



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT  
SUPERIEURET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

**UNIVERSITE ABOU BAKR BELKAID - TLEMEN**  
FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DU TELECOMMUNICATION  
LABORATOIRE DE TELECOMMUNICATIONS

## **MEMOIRE**

Pour l'obtention du

**DIPLOME DE MASTER**

DE LA FACULTE DE  
TECHNOLOGIES

**Spécialité : Système de Télécommunications**

**MADANI YOUSFI ZAKARIA**

# **RESEAUX D'ANTENNES VIVALDI POUR DES APPLICATIONS MEDICALES.**

Soutenu le 29 juin 2022 devant le jury composé de :

<b>Mme. BOUSALAH FAYZA</b>	MCA, Université Tlemcen	Encadrante
<b>Mr. RABAH MOHAMMED AMIN</b>	MRA, Centre CDS-Oran	Co-encadrant
Mme. Naima. BENMOSTEFA.	<b>Prof, Université de Tlemcen</b>	<b>Examinatrice</b>
Mme. Amina. SEDJELMACI.	<b>MCA, Université de Tlemcen</b>	<b>Examinatrice</b>

# *Remerciement*

*Ce travail a été mené au sein du laboratoire de télécommunications (LTT),  
département de génie électrique et électronique de la faculté de technologie de  
l'université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen.*

*Je tiens dans un premier temps à adresser mes remerciements les plus vifs à  
mon encadrante Madame BOUSALAH FAYZA et mon Co-encadrant RABAH  
MOHAMMED AMIN. Toujours disponible, ils m'ont fait profiter de leurs  
grandes expériences et de leurs connaissances dans le domaine des antennes.*

*J'exprime mes sincères remerciements à Mme N. BENMOSTEFA pour avoir  
accepté d'être président de mon jury de thèse.*

*Je remercie également Mme A. SEDJELMACI d'avoir accepté d'examiner et  
discuter ce travail.*

## *Dédicaces*

*Je dédie ce travail à :*

Dieu « الله » le Tout Puissant, pour m'avoir accordé la vie, la santé, la force, le courage pour la réalisation de ce travail et pour m'avoir permis d'être ce que je suis devenue aujourd'hui.

Mes parents, pour tous les sacrifices qu'ils ont faits, pour tout l'amour qu'ils m'ont témoigné et pour leur soutien, que dieu les garde en bonne santé...

Que ce travail soit le fruit de vos sacrifices et le modeste témoignage de mon plus profond respect et mon plus grand amour ; mes parents.

A mes frères Ryad, Chakib, Ahmed et Housseem Eddine.

A mes belles sœurs ; Halima, Narimene et Kenza.

A mes chers neveux ; Rachad, Adam, Racim, Wassim, Razan

A mes chers amis KHERBOUCHE RAFAH et BEKKARA  
MEROUANE

Zakaria



# Résumé

La prolifération croissante d'appareils avancés pour la communication UWB, 5G, la communication à ondes micrométriques et à ondes millimétriques exige une antenne capable de gérer des débits de données énormes, offrant un gain élevé et un diagramme de rayonnement stable comme panacée à la plupart des problèmes de communication sans fil actuels. De nombreuses conceptions d'antennes différentes ont été proposées par les chercheurs, mais l'antenne Vivaldi a attiré l'attention de la plupart des chercheurs en raison de son gain élevé, de sa large bande passante, de sa perte de rayonnement moindre et de son diagramme de rayonnement stable.

Ce travail cible des applications médicales nous optons à l'investigation de type d'antennes Vivaldi grâce à ses performances pour la détection et la localisation des tumeurs du sein qui ont pour but de cibler ces tumeurs et de les détruire, ce type d'antenne Vivaldi est conçu afin de lutter contre ces maladies et aussi contre le cancer du tissu humain.

**Mots-clés** : Antenne Vivaldi, Silicone, FR4, Roger, gain élevé, UWB, réseau, CST MWS, Matlab, paramètres-S.

## ABSTRACT

The increasing proliferation of advanced devices for UWB, 5G, microwave and millimeter-wave communication requires an antenna capable of handling huge data rates, offering high gain and stable radiation pattern as a panacea to most of the current wireless communication problems. Many different antenna designs have been proposed by researchers, but the Vivaldi antenna has attracted the attention of most researchers due to its high gain, wide bandwidth, lower radiation loss, and stable radiation pattern.

This work targets medical applications we opt to investigate Vivaldi antenna type due to its performance in detecting and localizing breast tumors which aim to target these tumors and destroy them, this type of Vivaldi antenna is designed in order to fight against these diseases and also against the concert of the human tissue.

**Keywords :** Vivaldi antenna, Silicone, FR4, Roger, high gain, UWB, network, CST MWS, Matlab, S-parameters

# ملخص

يتطلب الانتشار المتزايد للأجهزة المتقدمة لاتصالات UWB و G5 والميكروويف والموجات المليمترية هوائياً قادرًا على التعامل مع معدلات البيانات الضخمة ، مما يوفر مكاسب عالية ونمط إشعاع مستقر كعلاج لمعظم مشكلات الاتصالات اللاسلكية الحالية. تم اقتراح العديد من تصميمات الهوائيات المختلفة من قبل الباحثين ، لكن هوائي فيفالدي لفت انتباه معظم الباحثين بسبب مكاسبه العالية وعرض النطاق الترددي الواسع وفقدان الإشعاع الأقل ونمط الإشعاع المستقر.

يستهدف هذا العمل التطبيقات الطبية ، فنحن نختار فحص نوع هوائيات فيفالدي بفضل أدائها في الكشف عن أورام الثدي وتوطينها والتي تهدف إلى استهداف هذه الأورام والقضاء عليها ، تم تصميم هذا النوع من الهوائي فيفالدي من أجل محاربتها ضد هذه الأمراض وأيضاً ضد حفلة الأنسجة البشرية.

الكلمات الرئيسية: هوائي Vivaldi ، سيليكون ، FR4 ، روجر ، مكاسب عالية ، UWB ، شبكة ، CST MWS ، Matlab ، معلمات S.

### **III.1 Table des matières**

UNIVERSITE ABOU BAKR BELKAID - TLEMCCEN.....	1
III.1 INTRODUCTION.....	17
<b>III.1 DEFINITION D'UNE ANTENNE.....</b>	<b>17</b>
<b>III.2 CARACTERISATION D'UNE ANTENNE .....</b>	<b>17</b>
III.2.1 Caractéristiques électriques.....	18
III.2.2 Caractéristiques de rayonnement.....	22
<b>III.3 Comment déterminer la polarisation d'une antenne.....</b>	<b>24</b>
<b>III.4 LES ANTENNES ULB .....</b>	<b>25</b>
<b>III.5 TYPES DES ANTENNES.....</b>	<b>26</b>
III.5.1 Antenne filaire.....	26
III.5.2 Antenne planaire.....	26
III.5.3 Antenne à cornet.....	27
III.5.4 Antenne parabolique.....	27
III.5.5 Antenne à fente.....	28
<b>III.6 TYPES D'ALIMENTATIONS.....</b>	<b>28</b>
III.6.1 Sonde coaxiale.....	29
III.6.2 Alimentation par ligne micro-ruban .....	29
III.6.3 Couplage par fente.....	30
<b>III.7 TECHNIQUES UTILISEES POUR OBTENIR DES ANTENNES PLANAIRES A LARGE BANDE.....</b>	<b>30</b>
La combinaison de plusieurs éléments rayonnants .....	30
III.7.1 Augmentation de l'épaisseur du substrat.....	31
III.7.2 Utilisation des algorithmes d'optimisation.....	31
<b>III.8 ANTENNES VIVALDI.....</b>	<b>31</b>
III.8.1 Définition générale sur l'antenne Vivaldi .....	31
III.8.2 Types des antennes Vivaldi .....	32
<b>Caractéristiques de rayonnement de l'antenne Vivaldi antipodale.....</b>	<b>33</b>
▪ Mécanisme de rayonnement :.....	33
III.8.3 Largeur de bande .....	33
III.8.4 Le gain.....	34
<b>III.9 CONCLUSION.....</b>	<b>34</b>
<b>III.10 Bibliographie.....</b>	<b>34</b>
II INTRODUCTION.....	37
<b>II.1 PRINCIPE DE L'IMAGERIE .....</b>	<b>37</b>
<b>II.2 DIFFERENTES TECHNIQUE.....</b>	<b>37</b>



II.2.1	La radiologie : objectifs et avantages .....	38
II.2.2	Le scanner : objectifs et avantages .....	39
II.2.3	L'IRM : objectifs et avantages .....	39
II.2.4	Mammographie .....	40
II.2.5	Mammographie de dépistage.....	40
II.2.6	Mammographie diagnostique .....	40
<b>II.3</b>	<b>IMAGERIE MEDICALE DANS LE DIAGNOSTIC DU CANCER DU SEIN .....</b>	<b>41</b>
<b>II.4</b>	<b>EXAMENS EN SUIVI POST-CANCER DU SEIN.....</b>	<b>41</b>
<b>II.5</b>	<b>ANATOMIE DU SEIN .....</b>	<b>42</b>
<b>II.6</b>	<b>CANCER DU SEIN.....</b>	<b>42</b>
<b>II.7</b>	<b>DIFFERENCE ENTRE TUMEURS BENIGNES ET TUMEURS MALIGNES.....</b>	<b>43</b>
II.7.1	Tumeur bénigne.....	43
II.7.2	Tumeur maligne .....	43
<b>II.8</b>	<b>TYPES DE TUMEURS DU SEIN.....</b>	<b>43</b>
II.8.1	Cancer canalaire in situ ou carcinome canalaire in situ (CCIS) .....	44
II.8.2	Cancer carcinome lobulaire in situ (CLIS).....	44
<b>II.9</b>	<b>DIFFERENTS STADES DU CANCER .....</b>	<b>45</b>
II.9.1	Stade1 .....	45
II.9.2	Stade 2 .....	45
II.9.3	Stade3 .....	45
II.9.4	Stade 4 .....	45
<b>II.10</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>46</b>
<b>II.11</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>46</b>
<b>III.1</b>	<b>CONCEPTION D'UNE ANTENNE VIVALDI ANTIPODALE A OUVERTURE ELLIPTIQUE .....</b>	<b>48</b>
III.1.1	Paramètres de conception de l'antenne Vivaldi .....	48
III.1.2	Propriétés du Substrat.....	49
III.1.3	Dimensions des ellipses verticales .....	49
	Figure 2 : Ellipses verticales de l'antenne Vivaldi. ....	50
III.1.4	Dimensions du cercle : .....	50
	Figure 3 : Cercle de l'ellipse. ....	50
III.1.5	Ligne micro ruban .....	50
<b>III.2</b>	<b>CALCULATEUR EN LIGNE.....</b>	<b>51</b>
<b>III.3</b>	<b>DESIGN FINAL DE L'ANTENNE VIVALDI ANTIPODALE .....</b>	<b>51</b>
<b>III.4</b>	<b>LOGICIEL CST STUDIO SUITE.....</b>	<b>52</b>
<b>III.5</b>	<b>SIMULATION DE L'ANTENNE VIVALDI .....</b>	<b>52</b>

III.5.1	Coefficient de réflexion $S_{11}$ .....	52
III.5.2	Taux d'onde stationnaire VSWR.....	53
III.5.3	Étude paramétrique.....	53
III.5.4	Coefficient de réflexion $S_{11}$ .....	54
III.5.5	Taux d'onde stationnaire VSWR.....	55
III.5.6	Gain maximal .....	55
<b>III.6</b>	<b>RESEAUX D'ANTENNES.....</b>	<b>56</b>
III.6.1	Définition.....	56
III.6.2	Alimentation d'un réseau d'antennes .....	57
III.6.3	Types de réseaux d'antennes .....	57
<b>III.7</b>	<b>DIVISEUR DE PUISSANCE .....</b>	<b>60</b>
III.7.1	Définition.....	60
<b>III.8</b>	<b>RESEAU D'ANTENNE VIVALDI ANTIPODALE A DEUX ELEMENTS.....</b>	<b>61</b>
<b>III.9</b>	<b>DIMENSION DU RESEAU D'ANTENNE VIVALDI ANTIPODALE.....</b>	<b>62</b>
III.9.1	Dimension du nouveau substrat.....	62
<b>III.10</b>	<b>Dimension micro-ruban .....</b>	<b>62</b>
III.10.1	Dimension du micro-ruban entre deux éléments .....	63
III.10.2	Dimension du micro-ruban à l'entrée du réseau.....	63
<b>III.11</b>	<b>SIMULATION DU RESEAU D'ANTENNE.....</b>	<b>64</b>
III.11.1	Coefficient de réflexion $S_{11}$ .....	65
III.11.2	Taux d'onde stationnaire .....	65
III.11.3	Gain du réseau d'antenne .....	66
<b>III.12</b>	<b>MODELE DE SEIN .....</b>	<b>66</b>
<b>III.13</b>	<b>RESULTATS DE DETECTION DE LA TUMEUR.....</b>	<b>67</b>
<b>III.14</b>	<b>RESULTATS DE SIMULATION AVEC UN SEUL ELEMENT D'ANTENNE VIVALDI.....</b>	<b>68</b>
III.14.1	Coefficient de réflexion.....	68
III.14.2	Taux d'Onde Stationnaire VSWR.....	68
III.14.3	Efficacité du rayonnement.....	68
<b>III.15</b>	<b>DEBIT D'ABSORPTION SPECIFIQUE (SPECIFIC ABSORPTION RATE) SAR</b>	<b>69</b>
<b>III.16</b>	<b>RESULTAT DE SIMULATION SAR.....</b>	<b>70</b>
III.16.1	Résultat de SAR avec une antenne un seul élément .....	70
<b>III.17</b>	<b>COMPARAISON ENTRE LA VRAIE TUMEUR ET LA DETECTION DU SAR.</b>	<b>72</b>
<b>III.18</b>	<b>RESULTAT D'UN RESEAU D'ANTENNE AVEC TUMEUR.....</b>	<b>72</b>
III.18.1	Coefficient de réflexion.....	72
III.18.2	Taux d'onde stationnaire VSWR.....	73

III.18.3	Efficacité de rayonnement.....	73
<b>III.19</b>	<b>RESULTATS DU SAR .....</b>	<b>75</b>
<b>III.20</b>	<b>COMPARAISON ENTRE LA VRAIE TUMEUR ET LA DETECTION DU SAR D'UN RESEAU D'ANTENNE .....</b>	<b>76</b>
<b>III.21</b>	<b>III.21.RESEAU D'ANTENNE VIVALDI A QUATRE ELEMENTS.....</b>	<b>77</b>
	<b>III.21.1 Structure de réseau d'antenne proposée.....</b>	<b>77</b>
<b>III.22</b>	<b>RESULTAT DE SIMULATION.....</b>	<b>77</b>
	<b>III.22.1 Coefficient de réflexion.....</b>	<b>78</b>
	<b>III.22.2 Rapport d'onde stationnaire .....</b>	<b>78</b>
	<b>III.22.3 Diagramme de rayonnement.....</b>	<b>78</b>
<b>III.23.</b>	<b>RESULTAT DE SIMULATION DU RESEAU AVEC LE FANTOME.....</b>	<b>78</b>
	<b>III.23.1 Coefficient de réflexion S11.....</b>	<b>79</b>
	<b>III.23.2 Rapport d'onde stationnaire.....</b>	<b>79</b>
	<b>III.23.3 Diagramme de rayonnement.....</b>	<b>79</b>
	<b>III.23.4 Résultat du SAR.....</b>	<b>80</b>
	<b>III.23.5 Comparaison entre la vraie tumeur et LA détection du SAR d'un réseau d'antenne à quatre élément .....</b>	<b>82</b>
<b>III.24</b>	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>82</b>
<b>III.25</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>83</b>
<b>III.26</b>	<b>REFERENCES .....</b>	<b>86</b>

## TABLE DE FIGURE

Figure 1 système de générale de communication sans fil.....	17
Figure 2 Bande passante d'une antenne .....	20
Figure 3 – Illustration de la conservation de l'énergie dans une antenne .....	21
Figure 4 : polarisation d'une antenne .....	24
Figure 5 : Comparaison de spectre bande étroite et large bande .....	26
Figure 6 Antenne Yagi. ....	26
Figure 7 Conception d'une antenne Patch micros-trip .....	27
Figure 8 Antenne à cornet .....	27
Figure 9 : Antenne parabolique .....	28
Figure 10: Antenne à fente .....	28
Figure 11: Alimentation du patch rectangulaire avec un câble coaxiale [10] .....	29
Figure 12: Alimentation du patch rectangulaire par une ligne micro-ruban [10] .....	29
Figure 13Alimentation du patch rectangulaire par couplage. [10].....	30
Figure 14Antenne imprimée alimentée par fente [11] .....	30
Figure 15:antenne Vivaldi à fente conique.....	32
Figure 16 Vue explosée d'une antenne Vivaldi balancée et antipode. ....	33
Figure 17:mammographie .....	40
Figure 19:shéma d'une vu latérale du sein.....	43
Figure 20: Carcinome Calanaire in situ (CCIS). ....	44
Figure 21: carcinome lobulaire in situ (CLIS). ....	45
Figure 22: structure de l'antenne Vivaldi antipodale [7].....	48
Figure 23: calculateur en ligne [7] .....	51
Figure 24 Antenne Vivaldi Antipodale .....	51
Figure 25 S11 avant l'adaptation .....	52
Figure 26 VSWR Avant l'adaptation.....	53
Figure 27 Etude Paramétrique.....	54
Figure 28 S11 de l'antenne AVA.....	55
Figure 29 VSWR de l'antenne.....	55
Figure 30 Gain de l'antenne Vivaldi antipodale .....	56
Figure 31 Diagramme de rayonnement en 3D .....	56
Figure 32 Alimentation d'un réseau d'antenne (A) en série; (B)-en parallèle .....	57
Figure 33 : Géométries d'un réseau d'antennes .....	58
Figure 34 réseaux linéaires .....	59
Figure 35 Géométrie d'un réseau d'antennes circulaire .....	59
Figure 36 Géométrie d'un réseau d'antenne planaire .....	60
Figure 37 Schéma d'un diviseur de puissance .....	61
Figure 38 Exemple de structure de jonction T d'alimentation.....	61
Figure 39 Réseau d'antenne Vivaldi sur CST .....	62
Figure 40 Substrat du réseau d'antenne.....	62
Figure 41 Ligne micro ruban .....	63
Figure 42 la ligne entre les deux éléments .....	63
Figure 43 calculateur du CST .....	64
Figure 44 la ligne micro-ruban à l'entrée du réseau d'antenne .....	64
Figure 45 Coefficient de réflexion S11 du réseau d'antenne .....	65
Figure 46 VSWR du réseau d'antenne .....	65
Figure 47 Diagramme de rayonnement (Gain IEEE) du réseau d'antenne .....	66
Figure 48 Le modèle de fantôme du sein sur CST .....	67

<b>Figure 49</b> modèle du sein avec l'antenne Vivaldi.....	68
<b>Figure 50</b> Coefficient de réflexion S11 de l'antenne Vivaldi avec tumeur.....	68
<b>Figure 51</b> VSWR d'antenne Vivaldi avec tumeur .....	68
<b>Figure 52</b> l'efficacité de rayonnement de l'antenne Vivaldi avec tumeur .....	69
<b>Figure 53</b> Résultat de SAR sur CST .....	70
<b>Figure 54</b> SAR (1 gramme de tissu) .....	71
<b>Figure 55</b> Diagramme de rayonnement 3D (Directivité) .....	71
<b>Figure 56</b> Comparaison entre la vraie tumeur et la tumeur détectée.....	72
<b>Figure 57</b> Réseau d'antenne avec fantôme de sein avec tumeur .....	72
<b>Figure 58</b> Coefficient de réflexion d'un réseau d'antenne inséré avec tumeur .....	73
<b>Figure 59</b> le VSWR de réseau d'antenne inséré avec tumeur.....	73
<b>Figure 60</b> l'efficacité de rayonnement de réseau d'antenne Vivaldi avec tumeur .....	74
<b>Figure 61</b> Résultat du SAR sur CST.....	75
<b>Figure 62</b> Comparaison entre la vraie tumeur et la tumeur détectée par le réseau .....	76

## INTRODUCTION GENERALE

Le mémoire concerne un réseau d'antenne original en une technologie micro-ruban de forme VIVALDI qui satisfait les caractéristiques recommandées en termes de bande passante, coefficient de réflexion, rapport d'onde stationnaire, et de rayonnement omnidirectionnel. Elle est faite pour les nouveaux systèmes radiologiques permettant une étude des organes interne sans irradiation de l'organisme pour la détection de tumeurs infra millimétrique du cancer du sein

L'imagerie par micro-onde est une modalité à finalité de détection précoce de tumeur de sein, lors ce dernier est exposé à des ondes électromagnétiques, le cancer du sein présent des propriétés électriques qui sont sensiblement différente de celles des tissus mammaires sain. En effet ; la technique de tomographie micro-onde du sein utilise la diffusion de signaux par un objet, lorsque celui-ci est éclairé par un signal électromagnétique. Le signal diffusé dépend des caractéristiques électriques de l'objet ; la constante diélectrique et la conductivité. Ce principe est utilisé pour détecter les tumeurs de sein à l'aide des signaux micro-onde .la tumeur de sein à des propriétés électriques très distinctes (permittivité diélectrique élevée et une conductivité plus élevée), ce qui permet de les détecter en analysant les signaux diffusés.la quantité signal diffusé par la tumeur est supérieur à celle de tissus mammaires normale. Celle-ci peut être reçue par une antenne bien localisée ou une modification de ces propriétés d'émission en raison des signaux diffusés, peuvent être analysé et utilisés pour la détection de tumeur .

Dans ce but, une nouvelle antenne originale en technologie micro-ruban destinée à une application en imagerie médicale qui est la détection de tumeur de sein. Pour sa réalisation, on a exploité certaine technique d'élargissement de la bande passante. L'antenne répond de manière satisfaite pour la détection de tumeur

Pour assurer une bonne adaptation et accroître la performance de l'antenne de base, un réseau d'antenne Vivaldi antipodale à deux éléments symétrique uniforme est réalisé. La structure est alimentée via une ligne micro-ruban. Les lignes attachées aux éléments rayonnants.

La présente invention d'antenne a pour but de détecter les tumeurs malines et de remédier à des inconvénients sur les détecteurs actuels en permettant de remplacer les antennes existantes par d'autres de faible de taille, faible poids, et pour cout minimum tout en conservant leur utilisation dans la bande de fréquence et en satisfaisant les exigences des normes en termes de l'adaptation, de bande passante, du gain et finalement des ouvertures de rayonnement.

# CHAPITRE I

## **GENERALITES SUR LES ANTENNES PLANAIRES**



## CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES ANTENNES PLANAIRES

### III.1 INTRODUCTION

Dans le domaine des télécommunications, certains travaux de recherche utilisent des antennes imprimées pour améliorer leurs caractéristiques de rayonnement. Les systèmes de télécommunications Large Bande jouent un rôle très important dans notre vie qu'ont connu un développement fulgurant marqué quotidienne et, surtout dans le système médical. Dans ce chapitre nous allons tout d'abord traiter de façon générale les antennes, la définition, les notions de bases des quelques propriétés et caractéristique des antennes et représentation des différente type d'antenne imprimées et les différentes techniques d'alimentation.

### III.1 DEFINITION D'UNE ANTENNE

-Une antenne est un dispositif permettant de rayonner ou de recevoir des ondes Électromagnétiques. En d'autres termes, une antenne est un transducteur, qui sert à transformer une énergie électromagnétique guidée en une énergie électromagnétique rayonnée et réciproquement [1].

-Dans un système de communication sans fil, nous pouvons définir une antenne émettrice, recevant une puissance électrique fournie par un bloc d'émission, comme un dispositif qui peut être utilisé pour diffuser cette puissance dans l'espace environnant, sous forme d'ondes électromagnétiques. Une antenne réceptrice peut également capter ces ondes électromagnétiques et fournir une puissance électrique à une charge dans la partie réception.

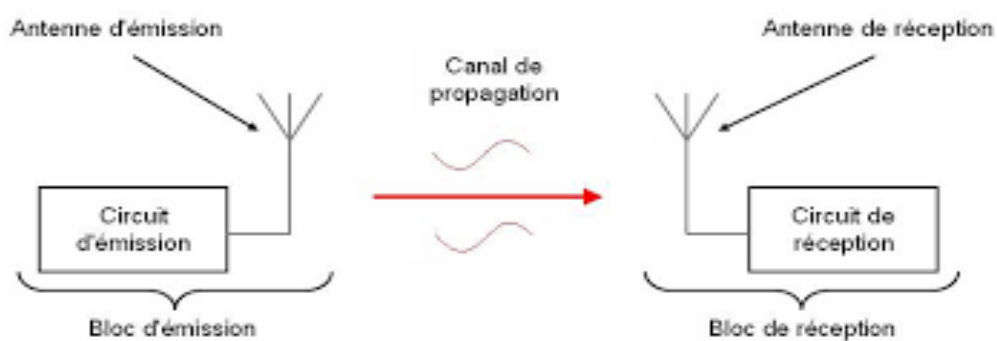


Figure 1 : système de générale de communication sans fil.

### III.2 CARACTERISATION D'UNE ANTENNE

Les antennes se caractérisent généralement par quelques paramètres importants. Ces derniers

Sont classés en deux groupes. Le premier groupe caractérise l'antenne comme un élément de circuit électrique et le second groupe s'intéresse à ses propriétés de rayonnement, telles que les diagrammes de rayonnement, la directivité et le gain.

### III.2.1 Caractéristiques électriques

Généralement, ces paramètres électriques définissent l'antenne comme élément du circuit dans lequel elle est connectée. Plusieurs paramètres peuvent servir à cette caractérisation mais nous ne définissons en effet que les deux principaux, à savoir l'impédance d'entrée et le

Coefficient de réflexion [2].

#### .2.1.1 Impédance d'entrée et coefficient de réflexion

L'impédance d'entrée 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  $I_e$  présentés à son entrée (figure).

Elle est donnée par [2] :

$$Z_{in} = \frac{V_e}{I_e} = R + jX \quad (1)$$

Où :

$Z_{in}$  : impédance d'entrée aux bornes a et b ;

R : résistance de l'antenne aux bornes a et b ;

X : réactance de l'antenne aux bornes a et b.

-Généralement, pour qu'une antenne ait un bon rendement, il est nécessaire que l'émetteur, la ligne de transmission, et l'antenne possèdent presque la même impédance.

-Le coefficient de réflexion est un paramètre qui permet d'évaluer la relation entre la quantité réfléchie d'un signal et la quantité incidente.

-Le coefficient  $\Gamma$  est lié à l'impédance d'entrée de l'antenne et l'impédance caractéristique de la ligne d'alimentation par la relation suivante :

$$\Gamma = \frac{Z_{in} - Z_c}{Z_{in} + Z_c} \quad (2)$$

Où :

$Z_c$  : Impédance caractéristique de la ligne d'alimentation, typiquement égale à  $50\Omega$  ;

On peut représenter  $\Gamma$  sous forme de paramètre  $S$  en dB comme suit :

$$S_{11} = 20 \log(\Gamma) \quad (3)$$

Il est important de préciser que l'impédance de l'antenne peut être utilisée Analyseur de réseau. Dans ce cas, l'entrée de l'antenne est connectée au port de l'analyseur Avec les câbles SMA, il transmet des signaux harmoniques et est capable de séparer les ondes Incident d'ondes réfléchies. Par conséquent, cela permet de mesurer les paramètres  $S$  Notamment le coefficient de réflexion, donc l'impédance de la bande de fréquence peut être déduite considération de fréquence. Cependant, l'utilisation de cet analyseur nécessite une étape Étalonnée avec précision pour mesurer l'impédance dans le plan de référence de l'antenne.

