

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université de Blida 1**  
**Institut d'Aéronautique et des Etudes Spatiales**  
**Département d'études spatiales**



**Projet de fin d'études**  
**En vue de l'obtention d'un diplôme de Master en Aéronautique**  
**Option : Télécommunications Spatiales**

**Thème**

**Conception d'une antenne GPS bi bande à polarisation circulaire**

**Réalisé par :**

**BENAKKOUCHE ZAKI**

**Encadré par :**

**Dr.ALLANE DAHMANE**

**Dr.LILA MOUFFOK**

**Année Universitaire : 2019/2020**

## REMERCIEMENT :

A travers ce modeste travail, je tiens à remercier vivement les encadreurs Dr. ALLANE DAHMANE et Dr. LILA MOUFFOK pour leur conseils précieux qui m'ont permis de corriger et finaliser ce travail et pour toutes les commodités qu'ils m'ont apportées durant notre étude de ce projet.

Je remercie aussi toutes mes Professeurs à l'institut d'aéronautique et études spatiales Qui ont été le soutien dans le parcours académique

## Sommaire :

<b>REMERCIEMENT :</b> .....	<b>2</b>
<b>Sommaire :</b> .....	<b>3</b>
<b>Liste des figures :</b> .....	<b>6</b>
<b>Liste des tableaux :</b> .....	<b>9</b>
<b>List of Abbreviations:</b> .....	<b>9</b>
<b>Introduction générale :</b> .....	<b>10</b>
<b>Chapitre I : État de l’art sur les antennes et le système de géolocalisation GPS</b>	<b>11</b>
<b>I.1 introduction :</b> .....	<b>12</b>
<b>I.2 Définition d’une antenne :</b> .....	<b>12</b>
<b>I.3 Mécanisme de rayonnement :</b> .....	<b>12</b>
<b>I.4 types d’antenne :</b> .....	<b>14</b>
<b>I.4.1 Antennes filaires :</b> .....	<b>14</b>
<b>I.4.2 Antennes à ouverture :</b> .....	<b>15</b>
<b>I.4.3 Antennes réflectrices :</b> .....	<b>17</b>
<b>I.4.4 Antennes microruban :</b> .....	<b>19</b>
<b>I.5 Les antennes embarquées sur les aéronefs :</b> .....	<b>20</b>
<b>I.5.1 Antenne de Radioaltimètre :</b> .....	<b>20</b>
<b>I.5.2 Antenne d’ADF :</b> .....	<b>21</b>
<b>I.5.3 L’antenne long-fil :</b> .....	<b>22</b>
<b>I.5.4 L’antenne de VOR :</b> .....	<b>22</b>
<b>I.5.5 L’antenne GPS :</b> .....	<b>23</b>
<b>I.7 Le système GPS :</b> .....	<b>25</b>
<b>I.7.1 Définition :</b> .....	<b>25</b>
<b>I.7.2 Description du système GPS :</b> .....	<b>25</b>
<b>I.7.2.1 GPS segments :</b> .....	<b>25</b>

<b>I.7.3 Structure de base du signal GPS :</b> .....	<b>27</b>
<b>I.7.3.1 Mesure de la distance du récepteur par rapport à un satellite :</b> .....	<b>27</b>
<b>I.5.3.2 Résolution de l'équation de navigation :</b> .....	<b>27</b>
<b>I.8 Conclusion :</b> .....	<b>28</b>
<b>Chapitre II : théorie des antennes micro_ruban.....</b>	<b>29</b>
<b>II.1 introduction :</b> .....	<b>30</b>
<b>II.2 structure d'antenne micro_ruban :</b> .....	<b>30</b>
<b>II.2.1 plan de masse :</b> .....	<b>31</b>
<b>II.2.2 substrat :</b> .....	<b>31</b>
<b>II.2.3 élément rayonnant :</b> .....	<b>32</b>
<b>II.4.caractéristiques des antennes micro_ruban :</b> .....	<b>32</b>
<b>II.4.1.représentation en quadripôle :</b> .....	<b>32</b>
<b>II.4.2.coefficient de réflexion :</b> .....	<b>33</b>
<b>II.4.3 impédance d'entrée d'antenne :</b> .....	<b>34</b>
<b>II.4.4 fréquence de résonance :</b> .....	<b>35</b>
<b>II.4.5 bande passante :</b> .....	<b>35</b>
<b>II.4.6 L'efficacité de l'antenne :</b> .....	<b>35</b>
<b>II.4.7 directivité et gain :</b> .....	<b>35</b>
<b>II.4.8 diagramme de rayonnement d'antenne :</b> .....	<b>36</b>
<b>II.4.9 angle d'ouverture à -3db :</b> .....	<b>37</b>
<b>II.4.10 Polarisation et rapport axial :</b> .....	<b>37</b>
<b>Polarisation :</b> .....	<b>37</b>
<b>II.5 techniques d'alimentation :</b> .....	<b>40</b>
<b>II.5.1. alimentation par ligne micro_ruban :</b> .....	<b>40</b>
<b>II.5.2 Alimentation par sonde coaxiale :</b> .....	<b>40</b>
<b>II.5.3. alimentation par couplage :</b> .....	<b>41</b>

<b>II.6 Équations de conceptions :</b> .....	<b>42</b>
<b>II.6.1 Impédance d'entrée et position du point d'alimentation :</b> .....	<b>44</b>
<b>II.6.application des antennes micro_ruban :</b> .....	<b>45</b>
<b>II.7 conclusion :</b> .....	<b>45</b>
<b>Chapitre III : Conception, simulation de l'antenne patch GPS Bi-bandes.....</b>	<b>46</b>
<b>III.1 Introduction :</b> .....	<b>47</b>
<b>Cahier de charge:</b> .....	<b>47</b>
<b>III.2 Description du logiciel de simulation CST Studio Suite :</b> .....	<b>48</b>
<b>III.3 Simulation et optimisation de l'antenne :</b> .....	<b>49</b>
<b>III.3.1 Calcul des paramètres géométriques de l'antenne:</b> .....	<b>50</b>
<b>III.4 Design et modélisation sur le logiciel CST :</b> .....	<b>51</b>
<b>III.4.1 Antenne bi_bande (1.227-1.575) GHz :</b> .....	<b>51</b>
<b>III.4.2 Antenne micro_ruban avec polarisation circulaire droite :</b> .....	<b>56</b>
<b>III.5 Antenne I et II alimentées par sonde coaxiale à une seule fréquence :.....</b>	<b>59</b>
<b>III.5.1 Antenne bi_bande à 2 patches :</b> .....	<b>64</b>
<b>III.6 Conclusion :</b> .....	<b>69</b>
<b>Conclusion générale :</b> .....	<b>70</b>
<b>bibliographie :</b> .....	<b>71</b>
<b>RÉSUMÉ :</b> .....	<b>72</b>

## Liste des figures :

Figure I.1 : antenne comme dispositif de transition.....	12
Figure I.2.....	13
Figure I.3.....	13
Figure I.4.....	13
Figure I.5 : Antennes filaires.....	14
Figure I.6 : Diagramme de rayonnement d'un dipôle [10].....	15
Figure I.7 : Antennes à ouverture.....	16
Figure I.8 : Diagramme de rayonnement d'un Antennes à ouverture [10].....	17
Figures I.9 : Antennes réflectrices.....	17
Figure I.10 : Diagramme de rayonnement d'Antennes réflectrices.....	18
Figure I.11 : Différentes configurations de patch métallique.....	19
Figure I.12 : Antennes microruban de forme rectangulaires et circulaires.....	19
Figure I.13 : Système de Radioaltimètre.....	20
Figure I.14 : Antenne ADF.....	21
Figure I.15 : fonctionnement d'ADF.....	21
Figure I.16 : L'antenne long-fil.....	22
Figure I.17 : L'antenne de VOR.....	22
Figure I.18 ..... (a) <i>Emplacement de l'antenne</i> (b) <i>Antennes GPS de réception</i>	23
Figure I.19 : réception GPS.....	23
Figure I.20 : Antenne GPS de type micro_ruban.....	24
Figure I.21 : GPS segments.....	25
Figure I.22 : La constellation de navstar et leurs orbites.....	26
Figure I.23 : Structure de base du signal GPS.....	27
FIGURE II. 1 : Structure d'antenne micro_ruban.....	30
Figure II. 2 : Formes d'antenne patch.....	32

Figure II.3 : Représentation quadripôle.....	32
Figure II. 4 : schéma équivalente d'antenne en mode transmission .....	34
Figure II. 5 montre le diagramme de puissance de l'antenne 2D et 3D .....	37
Figure II. 6 : représente la polarisation linéaire et circulaire.....	39
Figure II. 7: montre ligne d'alimentation microruban .....	40
Figure II. 8 : Alimentation d'un patch par une sonde coaxiale .....	40
Figure II. 9 : montre l'alimentation par couplage .....	41
Figure II. 10 : Circuit équivalent pour les techniques d'alimentation ligne microruban et par couplage	45
Figure II.11 : Ligne microruban et ses lignes de champ électrique et géométrie de constante diélectrique effective .....	43
Figure II. 12 : longueur physique et effective de l'antenne .....	43
Figure II.13 : Représentation de ligne d'alimentation microruban.....	44
Figure III.1 : organigramme des équations de conception .....	49
Figure III.2 : Script python pour calculer les dimensions de patch carré.....	50
Figure III. 3 : conception de patch et l'ajout de (a)plan de masse (b) substrat patch (c) .....	51
Figure III.4 : Script python pour calculer la ligne d'alimentation .....	52
Figure III.5: antenne micro_ruban dimensionnée pour la fréquence 1.227GHz .....	53
Figure III.6: Coefficient de réflexion à la résonance de 1.227 GHz.....	53
Figure III.7: Le résultat de bande de fréquence. ....	54
Figure III.8: mouvement des lignes de champ magnétique.....	54
La figure III.9 : essais de conception des slots .....	55
Figure III.10 : l'emplacement des slots sur l'antenne bi_bande (1.227-1.575GHz) .....	55
Figure III.11: le Coefficient de réflexion d'antenne bi_bande .....	56
Figure III.12: montre la façon de modifier les dimensions physiques de patch .....	57
Figure III.13 : patch coupé dans les extrémités .....	58
Figure III.14 le rapport axial.....	58

Figure III.15 : Script python pour calculer (la position de la sonde coaxiale) .....	60
Figure III.16: Les coupures sur le patch qui est alimenté par un port SMA coaxial pour .....	61
Figure III.17 : coefficient de réflexion à 1.227 GHz .....	61
Figure III.18: Axial ratio de champ électrique lointain, $\phi = 90^\circ$ .....	62
Figure III.19 : Axial ratio de champ électrique lointain, $\phi = 0^\circ$ .....	62
Figure III.20 : Le coefficient de réflexion à la résonance de 1.575 GHz.....	63
Figure III.21: Axial ratio de champ électrique lointain, $\phi = 0^\circ$ .....	63
Figure III.22: Axial ratio de champ électrique lointain, $\phi = 90^\circ$ .....	63
Figure III.23 : montre la structure finale .....	64
Figure III.24 : antenne à deux patches sur CST .....	65
Figure III.25 : Coefficient de réflexion aux deux fréquences désirées (1.227- 1.575) GHz.....	65
Figure III.26 : Le rapport axial à la fréquence (1.227 GHz) et pour des valeurs de l'angle $\phi = 0^\circ$ et $90^\circ$ .....	66
Figure III.27 : montre le rapport axial à la fréquence (1.575 GHz) et pour des valeurs de l'angle $\phi = 0^\circ$ et $90^\circ$ .....	66
Figure III.28: montre le gain obtenu à la fréquence de 1.227 GHz .....	67
Figure III.29 : montre le gain obtenu à la fréquence de 1.575 GHz .....	67
Figure III.30: Gain de polarisation gauche vs droite à la fréquence 1.227GHz .....	68
Figure III.31 : Gain de polarisation gauche vs droite à la fréquence 1.575 GHz .....	68

## Liste des tableaux :

<b>Tableau I.1 : Caractéristiques d'antenne GPS .....</b>	<b>24</b>
<b>Tableau II. 1 : Exemples de substrats et leurs caractéristiques .....</b>	<b>31</b>
<b>Tableau III.1: Cahier de charge .....</b>	<b>48</b>
<b>Tableau III.2 : les dimensions de l'antenne résonante à 1.227GHz .....</b>	<b>51</b>
<b>Tableau III. 3 : dimensions de ligne d'alimentation micro_ruban.....</b>	<b>53</b>
<b>Tableau III.4 : les dimensions de l'antenne résonante à 1.227GHz .....</b>	<b>60</b>
<b>Tableau III.5 : les dimensions de l'antenne résonante à 1.227GHz .....</b>	<b>64</b>

## List of Abbreviations:

GPS: Global Positioning System  
GSM: Global System for Mobile  
DCS: Distributed control system  
WLAN: Wireless Local Area Network  
UMTS: Universal Mobile telecommunications System  
CAD: Computer Aided Design  
Wi-Fi: Wireless Fidelity  
WiMAX: Worldwide interoperability for Microwave Access  
A.D.F: Automatic Direction Finder  
DME: Distance Measuring Equipment  
VOR: VHF Omnidirectional Range  
ILS: Instrument Landing System  
UHF: Ultra High Frequency  
VHF: Very High Frequency  
FIT: Finite Integration Technic  
MMIC: Monolithic microwave integrated circuit  
CST: Computer Simulation Technology  
RHCP: Right Hand Circular Polarization  
LHCP: Left Hand Circular Polarization

## **Introduction générale :**

Le développement des nouveaux systèmes de Télécommunications sans fil nécessite la Conception d'antennes de plus en plus difficiles à élaborer. Dans le cas des communications entre mobiles, la diversité des systèmes et standards (GPS, GSM, DCS, UMTS, WLAN...) amène les ingénieurs à concevoir des antennes satisfaisant de nombreuses contraintes telles que : compacité, faible coût de fabrication, large bande passante et fonctionnement multifréquences.

