirales de métal s'enroulant sur le cône. Cette antenne peut être vue comme une version 3D de la spirale logarithmique



Figure II.10 : Antenne spirale conique.

Chapitre II : Les Antennes Ultra Large Bande (ULB).

II.4.1.2 Les antennes Log Périodique :

Le concept d'antenne log-périodique a été introduit par Duhamel et Isabel en 1958. Ce type d'antenne est conçu à l'aide de deux paramètres : le taux de périodicité τ et l'angle α . (Comme défini en **figure II.11**) [27]

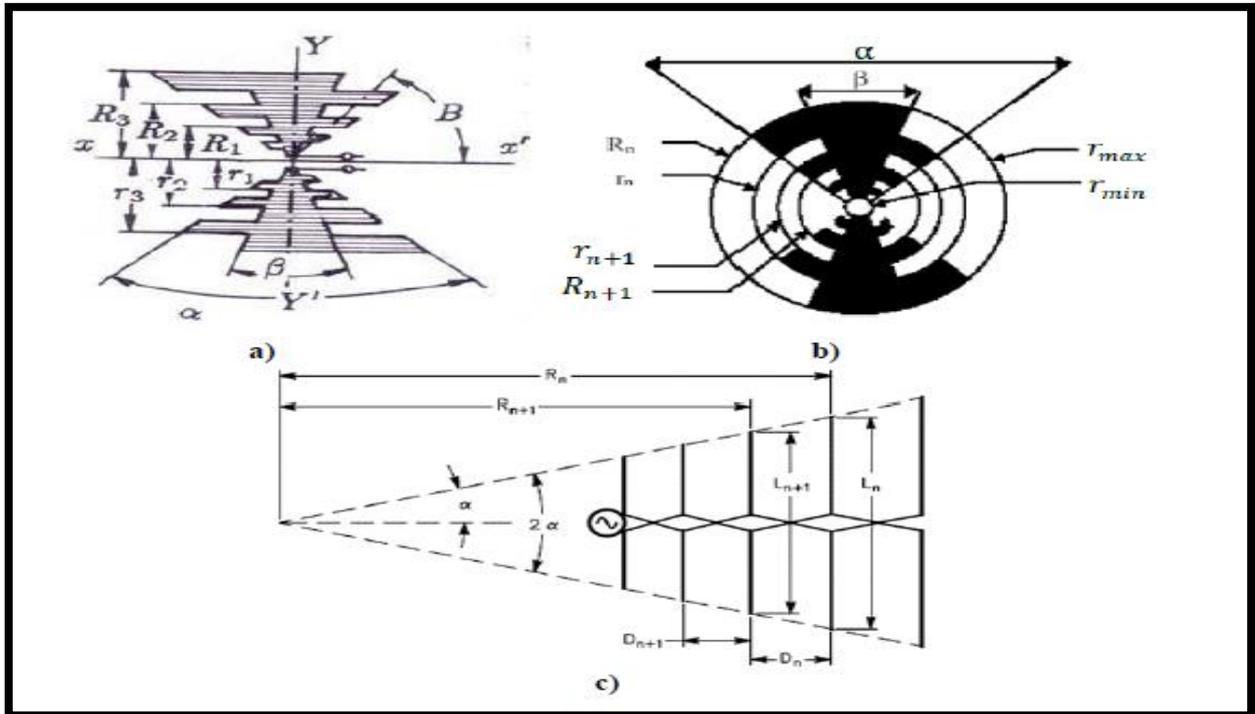


Figure II.11 : a) Antenne log-périodique trapézoïdale b) Antenne log-périodique circulaire
c) Antenne dipôle log-périodique.

II.4.2 Antennes omnidirectionnelles (élémentaires) :

On peut obtenir des antennes ayant naturellement à la fois une très large bande passante et un diagramme de rayonnement omnidirectionnel. Ces antennes sont une évolution directe des monopoles et des dipôles de base (doublet de Hertz).[24] On sait que plus un dipôle est épais, plus grande est sa bande passante. A partir de cette simple constatation, de nombreuses antennes large bande ont été conçues. On peut distinguer deux catégories d'antennes large bandes omnidirectionnelles : les antennes biconiques et les antennes monopoles/ dipôles large bandes.

Chapitre II : Les Antennes Ultra Large Bande (ULB).

II.4.2.1 Antennes biconiques et ses dérivées :

a) Antenne biconique :

Les antennes biconiques ont été imaginées en 1943 par Schelkunoff. **figure II.12** représente un exemple de ce type. Le concept de l'antenne biconique est basé sur le fait qu'un dipôle construit à l'aide d'un fil épais offre une bande passante plus grande que s'il est construit avec un fil fin.



Figure II.12 : Antenne biconique.

b) Antenne discône :

L'antenne discône est une antenne biconique dont l'un des cônes est remplacé par un plan de masse infini qui peut être circulaire (comme **figure.II.13**) ou rectangulaire remplaçant le second cône de l'antenne biconique. Ce qui fait que la structure totale de l'antenne est constituée d'un disque et d'un cône (d'où son appellation).[28]



Figure II.13 : Antenne discône.

c) Antenne papillon :

L'antenne papillon est la version plane de l'antenne biconique. Elle présente l'avantage d'être légère, simple géométriquement.

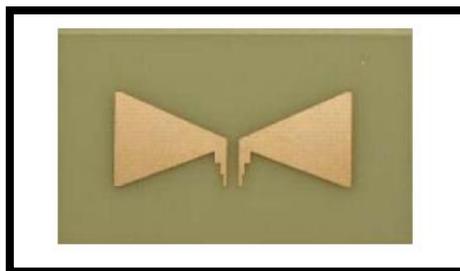


Figure II.14 : Antenne papillon.

Chapitre II : Les Antennes Ultra Large Bande (ULB).

II.4.2.2 Antenne Monopoles électriques ultra large bande :

a) Monopole circulaire/ elliptique :

C'est la première antenne large bande du type monopoles plans qui a été conçue et réalisée en 1992 par Honda.[24]

Le monopole circulaire plan est de forme circulaire (**figure II.15**) avec un plan de masse de dimensions supérieures à une longueur d'onde maximale pour éviter les réflexions qui proviennent du plan de masse. L'élément peut être de forme elliptique, cependant un fort rapport d'ellipticité dégrade la bande passante de l'antenne. L'antenne planaire de forme elliptique a été la première antenne large bande commercialisée.



Figure II.15 : Exemple de réalisation pratique d'un monopole circulaire.

b) Monopole triangulaire :

La version planaire de l'antenne conique est le monopôle triangulaire, elle est constituée d'un élément rayonnant en forme de triangle plat monté sur un plan de masse donné dans la **figure II.16**. [28]

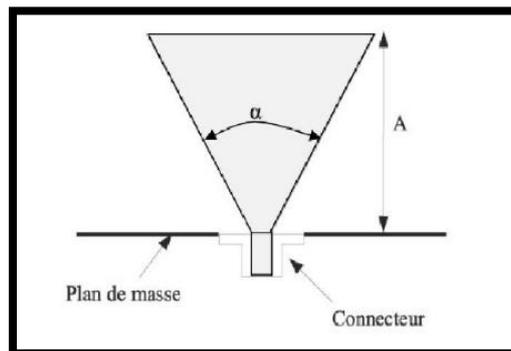


Figure II.16 : Géométrie d'un monopole triangulaire.

c) Monopole trapézoïdal :

Le monopôle trapézoïdal est proposé comme étant une variation d'un monopôle carré dont on fait varier les largeurs L_1 et L_2 **Figure II.17** de l'élément rayonnant. De même, que pour les autres monopôles, les dimensions du plan de masse doivent également être suffisantes

Chapitre II : Les Antennes Ultra Large Bande (ULB).

afin de ne pas dégrader les performances de l'antenne en termes de bande passante ou de rayonnement.

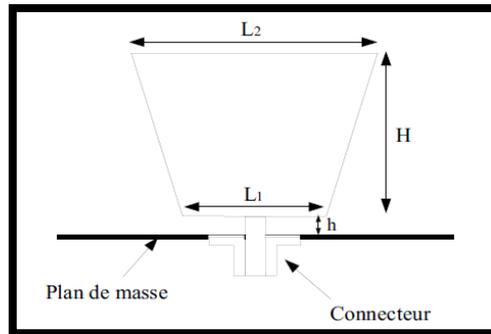


Figure II.17 : Illustration d'un monopôle trapézoïdal.[29]

d) Monopôle papillon :

Le monopôle papillon est également une variation autour du monopôle carré afin d'augmenter la bande passante, l'élément rayonnant est pincé à mi-hauteur dessinant la forme du papillon.

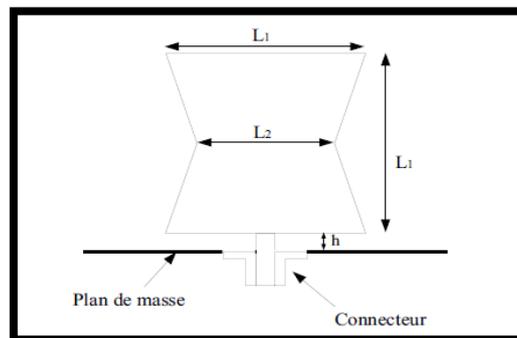


Figure II.18 : Illustration d'un monopôle papillon.

II.4.3 Antenne directive :

Les antennes ULB directives peuvent être décrites comme des systèmes de transition entre un guide d'onde et l'espace libre. On part d'une ligne de transmission dont l'un des paramètres est une impédance caractéristique constante quel que soit la fréquence, puis les lignes de transmission s'évasent pour amener graduellement la structure à l'impédance du vide. L'onde peut maintenant rayonner.

L'antenne ULB directive est souvent utilisée dans des applications particulières ; par exemple dans le cas d'une station de base en communication avec des stations fixes.

II.4.3.1 Antenne cornet :

Les cornets constituent une première catégorie d'antennes ultra large bande directives. Ces antennes sont couramment utilisées pour des mesures de diagramme de rayonnement ou encore dans le cadre d'applications GPR (Ground Penetrating Radar).[28]

Chapitre II : Les Antennes Ultra Large Bande (ULB).

Avec des caractéristiques intrinsèques larges bande, les antennes cornets **figure II.19** sont très peu dispersives. Cependant, elles sont encombrantes et leur coût de production est élevé.



Figure II.19 : Exemple de cornet ULB.

II.4.3.2 Antenne à transition progressive (Vivaldi) :

Les antennes à transition progressive (TSA Tapered Slot Antenna) sont des antennes qui sont vues comme des transformateurs d'impédance. En effet, l'objectif de ces antennes est de passer de l'impédance caractéristique de la structure guidée, en général 50Ω , à l'impédance en espace libre, $120\pi\Omega$, La **figure II.20** donner différents profils d'antennes TSA. [28]

L'antenne la plus connue de cette catégorie est l'antenne Vivaldi proposée en 1979 par Gibson, le niveau d'adaptation de cette antenne est très bon (-15dB). Cette bonne adaptation permet de limiter les distorsions du signal.

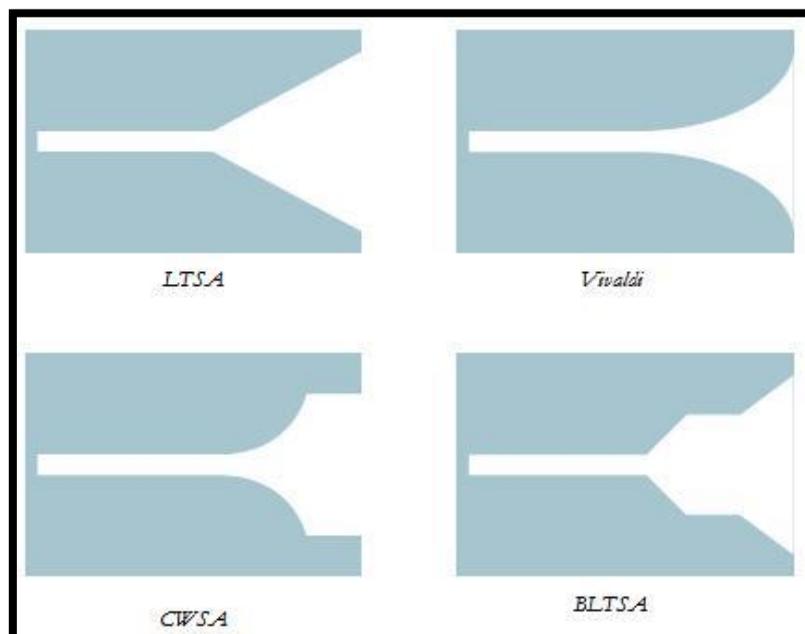


Figure II.20 : Différents profils d'antennes TSA.

Chapitre II : Les Antennes Ultra Large Bande (ULB).

II.5 Les antennes monopoles et l'aéronef :

L'antenne monopole a été inventé en 1895, par le pionnier de la radio Guglielmo Marconi, pour cette raison on l'appelle parfois l'antenne Marconi.

Les antennes monopoles constituent la plupart des antennes omnidirectionnelles, elles offrent une bonne performance, soit en termes de bande passante ou de rayonnement. Les monopoles sont des antennes de petites dimensions, ce qui facilite leur intégration aux systèmes de petites dimensions. [30]

Une antenne monopole est une catégorie d'antenne de radio constituée d'un conducteur en forme de tige rectiligne, monté perpendiculairement souvent sur un certain type de surface conductrice, dite plan de masse. Le signal de commande de l'émetteur est appliqué, pour les antennes de réception du signal de sortie au récepteur est pris entre l'extrémité inférieure du monopole et le plan de masse. Un coté de la ligne d'alimentation de l'antenne est fixé à l'extrémité inférieure du monopole, et l'autre côté est fixé au plan de masse.

La longueur de l'antenne est déterminée par la longueur d'onde des ondes radioélectriques avec lesquelles elle est utilisée. La forme la plus courante est le monopole de quart d'onde, dans lequel l'antenne représente environ le quart de la longueur l'onde des ondes radio.

L'une des antennes les plus installées à bord de l'avion est le monopole. Bien que les monopoles cylindriques soient faciles à fabriquer, ils ont une bande passante étroite, alors que les monopoles planaires fournissent plus de bande passante et émergent comme option pour surmonter la limitation cylindrique du monopole.

L'antenne de lame est classée comme monopole planaire de large bande passante et présente des caractéristiques aérodynamiques pour l'application aéronautique. Cependant, les antennes des aéronefs sont exposées aux variations climatiques, ce qui crée un besoin de protéger l'élément radiateur avec une certaine structure moins interférant dans les ondes électromagnétiques, Cette structure est connue sous le nom de radome.

Chapitre II : Les Antennes Ultra Large Bande (ULB).

II.6 L'Antenne lame (blade antenna) :

Le type d'antenne le plus communément utilisé dans un aéronef pour les systèmes TCAS, DME et VHF est une antenne lame. La **figure II.21** présente des exemples d'antennes lames utilisées dans un aéronef. Une antenne à lame est principalement un unipolaire encapsulé dans une couverture. La couverture sert à protéger l'antenne contre les dommages environnementaux externes et sa forme lui confère les propriétés aérodynamiques dont l'aéronef a besoin. Les lames peuvent avoir plusieurs octaves de bande passante et être formées de manière à fournir des performances à large bande.[19]

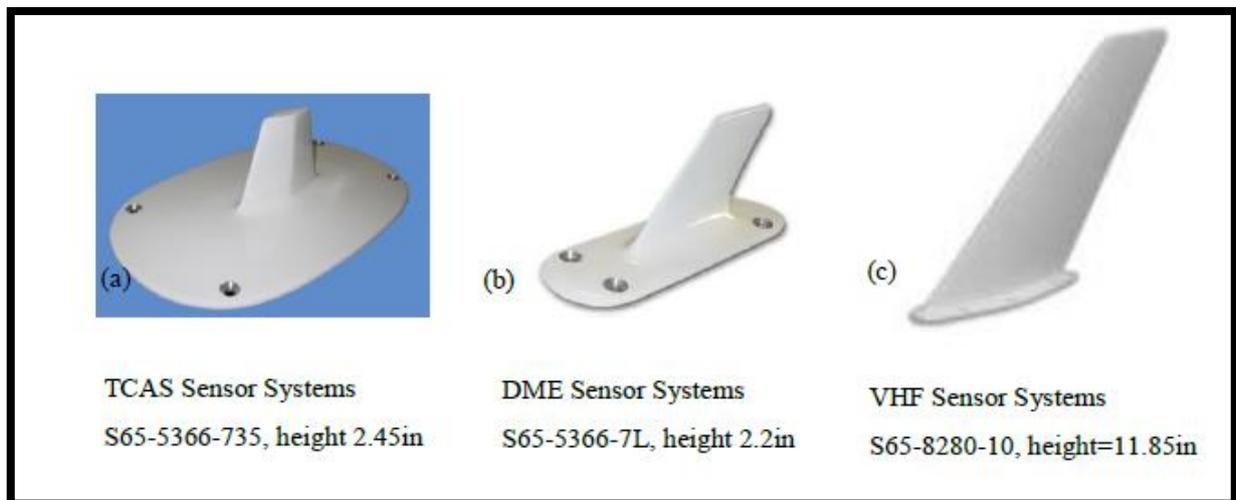


Figure II.21 : Exemples d'antennes lames pour systèmes TCAS, DME, VHF.