### **.2.1.2 Bande passante et fréquence de résonance**

Hormis les antennes multi-bande et large bande, les antennes sont souvent conçues pour travailler sur une plage de fréquence sur laquelle l'objet communicant doit être à même de fonctionner, cette contrainte se retrouve donc sur tous les composants du module RF dont l'antenne. Ainsi il faut, pour l'antenne, garantir des caractéristiques acceptables notamment au niveau de l'impédance qui est dépendante de la fréquence. La bande passante d'une antenne définit donc la plage de fréquence dans laquelle le coefficient de réflexion est inférieur à un seuil donné. On parle alors de bande passante absolue [3].

$$BP = \Delta F = f_2 - f_1 \quad (4)$$

Où :  $F_1$  : est la fréquence la plus élevée de la bande.

$F_2$  : est la fréquence la plus basse de la bande.

On déduit souvent la bande passante BP d'une antenne à partir de la courbe de son coefficient de réflexion. Généralement la bande passante correspond à la plage de fréquence pour laquelle le coefficient de réflexion est inférieur à -10dB.

Mais dans certaines applications, ce niveau peut être relevé à -6 dB ou à -3 dB, ce qui permet relâcher certaines contraintes lors de la conception d'une antenne.

Il est cependant communément admis que si le seuil auquel est considérée la bande passante n'est pas précisé, il s'agit de la bande passante pour un  $S_{11} \leq -10\text{dB}$ . La Fig. 1.2.2 montre le paramètre  $S_{11}$  d'une antenne en fonction de la fréquence et met en évidence la bande passante pour un  $S_{11} \leq -10\text{dB}$ . Dans cet exemple la bande passante qui s'exprime en Hertz (Hz) est de 200 MHz. La fréquence de résonance,  $f_{res}$  correspond à la fréquence pour laquelle l'antenne est la mieux adaptée, c'est-à-dire pour laquelle le coefficient de réflexion est le plus faible. Sur

une bande passante donnée, il est possible d'observer plusieurs minima donc plusieurs fréquences de résonance. Afin de comparer des structures d'antennes, on exprime souvent la bande passante d'une antenne en termes de bande passante relative par rapport à la fréquence de résonance [3].

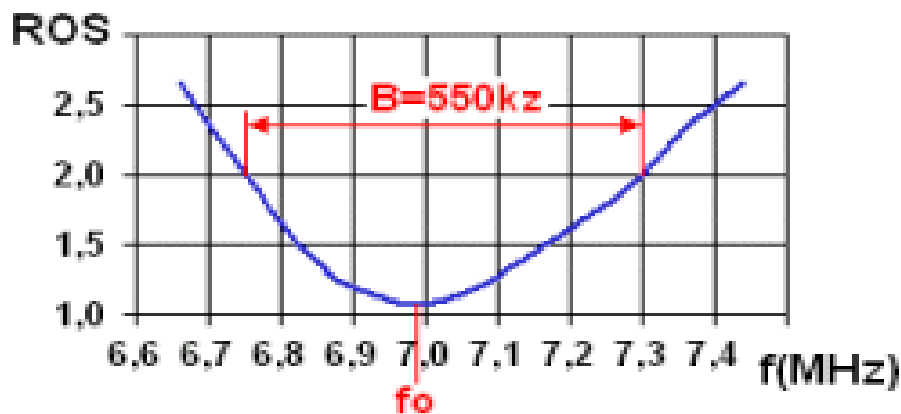
$$BP(\text{en}\%) = \frac{\Delta F}{f_{res}} * 100 \quad (5)$$

Le lien entre la bande passante relative (à -3 dB si on considère l'antenne du point

De vue circuit électronique) et le facteur de qualité Q que l'on définira plus tard

se fait de manière assez simple :

$$BP = \frac{\Delta F}{f_{res}} = \frac{1}{Q} \quad (6)$$



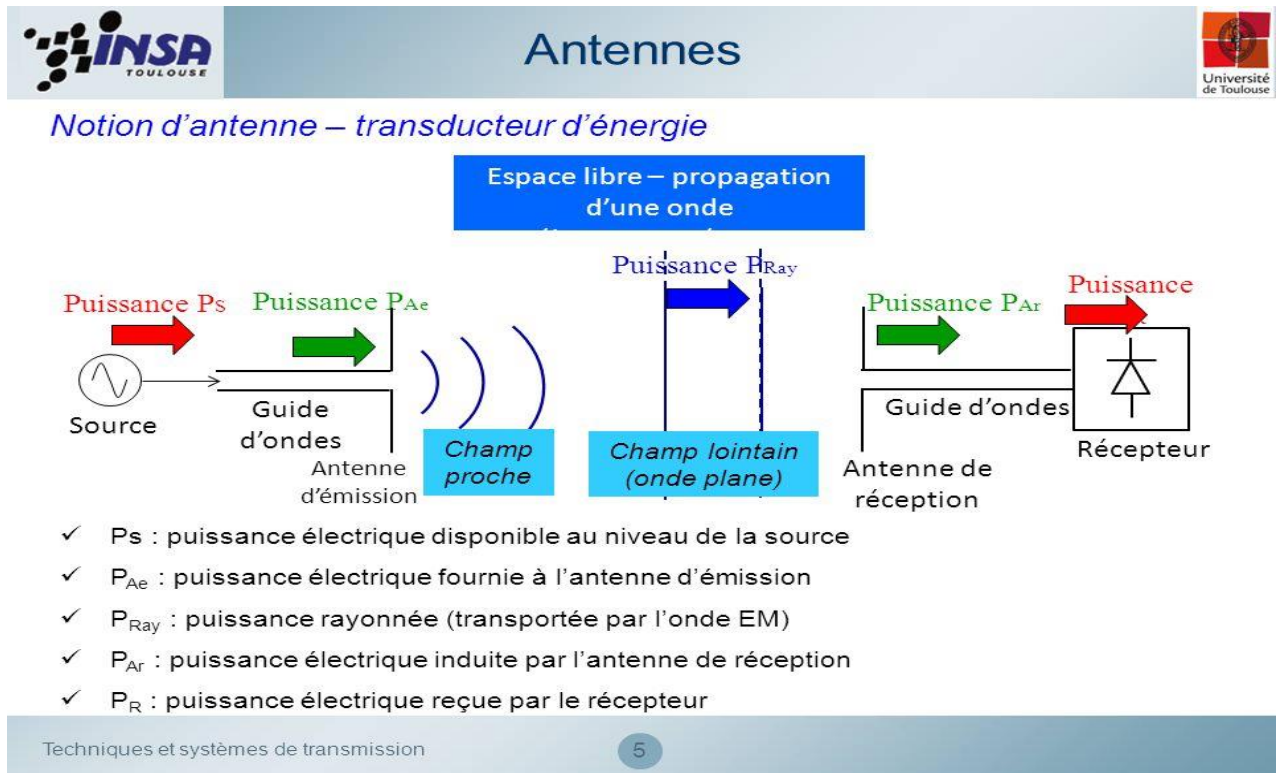
**Figure 2 : Bande passante d'une antenne.**

### .2.1.3 Efficacité

On considère une antenne comme un système dont nous allons étudier la conservation de l'énergie. Ainsi la puissance initiale que nous appellerons P source se décompose en deux parties. Une partie de cette puissance, P réfléchi est réfléchi et n'entre pas dans la structure de l'antenne contrairement à l'autre partie, P<sub>in</sub> qui est injectée dans la structure de l'antenne. La puissance sortant de ce système P<sub>ray</sub>, est la puissance rayonnée par l'antenne. Elle est égale à la puissance injectée moins la puissance des pertes P<sub>perte</sub> dans la structure de l'antenne. Le schéma de la Fig. 1.2.3 illustre cette notion de conservation d'énergie au sein d'une antenne. D'après l'explication ci-dessus, nous pouvons écrire les relations suivantes :

$$P_{in} = P_{ray} + P_{perte} \quad (7)$$

$$P_{source} = P_{in} + P_{réflectie} = P_{ray} + P_{perte} + P_{réflectie} \quad (8)$$



**Figure 3 : Illustration de la conservation de l'énergie dans une antenne.**

L'efficacité de rayonnement ne prend en compte que les pertes dans la structure de l'antenne, elle dépend de la forme géométrique de l'antenne c'est-à-dire de sa topologie et des matériaux utilisés. Ses pertes peuvent se décomposer en pertes dans le diélectrique et en pertes dans le conducteur (pertes par effet joule) mais il est souvent difficile de les dissocier. L'efficacité de rayonnement  $\eta_{ray}$ , se définit donc comme le rapport entre la puissance rayonnée et la puissance injectée dans l'antenne et s'écrit comme suit :

$$\eta_{ray} = \frac{P_{ray}}{P_{in}} \quad (9)$$

Ces pertes au niveau de l'antenne sont modélisées par une résistance série de pertes

$R_{perte}$ . Nous pouvons écrire l'efficacité rayonnée de la manière suivante, en sachant

Que  $R_{ray}$  est la résistance de rayonnement :

$$\eta_{ray} = \frac{R_{ray}}{R_{ray} + R_{pertes}} = \frac{R_{ray}}{R_A} \quad (10)$$

RA : la partie réelle de l'impédance d'entrée complexe de l'antenne.

L'efficacité totale d'une antenne  $\eta_{tot}$  regroupe quant à elle l'efficacité due à la réflexion  $\eta_{ref}$  lechie et l'efficacité de rayonnement  $\eta_{ray}$ . Elle prend en compte les pertes par désadaptation et elle s'écrit :

$$\eta_{tot} = \frac{P_{ray}}{P_{source}} = \frac{P_{ray}}{P_{in}} * \frac{P_{in}}{P_{source}} \quad (11)$$

### III.2.2 Caractéristiques de rayonnement

#### *Gain, directivité et diagramme de rayonnement*

Une antenne ne peut pas émettre une puissance plus grande que la puissance qu'elle reçoit mais elle est capable de concentrer cette puissance de façon à ce que, dans certaines directions de l'espace, cette puissance semble accrue par comparaison à une répartition isotrope d'énergie rayonnée (antenne isotrope). Pour définir un gain directionnel ou de puissance nous comparons l'antenne considérée à une antenne de référence qui est l'antenne isotrope [3].

#### **.2.2.1 Le gain**

Le gain d'une antenne est un paramètre qui prend en compte ses performances électriques pour exprimer sa propriété d'exprimer le rayonnement dans une direction donnée. Le gain d'une antenne peut se définir comme le rapport de la densité de puissance rayonnée par l'antenne sur la densité de puissance rayonnée par l'antenne isotrope de référence, dans la même direction, les deux antennes étant alimentées par la même puissance d'excitation. Le gain peut alors s'exprimer en dB qui quantifie le gain en décibel et le « i » pour préciser la référence par rapport à une antenne isotrope fictive qui présente un gain de zéro décibel dans l'espace libre. Le gain s'exprime en fonction des angles d'orientation  $(\theta, \phi)$  selon l'expression où  $U(\theta, \phi)$  est la densité de puissance de l'antenne et  $P_{in}$  la puissance injectée dans l'antenne :

$$G(\theta, \phi) = \frac{4\pi \cdot U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (12)$$

Le gain et la directivité, souvent confondus, expriment presque la même chose sauf que le gain considère les pertes intrinsèques de l'antenne (voir équation 1.2.17). Le gain de puissance est aussi égal au produit du gain de directivité par l'efficacité de rayonnement d'une antenne. Dans le cas où il n'y a pas de pertes dans l'antenne c'est-à-dire 100% d'efficacité rayonnée le gain en puissance et la directivité sont égaux. Et le gain est souvent donné pour une direction donnée [3].

$$G(\theta, \phi) = \eta_{ray} * D(\theta, \phi) \quad (13)$$

Le gain réalisé d'une antenne prend en compte les pertes par désadaptation de l'antenne. Il est égal à :

$$G_{\text{realise}}(\theta, \phi) = (1 - |S_{11}|^2) * G(\theta, \phi) \quad (14)$$

### .2.2.2 La directivité

La directivité est proche du gain de l'antenne, elle ne traduit cependant que son aptitude à émettre ou recevoir dans les différentes directions de l'espace sans prendre en compte l'efficacité de rayonnement de l'antenne (en faisant abstraction des pertes). La directivité d'une antenne se définit ainsi comme le rapport de densité de puissance créée dans une direction et la densité de puissance d'une antenne isotrope. La directivité s'exprime en fonction des angles d'orientation  $(\theta, \phi)$  selon l'expression où  $U(\theta, \phi)$  est la densité de puissance de l'antenne et  $P_{\text{ray}}$  la puissance rayonnée par l'antenne :

$$D(\theta, \phi) = \frac{4\pi \cdot U(\theta, \phi)}{P_{\text{ray}}} \quad (15)$$

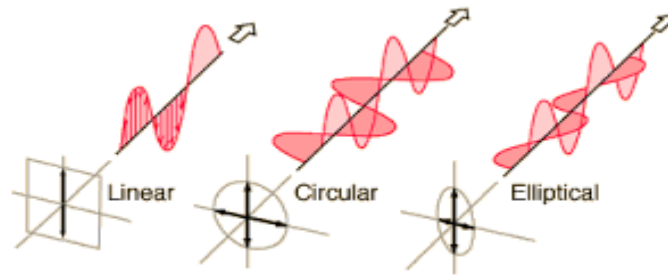
### .2.2.3 Le diagramme de rayonnement

Le diagramme de rayonnement est la représentation géométrique des champs électromagnétiques existant en champ lointain dans les différentes directions de l'espace. Le diagramme de rayonnement peut se faire en deux ou en trois dimensions dans des diagrammes polaires représentant plusieurs plans. Souvent, on représente le diagramme de rayonnement dans les plans E et H. Le diagramme de rayonnement est essentiellement lié à la géométrie de l'antenne. Il permet de localiser les zones de l'espace entourant l'antenne et les directions où le rayonnement est intense ou faible. Même si chaque diagramme de rayonnement est différent en fonction des antennes, il est possible de différencier trois formes typiques : isotrope, omnidirectionnel et directif. Avec le diagramme de rayonnement, il est possible de déterminer l'angle d'ouverture à -3dB. Souvent ce paramètre est déterminé pour les antennes directives.

### .2.2.4 Polarisation

-La polarisation d'une antenne est celle du champ électrique de l'onde qu'elle rayonne ou qu'elle reçoit de façon privilégiée, par exemple au travers de son lobe principal.

-Si le vecteur champ électrique de l'onde rayonnée par l'antenne se trouve toujours dans le même plan, du moins tant que l'onde ne subit pas une réflexion sur le sol ou un obstacle, la polarisation est dite linéaire. Sinon la polarisation de l'onde est elliptique avec le cas particulier de la polarisation circulaire. Une polarisation linéaire peut être horizontale ou verticale.



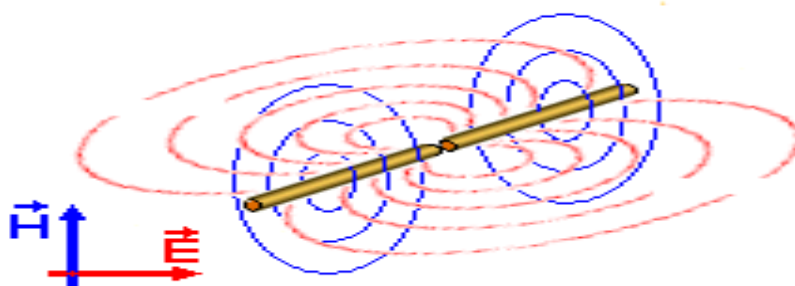
**Figure 4 types de polarisation**

### III.3 Comment déterminer la polarisation d'une antenne

Comme c'est le champ électrique qui détermine la polarisation de l'onde, il est généralement possible de déterminer la polarisation d'une antenne en observant la façon dont le champ électrique est produit. Sur le dipôle ci-contre on voit que le champ électrique (en rouge) se développe dans des plans se coupant sur l'axe du dipôle dont l'un est horizontal, comme le dipôle lui-même [4].

La plupart du temps, il suffit de repérer le point d'alimentation de l'antenne et de voir si on ne serait pas en présence d'un dipôle (antenne Yagi) ou d'un demi-dipôle (Ground-plane) [4].

En cas de doute on peut toujours essayer d'utiliser un champ-mètre muni d'un dipôle demi-onde taillé sur la fréquence à recevoir et de se placer à quelques longueurs d'onde de l'antenne, en vue directe. Le signal reçu sera maximum lorsque la polarisation de l'antenne à tester sera la même que celle du dipôle du champ-mètre [4].



**Figure 5 : polarisation d'une antenne.**

En général, la polarisation d'une antenne est une ellipse contenue dans le plan perpendiculaire à la direction du rayonnement observé. Pour l'identifier, le paramètre rapport axial (Axial ratio : AR) est utilisé. Ce dernier est donné par :



$$AR = \frac{\text{grand diamètre de l'ellipse}}{\text{petit diamètre de l'ellipse}} = \frac{AA'}{BB'} \quad (16)$$

Ce nouveau paramètre est plus habituellement exprimé en dB, comme suit :

$$AR_{dB} = 20 \log \left( \frac{AA'}{BB'} \right) \quad (17)$$

A l'aide de ce nouveau critère, il est alors possible de déterminer la nature de la polarisation :

✓ La polarisation rectiligne ou linéaire ( $AR \rightarrow \infty$  ou  $AR = 0$ ) est obtenue quand le champ reste parallèle à une direction au cours du temps. Dans ce cas, l'ellipse devient un segment de droite.

✓ La polarisation circulaire ( $AR = 1$ , droite ou gauche) est obtenue lorsque les deux composantes du champ électrique sont équi-amplitudes ( $E_{\theta m} = E_{\varphi m}$ ) et vibrent en quadrature de phase. Dans ce cas, l'ellipse devient alors un cercle.

#### III.4 LES ANTENNES ULB

Les antennes ULB adaptées sur une large bande passante, elles sont utilisées dans nombreux domaines (télécommunication, médecine, robotique, sécurité routière, défense...) [5].

Un système ULB transmet des signaux d'ondes électromagnétiques distinguées par une largeur de bande relative  $B_{pr}$  (Fractional Bandwidth) à 10dB de la puissance maximale émise supérieure ou égal 0.25 [6]. La largeur de bande relative est définie par la relation suivante :

$$B_{pr} = \frac{2(f_H - f_L)}{(f_H + f_L)} = \frac{(f_H - f_L)}{f_c} \geq 0.25 \quad (18)$$

Avec :

$$f_c = \frac{f_H + f_L}{2} \quad (19)$$

$f_h$  : les fréquences supérieures de la bande de fréquences considérée.

$f_l$  : les fréquences inférieures de la bande de fréquences considérée.

$f_c$  : la fréquence centrale de la bande de fréquence.

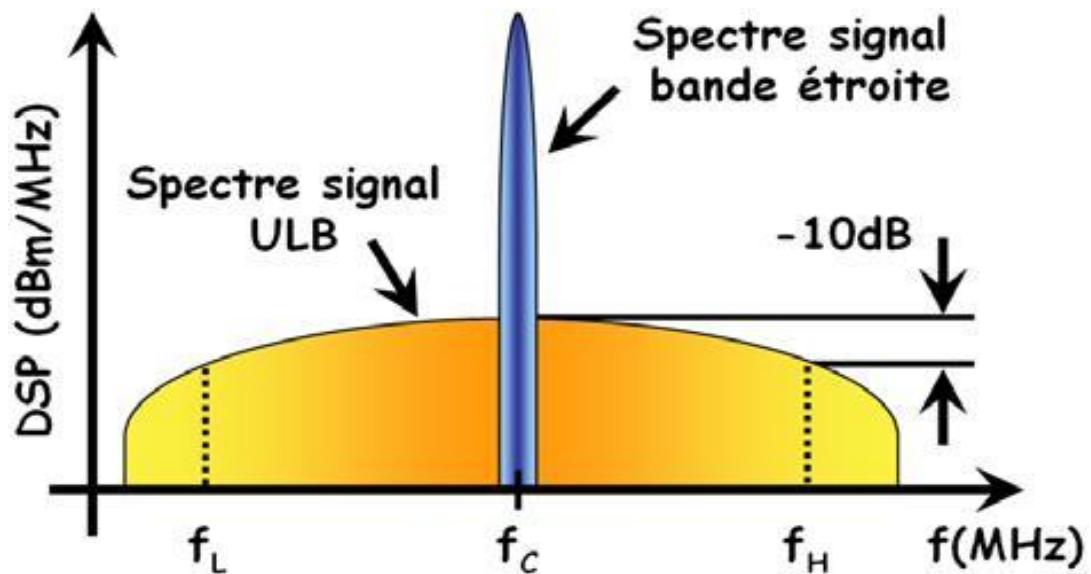


Figure 6 : Comparaison de spectre bande étroite et large bande.

### III.5 TYPES DES ANTENNES

#### III.5.1 Antenne filaire

Les antennes filaires comprennent des modèles comme les antennes dipôles, monopoles, boucles résonnantes, Yagi, hélices et plus encore. Cette grande famille compte les antennes relativement simples [7].

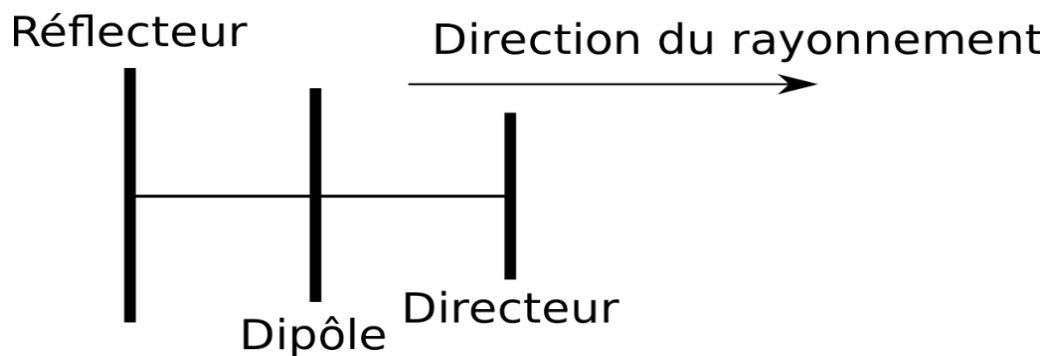
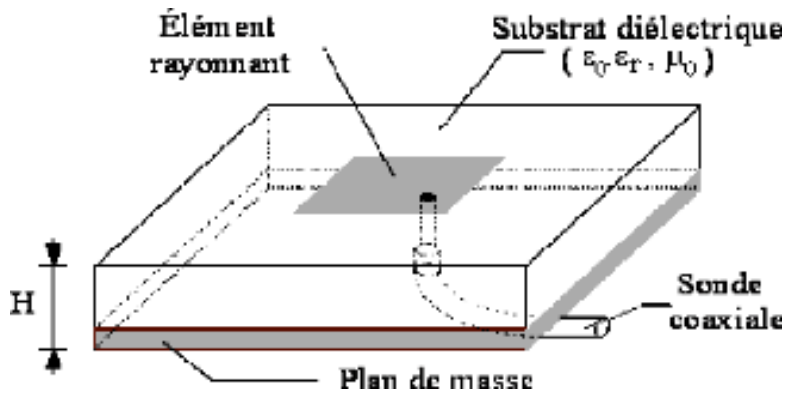


Figure 7 : Antenne Yagi.

#### III.5.2 Antenne planaire

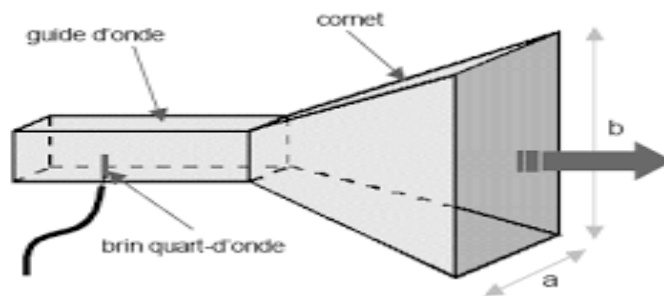
L'antenne planaire est encore appelée antenne à patch. C'est le modèle le plus utilisé pour la conception des systèmes GSM, GPS, WiFi et WiMAX. [7]



**Figure 8 : Conception d'une antenne Patch micro-strip.**

### III.5.3 Antenne à cornet

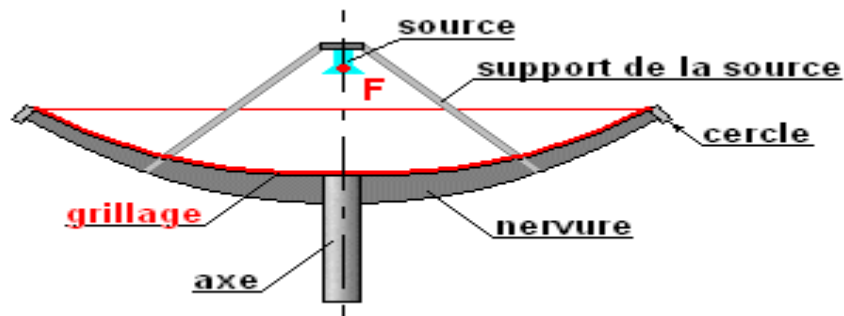
L'antenne à cornet est une antenne un peu spéciale à cause de son apparence en cône plus ou moins cylindrique. Elle a généralement la forme d'un gros entonnoir ou d'une pyramide inclinée à base ouverte [7].



**Figure 9 : Antenne à cornet.**

### III.5.4 Antenne parabolique

C'est le modèle que la plupart des particuliers abonnés aux chaînes télé connaissent. L'antenne parabolique a la forme d'une cuvette avec au centre de sa face concave une antenne rudimentaire [7].

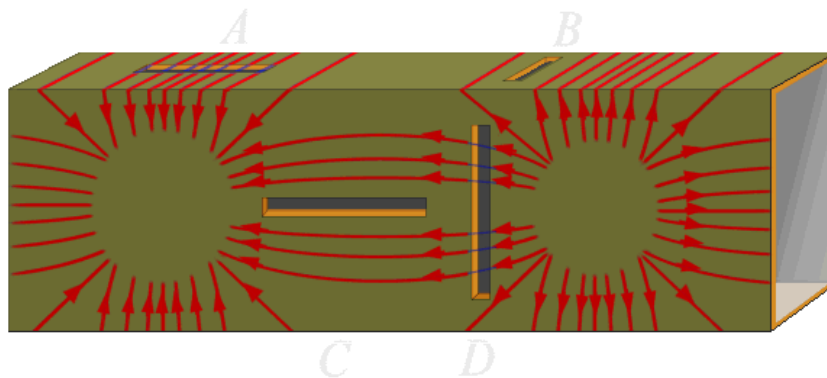


**Figure 10 : Antenne parabolique.**

### III.5.5 Antenne à fente

L'antenne à fentes se caractérise par son développement vertical ou horizontal en forme de cornière, ou de guide d'ondes, avec des fentes de dimensions et d'emplacements particuliers qui sont fonction de la fréquence [8].

L'antenne à fentes est utilisée pour réaliser des antennes sectorielles de télécommunication, c'est-à-dire possédant un gain significatif sur un angle d'ouverture assez grand. Trois, voire quatre, antennes à fentes réunies avec un coupleur d'antennes permettent de couvrir une zone 360°. Ces antennes sont utilisées notamment pour le Wi-Fi, le radio amateurisme [8].



**Figure 11 : Antenne à fente.**

### III.6 TYPES D'ALIMENTATIONS

Les techniques les plus utilisées sont :

- La ligne micro-ruban.
- Le câble coaxial.
- Le couplage par fente.

### III.6.1 Sonde coaxiale

Le câble de la sonde coaxiale traverse le plan de masse et le substrat. Le Conducteur central est connecté sur l'élément rayonnant, et le conducteur extérieur est connecté au plan de masse. Cette alimentation est très utilisée avec les patches de formes circulaire et annulaire [9].

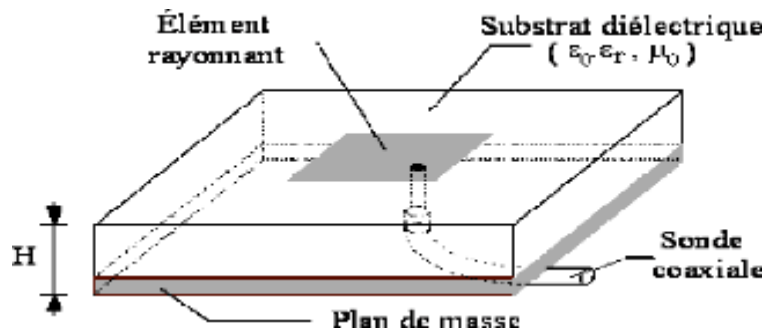


Figure 12: Alimentation du patch rectangulaire avec un câble coaxiale. [10]

L'alimentation est facile à mettre en œuvre et à adapter. Mais il offre une bande passante étroite.

