

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة البليدة 1  
Université de BLIDA 1

كلية التكنولوجيا  
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك  
Département d'Électronique



## Mémoire de Projet de Fin d'Etudes

présenté par

AINAOUI Siham

&

YOUSFI Ikram

pour l'obtention du diplôme Master en Électronique option Télécommunication & Réseau

Thème

# Conception et réalisation d'une antenne imprimée large bande [1-3 GHz]

Proposé par : Dr HEBIB Sami

Année Universitaire 2014-2015

---

## ملخص:

يتطلب النمو الحديث في مجال الاتصالات ذات النطاق الواسع هوائيات متكيفة خصيصا مع هذه التكنولوجيا. ه أطروحة الماستر التالية مهتمة في تصميم هوائي واسع النطاق. تم اقتراح الهوائي فيفالدي المتقابل الواسع النطاق و الذي يعمل بين 1 و 3 جيجا هيرتز. تعدد المعلمات المتحكممة في هذا الهوائي و ارتباطه بشريط رفيع يغذيه بمقاومة تعادل 50 اوم مكن من تحسين و تطوير أدائه من حيث التكيف و عرض النطاق الترددي و نمط الإشعاع .

نتائج المحاكاة و القياس لهذا الهوائي متوافقة و بالتالي أثبتت فعاليته و عمله الجيد.

**كلمات المفاتيح :** الهوائي, النطاق الواسع, فيفالدي المتقابل, التكيف, المحاكاة, و القياس.

---

**Résumé :** L'essor récent des communications large bande nécessite des antennes spécialement adaptées à cette technologie. Ce mémoire de master répond a ce besoin et s'intéresse à la conception d'antennes large bande.

Une antenne Vivaldi antipodale large bande a été proposée pour un fonctionnement entre 1 et 3 GHz. La multitude de paramètres de cette antenne ont permis l'optimisation de ses performances. Cette antenne imprimée alimentée par une ligne micro-ruban 50  $\Omega$  présente des bonnes performances en termes d'adaptation, bande passante et diagramme de rayonnement. Les résultats de simulation et de mesure de cette antenne sont en accord et valident ainsi son bon fonctionnement.

**Mots clés :** antenne large bande, Vivaldi antipodale, adaptation, simulation, mesure.

---

**Abstract:** The recent growth of broadband communications requires antennas specially adapted for this technology. This master project deals with broadband antenna design. Broadband antipodal Vivaldi antenna was proposed to operate between 1 and 3 GHz. The multitude of parameters of this antenna enabled to optimize its performance. This printed antenna fed by a microstrip line 50  $\Omega$  has good performance in terms of matching, bandwidth and radiation pattern. The results of simulation and measurement of the antenna are in a good agreement and, thus, validate proper operation.

**Keywords :** Broadband antenna, Vivaldi antipodal, matching, simulation, measurement.

---

## Remerciements

---

Tout d'abord, nous souhaitons remercier toute l'équipe pédagogique du Master Réseau & Télécommunication et plus particulièrement Mr Bensebti Messaoud responsable du Master, directeur de laboratoire DIC et chef de département d'électronique.

Nous tenons à remercier tout particulièrement et à témoigner tous nos profondes reconnaissances à notre encadreur Mr HEBIB Sami, pour l'expérience enrichissante qu'il nous a fait vivre durant ce stage, pour sa disponibilité permanente, son aide bénéfique, ses conseils avantageux, ses qualités brillantes aussi bien techniques que morales, son attention incroyable qui nous a permis de mener ce projet de fin d'étude parfaitement. MERCI.

Nous adressons aussi nos sincères gratitudee à l'ensemble du jury qui a accepté de juger ce travail.

MERCI INFINIMENT

## Dédicaces

Je dédie ce travail à toute ma chère famille et mes magnifiques amies.

A mes parents, Pour leur grand amour, leur incroyable soutien, leur gigantesque patience et leur considérables sacrifices.

A mon frère Mohamed Amine et ma sœur Nour el houda.

A mes adorables amis Ahlem, Nesrine, Mounira avec qui j'ai partagé le meilleur et le pire.

A mon binôme et ma sœur Siham.

A tous mes amis et étudiants de ma promotion R&T.

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

IKRAM

## Dédicaces

A mon père et ma mère, aucune dédicace ne peut exprimer ce que je  
dois pour leurs efforts et leurs amours sans mesure, tous les  
sacrifices, les soutiens, Que Dieu les protège et leurs préserve  
bonheur et santé.

A mes sœurs

A mes frères

A mon mari

A tous amis

A tous ceux que j'aime.

A tous ceux qui m'aiment.

*Siham*

## Liste des acronymes et abbreviations

**BLTSA** : Brokentinearly TSA

**CPW** : Coplanar Waveguide

**CWSA** : Constant Width Slot Antenna

**FR 4** : Flame Resistant 4

**GPR** : Ground-Penetrating Radars

**GPS** : Global positioning system

**HFSS** : High frequency structure simulator

**IE3D** : Integrated Electromagnetic 3D

**LTSA** : Linearly TSA

**R&S** : ROHDE & SCHWARZ

**RF** : Radio frequency

**SMA** : Subminiature version A

**TSA** : Tapered Slot Antenna

**ULB** : Ultra Large Bande

**UMTS**: Universel Mobile Telecommunications System

**WiFi** : Wireless Fidelity

**WiMax** : Worldwide introperability for microwave access

# Sommaire

Introduction générale.....	1
<b>CHAPITRE 1 : Généralités sur les antennes .....</b>	<b>2</b>
1.1 Introduction .....	2
1.2 Généralités sur les antennes .....	2
1.2.1 Définition d'une antenne.....	2
1.2.2 Caractéristiques principales des antennes.....	3
1.2.2. a Impédance d'entrée.....	3
1.2.2. b Coefficient de réflexion .....	4
1.2.2. c Bande passante.....	4
1.2.2.d Directivité .....	5
1.2.2. e Gain .....	6
1.2.2. f Diagramme de rayonnement .....	6
1.2.2. g Angle d'ouverture à -3 dB.....	7
1.3 Antennes large bande .....	8
1.3.1 Applications des antennes large bande.....	8
1.3.2 Etat de l'art sommaire sur les antennes large bande.....	9
1.3.2.a Antennes spirales.....	9
1.3.2.b Antennes log-périodique .....	11
1.3.2.c Antenne biconique .....	12
1.3.2.d Antenne discone.....	13
1.3.2.e Antenne papillon (Bow Tie).....	14
1.3.2.f Antenne à transition progressive(Vivaldi).....	15
1.3.2.g Antenne cornet.....	16
1.3.2.h Antenne monopole planaire large bande.....	17
1.3.2.i Synthèse des antennes large bande.....	17
1.4 Conclusion .....	19
<b>CHAPITRE 2 : Conception d'une antenne imprimée large bande [1-3 GHz] .....</b>	<b>20</b>
2.1 Introduction .....	20

2.2 Spécifications techniques .....	20
2.3 Choix de l'antenne .....	21
2.4 Conception et simulation d'une antenne large bande [1-3 GHz].....	24
2.4.1 Outil et condition de simulation .....	24
2.4.2 Conception d'antennes Vivaldi antipodale [1-3 GHz].....	25
2.5 Conclusion .....	30
<b>CHAPITRE 3 : Réalisation et validation expérimentale de l'antenne Vivaldi antipodale</b>	<b>31</b>
<b>[1-3 GHz]</b> .....	
3.1 Introduction .....	31
3.2 Rappel des dimensions de la solution retenue .....	31
3.3 Réalisation de l'antenne.....	32
3.4 Validation expérimentale.....	33
3.5 Conclusion .....	35
<b>Conclusion générale</b> .....	<b>36</b>
<b>Annexe 1 : Présentation de l'outil IE3D de zeland</b> .....	<b>37</b>
A.1.1 Présentation.....	37
A.1.2 Résultats de simulation.....	37
A.1.3 Visualisation de la distribution de courant et le diagramme de rayonnement	38
d'une antenne.	
<b>Annexe 2 : Programme MATLAB pour la génération de l'antenne Vivaldi antipodale</b> .....	<b>40</b>
A.2.1 Fichier m.....	40
A.1.2 Exemple d'exécution.....	41
<b>Bibliographie</b> .....	<b>42</b>

## Liste des figures

<b>Figure 1.1</b> : Antenne en (a) mode émetteur (b) mode récepteur.....	3
<b>Figure 1.2</b> : Exemple d'un coefficient de réflexion et bande passante d'une antenne.....	5
<b>Figure 1.3</b> : Différents types de diagrammes de rayonnement en deux dimensions (a) isotrope ; (b) omnidirectionnelle ; (c) directionnel.....	7
<b>Figure 1.4</b> : Différentes manières de représenter le diagramme de rayonnement.....	7
<b>Figure 1.5</b> : Diagramme de rayonnement montrant l'angle d'ouverture à -3 dB.....	8
<b>Figure 1.6</b> : Antenne spirale logarithmique.....	10
<b>Figure 1.7</b> : Antenne spirale conique.....	10
<b>Figure 1.8</b> : l'antenne spirale de type Archimède.....	11
<b>Figure 1.9</b> : Antenne log-périodique circulaire.....	12
<b>Figure 1.10</b> : Antenne log-périodique trapézoïdale.....	12
<b>Figure 1.11</b> : Antenne biconique finie.....	13
<b>Figure 1.12</b> : Exemple d'une antenne discône.....	14
<b>Figure 1.13</b> : Deux versions de l'antenne de type papillon.....	14
<b>Figure 1.14</b> : Différents types d'antenne TSA.....	15
<b>Figure 1.15</b> : Antenne Vivaldi de type antipodale.....	16
<b>Figure 1.16</b> : Antenne cornet.....	16
<b>Figure 1.17</b> : Quelques géométries d'antennes monopoles planaires large bande.....	17
<b>Figure 2.1</b> : Géométrie de l'antenne Vivaldi antipodale.....	22
<b>Figure 2.2</b> : Coefficients de réflexion simulé (en pointillé) et mesuré (trait plein) de l'antenne Vivaldi Antipodale ULB.....	23
<b>Figure 2.3</b> : Coefficient de réflexion d'antenne Vivaldi antipodale ULB.....	25
<b>Figure 2.4</b> : Modèle de simulation sur IE3D de l'antenne Vivaldi antipodale.....	26
<b>Figure 2.5</b> : Coefficient de réflexion des quatre configurations.....	27
<b>Figures 2.6</b> : Diagrammes de rayonnement en 2D : (a) à 1 GHz, (b) à 2 GHz et (c) à 3 GHz.	28
<b>Figures 2.7</b> : Diagrammes de rayonnement en 3D: (a) à 1 GHz, (b) à 2 GHz et (c) à 3 GHz.	29
<b>Figure 3.1</b> : Géométrie de l'antenne à réaliser.....	31
<b>Figure 3.2</b> : Masques de l'antenne à réaliser : (a) face avant, (b) face arrière.....	32
<b>Figure 3.3</b> : Photographie de l'antenne réalisée : (a) face avant, (b) face arrière.....	33

<b>Figure 3.4</b> : Photographie montrant la mesure de l'antenne : (a) connexion directe ; (b) connexion avec câble coaxiale.....	34
<b>Figure 3.5</b> : Coefficient de réflexion simulé et mesuré de l'antenne Vivaldi antipodale....	34
<b>Figure A.1</b> : Interface principale de l'IE3D.....	37
<b>Figure A.2</b> : Différentes vues du modèle de simulation d'une antenne patch.....	38
<b>Figure A.3</b> : Exemples de résultats affichés par IE3D : Coefficient de réflexion d'une antenne.....	38
<b>Figure A.4</b> : Distribution de courant .....	39
<b>Figure A.5</b> : Diagramme de rayonnement 3D.....	39
<b>Figure A.6</b> : Diagramme de rayonnement en 2D: (a) représentation polaire, (b) représentation cartésienne.....	39
<b>Figure A.7</b> : Génération de l'antenne Vivaldi antipodale à l'aide de MATLAB.....	41

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1.1:</b> Récapitulatif des caractéristiques des antennes larges bande.....	18
<b>Tableau 2.1 :</b> Cahier des charges de l'antenne large bande à concevoir.....	21
<b>Tableau 2.2 :</b> Dimensions et paramètres de l'antenne Vivaldi antipodale ULB.....	23
<b>Tableau 2.3 :</b> Dimensions/paramètres des quatre configurations.....	26
<b>Tableau 2.4 :</b> Gain max aux différentes fréquences.....	30
<b>Tableau 3.1 :</b> Dimensions de l'antenne à réaliser.....	32

# Introduction générale

---

Aujourd'hui, les systèmes de communication sans fil sont de plus en plus présents dans notre vie quotidienne et ils tendent à remplacer l'utilisation excessive des câbles. Les différents systèmes de communication mis en place auront donc besoin d'antennes émetteur et récepteur de plus en plus compactes et large bande afin de couvrir simultanément plusieurs applications. Les configurations d'antennes large bandes sont nombreuses, cependant, le défi consiste à obtenir des antennes compactes, facile à réaliser, peu coûteuses et avec le maximum de bande passante.

