

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
LA REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université Saad Dahlab Blida 1
Institut d'Aéronautique et
Des Études Spatiales
Département Construction Aéronautique



Mémoire de fin d'étude
En vue de l'obtention du diplôme de
Master en Aéronautique
Option : Avionique

THEME

Conception et Réalisation d'une nouvelle antenne
Aéroportée

Proposé et dirigé par :

- ❖ Mr. HAMOUDA Zahir
- ❖ Mme. AZAIZIA Sawsen
- ❖ Mr. Bentrads Houcine

Réalisé par :

- ❖ AZZIZI Achwak

Promotion : 2022 / 2023

Remerciement :

Ce mémoire n'aurait pas été possible sans l'aide de nombreuses personnes. Je souhaite ici les remercier. Je profite de cette occasion pour remercier : Avant tout, ALLAH, le tout puissant, de m'avoir donné le courage et la volonté pour accomplir ce travail.

Un remerciement et une reconnaissance particulière à mon promoteur de projet fin d'étude, Mr Zahir Hamouda pour ses conseils Avérés tout au long de notre mémoire fin d'étude, ses efforts et son écoute particulière. Je remercie chaleureusement Mme Azaizia Swasen Co-promotrice de ce travail, pour ses conseils qu'elle m'a prodigués.

Je souhaite également remercier mes parents pour leur soutien indéfectible et leurs encouragements tout au long de mon parcours universitaire ; mon succès demeure de loin le fruit de leurs longues années de sacrifices et d'éducation.

Que mes vifs remerciements vont aux membres de jury pour avoir accepté d'examiner mon travail et nous faire part de leurs commentaires constructifs.

Sans oublier de remercier le binôme Yassine Bouakal et Mahdi Kerkatou qui m'ont aidé et encouragé tout au long de ce mémoire.

L'ensemble du personnel Enseignant et Administratif du département Aéronautique.

Enfin, j'exprime ma gratitude à mes amies et tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'accomplissement de ce mémoire soient sincèrement remercie.

Dédicace

À mes chers parents

À mes chers grands-parents

À mon frère Abd Eldjalil,

À mes sœurs Insaf et Roudaina,

À ma famille,

À mes chères amies,

À tous ceux qui me sont très chers...

Je dédie ce travail.

Résumé

Les systèmes de communication des véhicules aériens sans pilote (UAV) dépendent fortement des antennes aéroportées. Il est essentiel de disposer des antennes en bande VHF/UHF correctement adaptées à l'émetteur-récepteur concerné afin de garantir une communication efficace sur de longues distances. Les spécifications actuelles des systèmes de communication des drones, qui sont plus strictes, exigent des antennes capables de transporter davantage de données.

Dans cette étude, nous avons créé un nouveau type d'antenne reconfigurable qui, d'une part, répond aux besoins des systèmes de communication aéroportés qui nécessitent un diagramme de rayonnement omnidirectionnel et un gain élevé. D'autre part, les exigences d'installation sont nécessaires pour garantir de bonnes propriétés aérodynamiques. L'étude se concentrera sur les perspectives de réduction de la taille physique de l'antenne par rapport à d'autres antennes ayant la même largeur de bande de fonctionnement.

Mots-clés : Antennes aéroportées, UAV, Antenne reconfigurable mécaniquement, Diagramme de rayonnement, Bande UHF.

Abstract

Unmanned aerial vehicles' (UAVs') communication systems depend heavily on aeroported antennas. It is crucial to have VHF/UHF band antennas that are properly matched to the relevant transceiver in order to ensure effective long-distance communication. Antennas that can transport more data are required by the current specifications of UAV communication systems, which have more stringent specifications.

We intend to create a novel kind of reconfigurable antenna in this study that, on the one hand, satisfies the needs of aeroported communication systems which require an omnidirectional radiation pattern and a high gain. The installation requirements, on the other hand, are necessary to ensure good aerodynamic properties. The study will concentrate on the prospects for shrinking the antenna's physical size in comparison to other antennas with the same operating bandwidth.

Keywords: Aeroported antennas, UAV, Mechanical Reconfigurable antenna, Radiation pattern, Bandwidth

ملخص

تعتمد أنظمة اتصالات المركبات الجوية غير المأهولة بشكل كبير على الهوائيات المحمولة جواً. تعتبر هوائيات النطاق المتطابقة بشكل صحيح لجهاز الإرسال والاستقبال المعني ضرورية لضمان الاتصال الفعال عبر مسافات طويلة. تتطلب المواصفات الحالية لأنظمة اتصالات الطائرات بدون طيار، الأكثر صرامة، هوائيات قادرة على حمل المزيد من البيانات.

في هذه الدراسة، نعتزم إنشاء نوع جديد من الهوائي القابل لإعادة التشكيل والذي يلبي من ناحية، احتياجات أنظمة الاتصالات المحمولة جواً التي تتطلب نمط إشعاع متعدد الاتجاهات وكسب مرتفع. من ناحية أخرى، فإن متطلبات التثبيت ضرورية لضمان خصائص ديناميكية هوائية جيدة. بتركز الدراسة على احتمالات تقليل الحجم المادي للهوائي مقارنة بالهوائيات الأخرى بنفس عرض النطاق الترددي التشغيلي.

كلمات البحث: هوائيات المحمولة جواً، الطائرات بدون طيار، هوائي إعادة التشكيل ميكانيكياً، نمط الإشعاع.

Liste des Acronymes:

- ❖ **2D** : deux dimensions
- ❖ **3D** : trois dimensions
- ❖ **GHz**: Gigahertz
- ❖ **Mhz**: Mégahertz
- ❖ **Bp** : bande passante.
- ❖ **Clark Y** : Nom propre d'un profil d'aile d'avion spécifique
- ❖ **CPW**: Coplanar Wave guide
- ❖ **dB**: décibel
- ❖ **ESTA** : Ecole Supérieure des Techniques de l'Aéronautique
- ❖ **FR4_epoxy** : Flame-Resistant 4 (matériau)
- ❖ **HF**: High Frequency (Haute Fréquence)
- ❖ **VSWR**: Voltage Standing Wave Ratio
- ❖ **HFSS**: High Frequency Structure Simulation
- ❖ **PLA** : polyacide (matériau)
- ❖ **RF** : radiofréquence
- ❖ **ROS** : Rapport d'onde stationnaire
- ❖ **SMA**: Sub Miniature version A
- ❖ **SOL**: Short, Open, Load
- ❖ **UAV** : Unmanned Aerial Vehicle (Véhicule Aérien Sans Pilote)
- ❖ **UHF** : Ultra High Frequency (Ultra Haute Fréquence)
- ❖ **USTHB** : L'Université des Sciences et Technologies HOUARI BOUMEDIENE
- ❖ **VHF**: Very High Frequency (très haute fréquence)

Liste des symboles :

- ❖ **Z₀** : impédance caractéristique
- ❖ **R** : partie réel de L'impédance d'entrée
- ❖ **X** : partie imaginaire de L'impédance d'entrée
- ❖ **S₁₁** : coefficient de réflexion
- ❖ **V_r** : onde réfléchi

- ❖ V_i : onde incident
- ❖ η : Rendement
- ❖ P : puissance totale
- ❖ P_a : la puissance d'alimentation
- ❖ $G(\theta, \varphi)$: le gain
- ❖ $P(\theta, \varphi)$: la puissance
- ❖ $D(\theta, \varphi)$: La directivité
- ❖ θ : Angle incident
- ❖ φ : Angle azimut
- ❖ π : Nombre pi
- ❖ $Z_{in}(\omega)$: impédance d'entre d'antenne
- ❖ $R(\omega)$: partie réel de L'impédance d'entrée
- ❖ $X(\omega)$: partie imaginaire de L'impédance d'entrée
- ❖ Γ : coefficient de réflexion

Liste des figures :

Chapitre I: Généralité sur Les antennes

Figure I.1 La Bande passante.....	5
Figure I.2 Diagramme de rayonnement pour différents types d'antenne.....	6
Figure I.3 Antenne Dipôle.....	7
Figure I.4 Antenne monopôle.....	8
Figure I.5 Antenne Patch	8
Figure I.6 Emplacement des antennes pour le Boeing 737.....	10
Figure I.7 antenne imprimée rectangulaire	11
Figure I.8 Présentation d'une antenne patch.....	11
Figure I.9 Les différentes formes d'antenne imprimée.....	12
Figure I.10 Les techniques d'alimentations.....	13
Figure I.11 alimentation par sonde coaxiale.....	13
Figure I.12 alimentation par Ligne micro ruban.....	14
Figure I.13 alimentation par Ligne microbande en sandwich.....	14
Figure I.14 alimentation par Guide d'onde coplanaire.....	15
Figure I.15 alimentation de Couplage par fente.....	15
Figure I.16 Antenne reconfigurable basée sur un élément à enroulement.....	16
Figure I.17 Antenne log périodique reconfigurable manuellement.....	17

Chapitre II :Simulation des antennes aéroportées

Figure II.1 Géométrie de l'antenne patch alimentée par ligne micro ruban et son conception sur logiciel HFSS.....	21
Figure II.2 Le coefficient de réflexion d'antenne patch rectangulaire alimentée par une ligne micro ruban.....	22
Figure II.3 Diagramme de rayonnement en 3D du gain d'antenne patch rectangulaire alimentée par une ligne micro ruban.....	23
Figure II.4 Diagrammes de rayonnement en 2D du gain d'antenne patch rectangulaire alimentée par une ligne micro ruban.....	23
Figure II.5 Impédance d'entrée simulée à 835 MHz d'antenne patch rectangulaire alimentée par une ligne micro ruban.....	24

Figure II.6 distribution du courant de surface d'antenne Patch alimentée par une ligne micro ruban.....	25
Figure II.7 Géométrie de l'antenne patch alimenté par câble coaxial et son conception sur logiciel HFSS.....	26
Figure II.8 Le coefficient de réflexion d'antenne patch alimentée par câble coaxiale à la fréquence 835Mhz.....	27
Figure II.9 diagramme de rayonnement en 3D de gain d'antenne patch alimentée par câble coaxiale à la fréquence 835Mhz.....	28
Figure II.10 Diagramme de rayonnement du gain 2D d'antenne patch alimentée par câble coaxiale.....	28
Figure II.11 Impédance d'entrée simulée à 835 MHz d'antenne patch alimentée par câble coaxiale.....	29
Figure II.12 Distribution surfacique du courant de l'antenne patch alimentée par câble coaxiale.....	29
Figure II.13 Géométrie de l'antenne monopole alimentée par ligne coplanaire et son conception sur logiciel HFSS.....	30
Figure II.14 Le coefficient de réflexion de l'antenne monopole alimentée par une ligne coplanaire.....	31
Figure II.15 Le diagramme de rayonnement en gain en 3D d'antenne monopole alimentée par une ligne coplanaire.....	32
Figure II.16 Le diagramme de rayonnement en gain en 2D d'antenne monopole alimentée par une ligne coplanaire.....	32
Figure II.17 Impédance d'entrée d'antenne monopole alimentée par une ligne coplanaire...33	33
Figure II.18 la distribution surfacique du courant d'antenne monopole alimentée par une ligne coplanaire.....	34
Figure II.19 coefficient de réflexion des diverses dimensions de la partie rayonnante d'antenne Patch.....	36

Figure II.20	les gains des diverses dimensions de la partie rayonnante d'antenne Patch....	37
Figure II.21	Le coefficient de réflexion de nouveau substrat pour l'antenne Patch.....	38
Figure II.22	Le diagramme de rayonnement en gain en 3D de nouveau substrat d'antenne patch.....	39
Figure II.23	Le coefficient de réflexion d'antenne patch pour le matériau FR4_epoxy.....	39
Figure II.24	Le gain en 3D d'antenne patch de substrat (FR4 _epoxy)	40
Figure II.25	coefficient de réflexion des diverses dimensions de substrat pour l'antenne monopole	41
Figure II.26	Le gain des diverses dimensions de substrat pour l'antenne monopole.....	42
Figure II.27	Le coefficient de réflexion de nouveau rayon d'antenne monopole	43
Figure II.28	Le diagramme de rayonnement en gain en 3D de nouveau rayon d'antenne monopole	44
Figure II.29	Le coefficient de réflexion de substrat (FR4 _epoxy) d'antenne monopole....	45
Figure II.30	Le diagramme de rayonnement en 3D de substrat (FR4 _epoxy) d'antenne monopole	45

Chapitre III : Conception et Caractérisation

Figure III.1	Reconfiguration d'antenne monopole de type surface montée.....	49
Figure III.2	Positionnement d'antenne monopole de type surface montée sur l'aile d'UAV.....	50
Figure III.3	Le coefficient de réflexion d'antenne monopole de type surface.....	51
Figure III.4	Diagramme de rayonnement en 3D du gain d'antenne monopole de type surface.....	52
Figure III.5	Diagrammes de rayonnement en 2D simulés à 835 MHz d'antenne monopole de type surface.....	52

Figure III.6 Impédance d'entrée de l'antenne proposée.....	53
Figure III.7 Distribution surfacique du courant de l'antenne proposée.....	54
Figure III.8 L'influence de diverses dimensions d'antenne proposée sur son coefficient de réflexion.....	54
Figure III.9 Les gains des différentes dimensions d'antenne proposée.....	55
Figure III.10 Antenne réalisée.....	56
Figure III.11 Aile réalisée.....	57
Figure III.12 Analyseur de réseaux vectoriels portatifs de la série ZVH.....	58
Figure III.13 Antenne proposée lors de la mesure du son coefficient de réflexion.....	58
Figure III.14 Comparaison des résultats de coefficient de réflexion.....	59
Figure III.15 Chambre anéchoïde.....	60
Figure III.16 Antenne installée dans la chambre anéchoïde.....	60
Figure III.17 Comparaison des résultats du diagramme de rayonnement.....	61
Figure III.18 Antenne installée sur le banc de teste et son Diagramme de rayonnement mesuré	62

List des Tableaux

Tableau II.1 Le cahier de charge à respecter pour la conception d'antenne.....	20
Tableau II.2 Les paramètres d'antenne patch alimentée par une ligne micro ruban.....	22
Tableau II.3 Les paramètres d'antenne patch alimentée par câble coaxiale.....	26
Tableau II.4 Les paramètres d'antenne monopole alimentée par une ligne coplanaire.....	31
Tableau II.5 Paramètres de l'antenne monopole de type surface.....	50
Tableau III.1 Les caractéristiques de la carte RF LORA 868 SO.....	63

Table des matières

Remerciements.....	I
Dédicace.....	II
Résumé.....	III
Abstract.....	III
ملخص.....	III
Liste des acronymes.....	IV
Liste des symboles.....	IV
Liste des figures.....	VI
Liste des tableaux.....	IX
Table des matières	X
Introduction Générale.....	1

Chapitre I : Généralités sur les antennes

I. Introduction.....	3
I.1 Généralités sur les antennes.....	3
I.2 Les Caractéristiques des antennes.....	3
I.2.1 La qualité d'adaptation.....	4
Impédance d'entrée et Coefficient de réflexion.....	4
I.2.2 Bande passante.....	4
I.2.3 La directivité.....	5
I.2.4 Le gain.....	5
I.2.5 Rendement.....	5
I.2.6 Diagramme de rayonnement.....	6
I.2.7 Impédance d'entrée de l'antenne	6
I.2.8 Rapport d'onde stationnaire (ROS).....	7
I.3 Les types des antennes.....	7

I.3.1 Antennes filaires.....	7
Antenne dipole.....	7
Antenne monopole.....	8
I.3.2 Antenne patch.....	8
II.1 Antenne Aéroportée.....	9
III.1 Antennes imprimées.....	10
III.2 Description des antennes imprimées.....	11
III.3 Forme des antennes imprimées.....	11
III.4 Choix du substrat.....	12
III.5 Techniques d'alimentation.....	12
III.5.1 Alimentation avec contact.....	13
Sonde coaxiale.....	13
Alimentation par ligne microruban.....	13
III.5.2 Alimentation sans contact.....	14
ligne microbande en sandwich.....	14
Guide d'onde coplanaire.....	14
Couplage par fente.....	15
IV.1 Antenne reconfigurable mécaniquement.....	15
V. Conclusion.....	17

Chapitre II :Simulation des antennes aéroportées

I.1 Introduction.....	19
I.2 Placement de l'antenne sur un UAV.....	19
II.1 L'outil de conception et simulation.....	20
II.2 Cahier de charge.....	20
III. Propositions et Résultats.....	21
III.1 Antenne Patch.....	21
III.1.1 Antenne Patch Rectangulaire Alimentée par ligne microruban.....	21

III.1.1.1 Géométrie.....	21
III.1.1.2 Les dimensions de l'antenne	22
III.1.1.3 Les résultats de simulation.....	22
Coefficient de réflexion.....	22
Diagrammes de rayonnement.....	23
Impédance d'entrée.....	24
Distribution surfacique du courant.....	24
III.1.2 Antenne Patch Rectangulaire Alimentée par câble coaxiale	25
III.1.2.1 Géométrie.....	25
III.1.2.2 Les dimensions de l'antenne	26
III.1.2.3 Les résultats de simulation.....	27
Coefficient de réflexion.....	27
Diagrammes de rayonnement.....	27
Impédance d'entrée.....	28
Distribution surfacique du courant.....	29
III.2 Antenne Monopole Alimentée par ligne Coplanaire	30
III.2.1 Géométrie.....	30
III.2.2 Les dimensions de l'antenne	30
III.2.3 Les résultats de simulation.....	31
Coefficient de réflexion.....	31
Diagrammes de rayonnement.....	31
Impédance d'entrée.....	32
Distribution surfacique du courant.....	33
IV. Limitation des antennes proposées pour l'UAV.....	34
V.L'effet des dimensions et de matériau sur les performances d'antenne.....	35
V.1 Antenne Patch.....	35

V.1.1 Les dimensions de la partie rayonnante.....	35
V.1.2 les dimensions de substrat.....	38
V.1.3 L'effet de materiau sur les performances d'antenne.....	39
V.2 Antenne monopole.....	40
V.2.1 les dimensions de substrat.....	40
V.2.2 les dimensions d'antenne (ellipse)	43
V.2.3 L'effet de materiau sur les performances d'antenne.....	44
VI. Conclusion.....	46

Chapitre III : Conception et Caractérisation

Introduction.....	48
I.Conception d'antenne Monopole reconfigurable aéroportée	48
I.1 Géométrie	48
I.2 Les dimensions de l'antenne de type surface.....	50
I.3 Les résultats de simulation	50
I.3.1 Coefficient de réflexion.....	50
I.3.2 Les diagrammes de rayonnement	51
I.3.3 Impédance d'entrée	52
I.3.4 Distribution surfacique du courant.....	53
I.4 L'effet des dimensions et de materiau sur les performances d'antenne.....	54
I.5 Réalisation.....	56
I.5.1 Réalisation de l'antenne.....	56
I.5.2 Réalisation d'aile	56
I.6 Mesure des caractéristiques d'antenne.....	57
I.6.1 Mesure de coefficient de réflexion	57
Instrument de mesure	57
Résultats de Mesures.....	58

I.6.2 Mesure du diagramme de rayonnement.....	60
Chambre de Mesure	60
Résultats de Mesures.....	61
II.Conclusion.....	62
Conclusion Générale.....	63
Référence.....	65

Introduction Générale :

Les progrès de la technologie des véhicules aériens sans pilote (UAV) ont donné lieu à un nombre croissant d'applications perturbatrices qui utilisent leurs capacités d'accès aux zones éloignées, leur vitesse d'exploration et leur facilité d'utilisation. La communication entre le drone et la station au sol est également essentielle pour un fonctionnement précis et approprié du drone car la mission du drone peut être limitée sans un réseau de communication approprié dans ce véhicule aérien [1].

L'objectif consiste à choisir une antenne performante qui puisse surpasser les contraintes relatives à sa taille, à sa performance et à sa flexibilité, lesquelles sont imposées par les antennes patch et monopole conventionnelles.

Ce travail de master présente un nouveau type antenne montée en surface conçue exclusivement pour les UAV afin de résoudre ce problème. L'antenne proposée offre de bonnes propriétés aérodynamiques en raison de son placement sur l'empennage horizontal du drone, un large spectre de fréquences, un gain modeste et un diagramme de rayonnement approprié pour les plates-formes de drone. L'antenne proposée est plus performante en terme de gain et compatibilité que les antennes patch et monopole conventionnelles pour un certain nombre de paramètres, selon des calculs et des expériences approfondis. Cela indique à quel point elle pourrait être efficace en tant que solution de communication pour les drones.

Trois chapitres composent ce document :

Le premier chapitre rappelle plusieurs idées fondamentales et les grandes orientations en matière d'antennes à des fins diverses. Nous nous concentrons sur les antennes imprimées, les monopoles et les antennes à profil bas en particulier.

Dans le deuxième chapitre, nous examinons quelques-uns des types d'antennes suggérés pour la communication avec les drones. Enfin, nous présentons notre nouvelle antenne de type surface.

Notre travail est principalement axé sur l'ajustement de la forme de l'antenne, de sa position et de son alimentation, afin de préserver la forme aérodynamique du drone et d'améliorer les performances. Dans le troisième chapitre, nous concevons et mettons en œuvre notre antenne, une antenne monopôle à bande ultra large. Et les résultats de la structure optimisée seront présentés en dernier lieu.

Chapitre I :

Généralité sur

Les antennes

Introduction :

Dans le domaine de l'avionique, les antennes constituent l'interface entre le monde extérieur et les systèmes de l'avion, tels que les systèmes de radionavigation et de communication. Ces antennes sont montées sur le fuselage de l'avion et fonctionnent sur des fréquences allant de 0,19 MHz à 40 GHz [2].

Ce chapitre traite les propriétés générales des antennes, de leurs domaines d'application et les différentes méthodes d'alimentation appliquées à ces types d'antennes. Nous traiterons également les antennes aéroportées, de leurs applications et de leur évolution.

Ensuite, nous aborderons les antennes imprimées, y compris leurs caractéristiques générales, leurs domaines applications et leurs avantages. Nous terminons ce chapitre par une explication sur les antennes reconfigurable mécaniquement.

I.1. Généralité sur les antennes :

Une antenne est un dispositif spécialisé qui agit comme un transducteur, convertissant les signaux électriques en ondes électromagnétiques (antenne émettrice) ou les ondes électromagnétiques en signaux électriques (antenne réceptrice), utilisé dans le domaine des télécommunications et de l'ingénierie des radiofréquences (RF) à des fins de communication sans fil. Les antennes sont généralement constituées de matériaux conducteurs et se présentent sous différentes formes et tailles, optimisées pour des fréquences et des applications spécifiques, avec des caractéristiques telles que le gain, la directivité, la polarisation, l'impédance et la bande passante qui influencent leurs performances [3].

Donc dans la partie suivante nous allons définir ces caractéristiques.

I.2. Les caractéristiques des antennes :

D'une manière générale, une antenne utilisée dans un type d'application ne peut pas l'être dans d'autres et chaque application met en relief certaines caractéristiques des antennes.