La **figure II.22** représente un antenne lame dans le CST Microwave Studio software.

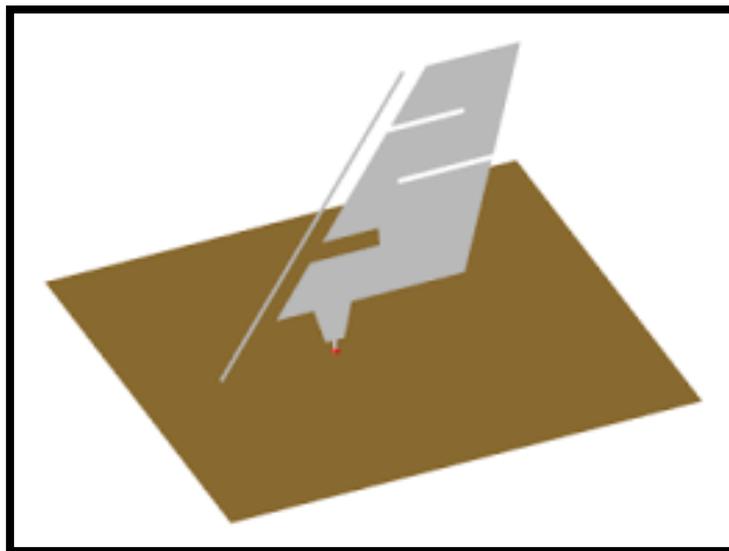


Figure II.22 : Antenne Lame (Blade Antenna).

Chapitre II : Les Antennes Ultra Large Bande (ULB).

De nos jours, les antennes lames sont utilisées dans divers des plates-formes telles que la surveillance mobile, les avions, les vaisseaux spatiaux, le brouillage, la surveillance du spectre, etc. Par rapport à antennes d'avion conventionnelles et antennes monopôles, Les antennes lames trouvent plus d'avantages. Elles sont plus légères, pratique en forme, de profil bas et de faible volume. La lame peut fournissent également une polarisation linéaire et circulaire avec un gain élevé.

Les antennes à lames peuvent être utilisées dans la bande de fréquence large, la bande C, et la bande S. Lors de la conception de l'antenne à lames, les éléments suivants ont été pris en compte des facteurs tels que les substrats à utiliser, la constante diélectrique, le type d'alimentation, la constante du substrat et la taille de l'antenne sont susceptibles d'envisager. L'antenne lame peut-être capable de supporter dans des conditions atmosphériques défavorables, en utilisant un radôme et elle assure également une bonne isolation de l'antenne. La plupart des lames Les antennes sont de forme trapézoïdale.[31]

Des variations ont été réalisées sur cette forme pour l'aérodynamique et des encoches (notches) ont été introduites afin d'atteindre une meilleure performance du haut débit.

II.7 Radômes :

Un radôme est un « couvercle » **figure II.23** destiné à protéger une antenne des effets de son environnement physique sans dégrader ses performances radioélectriques.

L'environnement hostile peut être la pluie, le vent, la neige, la grêle, mais aussi les effets de souffle (radars de systèmes d'armes), les effets de pression (radars de sous-marins).

On trouve des radômes au sol, sur des navires, des avions, etc. Dans ce dernier cas, il doit supporter des contraintes aérodynamiques pour ne pas dégrader les performances de son porteur.[6]

Les radômes sont généralement constitués de diélectriques à faibles pertes. Dans les antennes à balayage, le radôme doit conserveurs ses propriétés quelle que soit la direction de pointage du faisceau.



Figure II.23 : Exemple d'un Radome.

Chapitre II : Les Antennes Ultra Large Bande (ULB).

II.8 Conclusion :

Ce chapitre introduit la technologie ULB sous différents aspects, Premièrement un bref historique ainsi que la définition, ses caractéristiques, les nombreux domaines d'application. Nous avons présenté aussi différentes antennes existantes les plus connues, possédant des caractéristiques d'adaptation sur de très larges bandes de fréquences.

Au vu du grand nombre d'antennes ULB existantes dans la littérature, on a cité quelques types des antennes ULB, d'antennes indépendant de la fréquence (spirale, log-périodique), et les antennes directives (cornet, Vivaldi), les antennes omnidirectionnelles (biconique, monopole).

Cette technologie impose des défis à relever, par exemple, au niveau de la conception d'antennes. Ainsi, on propose dans le chapitre suivant d'étudier la problématique de conception d'une antenne UWB ainsi que sa caractérisation et l'analyse de ses performances. Un intérêt particulier est consacré à une antenne ULB en monopole lame(blade).

Chapitre III :

Conception et simulation d'antenne monopole large bande.

Chapitre III : Conception et simulation d'antenne monopole large bande.

III.1 Introduction :

Les systèmes sans fil modernes et futurs imposent de plus en plus d'exigences à la conception des antennes. Le développement rapide des communications sans fil a exigé des antennes à large bande pour prendre en charge des dispositifs sans fil tels que les avions, les systèmes radar, les radars de drones et les communications par satellite. Ces exigences comprennent une nouvelle caractérisation en termes de performances des antennes.[32]

Dans les applications aéronautiques, spatiales, satellitaires et de missiles à haute performance, où la taille, le poids, le coût, la performance, la facilité d'installation et le profil aérodynamique sont des contraintes, actuellement, il y a beaucoup d'autres gouvernements et applications commerciales, telles que la radio mobile et les communications sans fil, qui spécifications similaires. Pour répondre à ces exigences, les antennes monopoles lame ce type d'antenne est une combinaison de rectangle conique et de formes elliptiques. L'étude de l'antenne lame a fait de grands progrès ces dernières années. Aujourd'hui, les antennes lames sont utilisées dans de nombreux endroits tels que les avions, les vaisseaux spatiaux, la surveillance mobile, la surveillance du spectre, etc. Sont préférées pour les applications aéroportées en raison de leur faible traînée. La peau métallique des plates-formes peut être utilisée comme plan de masse de l'antenne pour l'équilibrer électriquement.

Si on veut optimiser les paramètres de la structure, il s'avère incontournable de bien s'arrêter sur la phase de conception de l'antenne, et d'employer un logiciel adéquat.

De plus, la conception aide à la prise en compte de l'imperfection des paramètres diélectriques et conducteurs des matériaux sélectionnés, dans le but d'être plus proche des antennes futures réalisées.

La simulation est une étape indispensable pour la réalisation réelle d'une antenne, puisqu'elle nous guide et nous oriente vers la bonne sélection des paramètres statiques et des conditions de fonctionnement selon l'objectif fixé à priori.

Ce chapitre sera consacré à l'étude d'une antenne monopole lame alimentées par un câble coaxiale., Les paramètres importants qui affectent les performances de l'antenne seront étudiées afin d'avoir une bonne conception de ce type d'antenne. On présentera une comparaison entre les mesures et les simulations de l'impédance d'entrée ainsi que du diagramme de rayonnement.

Il sera question dans un premier temps de partir de la phase de conception en abordant la présentation du logiciel de simulation électromagnétique et ses différentes étapes, pour aboutir aux résultats de simulation de notre antenne.

Chapitre III : Conception et simulation d'antenne monopole large bande.

III.2 L'antenne monopole lame large bande :

Le point de départ de notre travail est l'antenne du type monopole de forme trapézoïdale ultra-large bande. Ce type d'antenne est préférable en cas de création d'une antenne monopôle à bande plus large par rapport à une antenne monopôle à fil fin.

Le bord incliné de l'antenne lame (blade) permet de réduire sa hauteur et de l'incliner selon n'importe quel angle en fonction des exigences de conception.

Dans le vaste éventail de conceptions d'antennes, il existe différentes structures d'antennes lames. Bien entendu, l'antenne lame comporte trois parties fondamentales. Il s'agit de la lame, du plan de masse et de la ligne d'alimentation. **La figure III.1** montre la première antenne lame proposée.

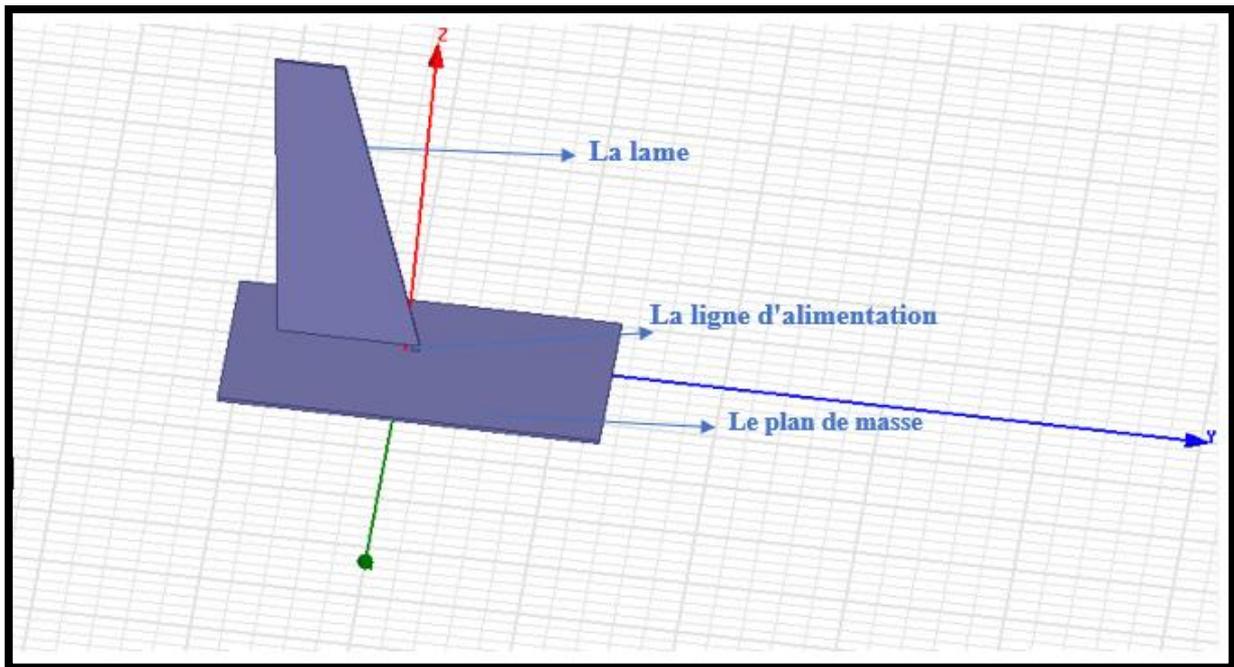


Figure III.1 : Prototype d'antenne monopole lame.

III.2.1 Modélisation d'antenne lame :

L'antenne proposée est un monopole lame alimenté par un câble coaxial, Les dimensions de la structure ont été optimisées à l'aide du logiciel, pour lequel on appliquera un processus d'optimisation paramétrique pour trouver la réponse désirée. Puis nous allons simuler le monopole pour étudier l'effet des différents paramètres sur les performances de l'antenne.

Les paramètres et les caractéristiques géométriques de l'antenne sont illustrés par **la figure III.2**.

Chapitre III : Conception et simulation d'antenne monopole large bande.

Les longueurs **H** et **L** (hauteur, largeur), l'angle **A** de bord incliné, la position de la sonde (point d'alimentation) **Pa**, la distance entre le plan de masse et le monopole **Da** et les dimensions du plan de masse **Dp** ont été modifiés afin d'observer les effets sur le coefficient de réflexion(S11).

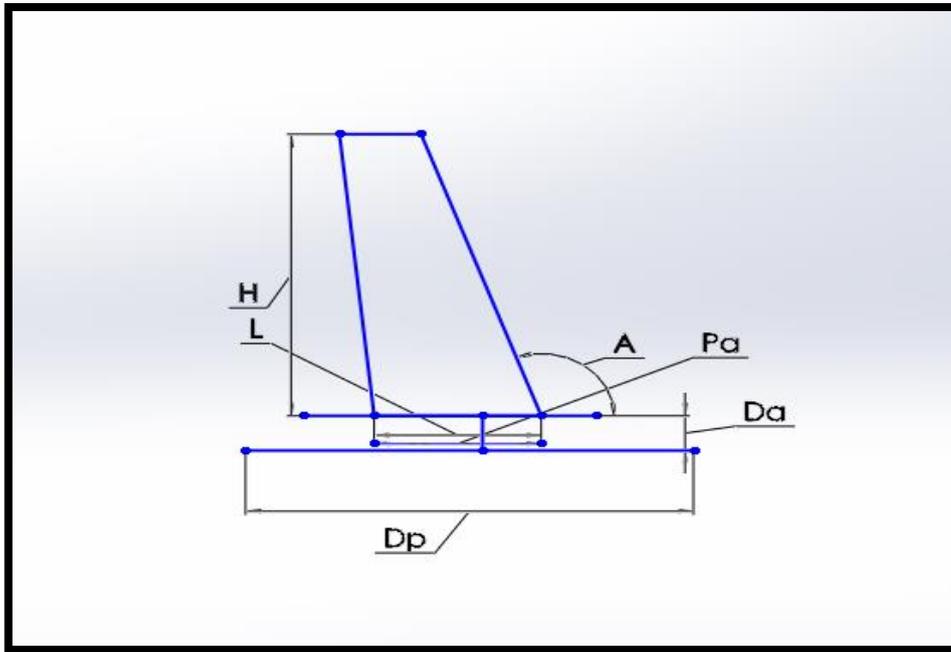


Figure III.2 : Schéma de l'antenne monopole lame avec les paramètres géométriques.

III.2.2 Études paramétriques :

Une étude sous logiciel sera menée par la suite pour voir l'influence des dimensions du différentes paramètres sur les caractéristiques de l'antenne.

L'analyse paramétrique s'est concentrée sur la recherche de la meilleure magnitude du coefficient de réflexion. Ensuite, il est décrit l'influence des variables du projet, et la recherche des dimensions optimales de l'antenne pour construire un prototype conforme aux spécifications.

III.2.2.1 Influence du hauteur **H** et largeur **L** :

Dans cette section, les dimensions **H** et **L** présentées sur la Fig.III.2 sont évaluées. Les Fig.III.3 et Fig.III.4 montrent comment la magnitude du coefficient de réflexion est affectée par les changements de **H** (de la valeur 70 à 105mm) et **L** (de la valeur 30 à 70mm). Dans cette analyse, alors que **H** a été modifié, largeur **L** l'angle **A**, P_a , D_a , D_p sont restés inchangés, et alors que **L** a été modifié, hauteur **H**, l'angle **A**, P_a , D_a , D_p sont restés inchangés. Les graphes affichent le coefficient de réflexion (en décibels) en fonction de la fréquence (en GHz).

Chapitre III : Conception et simulation d'antenne monopole large bande.

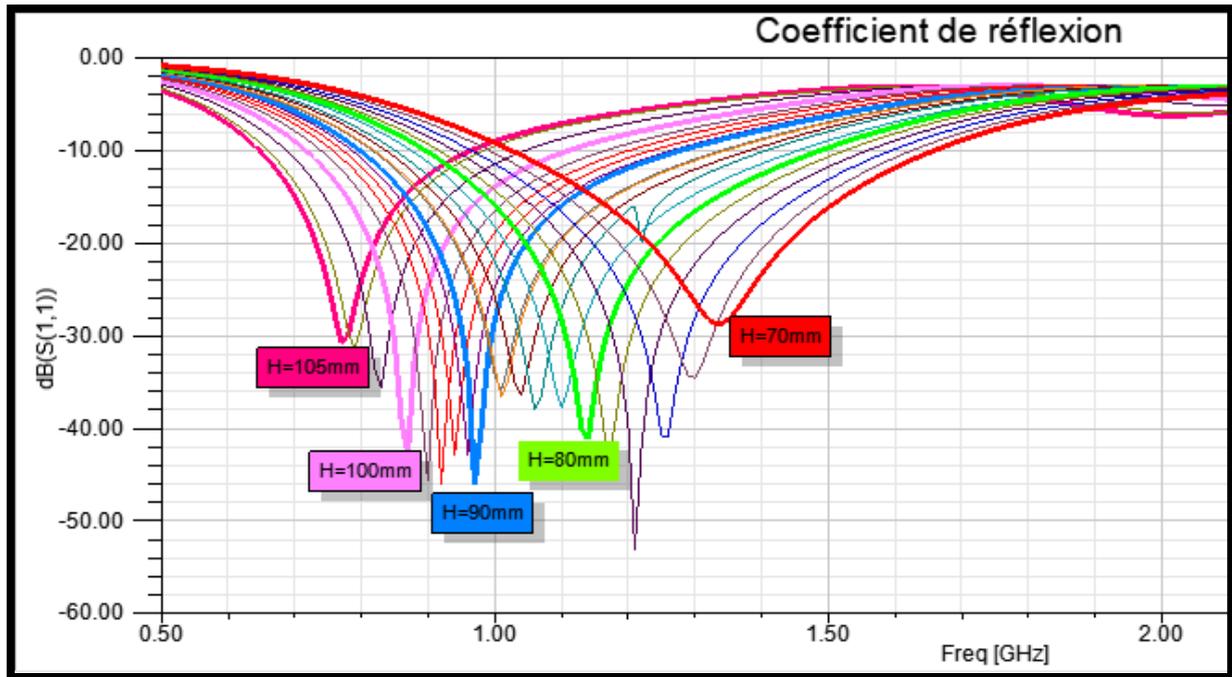


Figure III.3 : Coefficient de réflexion(dB)en fonction de la fréquence (GHz) pour différentes variations d'hauteur H.