Le but de ce travail est de concevoir et de réaliser une antenne large bande imprimée couvrant la bande [1-3 GHz]. Le choix de cette bande est motivé par les multitudes d'applications usuelles disponibles dans cette bande (Wifi, Bluetooth, GPS, Wimax, UMTS, ...) et la disponibilité des moyens de mesure (Analyseur de réseau R&S 3 GHz). La solution proposée est une antenne de type Vivaldi antipodale excitée par une ligne micro ruban 50  $\Omega$ . La validation expérimentale de cette antenne montre sa bonne adaptation dans la bande [1-3 GHz] et confirme les résultats prédits par simulation électromagnétique.

Ce rapport est organisé comme suit :

Le premier chapitre contient des généralités sur les antennes en présentant leurs caractéristiques principales. Ensuite, un état de l'art sommaire sur les antennes large bande est donné.

Le second chapitre sera consacré à la conception et simulation d'une antenne Vivaldi antipodale compacte fonctionnant dans la bande [1-3 GHz].

Dans le troisième et dernier chapitre, nous avons réalisé et validé expérimentalement l'antenne Vivaldi réalisée fonctionnant dans la bande [1-3 GHz].

## 1.1 Introduction

Les réseaux sans fil sont basés sur une liaison utilisant des ondes électromagnétiques (radio ou optique) au lieu des câbles habituels. Ils permettent de relier très facilement des équipements distants de quelques mètres à plusieurs kilomètres. Il existe plusieurs technologies qui se distinguent par leur bande passante, leur débit et la portée de leurs transmissions. Le rôle d'une antenne est de convertir l'énergie électrique d'un signal en énergie électromagnétique transportée par une onde électromagnétique (ou inversement). En considérant la bande passante, les antennes peuvent être soit à bande étroite soit à large bande ou sinon multi-bandes. Ces deux dernières font actuellement l'objet de plusieurs travaux pour leur avantage de couvrir plusieurs applications simultanément avec un encombrement réduit.

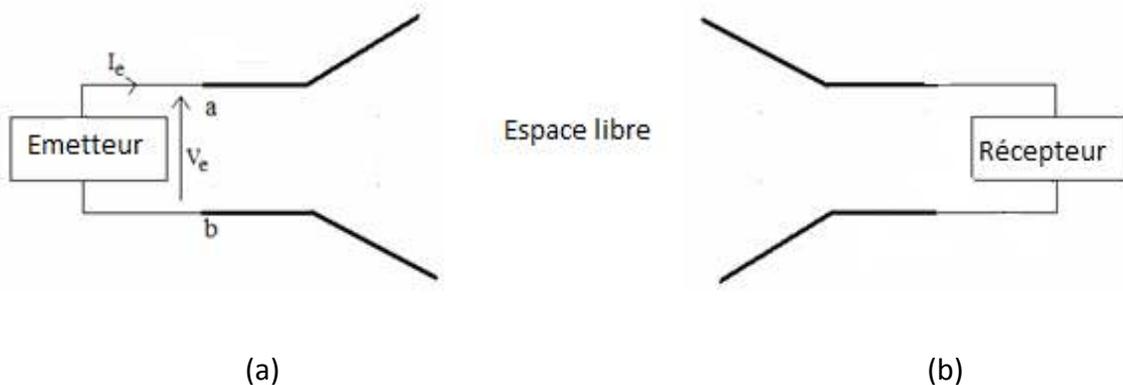
Dans ce chapitre, nous avons en premier lieu présenté quelques généralités sur les antennes ainsi que leurs caractéristiques. Ensuite, nous nous sommes intéressés aux antennes large bande en citant leurs principales applications. Un état de l'art sommaire sur ces types d'antennes large bande est présenté. Cet état de l'art a été conclu par un tableau de synthèse permettant de faire une comparaison.

## 1.2 Généralités sur les antennes

### 1.2.1 Définition d'une antenne [1]

Une définition traditionnelle d'une antenne est la suivante « Une antenne d'émission est un dispositif qui assure la transmission de l'énergie entre un émetteur et l'espace libre où cette énergie va se propager. Réciproquement, une antenne de réception est un dispositif qui assure la transmission de l'énergie d'une onde se propageant dans

l'espace à un appareil récepteur ». Ces deux modes sont illustrés par la figure 1.1. Le transport d'énergie par une onde électromagnétique va donc permettre le transfert d'information sans support physique à travers un canal ou une liaison radioélectrique. Autrement dit, une liaison radioélectrique est un canal de transmission entre un émetteur et un récepteur, dont le support de transmission est assuré par des ondes électromagnétiques. Comme tous les canaux de communication, la liaison radioélectrique est soumise aux problèmes posés par le bruit et les perturbations, qui vont limiter les performances du système de transmission. Ces performances sont aussi dépendantes des propriétés de l'antenne qui va donner naissance à l'onde électromagnétique, et à l'environnement autour de l'antenne qui va influencer sur la propagation des ondes électromagnétiques.



**Figure 1.1 :** Antenne en (a) mode émetteur (b) mode récepteur

### 1.2.2 Caractéristiques principales des antennes [2-6]

Dans cette partie on s'intéressera aux différentes caractéristiques des antennes à savoir les caractéristiques radioélectriques et celles de rayonnement.

#### 1.2.2.a Impédance d'entrée

L'impédance d'entrée (notée  $Z_e$ ) est définie comme étant l'impédance présentée par une antenne à ses bornes. Elle est égale au rapport de la tension  $V_e$  sur le courant présenté à l'entrée (voir figure 1.1 (a)).

$$Z_e = \frac{V_e}{I_e} = R + jX \quad (1.1)$$

Où :

R= Résistance de l'antenne.

X= Réactance de l'antenne.

### 1.2.2.b Coefficient de réflexion

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

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

Signalons qu'on peut représenter  $\Gamma$  sous forme de paramètre S en dB tel que :

$$S_{11} \text{ (dB)} = 20 \log_{10} (|\Gamma|) \quad (1.3)$$

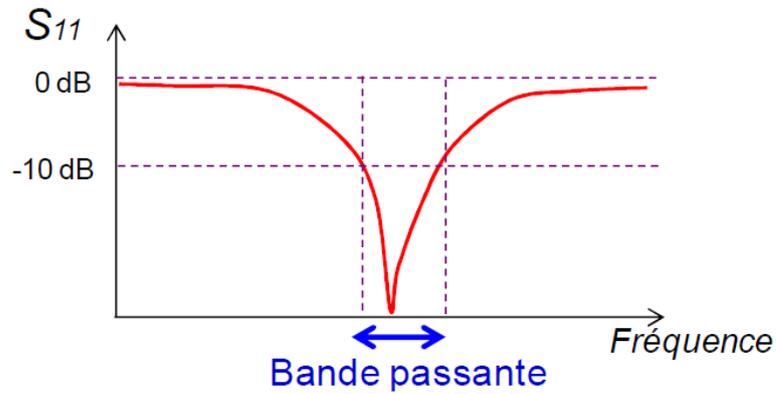
### 1.2.2.c Bande passante

La bande passante d'une antenne est la plage de fréquences dans laquelle on peut normalement l'utiliser. C'est une bande où le transfert d'énergie de l'alimentation vers l'antenne (ou de l'antenne vers le récepteur) est maximal. Dans la plupart des cas, la bande passante est définie en fonction du coefficient de réflexion. Il n'y a pas de critères précis pour la limite du coefficient de réflexion. Cependant, un critère typique est d'avoir un coefficient de réflexion inférieur à -10 dB sur toute la bande passante.

Mise à part l'antenne fictive (qui est en fait une charge purement résistive), toute antenne possède une impédance qui varie en fonction de la fréquence, comme tout circuit composé d'éléments capacitifs ou inductifs.

Certaines antennes sont très sélectives (bandes passantes très étroites), d'autres peuvent être utilisées sur une très large bande de fréquences.

La figure 1.2 montre un exemple d'un coefficient de réflexion ainsi que la bande passante déterminée pour  $|S_{11}| < -10$  dB.



**Figure 1.2** : Exemple d'un coefficient de réflexion et bande passante d'une antenne [2]

#### 1.2.2.d Directivité

La directivité  $D(\theta, \phi)$  d'une antenne dans une direction  $(\theta, \phi)$  est le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction donnée ( $P(\theta, \phi)$ ) et la puissance que rayonnerait une antenne isotrope ( $P_r$ ).

$$D(\theta, \phi) = \frac{P(\theta, \phi)}{\frac{P_r}{4\pi}} = 4\pi \frac{P(\theta, \phi)}{P_r} \quad (1.4)$$

La directivité maximale que l'on appelle souvent directivité est donnée par :

$$D_0 = \text{MAX}(D(\theta, \phi)) \quad (1.5)$$

La directivité, grandeur sans dimension, est généralement exprimée par sa valeur en décibels :

$$D_0(\text{dB}) = 10 \log(D_0) \quad (1.6)$$

### 1.2.2.e Gain

Le gain  $G(\theta, \phi)$  d'une antenne dans une direction  $(\theta, \phi)$  est le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction donnée ( $P(\theta, \phi)$ ) sur la puissance que rayonnerait une antenne isotrope sans pertes.

$$G(\theta, \phi) = 4\pi \frac{P(\theta, \phi)}{P_A} \quad (1.7)$$

$P_A$  = puissance fournie par l'émetteur.

Généralement la valeur maximum de  $G(\theta, \phi)$  prend la dénomination du gain de l'antenne.

$$G_0 = \text{MAX}(G(\theta, \phi)) \quad (1.8)$$

Le gain peut être exprimé en décibels :

$$G_0(\text{dB}) = 10 \log(G_0) \quad (1.9)$$

Une antenne isotrope n'a pas de gain, donc  $G = 0$  dB (c'est une antenne imaginaire qui rayonne uniformément dans toutes les directions).

Une antenne dipôle possède un gain de 2,15 dB par rapport à l'antenne isotrope. On dit aussi qu'elle a un gain de 2,15 dBi.

### 1.2.2.f Diagramme de rayonnement

Les antennes sont rarement omnidirectionnelles et émettent ou reçoivent dans des directions privilégiées. Le diagramme de rayonnement représente les variations de la puissance rayonnée par l'antenne dans les différentes directions de l'espace. Il indique les directions de l'espace  $(\theta_0, \phi_0)$  dans lesquelles la puissance rayonnée est maximale. La fonction caractéristique de rayonnement  $r(\theta, \phi)$  est donnée comme suit :

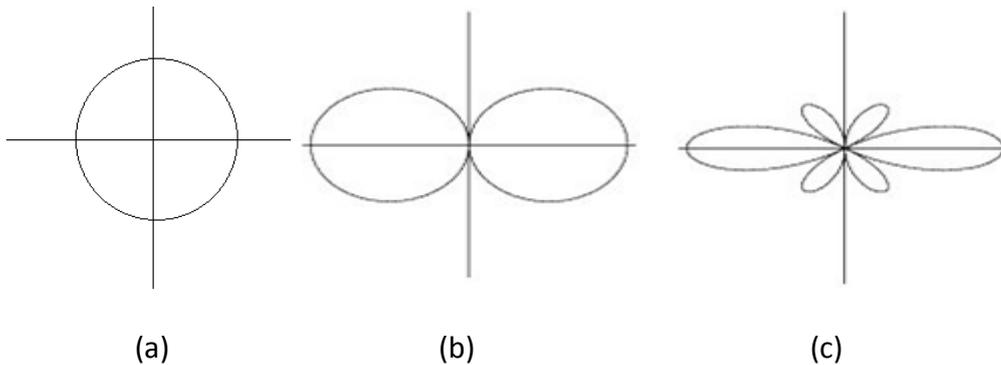
$$r(\theta, \phi) = \frac{P(\theta, \phi)}{P_0(\theta, \phi)} \quad (1.10)$$

Où :

$P(\theta, \phi)$  : puissance rayonnée dans une direction quelconque.

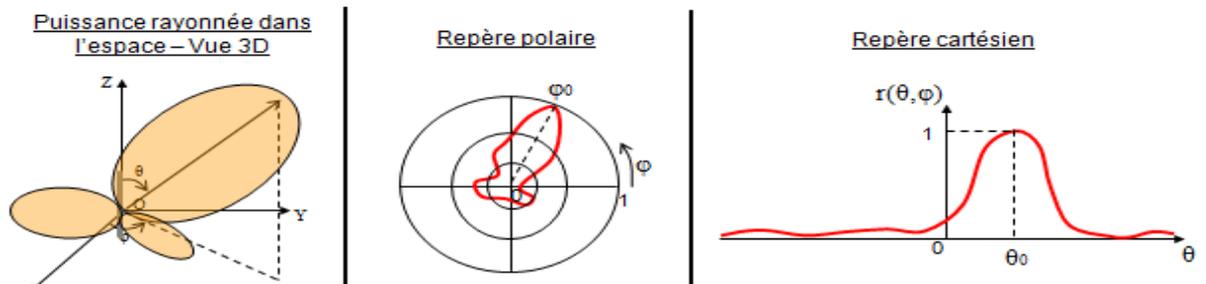
$P_0(\theta, \phi)$  : puissance rayonnée max.

On peut distinguer plusieurs types de diagrammes de rayonnement à savoir : isotrope, omnidirectionnel et directionnel (voir figure 1.3).