Les antennes se caractérisent généralement par quelques paramètres importants qui sont [4] :

I.2.1 la qualité d'adaptation:

Nous allons définir la qualité d'adaptation d'une antenne soit en donnant son impédance Caractéristique(I.1) (souvent 50 ohms) soit en donnant son coefficient de Réflexion S_{11} (I.2).

$$Z_0 = R + jX \quad \text{I.1}$$

$$|S_{11}| = \frac{V_r}{V_i} = \left| \frac{Z_{in}(\omega) - Z_0}{Z_{in}(\omega) + Z_0} \right| \quad \text{I.2}$$

Avec :

V_r : Amplitude de l'onde réfléchie.

V_i : Amplitude de l'onde incidente.

Où Z_0 est l'impédance caractéristique qui peut prendre différentes valeurs en fonction de l'application.

$|S_{11}|$ est le coefficient de réflexion en tension, donné par la formule et exprimée en Décibels. C'est le rapport entre la tension réfléchie et la tension transmise.

Le paramètre S_{11} qui est le coefficient de réflexion à l'entrée de l'antenne exprime le passage de l'énergie à travers l'antenne. La valeur de ce paramètre fluctue en fonction de la fréquence. Afin d'assurer une bonne adaptation dans la bande de fréquence désirée, nous imposons le critère suivant $|S_{11}| \leq -10 \text{ dB}$ [4].

I.2.2 La bande passante :

Le transfert d'énergie de l'alimentation vers l'antenne (ou de l'antenne vers le récepteur) est maximal sur la bande passante. Le coefficient de réflexion est généralement utilisé pour définir la largeur de bande.

Certaines antennes peuvent être utilisées sur une très large gamme de fréquences, tandis que d'autres ont des bandes passantes très étroites qui les rendent très sélectives.

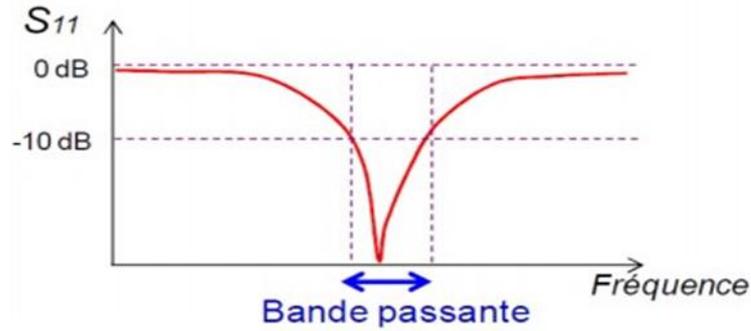


Figure I.1:La Bande passante [5]

I.2.3 La directivité:

Le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction donnée (θ, ϕ) et la puissance qu'une antenne isotrope rayonnerait est connu sous le nom de directivité $D(\theta, \phi)$ d'une antenne dans une direction (θ, ϕ) .

$$D(\theta, \phi) = \frac{P(\theta, \phi)}{P_r/4\pi} = 4\pi \frac{P(\theta, \phi)}{P_r} \tag{I.3}$$

I.2.4 Le gain:

C'est le rapport entre la puissance rayonnée P_r sur la puissance d'alimentation P_a . Il dépend de sa directivité, c'est le rapport entre la puissance rayonnée par une antenne de référence et la puissance rayonnante dans le lobe principal. L'équation suivante le présente.

$$G(\theta, \phi) = 4\pi \frac{P(\theta, \phi)}{P_a} \tag{I.4}$$

Avec

P (θ, ϕ) : Puissance rayonné dans une direction.

P_a : Puissance rayonnée par l'antenne.

Il peut être exprimé en fonction de rendement et la directivité par :

$$G(\theta, \phi) = \eta D(\theta, \phi) \tag{I.5}$$

I.2.5 Le rendement:

La capacité d'une antenne à convertir la puissance qui lui est transférée P_t en puissance rayonnée P_{ray} est connue sous le nom d'efficacité ou de rendement η .

Sa définition est la suivante :

$$\eta = \frac{P_{ray}}{P_t} \tag{I.6}$$

Avec P_{ray} et P_t sont données par :

$$P_{ray} = \iint r^2(\theta, \varphi) d\varphi \quad \text{Et} \quad P_t = 4\pi r^2 S_{ri} \quad \text{I.7}$$

S_{ri} : la surface effective

I.2.6 Le diagramme de rayonnement :

Les champs EM en champ lointain sont représentés graphiquement par le diagramme de rayonnement d'une antenne. Il peut être représenté en 3D ou en 2D (cartésienne ou polaire).

Le diagramme est caractérisé par un lobe principal (ouverture à impuissance), des lobes secondaires (niveau de lobes secondaires), les zéros (ses orientations vers les directions non désirées) et les lobes de périodicités (pour les réseaux d'antennes).

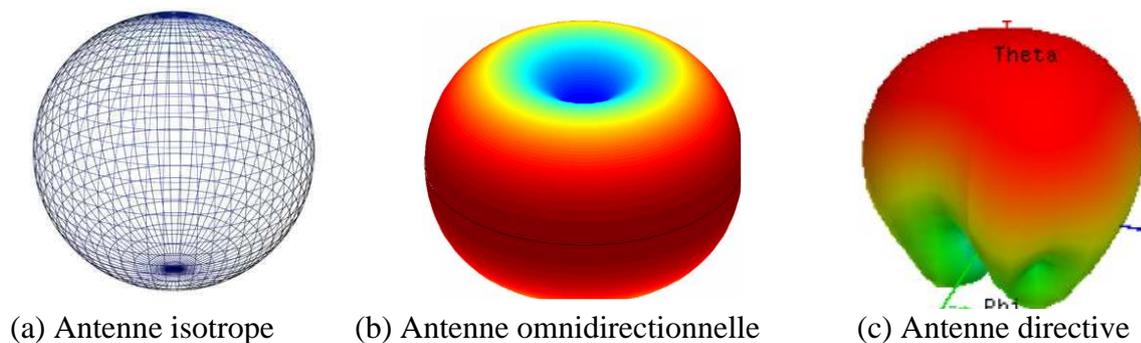


Figure I.2: Diagramme de rayonnement pour différents types d'antennes [6]

I.2.7 Impédance d'entrée de l'antenne :

Une antenne alimentée par une ligne de transmission d'impédance caractéristique, l'impédance d'antenne peut être considérée comme une impédance complexe :

$$Z_{in}(\omega) = R(\omega) + jX(\omega) \quad \text{I.8}$$

Avec $\omega = 2\pi f$ la pulsation et f la fréquence.

Outre le couplage entre la ligne et l'antenne, l'impédance d'entrée de l'antenne est influencée par sa géométrie. L'impédance d'entrée de l'antenne doit être nulle dans la partie imaginaire et aussi proche que possible de 50 dans la partie réelle. Selon le type de source d'alimentation.

I.2.8 le rapport d'onde stationnaire (ROS) :

L'adaptation de l'antenne est souvent caractérisée par le rapport d'onde stationnaire (ROS) ou Voltage Standing Wave Ratio (VSWR). Une onde stationnaire apparaît dans la ligne qui relie l'antenne à la source (ou au récepteur) lorsqu'il y a désadaptation parce que la réflexion d'une partie de l'onde incidente et l'addition avec l'onde incidente la provoquent.

L'équation du ROS peut être écrite en fonction du coefficient de réflexion par :

$$ROS = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad \text{I.9}$$

Le ROS indique donc directement à quel point l'adaptation d'impédance est bien faite ou non. Lorsque l'impédance est parfaitement adaptée, le coefficient de réflexion est nul et le ROS égal à 1.

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

I.3. Les type des antennes :

Les antennes se présentent sous diverses formes, avec des utilisations, des géométries et des capacités technologiques variables. Toutes les structures rayonnantes peuvent être divisées en de nombreuses familles tel que :

I.3.1 Les antennes filaires :

Antenne dipôle : est composée de deux fils extrêmement courts et alignés qui sont chacun connectés à deux fils étroitement espacés et parallèles, formant ainsi une ligne bifilaire. Cette ligne est connectée à un générateur de courant alternatif pour la transmission, qui se distingue par sa fréquence et son impédance interne. À la réception, la ligne bifilaire est branchée sur un récepteur. [7]

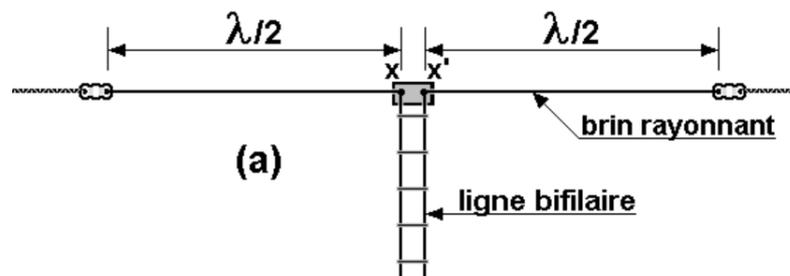


Figure I.3: Antenne Dipôle [8]

Antenne monopôle : est un type d'antenne qui consiste en un seul élément conducteur, généralement une tige verticale ou un fil, au-dessus d'un plan de masse conducteur. Elle est largement utilisée dans diverses applications, notamment les communications radio, la radiodiffusion et les systèmes sans fil [3].

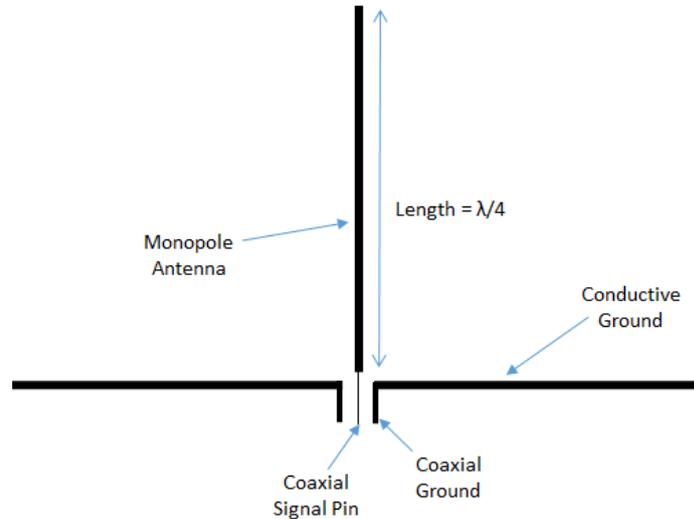


Figure I.4: Antenne monopôle [9]

I.3.2 Antennes patch :

L'antenne patch est un type d'antenne qui est créé et utilisé de plus en plus souvent. D'un côté, il y a un plan de masse métallique et de l'autre, une substance électrique. Une gravure métallique sur la face opposée permet de supporter les courants de surface qui produisent le rayonnement électromagnétique. Les courants entre le générateur et l'antenne passent par une ligne micro ruban [7].

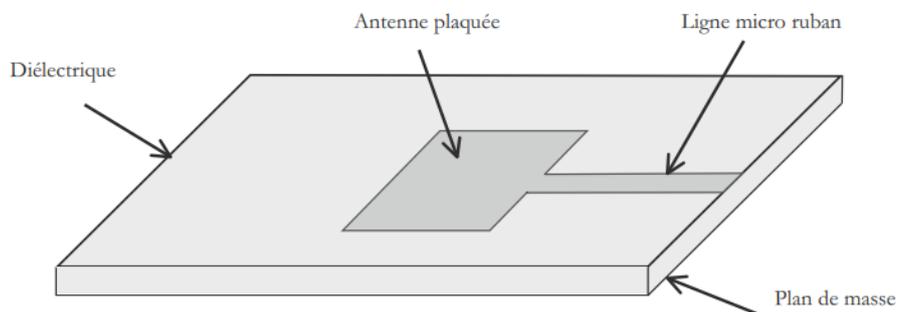


Figure I.5: Antenne Patch [7]

II .1 Antenne Aéroportée :

Pour pouvoir communiquer efficacement avec le sol ainsi qu'avec d'autres aéronefs, un avion doit être équipé d'une antenne. En outre, elles permettent de recevoir des signaux radio et des données, ce qui est essentiel pour les activités de navigation, de surveillance et de sécurité [11].

L'aérodynamique et la résistance aux conditions de vol difficiles sont des éléments clés de la conception des antennes d'aéronefs. Elles sont souvent installées sur les ailes, le fuselage ou la queue de l'avion, en fonction du type d'antenne et des exigences spécifiques de l'avion [11].

Les antennes aéroportées peuvent être de différents types. Selon leur fonction et leur fréquence de fonctionnement, voici quelques types courants d'antennes aéroportées [11] :

➤ **Antennes VHF** : Ces antennes sont généralement utilisées pour les communications dans les gammes VHF (Very High Frequency) telle que les communications vocales entre l'avion et le sol ou d'autres avions, elles sont généralement montées à l'extérieur de l'avion.

➤ **Antennes HF** : Ces antennes sont utilisées pour les communications à longue distance et les transmissions de données dans les gammes HF (High Frequency).

➤ **Antennes GPS** : Les antennes GPS (Global Positioning System) sont utilisées pour recevoir les signaux des satellites GPS afin de déterminer la position, la vitesse et l'heure de l'aéronef. Elles sont généralement montées sur le dessus du fuselage.

➤ **Antennes radar** : Les antennes radar sont utilisées pour détecter et suivre d'autres aéronefs ou objets à proximité de l'aéronef. Elles sont généralement montées sur le nez ou les ailes de l'avion.

Les effets aérodynamiques, les vibrations, les températures élevées et les interférences électromagnétiques ne sont que quelques-unes des variables prises en compte lors des essais rigoureux des antennes d'aéronefs afin de garantir qu'elles fonctionnent comme prévu dans toutes les situations de vol imaginables [11].

La figure suivante représente l'emplacement des différents types d'antenne aéroportée pour le Boeing 737.

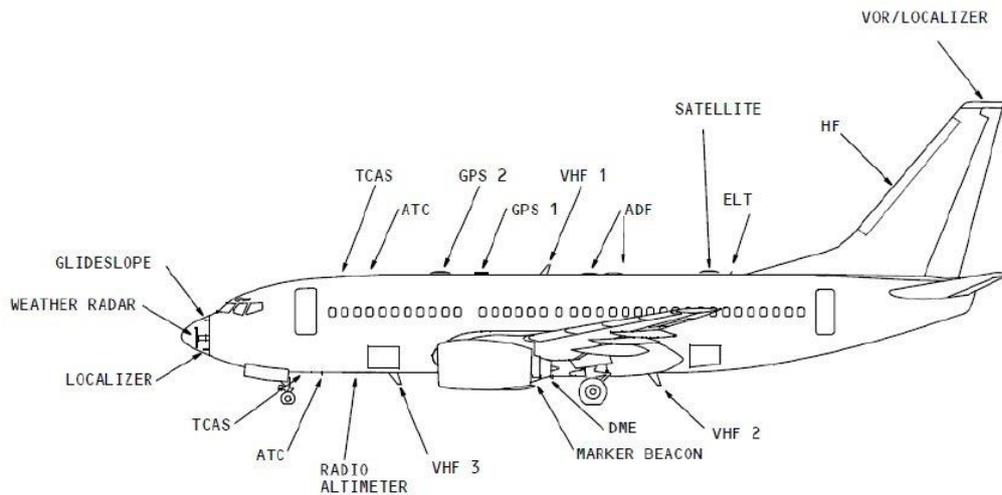


Figure I.6: emplacement des antennes pour le Boeing 737 [12]

III.1 Antenne imprimée :

Autrefois réservées aux services publics et militaires, les télécommunications sont aujourd'hui largement répandues. L'intérêt du public a conduit à la portabilité des systèmes de réception et à la miniaturisation des antennes [13].

Les antennes imprimées sont largement utilisées dans une variété d'applications, y compris les systèmes de communication sans fil, les communications par satellite, et les systèmes de radiocommunications. Il devient donc important de présenter ce «capteur» dans le cursus d'un technicien hyperfréquences. Une antenne imprimée est un type d'antenne formé par l'impression de traces conductrices sur une surface plane, telle qu'une carte de circuit imprimé ou un substrat souple [13].

Le concept des antennes imprimées a été proposé dès 1953 mais il n'a été possible de les réaliser efficacement qu'à partir de 1970 grâce à l'arrivée sur le marché de diélectrique à faibles pertes. Depuis, la recherche dans ce domaine n'a cessé de s'intensifier pour exploiter les nombreux avantages des antennes imprimées [13]:

- faible poids
- faible volume et épaisseur réduite
- faible coût de fabrication
- compatibilité avec des circuits intégrés (antennes actives) réseau d'antennes.

Ces antennes présentent malheureusement, également des désavantages :

- largeur de bande étroite
- faible gain.

Exemple d'une antenne imprimée :

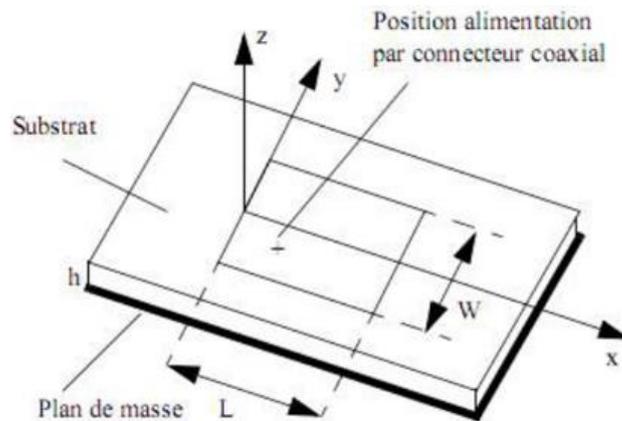


Figure I.7 : antenne imprimée rectangulaire [13]

III.2 Description des antennes imprimées :

Une antenne imprimée est constituée d'un plan de masse, d'une ou plusieurs couches de substrat de permittivités ϵ_r égales ou différentes (**Figure I.11**). L'élément rayonnant de géométrie quelconque (rectangulaire, circulaire, carrée,...) est situé sur la surface supérieur. Il existe plusieurs mécanismes d'alimentation pour exciter l'antenne [14].

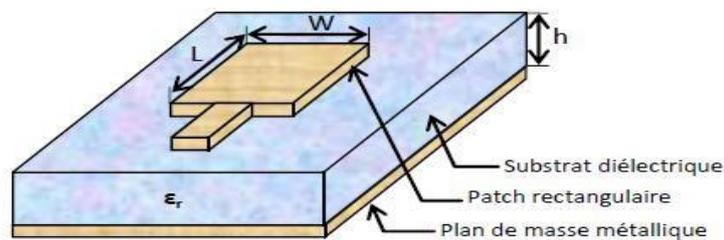


Figure I.8:Présentation d'une antenne patch rectangulaire [15]

III.3 Forme des antennes imprimées :

L'antenne imprimée peut prendre plusieurs formes comme la montre sur la **Figure I.9**.

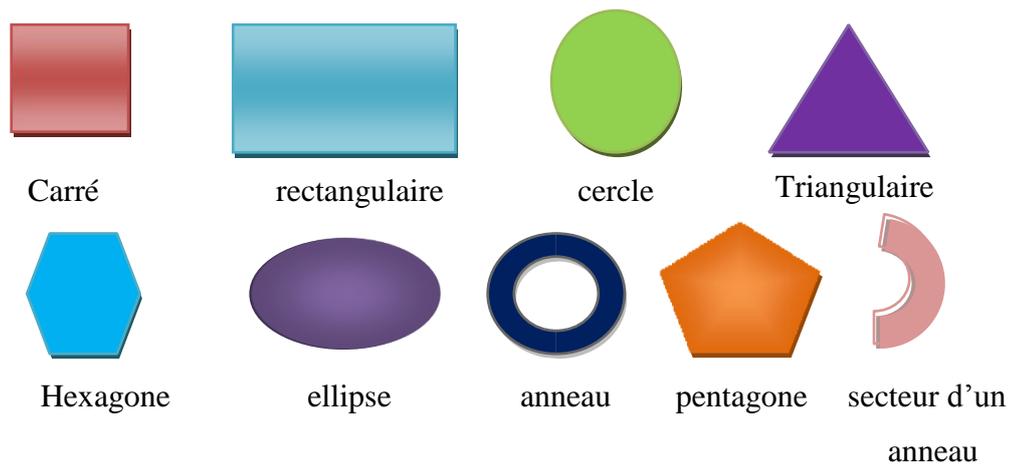


Figure I.9 : Les différentes formes d'antenne imprimée [15]

III.4 Choix du substrat :

Les substrats possèdent aussi des qualités en tant que métaux, leurs propriétés électromagnétiques sont caractérisées essentiellement par trois grandeurs physiques: conductivité, constante diélectrique relative, angle de perte. Les substrats exploités dans la conception des antennes imprimées sont nombreux et doivent être compatibles avec le matériau de patch. Parfois, il est préférable d'utiliser des substrats diélectriques de grande épaisseur et de basse permittivité dans le but d'avoir une grande efficacité et une bande passante large. Mais dans ce cas, les pertes par onde de surface augmentent et l'antenne devient de plus en plus encombrante [16]

III.5 Les techniques d'alimentations :

L'alimentation des antennes imprimée, repose essentiellement sur deux classes d'excitation [15] :

- Excitation avec contact
- Excitation sans contact

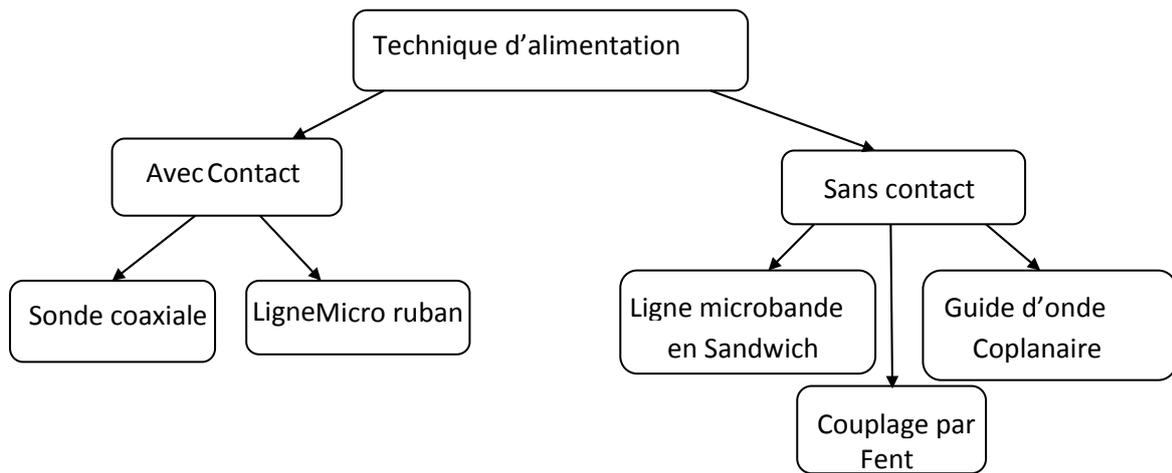


Figure I.10 : Les techniques d'alimentations [15]

III.5.1 Alimentation avec contact :

Sonde coaxiale :

Le substrat et le plan de masse sont traversés par le fil de sonde coaxial. Le plan de masse est connecté au conducteur extérieur, tandis que l'élément rayonnant est connecté au conducteur central. Il est courant d'utiliser cette alimentation avec des patches circulaires ou en forme d'anneau.