Parmi ces caractéristiques :

- Pas de pertes par rayonnement de ligne.
- Obtention de l'impédance d'entrée par positionnement de la sonde.
- Technique de perçage simple.

### III.6.2 Alimentation par ligne micro-ruban

Dans ce cas alimenté, les lignes micro-ruban sont connectées au patch. Cette ligne lui apporte de l'énergie. Cependant, ce type d'alimentation présente un inconvénient car il génère des rayonnements parasites.

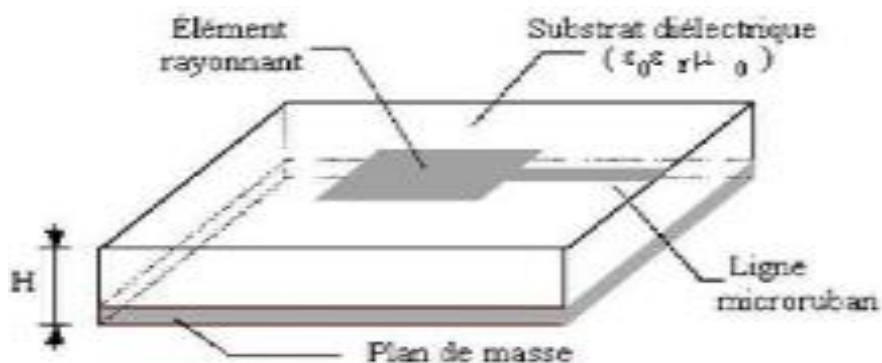


Figure 13: Alimentation du patch rectangulaire par une ligne micro-ruban. [10]

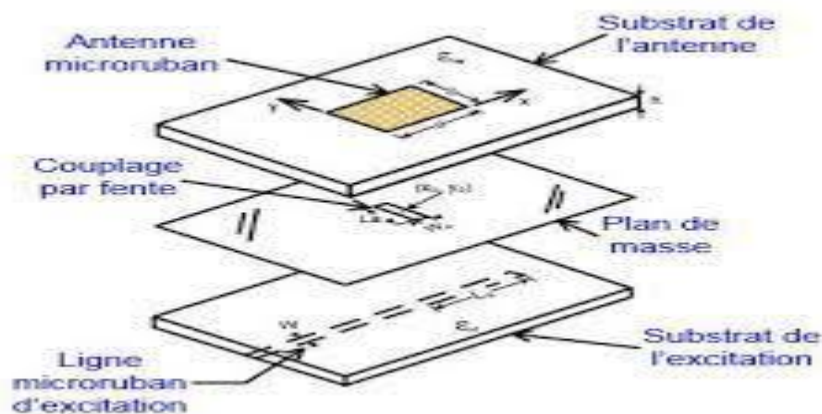
Ce type d'alimentation Offre la meilleure bande passante, il est facile à modéliser et présente un rayonnement parasite faible. La distance entre la ligne d'alimentation et le patch peut être utilisée pour adapter l'impédance de l'antenne. Le principal inconvénient de ce type d'alimentation est qu'il est difficile à mettre en œuvre [10].



**Figure 14**Alimentation du patch rectangulaire par couplage. [10]

### III.6.3 Couplage par fente

Une ligne est disposée au- dessus du plan de masse, qui est entaillé d'une Fente sous le patch afin que l'énergie amenée par la ligne soit communiquée à L'antenne [9].



**Figure 15 :** Antenne imprimée alimentée par fente. [11]

## III.7 TECHNIQUES UTILISEES POUR OBTENIR DES ANTENNES PLANAIRES A LARGE BANDE

En général, les techniques utilisées pour faire résonner une antenne à plusieurs fréquences sont variées et basées sur plusieurs concepts donnés comme suit :

La combinaison de plusieurs éléments rayonnants

La technique la plus classique, utilisée pour obtenir des antennes multi-bandes ou large bande, est la combinaison de deux ou plusieurs éléments rayonnants (résonateurs) mono-bande. Ces éléments mono-bande peuvent être de même ou de différents types. Les différents éléments rayonnants de ces antennes créent leurs propres fréquences de résonance fondamentales. Si l'on

souhaite plutôt travailler sur plusieurs bandes de fréquences distinctes, il faut alors dimensionner différemment chaque résonateur. Si l'on désire obtenir une large bande passante, il faut choisir les longueurs résonnantes de ces éléments du même ordre de grandeur [12].

### **III.7.1 Augmentation de l'épaisseur du substrat**

Une technique, bien connue, consiste à diminuer la permittivité du substrat et à augmenter son épaisseur [2]. Cependant, cette solution n'est pas adaptée à plusieurs applications aéroportées dans lesquelles l'une des principales contraintes est notamment l'épaisseur des antennes [12].

### **III.7.2 Utilisation des algorithmes d'optimisation**

Dernièrement, les antennistes se sont tournés vers de nouvelles techniques pour satisfaire le besoin d'antennes multi-bandes et large bande. Parmi ces techniques, on peut citer l'utilisation des algorithmes d'optimisation. Les publications, concernant ces méthodes pour l'optimisation des performances globales d'une antenne, sont apparues depuis une dizaine d'années. L'utilisation des algorithmes génétiques permet de répondre à un ou plusieurs objectifs en redessinant la géométrie de l'antenne, et/ou en y ajoutant des charges localisées, et/ou des courts circuits, et/ou en y intégrant des fentes [12].

## **III.8 ANTENNES VIVALDI**

Les antennes Vivaldi sont souvent à large bande ou à double bande dans le domaine des GHz. P. Gibson lui donne le nom de Vivaldi en référence à Antonio Vivaldi, l'année de sa conception en 1978 marquant le 300<sup>e</sup> anniversaire du compositeur [13].

-il existe trois types de l'antenne Vivaldi :

\*antenne Vivaldi à fente conique.

\*antenne Vivaldi antipode.

\*antenne Vivaldi antipodale équilibrée.

Dans ce chapitre on va parler sur :

Les types d'antenne Vivaldi ; une étude approfondie sur l'antenne Vivaldi antipodale ; et sur le réseau d'antenne.

### **III.8.1 Définition générale sur l'antenne Vivaldi**

L'antenne à fente à ouverture progressive, aussi connue sous le nom d'antenne de Vivaldi, est une antenne à fente à très large bande de fréquences (plusieurs octaves) dont les fentes s'élargissent en cône. Elle fut présentée pour la première fois à la 9<sup>ième</sup> Conférence européenne sur les micro-ondes (Eu Mic) en 1979 par P. J. Gibson. Elle est idéale pour les applications telles que les radars à bande ultra-large [14].

L'antenne de Vivaldi peut être faite de minces feuilles de cuivre ou de circuits imprimés simple à double couche. Ses propriétés, comme l'épaisseur du matériel conducteur et la constance diélectrique du substrat, influencent le comportement de l'antenne. Deux antennes adjacentes peuvent être produites sur le même circuit, servant comme un groupe d'antennes. [14]

L'antenne elle-même est la fente progressive qui peut être considérée comme un cornet d'émission en deux dimensions à ouverture exponentielle. L'alimentation du circuit est du côté étroit de la fente et le côté opposé à la direction du faisceau est court-circuité par un embout quart d'onde ( $\lambda/4$ ). Pour augmenter la bande passante, cet embout est circulaire avec un diamètre d'un quart d'onde de la fréquence centrale de l'émetteur. La ligne d'alimentation est de section circulaire et soudée à la fin du second circuit imprimé. Elle est adaptée pour laisser passer une large bande de fréquence provenant d'un guide d'onde en bande alimenté par l'émetteur [14].

La polarisation d'un tel radiateur est linéaire. Les lignes du champ électrique sont parallèles au substrat du circuit. Les circuits imprimés de différents groupes d'antenne peuvent être croisés en direction pour donner un second plan de polarisation. La direction du faisceau est dans celle de l'élargissement de la fente [14].

### III.8.2 Types des antennes Vivaldi

#### .8.2.1 Antenne Vivaldi à fente conique

L'antenne coplanaire Vivaldi où deux circuits d'émission sont imprimés sur un substrat diélectrique. Elle peut être alimentée par une ouverture couplée de chaque côté du substrat comme dans la figure [14].



*Figure 16: antenne Vivaldi à fente conique.*

#### .8.2.2 Antenne Vivaldi à fente antipodale

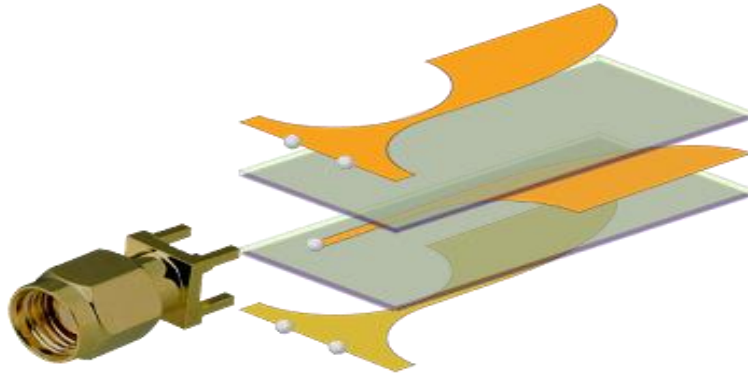
L'antenne Vivaldi antipode permet de résoudre le problème d'alimentation de la précédente. Dans ce cas, une des deux couches est imprimée sur le dessus du substrat et la seconde en-dessous. Elle peut être facilement alimentée en soudant les connecteurs de chaque côté du



substrat de diphényle poly chloré. Elle est similaire à celle de la figure 2 mais sans la couche supérieure et son substrat [14].

### **.8.2.3 Antenne Vivaldi à fente antipode équilibrée**

L'antenne Vivaldi balancée et antipode est similaire à celle précédente mais avec une couche de plus. L'orientation de la direction de la fente est alternée entre les trois couches comme dans la figure [14].



*Figure 17 : Vue explosée d'une antenne Vivaldi balancée et antipode.*

Caractéristiques de rayonnement de l'antenne Vivaldi antipodale

Les antennes Vivaldi à fente conique et ses dérivées AVA et BAVA ont les mêmes caractéristiques de rayonnement, sauf que le niveau de polarisation croisée, le gain et le rayonnement parasite de la ligne d'alimentation ouverte sont différents [15].

#### **▪ Mécanisme de rayonnement :**

Le mécanisme de rayonnement de l'antenne à onde progressive, non résonnant, est obtenu par des fonctions Hankel ( $H_0(n)$ ) d'ordre supérieur, dû aux modes générés par la propagation des ondes progressives sur un chemin recourbé le long de l'antenne [16].

L'énergie dans l'onde de voyage est étroitement liée aux conducteurs lorsque la séparation est très faible par rapport à la longueur d'onde de l'espace libre et devient progressivement plus faible et plus couplé au rayonnement lorsque la séparation augmente [16].

L'antenne Vivaldi a un rayonnement longitudinal, une polarisation rectiligne et la largeur de faisceau est à peu près le même dans les plans E et H [15].

### **III.8.3 Largeur de bande**

- La bande passante de l'antenne est théoriquement illimitée comme mentionnée dans [16].

-En pratique si on définit les paramètres de l'antenne adéquatement elle peut atteindre plusieurs octaves. Cependant, le plus grand inconvénient est que les meilleures caractéristiques ne peuvent être obtenues qu'à partir des fréquences supérieures à 5 GHz pour une dimension modeste.

### III.8.4 Le gain

Il est rapporté dans [16] que le gain est proportionnel à la longueur de l'ouverture conique ; cette proportionnalité a été approuvée et définie empiriquement dans [17] et [18] en fonction de la directive.

Pour les longueurs de cône inférieure à  $7\lambda$  on a [17] :

$$D=10\log\left(\frac{10L}{\lambda_0}\right) \quad (20)$$

Et pour les longueurs de cône supérieure à  $\lambda_0$  on a [18] :

$$D=10\log\left(\frac{4L}{\lambda_0}\right) \quad (21)$$

On sait que la directivité et le gain sont reliés par une constante (voir chapitre I), donc plus la directivité augmente plus le gain augmente [15].

### III.9 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté le contexte général des antennes imprimées. En premier lieu, nous avons rappelé les caractéristiques des antennes, selon lesquelles elles sont évaluées. Ensuite, nous avons présenté les antennes imprimées, leurs formes et leur fréquence de résonance, ainsi que les modes d'alimentation. De plus, nous avons dévoilé les méthodes d'analyse utilisées pour traiter ce type d'antennes. En deuxième lieu, nous avons illustré quelques techniques d'élargissement de la bande passante. Le choix est porté sur des antennes planaires à ouverture qui seront par la suite optimisées pour obtenir une antenne large bande. On a présenté aussi l'antenne Vivaldi, ces types leur formes, leur caractéristique.

### III.10 Bibliographie

- [1] B. CA, *Antenna Theory: Analysis And Design*, 3rd edition Wiley- Inter science , 2005.
- [2] Hafiane.A, *Thèse de Doctorat présentée à l'université de Marne la Vallée*, Marne la vallée, ile de france , 2003.
- [3] M. A. NIANG, *THESE DE DOCTORAT L'UNIVERSITE PARIS-SACLAY PREPAREE A "l'université Paris-Sud"*, Paris, Paris, 2017.

- [4] orange, «la polarisation d'une antenne.» [En ligne]. Available: <https://f5zv.pagesperso-orange.fr/RADIO/RM/RM08/RM08a/RM08a04.html>.
- [5] A. S. & Y. Ikram, *mémoire de projet fin d'étude*, univversité de Blida 1: département d'électronique , 2015.
- [6] H. Nadir, *thèse de doctorat*, Limoge , univesité de Limoge , 2018.
- [7] L. R. M. & Travaux, «Quels sont les différents types d'antenne ?,» 27 avril 2017. [En ligne]. Available: <https://www.maison-travaux.fr/maison-travaux/conseils-pratiques/differents-types-dantenne-115029.html>.
- [8] wikipédia, «l'antenne à fente,» 11 février 2022. [En ligne]. Available: [http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Antenne\\_%C3%A0\\_fentes&oldid=190759253](http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Antenne_%C3%A0_fentes&oldid=190759253).
- [9] M. S. Y. Wafa et M. K. B. B. , *Projet de Fin d'Etudes Pour l'obtention du diplôme de Master en : Réseau de Télécommunications*, Ain Temouchent, Université–Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib Faculté des Sciences et de Technologie Département d'électronique et de Télécommunications, 2021.
- [10] F. Benamrane, *thèse Master télécoms hyperfréquence 2011*, Fés, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah , 2011.
- [11] M. T. Samira et M. Y. Khadra, *Mémoire Présenté pour obtenir LE DIPLOME DE MASTER Filière : TELECOMMUNICATION*, Bordj Bou Arreridj, Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj , 2021.
- [12] M. B. Djaouida, *Thèse Présentée pour l'obtention du diplôme de doctorat en science elctronique*, M'sila, 2020.

CHAPITRE II

**IMAGERIE MEDICALES**

## **CHAPITRE II : IMAGERIE MEDICALES**

### **II INTRODUCTION**

L'imagerie médicale regroupe les moyens d'acquisition et de restitution d'images du corps humain à partir de différents phénomènes physiques tels que l'absorption des rayons X, la résonance magnétique nucléaire, la réflexion d'ondes ultrasons ou la radioactivité auxquels on associe parfois les techniques d'imagerie optique comme l'endoscopie [19]. Apparues, pour les plus anciennes, au tournant du XXe siècle, ces techniques ont révolutionné la médecine grâce au progrès de l'informatique en permettant de visualiser indirectement l'anatomie, la physiologie ou le métabolisme du corps humain. Développées comme outil diagnostique, elles sont aussi largement utilisées dans la recherche biomédicale pour mieux comprendre le fonctionnement de l'organisme [19]. Elles trouvent aussi des applications de plus en plus nombreuses dans différents domaines tels que la sécurité, l'archéologie et l'art [19].

#### **II.1 PRINCIPE DE L'IMAGERIE**

Le but de l'imagerie médicale est de créer une représentation visuelle intelligible d'une information à caractère médical [19]. Cette problématique s'inscrit plus globalement dans le cadre de l'image scientifique et technique : l'objectif est en effet de pouvoir représenter sous un format relativement simple une grande quantité d'informations issues d'une multitude de mesures acquises selon un mode bien défini [19].

L'image obtenue peut être traitée informatiquement pour obtenir par exemple :

- une reconstruction tridimensionnelle d'un organe ou d'un tissu ;
- un film ou une animation montrant l'évolution ou les mouvements d'un organe au cours du temps ;
- Une imagerie quantitative qui représente les valeurs mesurées pour certains paramètres biologiques dans un volume donné.
- Dans un sens plus large, le domaine de l'imagerie médicale englobe toutes les techniques permettant de stocker et de manipuler ces informations. Ainsi, il existe une norme pour la gestion informatique des données issues de l'imagerie médicale : la norme DICOM [19].

#### **II.2 DIFFERENTES TECHNIQUE**

Suivant les techniques utilisées, les examens d'imagerie médicale permettent d'obtenir des informations sur l'anatomie des organes (leur taille, leur volume, leur localisation, la forme

d'une éventuelle lésion, etc.) ou sur leur fonctionnement (leur physiologie, leur métabolisme, etc.). Dans le premier cas on parle d'imagerie structurale et dans le second d'imagerie fonctionnelle [19].

Parmi les méthodes d'imagerie structurales les plus couramment employées en médecine, on peut citer d'une part les méthodes basées soit sur les rayons X (radiologie conventionnelle, radiologie digitale, tomodensitomètre ou CT-scan, angiographie, etc.) soit sur la résonance magnétique nucléaire (IRM), les méthodes échographiques (qui utilisent les ultra-sons), et enfin les méthodes optiques (qui utilisent les rayons lumineux) [19].

Les méthodes d'imagerie fonctionnelles sont aussi très variées. Elles regroupent les techniques de médecine nucléaire (TEP, TEMP) basés sur l'émission de positons ou de rayons gamma par des traceurs radioactifs qui, après injection, se concentrent dans les régions d'intense activité métabolique. Notamment dans le cas des métastases osseuses survenant dans un milieu dense, les techniques électro physiologiques (comme l'électroencéphalographie quantitative), celles qui mesurent les modifications de l'état électrochimique des tissus (en particulier en lien avec l'activité nerveuse), les techniques issues de l'IRM dite fonctionnelle ou encore les mesures thermographiques ou de spectroscopie infra-rouge [19].

### **II.2.1 La radiologie : objectifs et avantages**

La radiologie est une spécialité médicale regroupant un ensemble de techniques d'imagerie utilisant les rayons X.

Les rayons traversent le corps humain en étant plus ou moins absorbés par les tissus en fonction de la densité de ceux-ci.

Les images recueillies par ce biais sont imprimées sur un film photographique ou, grâce aux nouvelles technologies, directement numérisées.

La radiologie est particulièrement adaptée à l'observation des tissus durs, ainsi que des structures pleines, des os et des dents.

C'est une technique couramment utilisée pour observer les os et le squelette, et notamment pour déceler les fractures en cas de traumatisme.

Elle est également utilisée pour rechercher des tumeurs mammaires et pulmonaires.

La technique adaptée à l'observation du cancer du sein est la mammographie, qui nécessite un matériel spécifique.

Le sein doit en effet être comprimé pour offrir un meilleur contraste et permettre la détection de petites anomalies.

La mammographie est un examen faisant partie intégrante de suivi, de la surveillance et du dépistage du cancer du sein. [20]

### **II.2.2 Le scanner : objectifs et avantages**

Plus récente que la radiologie, la technique du scanner repose également sur l'utilisation de rayons X pour observer les tissus du corps humain.

Contrairement à la radiologie, le scanner permet d'obtenir une image en coupe et en trois dimensions de la zone observée.

Très utilisé en cancérologie, le scanner permet de visualiser toute modification morphologique située au niveau des organes.

Cette technique est notamment indiquée pour observer l'évolution de certains volumes et structures du corps.

Elle peut, entre autres, permettre de surveiller les tumeurs et d'évaluer leur réponse à un traitement par chimiothérapie.

Le scanner peut aussi être utilisé pour mieux préparer une intervention chirurgicale en donnant au chirurgien la possibilité de visualiser la région sur laquelle il va intervenir [20].

### **II.2.3 L'IRM : objectifs et avantages**

L'Imagerie par Résonance Magnétique fonctionne à l'aide d'ondes magnétiques qui entraînent la vibration des atomes d'oxygène composant en partie les organes du corps humain. [20].

Ces vibrations sont captées par l'IRM et transformées en images interprétables par l'équipe médicale [20].

Les images ainsi recueillies sont représentées sous forme de coupe et assemblées par ordinateur pour donner un résultat de très bonne résolution [20].

L'IRM est particulièrement efficace pour observer les tissus mous, et notamment le cerveau, la moelle épinière ou les tendons [20].

Elle peut être prescrite en complément d'une mammographie dans le cadre du dépistage ou du suivi d'une lésion cancéreuse [20].

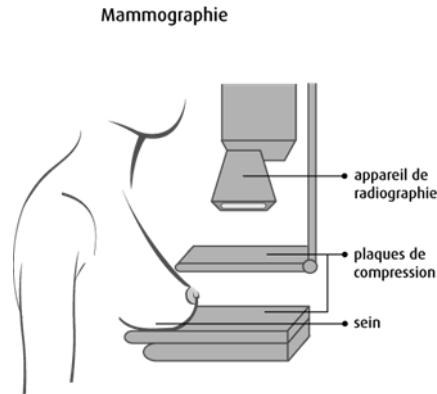
L'image obtenue peut alors permettre d'obtenir davantage d'informations sur la tumeur et de caractériser le cancer [20].

Très précise, l'IRM est sans danger (contrairement aux rayons X des scanners et radios), mais n'est en revanche pas systématiquement proposée dans le cadre du dépistage du cancer du sein.

Cette technique est en effet capable de détecter de nombreuses anomalies, dont les non-cancéreuses, ce qui donne fréquemment lieu à des faux positifs. [20]

## II.2.4 Mammographie

La mammographie est une radiographie à faible dose du sein. L'image obtenue par la mammographie est appelée cliché mammaire. Elle peut aider à détecter des tumeurs cancéreuses (malignes) et des tumeurs non cancéreuses (bénignes) dans le sein. [21]



*Figure 18:mammographie*

Les clichés radiographiques de chaque sein sont pris sous des angles différents. La mammographie diagnostique nécessite plus de clichés que la mammographie de dépistage. [21]

Avant que vous remettiez vos vêtements, le technologue vérifiera la qualité des films mammographies (clichés mammaires) obtenus afin de s'assurer qu'ils sont suffisamment clairs pour que le radiologue (médecin spécialisé en techniques d'imagerie) puisse les interpréter adéquatement. Vous pourriez devoir refaire l'examen si les clichés mammaires ne sont pas clairs. [21]

Il y a 2 types de mammographie, chacun étant réalisé pour des raisons différentes.

## II.2.5 Mammographie de dépistage

La mammographie de dépistage est un test de dépistage auquel on a recours pour les femmes qui ne présentent aucun symptôme du cancer du sein ou de troubles du sein. Lors de cette mammographie, on examine les deux seins. Ce test peut aider à déceler des bosses (masses) ou des régions de tissu mammaire anormales qui pourraient être trop petites pour être détectées par palpation. La mammographie de dépistage permet de surveiller les changements qui surviennent dans le sein au fil du temps et facilite la détection d'un cancer du sein à un stade précoce. [21]

## II.2.6 Mammographie diagnostique

visé à diagnostiquer un trouble du sein, comme une masse ou une région suspecte. Il est possible que vous observiez ce problème par vous-même et que vous le mentionniez à votre



médecin, ou qu'on détecte le trouble du sein lors d'un examen clinique des seins ou d'une mammographie de dépistage. La mammographie diagnostique dure un peu plus longtemps que la mammographie de dépistage. Elle permet d'obtenir des images plus détaillées et des clichés du sein qui sont pris sous différents angles, pour qu'on puisse examiner plus précisément une région du sein. On fait habituellement une mammographie diagnostique des deux seins afin que le médecin puisse comparer le tissu de chacun d'eux. [21]

### **II.3 IMAGERIE MEDICALE DANS LE DIAGNOSTIC DU CANCER DU SEIN**

-Lorsqu'un cancer du sein est suspecté, ou dans le cadre d'un processus de dépistage de cette maladie, une radiographie mammaire, mammographie, est généralement prescrite.

-Elle suffit, dans la plupart des cas, à affirmer la présence du cancer, et peut être associée à une échographie des ganglions lymphatiques.

-Dans certains cas, les examens peuvent être complétés par un scanner ou une IRM qui viendront affiner le diagnostic ou guider des interventions complémentaires (biopsie ou chirurgie reconstructrice du sein) [20].

### **II.4 EXAMENS EN SUIVI POST-CANCER DU SEIN**

Lorsqu'un cancer du sein a été diagnostiqué et traité, l'imagerie médicale fait partie intégrante du suivi médical visant à surveiller l'évolution de la maladie [20].

Elle permet notamment de détecter les récurrences qui peuvent se développer à bas bruit après un premier traitement ayant entraîné une rémission [20].

Le suivi post-cancer par imagerie médicale n'a pas pour seul but de contrôler les récurrences, mais vise également à surveiller les éventuels effets secondaires consécutifs au traitement par chimiothérapie ou radiothérapie [20].

La fréquence du suivi par mammographie se décide en fonction de chaque patiente, selon les risques de rechute estimés et les répercussions du traitement [20].

En général, une mammographie est effectuée 6 et 12 mois après la fin du traitement, puis répétée chaque année [20].

Si la tumeur est difficile à observer, une IRM ou un scanner peuvent venir compléter les examens.

Une radiographie du thorax annuelle est également recommandée pour surveiller les effets à long terme du traitement [20].

## **II.5 ANATOMIE DU SEIN**

-dans le cadre de notre étude ; il est important de bien connaître l'anatomie du sein qui se montre complexe.

-le sein est composé de :

\*une glande mammaire. Elle est divisée en 15 à 20 sections (lobes)

\*fibres de soutien (ligaments de Cooper).

\*de graisse (tissus adipeux).

-le tous est recouvert par la peau. La quantité de chacune des composantes se varie d'une femme à l'autre selon l'âge et le poids.

## **II.6 CANCER DU SEIN**

Le cancer du sein prend naissance dans les cellules du sein. La tumeur cancéreuse (maligne) est un groupe de cellules cancéreuses qui peuvent envahir les tissus voisins et les détruire. Elle peut également se propager (métastases) à d'autres parties du corps [22].

Les cellules du sein subissent parfois des changements qui rendent leur mode de croissance ou leur comportement anormal. Ces changements peuvent engendrer des affections non cancéreuses (bénignes) du sein, comme l'hyperplasie atypique et des kystes. Ils peuvent aussi entraîner la formation de tumeurs non cancéreuses, dont les papillomes intracanaux. [22]

Dans certains cas, cependant, des modifications dans les cellules mammaires peuvent causer un cancer du sein. Le cancer du sein apparaît le plus souvent dans les cellules tapissant les canaux, qui sont des tubes qui transportent le lait des glandes au mamelon. Ce type de cancer du sein est appelé carcinome canalaire. Le cancer peut aussi se former dans les cellules des lobules, qui sont les groupes de glandes productrices de lait. Ce type de cancer porte le nom de carcinome lobulaire. Le carcinome canalaire et le carcinome lobulaire peuvent être in situ, c'est-à-dire que le cancer reste dans son emplacement d'origine et qu'il n'a pas envahi les tissus voisins. Ils peuvent également être infiltrant, ou invasifs, c'est-à-dire qu'ils ont envahi les tissus voisins [22].