**Figure 1.3** : Différents types de diagrammes de rayonnement en deux dimensions  
(a) isotrope ; (b) omnidirectionnelle ; (c) directionnel

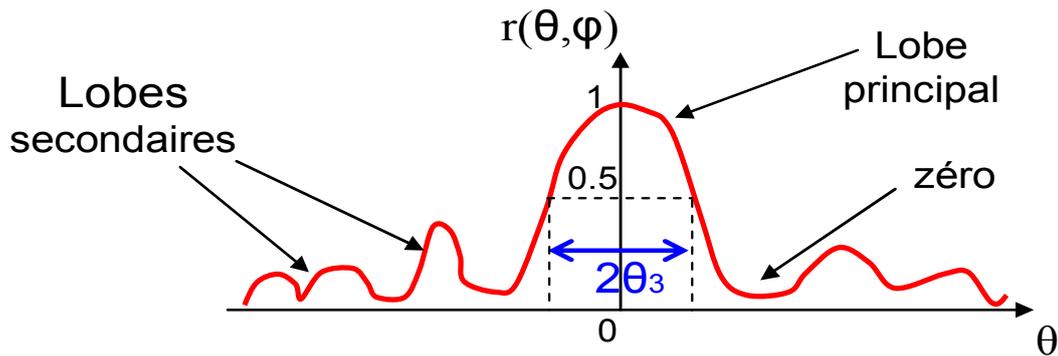
La figure 1.4 montre plusieurs types de représentation de diagrammes de rayonnement.



**Figure 1.4** : Différentes manières de représenter le diagramme de rayonnement [3]

### 1.2.2.g Angle d'ouverture à -3 dB

L'angle d'ouverture à -3 dB (ou à mi-puissance) caractérise la largeur du lobe principal. Il représente la portion de l'espace dans lequel la majeure partie de la puissance est rayonnée. Un exemple d'un diagramme de rayonnement avec son angle d'ouverture est illustré par la figure 1.5.



**Figure 1.5** : Diagramme de rayonnement montrant l'angle d'ouverture à -3 dB [4]

## 1.3 Antennes large bande

### 1.3.1 Applications des antennes larges bande [7]

Les antennes large bande, i.e. adaptées sur une large bande passante, sont utilisées dans de nombreux domaines (Télécommunication, médecine, robotique, sécurité routière, défense,...).

Dans le domaine des télécommunications, on peut citer le concept de radio cognitive. Ce concept est basé sur un système capable d'adapter automatiquement la fréquence de communication grâce à de nouveaux protocoles numériques. Cette adaptation dépend de la disponibilité ou saturation du réseau, du contenu de l'information de type communication orale ou données, de la priorité de la communication (appels d'urgence), etc. Le développement de ce concept a connu un essor important à la fin de la décennie 2000 et va se généraliser dans les télécommunications de demain. Les antennes large bande sont idéales pour cet usage. Par ailleurs, les antennes large bande sont principalement utilisées pour la technologie ULB. Cette technologie promet en effet d'atteindre des débits de plusieurs centaines de mégabits par seconde, tout en conservant une complexité et des coûts limités. Sa nature impulsionnelle et sa largeur de bande lui confèrent en outre une bonne résistance au brouillage et aux trajets multiples, ce qui la rend très adaptée à une utilisation en intérieur [8].

Dans le domaine de la médecine, la recherche d'antennes miniatures large bande est en plein essor, pour le développement d'émetteurs-récepteurs fonctionnant sur la visualisation du corps humain.

En télédétection/radiolocalisation, les antennes large bande sont également très utilisées pour la conception des radars. La haute résolution temporelle que la bande passante des antennes large bande confère aux radars leur permet de fournir une mesure de distance et une localisation de hautes précisions. Le radar de repérage se classe également dans la catégorie des radars de détection et de positionnement. La précision atteinte par des radars large bande permet une analyse précise de l'environnement. Enfin, les radars permettant l'observation du sol à quelques mètres de profondeur forment la catégorie des GPR (Ground-Penetrating Radars). Ces radars ont pour but de détecter des éléments enfouis dans le sol à distance, sans intervention. Une autre application des GPR concerne la détection de mines anti-personnelles.

En conclusion, les domaines de recherche de demain nécessitent le développement d'antennes très large bande de toute bande passante et de toute taille. Dans la suite, nous exposerons un état de l'art non exhaustif des antennes large bande connues dans la littérature.

### **1.3.2 Etat de l'art sommaire sur les antennes large bande**

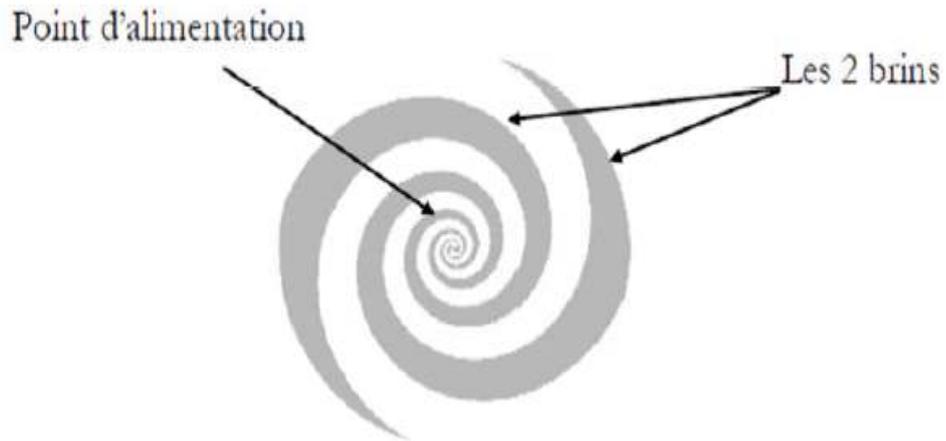
#### **1.3.2.a Antennes spirales**

Ces antennes ont été introduites par Dyson en 1959 [9]. Leur spectre est assez large. Les antennes spirales les plus utilisées aujourd'hui sont : La spirale logarithmique (spirale équiangulaire), la spirale conique et la spirale de type Archimède.

- **1.3.2.a.i Antenne spirale logarithmique**

L'antenne spirale logarithmique ou équiangulaire (Figure 1.6) fait partie des antennes indépendantes de la fréquence (Très large bande passante). L'impédance d'entrée de ce type d'antenne est typiquement de 75 à 100  $\Omega$ .

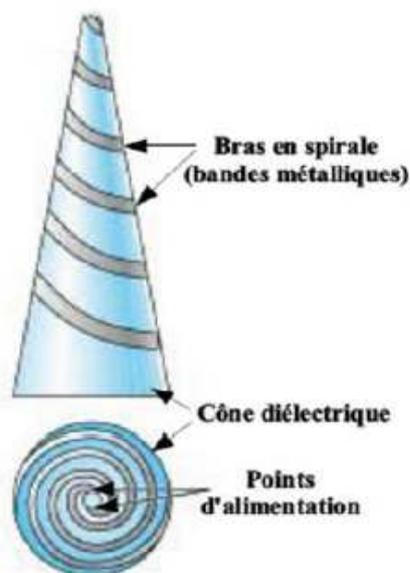
La polarisation de cette antenne est circulaire, mais aux fréquences où la longueur des conducteurs est très petite par rapport à la longueur d'onde, la polarisation est linéaire.



**Figure 1.6** : Antenne spirale logarithmique [10]

- **1.3.2.a.ii Antenne spirale conique**

Cette antenne a une forme dérivée de la précédente. En effet, il suffit, pour la réaliser, d'imprimer les spirales sur un cône en matériau diélectrique servant de support. La polarisation du champ est circulaire pour un demi-angle du cône inférieur à  $60^\circ$ . Si l'angle dépasse  $60^\circ$ , la polarisation devient elliptique. La figure 1.7 montre la structure de l'antenne spirale conique.



**Figure 1.7** : Antenne spirale conique [10]

- **1.3.2.a.iii Antenne spirale de type Archimède**

L'antenne spirale d'Archimède (figure 1.8) est formée de deux spirales emboîtées, imprimées sur un substrat plan servant de support à la structure. Ses spécificités ressemblent beaucoup à celles des types d'antennes à spirales vus précédemment [1]. Cette antenne présente une bande passante très large.



**Figure 1.8 :** L'antenne spirale de type Archimède [10]

### **1.3.2.b Antennes log-périodique [1]**

Les antennes log-périodique ont été conçues pour la première fois par Duhamel et Isabel en 1959 [11]. Ces antennes sont constituées par l'association de multiples éléments montés en parallèle. La fréquence haute de l'antenne est limitée par la dimension du plus petit brin et la fréquence basse par celle du plus grand [12].

Notons que ce type d'antennes se rapprochant d'une structure fractale présente une large bande de fréquence. Théoriquement, on peut imaginer une infinité de structures périodiques. On présentera brièvement, dans la suite, quelques types de ces antennes tels que : log-périodique de forme circulaire, de forme trapézoïdale.

- **1.3.2.b.i Antenne log-périodique circulaire [5]**

Un exemple d'une antenne log-périodique de type circulaire est représenté par la figure 1.9. Cette antenne peut avoir une bande passante de plusieurs octaves un diagramme de rayonnement bidirectionnel.



**Figure 1.9** : Antenne log-périodique circulaire [10]

- **1.3.2.b.ii Antenne log-périodique trapézoïdale [5]**

L'antenne log-périodique de forme trapézoïdale (figure 1.10) est un autre exemple d'antenne log-périodique dont tous les bords présentent un profil plat plutôt qu'incurvé. Cette antenne, étant plus facile à construire que la précédente, est plus couramment utilisée que l'antenne de forme circulaire. Elle possède exactement les mêmes caractéristiques : diagramme de rayonnement bidirectionnel, bande passante de plusieurs octaves et une polarisation linéaire.



**Figure 1.10** : Antenne log-périodique trapézoïdale [10]

### **1.3.2.c Antenne biconique [1,5]**

Les antennes biconiques ont été imaginées en 1943 par Schelkunoff [13]. Le concept de l'antenne biconique est basé sur le fait qu'un dipôle construit à l'aide d'un fil épais offre une bande passante plus grande que s'il est construit avec un fil fin. Ce concept

peut être étendu pour obtenir une bande passante encore plus importante en utilisation des conducteurs évasés. Ce type d'antenne possède une bande passante de plus de 100%, un diagramme de rayonnement omnidirectionnel et une polarisation linéaire. La figure 1.11 représente un exemple d'une antenne biconique.

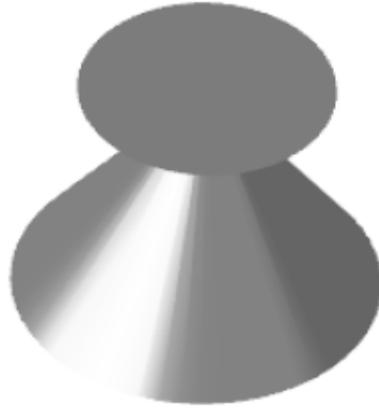


**Figure 1.11** : Antenne biconique finie [10]

#### **1.3.2.d Antenne discône [14]**

Une autre dérivation de l'antenne biconique est l'antenne discône (voir figure 1.12). Cette antenne est formée d'un cône et d'un plan de masse qui peut être circulaire ou rectangulaire et qui remplace le second cône de l'antenne biconique. La conception du discône est assez proche de celle de l'antenne biconique.

L'antenne est alimentée par un câble coaxial dont l'âme centrale est connectée directement au sommet du cône. Les paramètres gouvernant la structure sont les dimensions du plan de masse et l'espacement entre le plan de masse et le cône. Le plan de masse agit principalement sur les diagrammes de rayonnement et sur l'adaptation. Si on règle correctement ces deux paramètres, l'antenne possède une bande passante de plus de 150%. L'antenne possède un diagramme de rayonnement omnidirectionnel, et son gain est légèrement plus élevé que celui d'une antenne biconique du fait de l'utilisation d'un plan de masse fini.



**Figure 1.12** : Exemple d'une antenne discône [8]

### **1.3.2.e Antenne papillon (Bow Tie)**

L'antenne papillon est une version planaire de l'antenne biconique présentée précédemment. Cette structure symétrique peut présenter plusieurs versions (voir Figure 1.13).



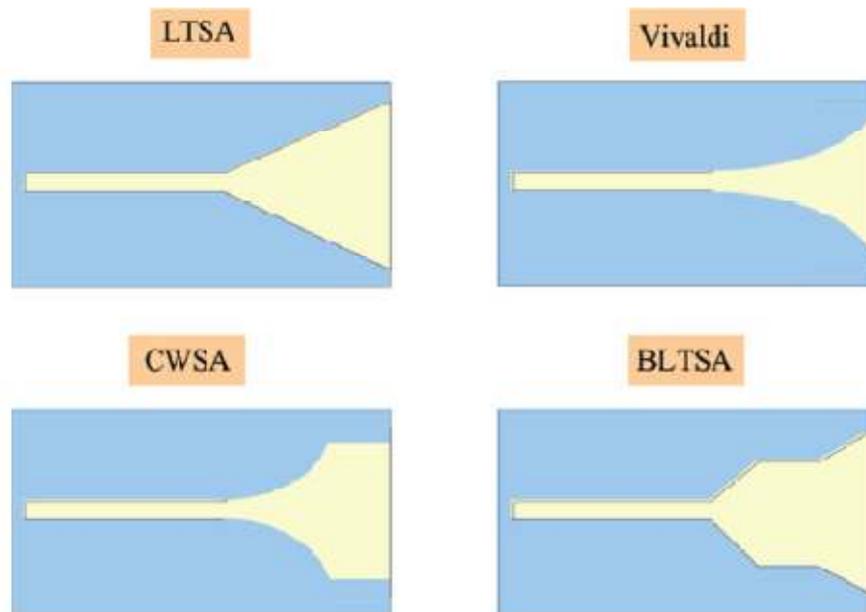
**Figure 1.13** : Deux versions de l'antenne de type papillon [10]

L'antenne papillon présente de moins bonnes performances en termes de bande passante que l'antenne biconique, celle-ci étant limitée par la troncature de l'antenne. Cependant, son impédance d'entrée varie plus avec la fréquence que celle de l'antenne biconique finie de même dimensions. Il en découle une moins bonne qualité d'adaptation ainsi qu'une bande passante plus faible, mais qui peut tout de même atteindre des valeurs supérieures à 100%. Le diagramme de l'antenne présent un

rayonnement de type dipôle, omnidirectionnel dans le plan perpendiculaire à celui de l'antenne. Les gains obtenus sont compris entre 0 et 3 dB.