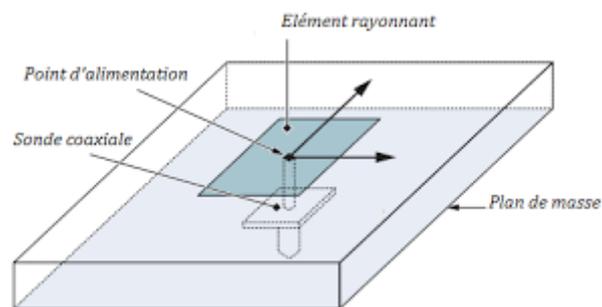


Figure I.11 : alimentation par sonde coaxiale [17]

Alimentation par ligne micro ruban :

Si une meilleure adaptation d'impédance est possible, la puissance peut être envoyée directement à une ligne à micro ruban avec le point de jonction soit sur l'axe de symétrie de l'élément, soit décalé par rapport à celui-ci. L'alimentation axiale avec encoche donne de bons résultats.

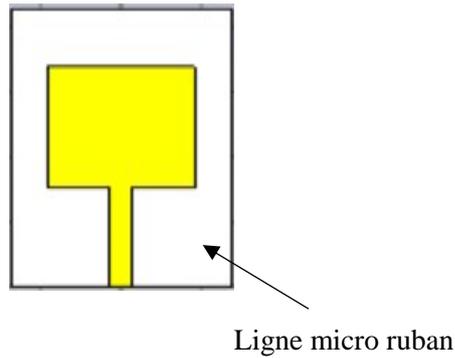


Figure I.12: alimentation par Ligne micro ruban [15]

III.5.2 Alimentation sans contact :

Ligne microbande en sandwich :

L'antenne plaquée se compose de deux substrats, la ligne micro ruban sur le substrat inférieur se terminant par un circuit ouvert sous le patch imprimé sur le substrat supérieur. L'antenne peut également être alimentée par couplage électromagnétique de la ligne micro ruban à l'élément rayonnant dans ce cas, où le résonateur et la ligne d'alimentation sont situés du même côté du plan de masse.

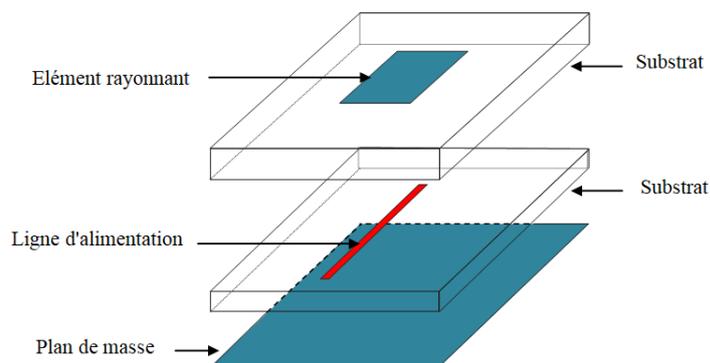


Figure I.13 : alimentation par Ligne microbande en sandwich [18]

Guide d'onde coplanaire :

L'élément rayonnant est placé sur la partie supérieure du substrat, au niveau de la fente rayonnante. Sur la face inférieure du substrat, la ligne d'alimentation et le plan de masse sont au même niveau.

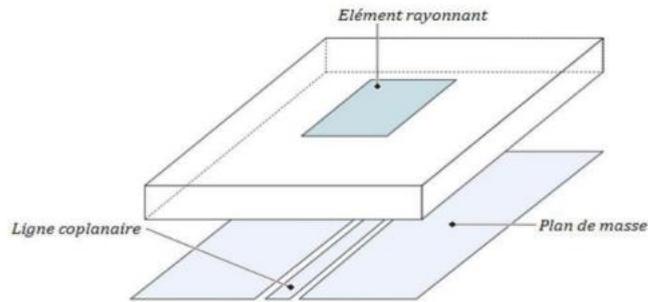


Figure I.14 : alimentation par Guide d'onde coplanaire [4]

Couplage par fente :

Dans certaines circonstances, l'alimentation d'une ligne micro ruban sur le même plan que l'élément rayonnant nuit à la qualité du rayonnement. La solution consiste à placer la ligne d'excitation sur un plan inférieur (figure I.15). La ligne isolée dans le plan de masse n'émet pratiquement pas de rayonnement. Un diélectrique avec un plan de masse sur la face avant et une ouverture est construit, et la ligne est gravée sur cette surface. Un second diélectrique est placé sur le plan de masse, puis l'élément rayonnant métallique est gravé. Généralement, le diélectrique supérieur à une faible permittivité pour favoriser le rayonnement [7].

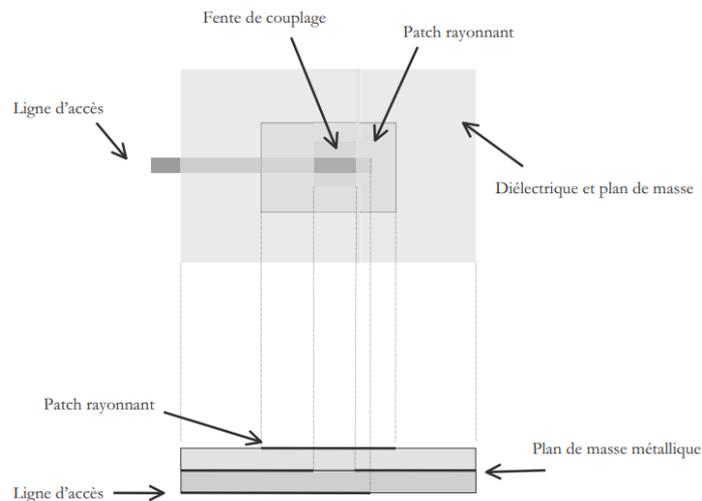


Figure I.15: alimentation de Couplage par fente [7]

IV.1 Antenne reconfigurable mécaniquement :

Une antenne mécaniquement reconfigurable est un type d'antenne qui peut changer sa structure physique ou sa configuration afin de modifier son diagramme de rayonnement ou

sa réponse en fréquence. Cela permet à l'antenne d'adapter et d'optimiser ses performances pour différentes conditions de fonctionnement, fréquences ou exigences de communication [19].

Les antennes reconfigurables mécaniquement sont généralement constituées de plusieurs éléments ou composants rayonnants qui peuvent être réglés ou repositionnés mécaniquement. Ces composants peuvent comprendre des éléments d'antenne, des réflecteurs, des directeurs ou d'autres éléments structuraux. En changeant la position ou l'orientation de ces composants, le diagramme de rayonnement ou la réponse en fréquence de l'antenne peut être modifié [19].

Pour les applications véhiculaires et militaires, les antennes sont souvent utilisées dans des environnements difficiles, ce qui fait de la durabilité un facteur important [20].

Il existe plusieurs configurations mécaniques, pour modifier les propriétés électromagnétiques d'une antenne. La première concerne la déformation mécanique de l'élément rayonnant par commande manuelle, comme en Figure I.16 [20].

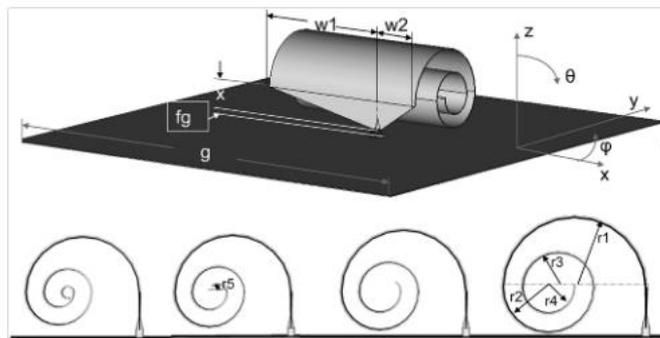


Figure I.16 : Antenne reconfigurable basée sur un élément à enroulement [20]

Il s'agit d'une fonctionnalité relativement peu répandue, dont le but est de faire varier la bande passante de fonctionnement de l'antenne, que ce soit de manière continue autour d'une fréquence centrale, ou par commutation entre des bandes de largeurs différentes (non nécessairement centrées sur la même fréquence). Un exemple d'antenne proposant cette fonctionnalité est présentée en Figure I.17 [20].

Il s'agit d'une antenne LPDA (Log Periodic Dipole Array) reconfigurable, en modifiant les positions, dimensions et le nombre des dipôles, il est possible de faire varier la bande passante autour d'une fréquence centrale [20].

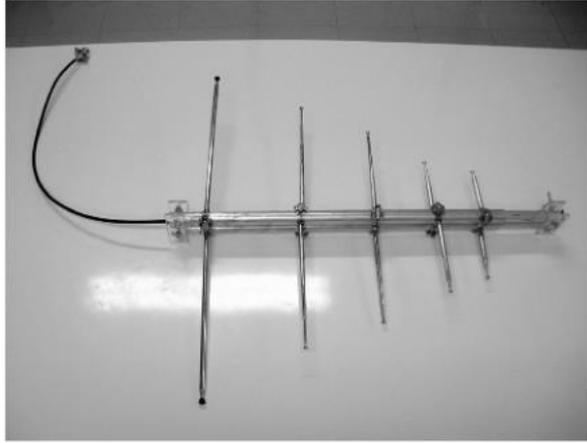


Figure I.17 : Antenne log périodique reconfigurable manuellement [20]

V. Conclusion :

Dans ce premier chapitre, nous avons abordé les caractéristiques générales d'une antenne. Nous avons présenté les antennes imprimées, leur structure ainsi que les techniques d'alimentation. Nous avons brièvement présenté les divers types d'antennes aéroportées et leurs applications dans les communications aériennes. Et enfin nous avons donné une description sur les antennes reconfigurables mécaniquement et leur capacité à répondre aux exigences de communication.

Dans le chapitre suivant nous allons voir la conception et la simulation des antennes imprimées et leurs caractéristiques par l'utilisation de logiciel HFSS.

Chapitre II :

Simulation

Des antennes

Aéroportées

I.1 Introduction :

Le système de communication de tout drone doit être doté d'un système d'antenne, qui permet l'émission et la réception de signaux de radiofréquence (RF). La portée, la direction et la polarisation du signal, qui affectent en fin de compte la capacité de l'UAV à établir et à maintenir une connexion, sont considérablement influencées par la conception et l'emplacement de l'antenne.

En raison de la grande mobilité et de l'altitude élevée des drones, un placement et une conception idéale de l'antenne est nécessaire pour fournir la meilleure qualité de signal. L'emplacement de l'antenne sur un UAV dépend de divers facteurs, notamment le type d'antenne.

Ce chapitre porte sur les considérations à prendre en compte pour l'emplacement de l'antenne sur un UAV, selon les différents types d'antennes par l'utilisation du logiciel HFSS (high-frequency structure simulator) pour confirmer s'ils répondent aux conditions nécessaires pour une communication et une navigation efficaces et sûres (elles doivent être omnidirectionnelles et correctement adaptées à l'émetteur-récepteur qui leur est associé).

I.2 placement de l'antenne sur un UAV :

Le meilleur emplacement pour une antenne sur un UAV est déterminé par les besoins particuliers de la mission, le type d'antenne utilisé et la conception générale du l'UAV. Voici quelques considérations générales sur le placement des antennes sur un UAV [21]:

- **Compartiment de charge utile :** de nombreux drones ont un compartiment de charge utile dédié où les antennes peuvent être installées. Ce compartiment est généralement conçu pour protéger la charge utile, y compris les antennes, des éléments externes tels que les intempéries et les dommages potentiels pendant le vol.
- **Fuselage :** les antennes peuvent être intégrées dans le fuselage du drone. L'emplacement de l'antenne sur le fuselage doit être soigneusement choisi pour minimiser les interférences avec d'autres composants de l'UAV, tels que le système de propulsion ou d'autres composants électroniques, et pour optimiser les performances de l'antenne en termes de diagramme de rayonnement et de couverture du signal.
- **Ailes :** certains drones ont des antennes intégrées dans les ailes. Les antennes montées sur les ailes peuvent offrir des avantages en termes de performances d'antenne, car elles peuvent être positionnées pour avoir une ligne de visée dégagée pour une réception ou une transmission maximale du signal. Cependant, il faut veiller à minimiser l'impact de l'antenne sur l'aérodynamisme et la stabilité du drone.

➤ **Empennage vertical** : L'empennage vertical d'un UAV peut également être un emplacement approprié pour l'emplacement de l'antenne. Cela peut aider à minimiser les interférences avec d'autres composants UAV et fournir une bonne couverture du signal dans certaines directions, selon le type d'antenne et les exigences de la mission.

➤ **Train d'atterrissage** : dans certains cas, le train d'atterrissage d'un UAV peut également être utilisé pour le placement de l'antenne. Cela peut aider à maintenir l'antenne à l'écart des autres composants et fournir un emplacement de montage stable. Cependant, l'impact du train d'atterrissage sur les performances de l'antenne, comme la garde au sol et les interférences potentielles, doit être soigneusement évalué.

II.1 L'outil de conception et simulation :

Ansys HFSS est un logiciel de simulation électromagnétique (EM) en 3D qui permet de concevoir et de simuler des produits électroniques haute fréquence tels que des antennes, des réseaux d'antennes, des composants RF ou micro-ondes, des interconnexions à grande vitesse, des filtres, des connecteurs, des boîtiers de circuits intégrés et des cartes de circuits imprimés. Les ingénieurs du monde entier utilisent le logiciel Ansys HFSS pour concevoir des produits électroniques à haute fréquence et à grande vitesse que l'on trouve dans les systèmes de communication, les satellites [22]...

Nous avons effectué des études sur quelques-unes des conceptions d'antennes recommandées pour établir la communication avec les UAV et assurer la récupération de la liaison par l'utilisation de logiciel HFSS et les résultats sont présentés ci-après.

II.2 Cahier de charge :

Le tableau représente les données à respecter pour la conception d'antenne :

Paramètres	Description
Matériau Conducteur	Cuivre
Epaisseur du matériau conducteur	0.035 mm
Diagramme de rayonnement	Omnidirectionnel
Fréquence de résonance f_r / Longueur d'onde λ	835 MHz / 0.35 m
Largeur de bande passante Bp	200 MHz

Tableau II.1 : Le cahier de charge à respecter pour la conception d'antenne

III. Propositions et Résultats :

Nous avons fait des études sur certains types d'antennes proposées pour assurer la communication avec UAV et garantir le rétablissement de la liaison.

III.1 Conception d'antenne patch :

Les dimensions du substrat, du patch, les paramètres d'alimentation et la distance du point optimal d'alimentation de nos antennes ont tous été calculés à l'aide des codes de Matlab.

III.1.1 Antenne Patch Rectangulaire Alimentée par ligne micro ruban :

III.1.1.1 La géométrie de l'antenne patch :

Nous avons étudié une antenne patch de forme rectangle imprimé avec un plan de masse. Les paramètres géométriques de l'antenne proposée sont définis de la façon suivante un substrat de type Flame-Resistant 4 (FR4_epoxy) d'une dimension de 200*160 mm (largeur x longueur) qui a une permittivité relative $\epsilon_r=4.4$ une tangente des pertes de 0.02, et une épaisseur $h=1.6$ mm, le plan de masse est imprimé sur la face inférieure du substrat, et d'un seule rectangle d'une dimension de 96*86 mm et d'une épaisseur de cuivre t de 0.035 mm.

L'antenne est alimentée par une ligne micro ruban connectée directement dont le point de jonction est situé sur l'axe de symétrie (axial) de l'élément à une fréquence de 835MHz et d'une impédance caractéristique $Z=50\Omega$, comme elle est illustrée dans la Figure II.1.

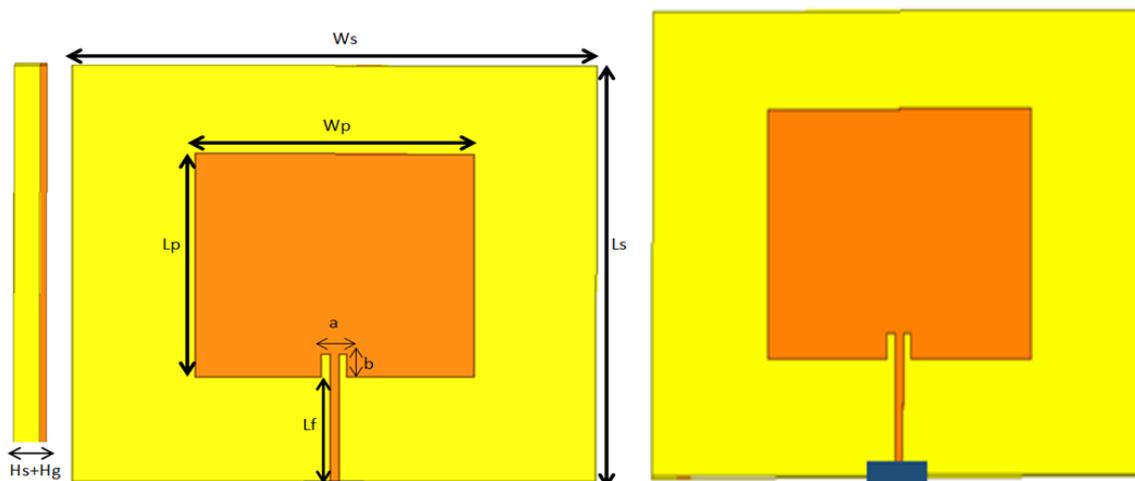


Figure II.1 : Géométrie de l'antenne patch alimentée par ligne micro ruban et son conception sur logiciel HFSS

III.1.1.2 Les dimensions de l'antenne patch : les dimensions d'antenne patch alimentée par une ligne micro ruban sont représentées dans le tableau suivant.

Paramètres	Ws	Ls	Hs	Hg	Wp	Lp	a	b
En (mm)	200	160	1.6	0.035	96	86	3	4

Tableau II.2 : Les paramètres d'antenne patch alimentée par une ligne micro ruban

III.1.1.3 Résultats de simulation :

Coefficient de réflexion S11 :

La structure d'antenne patch alimentée par une ligne micro ruban est simulée par le logiciel HFSS. Le coefficient de réflexion obtenu est représenté par la Figure II.2.

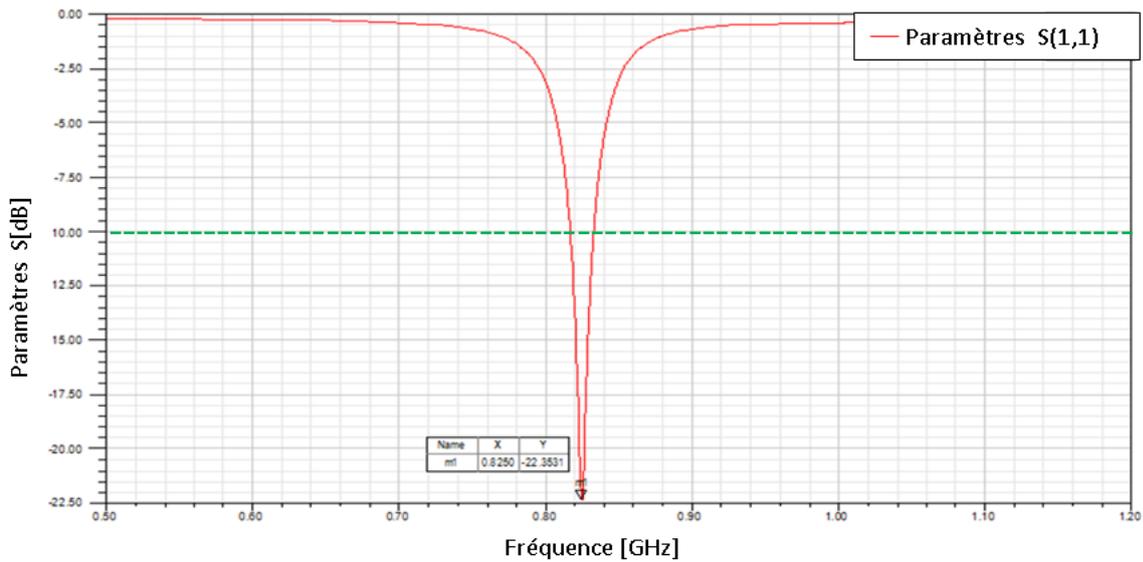


Figure II.2 : Le coefficient de réflexion d'antenne patch rectangulaire alimentée par une ligne micro ruban

Autour de fréquence de résonance 825MHz le coefficient de réflexion $S_{11} = -22.35$ dB. Pour une bonne adaptation de l'antenne, nous notons qu'un coefficient de réflexion inférieur à -10dB est suffisant sur toute la plage de fréquence désirées. Donc l'antenne rayonne bien dans la bande passante de 21 MHz.

Les diagrammes de rayonnement:

Le diagramme de rayonnement en gain permet d'observer dans quelle direction la densité de flux de puissance se concentre. Le diagramme de rayonnement en gain de cette structure de base est représenté dans l'espace 3D en dB à 835 MHz sur la Figure II.3.

Le diagramme de rayonnement est un diagramme directif, il est caractérisé par un lobe principal large et un gain plus faible de -1.43 dB suggère que l'antenne ne fonctionne pas de manière optimale en termes de puissance rayonnante dans une direction particulière.