Des types de cancer du sein moins fréquents peuvent aussi se manifester. Le cancer inflammatoire du sein, la maladie de Paget du sein et le cancer du sein triple négatif en sont des exemples. Des types rares de cancer du sein sont entre autres le lymphome non hodgkinien et le sarcome des tissus mous [22].

## La structure du sein

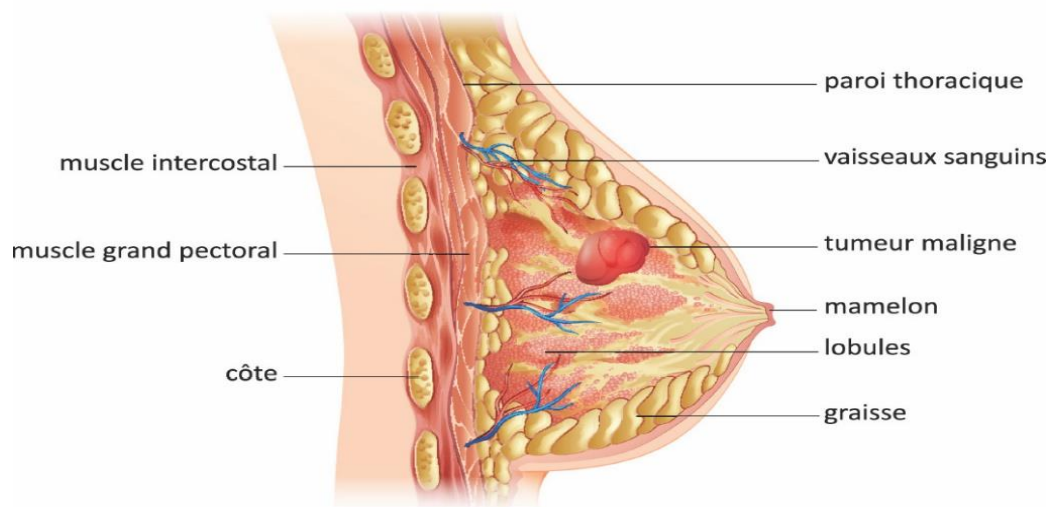


Figure 19: Schéma d'une vue latérale du sein.

### II.7 DIFFERENCE ENTRE TUMEURS BENIGNES ET TUMEURS MALIGNES

-il y a deux catégories de tu tumeurs ; tumeur bénigne et tumeur maligne.

#### II.7.1 Tumeur bénigne

Les tumeurs bénignes communes du sein comprennent la brosse, la croissance, d'un tissu ressemblant à une cicatrice, et des kystes, qui sont des sacs liquidiens anormaux [23].

-Une tumeur bénigne n'est pas un cancer [24].

- selon le Dr Claudia Ferrari, adjointe au directeur du pôle santé publique et soins de l'Institut national du cancer. Un kyste peut être considéré comme une tumeur bénigne [24].

#### II.7.2 Tumeur maligne

Dans le cas d'une tumeur maligne, les cellules sont anormales, irrégulières et cancéreuses, » elles prolifèrent de manière anarchique dans un tissu ou un organe. Une tumeur maligne peut s'étendre à d'autres parties du corps en fabriquant des métastases.

### II.8 TYPES DE TUMEURS DU SEIN

Il existe plusieurs types de tumeurs du sein et la majorité d'entre eux commencent dans le canal et les tissus lobulaires.

Les premiers stades des tumeurs malignes ou cancer apparaissent souvent sous forme de carcinome canalaire in situ (CCIS) et de carcinome lobulaire in situ (CLIS) [23].

### II.8.1 Cancer canalaire in situ ou carcinome canalaire in situ (CCIS)

C'est le type le plus courant de cancer du sein non infiltrant. Les cellules cancéreuses ne sont présentes que dans le revêtement du canal mammaire. Elles ne se sont pas propagées hors du canal jusqu'aux tissus mammaires voisins ou à d'autres organes [25].

Le CCIS est généralement trop petit pour être senti au toucher, alors on le détecte le plus souvent à la mammographie de dépistage [25].

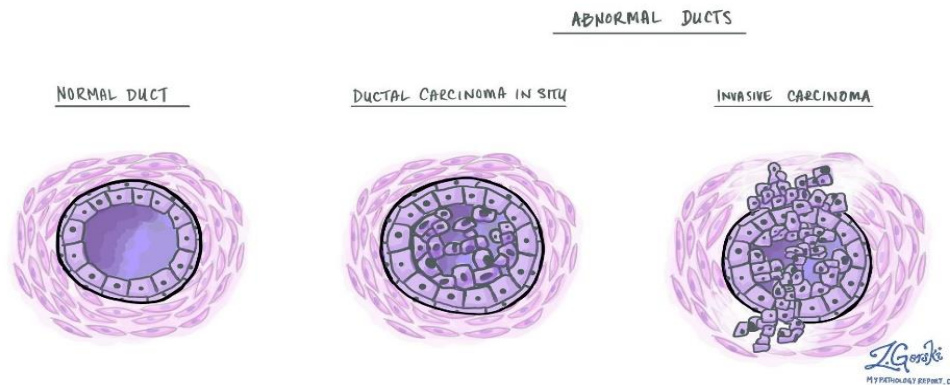


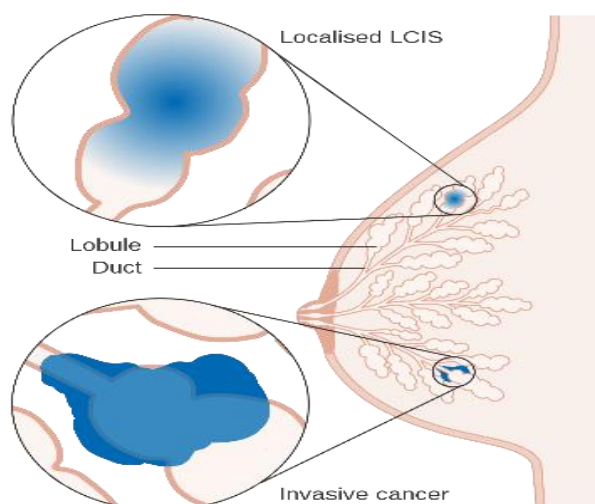
Figure 20: Carcinome canaux in situ (CCIS).

### II.8.2 Cancer carcinome lobulaire in situ (CLIS)

Le carcinome lobulaire infiltrant, ou invasif, représente environ 10 % de tous les cancers du sein infiltrant [25].

Le carcinome lobulaire infiltrant prend naissance dans les lobules du sein puis traverse ces lobules et envahit le tissu mammaire voisin. Il peut aussi se propager (métastases) aux ganglions lymphatiques et à d'autres parties du corps [25].

Le carcinome lobulaire infiltrant peut apparaître dans plus d'une région du sein (maladie multifocale, ou multicentrique). Il est plus susceptible d'affecter les deux seins que d'autres types de cancer du sein [25].



**Figure 21: carcinome lobulaire in situ (CLIS).**

## **II.9 DIFFERENTS STADES DU CANCER**

### **II.9.1 Stade1**

La taille de la tumeur ne dépasse pas 2cm et le cancer ne s'est pas propagé en dehors du sein.

### **II.9.2 Stade 2**

Ce stade est atteint dans l'une de ces conditions :

- La taille de la tumeur ne dépasse pas 2cm, mais la maladie s'est propagée aux ganglions axillaires.
- La taille de la tumeur a une taille comprise entre 2 et 5cm avec ou sans propagation vers les ganglions de l'aisselle [23].

### **II.9.3 Stade3**

- La taille de la tumeur est plus petite que 5cm et elle s ces derniers sont attachés entre eux ou à d est propagée aux ganglions axillaires et autres structures.
- La taille de la tumeur est plus grosse que 5cm et la maladie s'axillaires.
- Le cancer s'est propagée vers les ganglions est propagé vers les tissus voisins du sein (la peau ou la paroi thoracique, incluant les côtes et les muscles du thorax).

### **II.9.4 Stade 4**

Le cancer s'est propagé vers autres organes du corps, souvent les os, les poumons ou le cerveau ou encore localement vers a peau et les ganglions lymphatiques internes du cou. La propagation des cellules cancéreuses à partir de la tumeur locale vers d'autres parties du corps constitue une métastase. [23]

## II.10 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons commencé par une introduction sur l'imagerie médicale et les différentes techniques de dépistage du cancer du sein sont présentées ainsi que les avantages et les inconvénients de chacune d'elles qui ont montré la nécessité d'une technique de dépistage complémentaire et /ou alternative moins cher pour la détection précoce et le diagnostic du cancer du sein et plus confortable pour les femmes . Puis une définition du cancer du sein, les différents types de cancer et les différentes formes sont ensuite présentés.

## II.11 BIBLIOGRAPHIE

- [1] Jean-Mahmood, «imagerie médicale,» 9 mai 2021. [En ligne]. Available: [https://fr.wikipedia.org/wiki/Imagerie\\_médicale](https://fr.wikipedia.org/wiki/Imagerie_médicale).
- [2] L. Rotenberg, «RADIOLOGIE, SCANNER ET IRM & DIAGNOSTIC DU CANCER DU SEIN,» 17 février 2022. [En ligne]. Available: <https://ishh.fr/departments/radiologie-scanner-irm/#:~:text=L'imagerie%20m%C3%A9dicale%20regroupe%20diff%C3%A9rentes,permettant%20de%20r%C3%A9aliser%20diff%C3%A9rents%20objectifs..>
- [3] A. C. o. R. A. B.-R. A. - M. I. R. System, «Mammographie,» 2013. [En ligne]. Available: [https://cancer.ca/fr/treatments/tests-and-procedures/mammography#:~:text=La%20mammographie%20est%20une%20radiographie,\(b%C3%A9nignes\)%20dans%20le%20sein..](https://cancer.ca/fr/treatments/tests-and-procedures/mammography#:~:text=La%20mammographie%20est%20une%20radiographie,(b%C3%A9nignes)%20dans%20le%20sein..)
- [4] M. FH, «Qu'est-ce que le cancer du sein?,» 2015. [En ligne]. Available: <https://cancer.ca/fr/cancer-information/cancer-types/breast/what-is-breast-cancer#:~:text=Le%20cancer%20du%20sein%20prend,d'autres%20parties%20du%20corps..>
- [5] Z. katbay, *THESE DE DOCTORAT EN CO-TUTELLE*, 2018.
- [6] D. C. Ferrari, «Tumeur maligne ou bénigne : définition, différence et symptômes,» 2019. [En ligne]. Available: <https://sante.journaldesfemmes.fr/fiches-maladies/2524453-tumeur-maligne-ou-benigne-definition-difference-et-symptomes/>.
- [7] N. C. C. Network, «NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology: Breast Cancer,» version 2015. [En ligne]. Available: [http://www.nccn.org/professionals/physician\\_gls/f\\_guidelines.asp](http://www.nccn.org/professionals/physician_gls/f_guidelines.asp).
- [8] F. E. HATMI, *Doctorat*, PARIS, 2013.

**CHAPITRE III**  
**RESULTATS DE SIMULATION ET DETECTION**  
**DE LA TUMEUR**





### III.1.2 Propriétés du Substrat

Pour le choix de notre substrat, on a pris le FR4 est ce choix était pris à cause de la disponibilité de ces matériaux au niveau des laboratoires de recherches. Le calcul des différents paramètres du substrat est donné par les relations 22 et 23 respectivement.

$$L_s = W_s = \frac{\lambda}{2} \quad (22)$$

Où :

$L_s$ : La longueur du substrat.

$W_s$ : La largeur du substrat.

$\lambda$  : La longueur d'onde correspondant à la fréquence minimale (fréquence de coupure) rayonnée par l'antenne.

$$\lambda = \frac{c}{f_{\text{coupure}} \sqrt{\epsilon_r}} \quad (23)$$

L'utilisation de ces fonctions permet de s'approcher plus rapidement de l'adaptation.

Substrat FR4 (Lossy)
$\epsilon_r=4.3$
Tg ( $\gamma$ )=0.018
H=1.6mm

**Tableau II.2** : Valeurs des paramètres prédéfinis du substrat

### III.1.3 Dimensions des ellipses verticales

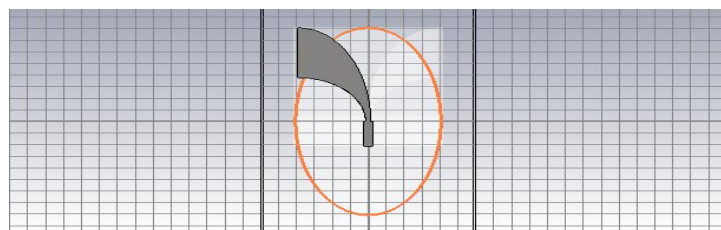
$$X^r = \frac{W_s + W_f}{2} \quad (24)$$

$$Y^r = \frac{Y^r}{X^r} = 1.67 \quad (25)$$

Où :

$X^r$  : Le rayon du petit axe de l'ellipse verticale.

$Y^r$ : Le rayon du grand axe de l'ellipse verticale.

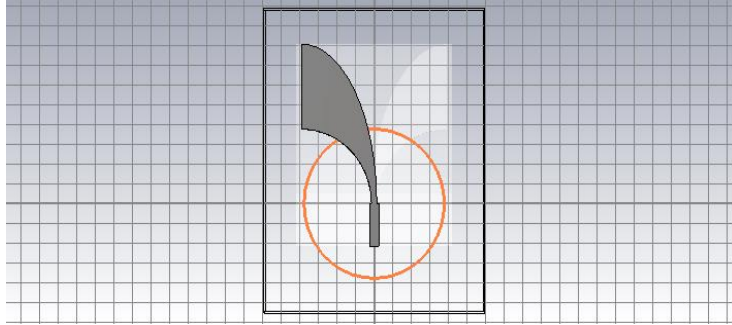


**Figure 2 : Ellipses verticales de l'antenne Vivaldi.**

### III.1.4 Dimensions du cercle :

$$R^h = \frac{W_s - W_f}{2} \quad (26)$$

$R^h$ : rayon du cercle.



**Figure 3 : Cercle de l'ellipse.**

### III.1.5 Ligne micro ruban

#### III.1.5.1 Dimensions de la ligne micro-ruban

$$L_f = \frac{\lambda}{4} \quad (27)$$

Où :

$L_f$ : La longueur du micro-ruban.

Cependant, d'après les simulations effectuées, nous proposons l'équation empirique (II.9) pour le calcul de  $L_f$ .

$$L_f = \frac{\lambda}{2} \quad (28)$$

Pour le calcul de  $W_f$  on définit tout d'abord deux constantes A et B afin de simplifier les expressions :

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \sqrt{\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1}} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r}\right) \quad (29)$$

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (30)$$

$$A > 1.52 \frac{W_f}{h} = \frac{Be^A}{e^{2A} - 2}$$

$$A < 1.52 \frac{W_f}{h} = \frac{2}{\pi} \left[ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[ \ln(2B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right] \right]$$

Avec :  $Z_0$  : L'impédance de la source d'alimentation (générateur)

$h$  : l'épaisseur du substrat diélectrique.

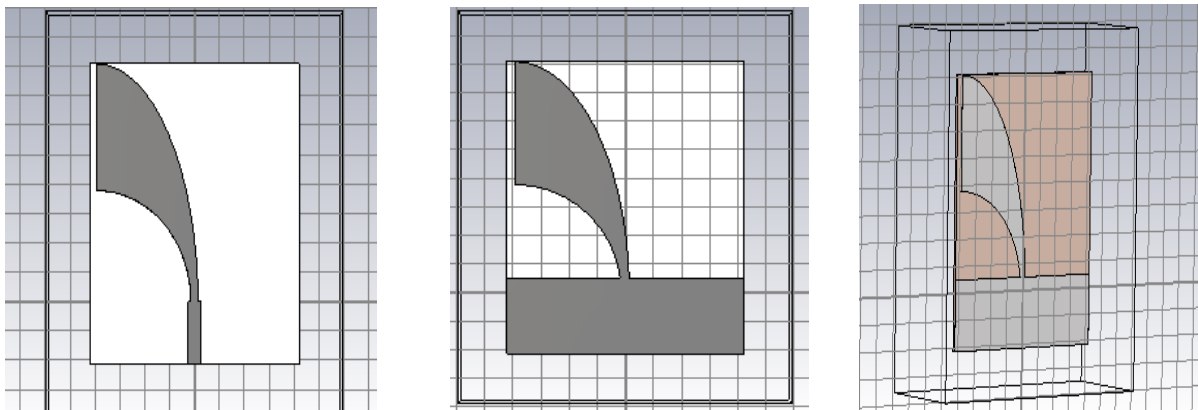
### III.2 CALCULATEUR EN LIGNE

Pour simplifier tous ces calculs on a utilisé un calculateur en ligne. On doit définir en premier lieu la bande de fréquence.

Dielectric of Substrate	4.7				
Height of Dielectric [mm]	1.5				
System Impedance [ $\Omega$ ]	50.0				
Minimum Frequency [MHz]	2200	-10	+10	-100	+100
Maximum Frequency [MHz]	6600	(educated guess)			
<b>CALCULATE</b>					
Width of Antenna W [mm]	80.77				
Height of Antenna L [mm]	96.93				
Width of the Transmission Feeder [mm]	5.217				
Length of the Transmission Feeder [mm]	16.15	(not critical)			
Major Axis S1 [mm]	80.77				
Minor Axis R1 [mm]	43.00				
Circle Radius R2 [mm]	37.78				

**Figure 22: calculateur en ligne. [26]**

### III.3 DESIGN FINAL DE L'ANTENNE VIVALDI ANTIPODALE



**Figure 23 : Antenne Vivaldi Antipodale.**

### III.4 LOGICIEL CST STUDIO SUITE

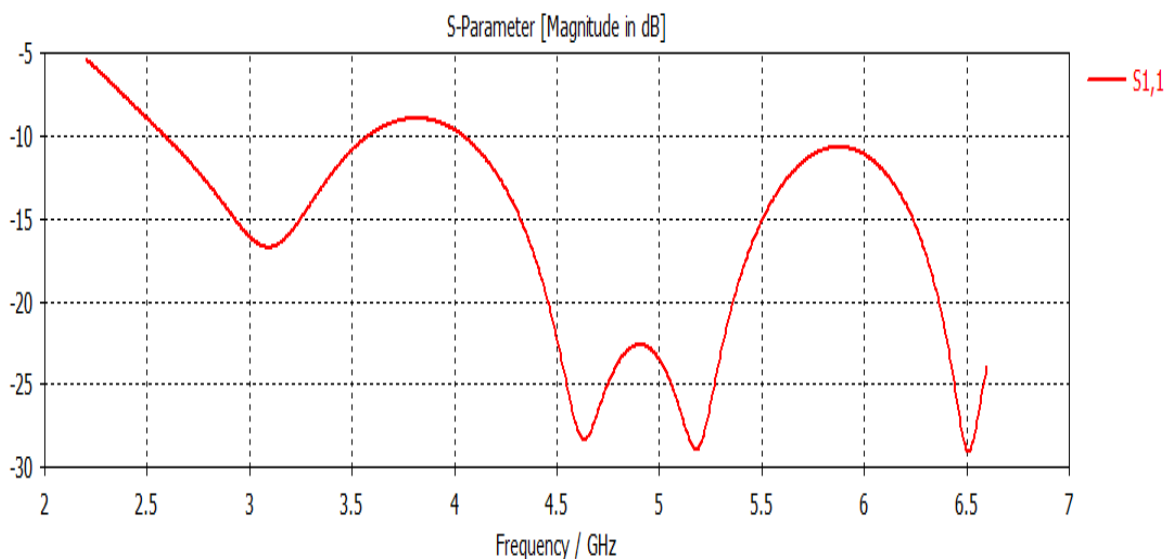
Logiciel de simulation de champ électromagnétique CST Studio Suite est une solution logicielle d'analyse EM 3D hautes performances dédiée à la conception, à l'analyse et à l'optimisation des composants et systèmes électromagnétiques (EM) [27].

La solution CST Studio Suite est utilisée par des entreprises d'ingénierie et de technologie leaders dans le monde entier. Elle offre des avantages considérables pour la mise sur le marché des produits en écourtant les cycles de développement et en réduisant les coûts. La simulation permet d'utiliser le prototypage virtuel. Ainsi, il est possible d'optimiser les performances des équipements, d'identifier les éventuels problèmes de conformité et de les corriger dès les premières phases de conception, de limiter le nombre de prototypes physiques requis, de tests et de rappels [27].

### III.5 SIMULATION DE L'ANTENNE VIVALDI

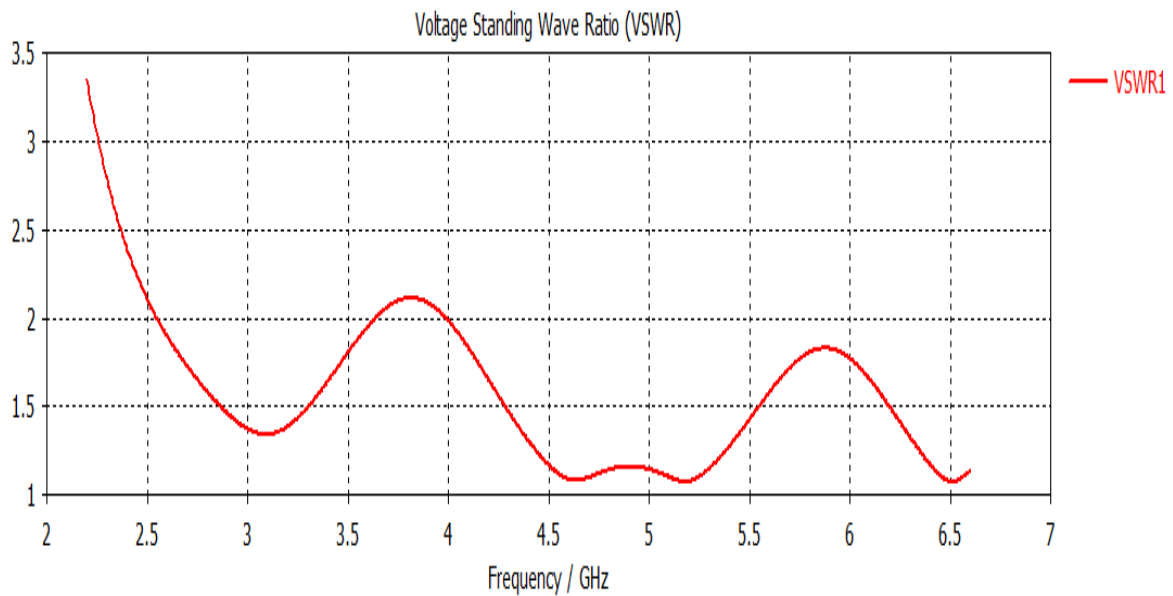
En simulant l'AVA avec les valeurs calculée et la fréquence de coupure 5.3GHz sous l'environnement CST. Nous obtenons les résultats suivants.

#### III.5.1 Coefficient de réflexion $S_{11}$



**Figure 24 :  $S_{11}$  avant l'adaptation.**

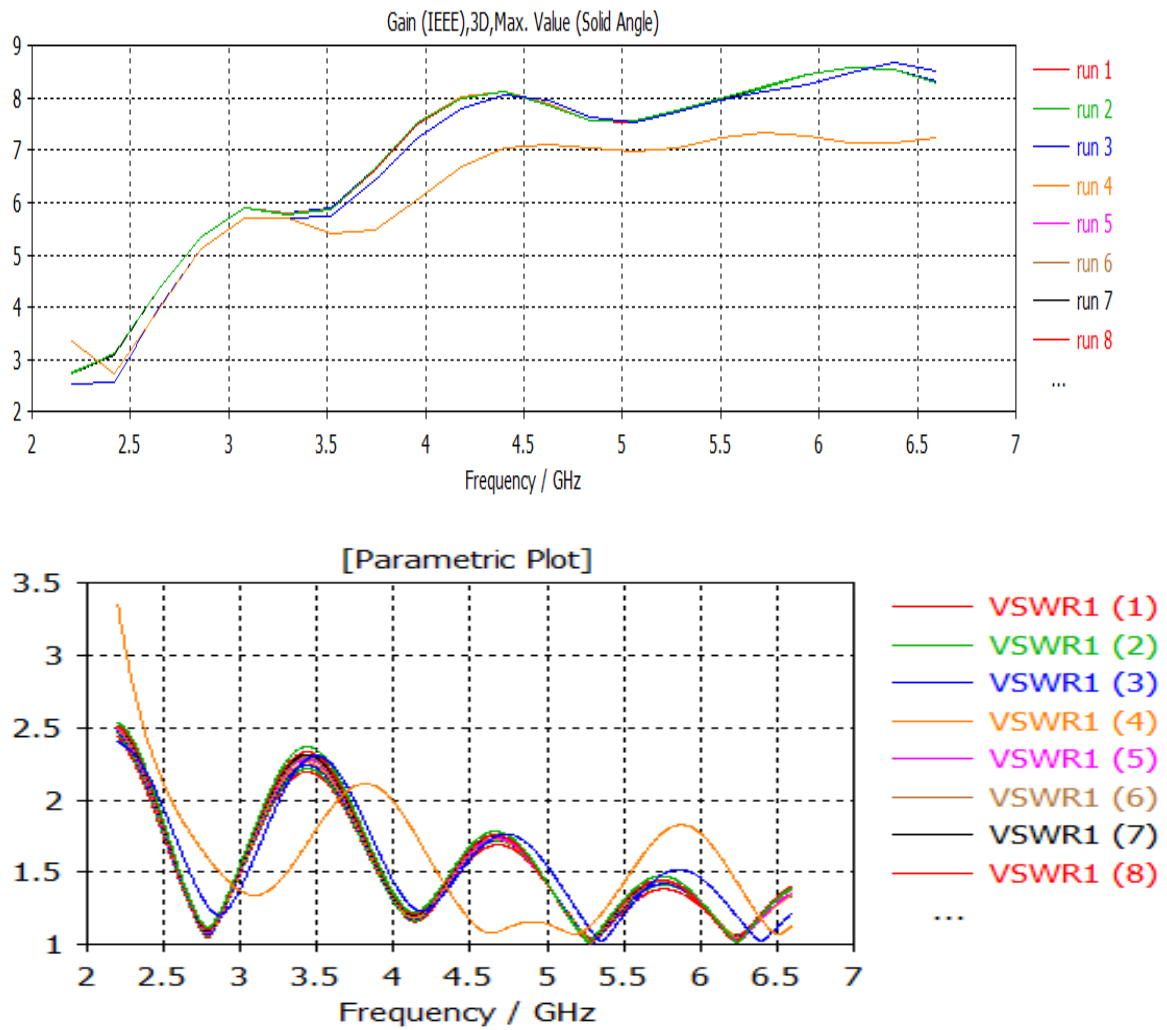
### III.5.2 Taux d'onde stationnaire VSWR



**Figure 25 : VSWR Avant l'adaptation.**

### III.5.3 Étude paramétrique

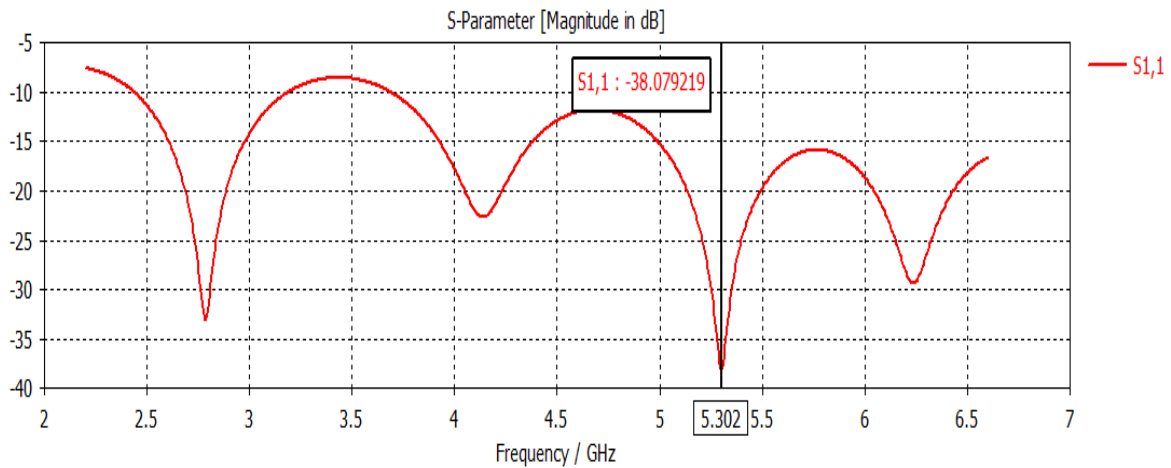
Pour avoir un résultat plus parfait ; on a fait une étude paramétrique pour adapter l'antenne autour de 5GHz.