### 1.3.2.f Antenne à transition progressive (Vivaldi) [10]

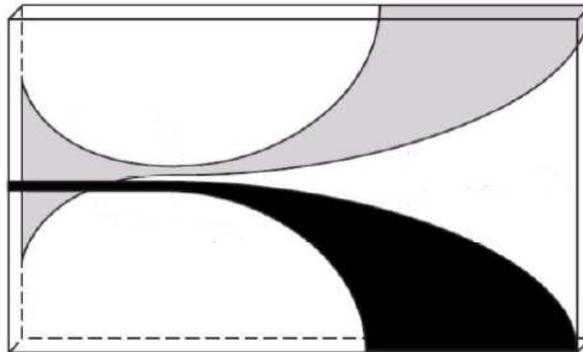
Les antennes transition à fente progressive (TSA : Tapered Slot Antenna) constituent une autre catégorie importante d'antennes large bande. Ce sont des antennes à deux dimensions présentant une transition à partir d'une ligne ou d'un guide d'onde imprimé. Elles sont généralement constituées par une ligne de fente s'élargissant suivant un profil donné jusqu'à la discontinuité finale. Le profil de ces ouvertures peut prendre différentes formes: profil linéaire (antennes LTSA), profil constant (antennes CWSA), profil linéaire par morceau (BLTSA) ou encore profil exponentiel (antenne Vivaldi). Ces différents profils d'antenne TSA sont présentés dans la figure 1.14.



**Figure 1.14** : Différents types d'antenne TSA [10]

Les antennes TSA sont adaptées sur une très large bande passante de 125% à 170%. Leur diagramme de rayonnement est unidirectionnel dans le plan du substrat et présente un faible niveau de polarisation croisée. Leur directivité augmente avec la fréquence et les gains atteints par ces antennes peuvent aller jusqu'à 10 dB selon le type de profil. Il existe plusieurs types d'antennes Vivaldi : l'une d'entre elles est l'antenne Vivaldi antipodale comme celle montrée par la figure 1.15. Cette antenne

propose une transition à partir d'une ligne micro-ruban permettant d'avoir une alimentation non symétrique utile dans le cas d'un câble coaxial. L'antenne est alors imprimée sur les deux faces du substrat [15] [16].



**Figure 1.15** : Antenne Vivaldi de type antipodale [15]

### 1.3.2.g Antenne cornet

Ces antennes sont couramment utilisées pour des mesures de diagramme de rayonnement ou encore dans le cadre d'applications GPR. Ces antennes sont constituées de guides d'onde rectangulaires ou circulaires (intrinsèquement large bande) et d'une transition (adaptateur d'impédance). La bande passante est relativement large (50-180%). Un exemple d'une antenne cornet de type rectangulaire est montré par la figure 1.16.

Ce type d'antenne peut avoir un gain important (17 dB) qui augmente avec la fréquence (antenne à ouverture constante) sur plusieurs octaves.

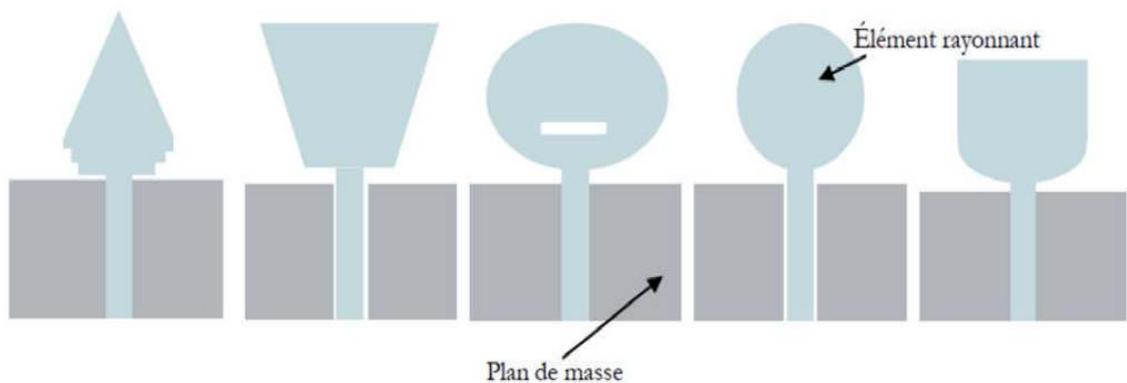


**Figure 1.16** : Antenne cornet [7]

### 1.3.2.h Antenne monopole planaire large bande

Les antennes monopoles planaires large bande sont plus pratiques à mettre en œuvre que les antennes monopoles standards. Vu leur encombrement réduit, les antennes monopoles planaires peuvent être facilement intégrées dans des circuits RF ainsi que dans des dispositifs large bande. La figure 1.17 montre plusieurs variantes de cette antenne [17] [18].

Les éléments rayonnants planaires sont gravés sur un substrat diélectrique, le plan de masse peut être coplanaire (CPW) ou arrière. Les éléments rayonnants peuvent être alimentés par une ligne micro ruban ou par un câble coaxial. Le plan de masse peut être modifié pour améliorer la bande passante.



**Figure 1.17 :** Quelques géométries d'antennes monopoles planaires large bande [10]

### 1.3.2.i Synthèse des antennes large bande [10]

Le tableau ci après est donc la représentation des performances globales atteignables par ces antennes afin de pouvoir mettre plus aisément en avant leurs avantages et inconvénients.

	ADAPTATION			DIMENSIONS		RAYONNEMENT		
	Bande passante	Impédance d'entrée	Ajustement	2D/3D	Taille	Diagramme	Polarisation	Dispersive
<b>Spirale Log-arithmique</b>	>150%	75 à 100	Symétriseur adaptateur d'impédance	2D	$2\lambda/\pi$	Bidirectionnel	Circulaire	Oui
<b>Spirale Conique</b>	>150%	Variable	Aucun	3D	Variable	Unidirectionnel	Circulaire	Oui
<b>Spirale d'Archimède</b>	150%	120 à 200	Symétriseur adaptateur d'impédance	2D	$2\lambda/\pi$	Bidirectionnel	Circulaire	Oui
<b>Log-périodique Circulaire</b>	150%	50 à 188	Symétriseur	2D	$\lambda$	Bidirectionnel	Linéaire	Oui
<b>Log-périodique Trapézoïdale</b>	150%	50 à 150	Symétriseur	2D	$\lambda$	Bidirectionnel	Linéaire	Oui
<b>Dipôle log-périodique</b>	130%	50 à 100	Aucun	2D 3D	variable	Unidirectionnel	Linéaire	Oui
<b>TSA (Vivaldi)</b>	125% à 170%	50	Aucun	2D	$> \lambda/2$	Unidirectionnel	Linéaire	Non
<b>Biconique</b>	120% à 150%	>100	Symétriseur adaptateur d'impédance	3D	$\lambda/2$	Omnidirectionnel	Linéaire	Non
<b>Discône</b>	150%	>80	Aucun	3D	$\lambda/4$	Omnidirectionnel	Linéaire	Non
<b>Papillon</b>	>100%	>100	Symétriseur adaptateur d'impédance	2D	$\lambda/2$	Omnidirectionnel	Linéaire	Non
<b>Monopole circulaire (planaire)</b>	>100%	>100	Aucun	2D	$\lambda/4$	Omnidirectionnel	Linéaire	Non

**Tableau 1.1:** Récapitulatif des caractéristiques des antennes larges bande [10]

## **1.4 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons décrit brièvement quelques généralités sur les antennes en donnant leurs caractéristiques principales. Ensuite, après avoir cité quelques applications des antennes large bande, un état de l'art sur ces antennes a été fourni. Dans le chapitre suivant, nous avons conçu et simulé une antenne Vivaldi antipodale fonctionnant de 1 à 3 GHz.

# Chapitre 2 Conception d'une antenne imprimée large bande [1-3 GHz]

---

## 2.1 Introduction

Ces dernières années, des antennes large bande ont fait l'objet de plusieurs travaux de recherche. En effet, l'utilisation de dispositifs à large bande passante permet l'obtention d'une meilleure précision, des débits élevés et une qualité de transmission améliorée. Par ailleurs, les antennes large bande permettent de réduire l'encombrement du moment qu'elles peuvent remplacer plusieurs antennes à bande passante réduite.

Dans ce chapitre, nous avons présenté la conception d'une antenne imprimée large bande de type Vivaldi antipodale qui fonctionne dans la bande [1-3 GHz]. Le choix de cette bande a été motivé par les multitudes d'applications usuelles disponibles dans cette bande (Wifi, Bluetooth, GPS, Wimax, UMTS, ....) et la disponibilité des moyens de mesure au sein du laboratoire DIC (Analyseur de réseau R&S 3 GHz).

Après avoir exposé le cahier des charges de ce travail, notre choix s'est porté sur l'antenne Vivaldi Antipodale pour ses bonnes performances et sa réalisation aisée. Ensuite, nous avons utilisé un logiciel de simulation électromagnétique pour le dimensionnement et l'optimisation de cette antenne. Enfin, une solution optimale a été retenue pour la réalisation.

## 2.2 Spécifications techniques

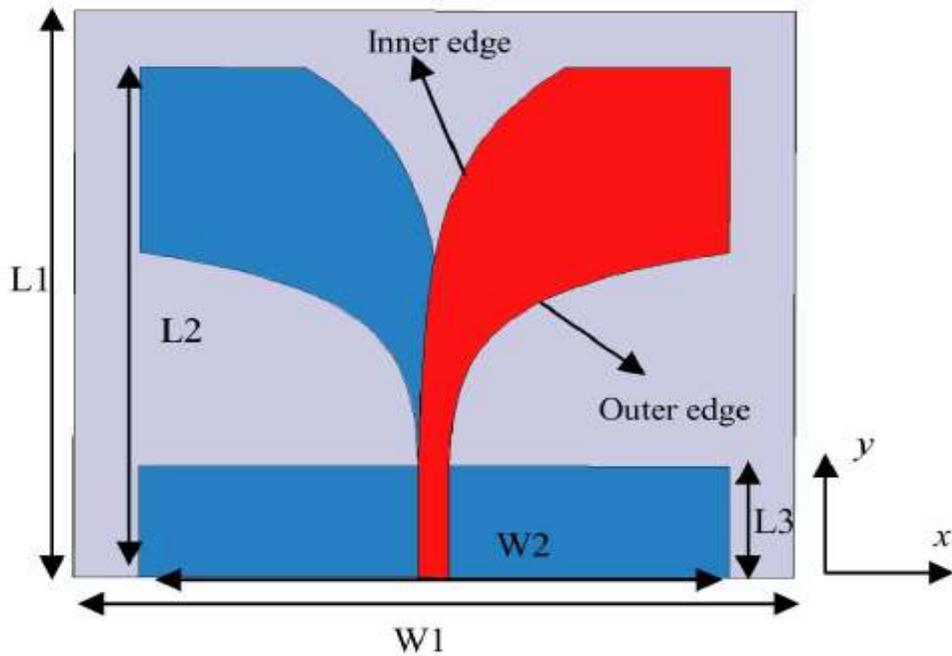
En plus d'être large bande, l'antenne à concevoir dans ce projet doit satisfaire les spécifications résumées dans le tableau 2.1. Le substrat utilisé pour cette conception est le Rogers Ro4350B ( $\epsilon_r = 3.66$ , épaisseur=1.524mm et  $\tan D=0.0031$ ) pour sa disponibilité au laboratoire DIC.

Bande passante	1-3 GHz
	100%
Taille	La plus compacte possible
Technologie	Imprimée
Adaptation	$ S_{11}  < -10$ dB
Polarisation	Linéaire
Diagramme de rayonnement	Directif

**Tableau 2.1** : Cahier des charges de l'antenne large bande à concevoir

## 2.3 Choix de l'antenne

En se référant au tableau 1.1 du chapitre 1, l'antenne TSA (Vivaldi) semble être un très bon candidat pour satisfaire le cahier des charges précédent surtout en termes de polarisation (Linéaire) et de type de diagramme de rayonnement (directif). Cependant, dans sa version simple, l'antenne Vivaldi présente une alimentation symétrique rendant l'excitation de cette antenne par une simple ligne micro ruban ou coaxiale difficile. Une solution à cet inconvénient est l'utilisation de la version antipodale de cette antenne. La géométrie d'une antenne Vivaldi antipodale est représentée par la figure 2.1.