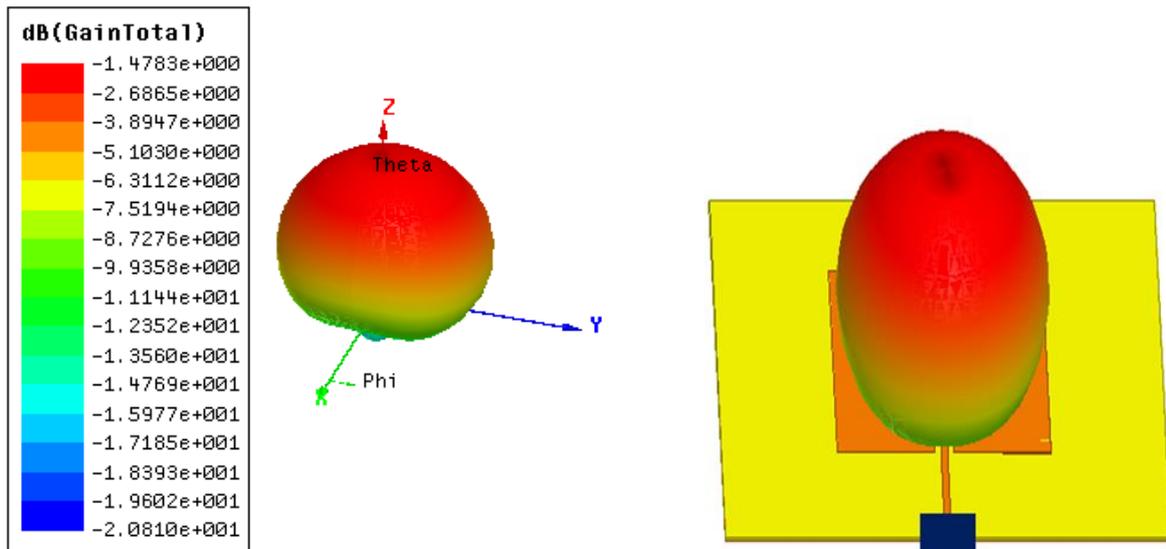


Figure II.3 : Diagramme de rayonnement en 3D du gain d'antenne patch rectangulaire alimentée par une ligne micro ruban

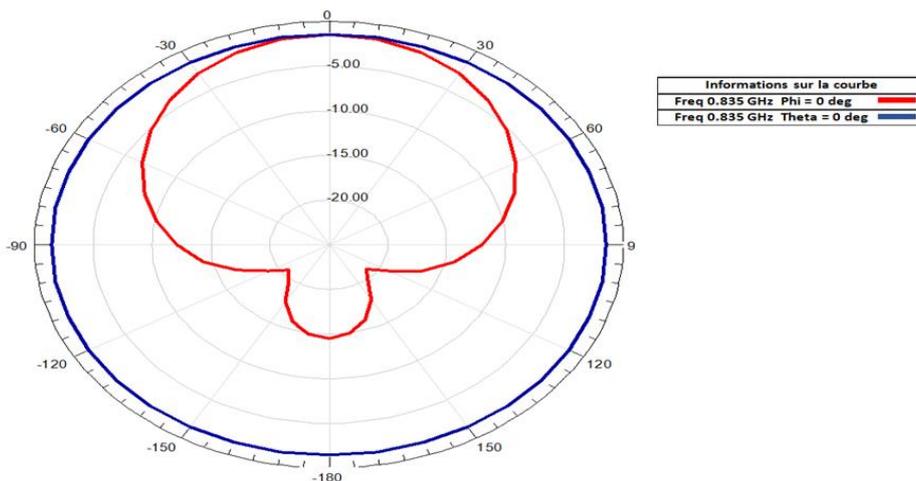


Figure II.4 : Diagrammes de rayonnement en 2D du gain d'antenne patch rectangulaire alimentée par une ligne micro ruban

Impédance d'entrée :

La géométrie et l'alimentation d'une antenne peuvent en effet avoir une influence sur son impédance d'entrée. L'impédance d'entrée d'une antenne est l'impédance présentée par l'antenne à ses bornes d'entrée lorsqu'un signal est appliqué. Il s'agit d'une grandeur complexe composée d'une résistance (partie réelle) et d'une réactance (partie imaginaire). On peut dire qu'on a une bonne adaptation lorsque la partie réelle est 50 ohms et partie imaginaire est nulle. La figure suivante représente l'impédance d'entrée de l'antenne patch rectangulaire alimentée par une ligne micro ruban à la fréquence de 835 MHz.

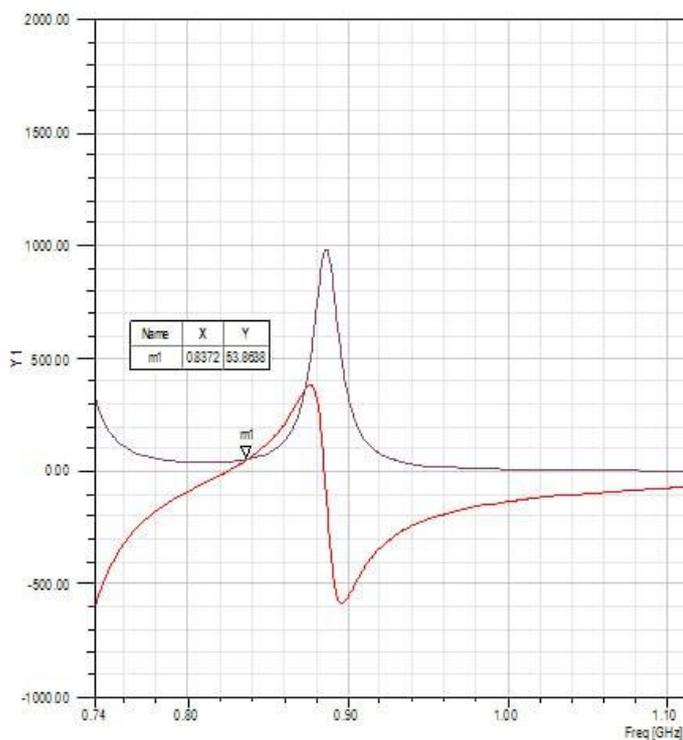


Figure II.5: Impédance d'entrée simulée à 835 MHz d'antenne patch rectangulaire alimentée par une ligne micro ruban

Cette figure montre une adaptation de l'antenne obtenue dans la bande [0.74- 1.1] GHz, on observe qu'il y a une mauvaise adaptation pour la fréquence (835 MHz) où la partie réelle et imaginaire de l'impédance sont égales à 53.85.

Distribution surfacique du courant :

La distribution du courant à la surface d'une antenne est influencée par divers facteurs, notamment la géométrie, la conception et la fréquence de fonctionnement de

l'antenne. La figure suivante représente la distribution du courant de surface d'antenne alimentée par une ligne micro ruban.

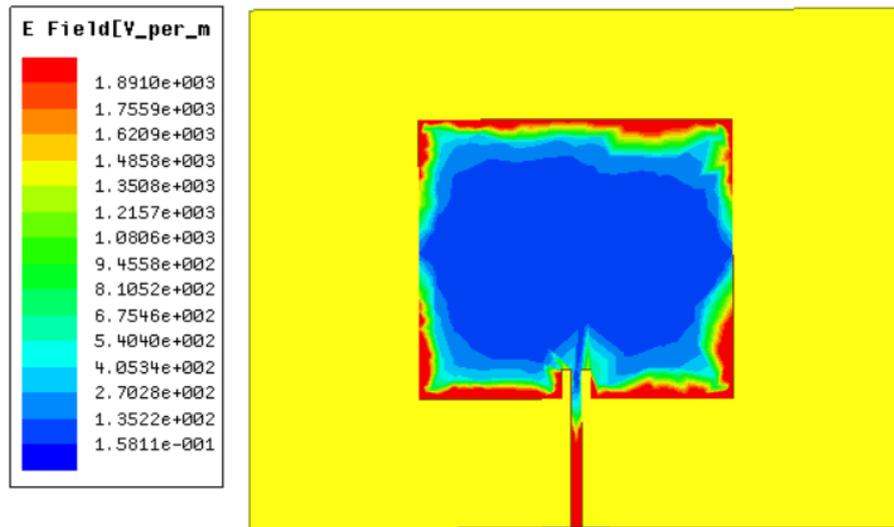


Figure II.6: distribution du courant de surface d'antenne Patch alimentée par une ligne micro ruban

Le courant de surface maximal est représenté par la couleur rouge. La distribution du courant sur une antenne patch alimentée par une ligne micro ruban est la plus élevée aux bords et diminue vers le centre.

III.1.2 Antenne Patch Rectangulaire alimentée par câble coaxiale :

III.1.2.1 La géométrie de l'antenne patch :

Nous avons étudié une antenne patch de forme rectangulaire imprimée avec un plan de masse. Les paramètres géométriques de l'antenne proposée sont définis de la façon suivante un substrat de type Rogers RO3003 d'une dimension de 260 * 240 mm (largeur x longueur) qui a une permittivité relative $\epsilon_r=3$ et une tangente des pertes de 0.0013, et une épaisseur $h=1.6$ mm, le plan de masse est imprimé sur la face inférieure du substrat et d'un rectangle d'une dimension de 154 * 102 mm et une épaisseur de cuivre t de 0.035 mm. L'antenne est alimentée par câble coaxiale dont le point d'alimentation est situé à (0mm, 30mm, -2mm) ou le signal du câble coaxial est couplé au patch à travers un petit espace ou une petite ouverture (une cylindre de rayon de 1.6 mm) à une fréquence de 835 MHz et d'une impédance caractéristique $Z=50\Omega$, comme elle est illustrée dans la Figure II.7.

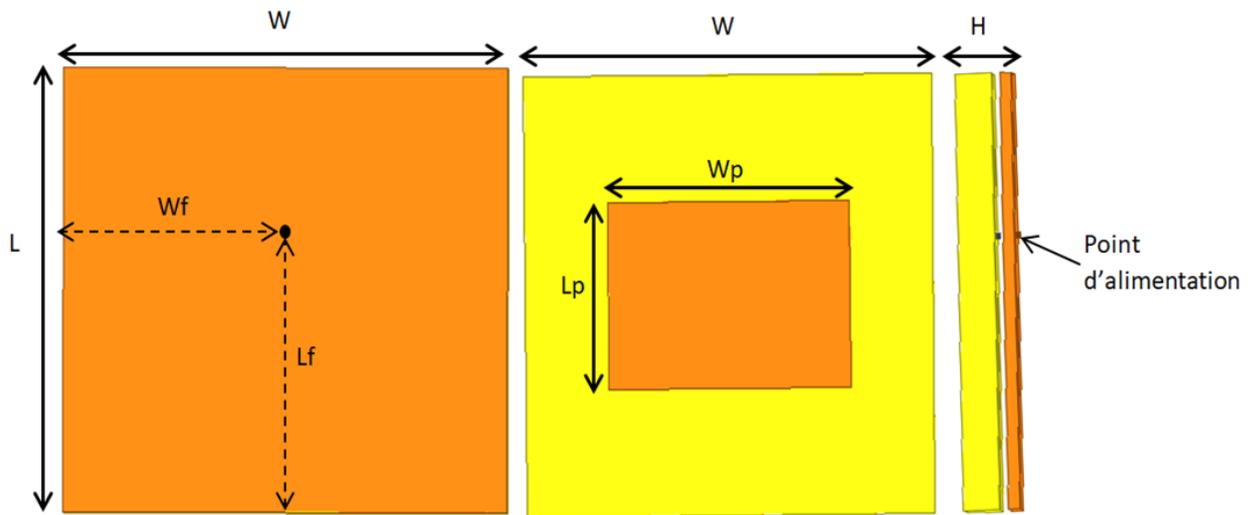


Figure II.7 : Géométrie de l'antenne patch alimenté par câble coaxial et son conception sur logiciel HFSS

III.1.2.2 Les dimensions de l'antenne patch : Les dimensions d'antenne patch alimenté par câble coaxial sont représentées dans le tableau suivant.

Patch	W_p (Largeur)	154mm
	L_p (longueur)	102mm
	H_p(épaisseur)	0.035mm
Substrat et plan de masse	Longueur de substrat et plan de masse(L_s)	240mm
	Largeur du substrat et plan de masse(W_s)	260mm
	H_s(épaisseur)	1.6mm

Tableau II.3: Les paramètres d'antenne patch alimentée par câble coaxiale

III.1.2.3 Résultats de simulation :

Coefficient de réflexion S11 :

Le coefficient de réflexion obtenu pour une antenne patch alimentée par un câble coaxial est représenté par la Figure II.8.

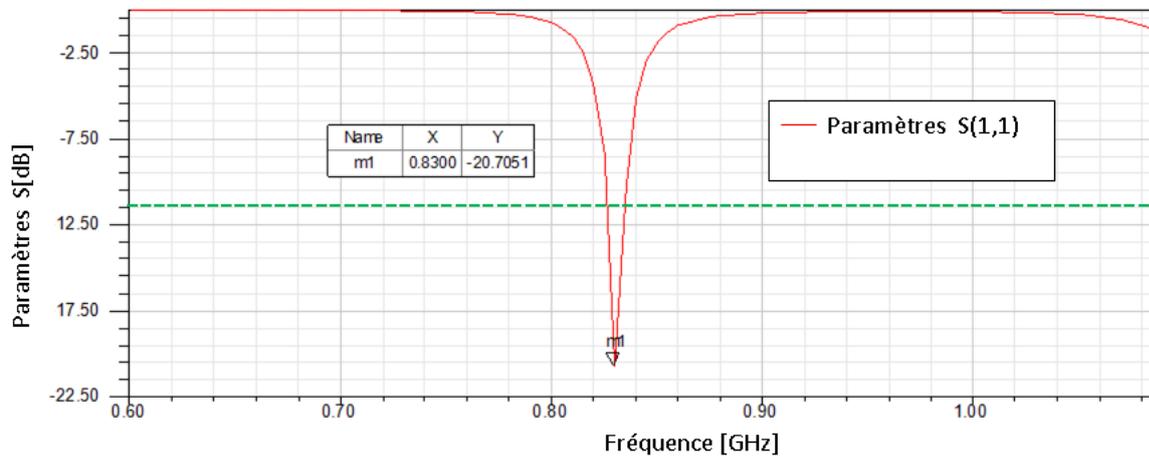


Figure II.8 : Le coefficient de réflexion d'antenne patch alimentée par câble coaxiale à la fréquence 835Mhz

Autour de fréquence de résonance 835MHz, le coefficient de réflexion $S_{11} = -20.75$ dB. Pour une bonne adaptation de l'antenne, nous notons qu'un coefficient de réflexion inférieur à -10dB est suffisant sur toute la plage de fréquence désirées. Donc l'antenne rayonne bien dans la bande passante de 21 MHz.

Les diagrammes de rayonnement :

Le diagramme de rayonnement en gain de cette structure de base est représenté dans l'espace 3D en dB à 835 MHz sur la Figure II.9. L'antenne présente une valeur de gain de 4.16 dB suggère que l'antenne ne fonctionne pas de manière optimale en termes de puissance rayonnante dans une direction particulière.

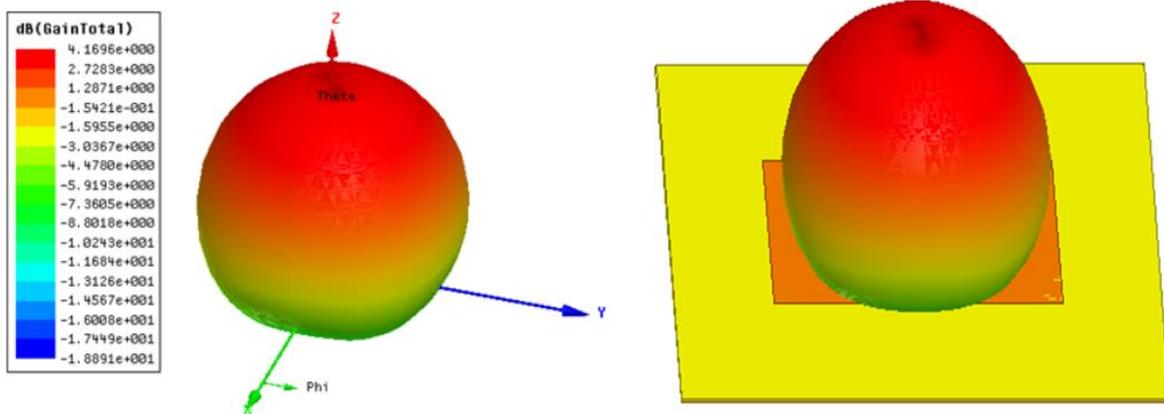


Figure II.9 : diagramme de rayonnement en 3D de gain d'antenne patch alimentée par câble coaxiale à la fréquence 835Mhz.

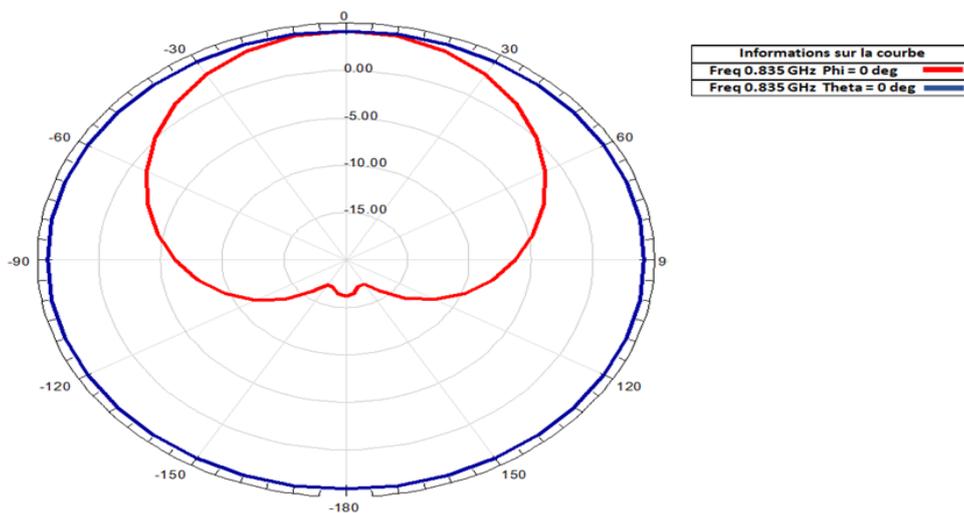


Figure II.10: Diagramme de rayonnement du gain 2D d'antenne patch alimentée par câble coaxiale

Impédance d'entrée :

La figure suivante représente l'impédance d'entrée de l'antenne patch rectangulaire alimentée par câble coaxial à la fréquence de 835 MHz.

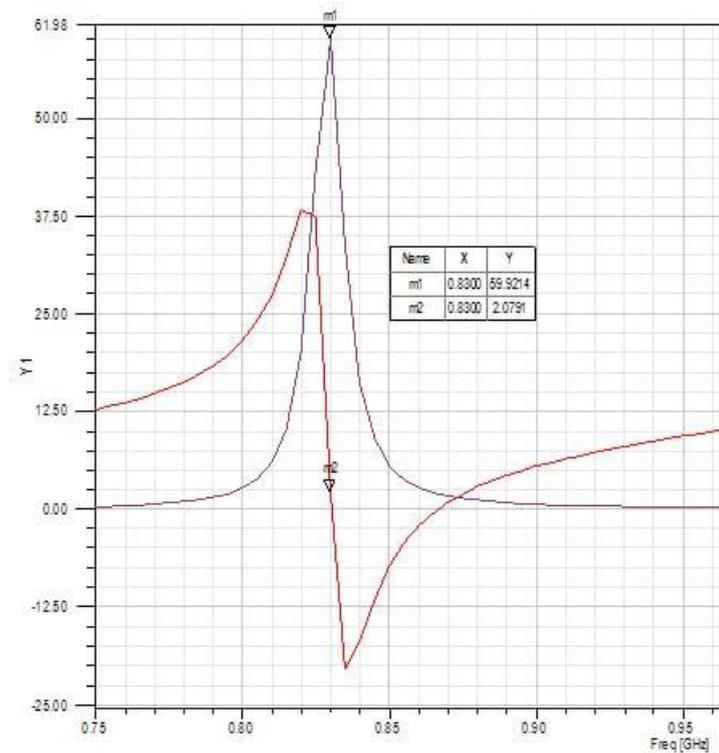


Figure II.11: Impédance d’entrée simulée à 835 MHz d’antenne patch alimentée par câble coaxiale

La Figure II.11 montre que l’antenne a une mauvaise adaptation dans la bande [0.75-1] GHz pour une fréquence de 830 MHz où la partie réelle de l’impédance est égale à 59.9214 (> 50) et la partie imaginaire est égale à 2.0791 (> 0).

Distribution surfacique du courant :

La distribution du courant à la surface d’antenne patch alimentée par câble coaxiale est illustrée par la figure suivante :

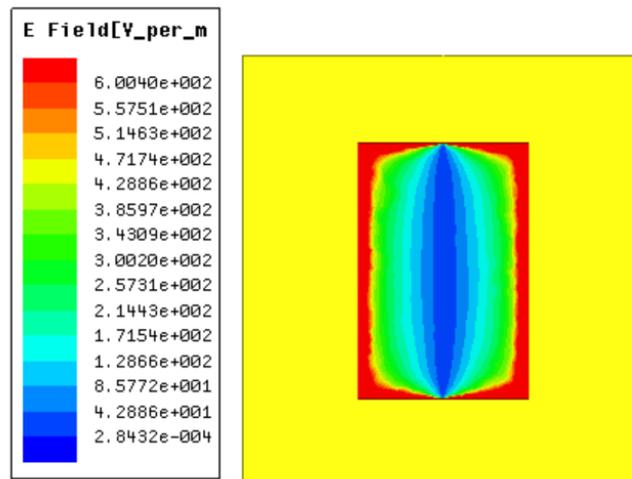


Figure II.12: Distribution surfacique du courant de l’antenne patch alimentée par câble coaxiale

Le courant de surface maximal est représenté par la couleur rouge. Il est important de noter que la distribution du courant sur une antenne patch, lorsqu'elle est alimentée par un câble coaxial, atteint son niveau le plus élevé le long de ses bords extérieurs, pour ensuite décroître progressivement à mesure que nous nous rapprochons de son centre.

III.2 conception d'antenne monopole alimentée par ligne Coplanaire CPW :

III.2.1 La géométrie de l'antenne monopole :

Nous avons étudié une antenne monopole de forme ellipse avec un plan de masse. Les paramètres géométriques de l'antenne proposée sont définis de la façon suivante un substrat (RogersRO3003) d'une dimension de 76*110 mm (largeur x longueur) qui a une permittivité relative $\epsilon_r=3$ et une tangente des pertes de 0.0013, et une épaisseur $h=1.6$ mm, et un ellipse d'un rayon de 31 mm et un rapport de 0.28, deux plans de masse symétrique à l'axe (Y) de même dimensions 34*40 mm et une épaisseur de cuivre t est de 0.035 mm, L'antenne est alimentée par ligne coplanaire connectée directement dont le point de jonction est situé sur l'axe Y (symétrie axiale) à une fréquence de 835MHz et d'une impédance caractéristique $Z=50\Omega$, comme elle est illustrée dans la Figure II.13 .

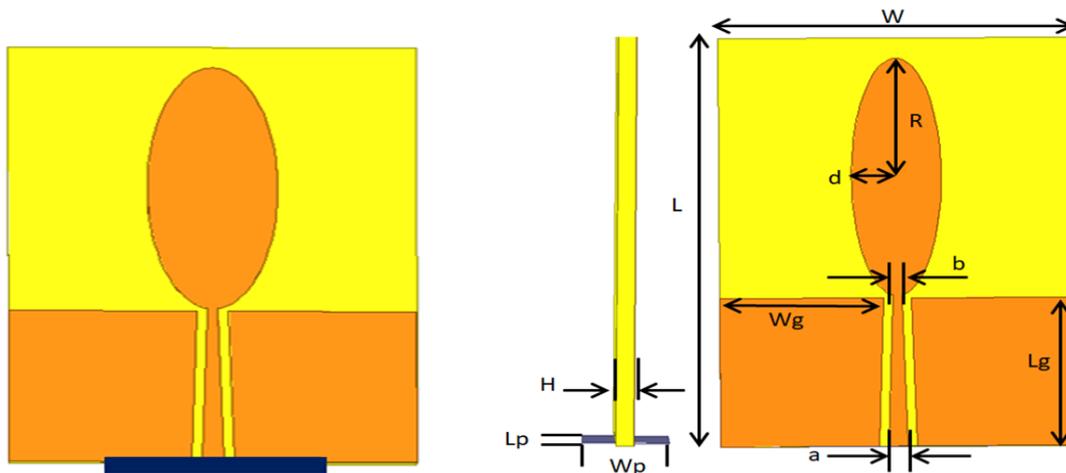


Figure II.13 : Géométrie de l'antenne monopole alimentée par ligne coplanaire et son conception sur logiciel HFSS

III.2.2 Les dimensions de l'antenne monopole:

Les dimensions de l'antenne monopole alimentée par ligne coplanaire sont représentées dans le tableau suivant.