**Figure 26 : Etude Paramétrique.**

Après l'étude paramétrique on a obtenu les résultats suivants :

### III.5.4 Coefficient de réflexion $S_{11}$

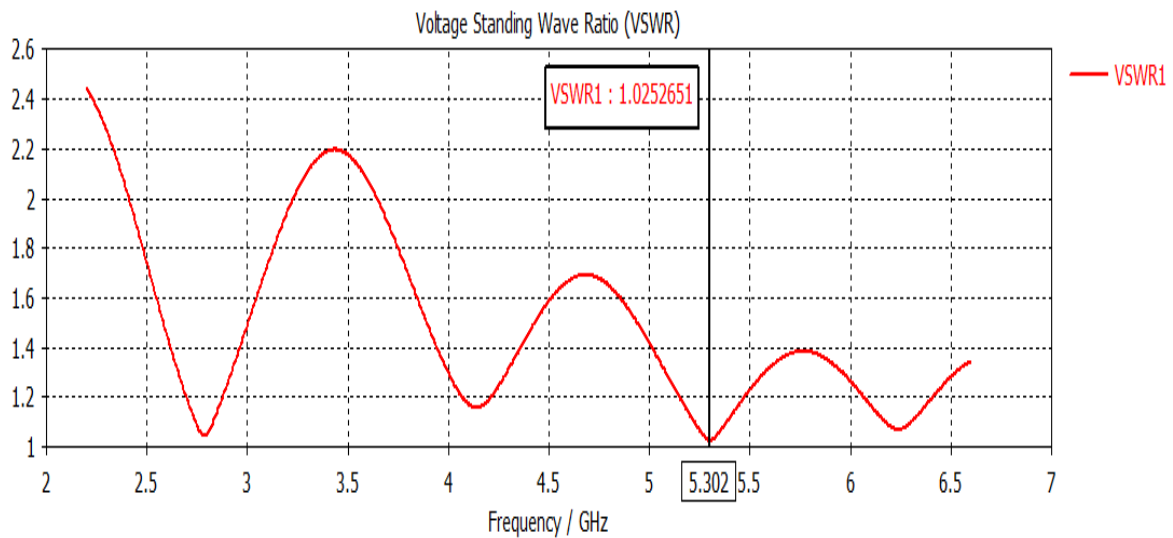


**Figure 27 :  $S_{11}$  de l'antenne AVA.**

Notre antenne est bien adaptée avec un coefficient de réflexion  $S_{11} < -10$  dB à partir de 3.6 GHz.

### III.5.5 Taux d'onde stationnaire VSWR

- le VSWR est défini comme le rapport entre les ondes stationnaires de tension transmises et réfléchies dans une radiofréquence (RF) système de transmission électrique.

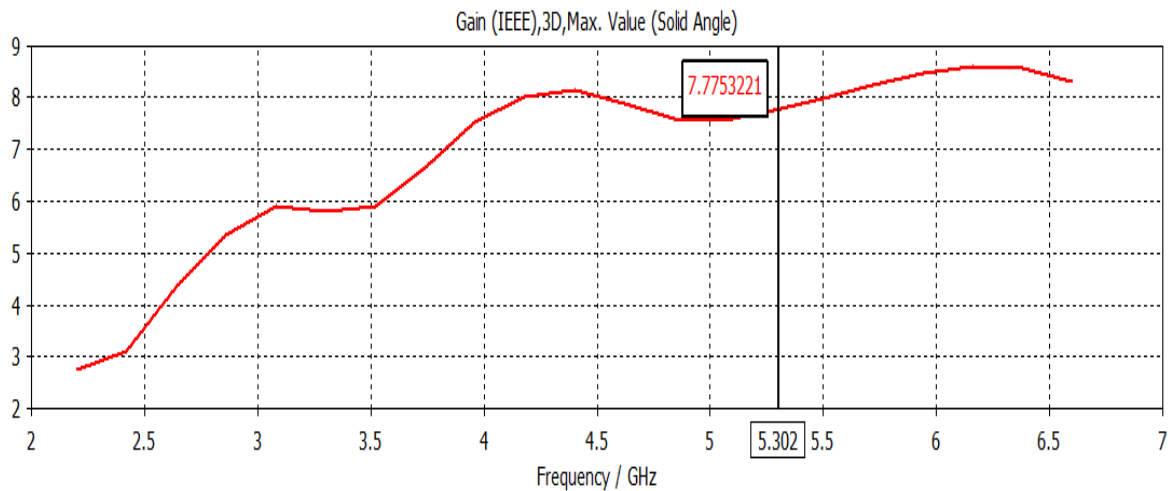


**Figure 28 : VSWR de l'antenne.**

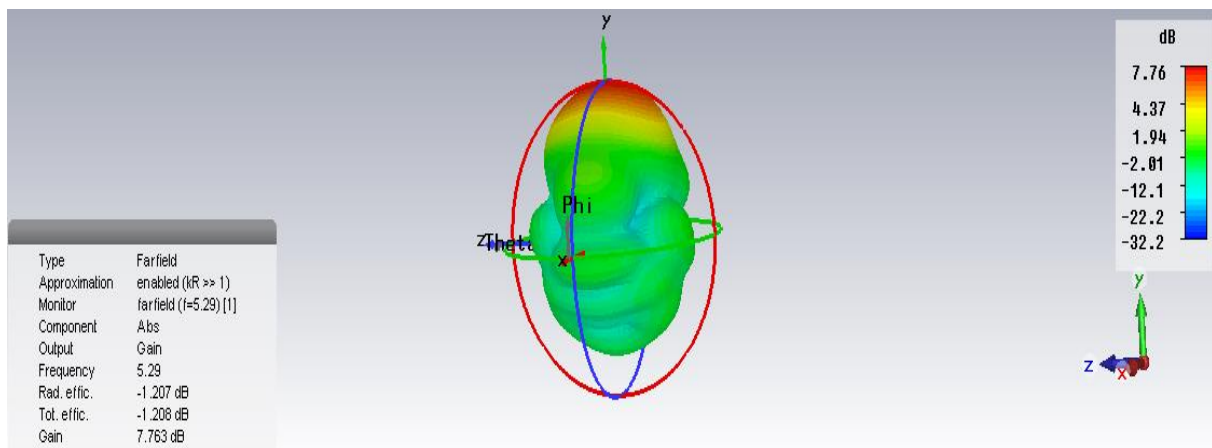
On voit que la condition de :  $1 < \text{VSWR} < 2$  est vérifié à partir de 3.6GHz.

### III.5.6 Gain maximal

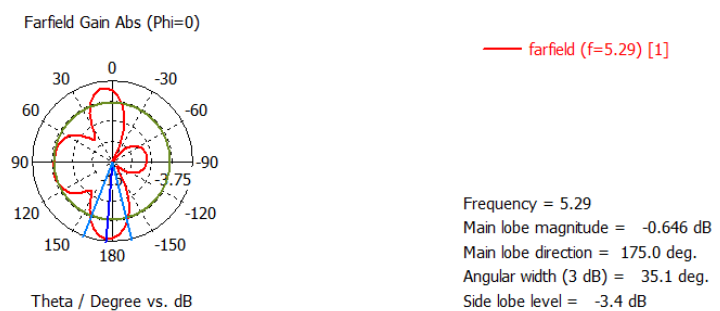
-Le gain est 7.77dB obtenue à la fréquence 5.3GHz



**Figure 29 : Gain de l'antenne Vivaldi antipodale.**



**Figure 30 : Diagramme de rayonnement en 3D.**



**Figure 31 Diagramme de rayonnement en 2D**

On remarque que l'antenne présente un rayonnement presque quasi directionnel dans le plan E ( $\varphi=0$ ). Ces tracés sont vérifiés sur le tracé du diagramme de rayonnement en 3D.

## III.6 RESEAUX D'ANTENNES

### III.6.1 Définition



Un réseau d'antennes est un ensemble d'antennes radioélectriques séparées et alimentées de façon synchrone. C'est-à-dire que le déphasage du courant entre deux paires d'antennes est fixe. [28] ; Avec la même orientation, disposée selon une forme donnée et excitées par un système d'alimentation, afin de créer un rayonnement de forme particulière. Le rayonnement résultant est la superposition des rayonnements provenant de chaque élément, la puissance rayonnée est donc plus grande. Le diagramme de rayonnement d'un réseau d'antenne est plus étroit que celui d'une antenne élémentaire, sa directivité et son gain sont aussi importants, c'est pour ces avantages que les systèmes de télécommunication récents utilisent les réseaux d'antennes comme dispositifs d'émission et de réception [29].

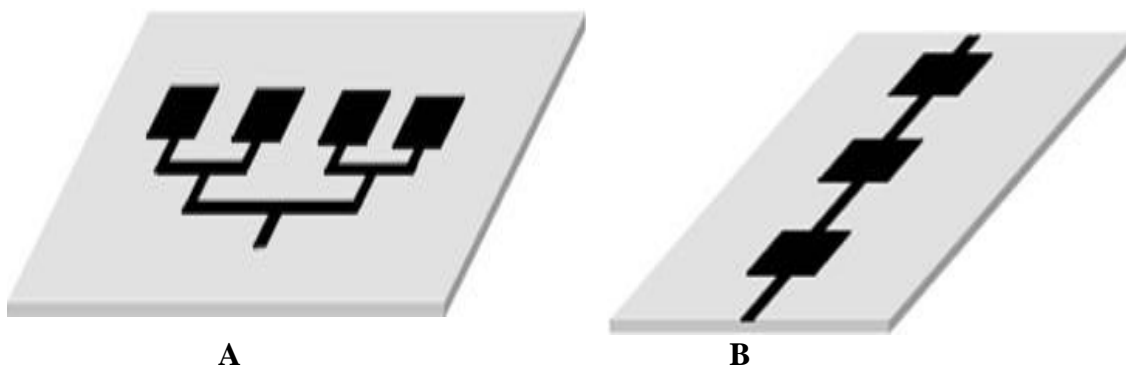
### III.6.2 Alimentation d'un réseau d'antennes

La synthèse d'un réseau consiste à trouver les bons coefficients de pondération en amplitude et/ou en phase qui permettent d'approcher au mieux le besoin

Dans le cas d'un réseau d'antennes patch, le principe de la répartition d'énergie se fait par des lignes micro rubans

Nous montrons sur la figure deux types d'alimentations d'un réseau d'antennes.

- Alimentation série : les éléments rayonnants sont excités en série à travers une ligne de transmission. Entre deux éléments rayonnants consécutifs il y a un déphaseur qui permet d'imposer la loi de phase appropriée [30].
- Alimentation parallèle : le circuit d'alimentation possède une entrée et plusieurs sorties égales aux nombres des éléments rayonnants. La synthèse du réseau permet de déterminer les coefficients de pondération et les déphasages des signaux à affecter à chaque élément [30].

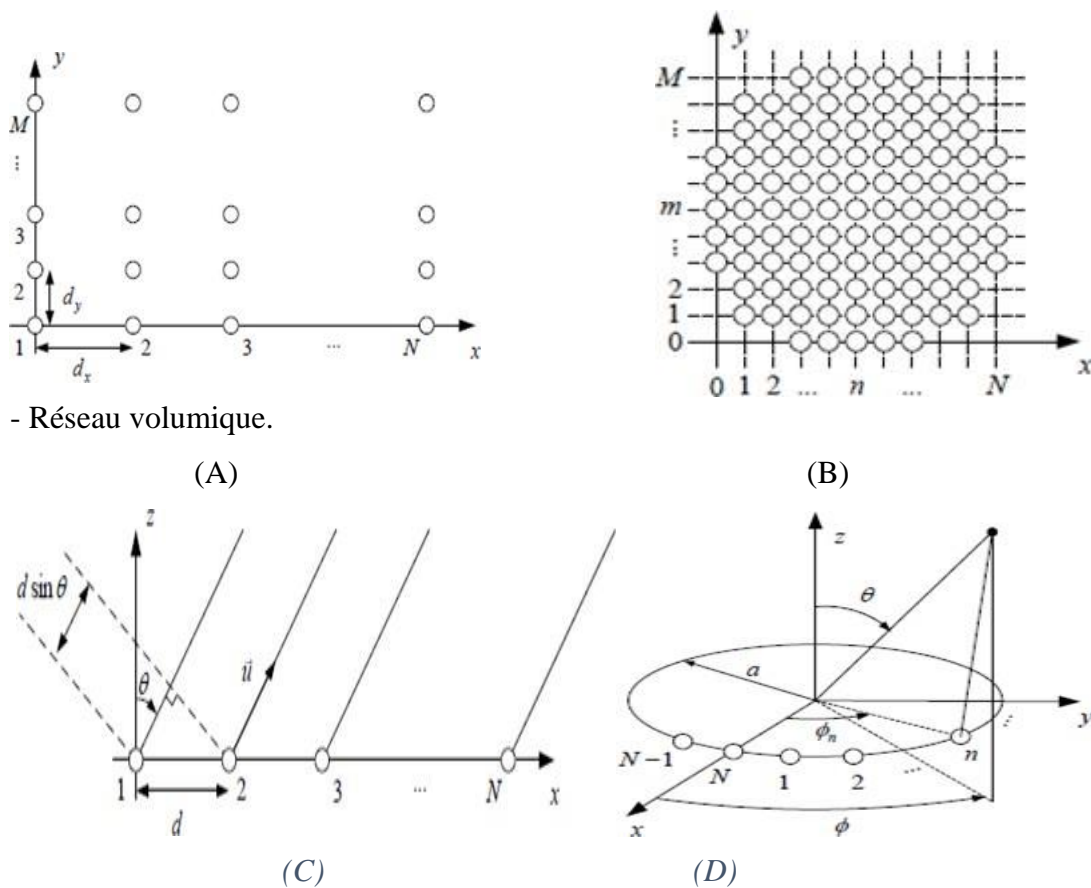


**Figure 32 : Alimentation d'un réseau d'antenne (A) : en série ; (B) : en parallèle.**

### III.6.3 Types de réseaux d'antennes

Le premier but d'un réseau d'antenne est d'avoir un gain plus élevé dans une direction privilégiée puisque la taille électrique globale de l'antenne est augmentée. Il existe plusieurs configurations géométriques des réseaux d'antennes que l'on peut regrouper comme suit :

- Réseau linéaire.
- Réseau circulaire.
- Réseau planaire (forme rectangulaire ou circulaire).



**Figure 33 : Géométries d'un réseau d'antennes.**

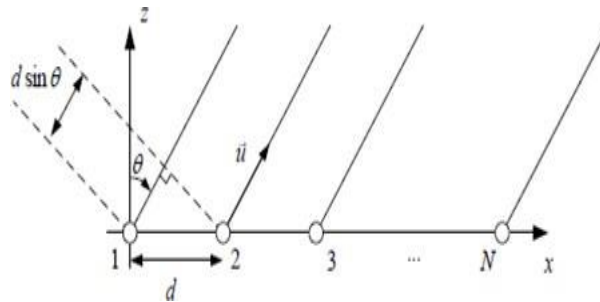
(C)-linéaire (B)-circulaire (A)-planaire (D)-volumique.

### III.6.3.1 Réseaux linéaires

Un réseau linéaire est un réseau où les sources rayonnantes sont alignées le long d'une ligne droite et espacées d'une distance constante  $d$  appelée "le pas" ou la distance inter-éléments [29]. Dans ce cas, les propriétés de la mise en réseau apparaissent dans le plan contenant les sources rayonnantes et la normale aux sources élémentaires, soit pour le plan  $\phi=0$  dans le repère choisi ; l'étude se limite généralement à ce plan et l'expression du facteur de réseau peut être donnée comme sui

$$AF(\theta) = \sum_{i=1}^N C_i e^{j(\Psi + (i-1)kd \sin \theta)} \quad (31)$$

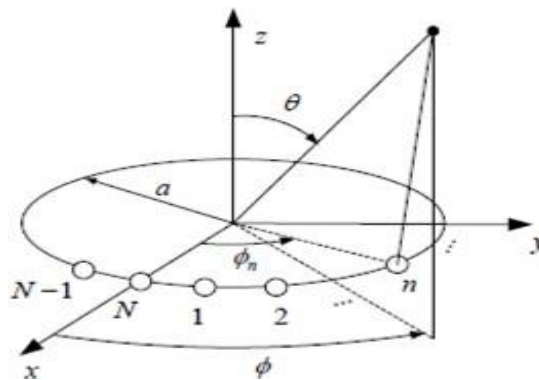
Ce type de réseau est plus utilisé dans le domaine des réseaux mobiles et des autres systèmes de télécommunications [31].



**Figure 34 réseaux linéaires**

### III.6.3.2 Réseaux circulaires

Un réseau circulaire est un réseau où les éléments rayonnants sont répartis sur le périmètre d'un cercle et avec des espacements égaux.



**Figure 35 Géométrie d'un réseau d'antennes circulaire.**

Le plan où l'analyse de réseau se limite est le plan horizontal, il est caractérisé par les coordonnées polaires  $(\theta, \varphi)$ . L'expression du facteur de réseau est donnée par [32]:

$$AF(\theta, \varphi) = \sum_{i=1}^N C_i e^{j(\Psi_i + k a \sin \theta \cos(\varphi - \varphi_i))} \quad (32)$$

### III.6.3.3 Réseaux planaire

- Un réseau planaire est un arrangement des antennes dans un plan. Il y a deux formes de réseaux planaires.

- Le réseau planaire de forme rectangulaire qui présente une généralisation du plan d'un réseau linéaire. Le cas le plus simple correspond au maillage en une grille rectangulaire  $N \times M$  d'éléments rayonnants. Le pas du réseau rectangulaire obtenu peut être différent selon les deux axes principaux du réseau, tel qu'illustré sur la Figure. Le facteur de réseau s'écrit :

$$AF(\theta, \varphi) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M C_{nm} e^{j\Psi_{nm}} e^{j\Phi_{nm}} e^{jk(n-1)dx - k(m-1)dy} \quad (33)$$

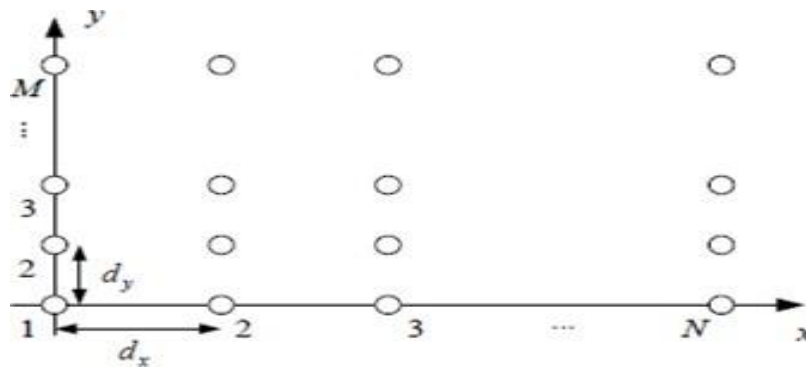


Figure 36 : Géométrie d'un réseau d'antenne planaire.

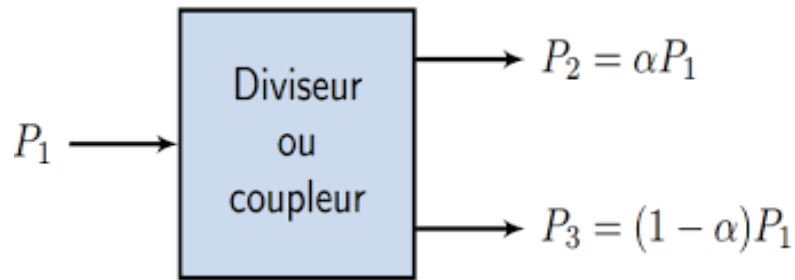
### III.7 DIVISEUR DE PUISSANCE

#### III.7.1 Définition

Les diviseurs de puissance RF ou répartiteurs de puissance sont des dispositifs RF passifs qui divisent un signal d'entrée en deux ou plusieurs signaux de sortie avec des pertes minimales. Les diviseurs de puissance sont largement utilisés dans les réseaux d'antennes, les amplificateurs équilibrés, les mélangeurs, les multiplicateurs de fréquence, etc... L'utilisation de ces diviseurs est pour assurer une alimentation d'un réseau d'antennes, pour répartir la puissance de manière égale dans tout le réseau un chemin doit être branché en utilisant un ou plusieurs diviseurs de puissance permettant de faire une jonction entre une entrée d'une seule voie avec la sortie de plusieurs voies [33].

Les signaux de sortie générés par le diviseur de puissance sont généralement d'amplitude et de phase égale, mais en fonction des diviseurs requis, l'amplitude et la phase des signaux à la sortie peuvent varier [33].

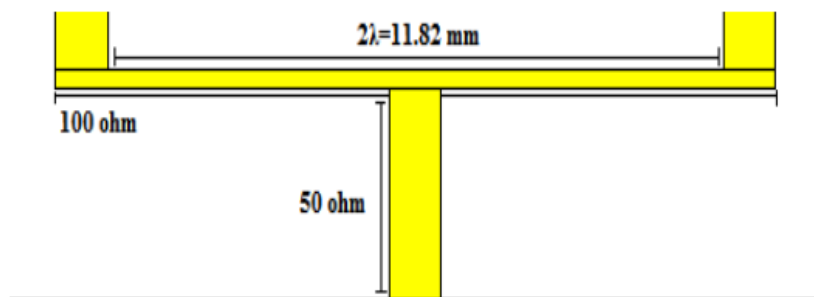
Parmi les diviseurs les plus utiles dans les systèmes de communications sans fils, on peut citer : Les diviseurs WPD, GPD, BDP et Le diviseur résistif adapté ainsi que le type de Diviseurs de puissance à N voies et aussi on peut trouver des réseaux à trois ports prennent la forme d'une jonction T [33].



**Figure 37 : Schéma d'un diviseur de puissance.**

Dans notre cas, la valeur de l'impédance d'entrée est de  $50 \Omega$ , alors que l'impédance de sortie aura la valeur de  $100 \Omega$ . Les ports ont tous la même impédance de  $50 \Omega$ .

Dans notre travail, nous choisissons le diviseur de puissance de forme jonction T, car ce type est facile à modéliser, fabriquer, calculer et modifier, il est donc compatible avec La structure du réseau d'antennes. Il donne la forme de l'arbre.



**Figure 38 : Exemple de structure de jonction T d'alimentation.**

### III.8 RESEAU D'ANTENNE VIVALDI ANTIPODALE A DEUX ELEMENTS

Dans cette partie, nous allons nous focaliser sur l'étude de la conception d'un réseau d'antennes à deux éléments afin de d'augmenter la directivité et le gain. L'antenne Élémentaire utilisée dans ce réseau est notre antenne VIVALDI Antipodale conçue précédemment dans le chapitre

-Pour un réseau d'antenne VIVALDI Antipodale à deux éléments ; il faut que la condition soit vérifiée :

$$(d+2W) < \frac{\lambda}{1+(\cos\theta_0)} \quad (34)$$

Où :  $(d + 2w)$  : l'espacement des éléments.

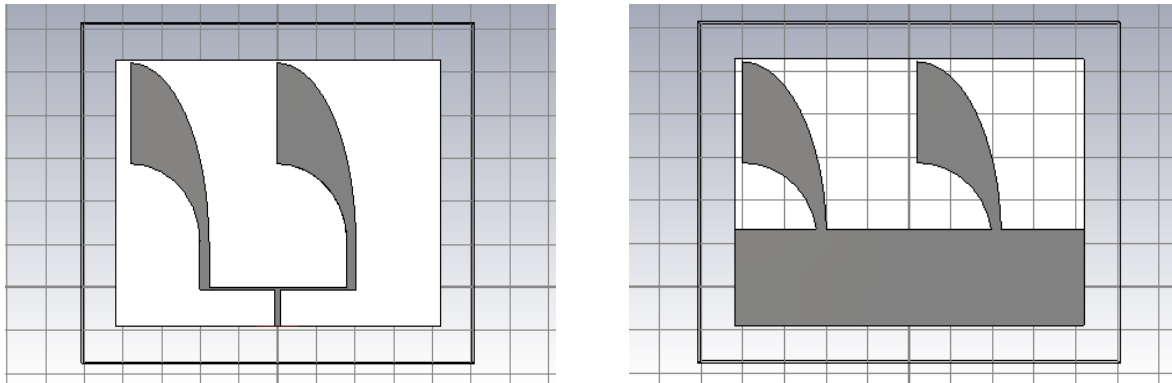
$\lambda$  : est la longueur d'onde à la fréquence de fonctionnement.

$\varphi_0$  : est l'angle du faisceau principal.

La largeur du faisceau principal d'un réseau est donnée par la formule suivante :

$$\Delta_{\phi 3dB} = \frac{0.886 \lambda}{\sin\phi_0 N.d} \quad (35)$$

Design du réseau d'antenne Vivaldi à deux éléments

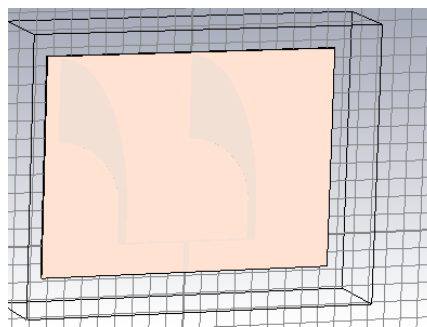


**Figure 39 : Réseau d'antenne Vivaldi sur CST.**

### III.9 DIMENSION DU RESEAU D'ANTENNE VIVALDI ANTIPODALE

#### III.9.1 Dimension du nouveau substrat

Paramètres	$W_s$	$L_s$
Valeurs (mm)	168	162



**Figure 40 : Substrat du réseau d'antenne.**

#### III.10 Dimension micro-ruban

Paramètres	$W_f$	$L_f$	$Z_0$
Valeurs	5 mm	21.5 mm	50Ω

On a déjà calculé la dimension du micro-ruban d'une seule antenne dans le début du chapitre

Avec l'équation suivante :

$$L_f = \frac{\lambda}{4} \quad (36)$$

Sachant  $L_f$  est la longueur du micro-ruban et sa largeur est déjà calculé au début de chapitre.

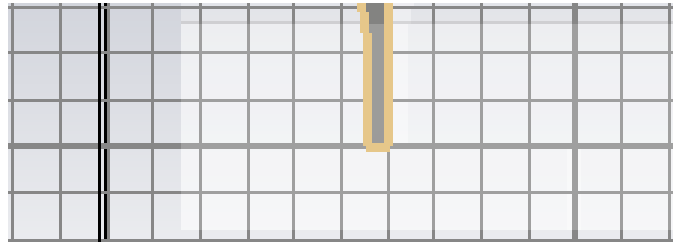


Figure 41 : Ligne micro ruban.

### III.10.1 Dimension du micro-ruban entre deux éléments

Paramètres	$W_m$	$L_m$	$Z_0$
Valeurs	0.9 (mm)	92.9 (mm)	100Ω

Sachant que  $L_m$  est l'espace entre les deux éléments. il est calculé par l'équation suivante

$$L_m = (d + 2W) \quad (37)$$

Pour la largeur de cette ligne on l'a calculé par le calculateur de CST ; il suffit de de montrer l'impédance de la ligne  $Z_0 = 100\Omega$  le CST calcul automatiquement la largeur de la ligne.