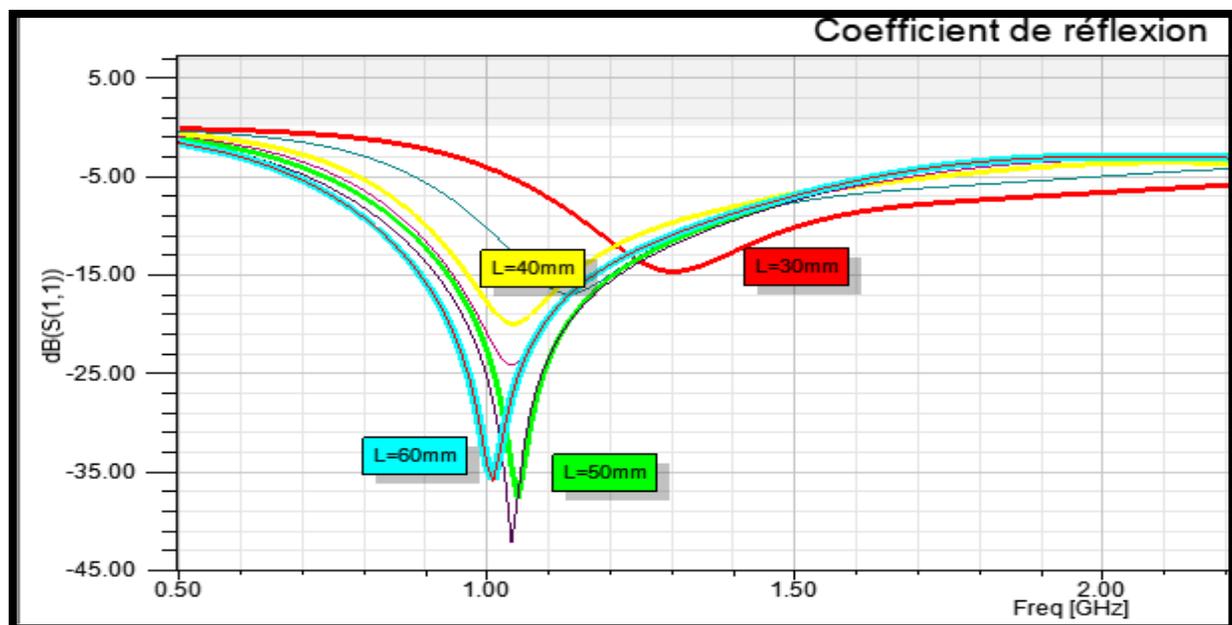


Figure III.4 : Coefficient de réflexion(dB)en fonction de la fréquence (GHz) pour différentes variations du largeur L.

Une variation L a entraîné une dégradation plus prononcée de l'amplitude du coefficient de réflexion, comme le montre la fig.III.4, tandis qu'une variation H a entraîné un décalage de fréquence, comme on peut le voir sur la fig.III.3.

Chapitre III : Conception et simulation d'antenne monopole large bande.

III.2.2.2 Influences du hauteur H et largeur L et l'angle A de bord incliné :

Pour avoir l'influence l'angle A de bord incliné d'antenne lame sur le rayonnement de ce dernier, on va faire fixer la position de la sonde (point d'alimentation) (Pa), la distance entre le plan de masse et le monopole (Da) et les dimensions du plan de masse (Dp), et en varier l'angle A (de 10deg a 25deg), hauteur (H) et la largeur (L).

La **figure III.5** montre comment la magnitude du coefficient de réflexion est affectée par les changements de la valeur de l'angle A, H, L en même temps.

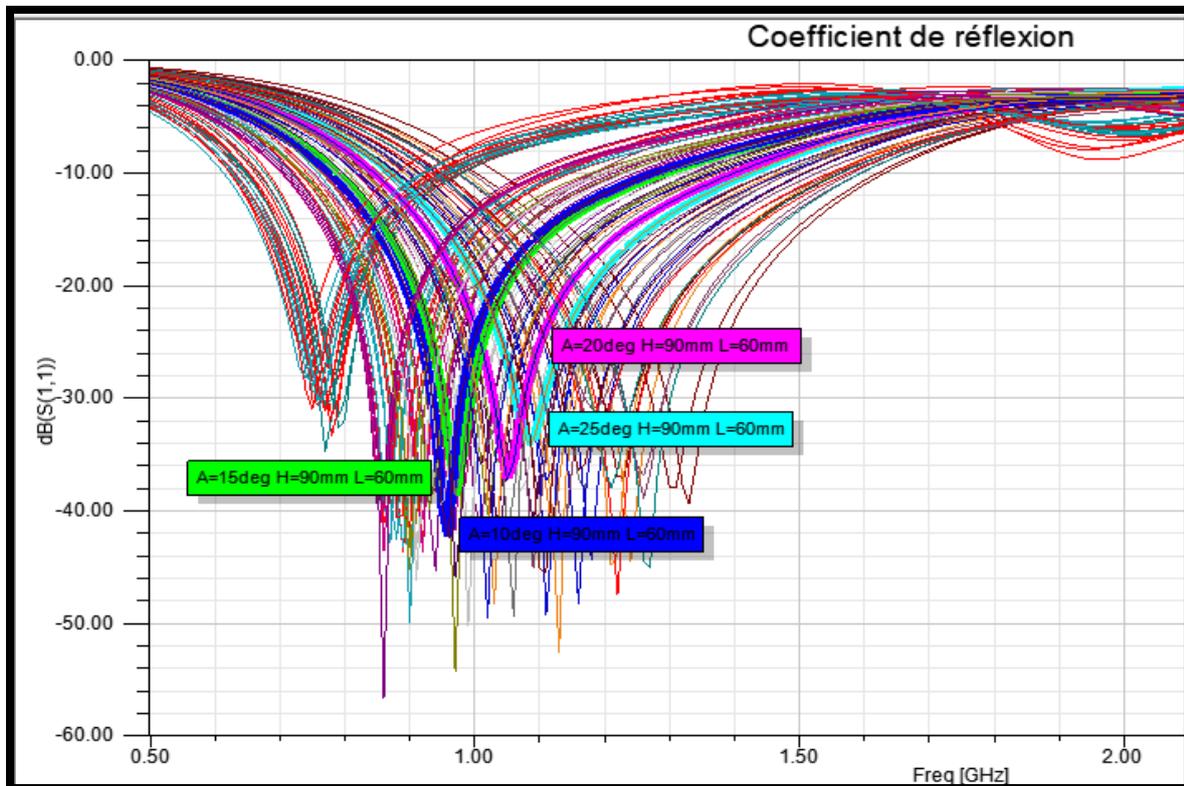


Figure III.5 : Coefficient de réflexion(dB)en fonction de la fréquence (GHz) pour différentes variations l'angle A, H, L.

III.2.2.3 Influences de la position de la sonde (point d'alimentation) Pa, la distance entre le plan de masse et le monopole Da :

La variation de la position de la ligne d'alimentation **Pa** de la valeur (-10 à 3mm) tandis que les autres paramètres inchangés, et la variation de la distance entre le plan de masse et le monopole **Da** (1 à 6mm) et les autres paramètres sont fixés cela permis d'avoir les variations suivantes les **fig.III.6** et **fig.III.7** pour le coefficient de réflexion S_{11} en fonction de la fréquence.

Chapitre III : Conception et simulation d'antenne monopole large bande.

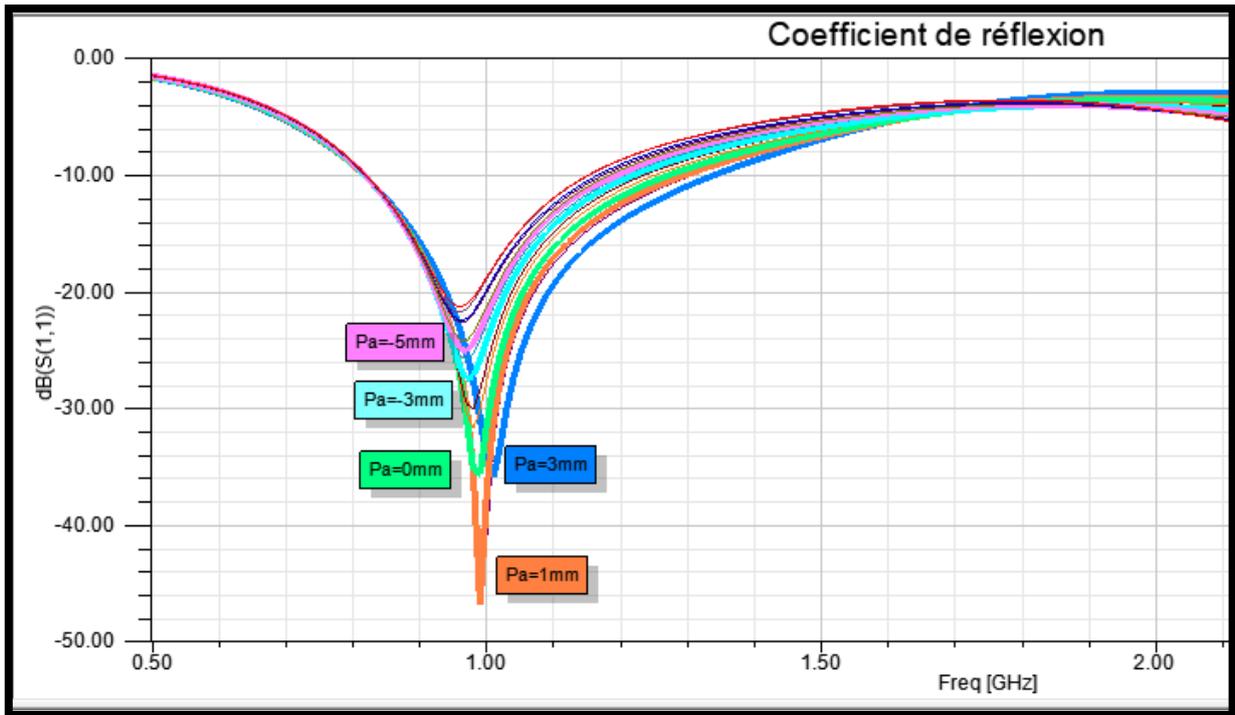


Figure III.6 : Coefficient de réflexion(dB)en fonction de la fréquence (GHz) pour différentes variations de la position P_a .

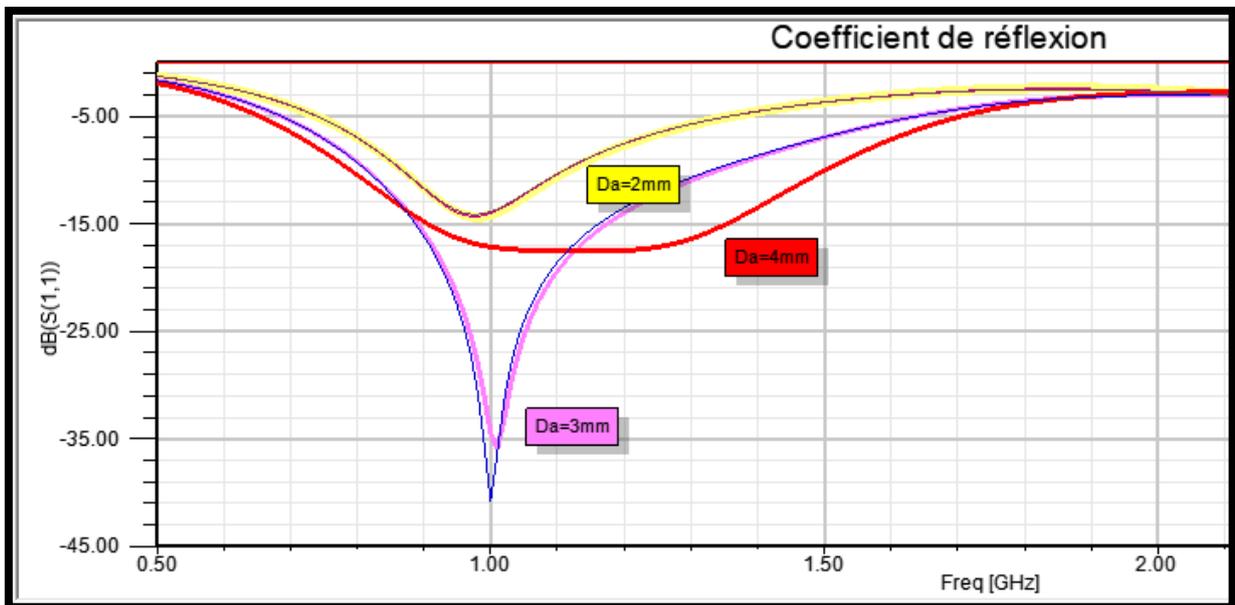


Figure III.7 : Coefficient de réflexion(dB)en fonction de la fréquence (GHz) pour différentes variations de la distance D_a .

La figure III.6 montre comment l'amplitude du coefficient de réflexion est modifiée avec la variation de la position de la ligne d'alimentation P_a . Il est possible d'observer qu'une variation P_a affecte un décalage de fréquence. Dans la figure III.7 Similaire à la variation de la position P_a , un changement de la distance entre le plan de masse et le monopole D_a affecte aussi à l'amplitude de S_{11} et un décalage de fréquence.

Chapitre III : Conception et simulation d'antenne monopole large bande.

III.2.2.4 Influences des dimensions du plan de masse D_p :

Pour avoir l'influence des dimensions du plan de masse D_p (surface) sur l'antenne lame on va faire fixer tous les paramètres précédents, et en varier les dimensions de D_p de (100 à 150mm).

La figure III.8 montre le comportement de l'amplitude du coefficient de réflexion en fonction de la variation de la surface du plan de masse D_p

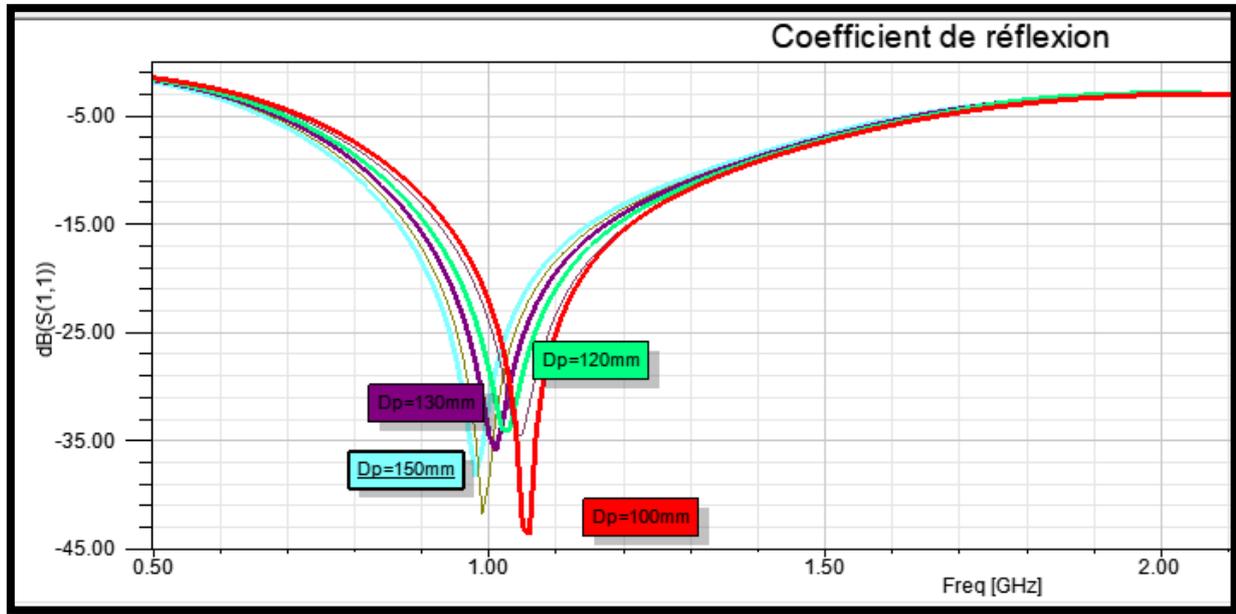


Figure III.8 : Coefficient de réflexion(dB)en fonction de la fréquence (GHz) pour différentes variations de plan de masse D_p .