**Figure 2.1** Géométrie de l'antenne Vivaldi antipodale [19]

L'antenne Vivaldi antipodale a été introduite pour la première fois en 1988 par E. Gazit [20]. Dans cette configuration, l'antenne est imprimée sur un substrat diélectrique en utilisant les deux faces. La partie d'alimentation est une ligne microruban servant à alimenter les ailettes (les palmes) des formes exponentielles. Ces dernières sont disposées de telle façon, que d'un point de vue perpendiculaire au plan du substrat, elles créent une forme évasée. Habituellement, deux courbures exponentielles avec différents paramètres sont utilisées pour définir les bords intérieurs et extérieurs de ces ailettes.

Les équations des courbures des bords intérieurs et extérieurs sont données respectivement par les équations (2.1) et (2.2) [19].

$$x_i = \pm c_s \cdot \exp(k_s \cdot y) \mp (c_s + 0.5c_w) \quad (2.1)$$

$$x_o = \pm c_w \cdot \exp(k_w \cdot y^{sf}) \mp (c_s + 0.5c_w) \quad (2.2)$$

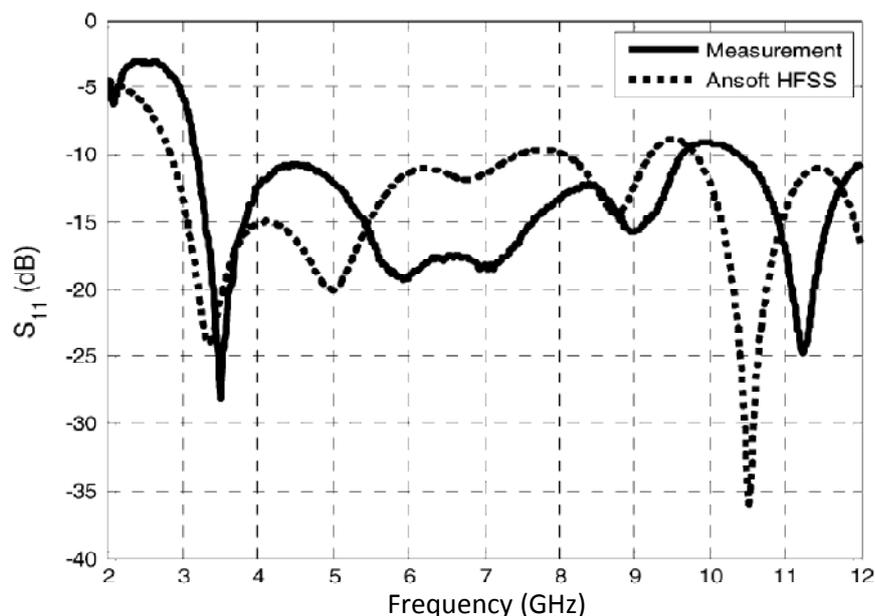
Où  $x_i$  et  $x_o$  représentent les distances entre la ligne centrale de la fente et les bords intérieurs et extérieurs (respectivement). Les paramètres des courbures des bords intérieurs et extérieurs, i.e.,  $cs$ ,  $cw$ ,  $ks$ ,  $kw$  et  $sf$  constituent des degrés de liberté pour l'optimisation de l'antenne.

Dans [19], les auteurs ont conçu, réalisé puis validé expérimentalement une antenne Vivaldi antipodale fonctionnant dans la bande ULB (3.1 – 10.6 GHz). Cette antenne a été imprimée sur un substrat FR4 ( $\epsilon_r=4.4$ , épaisseur =1.4mm et  $\tan D=0.002$ ). Les dimensions (voir figure 2.1) et les paramètres de cette antenne sont résumés dans le tableau 2.2.

Paramètres	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	W1 (mm)	W2 (mm)	cs (mm)	cw (mm)	ks	kw	Sf
Valeurs	40.16	35.65	7.6	42.56	35.56	0.1	1.5	0.16	0.01	2

**Tableau 2.2** : Dimensions et paramètres de l'antenne Vivaldi antipodale ULB [19]

Les coefficients de réflexion simulés (obtenus par le logiciel Ansoft HFSS) et mesurés de cette antenne ULB sont illustrés par la figure 2.2.



**Figure 2.2** Coefficients de réflexion simulé (en pointillé) et mesuré (trait plein) de l'antenne Vivaldi antipodale ULB [19]

Les résultats de la figure 2.2 montrent les bonnes performances en termes d'adaptation de l'antenne Vivaldi antipodale dans la totalité de la bande ULB (109%).

## **2.4 Conception et simulation d'une antenne large bande [1 -3 GHz]**

### **2.4.1 Outil et conditions de simulation**

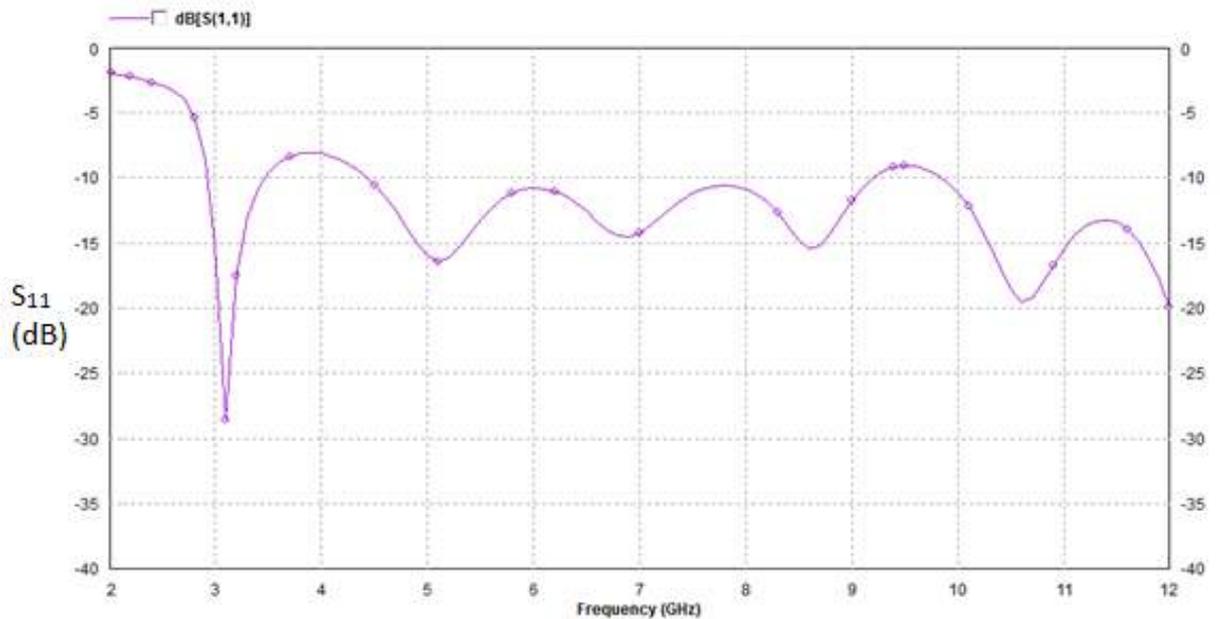
L'outil de conception utilisé est Zeland IE3D adapté à la simulation électromagnétique des antennes imprimées et disponible au sein du laboratoire. Plus de détail sur cet outil sont présentés en Annexe 1.

Afin de réduire le temps des simulations, ces dernières ont été réalisées en supposant un substrat de dimension infinie.

L'outil IE3D ne disposant pas de fonction permettant d'introduire des équations mathématiques, nous avons mis en œuvre un programme MATLAB dédié pour l'antenne Vivaldi antipodale. Ce dernier permet, à partir des équations (2.1) et (2.2), de générer des fichiers textes contenant les points  $(x, y)$  des courbures des bords intérieurs et extérieurs de l'antenne. Ce programme est donné en Annexe 2.

Afin de vérifier le bon fonctionnement de notre programme ainsi que notre simulation sur IE3D, nous avons introduit puis simulé l'antenne Vivaldi antipodale ULB de la partie précédente (Dimensions et paramètres sur Tableau 2.2).

Les résultats obtenus en termes de coefficient de réflexion sont montrés par la figure 2.3.



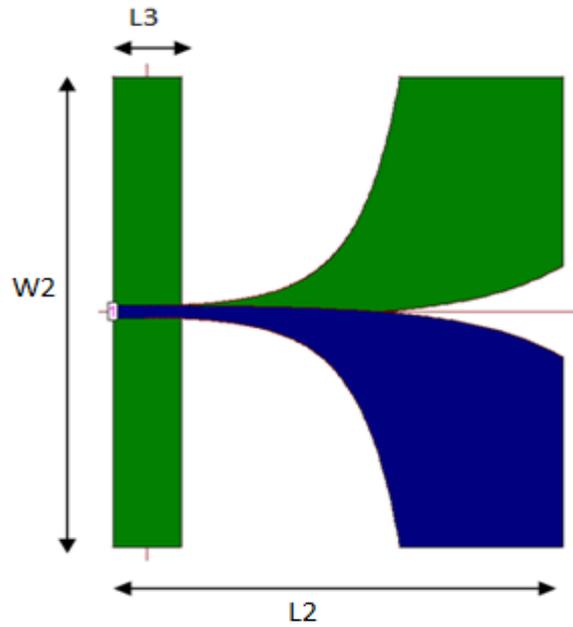
**Figure 2.3 :** Coefficient de réflexion d’antenne Vivaldi antipodale ULB sur IE3D

Les résultats de simulation trouvés par le logiciel IE3D (voir Figure 2.3) sont similaires à ceux trouvés par simulation/mesure de l’article [19] (voir figure 2.2). Ceci confirme la justesse de notre programme de génération de points et montre que l’utilisation d’un substrat infini n’altère pas les résultats obtenus.

#### 2.4.2 Conception d’antennes Vivaldi antipodale [1-3 GHz]

Dans cette partie, nous avons redimensionné l’antenne Vivaldi antipodale ULB [3.1-10.6 GHz] exposé précédemment dans le but de la faire fonctionner entre 1 et 3 GHz. Pour cela, nous avons dans un premier temps, changer le substrat FR4 par celui dont on dispose (Ro4350B). Ensuite nous avons multiplié les dimensions de l’antenne par un facteur de 3 (ce qui correspond au rapport entre les fréquences min des deux bandes). Enfin, nous avons joué sur les différents paramètres de l’antenne (cs, cw, ks, kw et sf) afin d’optimiser le fonctionnement de cette antenne entre 1 et 3 GHz.

Le modèle de simulation sur IE3D de cette antenne est montré par la figure 2.4.



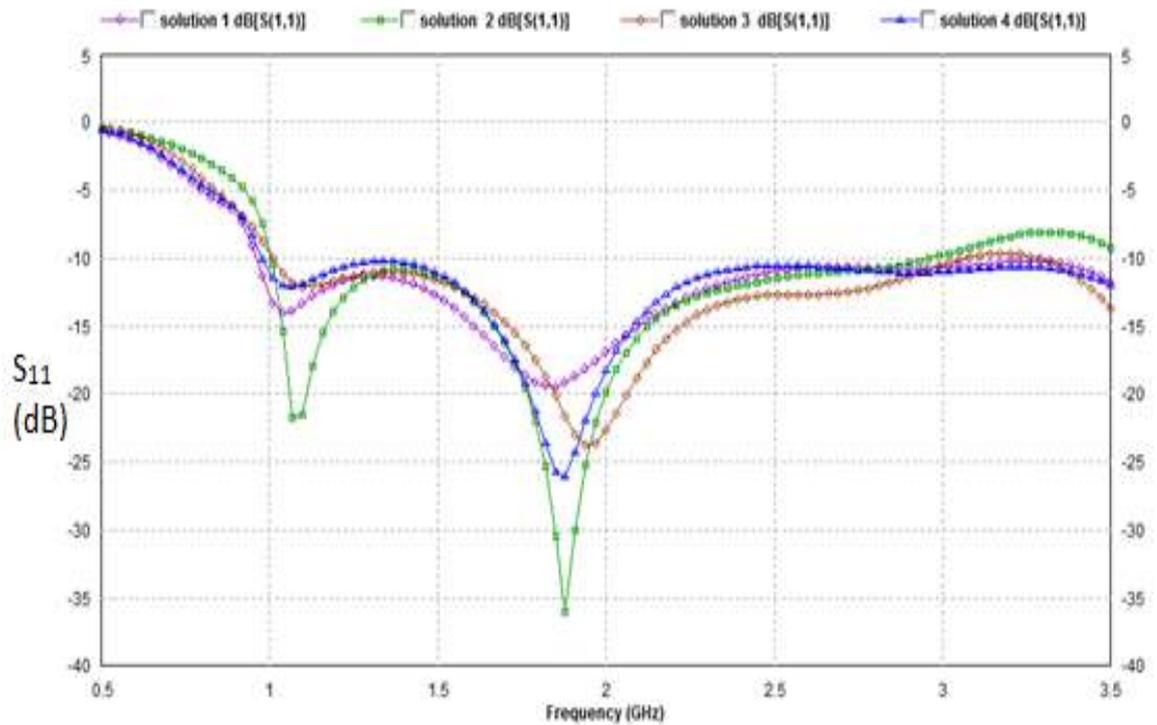
**Figure 2.4** : Modèle de simulation sur IE3D de l'antenne Vivaldi antipodale

Quatre configurations adaptées de 1 à 3 GHz avec différents dimensions/paramètres ont été identifiées. Le détail de ces configurations est donné dans le tableau 2.3. Il est à noter que W1 et L1 (voir figure 2.1) n'existent pas dans notre cas car la simulation suppose un substrat infini.