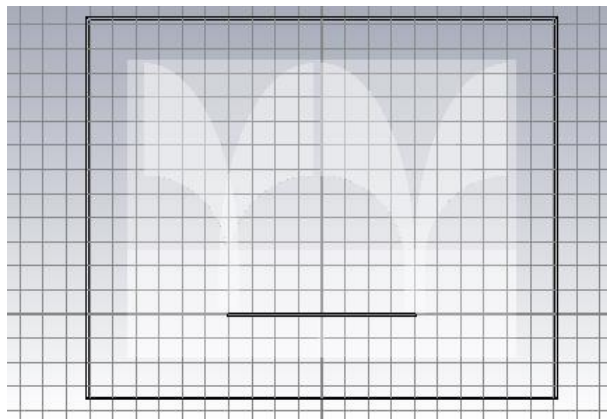
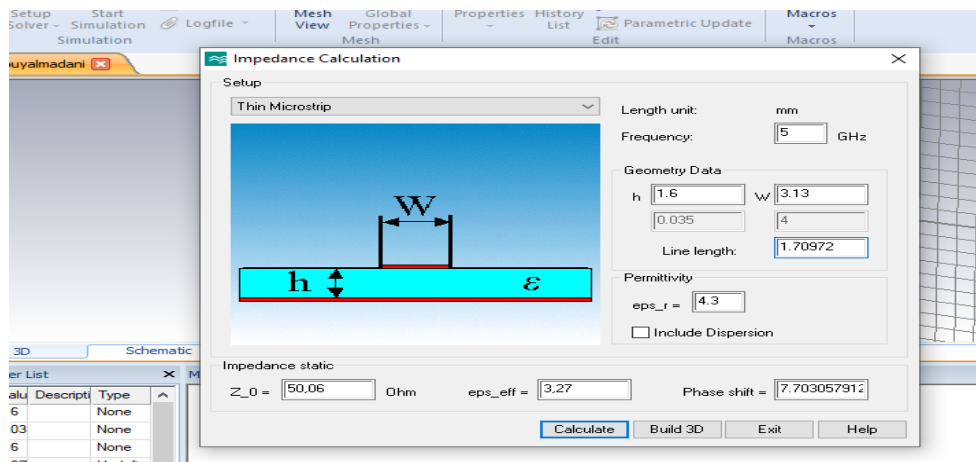


Figure 42 : Ligne entre les deux éléments.

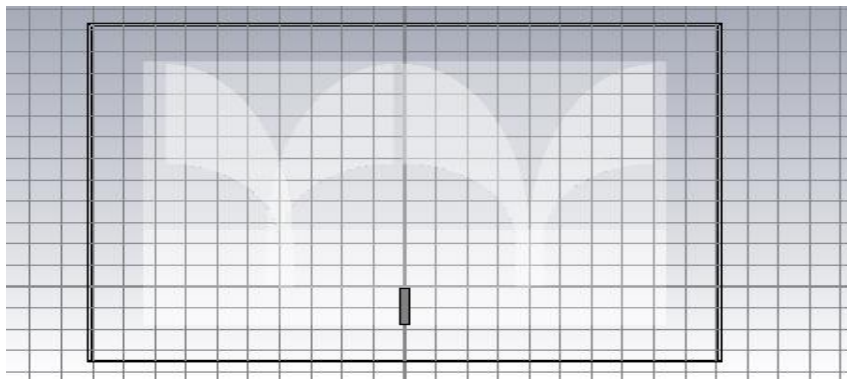
### III.10.2 Dimension du micro-ruban à l'entrée du réseau

paramètres	$W_{m1}$	$L_{m1}$	$Z_0$
valeurs	3.13 (mm)	17.9	50Ω

La largeur et la longueur de la ligne est calculée par le CST avec  $Z_0=50\Omega$ .



**Figure 43 : Calculateur du CST.**



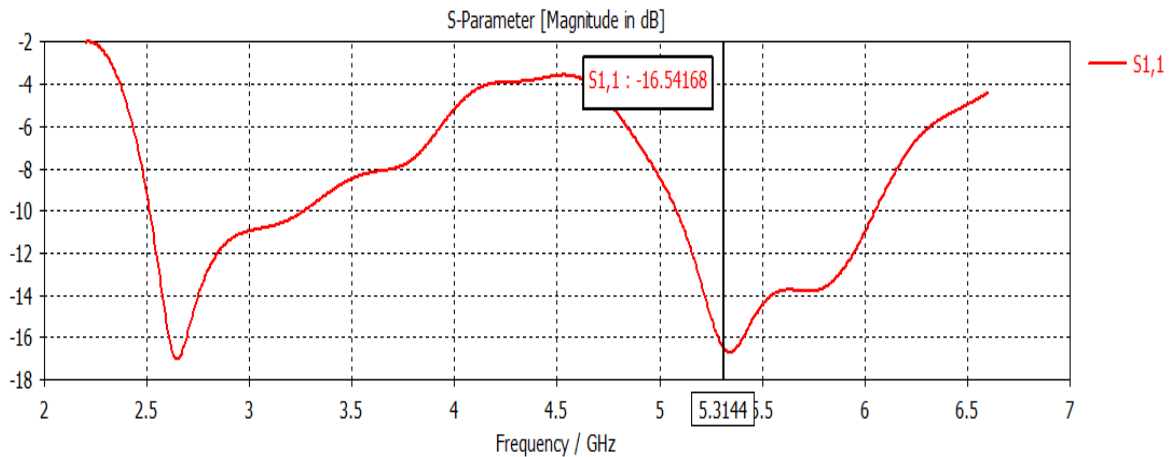
**Figure 44 : Ligne micro-ruban à l'entrée du réseau d'antenne.**

### III.11 SIMULATION DU RESEAU D'ANTENNE

En simulant l'AVA avec les valeurs calculée et la fréquence de coupure 5.3GHz sous l'environnement CST. Nous obtenons les résultats suivants.



### III.11.1 Coefficient de réflexion $S_{11}$

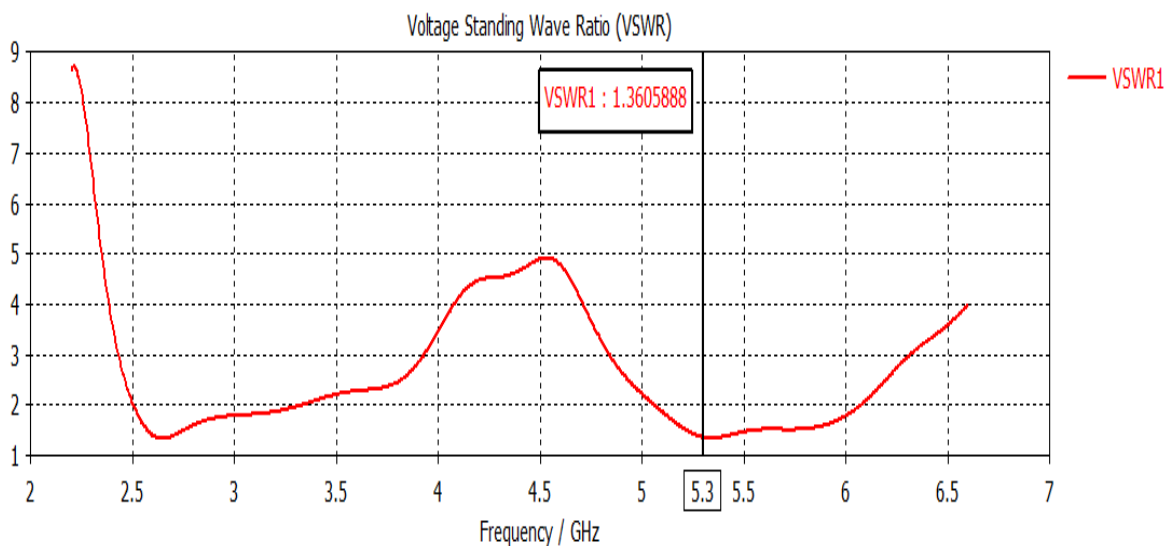


*Figure 45 : Coefficient de réflexion  $S_{11}$  du réseau d'antenne.*

Notre antenne est bien adaptée avec un coefficient de réflexion  $S_{11} < -10$  dB à partir de 5.08 GHz.

### III.11.2 Taux d'onde stationnaire

Le taux d'onde stationnaire comme le montre la figure suivante nous donne également l'appréciation de l'adaptation. Pour la fréquence 5.3 GHz, nous avons relevé un TOS est  $< 2$ . Ce qui confirme que notre antenne est bien adaptée.



*Figure 46 : VSWR du réseau d'antenne.*

### III.11.3 Gain du réseau d'antenne

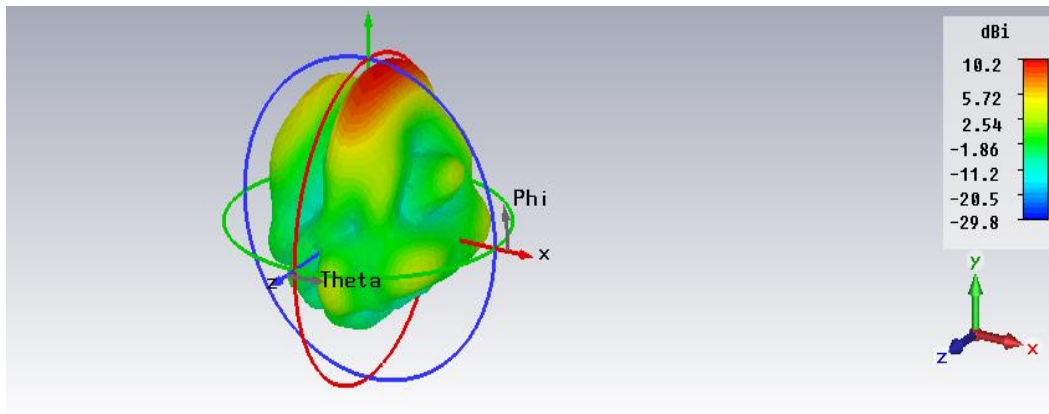


Figure 47 : Diagramme de rayonnement (Gain IEEE) du réseau d'antenne.

On voit très bien que le gain du réseau de deux éléments est plus élevé que le gain d'une seule antenne qui est égale à 10.2dB montré sur la figure 47.



Figure 48 : Diagramme de rayonnement en 2D.

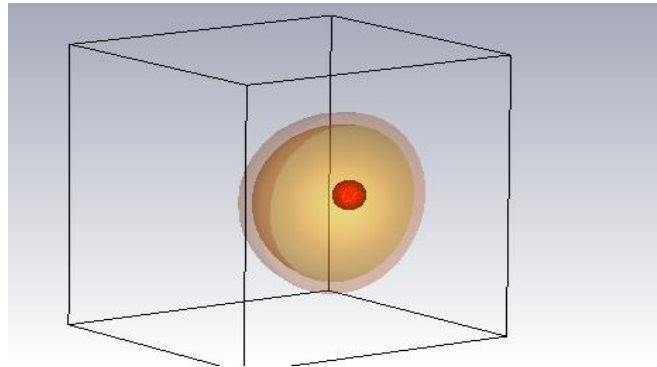
La figure 48 donne le diagramme de rayonnement du réseau d'antennes à deux éléments en 2D, le diagramme montre une antenne multi directionnel, il y a un lobe principal et plusieurs lobes secondaires. On remarque que le diagramme est multi directionnel et que le lobe principal a une ouverture de largeur de l'angle à la valeur de 3dB égale à 40,0deg pour une direction de 125deg à la fréquence de résonnance de 5,29GHz et que les autres lobes secondaires rayonnent faiblement dans d'autres directions.

### III.12 MODELE DE SEIN

- Pour étudier l'interaction entre l'antenne conçue et le sein, on a développé un modèle de fantôme du sein. Ce modèle est composé de trois couches : la peau, la graisse et la tumeur.

Chaque couche possède des propriétés diélectriques dispersives, entre la permittivité et la conductivité. Ce fantôme est composé de :

- Peau avec un rayon de 30[mm] et d'épaisseur [4mm].
- Graisse de rayon 26[mm] et d'épaisseur 5[mm].
- Tumeur de rayon 5[mm].



**Figure 49 : Le modèle de fantôme du sein sur CST.**

La figure (5) montre les différentes parties du sein.

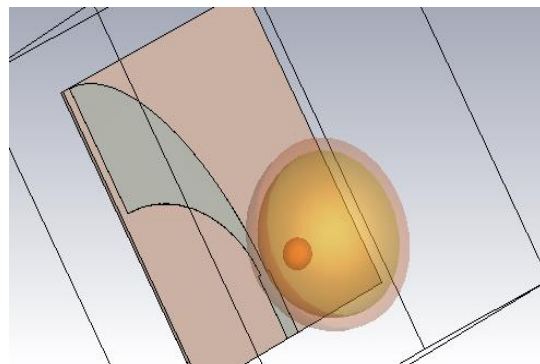
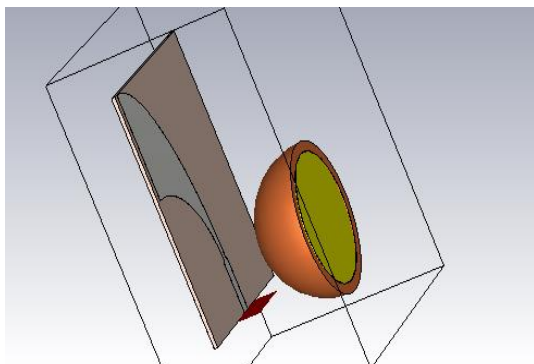
Tissus	Permittivité (F/m)	Conductivité électrique (S/m)	Densité (Kg/m <sup>2</sup> )
Peau	36.7	2.34	1109
Graisse	4.84	0.262	911
Tumeur	54.9	4	1058

**III.1. Tableau de paramètre de tissus mammaire.**

- Le tableau montre les différentes valeurs des paramètres de tissus mammaires.

### III.13 RESULTATS DE DETECTION DE LA TUMEUR

-Après la création du fantôme du sein ; on va insérer notre antenne Vivaldi antipodale adaptée à 5.3GHz.

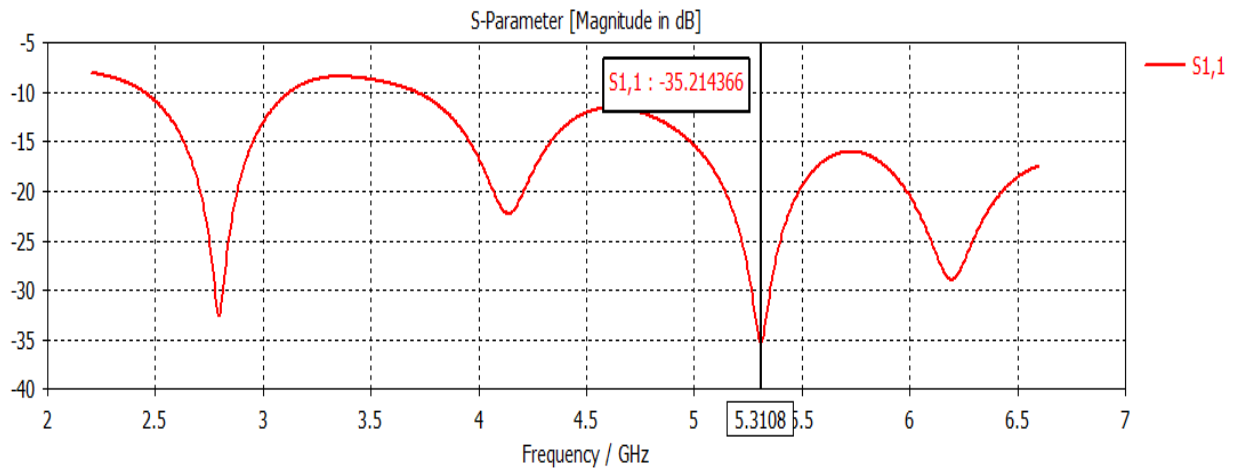


**Figure 50 : Modèle du sein avec l'antenne Vivaldi.**

### III.14 RESULTATS DE SIMULATION AVEC UN SEUL ELEMENT D'ANTENNE

#### VIVALDI

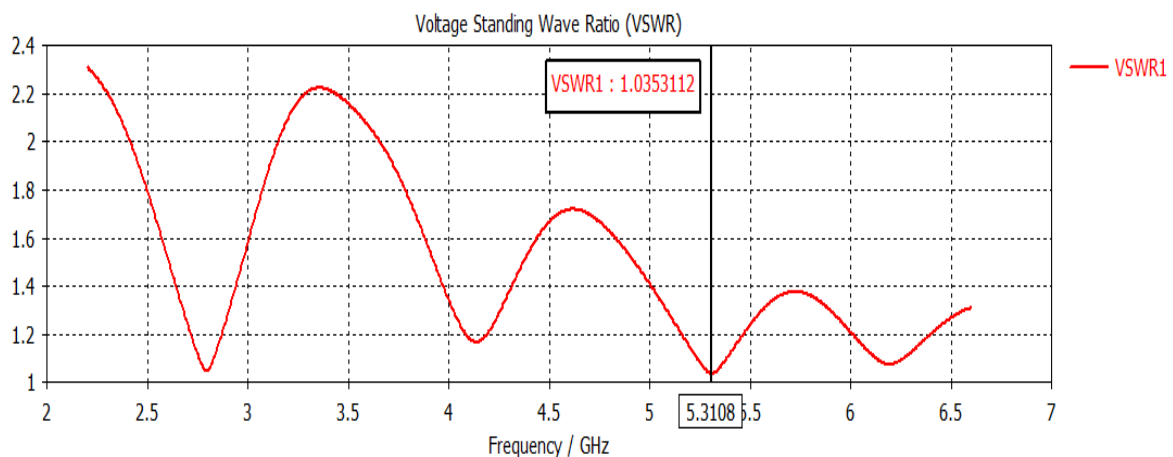
##### III.14.1 Coefficient de réflexion



**Figure 51 : Coefficient de réflexion S11 de l'antenne Vivaldi avec tumeur.**

On voit bien le coefficient de réflexion est bien adapté à la fréquence 5.3GHz avec une valeur -35,21dB.

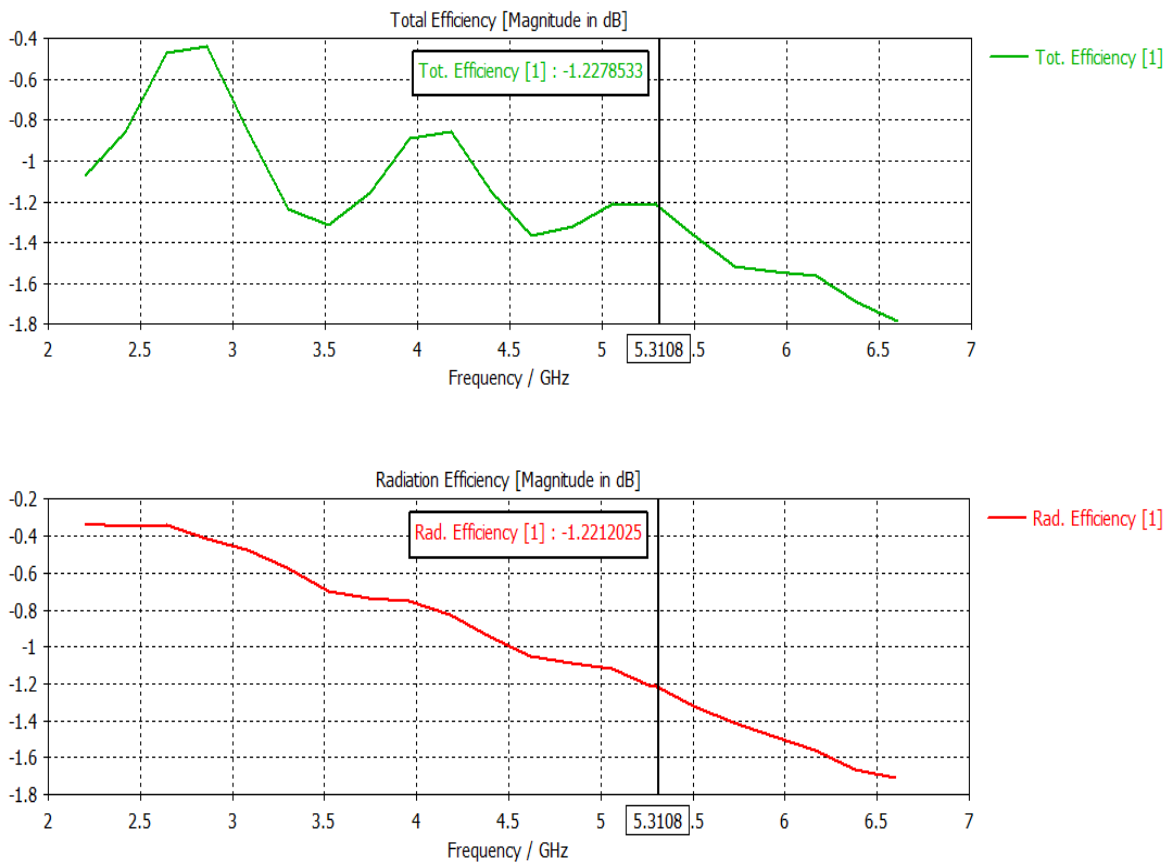
##### III.14.2 Taux d'Onde Stationnaire VSWR



**Figure 52 : VSWR d'antenne Vivaldi avec tumeur.**

-Le VSWR est de valeur 1 à la fréquence 5.3GHz. Dans ce cas ; la condition  $VSWR < 2$  est vérifié.

##### III.14.3 Efficacité du rayonnement



**Figure 53 : Efficacité de rayonnement de l'antenne Vivaldi avec tumeur.**

Le corps humain peut générer de grandes pertes causées par l'absorption de puissance, ce qui va réduire les performances de l'antenne (changement de la fréquence centrale, destruction du diagramme et de l'efficacité de rayonnement, etc.) [34].

L'efficacité de rayonnement est de -1.22dB à la fréquence 5.3GHz

### III.15 DEBIT D'ABSORPTION SPECIFIQUE (SPECIFIC ABSORPTION RATE)

#### SAR

La mesure du DAS (débit d'absorption spécifique) ou SAR permet de quantifier la quantité d'énergie transportée par les ondes électromagnétiques qui est absorbée par le corps humain lors de l'utilisation d'un équipement radioélectrique.

Le débit d'absorption spécifique DAS se calcule à partir des grandeurs physiques suivantes :

- Le champ électrique  $\vec{E}$  dans les tissus :  $\text{DAS} = \frac{\sigma E^2}{2\rho}$  (38)

- La densité de courant J dans les tissus :  $\text{DAS} = \frac{J^2}{\sigma\rho}$  (39)

- L'élévation de température  $\frac{dT}{dt}$  dans les tissus : **DAS** =  $c_i \frac{dT}{dt}$  (40)

Où :

**E** : Le champ électrique en V/m.

**J** : La densité de courant [ $A/m^2$ ] obtenue à partir des champs magnétique et/ou électrique .

$\rho$  : La masse volumique du tissu  $kg/m^3$  .

$\sigma$  : La conductivité électrique du tissu S/m

$c_i$  : capacité thermique du tissu en J/(kg.K)

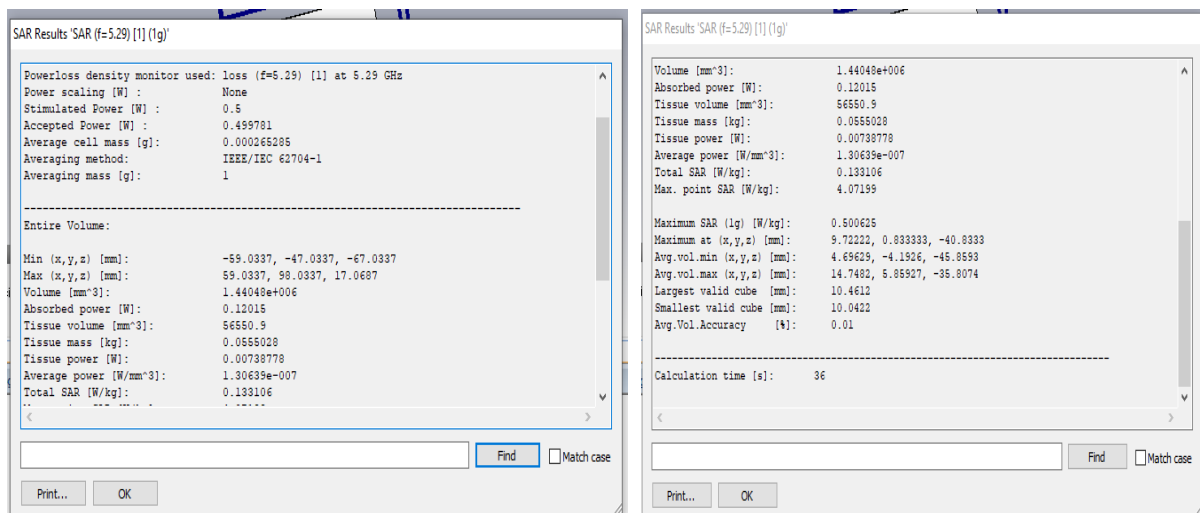
$\frac{dT}{dt}$  : La dérivée de la température des tissus par rapport au temps en K/s

Dans le Système international, l'unité de mesure du DAS est le watt par kilogramme (W/kg), équivalent au  $m^2/s^3$ .

### III.16 RESULTAT DE SIMULATION SAR

#### III.16.1 Résultat de SAR avec une antenne un seul élément

La simulation est faite pour 1g de tissus de masse à la fréquence 5.3GHz, sachant que la position de tumeur est à (10 ; 0 ; -40).



**Figure 54 : Résultat de SAR sur CST.**

- Le tableau suivant montre la signification de chaque valeur dans la figure précédente :

Moniteur de densité de perte de puissance utilisé	Loss (f=5.3) [1] à 5.3 GHz
Masse cellulaire moyenne [g]	0.000265285
Méthode de calcul de la moyenne (Norme)	IEEE/IEC 62704-1
Masse moyenne [g]	1
Puissance absorbée [W]	0.12015
Masse tissulaire [Kg]	0.0555028
Puissance des tissus [W]	0.00738778
SAR total [W/Kg]	0.133106
SAR maximal (1g) [W/Kg]	0.500625
Maximum à (x ; y ; z)	9.72222, 0.833333, -40.8333

Aux États-Unis, la FCC exige qu'un niveau de DAS soit inférieur à 1,6 W/kg pour 1 gramme de poids de tissu. Dans notre cas cette condition est vérifiée.

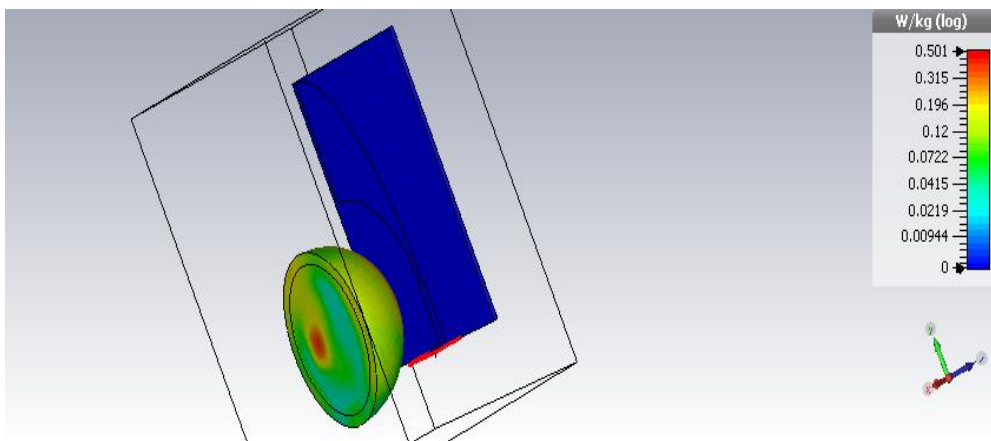


Figure 55 : SAR (1 gramme de poids de tissu).