III.2.2.5 Influences de tous les paramètres en même temps (H, L, A, Pa, Da, D_p) :

Dans cette partie on va faire varier tous les paramètres précédents en même temps pour déterminer les meilleures valeurs étant données les caractéristiques que nous désirons.

La variation des différents paramètres pour H (de 80 à 105 mm), L (de 50 à 70 mm), A (de 10 à 20 deg), D_a (de 1 à 3 mm), P_a (de 2 à 3 mm), D_p (de 120 à 130 mm).

La **figure III.9**, illustre le changement sur le coefficient de réflexion en(dB) avec la variation des différents paramètres en fonction de la fréquence (GHz).

Chapitre III : Conception et simulation d'antenne monopole large bande.

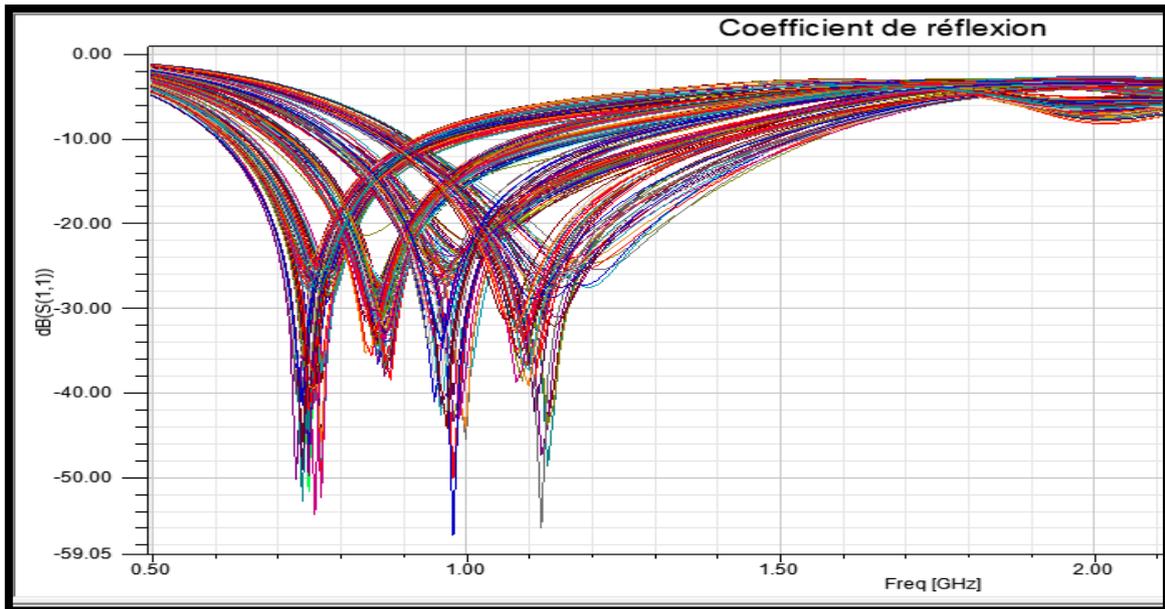


Figure III.9 : Coefficient de réflexion(dB)en fonction de la fréquence (GHz) pour différentes variations des paramètres en même temps.

III.2.3 Conception Antenne monopole lame large bande optimisée :

A partir des études paramétriques menées précédemment, nous pouvons déduire les valeurs optimales des différents paramètres qui donnent une antenne monopole lame à large bande.

Nous avons commencé notre étude paramétrique par la variation du paramètres géométriques de la lame la hauteur H , la largeur L , l'angle A de bord incliné. Puis les paramètres de la ligne d'alimentation qui sont la position de la sonde (point d'alimentation) P_a , la distance entre le plan de masse et le monopole D_a (gap).et le plan de masse D_p

Après avoir terminé les études paramétriques, les dimensions optimales de l'antenne pour les meilleures caractéristiques d'antenne (diagramme de rayonnement omnidirectionnel, gain élevé avec une polarisation verticale), les valeurs indiquées dans le **tableau III.1**

Chapitre III : Conception et simulation d'antenne monopole large bande.

| Paramètres | Valeur |
|---|-----------|
| H : La hauteur de la lame | H=88.5 mm |
| L : la largeur | L=60 mm |
| A : l'angle A de bord incliné | A=20 deg |
| Pa : la position de point d'alimentation | Pa=3 mm |
| Da : la distance entre le plan de masse et le monopole | Da=3 mm |
| Dp : dimensions de surface plane de masse | Dp=120 mm |

Tableau III.1 : Dimension de l'antenne monopole lame.

Nous avons pu concevoir un prototype de notre antenne et la simuler sous le logiciel comme illustré la **figure III.10**.

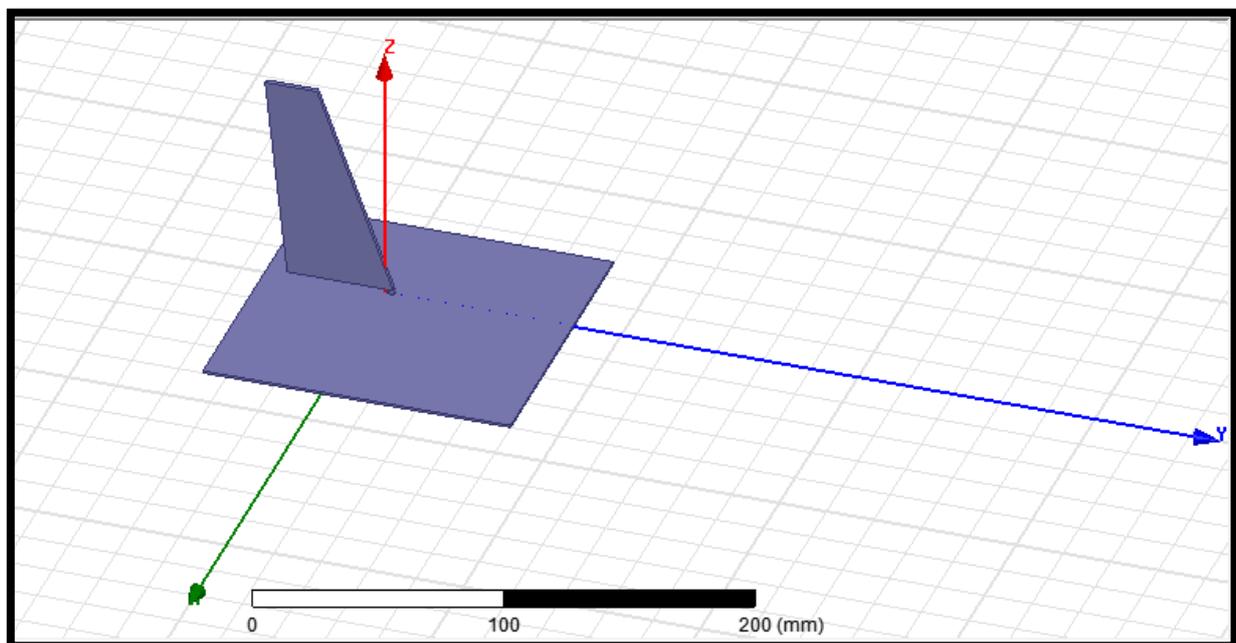


Figure III.10 : Antenne monopole lame simulée sous le logiciel.

Chapitre III : Conception et simulation d'antenne monopole large bande.

III.2.4 Simulation et résultats d'antenne monopole lame optimisée :

La simulation est une étape indispensable pour la réalisation réelle d'un objet, puisqu'elle nous guide et nous oriente vers la bonne sélection des paramètres statiques et des conditions de fonctionnement selon l'objectif fixé par la réalisation.

III.2.4.1 La modélisation géométrique (Mesh ou maillage) :

Lors de la modélisation d'une cellule élémentaire périodique, le logiciel va réaliser un maillage adaptatif de la structure. C'est un maillage constitué d'éléments tétraédriques. Ce maillage peut être automatique ou réglé manuellement par la définition de critères de convergence.

Une fois cette condition de convergence définie, le simulateur va mailler plus ou moins finement la cellule suivant les zones critiques où le champ connaît de fortes variations.

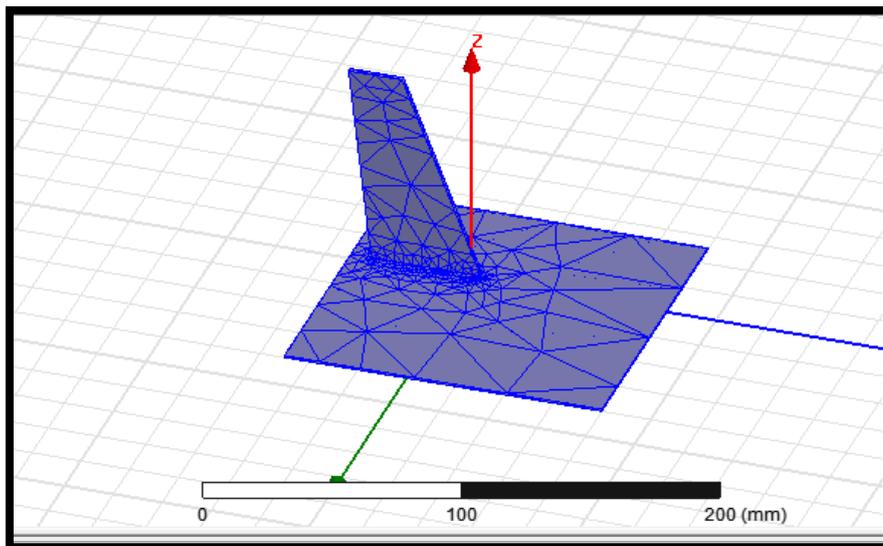


Figure III.11 : Modélisation géométrique (Mesh ou maillage.)

III.2.4.2 Le coefficient de réflexion S_{11} :

Le coefficient de réflexion est un paramètre qui permet de quantifier la quantité du signal réfléchi par rapport au signal incident. Il permet de caractériser l'adaptation de l'antenne au circuit qui la précède. Plus l'antenne est adaptée plus le coefficient de réflexion est faible.

La **figure III.12** présente le coefficient de réflexion S_{11} (dB) de l'antenne en fonction de la fréquence dans la bande [0-2] GHz.

Chapitre III : Conception et simulation d'antenne monopole large bande.

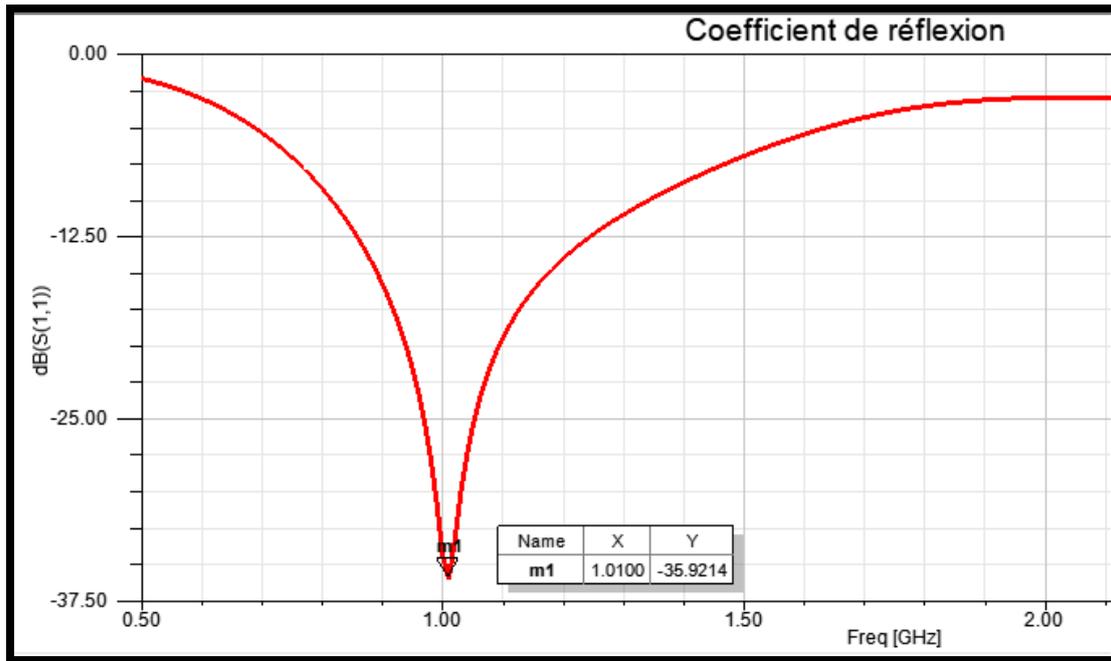


Figure III.12 : Coefficient de réflexion S_{11} pour l'antenne monopole lame optimisée.

On constate qu'une bonne adaptation est de coefficient $S_{11} = -36$ dB dans une fréquence de 1.01 GHz avec une bande passante à -10 dB de [0.8GHz – 1.4GHz].

III.2.4.3 Taux d'ondes stationnaires TOS (VSWR) :

Le taux d'ondes stationnaires traduit l'adaptation ou la désadaptation d'impédance entre deux éléments. La **figure III.13** montre les valeurs du rapport d'ondes stationnaires calculées en fonction de la fréquence. On remarque que le $VSWR=0.3$ à la fréquence de résonance 1.01GHz,

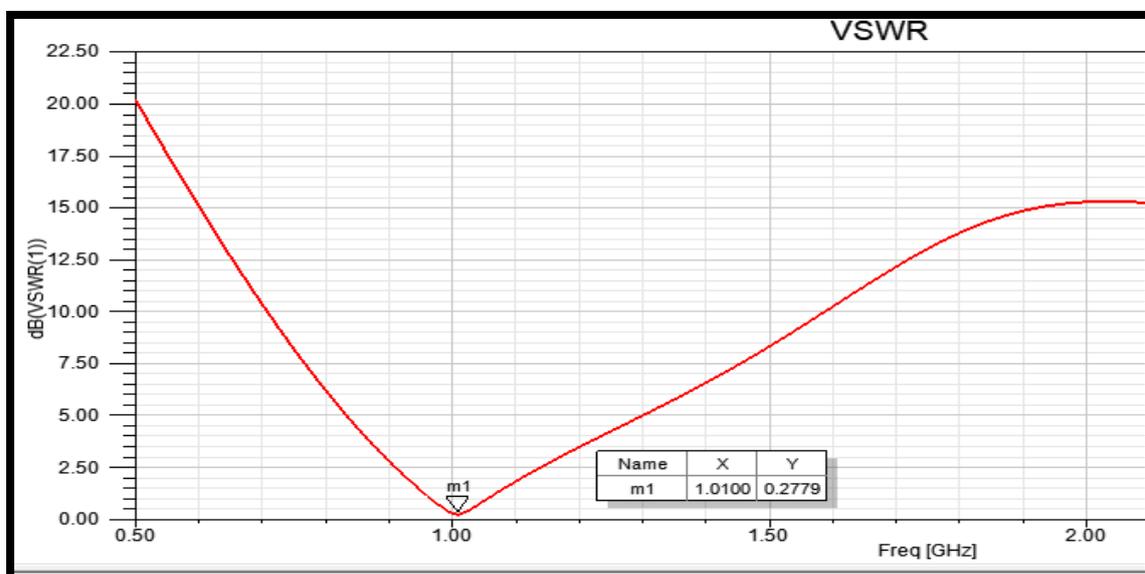


Figure III.13 : Résultats du taux d'ondes stationnaires TOS (VSWR).

Chapitre III : Conception et simulation d'antenne monopole large bande.

III.2.4.4 Le diagramme de rayonnement et le gain :

Le diagramme de rayonnement est une représentation géométrique de la façon dont une antenne collecte ou rayonne l'énergie électromagnétique dans l'espace. Il permet de visualiser les lobes dans deux ou trois dimensions. Il permet de localiser les zones de l'espace entourant l'antenne et les directions où le rayonnement est intense ou faible.