De ce fait, les études se sont orientées vers une miniaturisation importante, vers l'utilisation de nouveaux matériaux diélectriques et vers le développement de capacités multifonctionnelles. Afin de répondre à ces besoins, des méthodologies de conception innovatrices d'antenne sont nécessaires.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail, qui consiste à étudier les antennes microrubans. Leur première apparition était dans les années 1950 par Deschamps, Mais il a fallu attendre les années 1970 pour voir apparaître les premières réalisations qui étaient essentiellement réservées à des applications militaires.

Deux atouts majeurs ont entraîné un développement très important de ce type d'antennes : Leur faible coût de réalisation, et leur capacité d'intégration. Aujourd'hui elles sont implantées dans de nombreux dispositifs électroniques et constituent le type privilégié aux fréquences microondes dans les systèmes de communication intégrés modernes. Par ailleurs, ces antennes présentent des limites, notamment la bande passante étroite.

La technique de modélisation des antennes est effectuée à l'aide d'outils de CAO (Conception Assistée par Ordinateur) basée sur la résolution numérique des équations de Maxwell.

L'objectif de notre travail est d'étudier et modéliser une antenne patch en utilisant un logiciel de simulation électromagnétique 3D, CST Studio suite.

Dans ce travail, nous présentons les étapes de conception d'une antenne GPS bi\_bande imprimée de forme carrée à deux couches, alimentée par un câble coaxial.

Ce mémoire se compose de trois chapitres :

Le premier chapitre, présente des généralités sur les antennes, et quelques types d'antennes utilisées à bord des aéronefs de types civiles et militaires, dont l'antenne GPS. Les caractéristiques de cette dernière et la méthode de fonctionnement du système GPS sont décrit dans ce chapitre.

Le deuxième chapitre aborde la théorie des antennes planaires, leurs propriétés et leurs caractéristiques. Il présente aussi la méthode de conception et de dimensionnement d'une antenne patch carrée ainsi que les différentes méthodes de son alimentation.

Le troisième chapitre est consacré à la conception d'une antenne patch en utilisant un logiciel électromagnétique CST Studio Suite, suivant le cahier des charges de l'antenne, il présente aussi les résultats de simulations et de mesure de l'antenne GPS conçue.

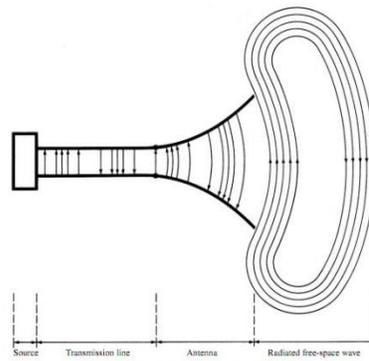
# **Chapitre I : État de l'art sur les antennes et le système de géolocalisation GPS**

## I.1 introduction :

Ce chapitre introduit les notions de l'antenne en général, en citant les types d'antennes et les antennes embarquées sur les avions, leurs avantages et leurs inconvénients. Ainsi que la description du système de positionnement GPS, son principe de fonctionnement et ses spécificités techniques.

## I.2 Définition d'une antenne :

Une antenne est définie par le dictionnaire Webster comme « un dispositif généralement métallique (comme une tige ou un fil) pour rayonner ou recevoir des ondes radio. » Les définitions standard des termes pour les antennes IEEE définissent l'antenne comme « un moyen pour rayonner ou recevoir des ondes radio. En d'autres termes, l'antenne est la structure de transition entre l'espace libre et un dispositif de guidage, comme le montre la **figure 1. 1**. Le dispositif de guidage ou la ligne de transmission peut prendre la forme d'une ligne coaxiale ou un tube creux (guide d'ondes), et il est utilisé pour transporter l'énergie électromagnétique de la source émettrice à l'antenne, ou de l'antenne au récepteur. [8].

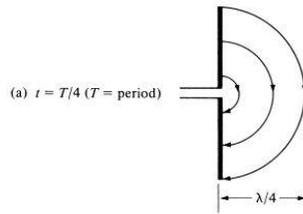


**Figure I.1 : antenne comme dispositif de transition.**

## I.3 Mécanisme de rayonnement :

Expliquons maintenant le mécanisme par lequel les lignes de force électriques se détachent de l'antenne pour former les ondes d'espace libre.

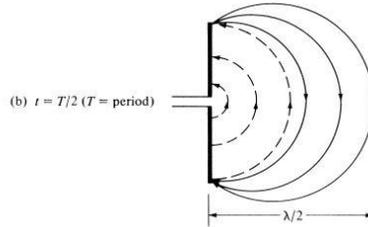
La **Figure I.2** montre les lignes de force créées entre les bras d'un petit dipôle alimenté par le centre dans le premier quart de la période pendant laquelle la charge a atteint sa valeur maximale (en supposant une variation temporelle sinusoïdale) et les lignes se sont déplacées vers l'extérieur, une distance radiale de  $\lambda / 4$ . [8].



**Figure I.2.**

Au cours du prochain quart de la période, Les lignes d'origine parcourent un  $\lambda / 4$  supplémentaire (un total de  $\lambda / 2$  à partir du point initial) et la densité de charge sur les conducteurs commence à diminuer.

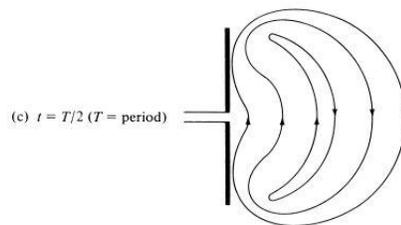
Cela peut être considéré comme étant accompli en introduisant des charges opposées, Qui à la fin de la première moitié de la période ont neutralisé les charges sur les conducteurs. Les lignes de force créées par les charges opposées parcourent une distance  $\lambda / 4$  pendant le deuxième quart de la première moitié et elles sont représentées en pointillés sur **la figure I.3.**



**Figure I.3**

Le résultat final est qu'il y a des lignes de force pointées vers le haut dans la première distance  $\lambda / 4$  et le même nombre de lignes dirigées vers le bas dans le deuxième  $\lambda / 4$ .

Puisqu'il n'y a pas de charge nette sur le dipôle, les lignes de force doivent avoir été forcées de se détacher des conducteurs et de s'unir pour former des boucles fermées comme le montre **la figure I.4**



**Figure I.4**

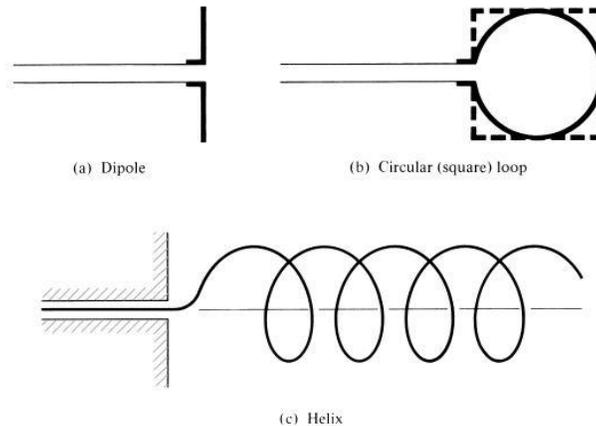
- Dans la seconde moitié restante de la période, le même processus est suivi mais dans la direction opposée. Après cela, le processus continue et forme la propagation de l'onde électromagnétique [4].

## I.4 types d'antenne :

Dans les systèmes radio communication, de nombreux types d'antennes différents sont utilisés avec des propriétés spécialisées pour des applications particulières. Les antennes peuvent être classées de différentes manières [1].

### I.4.1 Antennes filaires :

Les antennes filaires sont vues pratiquement partout – sur les automobiles, les bâtiments, les navires, les avions, les vaisseaux spatiaux, etc. Il existe différentes formes d'antennes filaires telles qu'un fil droit (dipôle), une boucle et une hélice qui sont illustrées sur **la figure I. 5**. Les antennes en boucle (loop) ne doivent pas seulement être circulaires. Ils peuvent prendre la forme d'un rectangle, d'un carré, d'une ellipse ou de toute autre configuration. L'antenne dipôle est coupée et pliée pour un rayonnement efficace. La longueur du fil total, qui est utilisé comme dipôle, est égale à la moitié de la longueur d'onde (c'est-à-dire,  $L = \lambda / 2$ ). Une telle antenne est appelée antenne dipôle demi-onde. C'est l'antenne la plus utilisée en raison de ses avantages. Elle est également connue sous le nom d'antenne Hertz [1].

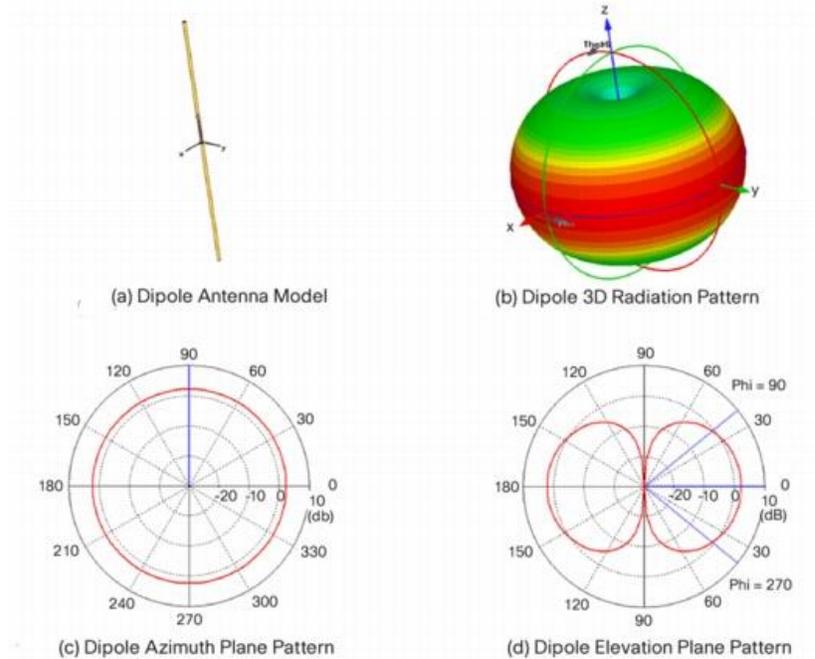


**Figure I.5 : Antennes filaires**

❖ en prenant exemple d'une antenne parmi les antennes filaires très familier, l'antenne dipôle

### Diagramme de rayonnement d'un dipôle demi-onde :

La figure I.6 suivante montre le diagramme de rayonnement d'antenne dipôle



**Figure I.6 : Diagramme de rayonnement d'un dipôle [10].**

### Gamme de fréquences de dipôle :

La plage de fréquences dans laquelle le dipôle demi-onde fonctionne est d'environ **3 KHz à 300 GHz**. Ceci est principalement utilisé dans les récepteurs radio [11].

### Avantages d'antenne dipôle :

Voici les avantages de l'antenne dipôle demi-onde :

- L'impédance d'entrée n'est pas sensible
- Dipôle n'a pas besoin d'un plan de masse pour fonctionner, est une structure indépendante.
- Rayonnement presque isotrope.
- Des dimensions raisonnables
- conçue pour fonctionner facilement dans n'importe quelle polarisation.
- Domaine d'application très vaste [11].