Paramètres	W2 (mm)	L3 (mm)	L2 (mm)	Cs (mm)	Cw (mm)	Ks	Kw	Sf
Config. 1	106.175	18	124.46	0.045	0.988	0.16	0.01	2
Config.2	106.345	18	113	0.036	1.01	0.16	0.01	1.88
Config.3	110.707	18	115.807	0.04	1.13	0.17	0.01	1.88
Config.4	105.675	16	124.46	0.045	0.971	0.16	0.007	2

**Tableau 2.3** : Dimensions/paramètres des quatre configurations

Les coefficients de réflexion de ces quatre configurations sont comparés sur la figure 2.5.

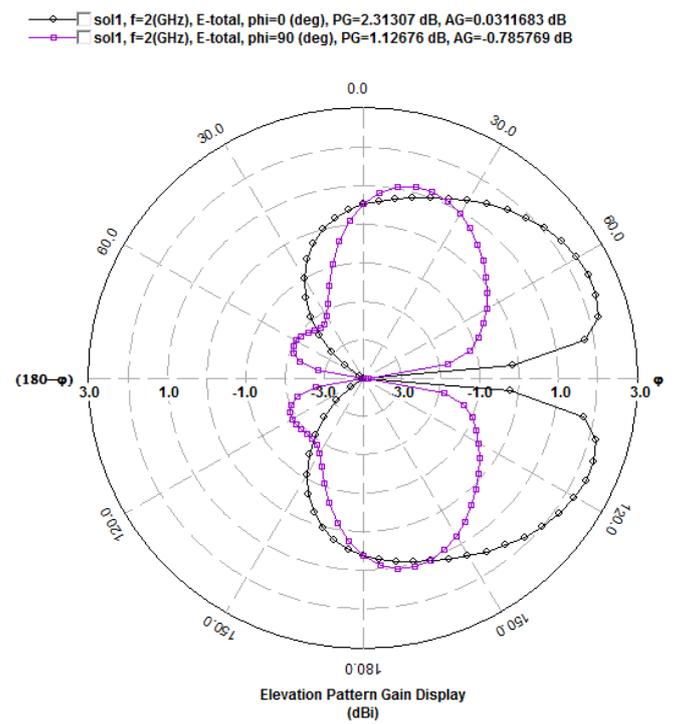
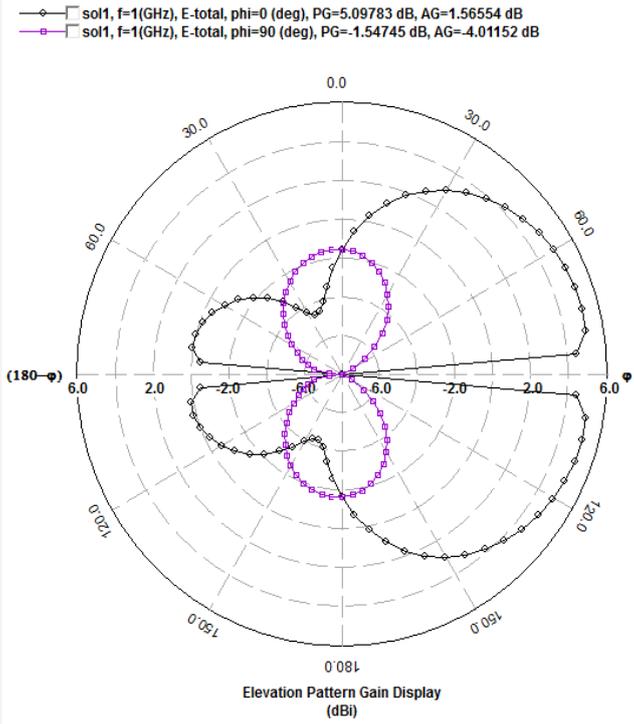


**Figure 2.5** : Coefficient de réflexion des quatre configurations

D'après la figure 2.5 et le tableau 2.3, on peut dire que la configuration 1 est celle qui présente le meilleur compromis en termes de taille, adaptation et bande passante.

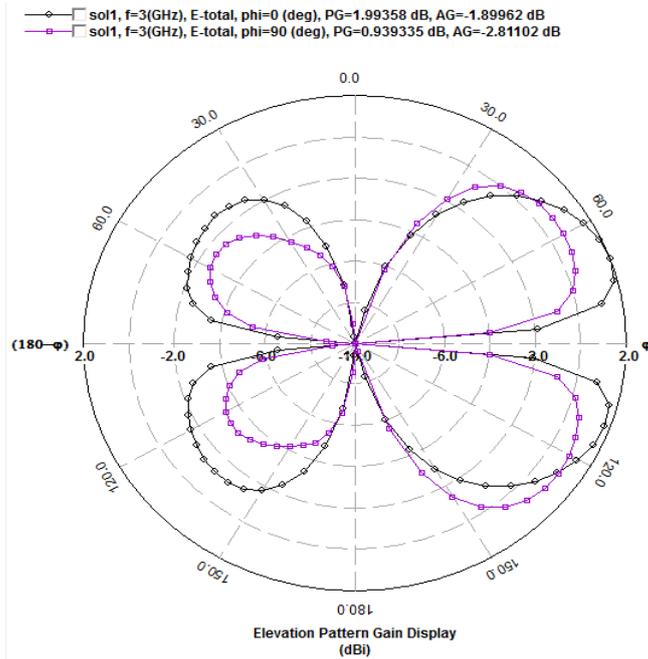
Pour ces raisons, on retiendra cette configuration pour la suite de ce travail.

Les figures 2.6 et 2.7 montrent les diagrammes de rayonnement 2D et 3D (respectivement) pour les fréquences 1, 2 et 3 GHz.



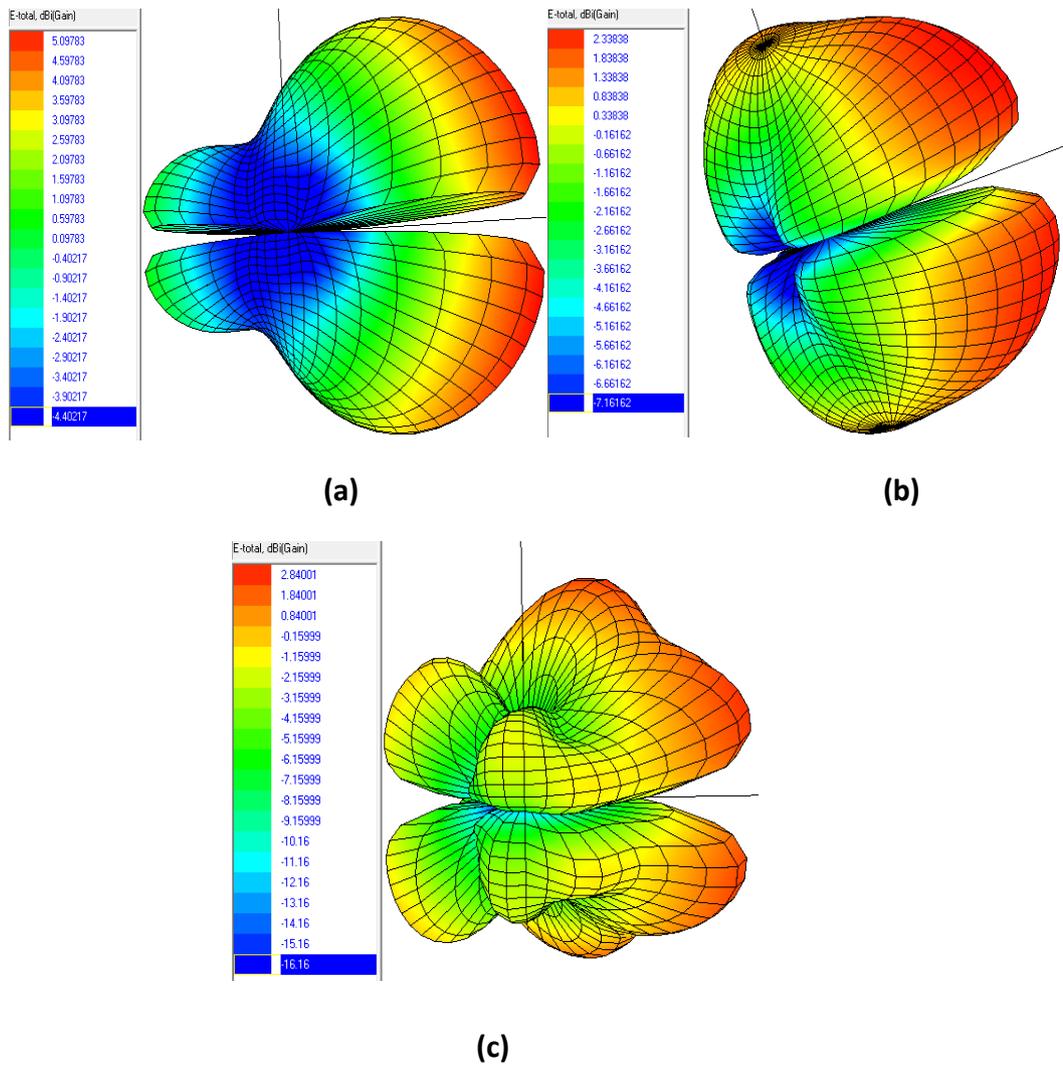
(a)

(b)



(c)

Figures 2.6 : Diagrammes de rayonnement en 2D : (a) à 1 GHz, (b) à 2 GHz et (c) à 3 GHz



**Figures 2.7 :** Diagrammes de rayonnement en 3D: (a) à 1 GHz, (b) à 2 GHz et (c) à 3 GHz

Les diagrammes des figures 2.6 et 2.7 montrent des diagrammes de type directif aux différentes fréquences de fonctionnement de l'antenne. Ceci est compatible avec le cahier des charges défini au début de ce chapitre.

Les valeurs du Gain max aux fréquences 1 GHz, 2 GHz et 3 GHz sont données sur le tableau 2.4.

Fréquence (GHz)	1	2	3
Gain max (dBi)	5.09	2.33	2.84

**Tableau 2.4** : Gain max aux différentes fréquences

## 2.5 Conclusion

Nous avons commencé ce chapitre par le cahier des charge et les spécifications techniques de l'antenne large bande à concevoir. Pour satisfaire un tel cahier des charges notre choix s'est porté sur l'antenne Vivaldi antipodale pour ces bonnes performances. Nous avons ensuite dimensionné et simulé cette antenne pour un fonctionnement dans la bande [1-3 GHz]. Une configuration présentant le meilleur compromis a été retrouvée et ses performances ont été exposées. Dans le chapitre suivant, nous abordons la réalisation pratique de cette antenne ainsi que sa validation expérimentale.

# Chapitre 3 Réalisation et validation expérimentale de l'antenne Vivaldi antipodale [1-3 GHz]

---

## 3.1 Introduction

Il s'agit dans ce chapitre de réaliser l'antenne retenue dans le chapitre précédant. Cette antenne de type Vivaldi antipodale sera imprimée sur un substrat de type Rogers 4350B. Une fois réalisée, nous avons mesuré le coefficient de réflexion de cette antenne à l'aide de l'analyseur de réseau R&S disponible au laboratoire. Les résultats obtenus similaires à ceux prédits par simulation électromagnétique, confirment le bon fonctionnement de l'antenne réalisée.

## 3.2 Rappel des dimensions de la solution retenue

La Figure 3.1 représente la géométrie de l'antenne choisie pour la réalisation. Les dimensions de cette antenne sont rappelées sur le tableau 3.1.