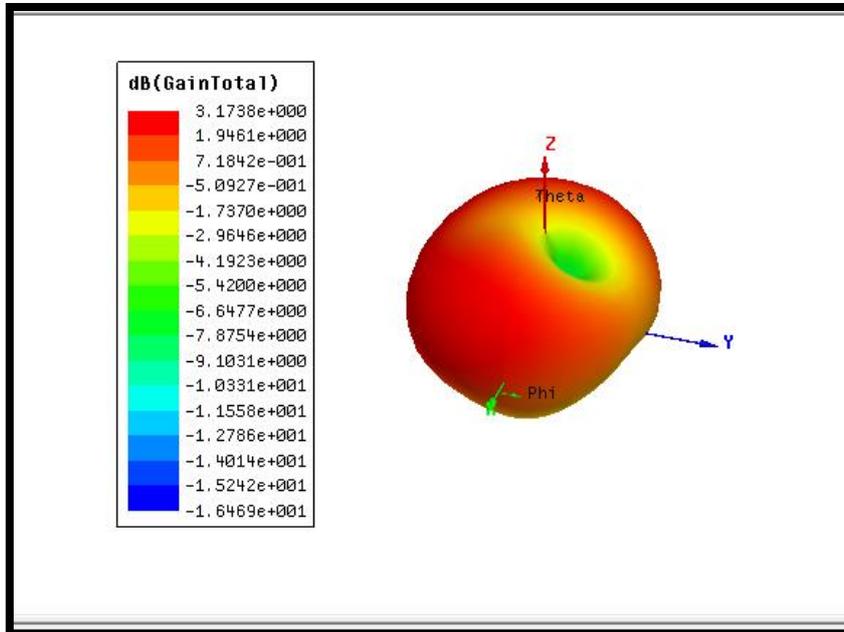


Figure III.14 : Diagrammes de rayonnement en 3D de l'antenne.

III.3.4.5 Les répartitions des champs E/H :

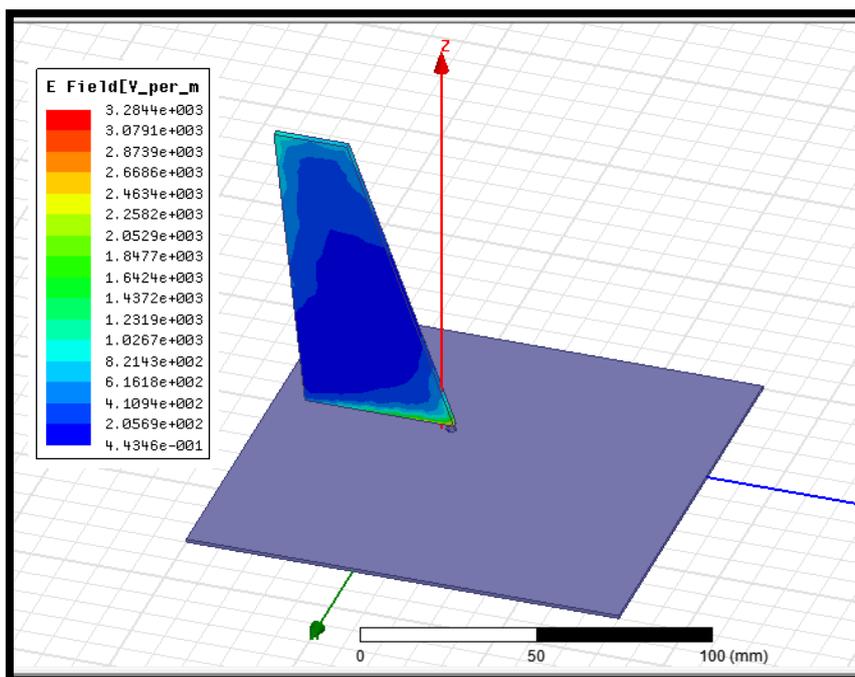


Figure III.15 : Répartition du champ électrique E.

Chapitre III : Conception et simulation d'antenne monopole large bande.

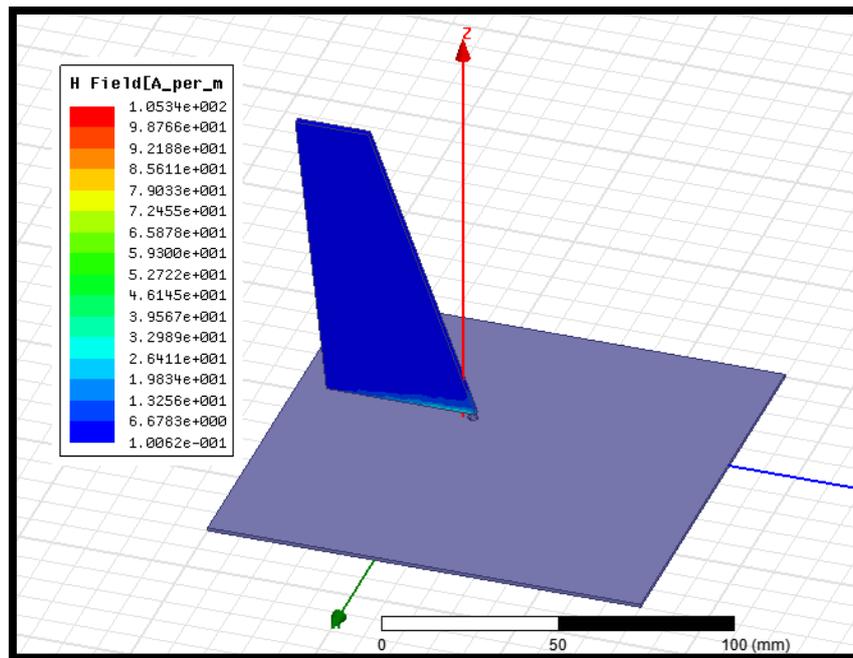


Figure III.16 : Répartition du champ magnétique H.

La figure III.15 et la figure III.16 montrent l'ensemble des résultats de cartographie de champs électriques E et magnétiques H présentés est référencé à l'aide d'une échelle de couleur qui permet de repérer les valeurs de l'intensité de ces champs.

Il est notable que le champ « E » et « H » se trouve concentré aux extrémités monopole lame et distribué le long du côté et le long de l'alimentation, ce qui explique le fait que le rayonnement de ce type d'antenne s'effectue principalement par ses bords.

Chapitre III : Conception et simulation d'antenne monopole large bande.

III.3 L'antenne monopole lame large bande avec un Radôme :

Un radôme est une enceinte structurelle étanche qui protège une antenne contre les conditions environnementales difficiles. Le radôme est transparent aux radiofréquences (RF), de sorte qu'il ne dégrade en aucune façon les performances électriques de l'antenne fermée. En d'autres termes, le radôme est transparent aux ondes électromagnétiques. Mais il y a un compromis entre les propriétés mécaniques et les propriétés électromagnétiques. Un matériau à haute résistance doit être utilisé pour les applications aéronautiques

L'antenne lame est souvent un type d'antenne monopole recouverte d'un radôme trapézoïdal comme illustre la figure III.17.

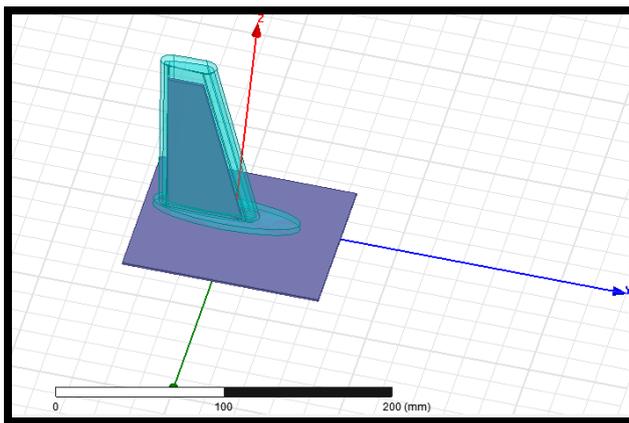


Figure III.17 Antenne lame avec un radôme.

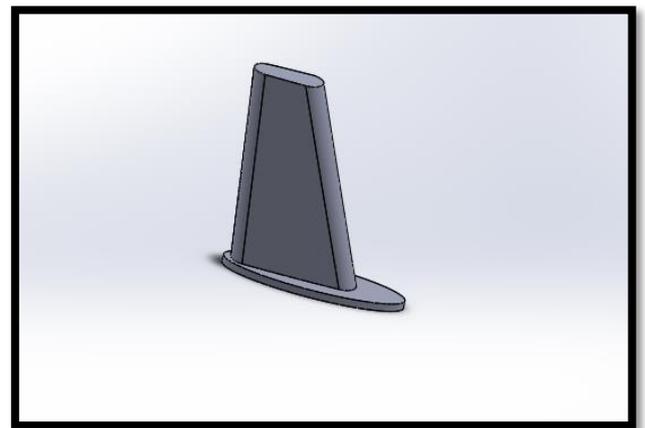


Figure III.18 Représentation du radôme.

III.3.1 Résultats des optimisations d'antenne monopole lame avec radôme :

III.3.1.1 La modélisation géométrique (Mesh) :

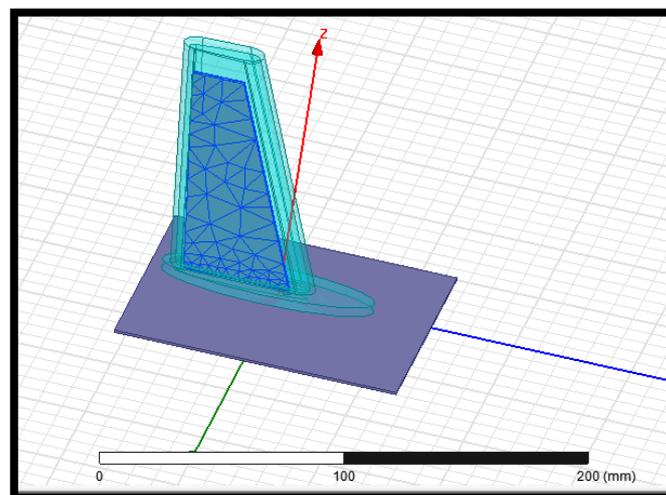


Figure III.19 : Modélisation géométrique.

Chapitre III : Conception et simulation d'antenne monopole large bande.

On remarque que les dimensions des mailles sont plus grandes au centre qu'on côtés, ce qui signifie une concentration du champ électromagnétique sur les bords là où le rayonnement va se déclencher.

III.3.1.2 Le coefficient de réflexion S_{11} :

La figure III.20 présente le coefficient de réflexion S_{11} (dB) de l'antenne couverte avec un radôme en fonction de la fréquence dans la bande [0-2] GHz

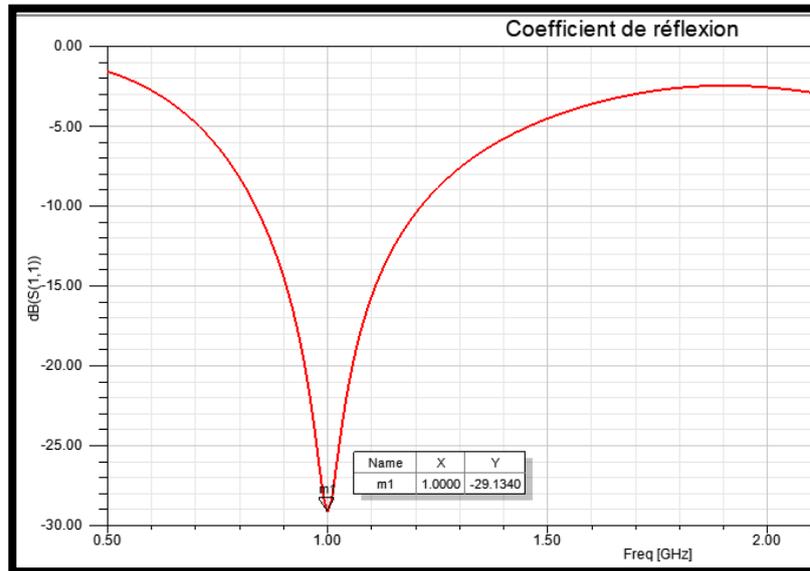


Figure III.20 : Coefficient de réflexion S_{11} .

Donc couvrir l'antenne un radôme nous a permis d'avoir un pic de $S_{11} = -29$ dB à la fréquence 1GHz (diminué par rapport à l'antenne sans radôme) on remarque aussi que la bande passante à -10 dB [0.85 GHz – 1.2 GHz].

III.3.1.3 Taux d'ondes stationnaires TOS (VSWR) :

La figure III.21 montre les valeurs du rapport d'ondes stationnaires calculées en fonction de la fréquence. On remarque que le VSWR = 0.6 à la fréquence 1.00 GHz, le taux d'onde stationnaire est inférieur à 2 dont la bande de fréquence visée, on conclue que l'antenne proposée est bien adaptée.

Chapitre III : Conception et simulation d'antenne monopole large bande.

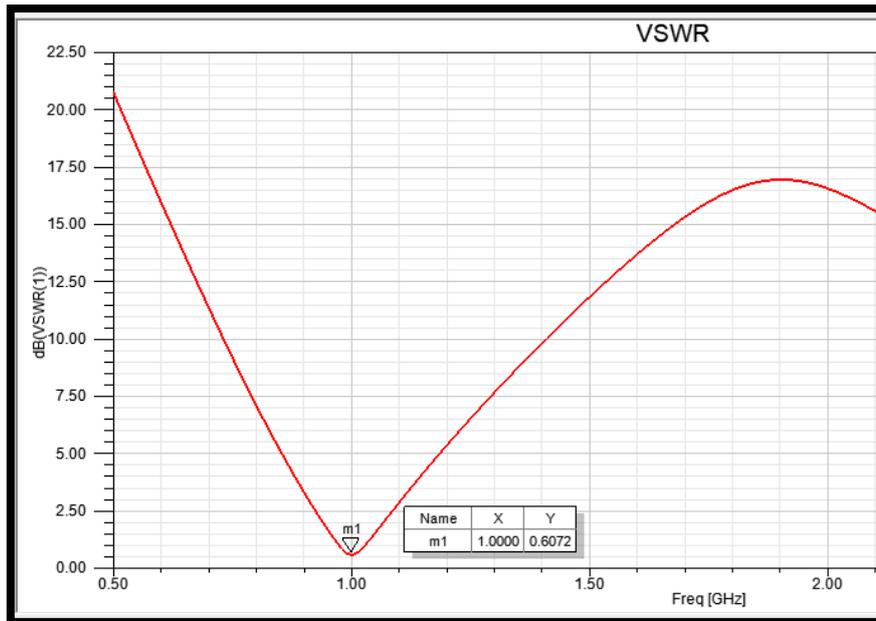


Figure III.21 : Taux d'ondes stationnaires TOS (VSWR).

III.3.1.4 Le diagramme de rayonnement et le gain :

La figure (III.22) montre les résultats de simulation du diagramme de rayonnement, on de l'antenne dans trois directions 3D on remarque une amélioration de gain d'antenne est observée. Une antenne avec radôme donne alors de meilleurs résultats qu'une antenne sans radôme.

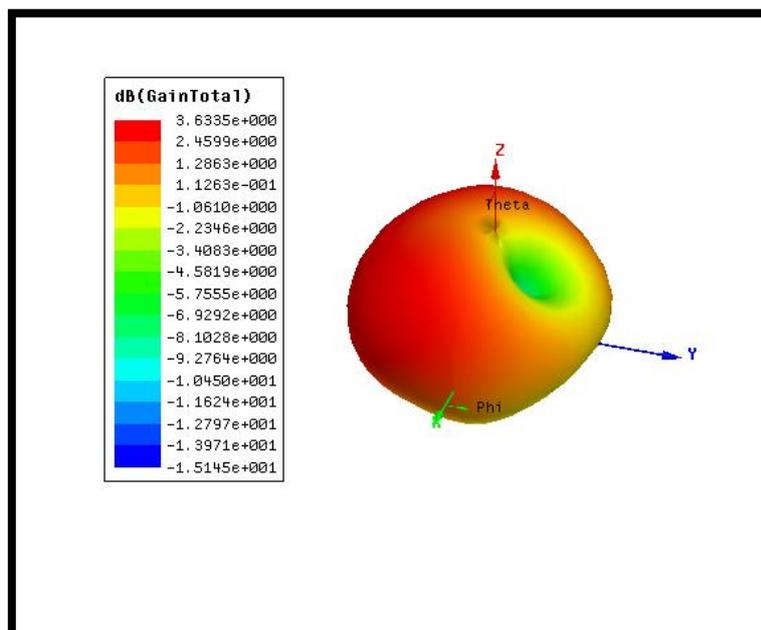


Figure III.22 : Diagrammes de rayonnement en 3D de l'antenne.

Chapitre III : Conception et simulation d'antenne monopole large bande.

III.3.1.5 Influence de l'épaisseur de radôme sur l'antenne :

La figure III.23 présente le coefficient de réflexion S11 (dB) de l'antenne couverte avec un radôme de différentes valeurs d'épaisseur en fonction de la fréquence dans la bande [0-2] GHz. Il est possible d'observer qu'une variation d'épaisseur affecte un petit décalage de fréquence.