Paramètres	W	L	H	Wg	Lg	R	Wport	Lport	a	b	d
Longueur (mm)	110	76	1.6	34	40	15.5	8	40	4	2	4.3

Tableau II.4 : Les paramètres d'antenne monopole alimentée par une ligne coplanaire

III.2.3 Résultats de simulation :

Coefficient de réflexion S11 :

Le coefficient de réflexion obtenu de l'antenne monopole est représenté par la Figure II.14.

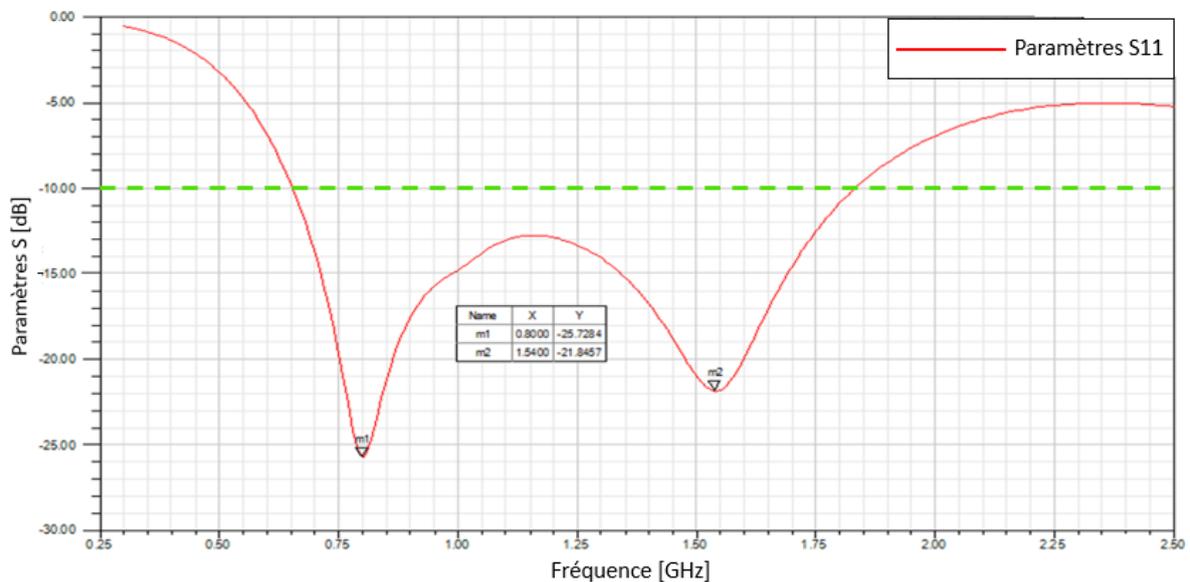


Figure II.14 : Le coefficient de réflexion de l'antenne monopole alimentée par une ligne coplanaire

L'antenne est bien adaptée, autour des fréquences de résonance de 800 MHz et de 1.54 GHz dont le coefficient de réflexion est de $S_{11} = -25.72$ dB et $S_{11}' = -21.84$ dB. Sur toute la plage de fréquence désirées la courbe du coefficient de réflexion de l'antenne est (< -10) dB. Donc l'antenne rayonne bien dans la bande passante de 1.225 GHz.

Les diagrammes de rayonnement:

Les diagrammes de rayonnement simulés de l'antenne monopole sont de forme omnidirectionnelle base est représenté dans l'espace 3D en dB sur la Figure II.15. Ils ont été calculés à la fréquence de 835 MHz. L'antenne présente Une valeur de gain de -3.79 dB suggère que l'antenne ne fonctionne pas de manière optimale en termes de puissance rayonnante dans une direction particulière.

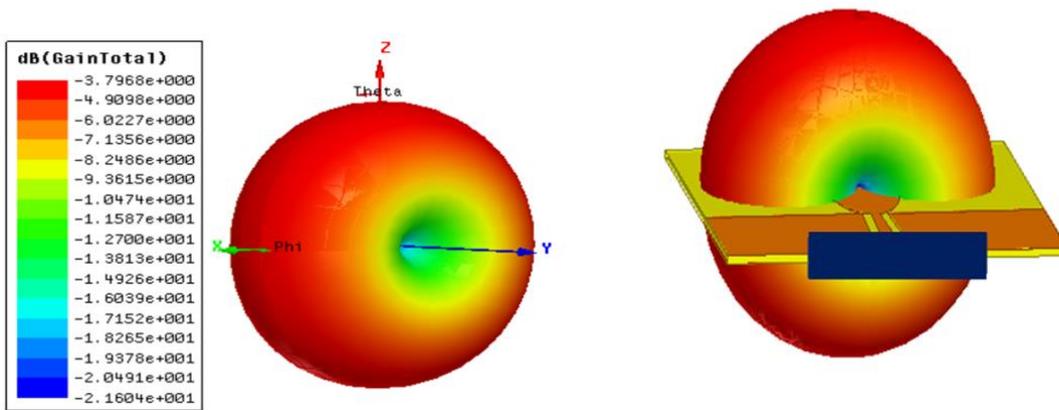


Figure II.15 : Le diagramme de rayonnement en gain en 3D d'antenne monopole alimentée par une ligne coplanaire

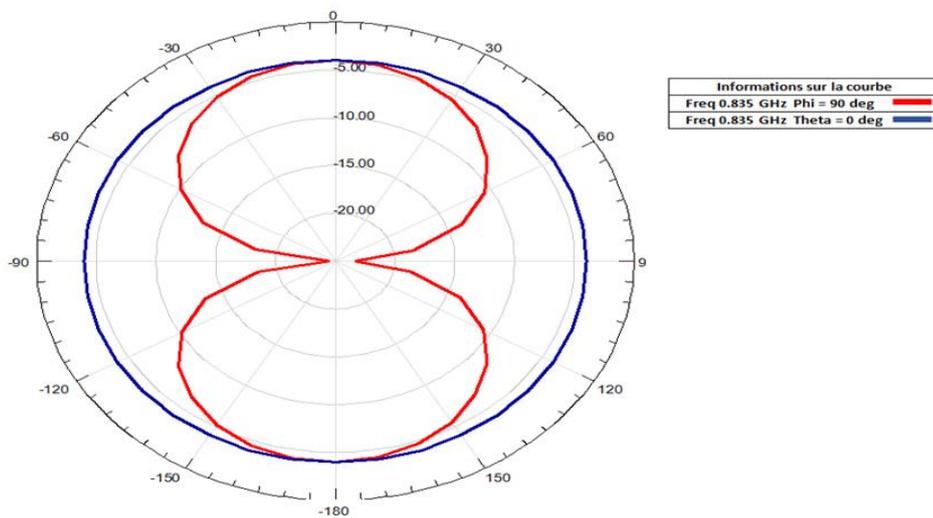


Figure II.16 : Le diagramme de rayonnement en gain en 2D d'antenne monopole alimentée par une ligne coplanaire

Impédance d'entrée :

La figure suivante représente l'impédance d'entrée de l'antenne monopole alimentée par une ligne coplanaire à la fréquence de 835 MHz.

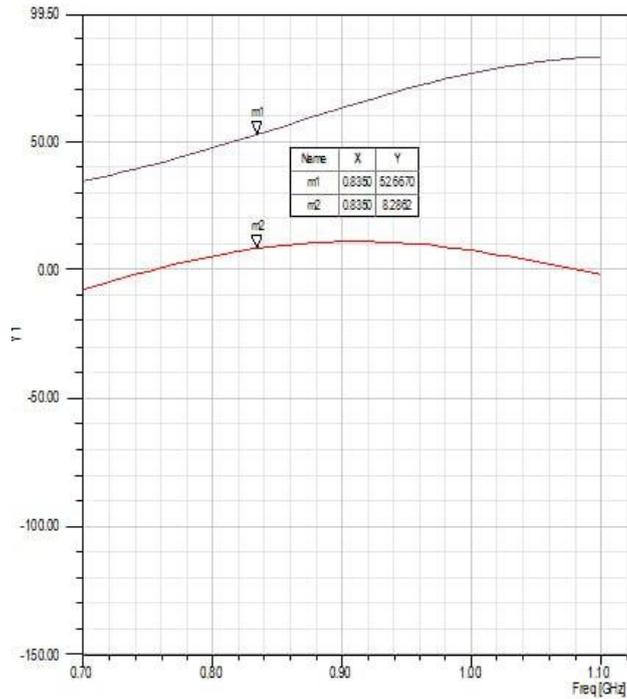


Figure II.17: Impédance d'entrée d'antenne monopole alimentée par une ligne coplanaire

Dans la bande [0.75- 1.1] GHz l'antenne a une mauvaise adaptation pour la fréquence de 835 MHz où la partie réelle de l'impédance est égale à 52.6670 ($>$ à 50) et la partie imaginaire est égale à 8.2882 ($>$ à 0).

Distribution surfacique du courant :

Il est important de noter qu'il s'agit de schémas simplifiés de distribution du courant et qu'en réalité, la distribution surfacique du courant de l'antenne monopole peut être affectée par divers facteurs tels que la présence d'objets à proximité, le diamètre et l'épaisseur de l'élément conducteur et les techniques d'adaptation d'impédance utilisées. La figure suivante représente la distribution surfacique du courant de l'antenne monopole est alimentée par ligne coplanaire.

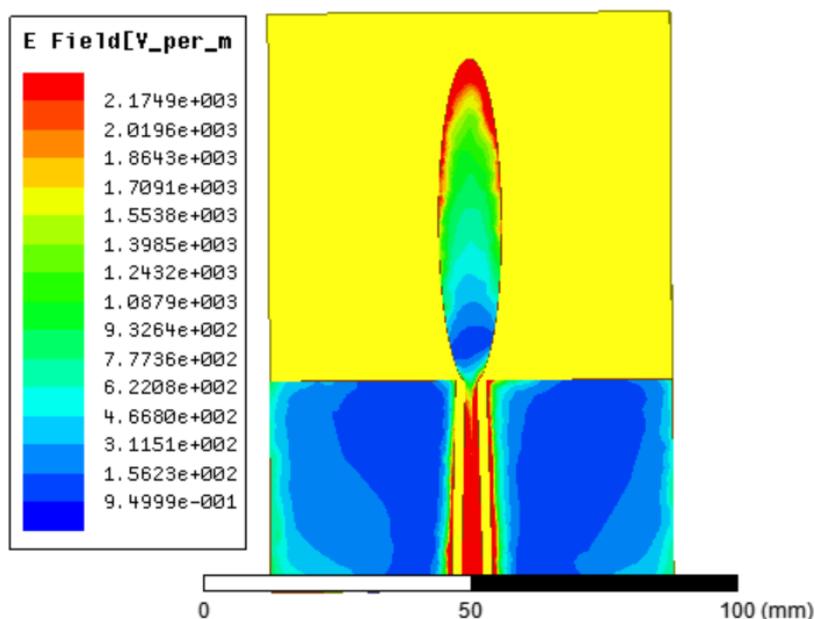


Figure II.18: la distribution surfacique du courant d'antenne monopole alimentée par une ligne coplanaire

Le courant de surface maximal se manifeste sous la forme d'une intensité marquée par la teinte rouge. La distribution du courant électrique sur une antenne monopole présente une caractéristique remarquable, avec une concentration significative le long de ses bords, suivie d'une décroissance graduelle en direction du centre.

IV. Limitation des antennes proposées pour les drones:

Les antennes proposées présentent des lacunes importantes qui les rendent inadaptées aux communications UAV dans les applications aéroportuaires, comme le montrent les résultats de simulation du programme HFSS présentés ci-dessus.

Bien que l'antenne patch imprimée rectangulaire avec alimentation micro ruban fournisse un diagramme de rayonnement directionnel, son gain de -1,43 dB et sa largeur de bande de 21 MHz ne sont pas suffisants pour assurer une communication efficace dans un environnement dynamique. Tout système de communication doit éviter les antennes à gain négatif car elles affaiblissent les signaux, ce qui est particulièrement vrai lorsque le drone est loin du récepteur au sol et que le signal est déjà faible. Les communications aéroportuaires modernes exigent une large gamme de fréquences, qui ne peut être couverte par la petite largeur de bande de la plage de 21 MHz. En outre, le diagramme de rayonnement directionnel de l'antenne est insuffisant pour un UAV dans les communications aéroportuaires en raison du mouvement et de l'orientation continue du drone, ce qui l'empêcherait de recevoir correctement les messages.

L'antenne patch imprimée avec alimentation coaxiale est soumise à plusieurs restrictions qui pourraient la rendre moins adaptée à l'utilisation prévue. Bien que son gain positif de 4,16 dB soit excellent pour l'amplification du signal, sa largeur de bande de 9,5 MHz, comparativement faible, pourrait ne pas être suffisante pour prendre en charge la large gamme de fréquences nécessaire. En outre, si l'UAV change continuellement de position, le diagramme de rayonnement directionnel peut limiter la capacité de l'antenne à recevoir des signaux. En outre, la conception et l'optimisation d'une antenne pour une fréquence particulière dans notre cas, 835 MHz peuvent s'avérer difficiles.

En raison d'un certain nombre d'inconvénient, l'antenne monopôle imprimée avec alimentation par guide d'ondes coplanaire ne peut pas être utilisée dans un drone pour les communications aéroportuaires. Malgré que le diagramme de rayonnement omnidirectionnel de l'antenne et sa vaste bande passante de 1,225 GHz, son gain négatif de -3,79 dB est un défaut important qui l'empêche d'être utilisée pour une amplification efficace du signal. En outre, par rapport à d'autres techniques d'alimentation, l'alimentation par guide d'ondes coplanaire présente des problèmes d'optimisation et de conception, ainsi que le risque d'une perte de signal plus importante et d'une efficacité moindre. En raison de ces contraintes, il est plus difficile de concevoir et de régler une antenne pour des gammes de fréquences et des applications particulière.

V. L'effet des dimensions et de matériau sur les performances d'antenne:

V.1 Antenne Patch :

Pour voir l'influence des dimensions, de matériau sur leur performance, nous avons choisi l'antenne patch alimentée par câble coaxiale à cause de leurs faibles pertes et son gain élevé.

V.1.1 Les dimensions de la partie rayonnante :

On commence par l'effet des dimensions de la partie rayonnante, une étude est faite comme montre les figures suivantes représentent l'influence des dimensions de la partie rayonnante sur le module du coefficient de réflexion et le gain.

Le coefficient de réflexion :

La Figure II.19 représente l'influence des dimensions de la partie rayonnante sur le module du coefficient de réflexion S_{11} .

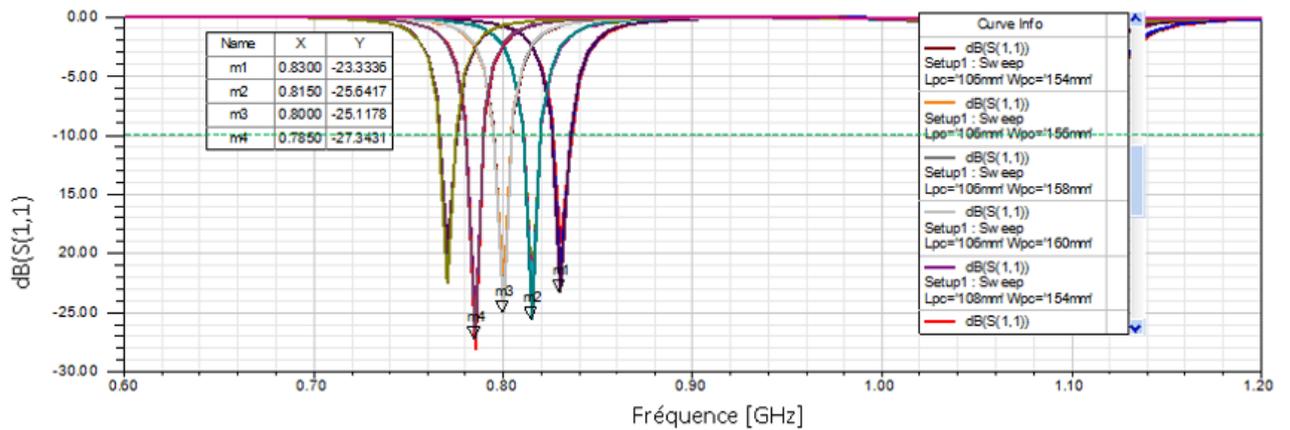


Figure II.19 : coefficient de réflexion des diverses dimensions de la partie rayonnante d'antenne patch

En observant attentivement les données, nous constatons des résultats intéressants. Aux dimensions $L_{pc}=106\text{mm}$ et $W_{pc}=154\text{mm}$, nous obtenons une fréquence de résonance de 830 MHz. De même, aux dimensions $L_{pc}=106\text{mm}$ et $W_{pc}=158\text{mm}$, la fréquence de résonance est de 815 MHz. Lorsque les dimensions sont fixées à $L_{pc}=106\text{mm}$ et $W_{pc}=160\text{mm}$, la fréquence de résonance diminue encore pour atteindre 800 MHz. Enfin, pour des dimensions de $L_{pc}=108\text{mm}$ et $W_{pc}=154\text{mm}$, nous obtenons une fréquence de résonance de 785 MHz.

Il est important de noter que ces valeurs sont inférieures à notre fréquence cible. Par conséquent, les dimensions de la partie rayonnante nous conduit vers des basses fréquences.

Le gain :

La Figure II.20 représente l'influence des dimensions de la partie rayonnante sur le module du gain.

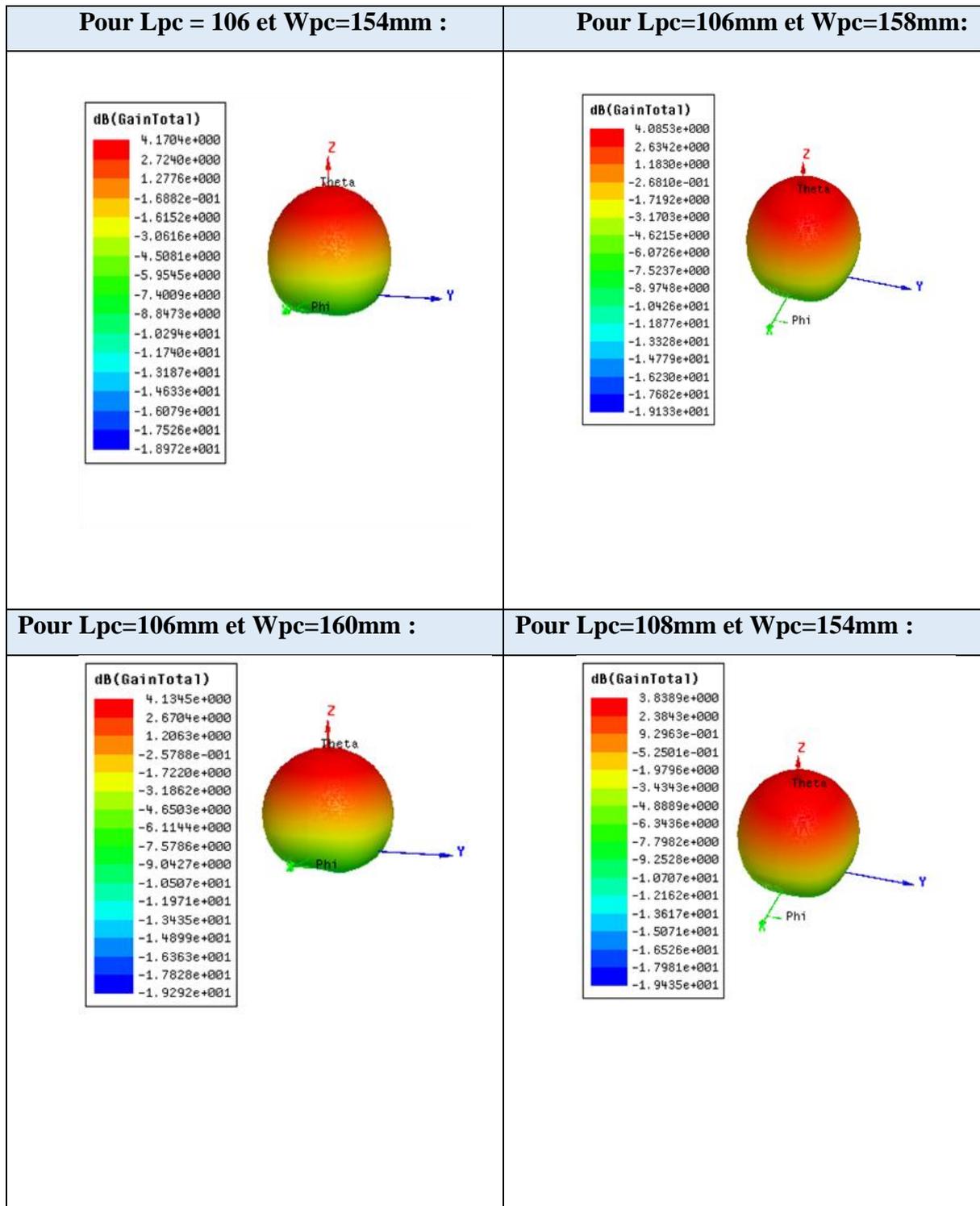


Figure II.20 : les gains des diverses dimensions de la partie rayonnante d'antenne patch

Il est remarquable de constater que, en considérant les dimensions Lpc=106mm et Wpc=154mm, nous obtenons un gain maximal de 4,17 dB. Toutefois, lorsque nous augmentons légèrement les dimensions à Lpc=106mm et Wpc=158mm, le gain maximal

diminue légèrement pour atteindre 4,08 dB à une fréquence de résonance de 815 MHz. De plus, en poursuivant cette augmentation des dimensions à $L_{pc}=106\text{mm}$ et $W_{pc}=160\text{mm}$, nous observons que la valeur maximale du gain est de 4,13 dB. Enfin, si nous considérons des dimensions légèrement différentes à $L_{pc}=108\text{mm}$ et $W_{pc}=154\text{mm}$, le gain maximal obtenu est de 3,83 dB. De manière générale, nous pouvons conclure que l'augmentation des dimensions de la partie rayonnante de l'antenne entraîne une diminution du gain maximal. Cela suggère que nos dimensions actuelles sont parfaitement adaptées à la structure de l'antenne patch étudiée.

On passe à un autre paramètre qui influe aussi sur les performances de l'antenne.

V.1.2 les dimensions de substrat:

On change les dimensions allouées de substrat par les valeurs max qu'on a trouvé par le programme MATLAB qui sont : $L=405\text{mm}$, $W=405\text{mm}$.