### I.4.2 Antennes à ouverture :

Les antennes à ouverture sont les plus courantes aux fréquences micro-ondes. Il y a beaucoup de configurations géométriques différentes d'une antenne d'ouverture avec quelques-unes des plus populaires montrées dans la **Figure 1. 7**. Ils peuvent prendre la forme d'un guide d'onde ou une corne dont l'ouverture peut être carrée, rectangulaire, circulaire, elliptique, ou toute autre configuration. Les antennes à ouverture

sont très pratiques pour les applications spatiales, car elles peuvent être encastrées à la surface de l'engin spatial ou de l'avion. Leur ouverture peut être recouverte d'un matériau diélectrique pour les protéger des conditions environnementales. [1]

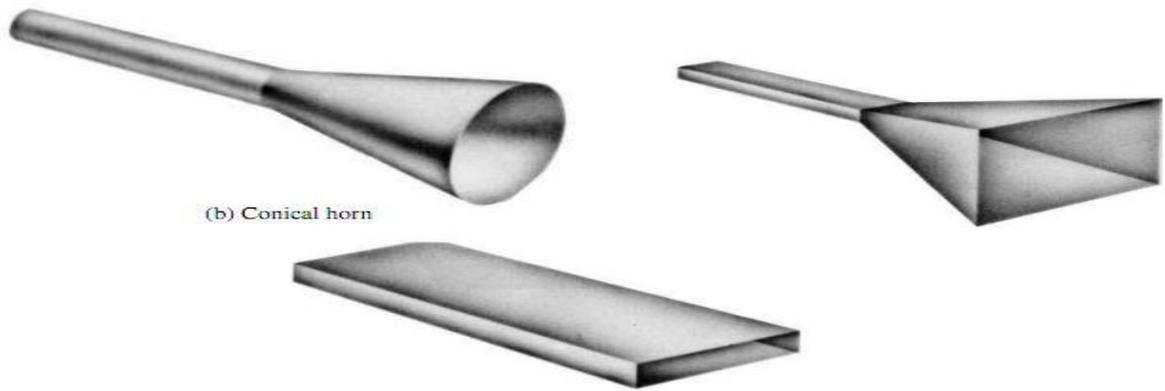


Figure I.7 : Antennes à ouverture.

**Gamme de fréquences :**

La gamme de fréquences de fonctionnement d'une antenne à ouverture est de **300 MHz à 300 GHz**. Cette antenne fonctionne dans les gammes de fréquences UHF et EHF [11].

**Efficacité d'antennes à ouverture :**

L'efficacité d'ouverture est un paramètre sans dimension entre 0 et 1 qui mesure à quel point l'antenne arrive à utiliser toute la puissance des ondes radio entrant dans son ouverture physique [11].

$$e = \frac{A_e}{A_{phys}} \dots\dots\dots(I.1)$$

**$A_e$  : La surface ouverture effective**

**$A_{phys}$  : La surface d'ouverture physique de l'antenne**

**Gain d'antennes à ouverture :**

$$G = \frac{P_o}{p_{iso}} = \frac{4\pi e A_{phys}}{\lambda^2} \dots\dots\dots(I.2)$$

**$P_o$  : La puissance reçue par l'antenne**

**$p_{iso}$  : La puissance reçue par une antenne isotrope hypothétique**

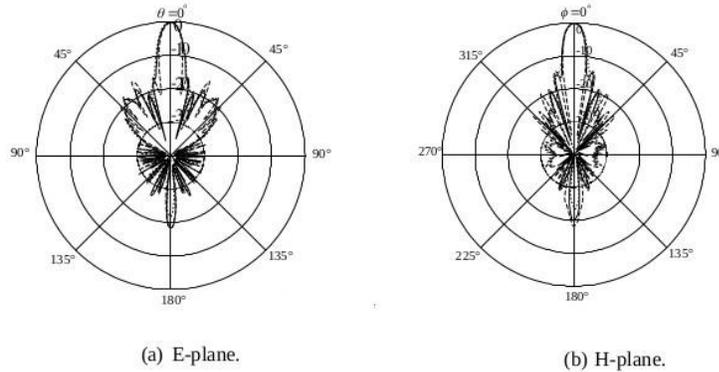
**$\lambda^2$  : La longueur d'onde de signal[11].**

**La directivité égal à :**

$$D = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_e \dots\dots\dots(I.3)$$

### Diagramme de rayonnement d'un Antennes à ouverture :

La **Figure I.8** suivante montre le diagramme de rayonnement d'un Antennes à ouverture :



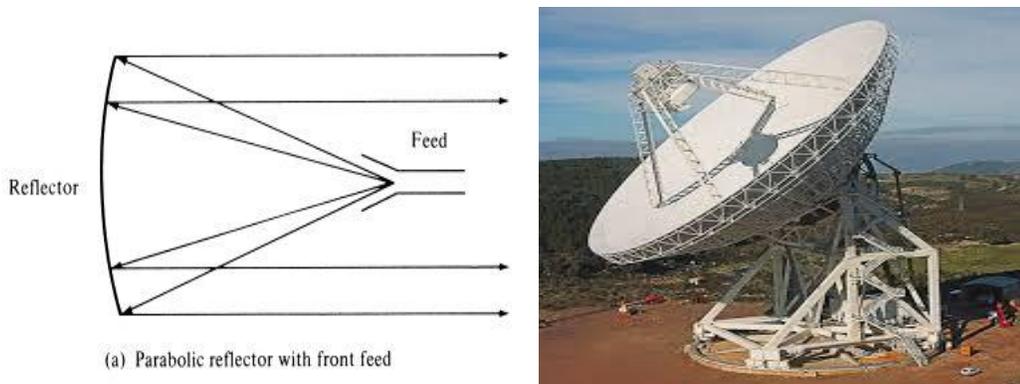
**Figure I.8 : Diagramme de rayonnement d'un Antennes à ouverture [10].**

### Avantages d'une Antennes à ouverture :

- Le rayonnement est directif
- haute directivité
- lobes secondaires minimal
- capable de fonctionner sur une large bande passante possible d'atteindre à 3 GHz [11].

### I.4.3 Antennes réflectrices :

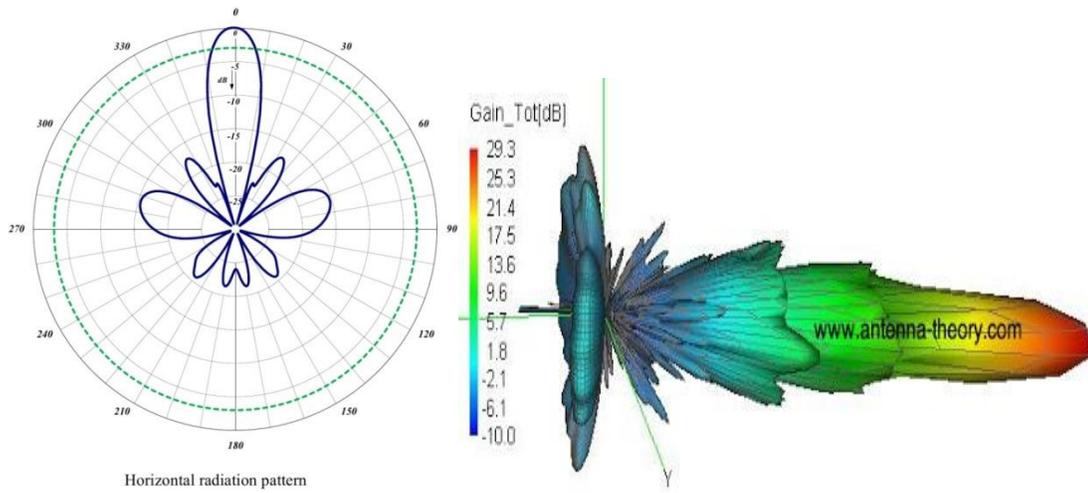
Une forme d'antenne très courante pour une telle application est un réflecteur parabolique représenté sur les **figures I.9**. Des antennes de ce type ont été construites avec des diamètres aussi grands que 300 Mètre. De telles dimensions sont nécessaires pour obtenir le gain élevé requis pour transmettre ou recevoir des signaux après des millions de kilomètres de trajet, utilisé souvent dans radioastronomie, communication par micro-ondes et tracking de satellite. [11]



**Figures I.9 : Antennes réflectrices.**

## Diagramme de rayonnement d'Antennes réflectrices :

La **Figure I.10** suivante montre le diagramme de rayonnement d'Antennes réflectrices



**Figure I.10 : Diagramme de rayonnement d'Antennes réflectrices.**

### Gain d'antenne réflectrice :

Le gain d'antenne réflectrice peut se calculé à partir d'une connaissance du diamètre de la surface réfléchissante, de la longueur d'onde du signal, et d'une connaissance ou estimation de l'efficacité de l'antenne [11].

$$G = 10 \log \cdot K \left( \frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \dots\dots\dots(I.4)$$

**G** : est le gain sur une source isotrope en Db

**k** : est le facteur d'efficacité qui est généralement d'environ 50% à 60%, soit 0,5 à 0,6

**D** : est le diamètre du réflecteur parabolique en mètres

**λ** : est la longueur d'onde du signal en mètres

### Gamme de fréquences :

La gamme de fréquences de fonctionnement d'une antenne cornet est d'environ 300 MHz à 30 GHz. Cette antenne fonctionne dans les gammes de fréquences UHF et SHF [10].

## Avantages d'une Antennes à ouverture :

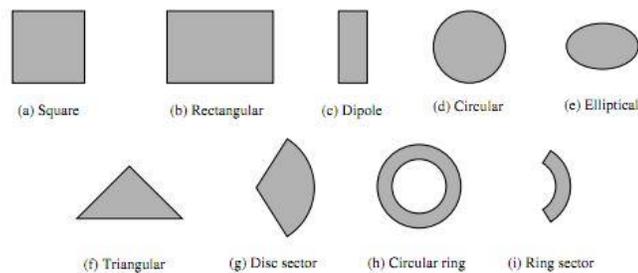
- De petits lobes mineurs se forment
- L'adaptation d'impédance est bonne
- Une plus grande directivité
- Angle d'ouverture étroite
- Les ondes stationnaires sont évitées
- bande passante large

[11]

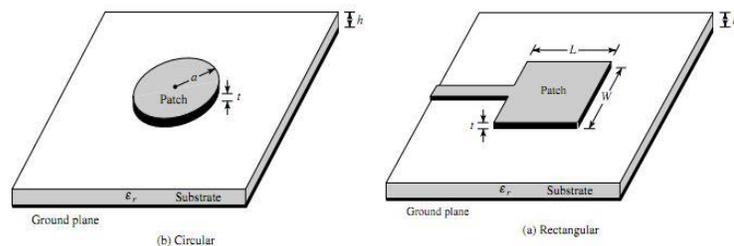
## I.4.4 Antennes microruban :

Les antennes microruban sont devenues très populaires dans les années 1970, principalement pour les applications spatiales. Aujourd'hui, ils sont utilisés pour des applications gouvernementales et commerciales. Ces antennes se composent d'un patch métallique sur un substrat mis au plan, de masse. Le patch métallique peut prendre de nombreuses configurations différentes, comme le montre **Figure I.11**. Cependant, les plques rectangulaires et circulaires, illustrées à la **Figure I.12**, sont les plus populaires en raison de la facilité d'analyse et de fabrication, et de leurs caractéristiques de rayonnement attrayantes

Les antennes microruban sont simples et peu coûteuses à fabriquer à l'aide de la technologie moderne des circuits imprimés, robustes mécaniquement lorsqu'elles sont montées sur des surfaces rigides, compatibles avec les conceptions MMIC, et très polyvalentes en termes de fréquence de résonance, de polarisation, et d'impédance. Ces antennes peuvent être montées sur la surface des avions, des engins spatiaux, des satellites, des missiles, des voitures et même des téléphones portables à haute performance [1].



**Figure I.11 : Différentes configurations de patch métallique**



**Figure I.12 : Antennes microruban de forme rectangulaires et circulaires**

[1]

## I.5 Les antennes embarquées sur les avions :

### I.5.1 Antenne de Radioaltimètre :

Le radio altimètre est un appareil à bord d'un avion (ou d'un satellite) destiné à mesurer sa hauteur par rapport au sol ou la surface de l'eau. Les antennes utilisées ont une directivité relativement faible pour être sûr que le faisceau atteigne le sol indépendamment de l'attitude de l'appareil. Aujourd'hui, les antennes sont des plaques d'environ dix centimètres de côté et de quelques millimètres d'épaisseur. Elles sont plaquées sous les fuselages comme **Figure I.13** montre à une distance de 60 à 100 centimètres. Il faut qu'elles soient assez proches pour ne pas introduire d'erreur de parallaxe quand l'avion est proche du sol et assez écartées pour que la réception ne soit pas perturbée des fuites venant directement de l'antenne d'émission. La fréquence d'émission des radioaltimètres est comprise en 4,2 et 4,4 GHz [13].