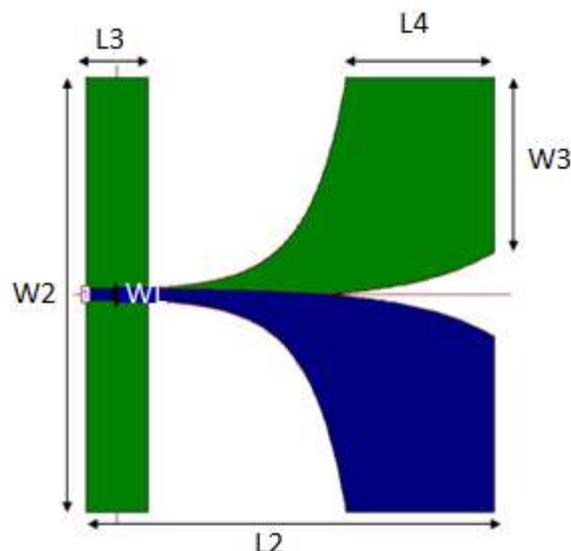


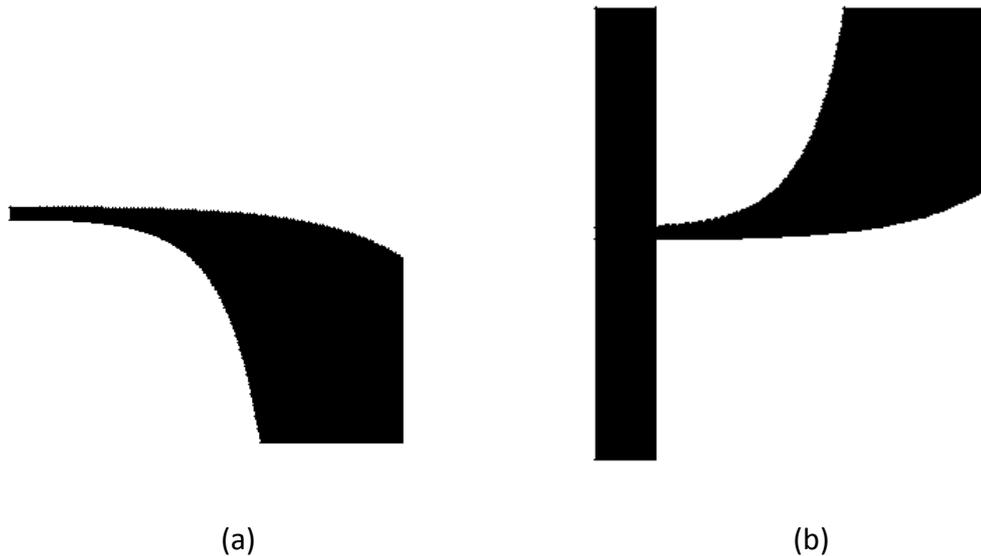
Figure 3.1 : Géométrie de l'antenne à réaliser

Paramètres	L2	L3	L4	W2	W3	WL
Valeurs (mm)	106.17	18	38.48	124.46	50.12	3.34

**Tableau 3.1** : Dimensions de l'antenne à réaliser

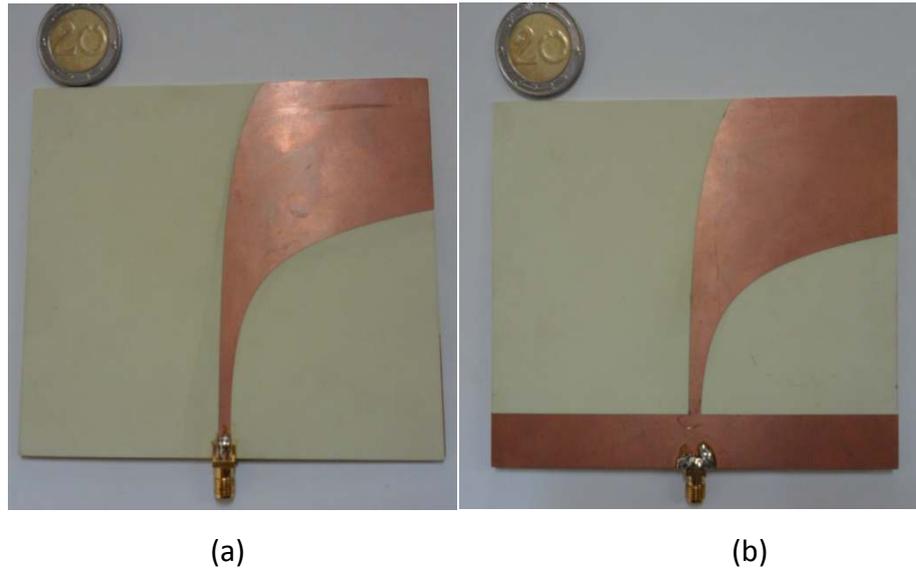
### 3.3 Réalisation de l'antenne

Afin de réaliser maintenant l'antenne de la figure 3.1 sur le substrat de type Ro4350B ( $\epsilon_r = 3.66$ , épaisseur=1.524mm et  $\tan D=0.0031$ ) disponible au laboratoire DIC, nous avons généré les masques (face avant et face arrière) illustrés par la figure 3.2. L'antenne a été réalisée par la société *ALMITECH* situé à Alger.



**Figure 3.2** : Masques de l'antenne à réaliser : (a) face avant, (b) face arrière

Une fois le circuit imprimé de l'antenne récupéré, nous avons soudé un connecteur de type SMA femelle à l'endroit d'excitation de l'antenne comme illustré par la figure 3.3. Ce connecteur nous sera d'utilité par la suite lors de la mesure de cette antenne.



**Figure 3.3 :** Photographie de l'antenne réalisée : (a) face avant, (b) face arrière

### **3.4 Validation expérimentale**

Les mesures de cette partie ont été réalisées avec l'analyseur de réseau vectoriel ROHDE & SCHWARZ ZVL 3 GHz disponible au laboratoire DIC. Après calibrage de l'analyseur, l'antenne a été connectée au port 1 de cet analyseur comme montré sur la figure 3.4. Deux configurations de mesure ont été testées : la première en connectant l'antenne directement au port et la seconde repose sur l'utilisation d'un câble coaxiale de longueur 1 m.

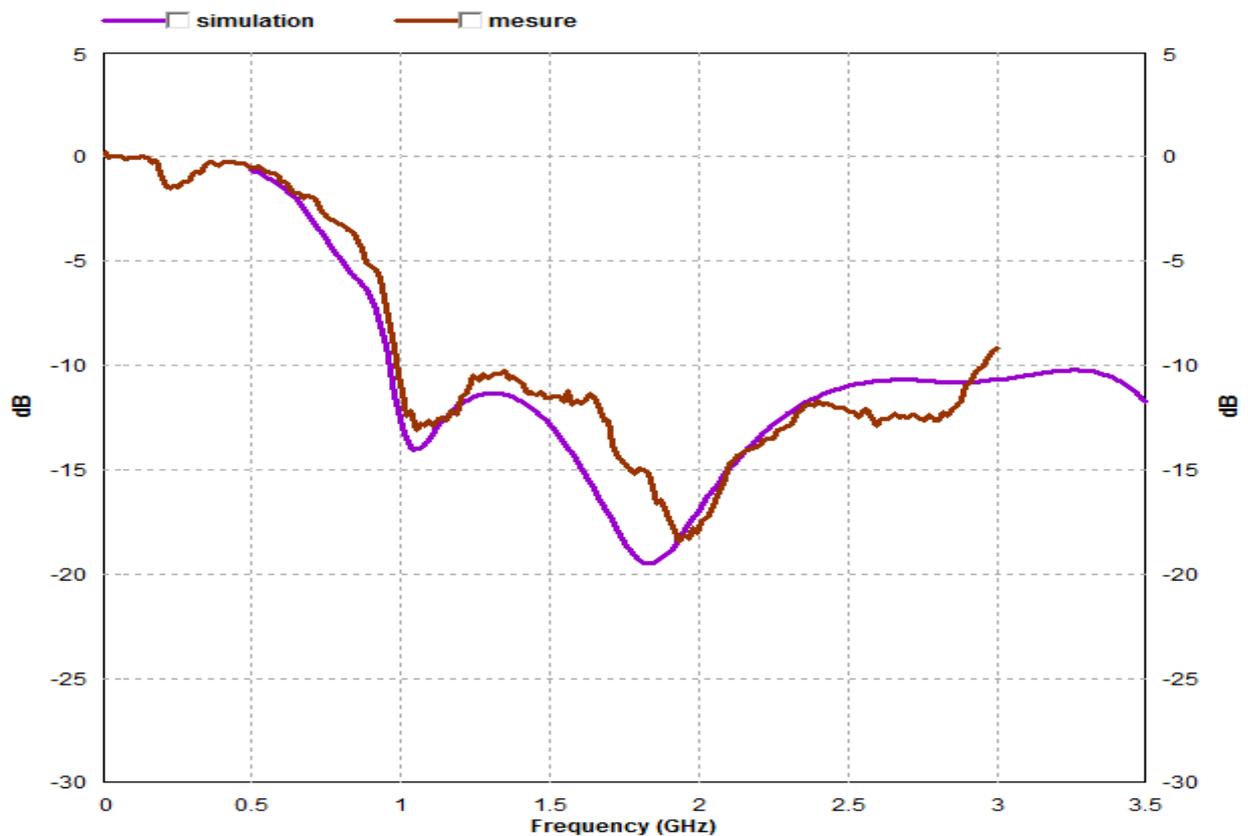


(a)

(b)

**Figure 3.4 :** Photographie montrant la mesure de l'antenne : (a) connexion directe ; (b) connexion avec câble coaxiale

Après acquisition des données mesurées, le coefficient de réflexion mesuré a été comparé sur la figure 3.5 avec celui obtenu par simulation.



**Figure 3.5 :** Coefficient de réflexion simulé et mesuré de l'antenne Vivaldi antipodale

Un bon accord entre les résultats de simulation et de mesure est enregistré comme montre la figure 3.5. Un léger décalage a été cependant constaté pour certaines fréquences du probablement aux incertitudes de réalisation et de mesure. La taille du substrat considérée infinie dans la simulation peut également être la source ce décalage inattendu.

L'antenne présente un coefficient de réflexion mesuré inférieur à -10 dB dans la totalité de bande d'intérêt [1-3 GHz]. Ceci valide le bon fonctionnement fréquentiel de l'antenne réalisée.

Faute de moyens, les mesures des diagrammes de rayonnement et de gain n'ont pas pu être faites.

### **3.5 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons décrit la réalisation et la mesure de l'antenne Vivaldi antipodale large bande conçue dans le chapitre 2.

Après réalisation sur substrat diélectrique par une société spécialisée, l'antenne a été testée avec l'analyseur de réseau disponible au laboratoire DIC. Les résultats de mesure obtenus, similaires à ceux prédits par simulation électromagnétique, confirment le bon fonctionnement de l'antenne réalisée.

## Conclusion générale

---

Les travaux présentés dans ce projet de fin d'études ont portés sur la conception, simulation, réalisation et mesure d'une antenne large bande imprimée fonctionnant dans la bande [1-3 GHz].

La première partie, décrit brièvement quelques généralités sur les antennes en donnant leurs caractéristiques principales. Ensuite, un état de l'art sur les antennes large bande a été donné brièvement.

Le second chapitre présente la conception et la simulation d'une antenne imprimée large bande de type Vivaldi antipodale qui fonctionne dans la bande [1-3 GHz] à l'aide d'un logiciel de simulation IE3D.

Enfin, dans troisième chapitre présente la réalisation et la simulation de l'antenne retenue dans le chapitre précédant à l'aide de l'analyseur réseau R&S disponible au laboratoire DIC. Les performances en adaptation mesurées sont en concordance avec les performances simulées et valident le bon fonctionnement de l'antenne réalisée dans la bande [1-3 GHz].

Comme perspectives, les mesures des diagrammes de rayonnement seront nécessaires pour la validation finale de l'antenne. Un travail sur la miniaturisation de cette antenne sera également appréciable.

# Annexe 1 Présentation de l'outil IE3D de Zeland

## A.1.1 Présentation

IE3D de Zeland est un outil électromagnétique complet pour la simulation, l'optimisation et la conception en 3D des antennes et des circuits numériques. L'IE3D a été adopté comme une norme industrielle dans la simulation électromagnétique. Depuis son introduction officielle en 1993 à IEEE International Micro-wave Symposium (IMS IEEE 1993), des améliorations ont été apportées au logiciel IE3D [21].

L'IE3D est devenu l'outil de simulation électromagnétique le plus polyvalent. Il est facile à utiliser, efficace et précis. Il est largement utilisé pour la conception de circuits hyperfréquences/millimétriques, interconnexion et packaging de circuits intégrés CI, antennes planaires, antennes filaires et autres antennes radiofréquence sans fils [2,22]. La Figure A.1 montre l'interface principale du logiciel IE3D.

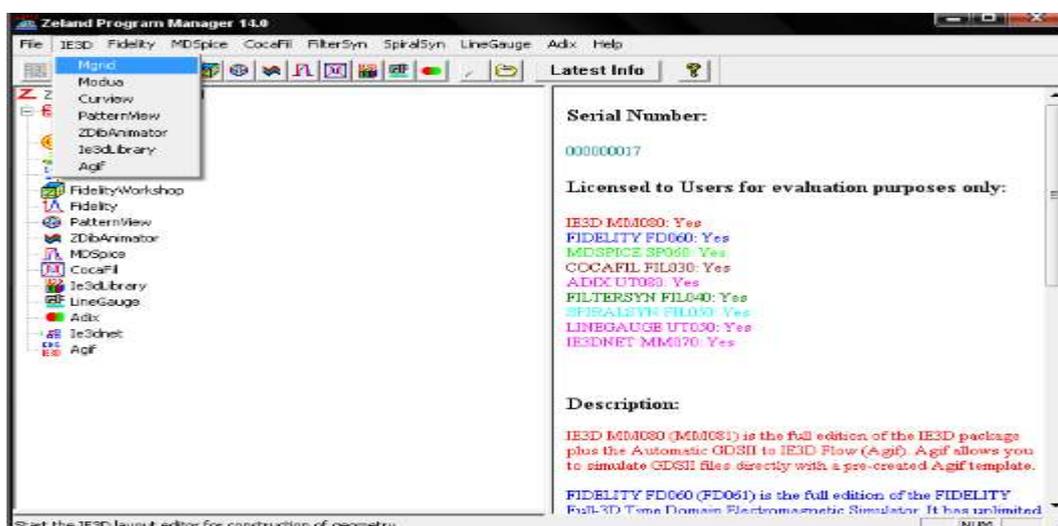
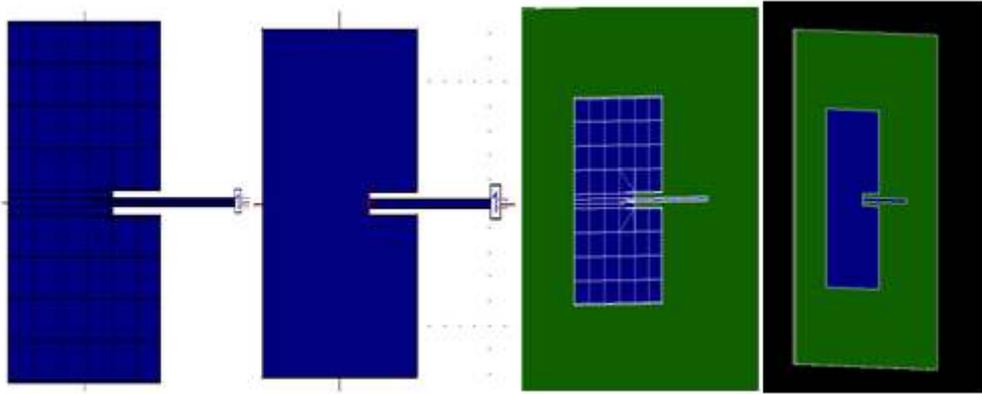