Le coefficient de réflexion :

La figure suivante représente le coefficient de réflexion pour le nouveau substrat :

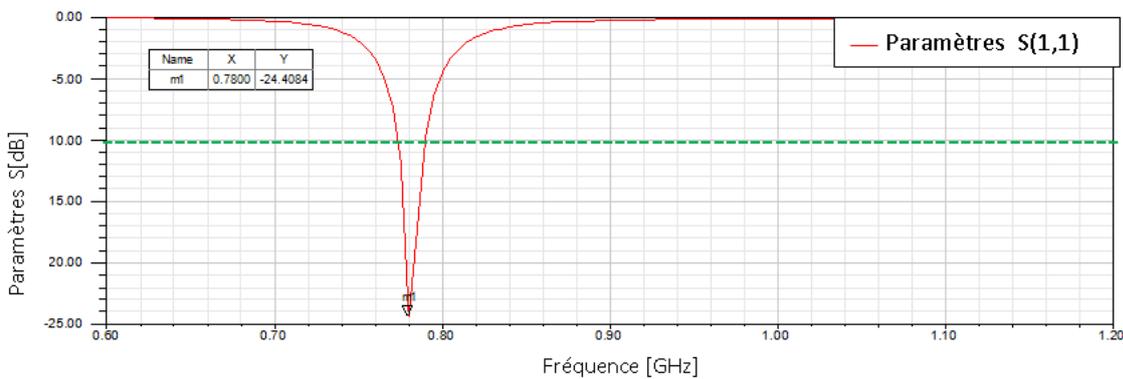


Figure II.21 : Le coefficient de réflexion de nouveau substrat pour l'antenne Patch

Nous remarquons un décalage de pic de résonance vers les basses fréquences et une adaptation inférieure à -10 dB .

Le gain :

La figure suivante présente le diagramme de rayonnement en gain en 3D de substrat de (405x405) mm.

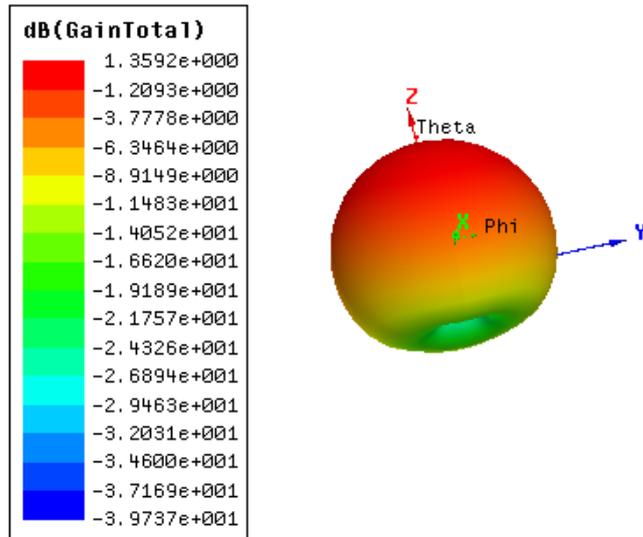


Figure II.22 : Le diagramme de rayonnement en gain en 3D de nouveau substrat d'antenne patch

Nous observons que la valeur de gain maximale égale à 1.35 dB est inférieure à celle obtenue dans l'antenne précédemment conçue dans la Figure II.9.

La taille et la forme d'une antenne peuvent affecter son diagramme de rayonnement. Par ailleurs, l'augmentation des dimensions de substrat diminue la valeur du gain.

V.1.3 L'effet de matériau sur les performances d'antenne:

On change le matériau de substrat d'antenne patch par (FR4_epoxy) et on obtient les résultats suivants :

Le coefficient de réflexion :

Pour savoir l'influence de matériau sur le coefficient de réflexion de l'antenne patch une étude minutieuse a été réalisée comme l'illustre la figure suivante :

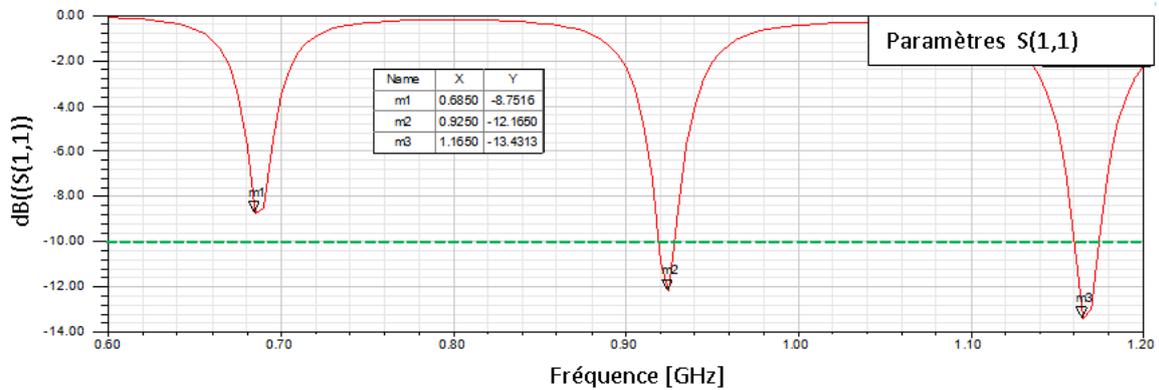


Figure II.23 : Le coefficient de réflexion d'antenne patch pour le matériau FR4_epoxy

Nous observons avec une grande acuité l'émergence de trois pics distincts à des fréquences de 685 MHz, 925 MHz et 1,165 GHz, accompagnés de coefficients de réflexion inférieurs à -10 dB. Il est remarquable de constater que ces valeurs de fréquence surpassent notre fréquence de résonance souhaitée. Par conséquent, le matériau FR4 _epoxy est utilisé pour se diriger vers les fréquences élevées.

Le gain :

La figure suivante représente le diagramme de rayonnement en gain en 3D de substrat (FR4 _epoxy):

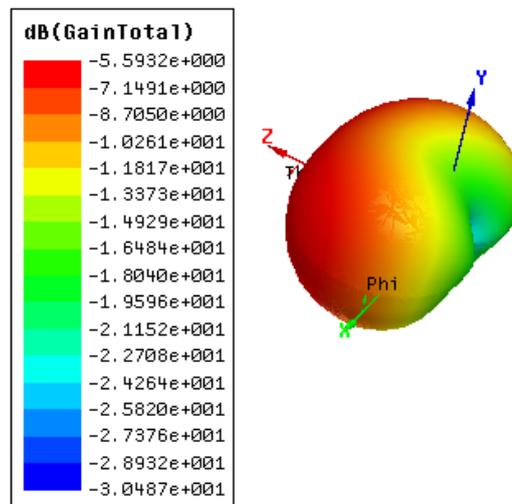


Figure II.24 : Le gain en 3D d'antenne patch de substrat (FR4 _epoxy)

Lors de notre observation, nous remarquons que la valeur maximale du gain, qui est de -5,59 dB, est inférieure à celle obtenue dans la Figure II.9. Cela indique que le choix du matériau de substrat peut influencer de manière significative sur les performances de l'antenne, notamment en ce qui concerne le diagramme de rayonnement. Par conséquent, il est primordial de tenir compte de ce facteur lors de la conception et de l'optimisation de l'antenne.

V.2 Antenne monopôle :

V.2.1 Les dimensions de substrat:

Le coefficient de réflexion :

En ce qui concerne l'influence des dimensions de substrat sur l'évolution du coefficient de réflexion, une étude minutieuse a été réalisée comme l'illustre la Figure suivante.

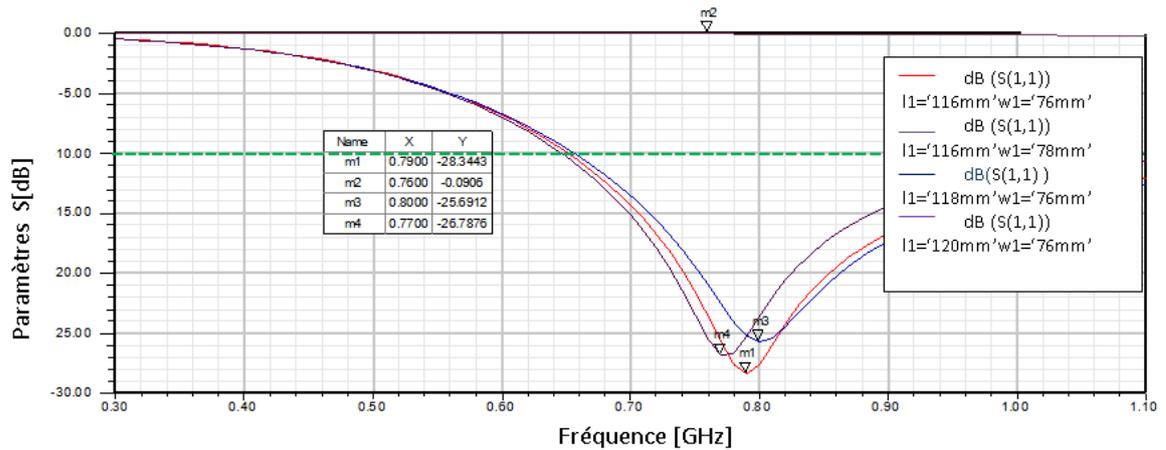


Figure II.25: coefficient de réflexion des diverses dimensions de substrat pour l'antenne monopole

En étudiant attentivement les résultats, nous constatons que pour des dimensions spécifiques, telles que $l_1=116$ mm et $w_1=76$ mm, la fréquence de résonance est de 790 MHz. De plus, en augmentant légèrement les dimensions à $l_1=118$ mm et $w_1=76$ mm, nous observons que la fréquence de résonance passe à 800 MHz. Enfin, pour $l_1=120$ mm et $w_1=76$ mm, l'antenne présente une fréquence de résonance de 770 MHz.

Ainsi, nous pouvons conclure que plus les dimensions du substrat augmentent, plus la valeur de la fréquence de résonance tend vers les basses fréquences. Cette observation souligne l'importance des dimensions du substrat dans le comportement de l'antenne.

Le gain :

Les valeurs du gain des diverses dimensions de substrat illustrée par la figure II.26.

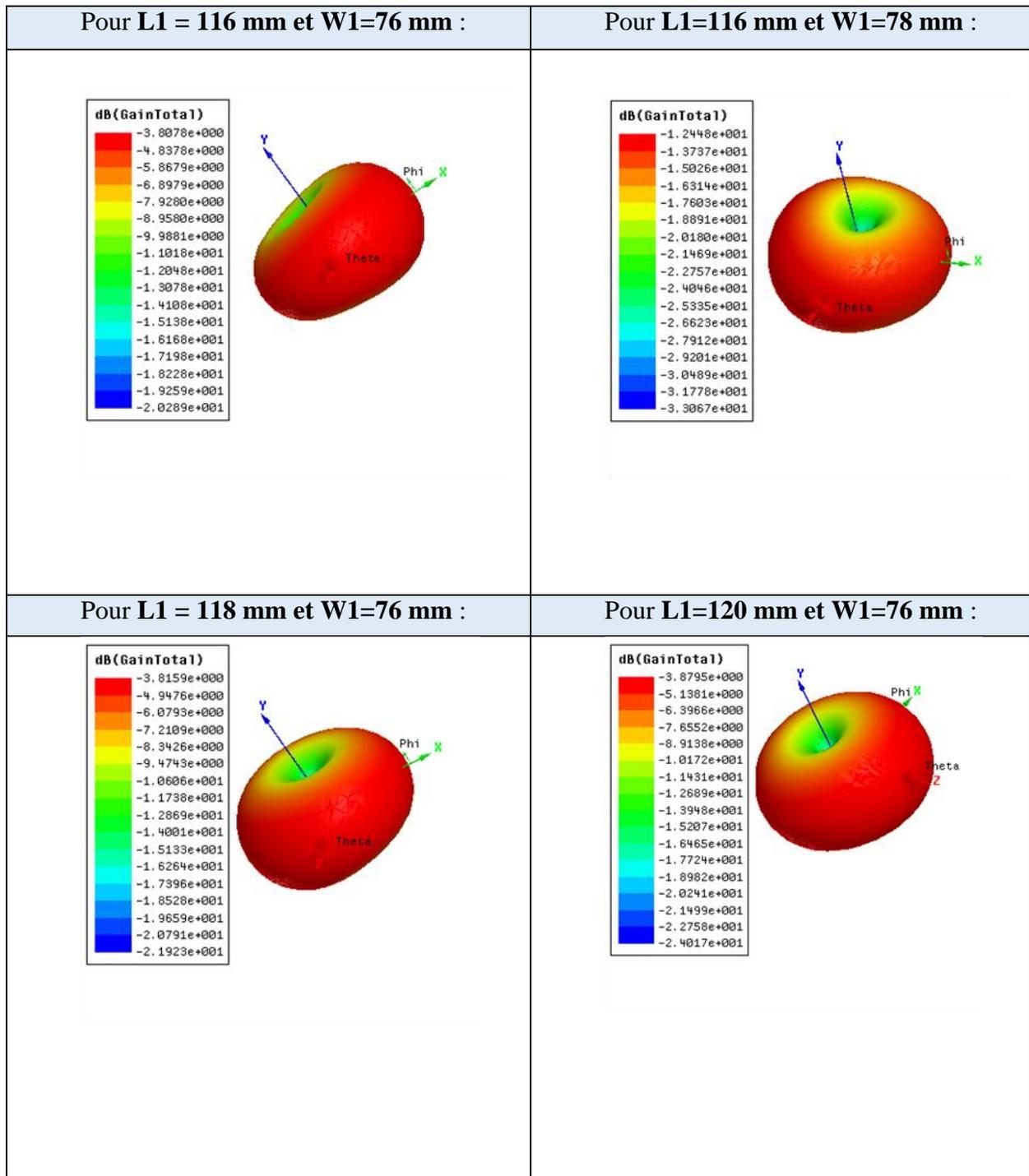


Figure II.26: Le gain des diverses dimensions de substrat pour l'antenne monopole

Nous constatons que la valeur maximale du gain est de -3.80 dB pour des dimensions de $l_1=116$ mm et $w_1=76$ mm. Cependant, lorsque nous modifions les dimensions à $l_1=116$ mm et $w_1=78$ mm, l'antenne présente une valeur maximale du gain de -0.12 dB. En observant davantage, nous notons que la valeur maximale du gain pour cette antenne est de -3.81 dB lorsque $l_1=118$ mm et $w_1=76$ mm, tandis que les dimensions $l_1=120$ mm et $w_1=76$ mm donnent une valeur maximale du gain de -3.87 dB.

Nous en concluons que nos dimensions sont optimales pour cette configuration d'antenne monopôle, car plus les dimensions du substrat augmentent, plus la valeur du gain maximal diminue. La taille de substrat peut avoir un effet important sur son fonctionnement, en influençant des éléments tels que la fréquence de résonance, le coefficient de réflexion, la largeur de bande et le gain.

Dans la partie suivante, on s'intéresse à l'influence des dimensions de l'antenne sur sa performance.

V.2.2 les dimensions d'antenne (ellipse):

Coefficient de réflexion :

Ensuite, en faisant varier la valeur de rayon d'antenne (ellipse) par 'A= 33mm', le module du coefficient de réflexion S_{11} s'améliore dans une fréquence de résonance qui dépasse 835Mhz comme le montre la Figure suivante.

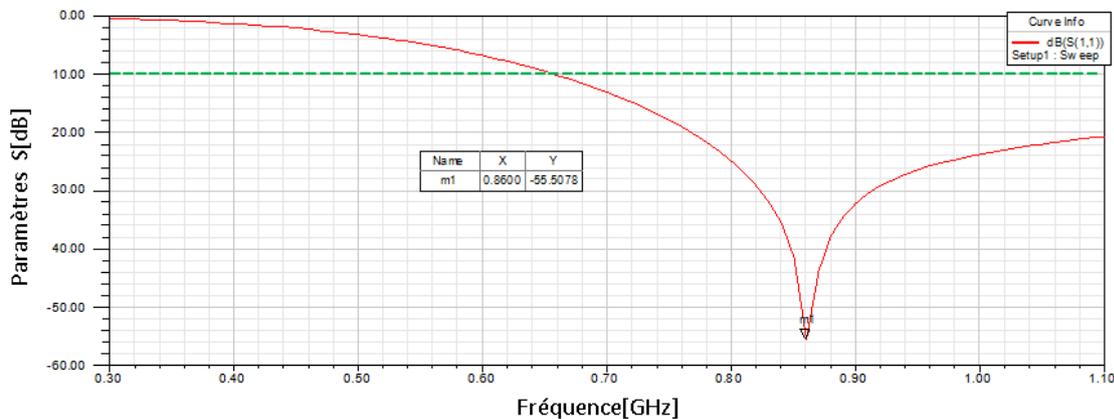


Figure II.27 : Le coefficient de réflexion de nouveau rayon d'antenne monopole

Après avoir mené cette étude paramétrique, nous remarquons que la forme circulaire favorise la propriété large bande et une tendance vers les hautes fréquences. Nous constatons ainsi l'apparition d'une fréquence de résonance de 860 MHz, qui est supérieure à notre fréquence de résonance initiale.

Le gain :

La figure suivante représente le diagramme de rayonnement en gain en 3D pour le nouveau rayon d'antenne (ellipse):

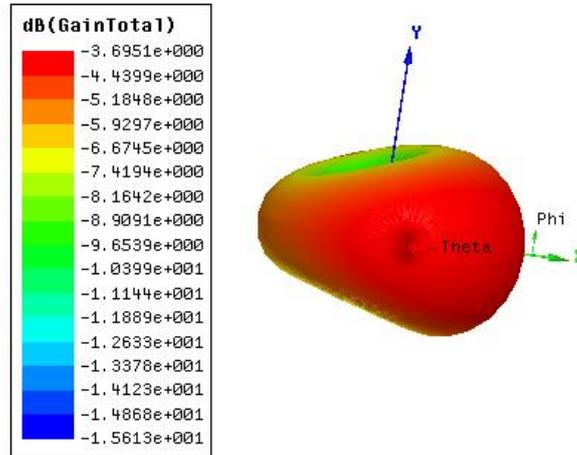


Figure II.28 : Le diagramme de rayonnement en gain en 3D de nouveau rayon d'antenne monopole

Nous pouvons observer que la valeur maximale du gain, qui atteint -3,69 dB, est supérieure à celle obtenue dans la Figure II.15. Lorsqu'il s'agit de concevoir une antenne, Il est essentiel de choisir les dimensions d'antenne appropriées afin d'optimiser ses performances.

En faisant varier ensuite le matériau de substrat d'antenne monopole par (FR4 _epoxy) du constant diélectrique de 4.4 pour voir son influence sur les performances d'antenne.

V.2.3 L'effet de matériau sur les performances d'antenne:

L'influence de matériau sur les performances de substrat est illustrée par les résultats suivants :

Le coefficient de réflexion :

Nous observons sur la Figure suivante une large bande passante et bonne adaptation mais pour une fréquence de 810Mhz.

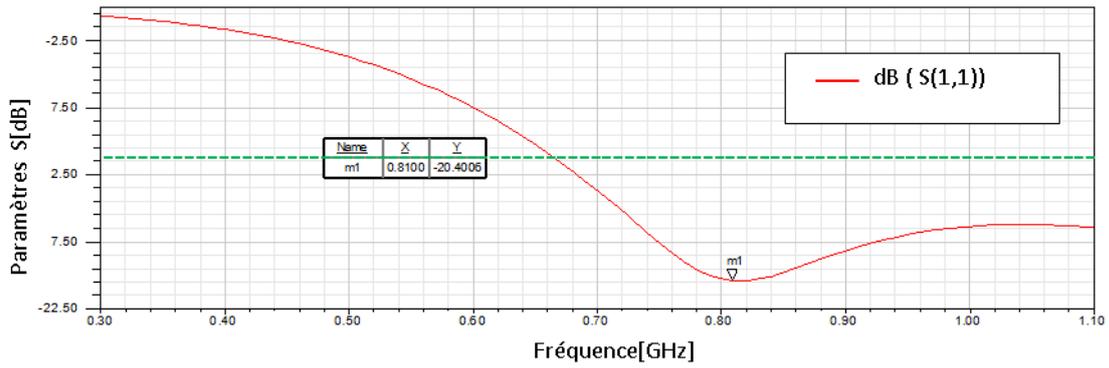


Figure II.29 : Le coefficient de réflexion de substrat (FR4 _epoxy) d'antenne monopole

Nous observons que la fréquence de résonance du substrat FR4 _epoxy est de 810 MHz. Il est important de souligner que cette valeur est inférieure à notre fréquence cible souhaitée. Par conséquent, le choix du matériau pour l'antenne monopôle entraîne une diminution progressive de la fréquence de résonance vers les basses fréquences.

Le gain :

Une vue en 3D du diagramme de rayonnement est présentée à la Figure suivante de substrat (FR4 _epoxy) d'antenne monopôle :

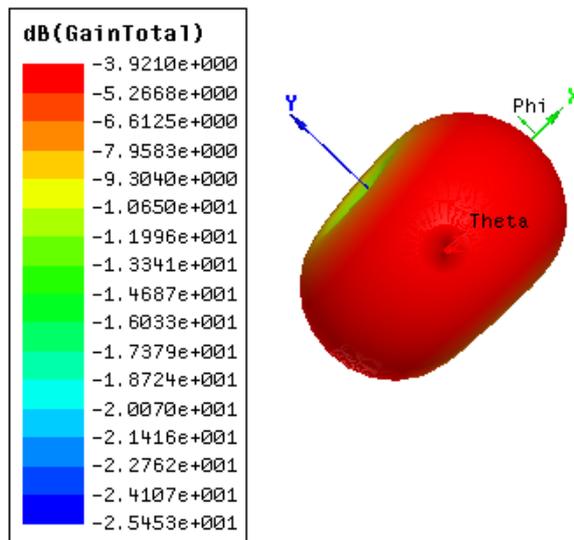


Figure II.30 : Le diagramme de rayonnement en 3D de substrat (FR4 _epoxy) d'antenne monopôle

Nous pouvons observer que la valeur maximale du gain, qui est de -3,92 dB, est inférieure à celle obtenue dans la Figure II.15. La constante diélectrique du matériau peut avoir un impact sur le diagramme de rayonnement ce qui, à son tour, peut influencer le gain de l'antenne ainsi que son coefficient de réflexion.

VI. Conclusion :

Pour une fréquence particulière de 835 MHz, nous avons examiné dans ce chapitre les performances de trois antennes fréquemment utilisées pour les systèmes de communication des UAV. Cependant, il a été découvert que leurs différentes limites inhérentes étaient insuffisantes pour un fonctionnement fiable des UAV.

Une nouvelle antenne monopôle à large bande montée en surface pour les communications VHF des drones a été proposée pour résoudre ces difficultés et a le potentiel d'améliorer les performances et la fiabilité. Cette antenne est une amélioration prometteuse pour les systèmes de communication drone dans une variété d'applications puisqu'elle peut être adaptée à des portées particulières.