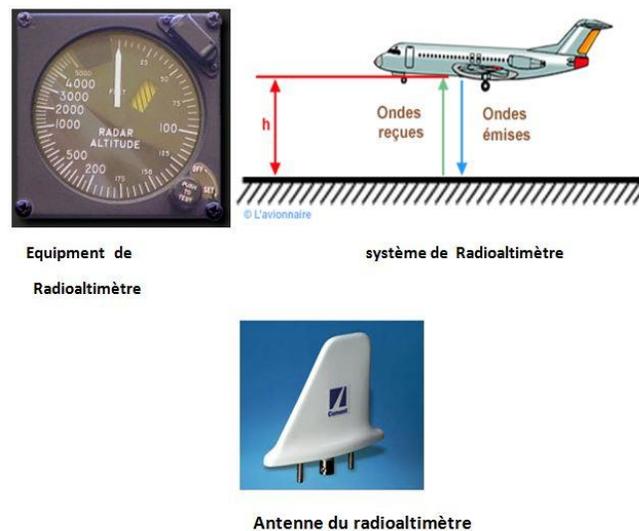


Figure I.13 : Système de Radioaltimètre.

### I.5.2 Antenne d'ADF :

L'A.D.F acronyme de : Automatic Direction Finder ou radio-compas est un instrument de navigation qui permet à un avion de se repérer par rapport à une antenne émettrice en comme montre la **figure I.15** en mesurant l'écart angulaire (gisement) formé par l'axe de l'aéronef et la direction de la station sur laquelle il est accordé. Il émet des ondes radios sur des fréquences comprises entre 200 et 1750 KHz, la **Figure I.14** montre l'emplacement de cette sur l'aéronef [13].



Figure I.14 : Antenne ADF

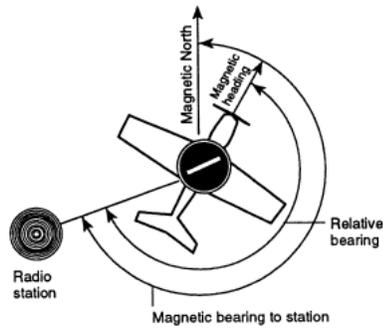


Figure I.15 : fonctionnement d'ADF

### I.5.3 L'antenne long-fil :

L'antenne long-fil sert à établir les communications radios dans la bande 2 850 à 3 155 kHz, alimentée par une boîte de couplage automatique est érigée seulement à quelques mètres au-dessus de la coque de l'aéronef comme montre la **figure I.16**. L'antenne long-fil est capable de fonctionner dans la bande (2 à 23 MHz). Sur des types d'avions à hélice, en vol une antenne pendante longue de plusieurs dizaines de mètres est déroulée [13].



**Figure I.16 : L'antenne long-fil**

### I.5.4 L'antenne de VOR :

VOR est l'abréviation de « VHF Omnidirectionnel Range » est un système de positionnement à courte et moyenne distance utilisé en navigation aérienne et fonctionnant dans la plage des fréquences VHF. Le récepteur à bord permet de connaître de façon continue et visuelle le relèvement magnétique de l'aéronef par rapport à une station sol et de suivre une route magnétique en rapprochement ou en éloignement par rapport à cette balise. Les VOR travaillent dans la gamme de fréquences de 108 à 117.95MHz. l'antenne se place sur l'aéronef comme montre la **Figure I.17** [13].



**Figure I.17 : L'antenne de VOR**

### I.5.5 L'antenne GPS :

Les antennes GPS à bord d'un avion doivent être montées sur le sommet du fuselage comme le montre la **figure I.18(a)** et orientées parallèlement à l'horizon pour assurer une visibilité maximale des satellites qui fournissent des données de positionnement. La **figure I.18 (b)** représente une antenne GPS.



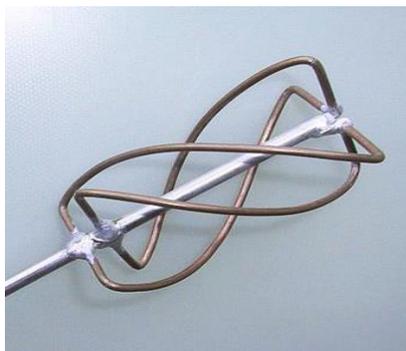
(a) *Emplacement de l'antenne*

(b) *Antennes GPS de réception*

**Figure I.18**

Les antennes de réception GPS comme montre la **figure I.19** est conçue de façon à recevoir le signal émis par le satellite, elle est donc destinée à recevoir un signal de polarisation circulaire droite et un diagramme de rayonnement à large ouverture angulaire afin de voir les nécessités de réception satellitaire au fonctionnement du GPS. Le rôle de l'antenne de réception est de convertir l'énergie électromagnétique en un signal électrique qui sera traité par des circuits électroniques. Pour assurer une bonne qualité du signal reçu, les antennes de réceptions doivent satisfaire plusieurs critères : gain indépendant de l'élévation et de l'azimut, ainsi que le rejet des interférences.

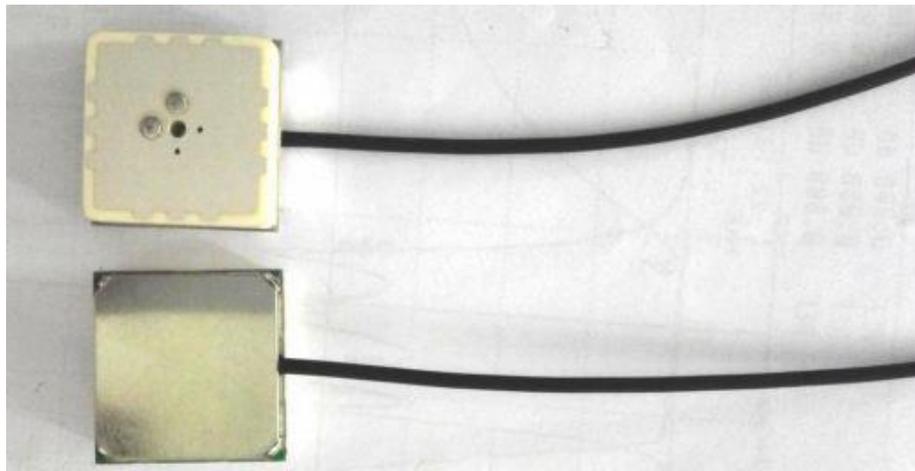
Les deux types les plus populaires d'antennes utilisées dans les récepteurs GPS sont «patch» et «quadrifilar helix» ou «quad helix» comme montre la **figure I.19** la plupart des modèles sont disponibles avec une large gamme de connecteurs pour toutes les différentes prises d'antenne du récepteur GPS [14].



(a) *Antenne helix*

(b) *Micro\_ruban*

**Figure I.19 : réception GPS**



**Figure I.20 : Antenne GPS de type micro\_ruban**

Le **tableau I.1** ci-dessous montre des spécifications et caractéristiques d'une antenne GPS(JCN539) commercialisée montrée dans la **Figure I.20** précédente :

**Tableau I.1 : Caractéristiques d'antenne GPS**

objet		Caractéristiques
Antenne	La fréquence	GPS L2 1.227 GHz / L1 1.575 GHz
	Largeur de bande	20MHz
	Polarisation	RHCP
	Gain	$\geq 2.0$ dB
	Impédance	50 $\Omega$
	VSWR	< 1.5
	Pertes de retours	< -9.5 dB
Support mécanique	Connecteur	RG174 SMA
Environnement	Température de fonctionnement	-40°C~+85°C
	Résistance au Humidité	Jusqu'à 95%

## I.7 Le système GPS :

### I.7.1 Définition :

Le système de positionnement global (GPS) est un système de navigation par satellite qui a été développé par le département américain de la Défense au début des années 1970. Initialement, le GPS a été développé en tant que système militaire pour répondre aux besoins militaires américains. Cependant, il a ensuite été mis à la disposition des civils et est maintenant un système à double usage auquel les utilisateurs militaires et civils peuvent accéder.

Le GPS fournit des informations de positionnement et de synchronisation en continu, partout dans le monde et dans toutes les conditions météorologiques. Parce qu'il dessert un nombre illimité d'utilisateurs et qu'il est utilisé pour des raisons de sécurité, le GPS est un système à télémétrie unidirectionnelle (passive). Autrement dit, les utilisateurs ne peuvent recevoir que les signaux satellites [5].

### I.7.2 Description du système GPS :

#### I.7.2.1 GPS segments :

GPS se compose de trois segments comme montre la figure I.21 suivante :

- ❖ Le segment spatial
- ❖ le segment de contrôle
- ❖ le segment d'utilisateur

[5]

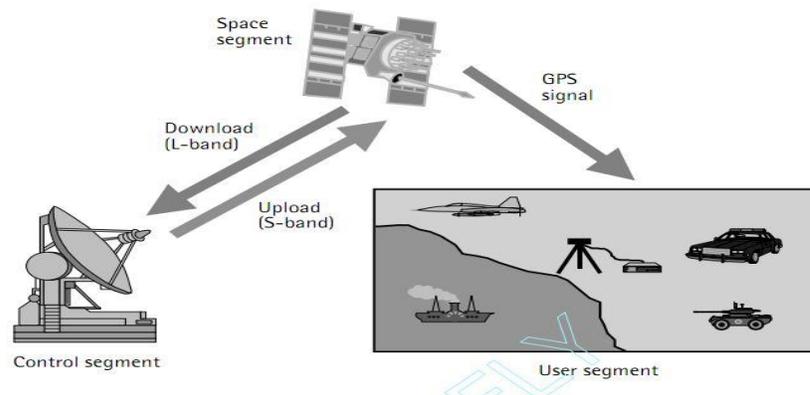
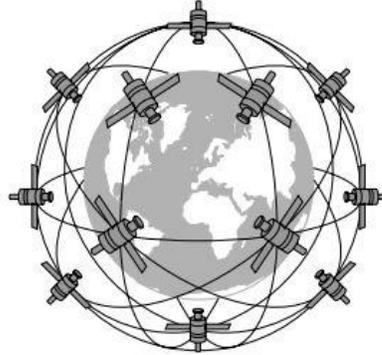


Figure I.21 : GPS segments

### **Segment spatial :**

Une constellation de 24 satellites GPS (21 opérationnels et 3 de secours) orbitent à environ 12 000 miles au-dessus de la Terre (comme illustré à la **Figure I.22**. Les satellites parcourent les cieux à environ 7 000 miles par heure. Il faut environ 12 heures à un satellite pour orbiter complètement autour de la Terre [5].



**Figure I.22 : La constellation de navstar et leurs orbites**

Les satellites sont placés là où un récepteur GPS peut recevoir des signaux d'au moins six des satellites à tout moment, à n'importe quel endroit sur la Terre (si rien n'obstrue les signaux). Un satellite a trois éléments matériels clés :

- ❖ Ordinateur : cet ordinateur de bord contrôle son vol et d'autres Les fonctions.
- ❖ Horloge atomique : Cela permet de conserver l'heure exacte dans les trois nanosecondes (environ trois milliardièmes de seconde).
- ❖ Émetteur radio : il envoie des signaux à la Terre.

### **Le segment de contrôle :**

Le système GPS se compose d'un réseau de stations de repérage, avec un poste de contrôle principal (MCS) situé aux États-Unis à Colorado Springs, Colorado. La tâche principale du segment de contrôle opérationnel consiste à suivre les satellites GPS afin de déterminer et de prédire les emplacements des satellites, l'intégrité du système, le comportement des horloges atomiques des satellites, les données atmosphériques.

### **Le segment d'utilisateurs :**

Le segment utilisateurs comprend tous ceux qui utilisent de l'équipement de poursuite GPS pour capter les signaux du système afin de satisfaire des besoins particuliers en matière de positionnement. On trouve sur le marché toute une gamme d'appareils conçus pour capter les signaux GPS dans le but d'offrir aux utilisateurs un éventail toujours croissant d'applications.

### I.7.3 Structure de base du signal GPS :

Chaque satellite GPS émet un signal radio hyperfréquence composé de deux fréquences porteuses (ou sinusoïdes) modulées par deux codes numériques et un message de navigation (voir **figure I.23**). Les deux fréquences porteuses sont générées à 1 575,42 MHz (appelée porteuse L1) et 1 227,60 MHz (appelée porteuse L2). Les longueurs d'onde porteuses correspondantes sont respectivement d'environ 19 cm et 24,4 cm, qui résultent de la relation entre la fréquence porteuse et la vitesse de la lumière dans l'espace.

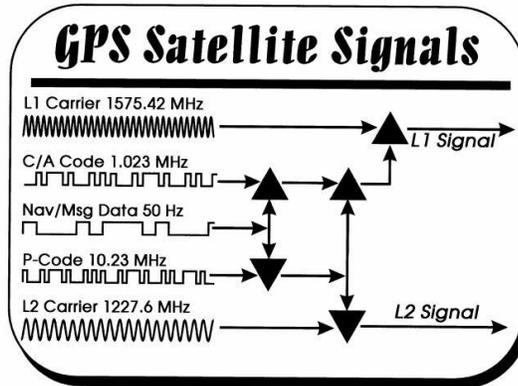


Figure I.23 : Structure de base du signal GPS

#### I.7.3.1 Mesure de la distance du récepteur par rapport à un satellite :

Les satellites envoient des ondes électromagnétiques (micro-ondes) qui se propagent à la vitesse de la lumière. Connaissant celle-ci, on peut alors calculer la distance qui sépare le satellite du récepteur en connaissant le temps que l'onde a mis pour parcourir ce trajet [6].