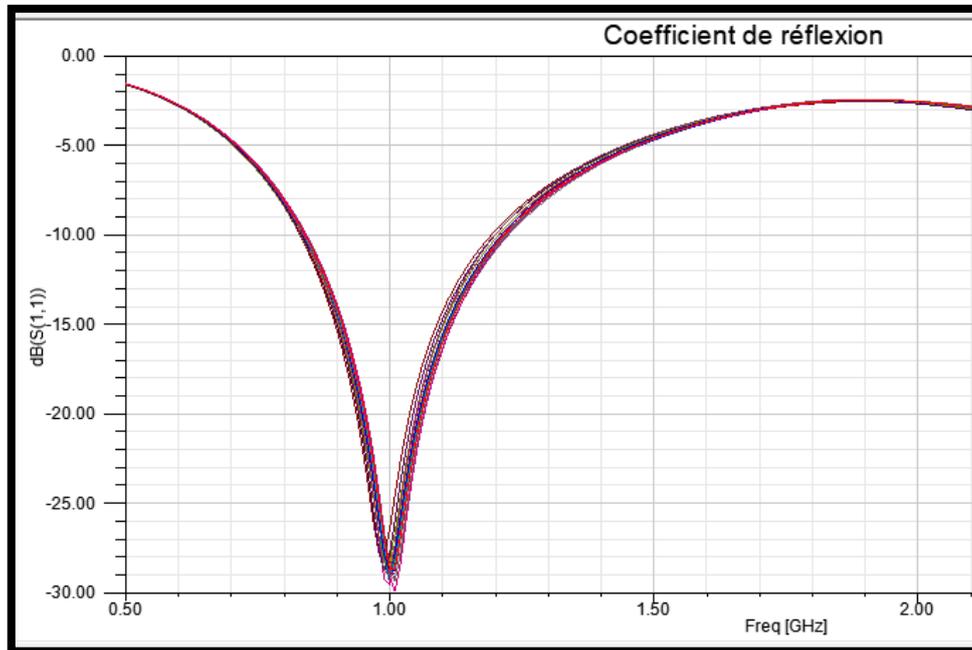


Figure III.23 : le coefficient de réflexion S11 des différentes épaisseurs.

III.4 L'antenne monopole large bande avec des encoches (Notches) :

Différentes techniques ont été envisagées pour élargir sa bande passante et stabiliser son diagramme de rayonnement. Des encoches ont été introduites afin d'obtenir de meilleures performances à large bande.

Chapitre III : Conception et simulation d'antenne monopole large bande.

III.4.1 Modélisation d'antenne monopole lame avec des encoches par le logiciel :

Dans la partie qui suit, nous allons ajouter à l'antenne lame précédent quatre encoches (fentes) comme le montre la **figure III.24**

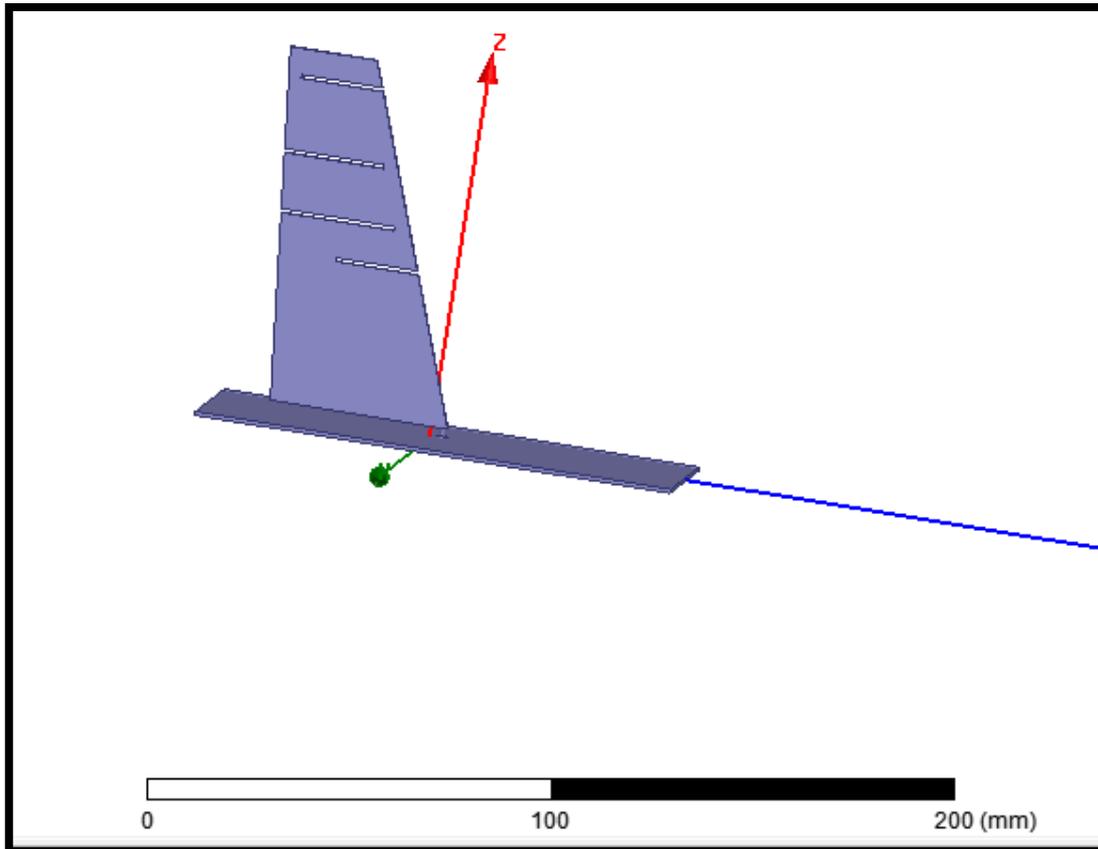


Figure III.24 : Antenne monopole lame avec des encoches.

Les simulations et optimisations de l'antenne ont été réalisées principalement avec la méthode des éléments finis.

III.4.2 L'influence de largeur (L_n) des encoches.

La **figure III.25** illustre le changement du coefficient de réflexion en fonction de la variation de la largeur des encoches L_n . Compte tenu de la fréquence de fonctionnement, la largeur d'encoche qui a produit le meilleur résultat est de $L_n=1\text{mm}$.

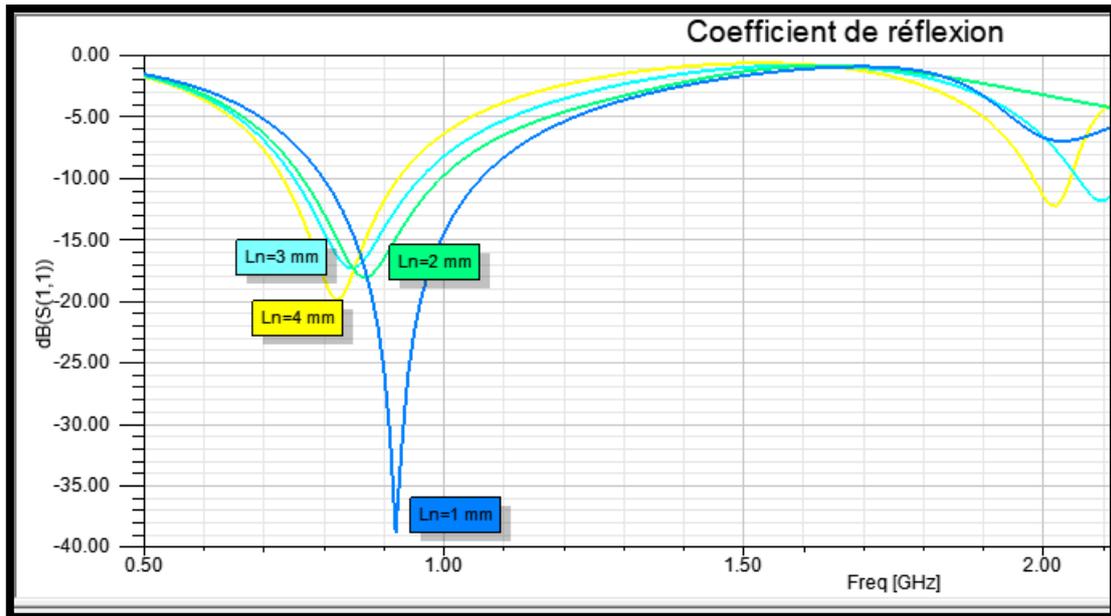


Figure III.25 : Coefficient de réflexion(dB)en fonction de la fréquence (GHz) pour différentes variations de largeur (L_n) d'encoche.

III.4.3 Résultats des optimisations d'antenne monopole lame avec encoches.

Les résultats de la simulation seront affichés dans la section qui suit.

III.4.3.1 La modélisation géométrique (Mesh) :

La **figure III.26** représente la géométrie du maillage de l'antenne. Le maillage est trop fin au niveau des encoches et les côtés de lame et devient moins fin en allant vers les surfaces entre les encoches.

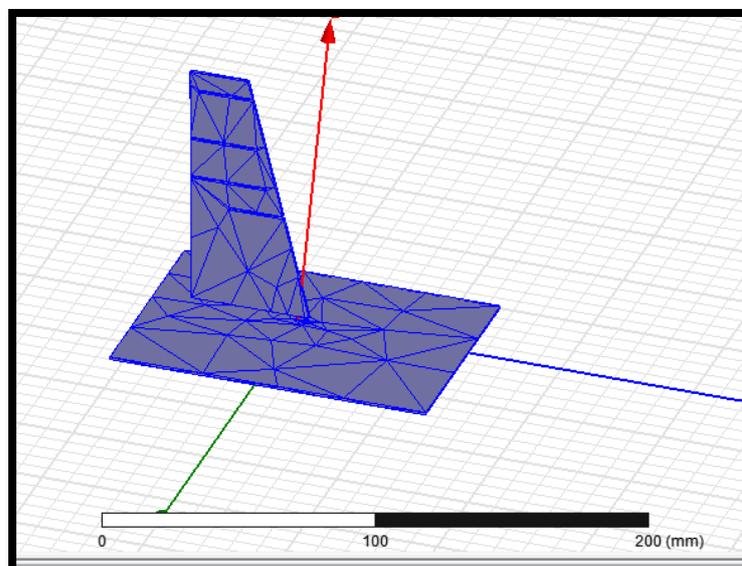


Figure III.26 : La géométrie des cellules (mesh).

Chapitre III : Conception et simulation d'antenne monopole large bande.

III.4.3.2 Le coefficient de réflexion S_{11} :

Dans la **figure III.27**, on remarque que le coefficient S_{11} a augmenté jusqu'à la valeur -39 dB à une fréquence de 0.92 GHz, et La largeur de bande de fréquence de l'antenne sous -10 dB s'étale sur une bande de fréquence allant de 0.8 à 1.3 GHz. On constate que les performances de l'antenne se sont améliorées.

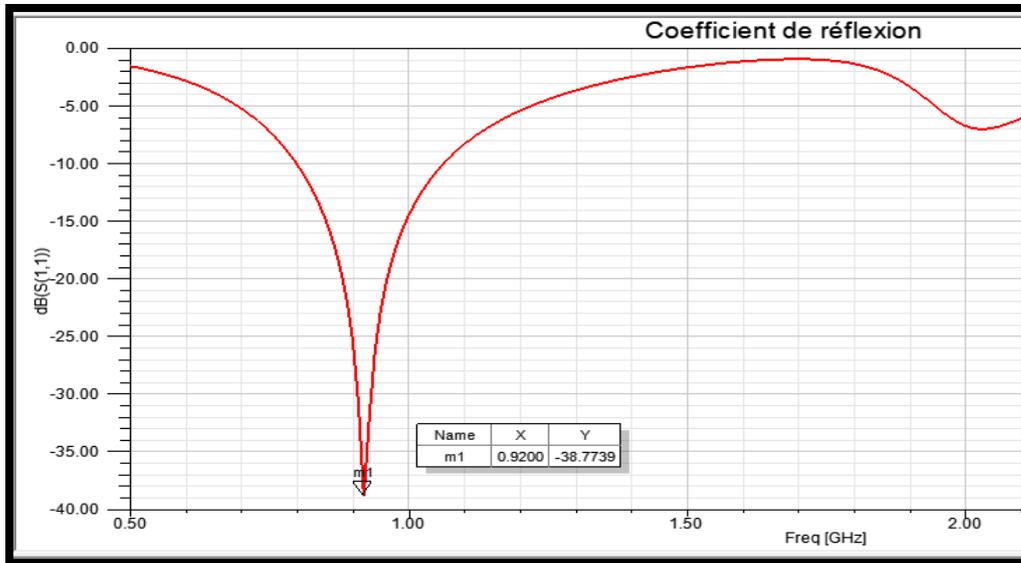


Figure III.27 : Résultats du coefficient de réflexion de la nouvelle antenne avec encoches.

III.4.3.3 Taux d'ondes stationnaires TOS (VSWR) :

La **figure III.28** montre les valeurs du rapport d'ondes stationnaires calculées en fonction de la fréquence. Dans ce cas, le TOS a une valeur de 0.2 dB à la fréquence 0.92 GHz, donc l'antenne et l'alimentation sont bien adaptées.

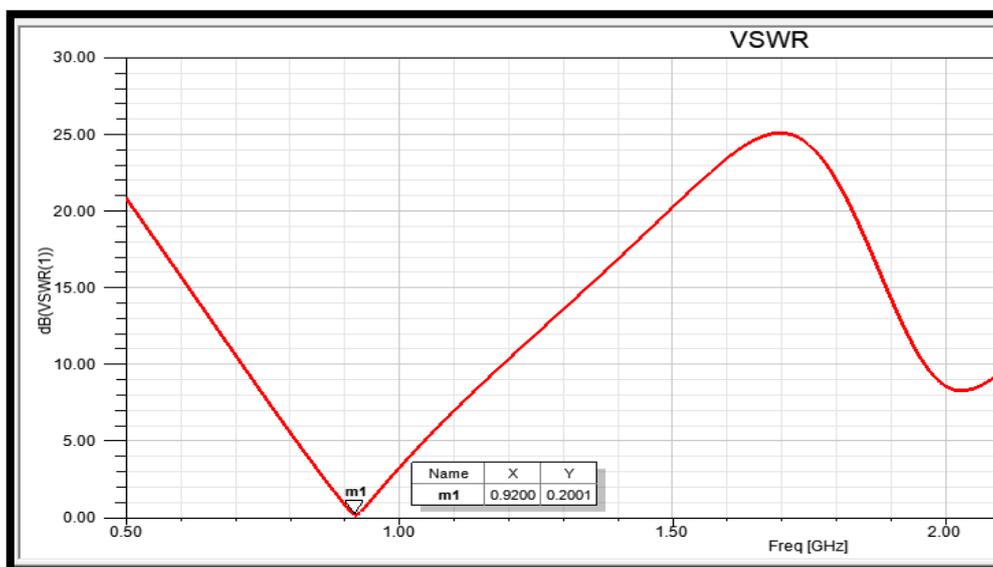


Figure III.28 : Taux d'ondes stationnaires TOS.

Chapitre III : Conception et simulation d'antenne monopole large bande.

III.4.3.4 Le diagramme de rayonnement et le gain :

La figure III.29 montre les résultats de simulations des diagrammes de rayonnement dans le plan vertical E. Ce diagramme reste omnidirectionnel dans le plan E. Par conséquent, une amélioration du gain de l'antenne est observée de 4.05 dB.

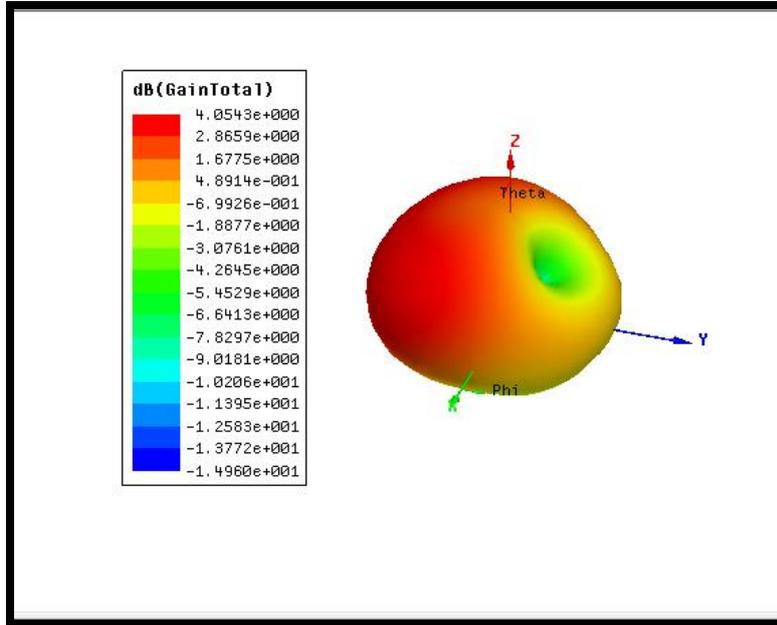


Figure III.29 : Diagramme de rayonnement en 3D.