Chapitre III :

Conception et

Caractérisation

Introduction :

Le développement de la technologie aéronautique repose sur les capacités de navigation et de communication des avions. Les antennes des systèmes de radionavigation et de communication aéroportés doivent être omnidirectionnelles et bien adaptées à l'émetteur-récepteur qui leur est associé afin de permettre une communication et une navigation sûres et fiables pour les UAVs. L'optimisation de la taille de l'antenne et la réduction de la traînée aérodynamique pendant le vol devraient être les principaux objectifs de la conception de l'antenne. Par ailleurs, il est nécessaire de construire des antennes capables de résister à des phénomènes environnementaux tels que l'accumulation de charges statiques, la foudre, l'érosion et l'infiltration d'eau. Outre ces caractéristiques, l'installation doit être simple pour faciliter la maintenance.

Dans ce chapitre, nous discuterons sur la conception et la réalisation d'une nouvelle antenne surface de type monopôle montée sur UAV qui répond à la fois aux besoins ou exigences que nous avons désigné pour les communications avec UAV ainsi qu'aux exigences de la radionavigation et des systèmes de communication aéroportés, telles que la largeur de bande, la forme du diagramme de rayonnement, le gain élevé, le type de polarisation et l'efficacité. Nous utiliserons également le logiciel HFSS pour analyser et simuler ce nouveau type d'antenne et nous comparons les résultats obtenues par cette simulation avec les résultats des différentes mesures prises en réalisation.

En raison de diverses conditions, les résultats réels ne correspondent pas en général exactement aux résultats de la simulation, mais la mesure soit toujours la méthode la plus fiable pour vérifier les résultats théoriques.

I. Conception d'antenne Monopole reconfigurable aéroportée :

I.1 Géométrie :

La structure de ce type d'antenne est composée de deux éléments en cuivre d'une épaisseur extrêmement fins de 0.035 mm. Les paramètres géométriques de notre antenne proposée sont définis de la façon suivante un élément rayonnant constitué d'une plaque rectangulaire de 50 * 16 mm et d'un demi-cercle de 90 millimètres de rayon.

L'antenne est alimenté d'une façon directe, le point d'alimentation est situé dans l'axe Y dont la distance entre les deux éléments d'antenne est de 1 mm à une fréquence de 835MHz et d'une impédance caractéristique $Z=50\Omega$.

L'antenne sera modifiée pour être placée sous l'aile du drone Clark Y et répondre à notre besoin, car elle est actuellement configurée pour fonctionner d'une certaine manière.

Cette reconfiguration est nécessaire pour maintenir les performances de l'antenne lorsqu'elle est placée sur le PLA (matériau de l'aile), comme elle est illustrée dans la Figure III.1.

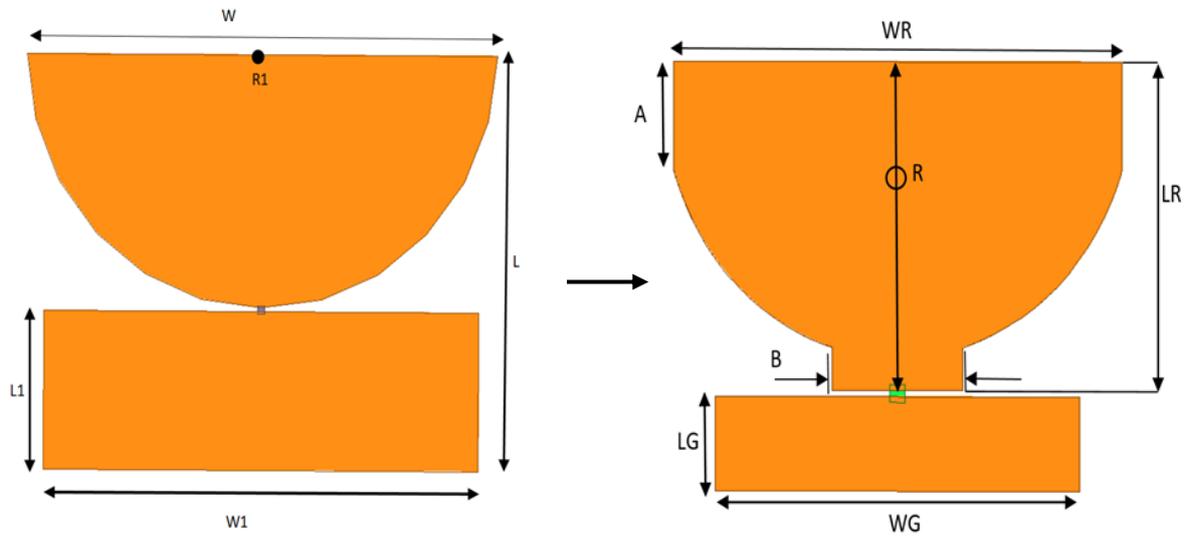


Figure III.1 : Reconfiguration d'antenne monopole de type surface montée

Le PLA (acide polylactique) est le matériau d'impression 3D le plus courant car il est facile à utiliser et est fabriqué à partir de ressources renouvelables et donc biodégradables et aussi facile à imprimer et toujours fiable. Il a une tangente de perte de 0,08 et une permittivité relative de 2,8. C'est le matériau idéal pour cette application grâce à son faible point de fusion, sa forte résistance, sa dilatation thermique minimale, sa bonne adhérence à la couche et sa grande résistance à la chaleur pendant le recuit.

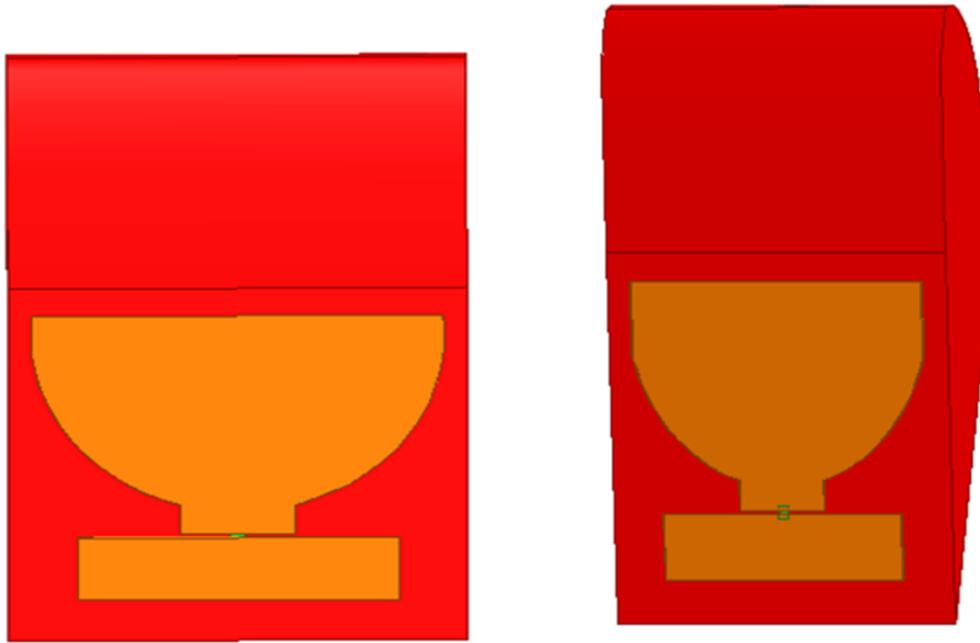


Figure III.2 : Positionnement d'antenne monopole de type surface montée sur l'aile d'UAV

I.2 Les dimensions de l'antenne monopole de type surface:

Les dimensions de nouvelle antenne monopole alimentée d'une façon directe sont représentées dans le tableau suivant.

paramètres	w	L	W1	L1	R1	WR	LR	WG	LG	R	A	B
Longueur (mm)	126	42	136	110	68	172	117	140	32	90	36.5	50

Tableau II.5: Paramètres de l'antenne monopole de type surface

I.3 Résultat de simulation :

I.3.1 Coefficient de réflexion :

La figure suivante représente la courbe de coefficient de réflexion d'antenne monopole de type surface.

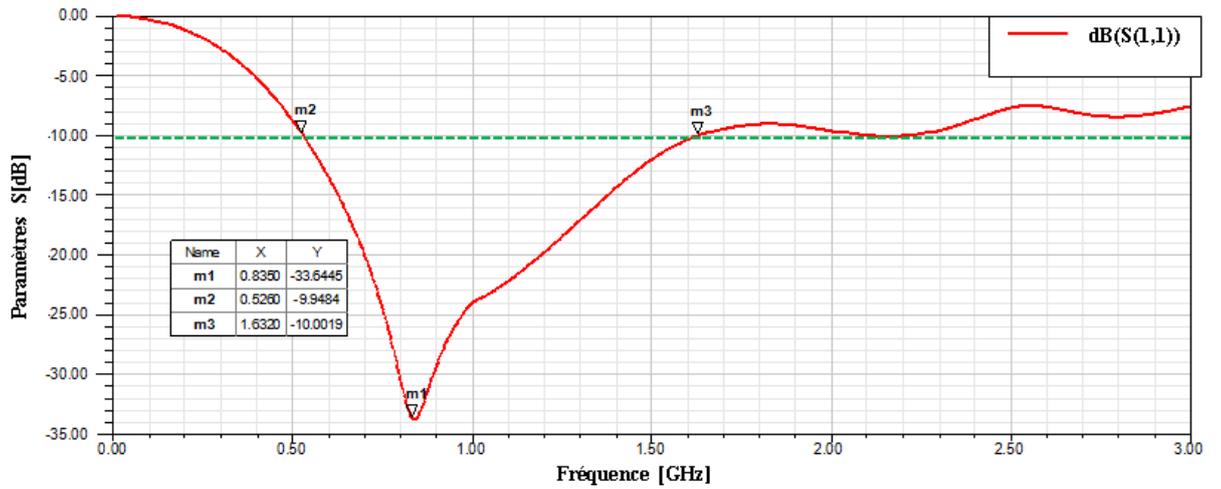


Figure III.3 : Le coefficient de réflexion d’antenne monopole de type surface

Autour de fréquence de résonance 835 MHz le coefficient de réflexion $S_{11} = -33.64$ dB. Pour une bonne adaptation de l'antenne, nous notons qu'un coefficient de réflexion inférieur à -10dB est suffisant sur toute la plage de fréquence désirées. Donc l'antenne rayonne bien dans la bande passante de 1.06 MHz.

I.3.2 Les diagrammes de rayonnement:

Les diagrammes de rayonnement simulés de cette structure de base sont de forme omnidirectionnelle. Le diagramme de rayonnement en gain de cette antenne est représenté dans l'espace 3D en dB à 835 MHz sur la Figure III.4. L'antenne présente une valeur de gain de 0.8 dB suggère que l'antenne ne fonctionne pas de manière optimale en termes de puissance rayonnante dans une direction particulière.

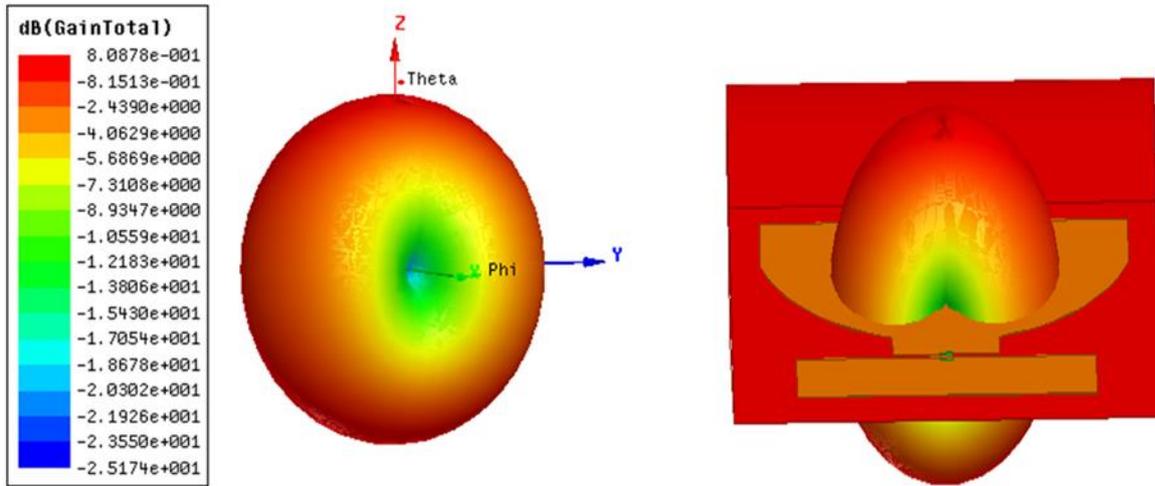


Figure III.4 : Diagramme de rayonnement en 3D du gain d'antenne monopole de type surface

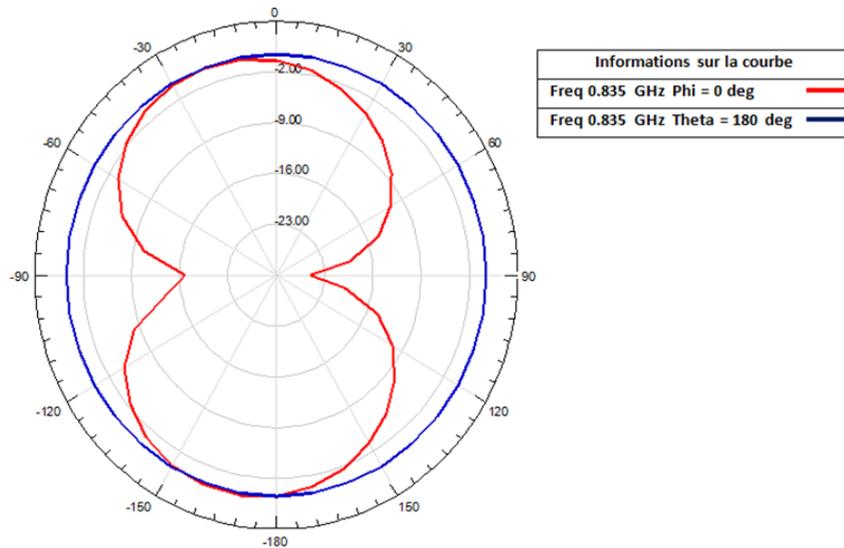


Figure III.5 : Diagrammes de rayonnement en 2D simulés à 835 MHz d'antenne monopole de type surface

I.3.3 Impédance d'entrée :

Il est important de noter que l'impédance d'entrée d'une antenne est un paramètre crucial pour un transfert de puissance et une adaptation d'impédance efficaces dans les systèmes d'antennes. Il est donc essentiel de comprendre l'influence de la géométrie et de l'alimentation sur l'impédance d'entrée pour optimiser les performances de l'antenne. L'impédance d'entrée de l'antenne est une valeur complexe qu'on cherche généralement et à annuler sa partie imaginaire et se placer au plus près d'une résonance. La figure suivante montre une impédance d'une partie réelle égale à 50 et partie imaginaire égale à 0.

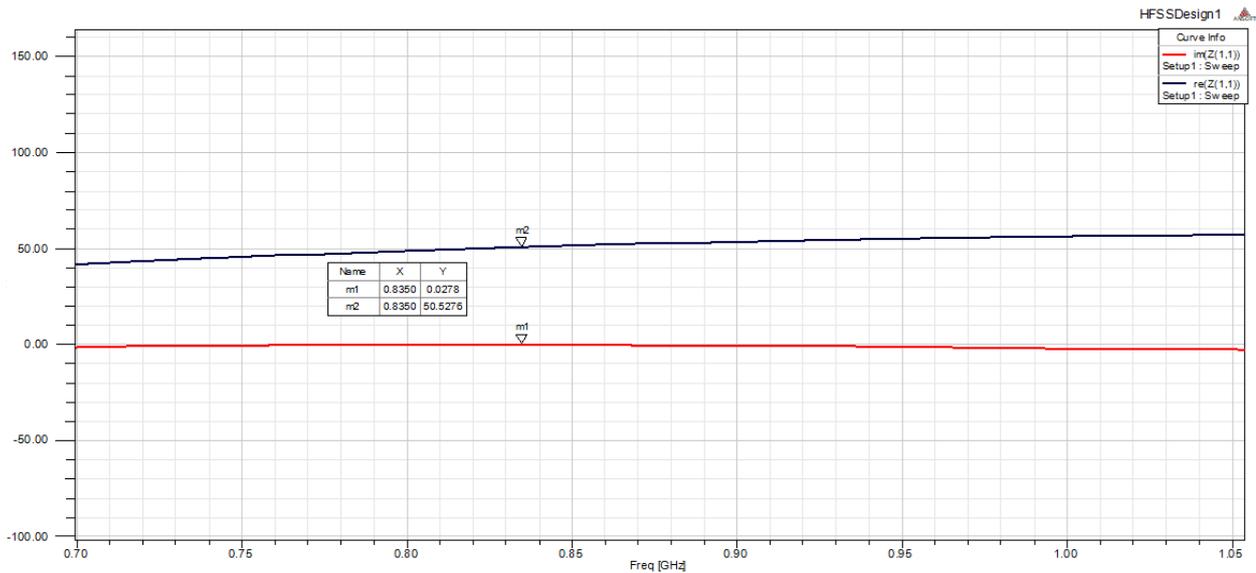


Figure III.6 : Impédance d'entrée de l'antenne proposée

Comme on peut le voir, il y a une bonne adaptation pour la fréquence (835 MHz), où la composante réelle de l'impédance est égale à 50 et la partie imaginaire est presque égale à 0(0.0278), donc on peut dire que la ligne d'alimentation et l'élément rayonnant ont une adaptation d'impédance.

I.3.4 Distribution surfacique du courant :

La figure suivante représente la distribution du courant de surface de l'antenne proposée. La couleur rouge représente le courant de surface maximal. Le courant traverse la ligne de transmission et se concentre sur les bords de l'élément rayonnant lorsque l'antenne est excitée par le port. Un mode de résonance unique et clairement défini est produit par cette concentration de courant sur les bords, ce qui permet d'obtenir la fréquence de résonance requise. L'antenne proposée rayonne effectivement plus d'énergie tout en ayant une faible perte de retour inférieure à -10dB.

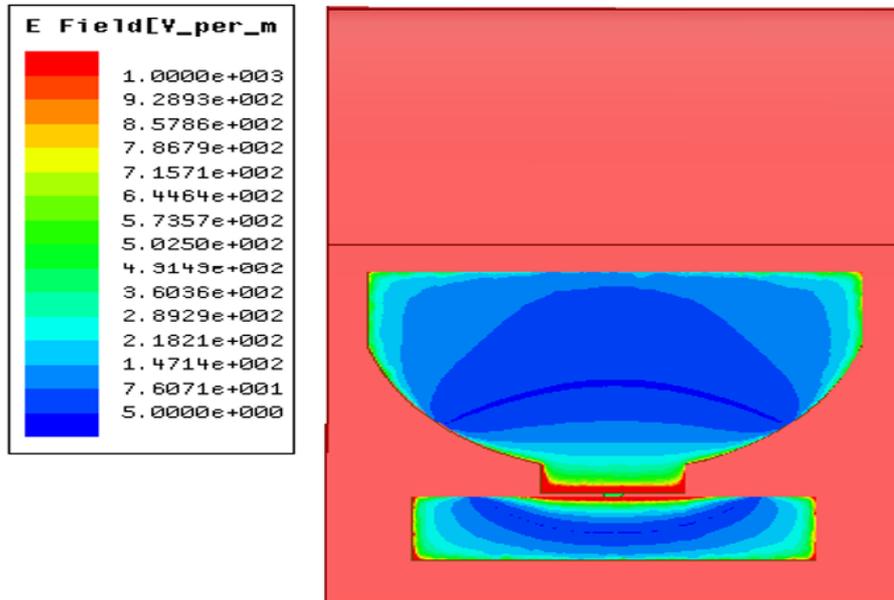


Figure III.7 : Distribution surfacique du courant de l'antenne proposée

I.4 L'influence des dimensions d'antenne sur leur performance :

Le coefficient de réflexion : la figure suivante représente l'influence des différentes dimensions d'antenne sur son coefficient de réflexion.

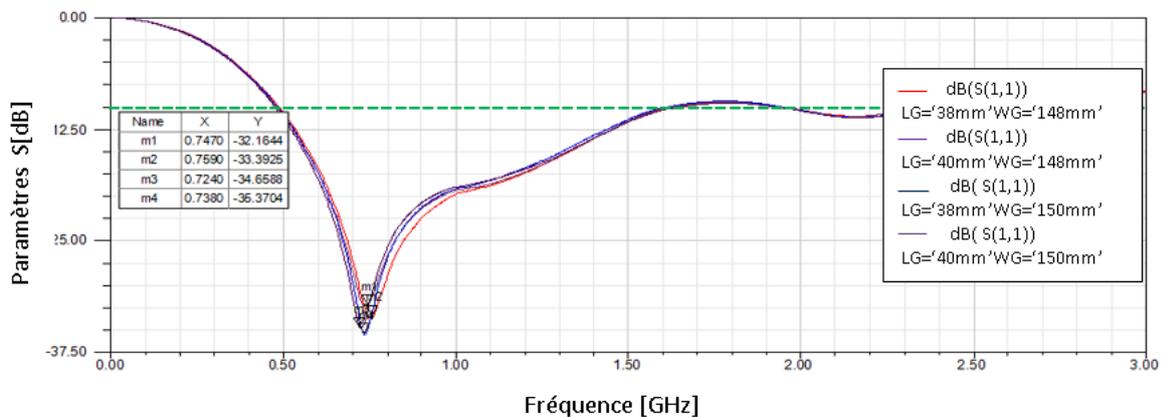


Figure III.8 : L'influence de diverses dimensions d'antenne proposée sur son coefficient de réflexion

Nous constatons que la fréquence de résonance est de 759 MHz pour des dimensions de LG=38 mm et WG=148 mm. De plus, nous observons une fréquence de résonance de 724 MHz pour LG=40 mm et WG=148 mm, et une fréquence de résonance de 738 MHz pour LG=38 mm et WG=150 mm. Enfin, l'antenne présente une fréquence de résonance de 747 MHz pour des dimensions de LG=40 mm et WG=150 mm. Il est intéressant de noter que toutes ces fréquences sont inférieures à notre fréquence de résonance initiale. Ainsi, en

augmentant les dimensions de l'antenne proposée, nous nous dirigeons vers des fréquences plus basses.

Le gain : les figures suivantes représentent les gains des diverses dimensions d'antenne proposée.