#### I.5.3.2 Résolution de l'équation de navigation :

La résolution de l'équation de navigation nécessite quatre équations (4 satellites). Chaque signal satellite donne au récepteur l'équation suivante :

$$P_i = C \cdot (tri - tei) = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} + C\Delta t \dots\dots(I.6)$$

$P_i$  : La distance théorique

$x_i y_i z_i$  : La position du satellite

$x y z$  : la position du récepteur

$C$  : la vitesse de la lumière dans le vide

$\Delta t$  : Le décalage de l'horloge interne du récepteur (l'horloge du récepteur est beaucoup moins précise)

$tri$  : Temps de réception de signal émis à  $te_i$  par un satellite  $i$

- La position de récepteur se déduit de résolution de cette équation

## **I.8 Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons présenté différents types d'antennes utilisées dans un avion, chaque système impose ses conditions concernant la position de l'antenne ainsi que des caractéristiques comme la bande de fréquence, les diagrammes de rayonnement, les gains et la polarisation. Dans notre travail, nous allons nous intéresser à l'antenne GPS. En effet, la précision requise pour les phases d'atterrissage des aéronefs est aujourd'hui un point bloquant de leur utilisation dans certaines conditions difficiles. D'où notre intérêt à cette antenne qui ne cessent d'être amélioré par les chercheurs. Pour cela, nous allons concevoir une antenne patch compacte, bi-bandes à double polarisation circulaire qui couvre les bandes L1 et L2 du système GPS.

## Chapitre II : théorie des antennes micro\_ruban

## II.1 introduction :

Dans les applications d'aéronefs, d'engins spatiaux, de satellites et de missiles hautes performances, où la taille, le poids, le coût, les performances, la facilité d'installation et le profil aérodynamique sont des contraintes, des antennes à profil bas peuvent être nécessaires. Pour répondre à ces exigences, des antennes microruban peuvent être utilisées. Ces antennes sont à profil bas, adaptables aux surfaces planes et non planes, simples et peu coûteuses à fabriquer à l'aide de la technologie moderne des circuits imprimés, robustes mécaniquement lorsqu'elles sont montées sur des surfaces rigides, compatibles avec les conceptions MMIC, ce chapitre englobe les caractéristiques de ces antennes de façon profonde [1].

## II.2 structure d'antenne micro\_ruban :

Les antennes microruban, comme le montre la figure II. 1, consistent en une bande métallique (patch) d'épaisseur ( $t$ ) très mince ( $t < \lambda_0$ , où  $\lambda_0$  est la longueur d'onde dans l'espace libre), et un substrat diélectrique d'épaisseur ( $h < \lambda_0$ , généralement  $0.003 \lambda_0 \ll h \ll 0.05 \lambda_0$ ) au-dessus d'un plan du mass.

Pour un patch rectangulaire, la longueur  $L$  de l'élément est généralement ( $\lambda_0/3 < L < \lambda_0 / 2$ ) [1].

Une antenne micro\_ruban peut se constituer de 3 parties essentielles comme montre la **figure II. 1** :

- élément rayonnant
- substrat
- plan de masse

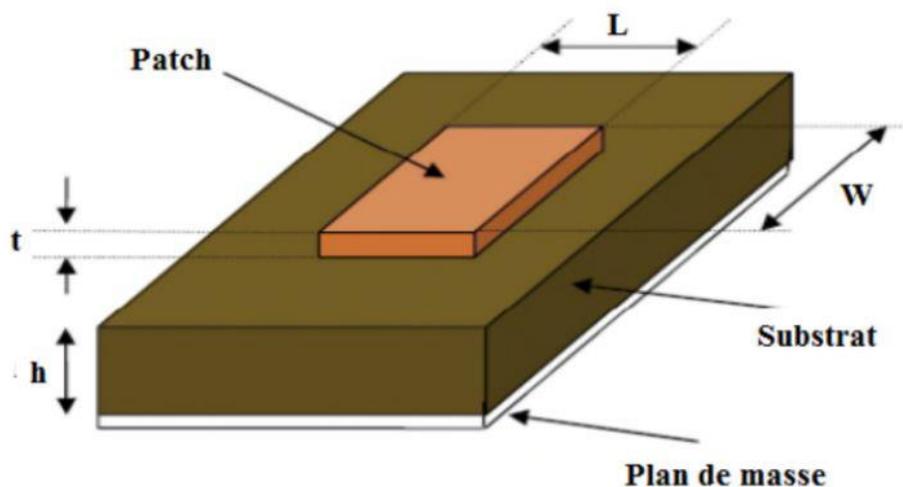


FIGURE II. 1 : Structure d'antenne micro\_ruban

- $L$  : longueur de patch
- $W$  : largeur de patch
- $t$  : épaisseur de patch
- $h$  : hauteur de substrat

### II.2.1 plan de masse :

En théorie il devrait être de dimensions infini pour éviter les réflexions des radiations depuis les bords du sol mais en pratique puisqu'il ne peut pas être infini il doit être grand et multiple de  $(\lambda / 2)$  (demi-onde) [9].

### II.2.2 substrat :

Il existe de nombreux substrats qui peuvent être utilisés pour la conception d'antennes microruban et leurs constantes diélectriques sont généralement de l'ordre de  $2,2 < \epsilon_r < 12$ .

Ceux qui sont les plus souhaitables pour de bonnes performances d'antenne sont des substrats épais dont la constante diélectrique est dans l'extrémité inférieure de la gamme parce qu'ils fournissent une meilleure efficacité, une plus grande bande passante, mais occupent plus d'espace [1].

Les matériaux les plus couramment utilisés sont des composites à base de téflon

( $2 < \epsilon_r < 3$  ;  $\tan \delta = T_0$ )

du polypropylène ( $\epsilon_r=2.8$  ;  $\tan \delta = 3.10^{-4}$ ).

Le substrat est caractérisé par sa permittivité relative  $\epsilon_r$ , sa hauteur  $h$  et son facteur de perte  $\tan \delta$  il doit répondre à certaines exigences :

- Une conservation de la forme originale
- La stabilité en température et aux conditions atmosphériques
- L'uniformité de la permittivité relative et de hauteur
- Une résistance aux produits chimiques

Le tableau II. 1 suivant montre quelques substrats et leurs caractéristiques :

**Tableau II. 1 : Exemples de substrats et leurs caractéristiques**

Substrat	$\epsilon_r$	$\tan \delta$
RT-Duroid5880	2.2	0.0009
RT- Duroid5870	2.33	0.0011
Nettec Nx9240	2.4	0.0010
Arlon Diclad 522	2.5	0.0010
FR-4	4.4	0.018

### II.2.3 élément rayonnant :

Le matériel le plus couramment utilisé comme patch est le cuivre avec une bonne conductivité est de :  $\sigma = 5.80 \times 10^7$

Afin de simplifier l'analyse et l'estimation des performances, le patch a généralement une forme rectangulaire, circulaire, triangulaire, elliptique ou autre forme connue comme indiqué dans **Figure II. 3** [2].

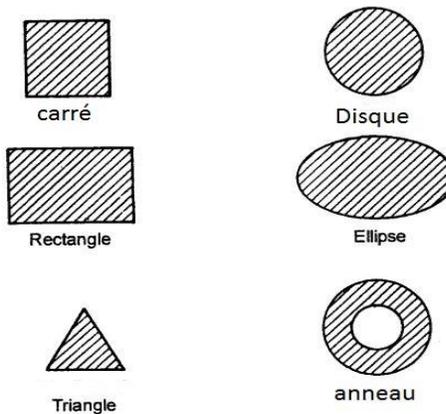


Figure II. 2 : Formes d'antenne patch

### II.4. caractéristiques des antennes micro\_ruban :

#### II.4.1. représentation en quadripôle :

Une antenne peut être représentée comme un quadripôle en fonction des S-paramètres, l'avantage de ceci est de bien manipuler l'énergie donné à l'antenne. [9]

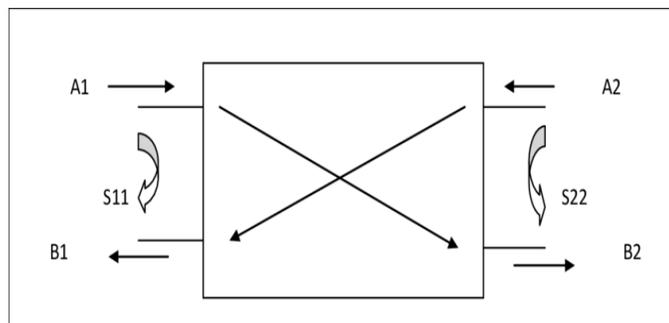


Figure II.3 : Représentation quadripôle

A1 A2 B1 B2 sont des ondes de puissance, les relations de A1 A2 B1 B2 de coefficients de réflexions s'expriment comme suivant :

$$B1=S11*A1 + S12*A2$$

$$B2=S21* A1 + S22*A2$$

Le coefficient S11 correspond à la réflexion en entrée des quadripôles lorsque A, = 0

Le coefficient S12 représente la transmission de la puissance entrant en sortie vers l'entrée lorsque A = 0

Le coefficient S21 est le gain du quadripôle lorsque A, = 0

Le coefficient S22 est la réflexion en sortie du quadripôle lorsque A = 0

#### II.4.2.coefficient de réflexion :

La représentation de coefficient de réflexion en fonction de la fréquence permet de déterminer la résonance de fréquence de l'antenne.

$$\rho = \frac{ze-zc}{ze+zc} = \frac{\text{onde réfléchie}}{\text{onde incidente}} \quad s_{11}(\text{dB}) = 10 \log \left| \frac{ze-zc}{ze+zc} \right| \quad (\text{II.1})$$

**Ze : Impédance d'entrée de l'antenne**

**Zc : Impédance caractéristique de la ligne qui alimenté l'antenne (Z = 50Ω).**

Une antenne est un circuit résonnant et l'impédance est ramenée peut être égale à l'impédance Caractéristique à cette fréquence de résonance.

Une antenne résonne si la partie imaginaire de son impédance d'entrée est nulle (Pratiquement on prend le minimum de la partie imaginaire),  $\rho \rightarrow 0$   $\text{Re}[z_e] \approx z_c$  , dans ce stat le gain atteint son max de valeur pour l'antenne. [9]

### II.4.3 impédance d'entrée d'antenne :

L'impédance d'entrée est définie comme (l'impédance représentée par une antenne à ses bornes ou le rapport de la tension au courant à une paire de bornes en un point),[1] sans charge attachée, définit l'impédance de l'antenne comme :

$$Z_A = R_A + jX_A \dots \dots \dots (\text{II.2})$$

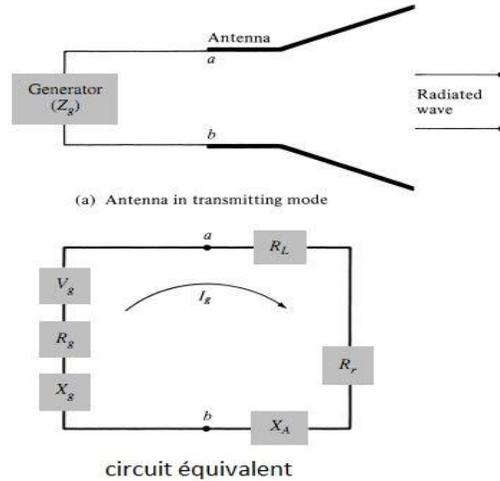


Figure II. 4 : schéma équivalente d'antenne en mode transmission

- $Z_A$  : Impédance d'antenne**
- $R_A$  : Résistance d'antenne**
- $X_A$  : Réactance d'antenne**

- La partie résistive est constituée de deux composants, c'est-à-dire :

$$R_A = R_r + R_L \dots \dots \dots (\text{II.3})$$

- $R_r$  : Résistance de radiation d'antenne**
- $R_L$  : Résistance de pertes d'antenne**

- Si nous supposons que l'antenne est attachée à un générateur avec une impédance interne :

$$Z_G = R_g + jX_g \dots \dots \dots (\text{II.4})$$

- $R_g$  : Résistance de l'impédance du générateur**
- $X_g$  : Réactance de l'impédance du générateur**

#### II.4.4 fréquence de résonance :

C'est la fréquence ou l'antenne représente un minimum de perte, l'amplitude minimale de coefficient de réflexion, la fréquence de résonance d'antenne microruban en fonction de sa longueur

$$\text{Est donnée par : } fr = \frac{c_0}{2L\sqrt{\epsilon_r}} \dots\dots\dots(\text{II.5})$$

**fr** : Fréquence de résonance

**c<sub>0</sub>** : Vitesse de lumière

**ε<sub>r</sub>** : Permittivité relative

**L** : Longueur de patch

. [4]

#### II.4.5 bande passante :

La bande passante d'une antenne microruban est donnée par :

$$BW = 100 \times \frac{f_s - f_i}{f_c} \dots\dots\dots(\text{II.6})$$

**F<sub>s</sub>** : fréquence limite supérieur

**F<sub>i</sub>** : fréquence limite inférieur

**F<sub>c</sub>** : fréquence centrale

Pour l'antenne microruban la bande passante peut s'exprimer avec plusieurs façons en dépendance avec les caractéristiques sélectionnées [4].