III.4.3.5 Les répartitions des champs E/H :

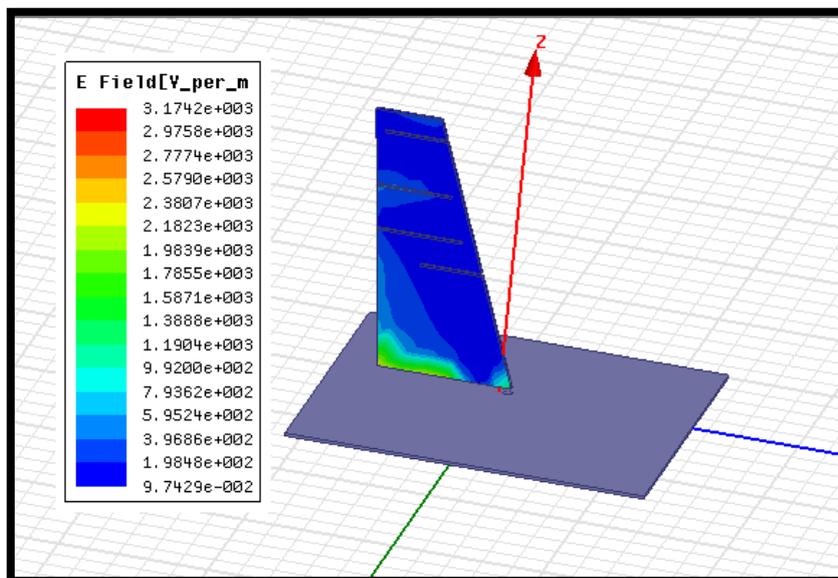


Figure III.30 : Répartition du champ électrique E.

Chapitre III : Conception et simulation d'antenne monopole large bande.

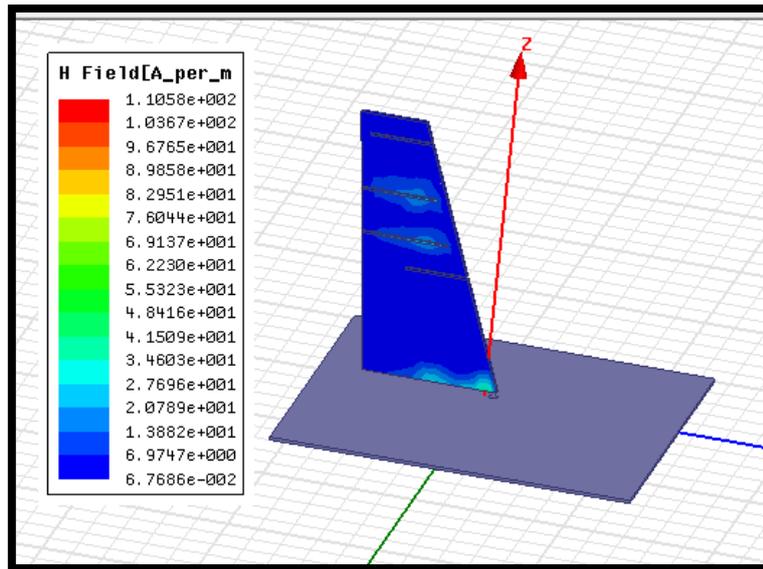


Figure III.31 : Répartition du champ magnétique H.

La distribution des champs électrique et magnétique représenté dans la **figure III.30** et la **figure III.31** sur l'antenne lame avec encoches illustre la cartographie des champs. On observe que le champ E est concentré au niveau encoches et distribué le long du côté et le long de l'alimentation et le même pour le champ H ce qui explique le fait que le rayonnement de ce type d'antenne s'effectue principalement par ses bords.

III.4.4 L'antenne monopole lame avec des encoches couvert par un Radôme :

III.4.4.1 Le coefficient de réflexion S_{11} :

Dans la **figure III.32**, on remarque que le coefficient S_{11} de valeur -34 dB à une fréquence de 0.90 GHz, et La largeur de bande de fréquence de l'antenne sous -10 dB s'étale sur une bande de fréquence allant de 0.8 à 1.3 GHz.

Chapitre III : Conception et simulation d'antenne monopole large bande.

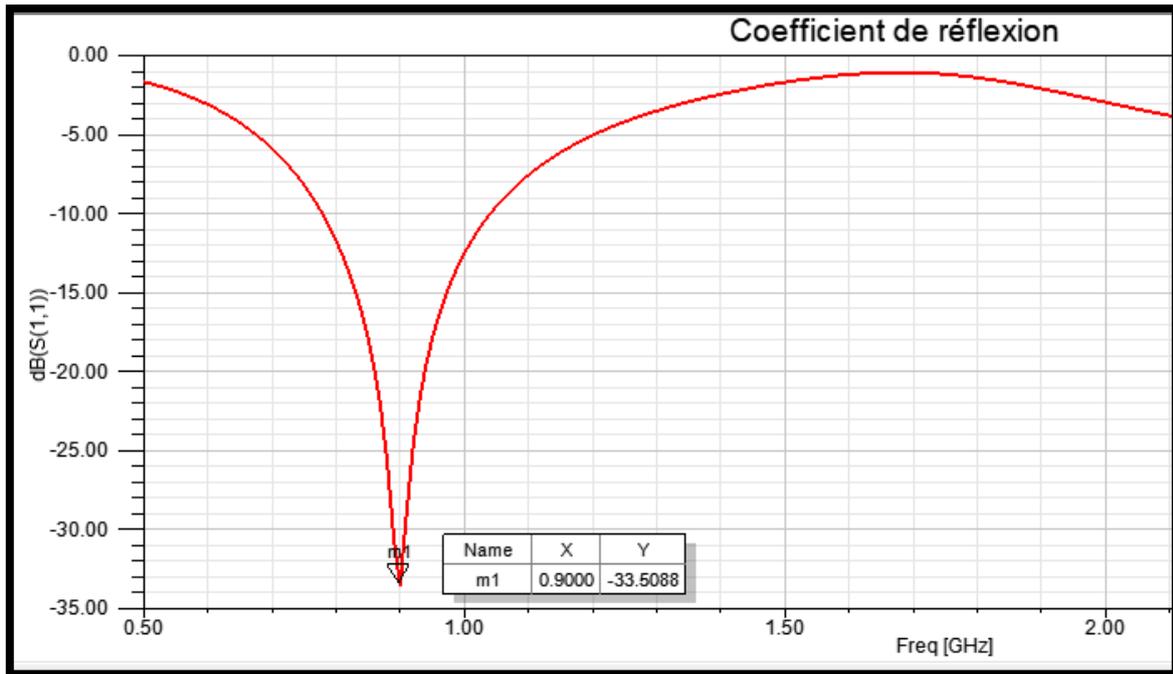


Figure III.32 : Résultats du coefficient de réflexion d'antenne avec encoches et radôme.

III.4.4.2 Taux d'ondes stationnaires TOS (VSWR) :

La figure III.33 montre les valeurs du rapport d'ondes stationnaires calculées en fonction de la fréquence. Dans ce cas, le TOS a une valeur de 0.4 dB à la fréquence 0.90 GHz, donc l'antenne et l'alimentation sont bien adaptées.

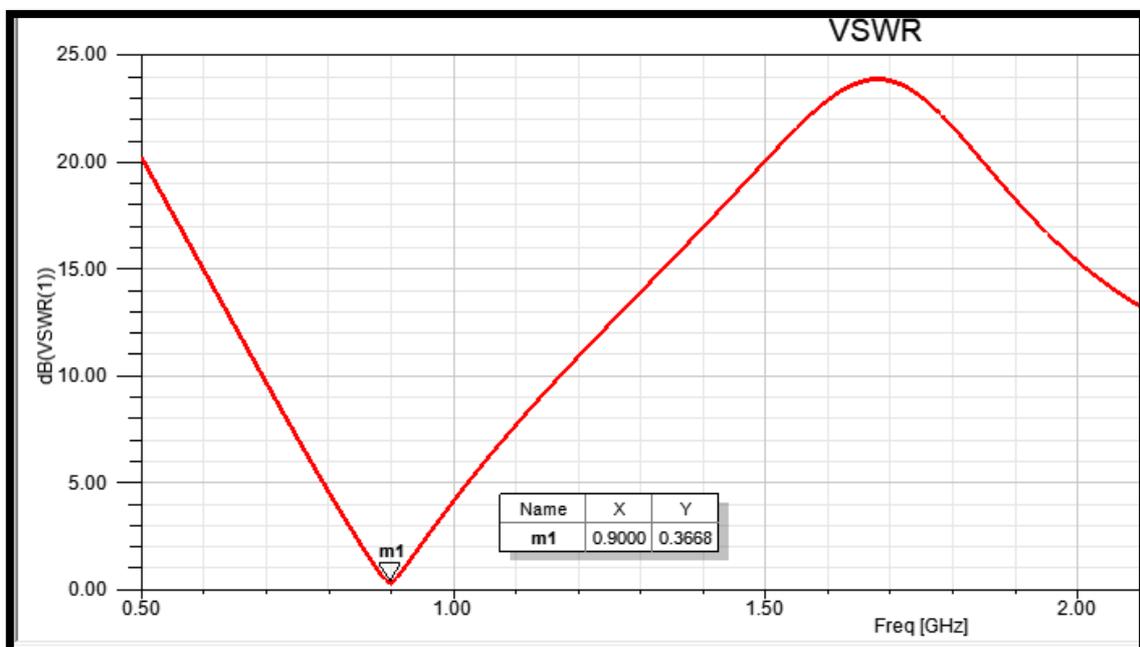


Figure III.33 : Taux d'ondes stationnaires TOS.

Chapitre III : Conception et simulation d'antenne monopole large bande.

III.4.4.3 Le diagramme de rayonnement et le gain :

Le diagramme de rayonnement 3D du gain de l'antenne pour le plan E est représenté sur la **figure III.34**. L'antenne simulée a un gain maximal de 4.17 dB on remarque d'une augmentation.

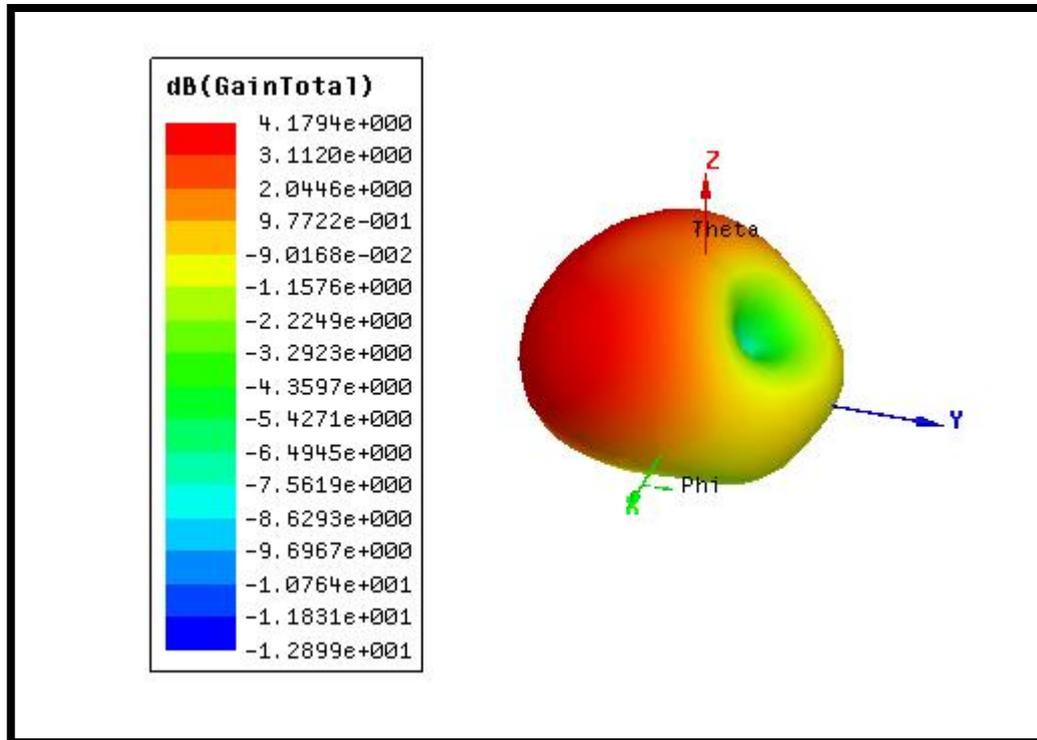


Figure III.34 : Diagramme de rayonnement en 3D.

Chapitre III : Conception et simulation d'antenne monopole large bande.

III.5 L'analyse d'antenne lame sur cylindre métallique :

L'analyse d'une antenne lame sur cylindre métallique représentant une cellule d'avion est l'objet de cette section.

Examiner les effets du cylindre sur les caractéristiques de rayonnement de l'antenne à l'aide de logiciel il était nécessaire d'assembler l'antenne/le cylindre comme le montre la **figure III.35** où l'antenne était recouverte d'une boîte à air.

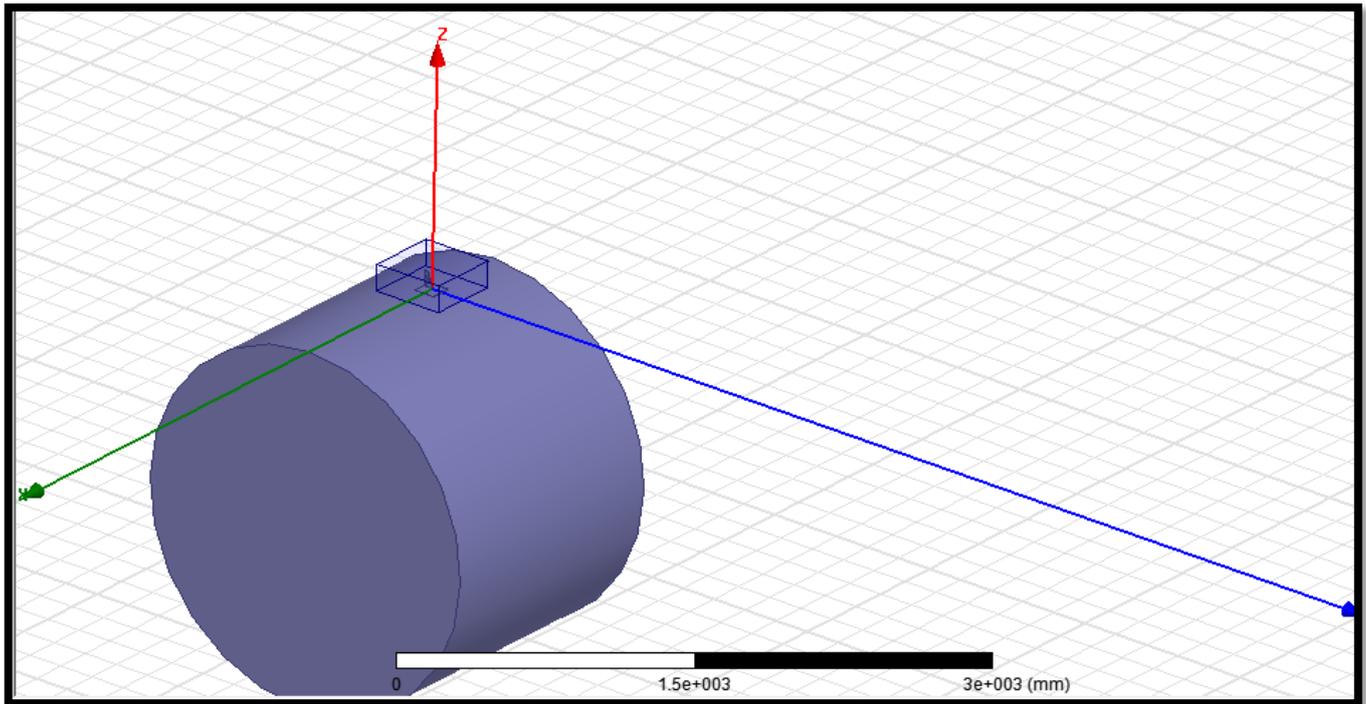


Figure III.35 : Représentation de montage antenne/cylindre.

III.5.1 Le coefficient de réflexion S_{11} :

Dans la **figure III.36**, on remarque que le coefficient S_{11} de valeur -33 dB à une fréquence de 0.90 GHz, et La largeur de bande de fréquence de l'antenne sous -10 dB s'étale sur une bande de fréquence allant de 0.8 à 1.2 GHz.

Chapitre III : Conception et simulation d'antenne monopole large bande.