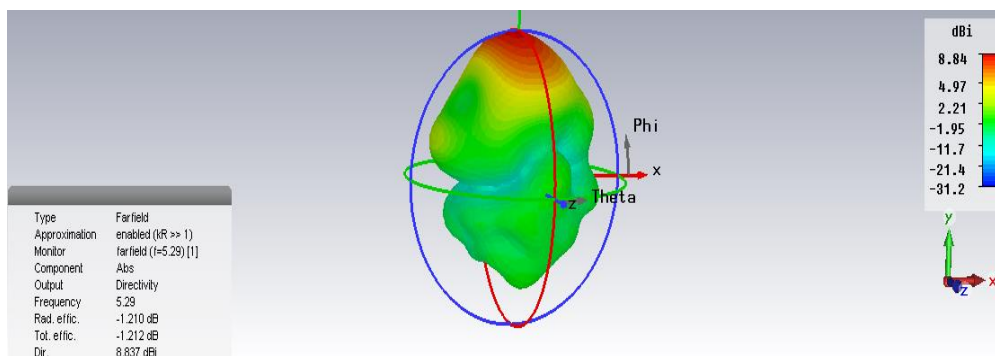
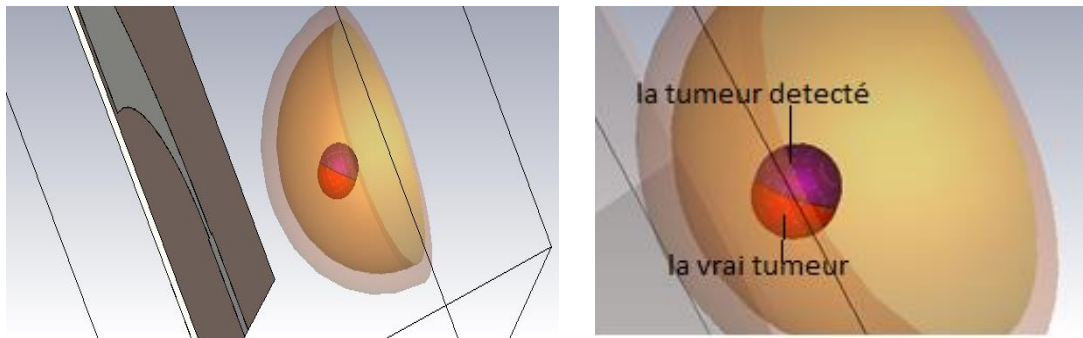


Figure 56 : Diagramme de rayonnement 3D (Directivité).

La figure précédente montre Diagramme de rayonnement 3D (Directivité) d'une antenne insérer avec un sein (avec tumeur) donne un gain de 8.84dB.

### III.17 COMPARAISON ENTRE LA VRAIE TUMEUR ET LA DETECTION DU SAR

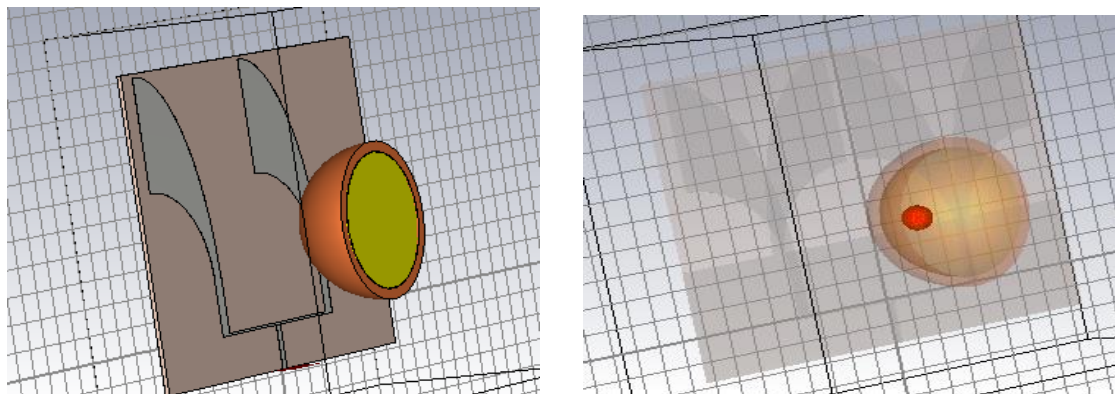
-On a localisé la vraie tumeur à  $(x=10 ; y=0 ; z=40)$ , après la simulation et l'analyse du SAR on a trouvé les nouvelles valeurs qui sont mentionnées déjà dans le tableau précédent  $(x=9.72222 ; y=0.833333 ; z=-40.8333)$ . Ces valeurs sont considérées comme l'emplacement de tumeur.



*Figure 57 : Comparaison entre la vraie tumeur et la tumeur détectée.*

L'emplacement de la tumeur détecté est l'emplacement de la vraie tumeur est presque le même. Donc on peut dire que notre antenne Vivaldi antipodale a détecté la tumeur.

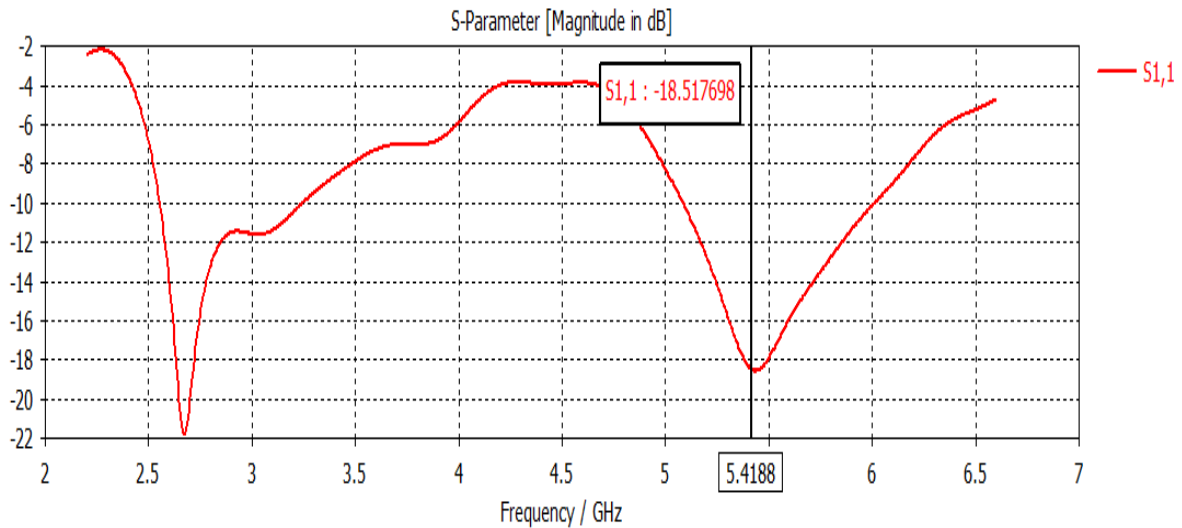
### III.18 RESULTAT D'UN RESEAU D'ANTENNE AVEC TUMEUR



**Figure 58 : Réseau d'antenne avec fantôme de sein avec tumeur.**

#### III.18.1 Coefficient de réflexion

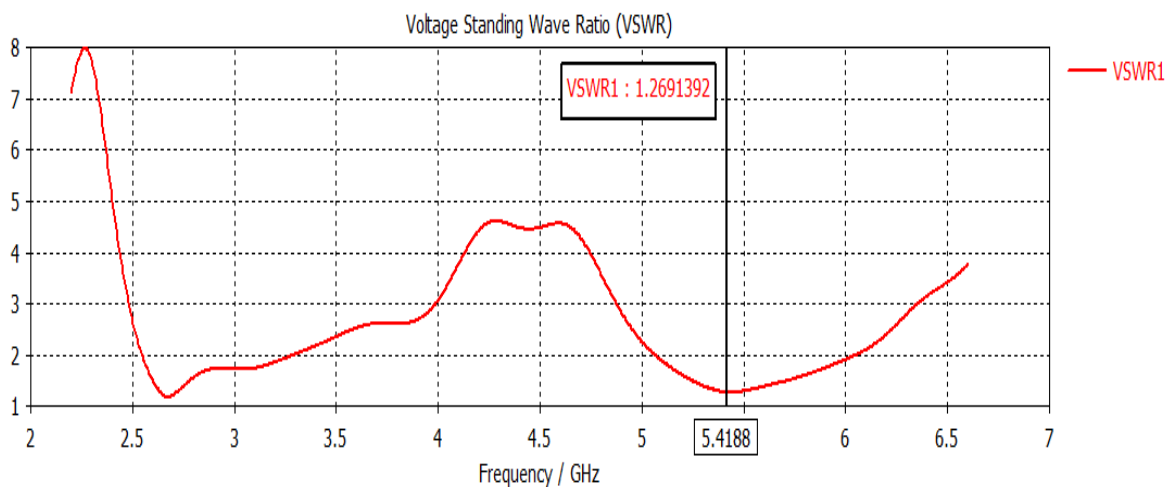




**Figure 59 : Coefficient de réflexion d'un réseau d'antenne inséré avec tumeur.**

On voit bien le coefficient de réflexion de réseau d'antenne est bien adapté à la fréquence 5.41GHz avec une valeur -18.51 dB.

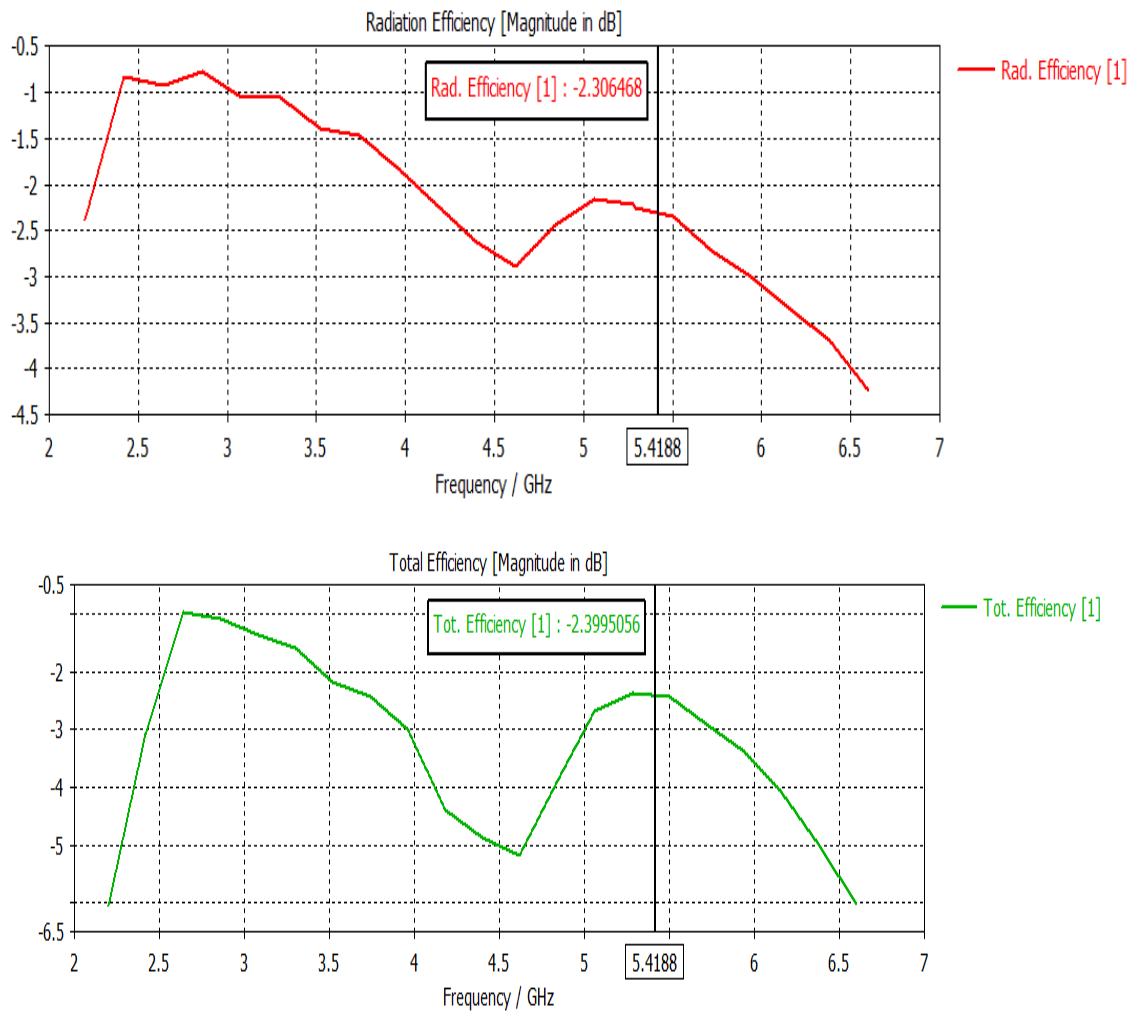
### III.18.2 Taux d'onde stationnaire VSWR



**Figure 60 : Le VSWR de réseau d'antenne inséré avec tumeur.**

Le VSWR est de valeur 1.2 à la fréquence 5.3GHz. Dans ce cas ; la condition  $VSWR < 2$  est vérifié.

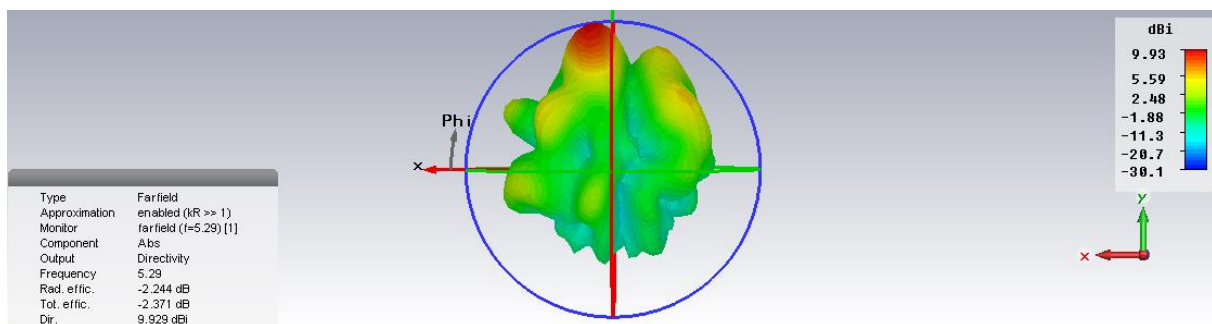
### III.18.3 Efficacité de rayonnement



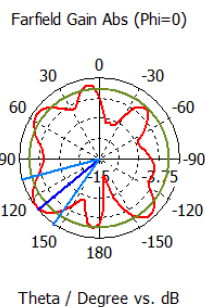
**Figure 61 : Efficacité de rayonnement de réseau d'antenne Vivaldi avec tumeur.**

- L'efficacité de rayonnement est de -2.39dB à la fréquence 5.4GHz

### Le gain



**Figure 62 Diagramme de rayonnement en 3D**



— farfield (f=5.29) [1]

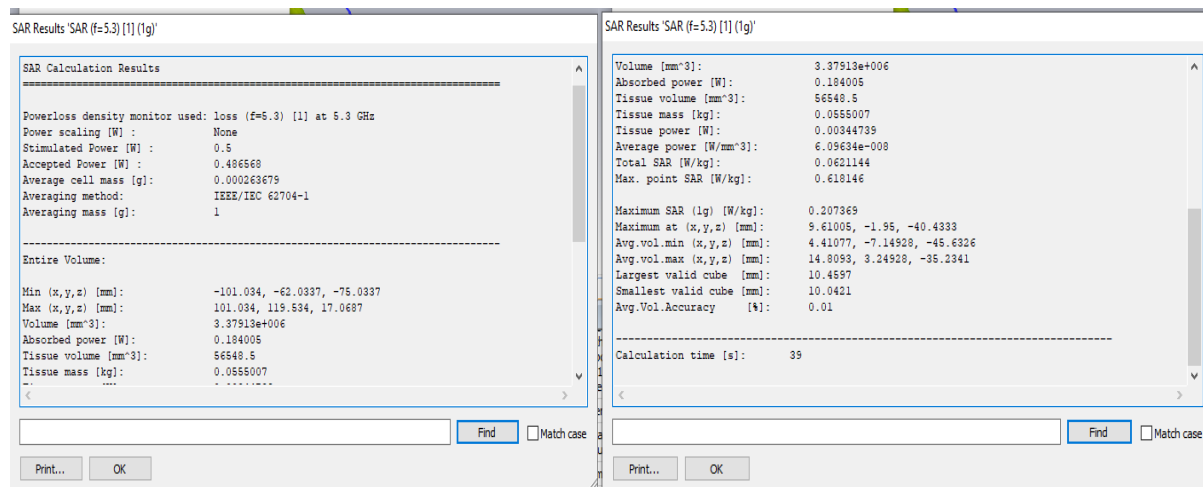
Frequency = 5.29  
 Main lobe magnitude = -0.3 dB  
 Main lobe direction = 130.0 deg.  
 Angular width (3 dB) = 40.4 deg.  
 Side lobe level = -1.7 dB

**Figure 63 : Diagramme de rayonnement en 2D.**

La figure 63 montre un diagramme de rayonnement en 2D du réseau d'antennes à 2 éléments, on remarque que le diagramme est multi directionnel et que le lobe principal a une ouverture de largeur de l'angle à la valeur de 3dB égale à 40,4deg pour une direction de 130deg à la fréquence de résonance de 5,29GHz et que les autres lobes secondaires rayonnent fortement dans d'autres directions.

### III.19 RESULTATS DU SAR

La simulation est faite pour 1g de tissus de masse à la fréquence 5.4GHz, sachant que la position de tumeur est à (10 ; 0 ; -40).

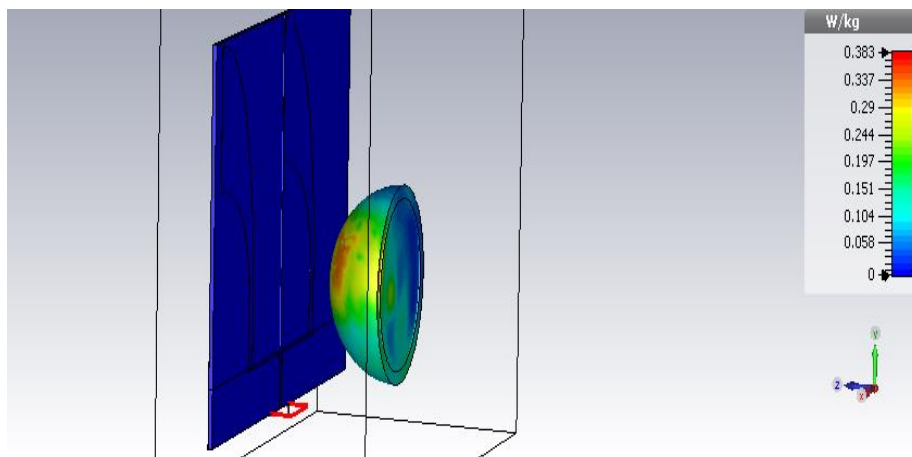


**Figure 64 : Résultat du SAR sur CST.**

Moniteur de densité de perte de puissance utilisé	loss (f=5.4) [1] à 5.4 GHz
Masse cellulaire moyenne [g]	0.000263679
Méthode de calcul de la moyenne (Norme)	IEEE/IEC 62704-1
Masse moyenne [g]	1
Puissance absorbée [W]	0.184005

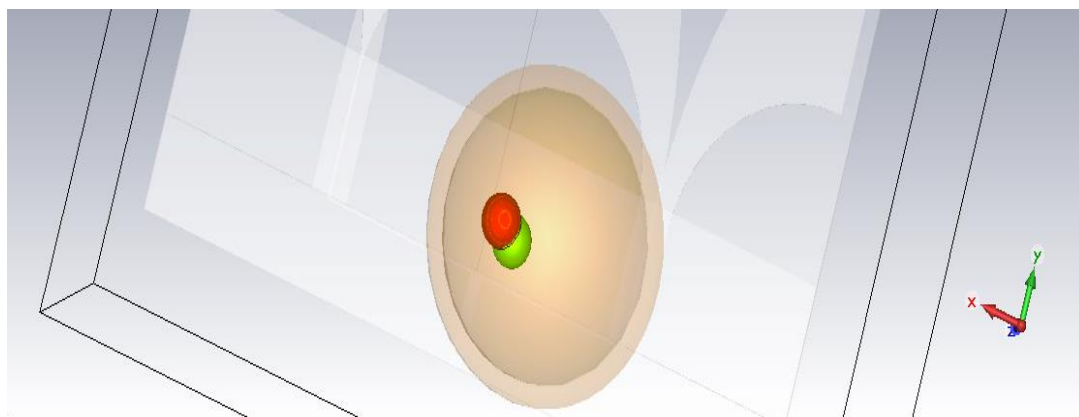
Masse tissulaire [Kg]	0.0555007
Puissance des tissus [W]	0.00344739
SAR total [W/Kg]	0.0621144
SAR maximal (1g) [W/Kg]	0.207369
Maximum à (x ; y ; z)	9.61005, -1.95, -40.4333

- Dans notre cas, la condition  $SAR < 1.6 \text{ W/Kg}$  pour 1 gramme de tissus.



**Figure 21 : SAR (1 gramme de tissu) du réseau d'antenne.**

### **III.20 COMPARAISON ENTRE LA VRAIE TUMEUR ET LA DETECTION DU SAR D'UN RESEAU D'ANTENNE**



**Figure 65 : Comparaison entre la vraie tumeur et la tumeur détectée par le réseau.**

L'emplacement de la tumeur détecté est l'emplacement de la vraie tumeur est presque le même. Donc on peut dire que notre réseau d'antenne Vivaldi antipodale a détecté la tumeur.

### III.21 RESEAU D'ANTENNE VIVALDI A QUATRE ELEMENTS

#### III.21.1 Structure de réseau d'antenne proposée

Dans cette partie, nous allons focaliser sur l'étude de la conception d'un réseau d'antennes à quatre éléments afin d'augmenter la directivité et le gain. L'antenne élémentaire utilisée dans ce réseau est notre antenne Vivaldi antipodale conçue précédemment dans le chapitre.

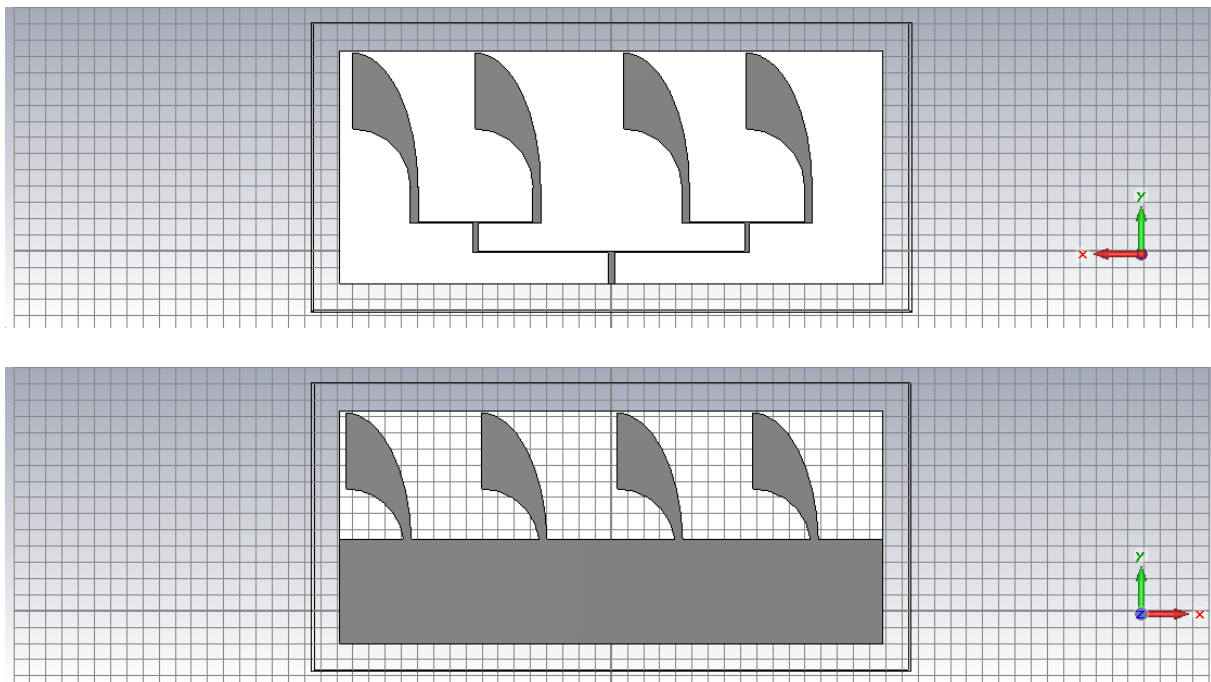


Figure 66 Réseau d'antenne à quatre éléments

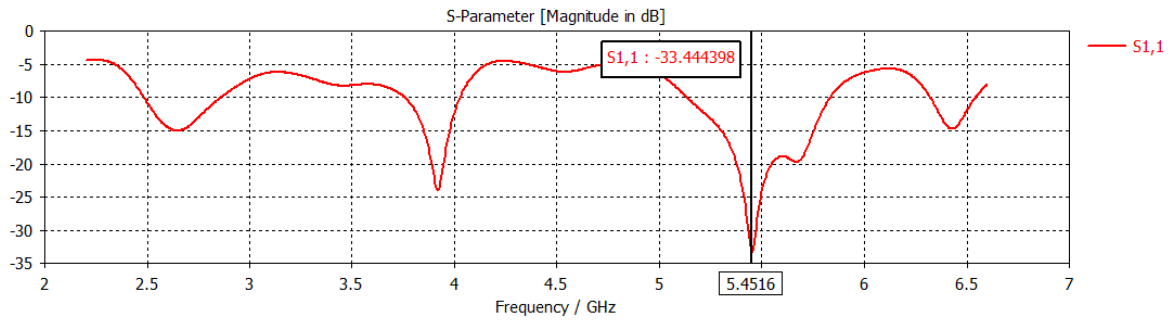
Les paramètres	' $W_s$ ' largeur de substrat	' $L_s$ ' longueur de substrat	' $h_s$ ' l'épaisseur de substrat
les valeurs (mm)	336	126	1.6

Tableau 1 dimension d'un réseau d'antenne à quatre éléments

### III.22 RESULTAT DE SIMULATION

#### III.22.1 Coefficient de réflexion

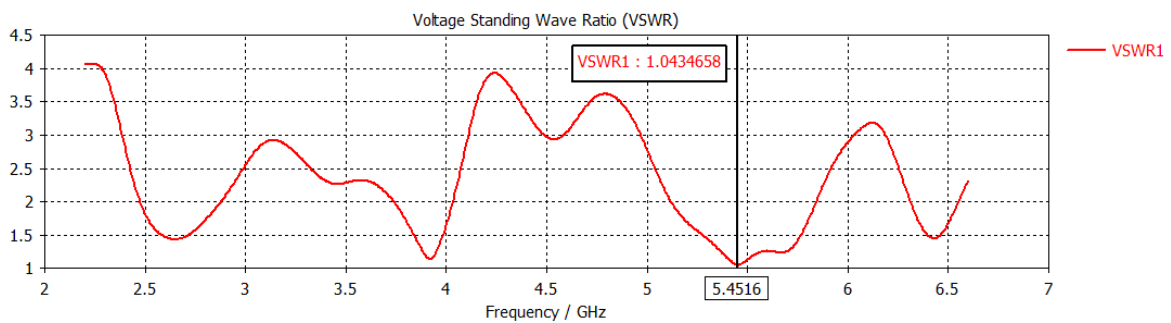
Le résultat montre sur la figure représente le S11 (dB) en fonction de la fréquence indiquant la fréquence de résonance de 5.45GHz.



**Figure 67 Coefficient de réflexion du réseau à 4 éléments**

### III.22.2 Rapport d'onde stationnaire

Comme le paramètre S<sub>11</sub>, le rapport d'onde stationnaire nous l'appréciation de l'adaptation. Pour la fréquence 5.45GHz, nous relevé un TOS<2 dans la bande passante. Ce qui confirme que notre antenne est adaptée à la fréquence de résonance.