#### II.4.6 L'efficacité de l'antenne :

L'efficacité de l'antenne qui prend en compte la réflexion, la conductivité et les pertes. La conductivité et les pertes diélectriques d'une antenne sont très difficiles à calculer et dans la plupart des cas.

Le rendement diélectrique de conduction  $e_{cd}$  est défini comme le rapport de la puissance délivrée à la résistance au rayonnement R, à la puissance délivrée à R et  $R_L$ . [1]

:

$$e_{cd} = \frac{Rr}{R_L + Rr} \dots\dots\dots(\text{II.7})$$

#### II.4.7 directivité et gain :

La directivité est une mesure des propriétés directionnelles d'une antenne par rapport à celles d'une antenne isotrope. La directivité est toujours supérieure à 1 car un radiateur isotrope n'est pas directionnel. La directivité est définie comme le rapport de la densité de puissance maximale dans la direction du faisceau principal à la densité de puissance rayonnée moyenne. La directivité de l'antenne patch est exprimée en

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{p_{rad}} \dots\dots\dots(\text{II.8})$$

**(Directivité maximale) exprimée en :**

$$D_{max} = D_0 = \frac{U_{max}}{U_0} = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}} \dots\dots\dots(\text{II.9})$$

. [1]

**Le gain G d'une antenne est défini comme :**

Le gain d'une antenne (dans une direction donnée) est défini comme "le rapport de l'intensité, dans une direction donnée, à l'intensité de rayonnement qui serait obtenue si la puissance acceptée par l'antenne était rayonnée de manière isotrope. L'intensité de rayonnement correspondant à la puissance rayonnée isotrope est égale à la puissance acceptée (entrée) par l'antenne divisée par  $4\pi$ ". Sous forme d'équation, cela peut être exprimé comme :

$$\text{Gain} = 4\pi \frac{\text{intensité de rayonnement}}{\text{puissance d'entrée totale}} = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \dots\dots\dots(\text{II.10})$$

**La puissance totale rayonnée peut être écrite comme :**

$$P_{rad} = e_{cd} P_{in} \dots\dots\dots(\text{II.11})$$

**Qui est lié à la directivité :**

$$G(\theta, \phi) = e_{cd} D(\theta, \phi) \dots\dots\dots (\text{II.12})$$

**D : directivité (sans dimensions)**

**$D_0$  : La directivité maximale**

**U : intensité du rayonnement (W / unité d'angle solide)**

**$U_{max}$  : intensité de rayonnement maximale (W / unité d'angle solide)**

**$U_0$  : intensité de rayonnement de la source isotrope (W / unité d'angle solide)**

**$P_{rad}$  : puissance totale rayonnée (W)**

**$P_{in}$  : puissance d'entrée totale**

[1]

#### **II.4.8 diagramme de rayonnement d'antenne :**

Un diagramme de rayonnement d'antenne est défini comme "une fonction mathématique ou une représentation graphique des propriétés de rayonnement de l'antenne en fonction des coordonnées de l'espace. Dans la plupart des cas, le diagramme de rayonnement est déterminé dans la région du champ lointain et représenté en fonction des coordonnées directionnelles. Les propriétés de rayonnement comprennent la densité de flux de puissance, l'intensité du rayonnement, l'intensité du champ, La propriété de rayonnement la plus préoccupante est la distribution spatiale bidimensionnelle ou tridimensionnelle de l'énergie rayonnée en fonction de la position de l'observateur le long d'un trajet ou d'une surface de rayon constant.

### II.4.9 angle d'ouverture à -3db :

Ouverture angulaire d'un diagramme de rayonnement est définie comme la séparation angulaire entre deux points identiques sur le côté opposé du maximum du diagramme. Dans un diagramme d'antenne, il existe plusieurs Ouverture angulaires. L'une des Ouverture angulaire les plus largement utilisées Ouverture angulaire à demi-puissance (Half-Power Beamwidth (HPBW) ; qui est définie par l'IEEE comme suit: "Dans un plan contenant la direction du maximum d'une lobe, l'angle entre les deux directions dans lesquelles l'intensité du rayonnement est à la moitié de la valeur [1].

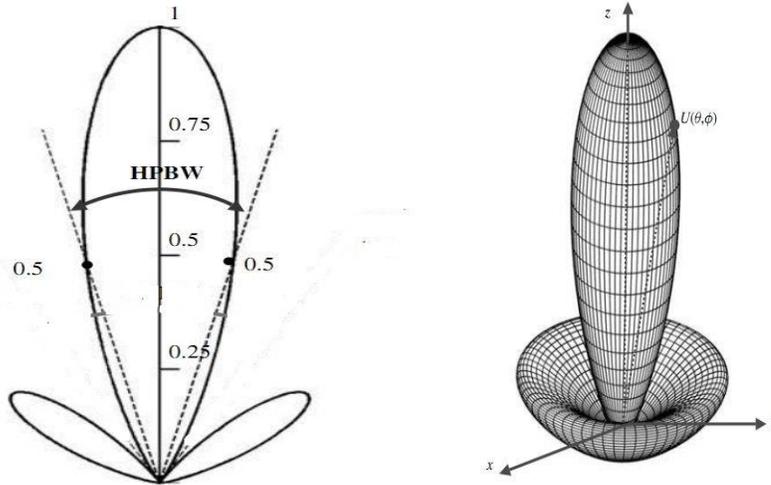


Figure II. 5 montre le diagramme de puissance de l'antenne 2D et 3D

### II.4.10 Polarisation et rapport axial :

#### Polarisation :

La polarisation d'une onde rayonnée est définie comme "la propriété d'une onde électromagnétique décrivant la direction variant dans le temps et l'amplitude du vecteur champ électrique; plus précisément, la courbe tracée en fonction du temps par l'extrémité du vecteur à un emplacement dans l'espace, et le sens dans lequel il est tracé, tel qu'observé le long de la direction de propagation. "La polarisation est alors la courbe tracée par l'extrémité [1].

#### Le rapport axial :

Est le rapport de composantes orthogonales d'un champ électrique E.

Un champ à polarisation circulaire est composé de deux composantes de champ E orthogonales d'amplitude égale (et déphasées de 90 degrés). Comme les composants sont de même amplitude, le rapport axial est de 1 (ou 0 dB) [1].

Le rapport axial pour la polarisation linéaire pure est infini, car les composantes orthogonales du champ l'un des deux est faible.

Les rapports axiaux sont souvent indiqués pour les antennes dans lesquelles la polarisation souhaitée est circulaire. La valeur idéale du rapport axial pour les champs à polarisation circulaire est de 0 dB. De plus, le rapport axial a tendance à se dégrader en s'éloignant du faisceau principal d'une antenne, de sorte que le rapport axial peut être indiqué dans une (fiche technique) d'une antenne comme suit: "Rapport axial: <3 dB pour + -30 degrés du faisceau principal ". Cela indique que l'écart par rapport à la polarisation circulaire est inférieur à 3 dB sur la plage angulaire spécifiée [10].

**Le champ instantané d'une onde plane, se déplaçant dans la direction z négative, peut s'écrire :**

$$E(z; t) = A_x E_x(z; t) + A_y E_y(z; t) \dots \dots \dots (\text{II.13})$$

**Les composants instantanés sont liés à leurs homologues complexes par :**

$$E_x(z; t) = \text{Cos}(\omega t + kz + \phi_x) \dots \dots \dots (\text{II.14})$$

$$E_y(z; t) = \text{Cos}(\omega t + kz + \phi_y) \dots \dots \dots (\text{II. 15})$$

**Où  $E_x$  et  $E_y$  sont respectivement les grandeurs maximales des composantes x et y.**

**Polarisation Linéaire :**

Polarisation linéaire Une onde harmonique temporelle est polarisée linéairement en un point donné de l'espace si le vecteur champ électrique (ou champ magnétique) en ce point est toujours orienté le long de la même ligne droite à chaque instant. Ceci est accompli si le vecteur champ (électrique ou magnétique) possède:

- 1 Une seule composante, ou
- 2 Deux composantes linéaires orthogonales qui sont en phase temporelle ou déphasé 180 degré.
- Pour que l'onde ait une polarisation linéaire, la différence de phase temporelle entre les deux composantes x et y doit être :

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = n\pi \dots \dots \dots (\text{II. 16})$$

$$n=0, 1, 2, 3$$

[1].

**Polarisation Circulaire:**

Polarisation circulaire Une onde harmonique temporelle polarisée circulairement en un point donné de l'espace si le vecteur champ électrique (ou magnétique) en ce point trace un cercle en fonction du temps. Les conditions nécessaires et suffisantes pour y parvenir sont si le vecteur champ (Électrique ou magnétique) possède tous les éléments suivants:

1. Le champ doit avoir deux composantes linéaires orthogonales, et
2. Les deux composantes doivent avoir la même grandeur, et
3. Les deux composantes doivent avoir une différence de phase temporelle de multiples impairs de 90 °.

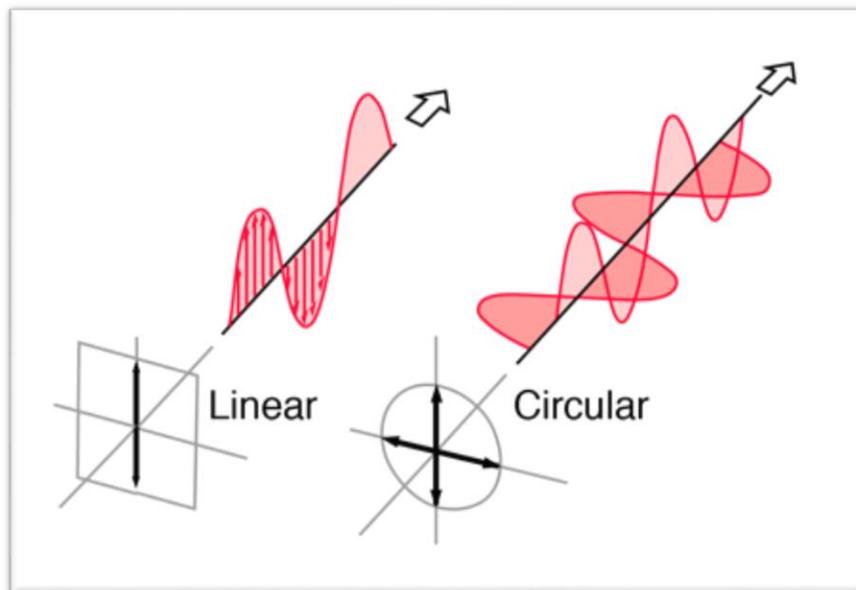
La polarisation circulaire ne peut être obtenue que lorsque les grandeurs des deux composantes sont les mêmes et que la différence de phase temporelle entre elle est des multiples impairs de  $\pi/2$ .

[1].

$$|E_x| = |E_y| \Rightarrow E_{x_0} = E_{y_0} \dots\dots\dots(\text{II. 17})$$

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = n\pi = \begin{cases} +\left(\frac{1}{2} + 2n\right)\pi, n = 0,1,2 \text{ right hand circular polarization} \\ -\left(\frac{1}{2} + 2n\right)\pi, n = 0,1,2 \text{ left hand circular polarization} \end{cases} \quad (\text{II. 18})$$

. [1]



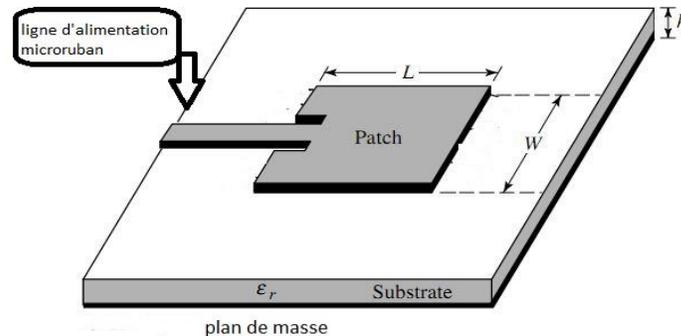
**Figure II. 6 : représente la polarisation linéaire et circulaire**

## II.5 techniques d'alimentation :

Il existe plusieurs techniques pour l'alimentation des antennes micro rubans, ces techniques peuvent être soit par contact direct soit par couplage, les plus communément utilisées sont l'alimentation par ligne micro ruban, par sonde coaxiale, par couplage de proximité [1].