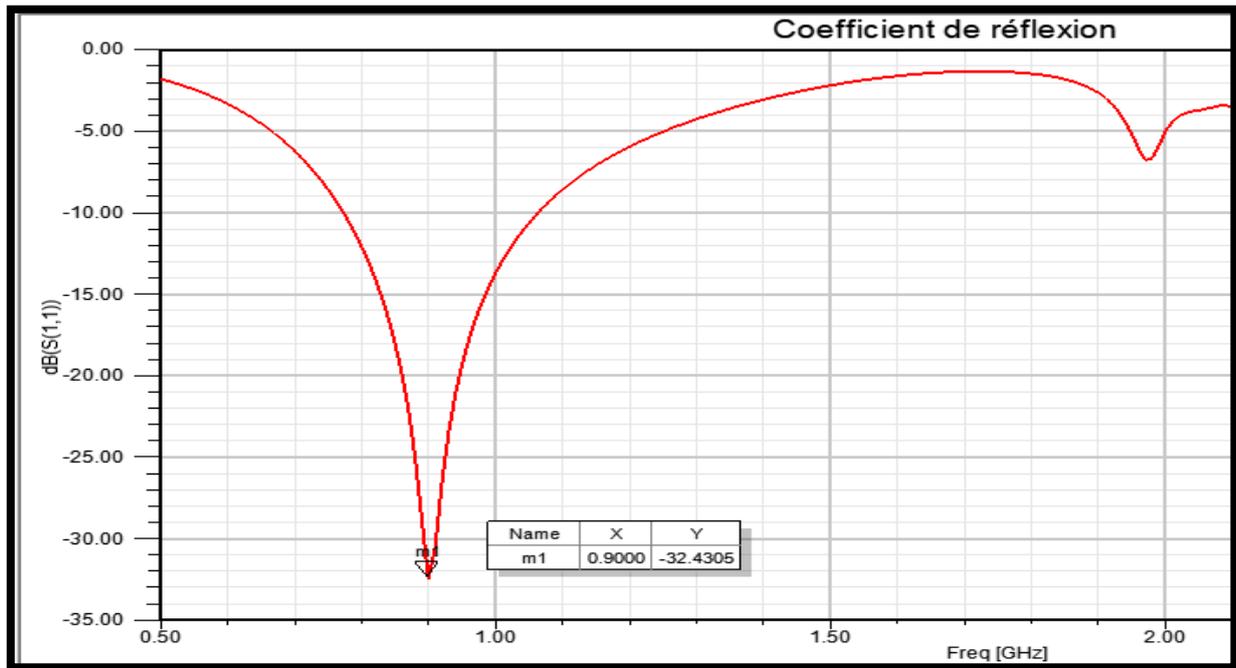


Figure III.36 : Résultats du coefficient de réflexion d'antenne/cylindre.

III.5.2 Le diagramme de rayonnement et le gain :

Le diagramme de rayonnement 3D du gain de l'antenne/cylindre est représenté sur la figure III.37. L'antenne simulée a un gain maximal de 4.04 dB.

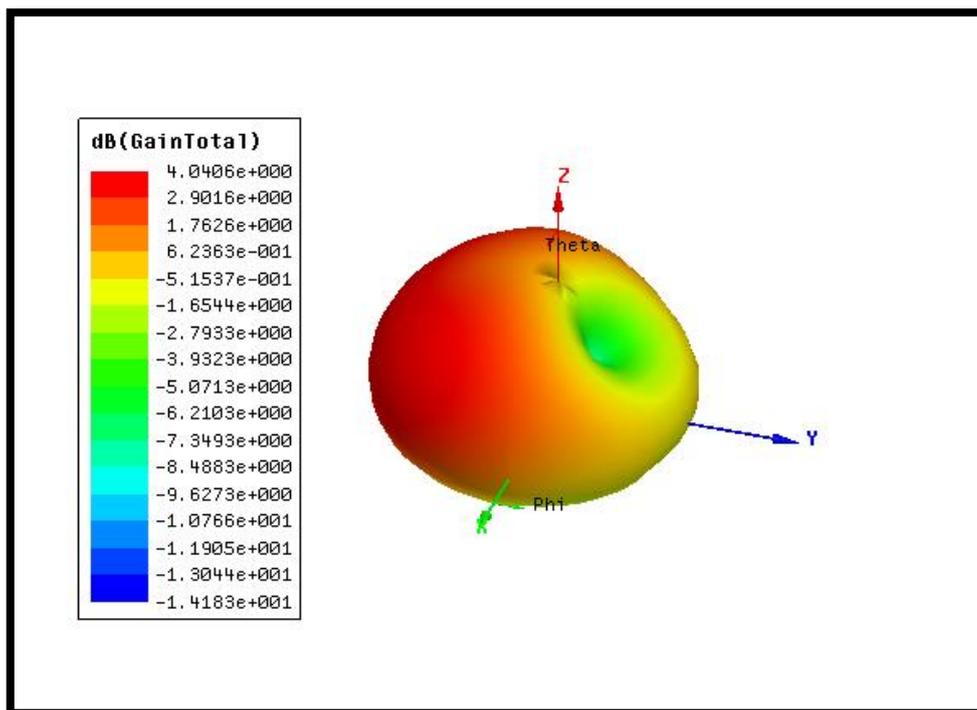


Figure III.37 : Diagramme de rayonnement en 3D.

Chapitre III : Conception et simulation d'antenne monopole large bande.

III.6 Conclusion :

Ce chapitre a été dédié à l'étude d'antenne monopôle de type lame qui correspond à la catégorie des antennes à bande ultra large. Nous avons montré la possibilité de concevoir un nouveau type d'antenne répondant aux exigences telles que diagramme de rayonnement omnidirectionnel, gain élevé avec polarisation verticale, et aux exigences aérodynamiques et d'installation.

Ce chapitre a donc mené à la conception, la modélisation et l'optimisation des antennes monopôles à lame. Nous avons utilisé l'étude paramétrique afin d'améliorer les performances d'une antenne et de l'optimisé par le simulateur électromagnétique, ce travail il a été démontré comment les paramètres de construction d'une antenne peuvent influencer sur la magnitude du coefficient de réflexion et aussi comment l'existence des encoches et de radôme peuvent influencer sur le paramètre S11, gain et la bande passante et l'analyse d'antenne sur cylindre métallique représentant une cellule d'avion.

Le tableau ci-dessous résume les performances des antennes étudiées en termes de bande passante, de diagramme de rayonnement et de gain :

| | Diagramme de rayonnement | Le gain (dB) | Bande passante (GHz) |
|---------------------------------------|---------------------------------|---------------------|-----------------------------|
| Monopole lame | Omnidirectionnelle | 3.17 | 0.8 – 1.4 |
| Monopole lame avec radôme | Omnidirectionnelle | 3.63 | 0.85 – 1.2 |
| Monopole lame avec encoches | Omnidirectionnelle | 4.05 | 0.8 – 1.3 |
| Monopole lame avec encoches et radôme | Omnidirectionnelle | 4.17 | 0.8 – 1.3 |
| Monopole lame sur cylindre métallique | Omnidirectionnelle | 4.04 | 0.8 - 1.2 |

Tableau III.2 : Performances des monopôles lame optimisées.

Conclusion générale.

Conclusion générale :

Les systèmes de communication et de navigation sont essentiels pour un vol sûr et réussi pour trouver des antennes de communication et de navigation plus petits, plus légers et plus puissants augmentent la conscience de la situation sur le poste de pilotage, nous avons fait un travail présenté dans ce mémoire dans l'objectif d'améliorer les caractéristiques du rayonnement telles que la largeur de bande et gain.

Les travaux présentés dans ce manuscrit est consacré à la conception d'une antenne monopole large bande pour les systèmes de navigation et communication aérienne.

La structure de notre travail nous a permis d'acquérir toutes les connaissances recueillies dans le domaine des antennes, Pour cela, nous avons, d'abord présenté les antennes en générale, en étudiant ses éléments fondamentaux, ses caractéristiques. De même que la technologie des antennes ultra large bande et leurs caractéristiques particulières dans le domaine des antennes.

Des simulations numériques avec un simulateur électromagnétique ont été effectuées, ce logiciel nous a permis de nous rapprocher du meilleur cas pratique. Avec simulation, nous avons étudié le comportement des antennes (la fréquence de résonance, la largeur de bande, diagramme de rayonnement, gain,) en fonction de chaque paramètre qui intervient dans la conception (hauteur de l'antenne, largeur l'angle de bord incliné...) Il nous a été permis de conclure que beaucoup de paramètres interviennent pour obtenir de bonnes performances d'une antenne.

Tout d'abord, dans ce travail un nouveau modèle d'antenne de type lame notre choix s'est porté vers les antennes ultra large bande avec une hauteur plus petite et une portée de 0.8 GHz à 1.3 GHz, répondant aux exigences du système d'alerte de trafic et d'évitement de collision (TCAS) et du système de mesure de distance (DME) et du système de contrôle de la circulation aérienne (ATC) à savoir un diagramme de rayonnement omnidirectionnel, gain élevé avec une polarisation verticale.

L'antenne lame ultra large bande, avec son poids léger, ses petites dimensions et par contraintes aérodynamiques et leur forme est plus pratique est devenu un choix inévitable plutôt

indispensable et une solution prometteuse, non seulement pour sa taille mais aussi pour ses performances et son cout.

Les résultats obtenus sont satisfaisants et vérifient bien les exigences des antennes ULB, toutes les caractéristiques de l'antenne (coefficient de réflexion, le gain et le rayonnement) obéissent aux normes.

Ce travail nous a permis d'approfondir nos connaissances dans le domaine des antennes en générale et plus précisément les antennes aéroportées. Ainsi la maitrise des différents logiciels appliqués à la conception des antennes.

Comme perspectives ; il serait intéressant de faire des évaluations de l'antenne monopole lame proposée une fois installée sur l'aéronef, et ceci en :

- * Testant la fonctionnalité de l'antenne a vide afin d'étudier la possibilité de remplacer les antennes embarquées par l'antenne réalisée et adapter les connecteurs de cette dernière avec ceux du système aéroporté.
- * Testant l'antenne avec des hautes puissances.
- * Optimiser la position de l'installation de l'antenne sur le fuselage et sa compatibilité avec les systèmes aéroportés.

Références bibliographiques :

- [1] **Amna Ikram** : « Low-profile antennas for aircraft communication systems » Thèse de doctorat, École Polytechnique de Montréal, génie électrique, 2018.
- [2] **N. Saaquib; T. Sarker; N. Rahman; L.E. Khan; P.K. Saha**: « Design and development of a wide band monopole blade antenna for aircraft navigation and communication », IEEE, 2017 6th International Conference on Informatics, Electronics and Vision & 2017 7th ,2017.
- [3] **A. Boyer** : « support de cours antennes ». Institut national de sciences appliquées de Toulouse, Octobre 2011.
- [4] **Warren L. Stutzman, Gary A. Thiele**: « Antenna Theory and Design », 3rd ed, United States of America ,2012.
- [5] **H. Ben Ibrahim Gaha** : « Analyse et Conception des Antennes Fractales Applications aux Télécommunications Large Bande » ; Thèse de doctorat INPT-ENSEEIH de Toulouse & UTM-ENI de Tunis, Spécialité : Micro-ondes, Electromagnétiques et Optoélectronique / Communications ,2007.
- [6] **Joseph Roger** : « antennes », Ingénieur de l'École Nationale Supérieure des Télécommunications - Ancien Responsable du Service Antennes des Radars de surface à THOMSON-CSF Techniques de l'Ingénieur, traité Électronique, télécom paris. 1998.
- [7] **Belainine Fayçal Abderahmen, Salmi Mohamed Arezki** : « Etude de la miniaturisation des antennes par repliement – Application pour la conception d'une antenne 2.4 GHZ » ; Mémoire de Master en Système Télécommunications, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, 2014.
- [8] **A. BENOMAR** : « Etude des Antennes à Résonateurs Diélectriques. Application aux Réseaux de Télécommunications », Thèse en Cotutelle, Docteur de l'Université de Tlemcen et Docteur de l'Université de Limoges, 2015.

- [9] **DREINA Emmanuel** :« Conception, optimisation et intégration RF d'un système d'antennes miniatures multi capteurs utilisant la diversité en vue d'augmenter les performances radio d'un terminal mobile 4G », Thèse de doctorat, Université de Grenoble délivré par l'Institut polytechnique de Grenoble, spécialité Optique et Radiofréquence ,2010.
- [10] **BENABADJI Selma LALLAM Chafika** :« Conception et modélisation d'une antenne microruban compacte pour une utilisation dans les terminaux mobile », Mémoire master en télécommunications, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, spécialité : Composants et Systèmes Electroniques ,2012.
- [11] **Dhaou BOUCHOUICHA** :« Etude de faisabilité de la récupération d'énergie électromagnétique ambiante » Thèse de doctorat, Université François – Rabelais De Tours, discipline : Electronique,2010.
- [12] **OUZNADJI Khadidja** :« Optimisation du diagramme de rayonnement d'un réseau d'antennes par la méthode des algorithmes d'abeilles (BA) », mémoire d'ingénieur de l'Université Saad Dahlab Blida, spécialité installation Aéronautique,2011.
- [13] **Souici Laid Nesri Bilal** :« Conception et simulation d'une antenne Ultra Large Bande », Mémoire master, Université de Hamma Lakhdar El-Oued, spécialité Systèmes de Télécommunications ,2018.
- [14] **LEANDRO Miguel Rufail** :« Antenne bande L, multifonctionnelle et à profil bas pour application en aérospatiale » Maîtrise ès Sciences Appliquées, École Polytechnique de Montréal, génie électrique,2012.
- [15] [online] <https://swling.com/blog/2018/12/boeing-787-antennas/> visité le 15/05/2020
- [16] **U.S. Department of Transportation, FAA** «Aviation Maintenance Technician Handbook—Airframe»: Volume 2, 2012, Chapter 11: Communication and Navigation.
- [17] **ELEZAAR Yasmina KHELILI Bilal** :« Etude et Réalisation du Banc d'Essai Emetteur/Récepteur en Communication VHF. (AVION ATR72-500) », Mémoire (D.E.U.A) aéronautique, Université Saad Dahlab Blida, option avionique,2008.
- [18] **Mike Tooley and David Wyatt**: «Aircraft communications and navigation systems» ,2nd ed, Abingdon, Oxon; New York, NY: Routledge, 2018.

[19] **Abdessalam ZAHZAH Oussama HABLAL** : « Conception et simulation d'une antenne à surface haute impédance pour le système GPS », mémoire master, Université Saad Dahlab Blida, spécialité CNS/ATM,2017.

[20] [online] <https://www.aeroexpo.online/fr/prod/verdant-telemetry-antenna-systems/product-184814-62754.html> visité le 20/05/2020.

[21] **Yvan DUROC** :« Contribution au développement de modèles orientes système pour les antennes des communication Ultra large bande » Thèse de doctorat, Institut national polytechnique de Grenoble, spécialité : signal image parole télécommunications,2007.

[22] **Ali CHAMI** :« Miniaturisation et intégration d'antennes imprimées pour systèmes communicants ULB pulsés » Thèse de doctorat, Université de Nice-Sophia Antipolis, mention : électronique,2011.

[23] **Houda NADIR** :« Contribution à la conception d'antennes ultra large bande impulsionnelles d'encombrement réduit » Thèse de doctorat, université de Limoges, Spécialité : Electronique des Hautes Fréquences, Photonique et Systèmes,2018.

[24] **Laurence BABOUR** :« Etude et conception d'antennes ultra large bande miniaturisées en impulsionnel » Thèse de doctorat, de l'Institut Polytechnique de Grenoble, Spécialité : Optique et radiofréquences,2009.

[25] **T. Abdessalem S. Mohamed Lamine** :« Conception et réalisation d'antenne reconfigurable en diagramme de rayonnement », Mémoire master, Université Saad Dahlab Blida, spécialité Télécommunication et Réseaux,2012.

[26] **Soltane Samia** :« Etude et caractérisation d'antennes imprimées pour système ultra-large bande », Mémoire Magister, Université Mohamed Khider Biskra, spécialité génie électrique ,2015.

- [27] **Jérémy Valleau** :« Miniaturisation d’antennes très large bande pour applications spatiales » Thèse de doctorat, Institut national polytechnique de Toulouse, spécialité Micro et nanotechnologies/Microélectronique,2016.
- [28] **G. IBTISSEM L. SOUMIA** :« conception et réalisation des antennes fractales imprimées ultra large bande (ULB) a bande rejetée » Mémoire de master, Université 8Mai 1945 Guelma, spécialité Systèmes des Télécommunications ,2019.
- [29] **Nicolas Fortino** :« Conception et caractérisation d'antennes imprimées pour systèmes Ultra Large Bande impulsionnels », Thèse de doctorat, université de Nice-Sophia Antipolis, spécialité Electronique ,2006.
- [30] **B. Hennia S. Dihya** :« Conception d’antennes pour le système de mesure de distance (DME) », Mémoire master, Université Saad Dahlab Blida, spécialité CNS/ATM ,2019.
- [31] **Prasad K R. P. Singh N. Sreekanth**: « A Systematic survey on Blade antennas for Airborne applications », National Conference on Emerging Trends in Information, Digital & Embedded Systems (NC’e-TIDES-2016).
- [32] **Ardra George J. Geetha Ramani**: « design and simulation of blade antenna for aerospace applications », Conference: SNS College of Technology, faculty development programme, Coimbatore, Tamil Nadu, May 2016.
- [33] **Ahmad ISMAIL ALHZZOURY** : « Contribution à la modélisation des structures SIW et SINRD pour application micro-ondes et télécommunications. », Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse ,2013.