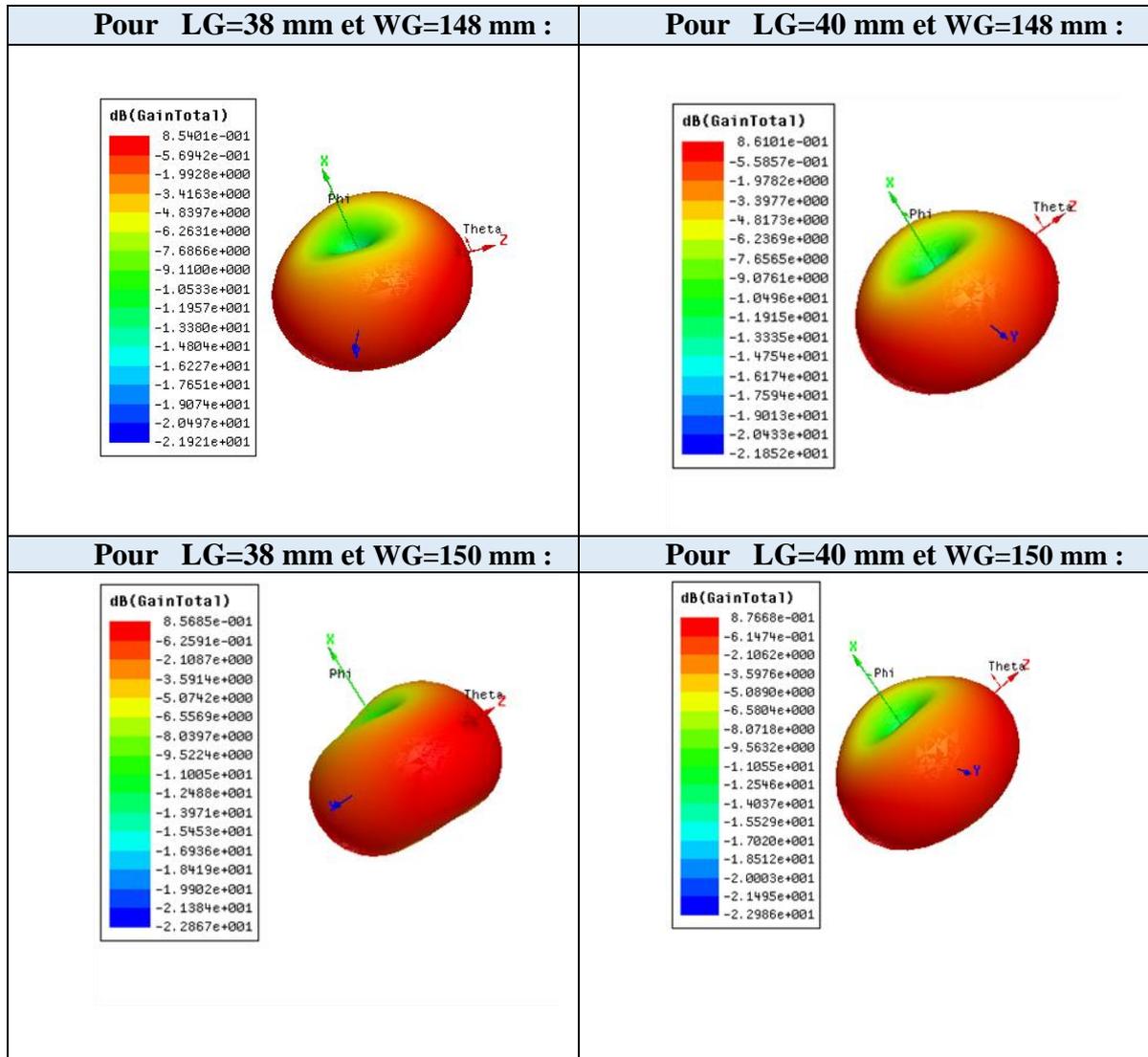


Figure III. 9 : Les gains des différentes dimensions d'antenne proposée

En analysant attentivement les valeurs du gain pour les différentes dimensions de l'antenne proposée, nous parvenons à la conclusion suivante : à mesure que les dimensions de l'antenne augmentent, la valeur maximale du gain augmente également. Cependant, il convient de noter que ces augmentations dimensionnelles ont un effet négatif sur les valeurs du coefficient de réflexion. Par conséquent, nos dimensions actuelles se révèlent idéales

pour cette géométrie d'antenne proposée, car elles permettent d'obtenir à la fois une valeur maximale de gain satisfaisante et des valeurs de coefficient de réflexion acceptables.

I.5 Réalisation :

I.5.1 Réalisation de l'antenne :

Dans le laboratoire des circuits imprimés, la construction, l'implémentation et le positionnement de la forme de l'antenne ont été réalisés. A l'ESTA (Ecole Supérieure des Techniques de l'Aéronautique), L'antenne est montée sous une aile de type Clark Y réalisée en impression 3D et construite en PLA (polylactide).



Figure III.10 : Antenne réalisée

I.5.2 Réalisation d'aile :

La figure III.11 illustre l'impression 3D de l'aile de type Y de Clark réalisée dans le laboratoire structurel de l'ESTA en utilisant du PLA (polylactide).

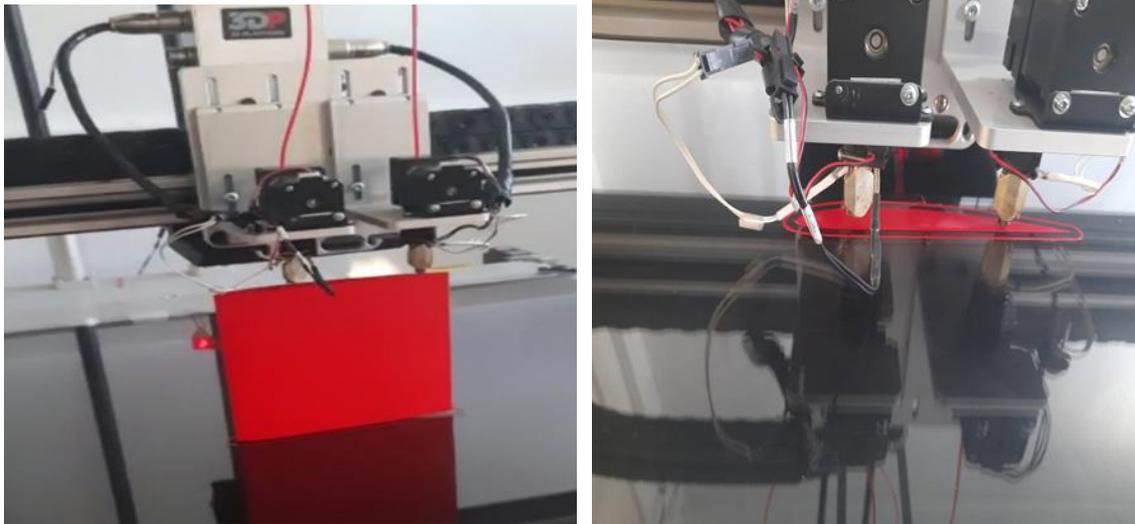


Figure III.11 : Aile réalisée

I.6 Mesure des caractéristiques d'antenne :

I.6.1 Mesure de coefficient de réflexion :

Instrument de mesure :

Après l'installation de l'antenne, les mesures nécessaires ont été faites à l'USTHB (Université des Sciences et Technologies Houari Boumediene), qui possède les outils appropriés pour ce type de mesures.

Nous avons utilisé un analyseur de réseaux vectoriels portatifs de la série ZVH conçu par la société Rohde&Schwarz comme représente la figure suivante. C'est un analyseur de câble et d'antenne robuste et pratique, conçu pour être utilisé sur le terrain. Son faible poids et sa simplicité d'utilisation le rendent indispensable à tous ceux qui ont besoin d'un instrument de mesure efficace en extérieur pour l'installation et la maintenance de systèmes d'antennes. il est principalement fonctionné pour mesurer des coefficients de réflexion (S_{11} , S_{22}).L'appareil est doté d'un écran intuitif et facile à lire qui fournit des graphiques et des données de mesure en temps réel. Un connecteur coaxial SMA est utilisé pour établir la connexion. Les multiples ports d'entrée et de sortie de l'analyseur de réseau vectoriel portable permettent une connexion directe à un réseau ou à un composant. Il produit des signaux et analyse les phases, les amplitudes et les signaux incidents.



Figure III.12 : Analyseur de réseaux vectoriels portatifs de la série ZVH [22]

L'équipement a été calibré avant d'être utilisé pour des mesures. L'étalonnage manuel se fait à l'aide d'un kit spécialisé. Étant donné qu'il élimine les impacts des fils, cette étape doit être achevée avant que les mesures ne puissent commencer. Un court-circuit, un circuit ouvert et une charge adaptée ont été utilisés dans la procédure d'étalonnage SOL (Short, Open, Load), qui consiste à mesurer le coefficient de réflexion de chaque élément standard à tour de rôle jusqu'à ce que les coefficients de réflexion théoriques soient déterminés.

Résultats de Mesure :



Figure III.13 : Antenne proposée lors de la mesure du son coefficient de réflexion

Le graphe obtenu par la mesure de coefficient de réflexion est comparé avec les résultats de simulations comme montre la figure suivante.

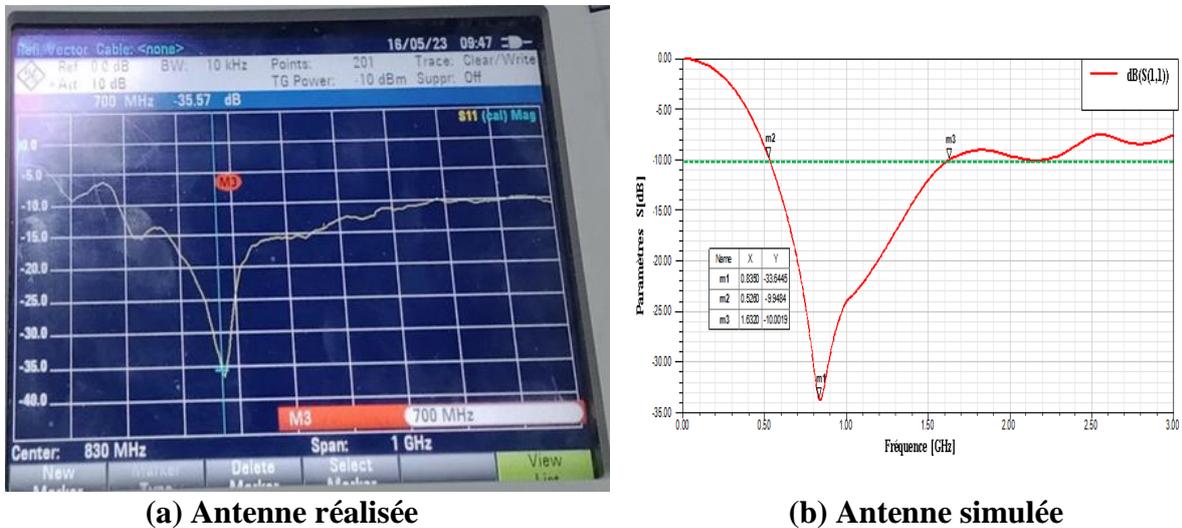


Figure III.14 : Comparaison des résultats de coefficient de réflexion

Les Figures III.14(a) et III.14(b) représentent les résultats de caractérisation d'antenne réalisée en termes de coefficient de réflexion d'antenne réalisée et simulée. Comme on peut l'observer, l'antenne mesurée (a) a une gamme de fréquences décalée de -10 dB qui se situe entre 525 et 1320 MHz par rapport à la bande de l'antenne simulée qui se situe entre 526 et 1632 MHz. Ce déplacement est le résultat d'erreurs de fabrication (telles qu'une fixation ou une soudure incorrecte) ainsi que de la démutisation du remplissage de l'aile intérieure en PLA. En termes de coefficient de réflexion autour de la fréquence de résonance, nous observons une adaptation satisfaisante. Nous voyons qu'à la fréquence de résonance, l'adaptation à l'entrée de l'antenne réelle est inférieure à -36 dB, alors qu'à la fréquence de résonance et l'adaptation à l'entrée de l'antenne simulée est inférieure à -33 dB. Il y a également un décalage de fréquence dans le minimum des coefficients de réflexion mesurés (vers les basses fréquences, autour de 140 MHz), mais nous pensons qu'un coefficient de réflexion de moins de 10 dB est suffisant pour assurer une bonne adaptation de l'antenne. En raison de défauts de réalisation, la fréquence de résonance varie entre la simulation et la mesure.

I.6.2 Mesure du diagramme de rayonnement:

Chambre de mesure :

Dans la chambre anéchoïde de l'USTHB des mesures du diagramme de rayonnement sont effectuées.

La chambre anéchoïde est un espace expérimental dans lequel aucun écho ne vient perturber les mesures, car les murs et le plafond sont totalement absorbants pour le son ou le rayonnement électromagnétique. Elle est utilisée pour simuler les conditions de vide et présentée dans la figure suivante :



Figure III.15 : Chambre anéchoïde

Nous visualisons l'intensité du signal reçu pour chaque angle après avoir placé l'antenne test dans la chambre et traçons le diagramme de rayonnement dans le plan H et plan E.



(a) Plan E

(b) Plan H

Figure III.16: Antenne installée dans la chambre anéchoïde

Résultat de mesure :

Les résultats des mesures du diagramme de rayonnement dans la chambre anéchoïde en 2D en combinaison avec les résultats de la simulation dans les plans E et H.

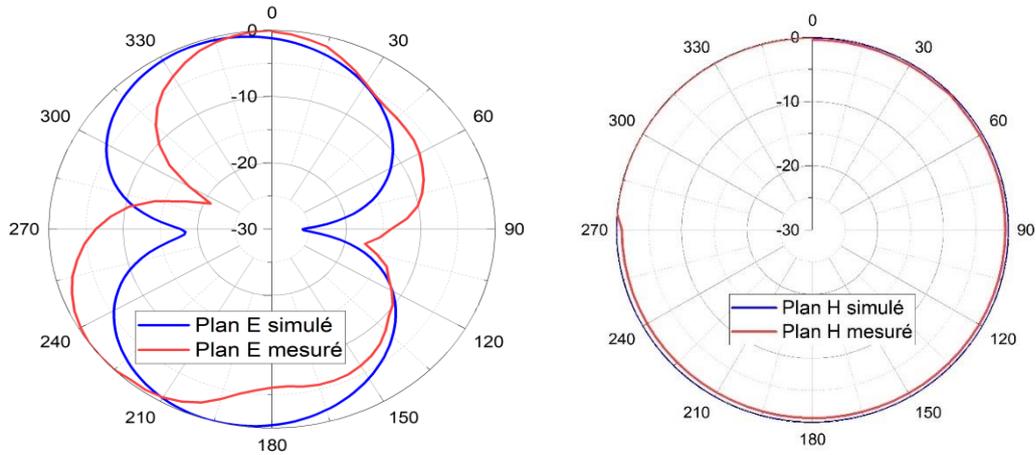


Figure III.17: Comparaison des résultats du diagramme de rayonnement

Le diagramme de rayonnement a été mesuré une nouvelle fois à l'aide d'un banc LAB VOLT au niveau de l'ESTA, et les résultats ont montré un diagramme de rayonnement omnidirectionnel qui correspondait à la géométrie de la simulation, comme le montre la figure III.17.

La figure III.18 illustre les résultats de mesures supplémentaires du diagramme de rayonnement à l'aide d'un banc LAB VOLT, qui a produit un diagramme de rayonnement omnidirectionnel correspondant à la géométrie de la simulation.



Figure III.18 : Antenne installée sur le banc de teste et son Diagramme de rayonnement mesuré

Pour les mesures et les simulations, le plan E est en forme de 8 (bidirectionnel) et le plan H est de forme omnidirectionnel.

La forme générale des diagrammes de rayonnement n'est pas affectée dans la réalisation, mais nous remarquons que l'emplacement précis du point d'alimentation (légèrement décalé) et les sites de soudure peuvent être responsables de l'asymétrie observée. La distribution des courants sur la surface de l'antenne dépend de son état de surface, ce qui est la cause principale des perturbations. Les résultats de la simulation et les mesures correspondent de manière adéquate.

II. Conclusion :

La conception, la production et l'évaluation d'une antenne proposée sont les principaux éléments de ce chapitre. Nous avons montré qu'il est possible de créer de toutes nouvelles antennes qui satisfont aux exigences et aux besoins de la communication par drone. Les résultats montrent que l'antenne créée est fiable et capable de surmonter les problèmes décrits. Cette antenne semble convenir à une gamme d'applications dans la bande de fréquence choisie, sur la base de ses performances en termes d'adaptation, de rayonnement et de gain.

Conclusion Générale :

Grâce à ce travail, nous avons pu acquérir une initiation à la recherche dans le domaine des antennes. Tout d'abord, nous avons revu la théorie des antennes, en examinant leurs composants essentiels et leurs caractéristiques. En outre, nous avons étudié les antennes aéroportées, les antennes reconfigurables et les technologies d'antennes imprimées, ainsi que leurs caractéristiques uniques.

Les résultats des simulations de plusieurs types d'antennes proposées pour assurer la communication avec les UAV sont présentés dans un deuxième temps, et en dernier temps une toute nouvelle antenne monopôle montée en surface, créée pour résoudre les difficultés de la communication aéroportée.

À l'aide du logiciel de modélisation hyperfréquence HFSS, nous avons apporté quelques modifications structurelles à l'antenne afin d'améliorer ses performances. L'objectif principal de cette étude était de concevoir et de construire une antenne reconfigurable pour les communications des drones, adaptée à la gamme de fréquences UHF pour une fréquence spécifique de 835 MHz.

Nous pouvons créer une communication fiable et efficace avec les drones en couplant cette antenne reconfigurable au module RF-LORA-868-SO, dont les caractéristiques sont présentées dans le tableau qui suit.

Modulation RF	FSK, GFSK, GMSK, LoRa, MSK, OOK
Débit de données maximal	300 Kbps
Fréquence maximale	868 MHz
Sensibilité en dBm	-130 dBm
Tension d'alimentation minimale	1,8 V
Tension d'alimentation maximale	3,6 V
Puissance d'émission	20 dBm
Interface du module	SPI
Courant d'alimentation	125 mA
Applications de l'émetteur-récepteur RF	Alarmes, Automatisation résidentielle, Systèmes d'irrigation, Télémétrie longue portée, Réseaux de capteurs

Tableau III.1 : Les caractéristiques de la carte RF LORA 868 SO [23]

Notre capacité à communiquer des ordres, à recevoir des données ou à échanger des informations en temps réel est rendue possible par la combinaison de ces technologies, qui nous offre également une longue portée, une faible consommation d'énergie et une communication fiable. Cette conception nous offre une solution complète et fiable, ce qui est bénéfique lorsque nous travaillons avec des drones qui peuvent voler à différentes hauteurs sur des terrains difficiles.

Cette réalisation d'antenne illustre les connaissances que nous avons acquises grâce à nos recherches et ouvre la voie à de nombreuses utilisations potentielles à l'avenir.

Nos travaux se complètent en installant ce nouveau type d'antenne sur un UAV et en effectuant les tests nécessaires pour s'assurer de son bon fonctionnement lors de la mission de vol. Plus précisément, l'UAV devra être capable de récupérer le signal perdu dans une zone isolée et de servir de relais entre cette zone et la station au sol souhaitée.

Référence:

- [1] Jong Myung Woo (2020) «Antenne monopolaire à large bande modifiée pour les avions sans pilote communication avec les véhicules » Département des sciences et de l'ingénierie radio, Université nationale de Chungnam, Daejeon, République de Corée.
- [2] Simon Wittevrongel (2020, Août) « Nouvelles antennes à profil bas multi-standards pour application aéronautique» Département de Génie Électrique, Université de Montréal.
- [3] Balanis, C. A (2016) « Antenna Theory: Analysis and Design».
- [4] Mohamed Mansouri et El haithem Ezzeroug, « Conception et simulation d'une antenne Patch ultra large bande [1-8 GHz] » Mémoire Master en aéronautique, Institut d'aéronautique et des études spatiales, Blida.
- [5] A.Boyer (2011, octobre) « Cours_antennes_oct11_v4_5RT » INSA, Toulouse .
- [6] Zahir Hamouda (2016, Mai) « antenne microondes souples ultra large bandes à base de matériaux composites» Thèse de Doctorat, Université Saad Dahleb Institut d'aéronautique et des études spatiales, Blida.
- [7] Dunod, Paris , O.Picon, Coll (2009) « Les Antennes, théorie, conception et applications », 978-210-051989-7.
- [8] «Antenne dipôle colinéaire Description, fonctionnement et réalisation ». <https://f5zv.pagesperso-orange.fr/RADIO/RM/RM08/RM08G14.html> (consulté le 25 juin 2023).
- [9] «Monopole – MicrowaveTools ». <https://www.microwavetools.com/monopole/> (consulté le 25 juin 2023).
- [10] Marco Lisi , Piero Angeletti(2002, Janvier) «Airborne Antennas for Broadband Satellite Communications» The Netherlands.
- [11] « Les antennes sur un 737 », Forum de Simulation Aérienne & Homecockpit, 3 juin 2019. <https://www.flightpilote.fr/threads/les-antennes-sur-un-737.1916/> (consulté le 25 juin 2023).
- [12] F.Daout, S. Jacquet, X. Durocher, G. Holtzmer (2009, Janvier) « Conception, Simulation, Réalisation et mesure d'une antenne imprimée rectangulaire 2.4 GHz » IUT Ville d'Avray, Dep GEII, 50 rue de Sèvres, 92410 Ville D'avray.

- [13] REFICE Mohamed Lamine (2014) « Modélisation et simulation des antennes en onde Millimétrique à base de méta matériaux » Mémoire Magister en microondes, Université Ziane Achour Faculté des Sciences et de la Technologie, Djelfa.
- [14] Sidi Yakoub Wafa ,Khatir BenMeheimda Bochra (2021) «Conception d'un réseau d'antennes patch pour les applications satellitaires en bande C» Mémoire de Fin d'Etudes Master,Centre Universitaire Belhadj Bouchaib ,Ain-Temouchent.
- [15] Chouti Leila (2009) « Contribution à l'étude d'antennes imprimées rectangulaires double bande et multi bandes tenant compte de l'effet de couplage» Mémoire de Magister, Université Mentouri,Constantine.
- [16] Boualem MEKIMAH «Etude du fonctionnement en mode bifréquence des patches microbandes empilés et excentrés» Mémoire de Magister, Université Kasdi Merbah, Ouargla.
- [17] Tchouar Faiza , Bensenouci Rabea (2017) «Etude et Conception D'une Antenne Micro ruban pour des applications WBAN» Mémoire de Fin d'Etudes Master, Centre Universitaire Belhadj Bouchaib, Ain-Temouchent.
- [18] Muhammad Usama, Raheel M. Hashmi et Athanasios V. Vasilakos (2018) « Mechanically Reconfigurable Antennas: A Survey » IEEE,Volume 6, Pages 35047-35067 DOI : 10.1109/ACCESS.2018.2858162.
- [19] Mehdipour, Aidin , Denidni, Tayeb A ,Sebak, Abdel-R ,Trueman, Christopher W ,Rosca(2013,Oct) «IET Microwaves, Antennas & Propagation ;Stevenage » Vol. 7, N° 13: 1055-1063.
- [20] Y. Liu, et al (2018) «Antenna Placement Considerations for UAV Communication Systems».
- [21] « Ansys HFSS|3D High Frequency Simulation Software». <https://www.ansys.com/products/electronics/ansys-hfss> (consulté le 25 juin 2023) .
- [22] « Analyseur de signal - R&S®ZVH series - Rohde Schwarz - pour réseau électrique / de réseau de communication / de puissance ». <https://www.directindustry.fr/prod/rohde-schwarz/product-9019-598455.html> (consulté le 25 juin 2023).
- [23] «RF-LORA-868-SO» .<https://www.digikey.com/en/products/detail/rf-solutions/RF-LORA-868-SO/5291460> (consulté le 12 septembre 2023).