### II.5.1. alimentation par ligne micro\_ruban :

La ligne d'alimentation microruban est également une ligne conductrice, généralement de beaucoup plus petite largeur par rapport au patch. **Figure II. 7.** L'alimentation microruban est facile à fabriquer, simple à assortir en contrôlant la position de l'encart et plutôt simple à modéliser [1].

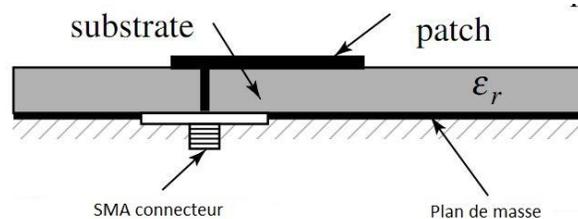


**Figure II. 7:** montre ligne d'alimentation microruban

. [1]

### II.5.2 Alimentation par sonde coaxiale :

L'alimentation en ligne coaxiale, où le conducteur interne du câble coaxial est attaché au patch de rayonnement tandis que le conducteur externe est connecté au plan de masse comme montre la **figure II. 8**, est également largement utilisée. L'alimentation de sonde coaxiale est également facile à adapter, Cependant, il possède également une bande passante étroite et il est plus difficile à modéliser, notamment pour les substrats épais ( $h > 0,02 \lambda_0$ ) [1].



**Figure II. 8 :** Alimentation d'un patch par une sonde coaxiale

La position de point d'alimentation est donnée par :

$$G = \frac{\pi w}{\eta \lambda_0} \left[ 1 - \frac{[\beta h]^2}{24} \right] \dots\dots\dots(\text{II.19})$$

- $\eta$  : impédance de vide  $120\pi \Omega$
- $\lambda_0$  : la longueur d'onde d'espace libre  $c/f_0$
- $\beta$  : constant de phase de vide  $2\pi/\lambda_0$
- $G$  : conductance au rayonnement

$$Re = \frac{1}{2G} \dots\dots\dots(\text{II.20})$$

- $Re$  : résistance de rayonnement
- $Ri$  :  $50 \Omega$  impédance de cable

$$Ri = Re * \sin^2\left(\frac{\pi x f}{L}\right) \dots\dots\dots(\text{II.21})$$

❖ On déduit la position de point d'alimentation par  $xf$

$$xf = \frac{L}{\pi} \sin^{-1} \sqrt{\frac{Ri}{Re}} \dots\dots\dots(\text{II.22}). [1]$$

### II.5.3. alimentation par couplage :

L'alimentation par couplage est la plus difficile de toutes les techniques à fabriquer et il a également une bande passante étroite.. Le couplage d'ouverture est constitué de deux substrats séparés par un plan de masse illustré à la **Figure II.9**. Sur la face inférieure du substrat inférieur se trouve une ligne d'alimentation en microruban dont l'énergie est couplée au patch à travers une fente sur le plan de masse séparant les deux substrats. Cette disposition permet l'optimisation du mécanisme d'alimentation et de l'élément rayonnant [1].

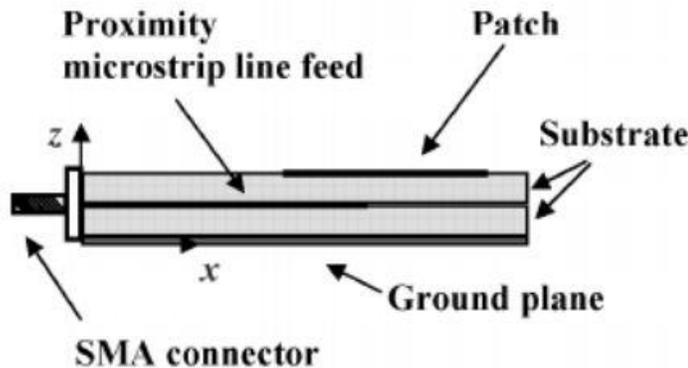
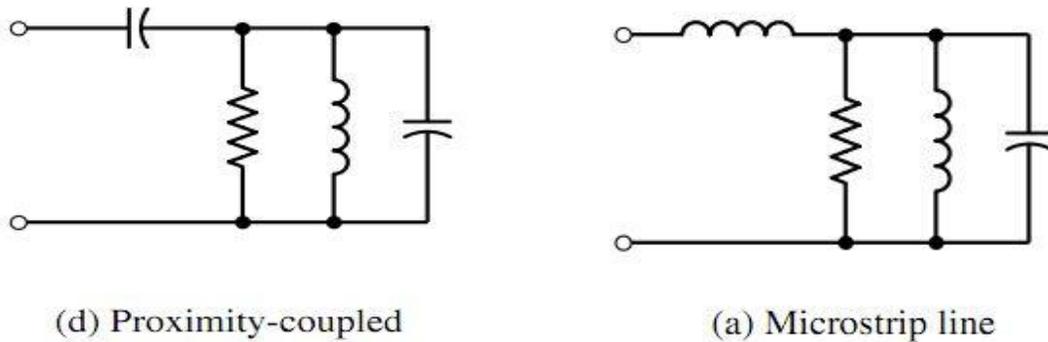


Figure II. 9 : montre l'alimentation par couplage

La **Figure II. 10** montre le circuit équivalent de deux techniques alimentation précédentes ligne microruban et par couplage



**Figure II. 10 : Circuit équivalent pour les techniques d'alimentation ligne microruban et par couplage**

### II.6 Équations de conceptions :

Une procédure de conception est décrite qui conduit à des conceptions pratiques d'antennes rectangulaires microruban. La procédure suppose que les informations spécifiées comprennent la constante diélectrique du substrat, la fréquence de résonance  $f_r$ , Et la hauteur du substrat  $h$ . La procédure est la suivante:

On calcule la largeur de patch qui est  $w$  (celui est différent de  $w$  la largeur de ligne illustrée à la figure

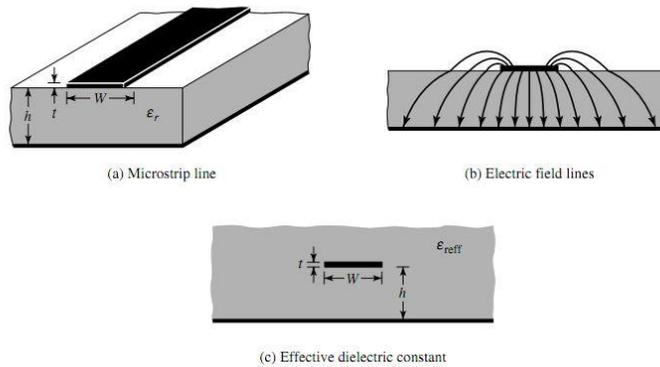
II.11 ) :

$$W = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_r}} \dots\dots\dots (\text{II. 23})$$

**La fréquence de résonance de l'antenne micro\_ruban est donnée par :**

$$f_r = \frac{c}{2L\sqrt{\epsilon_r}} \dots\dots\dots (\text{II. 24})$$

Comme on peut le voir sur la **figure II.11**, la plupart des lignes de champ électrique résident dans le substrat et des parties de certaines lignes existent dans l'air. Lorsque  $W / h \gg 1$  et  $\epsilon_r > 1$ , les lignes de champ électrique se concentrent principalement dans le substrat. L'effet de frange dans ce cas donne à la ligne microruban une apparence électrique plus large par rapport à ses dimensions physiques. Étant donné que certaines des ondes se déplacent dans le substrat et d'autres dans l'air, une constante diélectrique efficace est introduite pour tenir compte des effets de franges et de la propagation des ondes dans la ligne [1].

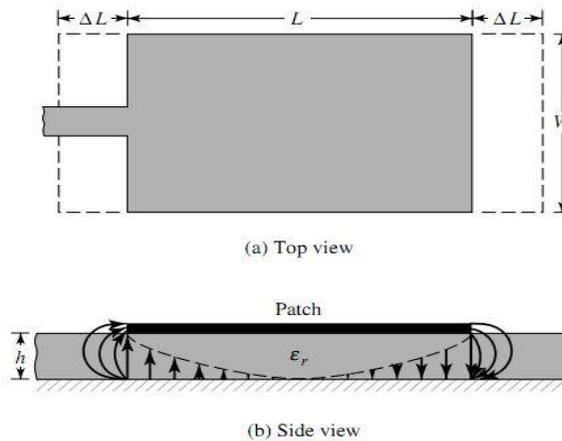


**Figure II.11 : Ligne microruban et ses lignes de champ électrique et géométrie de constante diélectrique effective**

Permittivité effective est donné par :

$$\epsilon_{r_{eff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ \frac{1 + 12h}{W} \right]^{-1} \dots\dots\dots (II. 25)$$

En raison des effets de franges, le patch est électriquement plus grand que ses dimensions physiques pour le plan E principal (plan xoy), les dimensions du patch ont été étendus à chaque extrémité d'une longueur ΔL comme on peut voir sur la **figure II. 12**.



**Figure II. 12 : longueur physique et effective de l'antenne**

La Longueur  $\Delta L$  est donnée par :

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{r_{eff}} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{r_{eff}} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8\right)} \dots\dots\dots (\text{II. 26})$$

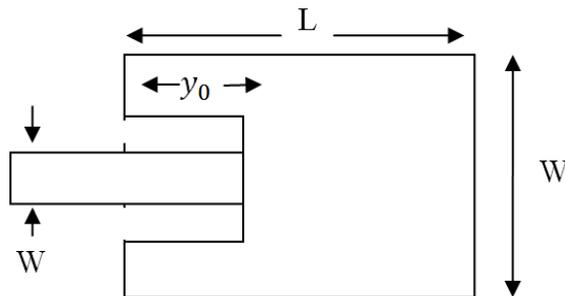
La longueur réelle du patch peut être déterminée par :

$$L = \frac{\lambda}{2} - 2\Delta L \dots\dots\dots (\text{II. 27})$$

**II.6.1 Impédance d'entrée et position du point d'alimentation :**

L'impédance d'entrée de l'antenne est calculée pour les substrats fins ( $h \ll \lambda$ ) grâce à l'équation (II. 28),

Pour une alimentation par ligne micro\_ruban, la largeur de l'encoche  $y_0$  est calculée avec l'équation (II. 29)



**Figure II.13 : Représentation de ligne d'alimentation microruban**

$$Rr = \frac{90[\epsilon_r]^2 (L)}{(\epsilon_r - 1) (w)} \dots\dots\dots (\text{II. 28})$$

$$Rin = Rr(y_0) \cos \left[ \frac{\pi y_0}{L} \right] \dots\dots\dots (\text{II. 29})$$

## **II.6.application des antennes micro\_ruban :**

Certaines applications notables pour lesquelles des antennes microruban ont été développées comprennent :

- Communication par satellite, services de diffusion directe (DBS)
  - Doppler et autres radars
  - Radioaltimètres
  - Systèmes de commande et de contrôle
  - Missiles et télémétrie (capteurs adhésifs et fusion d'armes)
  - Télédétection et instrumentation environnementale
  - éléments d'alimentation dans des antennes complexes
  - Récepteurs de navigation par satellite
  - Radio mobile (téléavertisseurs, téléphones et systèmes manpack)
  - Antennes intégrées
  - Radiateurs biomédicaux et alarmes anti-intrusion
- . [2]

## **II.7 conclusion :**

Le concept des antennes micro\_ruban a été introduit dans ce chapitre, la méthode de dimensionnement de ce type d'antenne a été abordée. Ces notions théoriques sont essentielles car l'objectif de notre travail est de concevoir une antenne patch carrée fonctionnant sur deux bandes de fréquences GPS. Ce travail est présenté au chapitre trois suivant.

# **Chapitre III : Conception, simulation de l'antenne patch GPS Bi- bandes**

### III.1 Introduction :

conception une antenne GPS bi\_bande pour polarisation circulaire et résonance dans la bande L de dimension carrés, avec un gain acceptable requise pour la transmission extra-atmosphérique, mise en considération la disponibilité du matériel et son cout, cette est réalisée dans ce chapitre par un logiciel (CST STUDIO SUITE) , la conception sur ce logiciel prendre en considération les tout le matériel diélectriques et conductrices pour atteindre aux résultats le plus proche qu'aux résultats des antennes réelles

Cst offre une fonction de simulation électromagnétique qui étudie et simule des structures complexes en trois dimensions, il est exploité notamment pour calculer les paramètres S, les fréquences de résonances ainsi que les champs électromagnétiques et la visualisation du diagramme de rayonnement en 3D. Nous développerons dans ce chapitre la phase de conception en présentant la structure des antennes réalisées ainsi les résultats de simulation pour des antennes à un seul patch et à deux patchs rayonnants de forme carrée alimentées par deux méthodes : par câble coaxiale et par ligne micro ruban.