Figure A.1 : Interface principale de l'IE3D

## A.1.2 Résultats de simulation

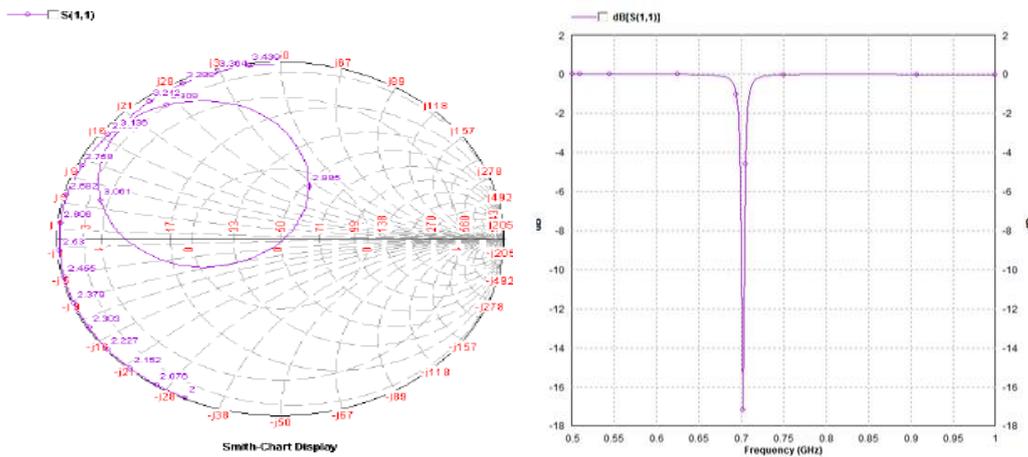
Une fois la simulation terminée, de nombreuses sorties de résultats sont autorisées.

Nous avons simulé une structure d'un patch avec IE3D. Le modèle de simulation d'une telle antenne est représenté par la figure A.2.



**Figure A.2 :** Différentes vues du modèle de simulation d'une antenne patch

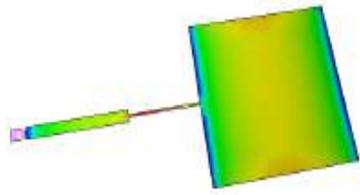
Un paramètre important pour l'étude des antennes qui est le coefficient de réflexion est affiché par IE3D (voir Figure A.3).



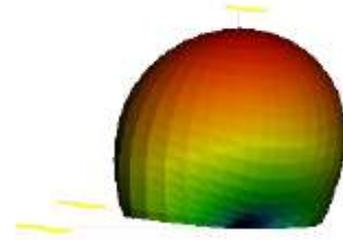
**Figure A.3:** Exemples de résultats affichés par IE3D : Coefficient de réflexion d'une antenne

### A.1.3 Visualisation de la distribution de courant et le diagramme de rayonnement d'une antenne

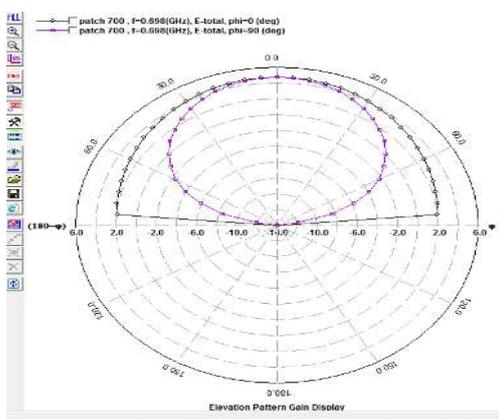
On peut aussi visualiser la distribution de courant des structures après simulation (Fig. A.4) ainsi que le diagramme de rayonnement en 3D (Fig. A.5) et en 2D (Fig. A.6).



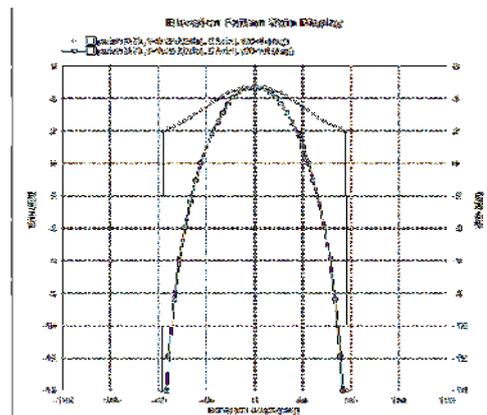
**Figure A.4:** Distribution de courant



**Figure A.5 :** Diagramme de rayonnement 3D



(a)



(b)

**Figure A.6 :** Diagramme de rayonnement en 2D: (a) représentation polaire, (b) représentation cartésienne

## Annexe 2 Programme MATLAB pour la génération de l'antenne Vivaldi antipodale

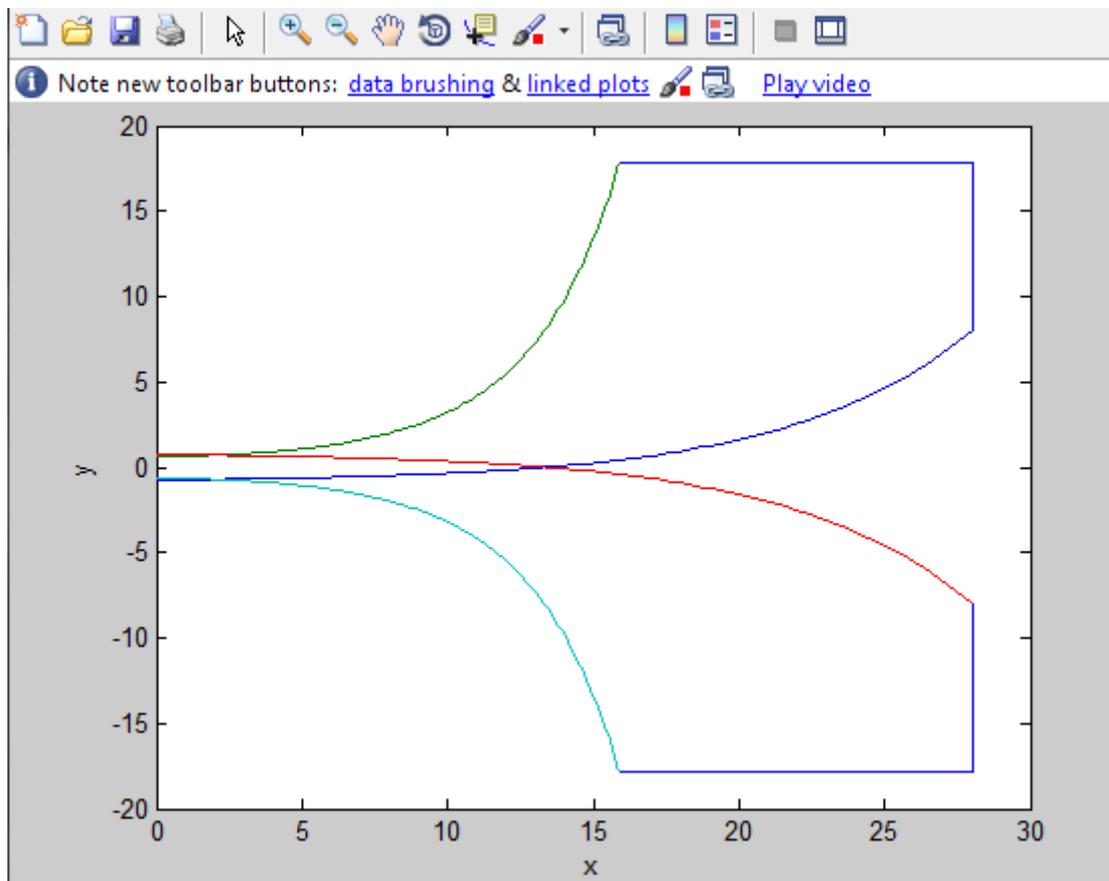
---

### A.2.1 Fichier m :

```
close all
clear all
clc
N=100;
W=35.56;
L=(35.65-7.6);
cs=0.1;
ks=0.16;
cw=1.5;
kw=0.01;
sf=2;
Ymax1=L;
xm=2*cs*exp(ks.*L)
xmax1=+cs*exp(ks.*L)-(cs+0.5*cw)
Ymax2=(1/kw*log((W/2+cs+0.5*cw)/cw))^(1/sf);
Ymax3=(1/kw*log((-W/2-cs-0.5*cw)/(-cw)))^(1/sf);
y1=0:Ymax1/N:Ymax1;
y2=0:Ymax2/N:Ymax2;
y3=0:Ymax3/N:Ymax3;
x1=+cs*exp(ks.*y1)-(cs+0.5*cw);
x2=+cw*exp(kw.*y2.^sf)-(cs+0.5*cw);
x3=-cs*exp(ks.*y1)+(cs+0.5*cw);
x4=-cw*exp(kw.*y3.^sf)+(cs+0.5*cw);
figure(1)
plot(y1,x1,y2,x2,y1,x3,y3,x4);
line([L,L],[xmax1,xm]);
line([L,Ymax2],[xm,xm]);
line([L,L],[-xmax1,-xm]);
line([L,Ymax2],[-xm,-xm]);
ylabel('Y');
xlabel('X');
```

## A.2.2 Exemple d'exécution :

La figure A.8 représente l'exécution du programme si dessus simulé par MATLAB.



**Figure A.7 :** Génération de l'antenne Vivaldi antipodale à l'aide de MATLAB

## Bibliographie

---

- [1] C. A. Balanis, «Antenna theory analysis and design », John Wiley & Son, 3d Edition, 2005.
- [2] A. Boyer « Cours\_antennes\_oct11\_v4\_5RT », INSA Toulouse, octobre 2011.
- [3] D. Bouchouich, « Etude de faisabilité de la récupération d'énergie électromagnétique ambiante », thèse de doctorat de l'université de Tours, France, 2010.
- [4] A. Chakal & Y. Tabouche, « Conception et simulation d'un système antenneaire MIMo multi bande pour LTE », Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme Master en Électronique option Télécommunication & Réseau ,Université de BLIDA 1, 2014.
- [5] M. Bitchikh, « Les antennes Ultra Large Bande dans le domaine des communications mobiles », thèse de doctorat en électronique, école nationale polytechnique d'Alger, 2014.
- [6] D. Ameziane, « Etude et optimisation d'antennes fractales plaquées », mémoire de magister de télécommunication, Université de Tlemcen 2009.
- [7] O. Ripoche, « Miniaturisation d'antennes en bande VHF pour applications spatiales », Thèse de Doctorat de l'université de Toulouse III, 2013.
- [8] D. Ziani Kererti, « Etude et conception d'antennes Ultra Large Bande », mémoire de magister en télécommunications, Université Tlemcen, 2011.
- [9] J. Dyson, « The equiangular spiral antennas », IRE on antenna and propagation, pp.181-187, 1959.
- [10] Malfi & H. manal, « Antennes miniatures ultra large bande pour des applications sans fil », Université de Tlemcen 2014.
- [11] R. H. Duhamel and D. Isabell, « Broadbande logarithmically periodic antenna structure », IRE international convention record, vol.5, part 1, pp 119-128, Mars 1957.

- [12] A. Chami, « Miniaturisation et intégration d'antennes imprimées pour systèmes Communication ULB pulses », thèse doctorat en science, université de Nice-sophia antipolis, 2011.
- [13] H. G. Schantz, « A Brief history of UWB Antennas » IEEE UWBST conference, 2003.
- [14] N. Fortino, « conception et caractérisation d'antennes imprimées pour les systèmes ULB impulsions », thèse de doctorat, université Nice-sophia Antipolis, 2006.
- [15] J. A. N. Noronha et al, « Designing antennas for UWB systems », Articles June 2003.
- [16] E. Guillanton, « Etude d'un système d'imagerie multistatique-multifréquence pour la reconstruction d'objets enfouis », thèse de doctorat, 2000.
- [17] B. Allen et al. « Ultra Wide band Antennas and Propagation for Communications, Radar and Imaging », Wiley, 2006.
- [18] J. Roger, « Antennes : technique » Traité d'électronique E3284, Technique de l'Ingénieur.
- [19] A. Z. Hood, T. Karacolak, E. Topsaka, « A Small Antipodal Vivaldi Antenna for Ultrawide-Band Applications », vol.7, IEEE 2008.
- [20] E. Gazit, « Improved design of the Vivaldi antenna », IEEE proceedings, p 89-92, 1988.
- [21] IE3d, Manuel IE3d version 14, Zeland software.
- [22] [www.ctsystemes.com](http://www.ctsystemes.com).