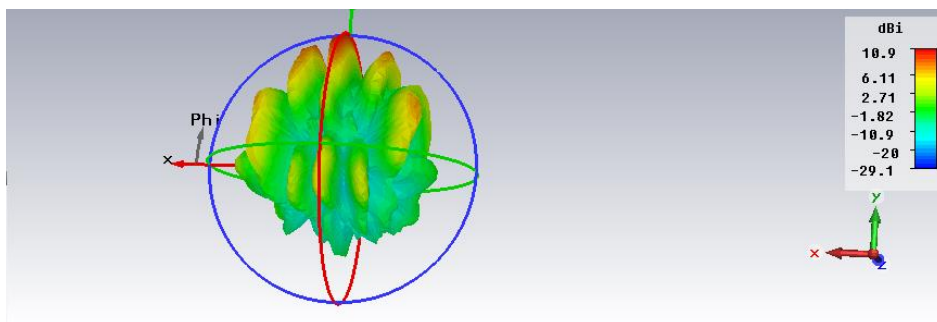


**Figure 68 le VSWR de réseau d'antenne 4 éléments**

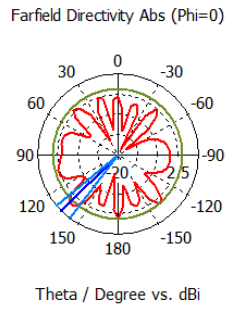
### III.22.3 Diagramme de rayonnement

La figure représente le diagramme de rayonnement en présentation 3D.

La valeur de gain est de 10.9dB



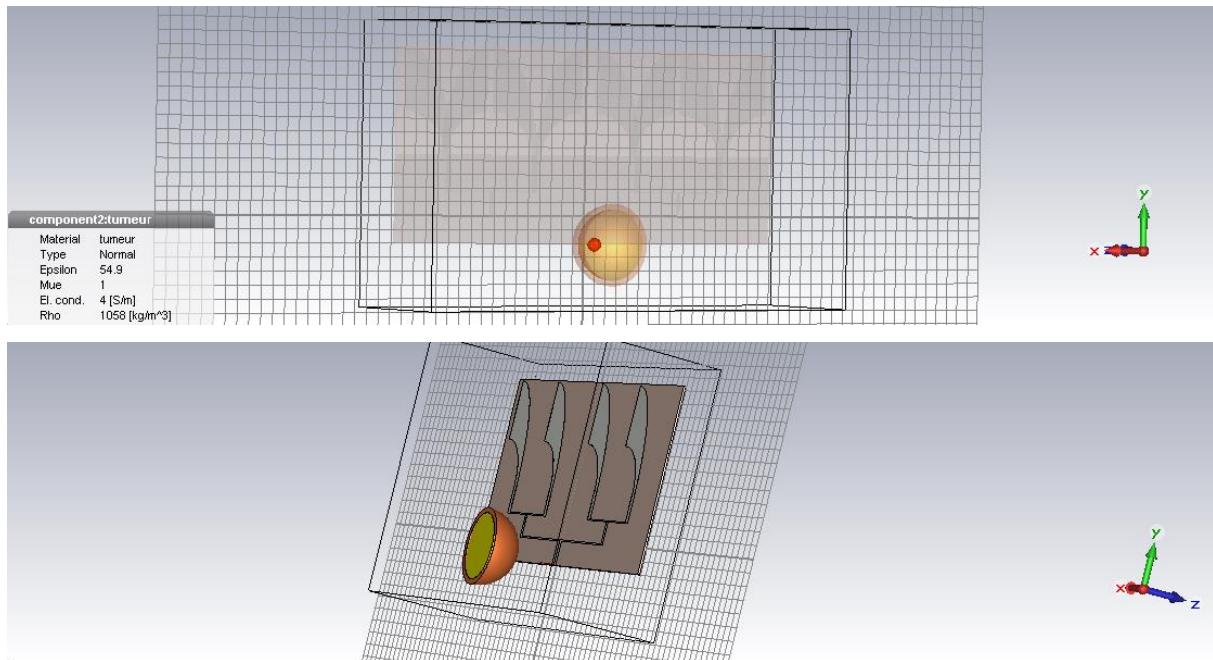
**Figure 69 Diagramme de rayonnement en 3D du réseau**



**Figure 70 Diagramme de rayonnement en 2D**

### III.23. RESULTAT DE SIMULATION DU RESEAU AVEC LE FANTOME

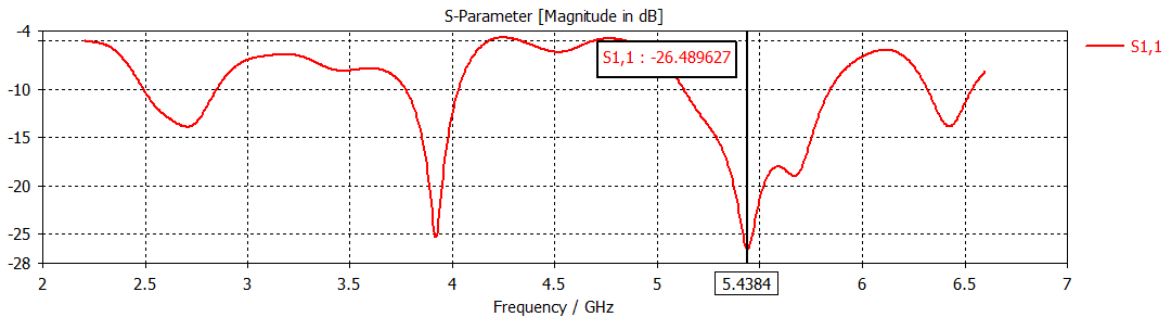
-Après la création du fantôme du sein ; on va insérer notre antenne Vivaldi antipodale adaptée à 5.45GHz.



**Figure 71 Réseau d'antenne 4 éléments avec le fantôme**

#### III.23.1 Coefficient de réflexion S11

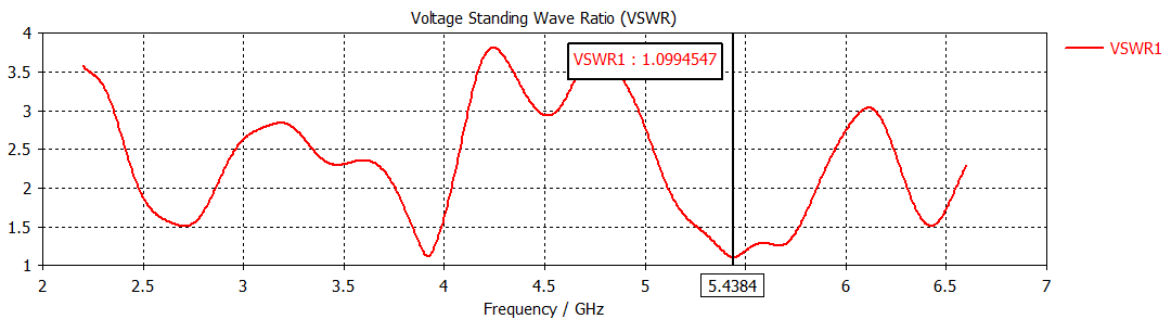
Dans la figure suivante, on voit bien le coefficient de réflexion est bien adapté à la fréquence 5.43GHz avec une valeur -26.48dB.



**Figure 72 S11 du réseau de 4 éléments avec le fantôme**

### III.23.2 Rapport d'onde stationnaire

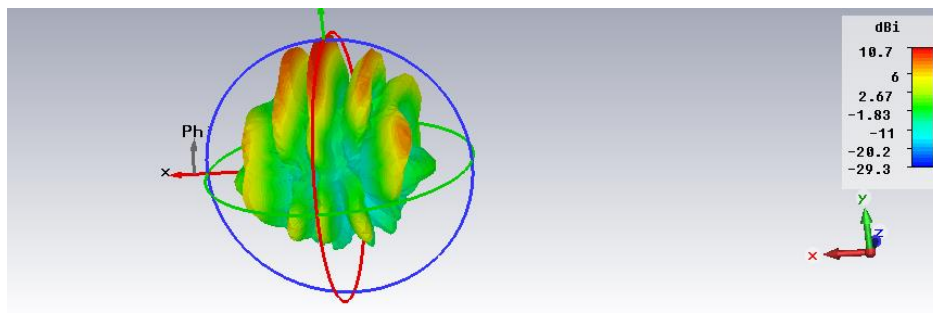
-Le VSWR est de valeur 1.009 à la fréquence 5.43GHz. Dans ce cas ; la condition  $VSWR < 2$  est vérifié.



**Figure 73 VSWR du réseau 4 éléments avec le fantôme**

### III.23.3 Diagramme de rayonnement

Le gain est de 10.7 à la fréquence 5.43GHz

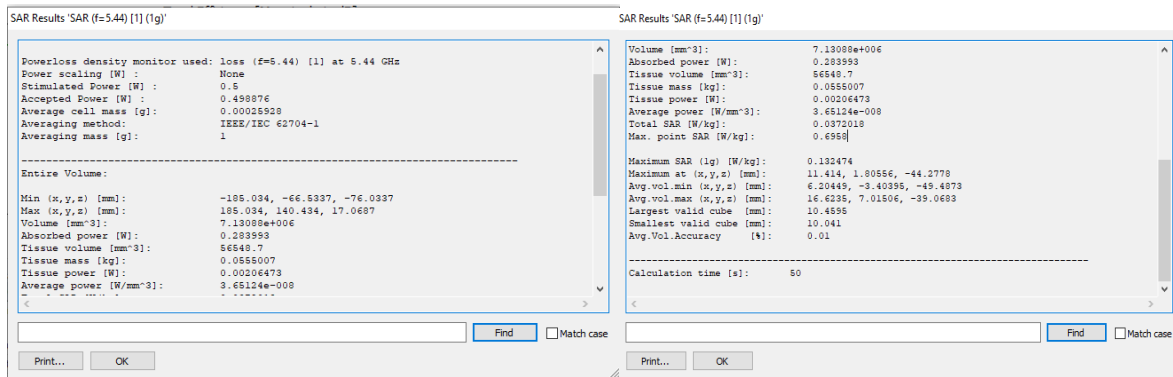


**Figure 74 Diagramme de rayonnement en 3D de réseau de 4 éléments avec le fantôme**

### III.23.4 Résultat du SAR

La simulation est faite pour 1g de tissus de masse à la fréquence 5.3GHz, sachant que la position de tumeur est à (10 ; 0 ; -40).



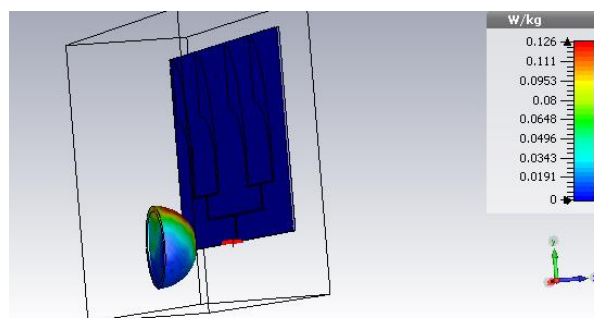


**Figure 75 Résultat du SAR de réseau à 4 éléments**

- Le tableau suivant montre la signification de chaque valeur dans la figure précédente :

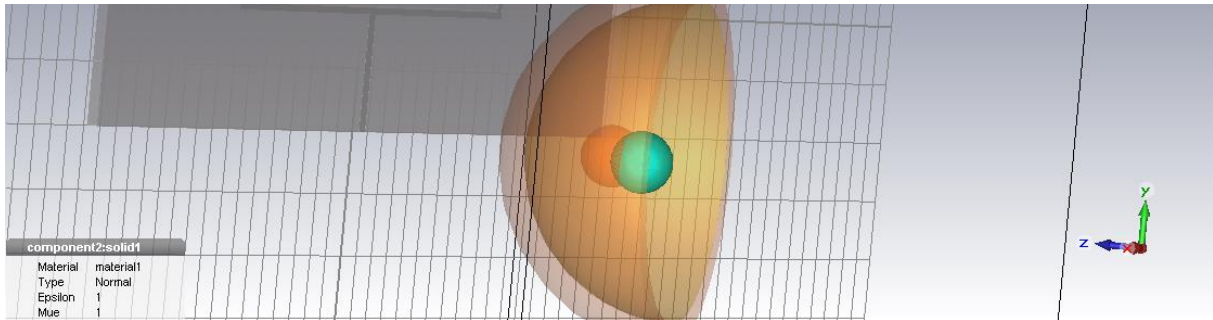
Moniteur de densité de perte de puissance utilisé	loss (f=5.4) [1] à 5.4 GHz
Masse cellulaire moyenne [g]	0.00025928
Méthode de calcul de la moyenne (Norme)	IEEE/IEC 62704-1
Masse moyenne [g]	1
Puissance absorbée [W]	0.184005
Masse tissulaire [Kg]	0.0555007
Puissance des tissus [W]	0.00206473
SAR total [W/Kg]	0.0372018
SAR maximal (1g) [W/Kg]	0.132474
Maximum à (x ; y ; z)	11.414, 1.80556, -44.2778

- Dans notre cas, la condition SAR<1.6W/Kg pour 1 gramme de tissus.



**Figure 76 SAR (1 gramme de tissu) du réseau d'antennes 4 éléments**

### III.23.5 Comparaison entre la vraie tumeur et LA détection du SAR d'un réseau d'antenne à quatre éléments



**Figure 77 Comparaison entre les deux tumeurs**

-L'emplacement de la tumeur détecté est l'emplacement de la vraie tumeur est presque le même. Donc on peut dire que notre réseau d'antenne Vivaldi antipodale a détecté la tumeur.

## CONCLUSION

Ce chapitre a pour objectif de déterminer une solution qui répond à l'une des exigences des applications spatiales qui sera un gain plus élevé. Cette solution est la mise en place d'un réseau d'antenne à partir de l'antenne élémentaire créée avec un design unique présenté. Les éléments du réseau sont reliés entre eux par un diviseur de puissance à jonction T. en conséquence l'analyse des résultats montrent une bonne adaptation autour de 5.3GHz avec une amélioration du gain. Les résultats indiquent que le réseau de 2 éléments a de bonnes performances en termes de taux d'ondes stationnaires, d'impédance d'entrée et d'efficacité et de gain. Après on a présenté aussi les résultats de simulation basé sur le SAR et de l'analyse réalisée dans le domaine temporel en utilisant deux configurations d'antennes, antenne Vivaldi antipodale un seul élément et un réseau d'antenne Vivaldi à deux éléments la fin du chapitre.

### III.24 BIBLIOGRAPHIE

- [1] changpuak, «Electronic- Antipodal Vivaldi Antenna Designer,» 04 12 2019. [En ligne]. Available: [https://www.changpuak.ch/electronics/Antipodal\\_Vivaldi\\_Antenna\\_Designer.php](https://www.changpuak.ch/electronics/Antipodal_Vivaldi_Antenna_Designer.php).
- [2] D. D. System, «CST STUDIO SUITE,» [En ligne]. Available: <https://www.3ds.com/fr/produits-et-services/simulia/produits/cst-studio-suite/>.
- [3] F. Terman, *Electronic Radio and Engineering*, London: McGraw-Hill, 1943.
- [4] R.J.Mailloux, *Phased Array Antenna Handbook*, London: Second Edition Artech House, 2005.
- [5] M. G. Nasser, *Memoire Pour l'obtention du Diplôme de MAGISTER*, Setif, UNIVERSITE FERHAT ABBAS –SETIF 1- UFAS (ALGERIE), 2018.
- [6] L. C. Godara, *Smart Antennas*, CRC press, janvier 2004.
- [7] E. R. Mittra, «Developments in Antenna Analysis and Design: Volume 1, novembre 2018.
- [8] A. B. & A. ICHOU, *thèse de master*, Tlemcen, l'université Aboubakr Belkaïd, 2020.
- [9] wikipédia, «anetenne vivaldi,» 19 juin 2021. [En ligne]. Available: [https://fr.wikipedia.org/wiki/Antenne\\_Vivaldi](https://fr.wikipedia.org/wiki/Antenne_Vivaldi).
- [10] C. Wolff, «les principe du radar,» [En ligne]. Available: <https://www.radartutorial.eu/06.antennas/Antenne%20Vivaldi.fr.html>.
- [11] C. B. n. b. thorayya, *DIPLOME DE MAGISTER*, Tlemcen, UNIVERSITE ABOU BAKR BELKAID- TLEMCEN, 2013.
- [12] wikiwand, «diagramme de rayonnement,» 5 mars 2021. [En ligne]. Available: [https://www.wikiwand.com/fr/Diagramme\\_de\\_rayonnement#/cite\\_ref-IEEEdict1997\\_2-0](https://www.wikiwand.com/fr/Diagramme_de_rayonnement#/cite_ref-IEEEdict1997_2-0).
- [13] I. (. Institute of Electrical & Electronics Engineers (Auteur), *The IEEE standard dictionary of electrical and electronics terms*, New York: IEEE Publications,U.S.; 6e édition (1 avril 1997), 1980.
- [14] B. Panzer, *these de doctorat*, lawrence, The CReSIS Aerial, 2007.

- [15] S. Mouadiou, *Conception d'une nouvelle forme d'antenne vivaldi antipodale à base de la technologie SIW*, Ain-temouchent, Centre Universitaire Belhadj Bouchaïb d'Ain-Témouchent Institut de Technologie Département de Génie Electrique, 2017.
- [16] P. J. Gibson, «The Vivaldi Aerial,» chez *9th European Microwave conference*, brighton UK, 1979.
- [17] J.NEVERLY, *thèse de doctorat*, Crezch, 2007.
- [18] M. B. P. S. T. K. a. J. F. J. Alexandre M. De Oliveira, «A Palm Tree Antipodal Vivaldi Antenna with Exponential Slot Edge for Improved Radiation Pattern,» *IEEE*, pp. 1-4, 2015.

## CONCLUSION GENERALE

Le travail exposé dans ce mémoire de master s'inscrit dans le domaine de la conception d'antennes pour imagerie micro-onde ainsi que leurs caractérisations. Le but est de faire progresser le nouveau système d'imagerie micro-onde à travers les nouvelles technologies de communications et d'informations pour faire évoluer le système de la santé en particulier et différents autres systèmes en générale. Le mémoire a porté sur différentes approches (fréquentielle et temporelle) présente plusieurs contributions tels que la conception et la simulation de différents types d'antennes planaires Vivaldi ainsi que le réseau d'antenne approprié à cette application.

Dans le premier chapitre, nous avons présenté une généralité sur les antennes imprimée, leurs caractéristiques et leurs applications dans les différents domaines. Le second chapitre a présenté les différents types d'antennes planaires Vivaldi, leurs définitions, leurs caractéristiques, leurs applications. Ensuite, un état de l'art des antennes Vivaldi antipodales et leurs caractéristiques. En deuxième chapitre nous avons définis cancer du sein, les différents types de cancer et les différentes formes sont ensuite présentés. Puis les différentes techniques de dépistage du cancer du sein sont présentées ainsi que les avantages et les inconvénients de chacune d'elles. Dans le troisième chapitre, nous avons fait la conception et la simulation d'une antenne Vivaldi antipodale qui fonctionne dans la bande de fréquence du domaine de la santé qui est de [1,6-10] GHz à la fréquence de résonance 5,3GHz qui nous a permis de détecter la tumeur localisée au niveau d'un sein atteint. Par la suite, nous avons songé à concevoir un réseau d'antenne à deux éléments ensuite à quatre éléments afin d'élever le gain pour une meilleur détection de la tumeur. Notre travail a été effectué par le logiciel de simulation électromagnétique CST Microwave Studio Suite qui utilise la méthode des intégrales finies.

Les résultats de simulation obtenus par le logiciel CST ont montré que l'antenne conçue et le réseau d'antenne présentent de très bonnes performances en termes de largeur de bande, gain et efficacité.

Les résultats obtenus, lors de l'application d'antenne conçue à la détection de la tumeur du sein, sont satisfaisants et très intéressants et ont démontré l'efficacité de la méthode utilisée sur des exemples d'antennes planaires et conforme.

Enfinement ; Les résultats obtenus ont démontré que la structure proposée présente de meilleures performances en termes de taille, de profil, d'amélioration du gain et de bande

passante. Ceci la rend très utile pour les applications médicales nécessitant des antennes à large bande passante avec un gain élevé.

### III.1 REFERENCES

- [1] B. CA, *Antenna Theory: Analysis And Design*, 3rd edition Wiley- Inter science , 2005.
- [2] Hafiane.A, *Thèse de Doctorat présentée à l'université de Marne la Vallée*, Marne la vallée, ile de france , 2003.
- [3] M. A. NIANG, *THESE DE DOCTORAT L'UNIVERSITE PARIS-SACLAY PREPAREE A "l'université Paris-Sud"*, Paris, Paris, 2017.
- [4] orange, «la polarisation d'une antenne,» [En ligne]. Available: <https://f5zv.pagesperso-orange.fr/RADIO/RM/RM08/RM08a/RM08a04.html>.
- [5] A. S. & Y. Ikram, *mémoire de projet fin d'étude*, ununiversité de Blida 1: département d'électronique , 2015.
- [6] H. Nadir, *thèse de doctorat*, Limoge , univesité de Limoge , 2018.
- [7] L. R. M. & Travaux, «Quels sont les différents types d'antenne ?,» 27 avril 2017. [En ligne]. Available: <https://www.maison-travaux.fr/maison-travaux/conseils-pratiques/differents-types-dantenne-115029.html>.
- [8] wikipédia, «l'antenne à fente,» 11 février 2022. [En ligne]. Available: [http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Antenne\\_%C3%A0\\_fentes&oldid=190759253](http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Antenne_%C3%A0_fentes&oldid=190759253).
- [9] M. S. Y. Wafa et M. K. B. B. , *Projet de Fin d'Etudes Pour l'obtention du diplôme de Master en : Réseau de Télécommunications*, Ain Temouchent, Université–Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib Faculté des Sciences et de Technologie Département d'électronique et de Télécommunications, 2021.
- [10] F. Benamrane, *thèse Master télécoms hyperfréquence 2011*, Fés, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah , 2011.
- [11] M. T. Samira et M. Y. Khadra, *Mémoire Présenté pour obtenir LE DIPLOME DE MASTER Filière : TELECOMMUNICATION*, Bordj Bou Arreridj, Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj , 2021.
- [12] M. B. Djaouida, *Thèse Présentée pour l'obtention du diplôme de doctorat en science elctronique*, M'sila, 2020.
- [13] wikipédia, «anetenne vivaldi,» 19 juin 2021. [En ligne]. Available: [https://fr.wikipedia.org/wiki/Antenne\\_Vivaldi](https://fr.wikipedia.org/wiki/Antenne_Vivaldi).

- [14] C. Wolff, «les principe du radar,» [En ligne]. Available: <https://www.radartutorial.eu/06.antennas/Antenne%20Vivaldi.fr.html>.
- [15] S. Mouadiou, *Conception d'une nouvelle forme d'antenne vivaldi antipodale à base de la technologie SIW*, Ain-temouchent, Centre Universitaire Belhadj Bouchaïb d'Aïn-Témouchent Institut de Technologie Département de Génie Electrique, 2017.
- [16] P. J. Gibson, «The Vivaldi Aerial,» chez *9th European Microwave conference*, brighton UK, 1979.
- [17] M. B. P. S. T. K. a. J. F. J. Alexandre M. De Oliveira, «A Palm Tree Antipodal Vivaldi Antenna with Exponential Slot Edge for Improved Radiation Pattern,» *IEEE*, pp. 1-4, 2015.
- [18] J. NEVERLY, *thèse de doctorat*, Crezch, 2007.
- [19] [http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Imagerie\\_m%C3%A9dicale&action=history](http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Imagerie_m%C3%A9dicale&action=history), «imagerie médicale,» 9 mai 2021. [En ligne]. Available: [https://fr.wikipedia.org/wiki/Imagerie\\_m%C3%A9dicale](https://fr.wikipedia.org/wiki/Imagerie_m%C3%A9dicale).
- [20] L. Rotenberg, «RADIOLOGIE, SCANNER ET IRM & DIAGNOSTIC DU CANCER DU SEIN,» 17 février 2022. [En ligne]. Available: <https://ishh.fr/departments/radiologie-scanner-irm/#:~:text=L'imagerie%20m%C3%A9dicale%20regroupe%20diff%C3%A9rentes,permettant%20de%20r%C3%A9aliser%20diff%C3%A9rents%20objectifs..>
- [21] A. C. o. R. A. B.-R. A. -. M. I. R. System, «Mammographie,» 2013. [En ligne]. Available: [https://cancer.ca/fr/treatments/tests-and-procedures/mammography#:~:text=La%20mammographie%20est%20une%20radiographie,\(b%C3%A9nignes\)%20dans%20le%20sein..](https://cancer.ca/fr/treatments/tests-and-procedures/mammography#:~:text=La%20mammographie%20est%20une%20radiographie,(b%C3%A9nignes)%20dans%20le%20sein..)
- [22] M. FH, «Qu'est-ce que le cancer du sein?,» 2015. [En ligne]. Available: <https://cancer.ca/fr/cancer-information/cancer-types/breast/what-is-breast-cancer#:~:text=Le%20cancer%20du%20sein%20prend,d'autres%20parties%20du%20corps..>
- [23] Z. katbay, *THESE DE DOCTORAT EN CO-TUTELLE*, 2018.
- [24] D. C. Ferrari, «Tumeur maligne ou bénigne : définition, différence et symptômes,» 2019. [En ligne]. Available: <https://sante.journaldesfemmes.fr/fiches-maladies/2524453-tumeur-maligne-ou-benigne-definition-difference-et-symptomes/>.
- [25] N. C. C. Network, «NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology: Breast Cancer,» version 2015. [En ligne]. Available: [http://www.nccn.org/professionals/physician\\_gls/f\\_guidelines.asp](http://www.nccn.org/professionals/physician_gls/f_guidelines.asp).
- [26] changpuak, «Electronic- Antipodal Vivaldi Antenna Designer,» 04 12 2019. [En ligne]. Available: [https://www.changpuak.ch/electronics/Antipodal\\_Vivaldi\\_Antenna\\_Designer.php](https://www.changpuak.ch/electronics/Antipodal_Vivaldi_Antenna_Designer.php).
- [27] D. D. System, «CST STUDIO SUITE,» [En ligne]. Available: <https://www.3ds.com/fr/produits-et-services/simulia/produits/cst-studio-suite/>.
- [28] F. Terman, *Electronic Radio and Engineering*, London: McGraw-Hill, 1943.

- [29] R.J.Mailloux, *Phased Array Antenna Handbook*, London: Second Edition Artech House, 2005.
- [30] M. G. Nasser, *Memoire Pour l'obtention du Diplôme de MAGISTER*, Setif, UNIVERSITE FERHAT ABBAS –SETIF 1- UFAS (ALGERIE), 2018.
- [31] L. C. Godara, *Smart Antennas*, CRC press, janvier 2004.
- [32] E. R. Mittra, "Developments in Antenna Analysis and Design: Volume 1, novembre 2018.
- [33] A. B. & A. ICHOU, *thèse de master*, Tlemcen, l'université Aboubakr Belkaïd, 2020.
- [34] F. E. HATMI, *Doctorat*, PARIS, 2013.
- [35] T. Ditchi, *cours*, Paris-Sorbonne, université UPMC.
- [36] I. (. Institute of Electrical & Electronics Engineers (Auteur), *The IEEE standard dictionary of electrical and electronics terms*, New York: IEEE Publications,U.S.; 6e édition (1 avril 1997), 1980.
- [37] B. Panzer, *these de doctorat*, lawrence, The CReSIS Aerial, 2007.
- [38] C. B. n. b. thorayya, *DIPLOME DE MAGISTER*, Tlemcen, UNIVERSITE ABOU BAKR BELKAID-TLEMCEN, 2013.
- [39] wikiwand, «diagramme de rayonnement,» 5 mars 2021. [En ligne]. Available: [https://www.wikiwand.com/fr/Diagramme\\_de\\_rayonnement#/cite\\_ref-IEEEdict1997\\_2-0](https://www.wikiwand.com/fr/Diagramme_de_rayonnement#/cite_ref-IEEEdict1997_2-0).