#### Cahier de charge:

Le but de notre travail est de concevoir une antenne patch rayonnant sur deux bandes

$f_1 = 1.227 \text{ GHz} \pm 20 \text{ MHz}$ , et  $f_2 = 1.575 \text{ GHz} \pm 20 \text{ MHz}$  (bandes L1 et L2 du GPS), avec une polarisation circulaire droite (RHCP) sur les deux bandes et un gain de l'antenne souhaité à 2 dB. Le cahier de charges est résumé sur le tableau III.1 suivant

**Tableau III.1: Cahier de charge**

paramètre \ fréquence	1.227 GHz		1.575 GHz
	20MHz pour atténuation de 10 dB		20MHz pour atténuation de 10 dB
Bande passante	Circulaire droite		Circulaire droite
Polarisation	≥2 dB		≥2dB
Gain	Matière Utilisée	Résistivité	Conductivité
Matériaux utilisés	cuivre	$1.7241 \times 10^{-8}$ ohm-mètre	$5.8001 \times 10^7$ Siemens/mètre
Plan de masse et patch	Matière Utilisée	Facteur de dissipation (tan δ)	Permittivité relative (εr)
Substrat	fibre de glass FR-4	0.017	4.4

### III.2 Description du logiciel de simulation CST Studio Suite :

CST Studio Suite est un logiciel de simulation électromagnétique de structure passives en 3 Dimensions basé sur la résolution des équations de Maxwell suivant la technique des équations intégrales (FIT, Finite Integration Technic). Cette méthode numérique offre une discrétisation de l'espace permettant la description directement en 3D de tous les composants des systèmes décrits, ce qui lui permet d'être appliqué à de nombreux problèmes électromagnétiques allant de la statique aux hyperfréquences en analyses temporelle et fréquentielle. De plus, contrairement à la plupart des logiciels de simulation électromagnétique, CST discrétise la forme intégrale des équations de Maxwell plutôt que leurs formes différentielles, et ce qui est l'une des caractéristiques clé de ce simulateur.

### III.3 Simulation et optimisation de l'antenne :

Pour dimensionner l'antenne patch carrée, d'abord le commencement par le calcul d'une largeur  $W$  initiale du patch puis la permittivité effective, ensuite l'extension de longueur  $\Delta L$  puis finalement la valeur de la longueur  $L$  du patch comme montre l'organigramme dans la figure ci-dessus. Cette démarche est répétée plusieurs fois en remplaçant la valeur de  $L$  obtenue dans l'expression de la permittivité effective à la place de  $W$  (patch carré). L'arrêt de la procédure quand les valeurs obtenues sont très proches et on obtient la dimension 'L' finale du côté de notre patch carré. Cette procédure est présentée sur l'organigramme dans la figure III.1 suivante.

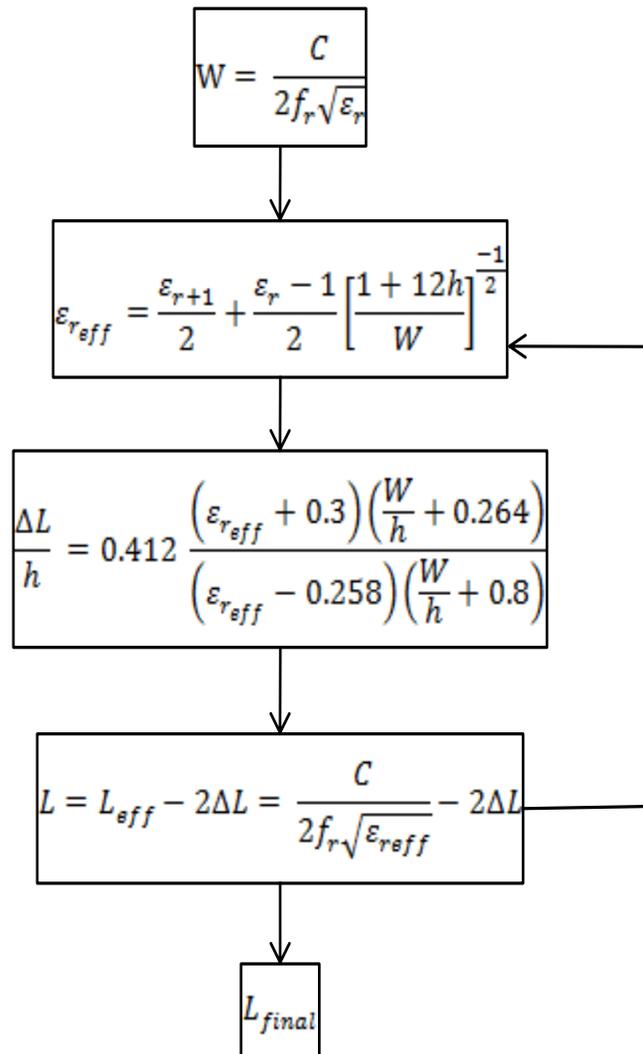


Figure III.1 : organigramme des équations de conception

### III.3.1 Calcul des paramètres géométriques de l'antenne:

On arrive à calculer les dimensions de l'antenne résonante à la fréquence de 1.227GHz avec l'organigramme introduit dans ce scripte python suivant dans la **figure III.2** :

```
h=1.6
er=4.3
c=(3)*((10)**(8))
fr=(1.575)*((10)**(9))
import math
w=(c/(2*fr*((er+1)/2)**(0.5)))*(1000)
ereff=((er+1)/2)+((er-1)/2)*(1+12*h/w)**(-0.5)
eff=c/(2*fr*((ereff)**(0.5)))
F1 = (ereff + 0.3)*(w/h+ 0.264)
F2 = (ereff - 0.258)*(w/h + 0.8)
dl = h*0.412*(F1 / F2)
l=(eff*1000)-(2*dl)
print('valeur première de w =',w,'mm')
print('valeur première de l =',l,'mm')
for i in range (0,4) :
    ereff=((er+1)/2)+((er-1)/2)*(1+(12*h)/l)**(-0.5)
    eff=c/(2*fr*((ereff)**(0.5)))
    F1 = (ereff + 0.3)*((w/h)+ 0.264)
    F2 = (ereff - 0.258)*((w/h) + 0.8)
    dl = (h*0.412)*(F1 / F2)
    l=((eff*1000)-(2*dl))-1.69
print('patch dimension =',l,'mm')
lg=6*h+l
print('ground dimension =',lg,'mm')
```

Figure III.2 : Script python pour calculer les dimensions de patch carré

Le tableau suivant montre les dimensions de l'antenne résonante à la fréquence de 1.227GHz

**Tableau III.2 : les dimensions de l'antenne résonante à 1.227GHz**

Dimensions fréquence	Patch	Substrat	Plan de masse
1.227 GHz	WP = LP = 58 mm Epaisseur=35μm	Epaisseur = 2 mm WS=LS=68.31	Epaisseur=35μm WG=LG=68.31mm

### III.4 Design et modélisation sur le logiciel CST :

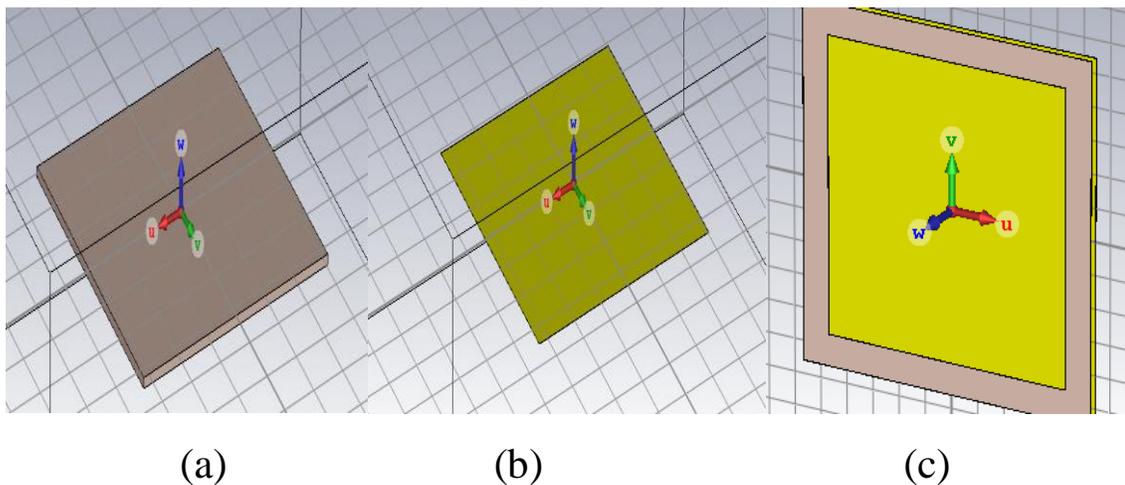
#### III.4.1 Antenne bi\_bande (1.227-1.575) GHz :

La première idée que nous avons suivie afin de réaliser une antenne patch bi-bandes à une seule couche a été d'abord d'avoir un rayonnement sur une 1ère fréquence (la plus basse à 1.227 GHz), puis en deuxième lieu effectuer des coupures (slots) sur le patch pour avoir le rayonnement sur la 2eme fréquence (la plus haute à 1.575 GHz).

#### Étape première :

Conception d'une antenne patch à une fréquence de : 1.227 GHz avec une bande de 20 MHz

La **figure III.3** montre le déroulement de la conception de l'antenne commençant par ajouter le plan de masse ensuite le substrat et l'élément rayonnant .



**Figure III. 3 : conception de patch et l'ajout de (a)plan de masse (b) substrat patch (c)**

- ce patch est alimenté par une ligne micro\_ruban positionnée au milieu : adapté à une impédance de  $50 \Omega$ , et un gap de 1 mm pour éviter l'apparition des résonnances indésirables, venant de l'augmentation de capacitance et l'inductance de ligne.
- calcule de la ligne micro\_ruban : après la sélection de dimensions de patch et de substrat, l'étape suivante est de déterminer l'emplacement de la ligne d'alimentation ( $y_0$ ,  $x_0$ ), les équations vues précédemment dans chapitre 2 sont introduits dans le software python sur la **figure III.4** pour arriver aux dimensions de la ligne d'alimentation montrées ci-dessus dans la **figure III.5**.

```

h=1.6
er=4.4
c=(3)*((10)**(8))
fr=(1.575)*((10)**(9))
import math
w=(c/(2*fr*((er+1)/2)**(0.5)))*(1000)
ereff=((er+1)/2)+((er-1)/2)*(1+12*h/w)**(-0.5)
eff=c/(2*fr*((ereff)**(0.5)))
F1 = (ereff + 0.3)*(w/h + 0.264)
F2 = (ereff - 0.258)*(w/h + 0.8)
dl = h*0.412*(F1 / F2)
l=(eff*1000)-(2*dl)
print("valeur première de w =",w,'mm')
print("valeur première de l =",l,'mm')
for i in range (0,4) :
    ereff=((er+1)/2)+((er-1)/2)*(1+(12*h)/l)**(-0.5)
    eff=c/(2*fr*((ereff)**(0.5)))
    F1 = (ereff + 0.3)*((w/h)+ 0.264)
    F2 = (ereff - 0.258)*((w/h) + 0.8)
    dl = (h*0.412)*(F1 / F2)
    l=((eff*1000)-(2*dl))-1.69
lg=l+9*h
rin=90*((er**2)/(er-1))*(l/w)
y0=(math.acos((50/rin)**(0.5)))*(l/3.14)
print('Rin =',rin,'Ω', 'feed line =',y0,'mm',)
print('y1 =',((lg-1)/2)+y0,'mm')

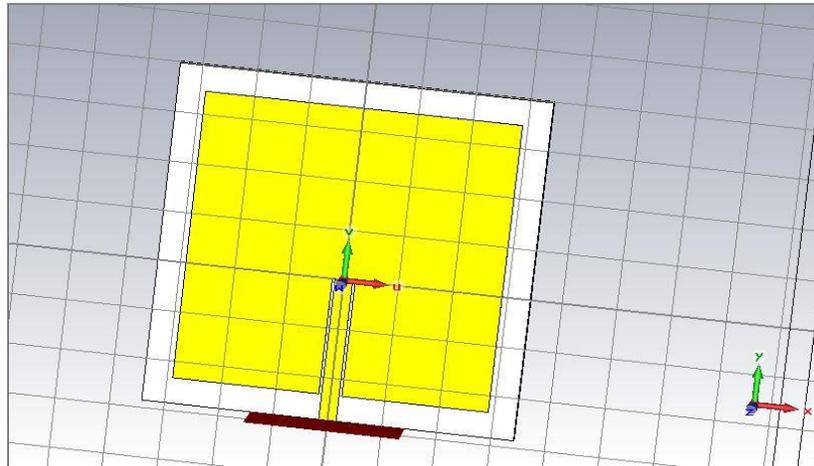
```

**Figure III.4 : Script python pour calculer la ligne d'alimentation**

**Tableau III. 3 : dimensions de ligne d'alimentation micro\_ruban**

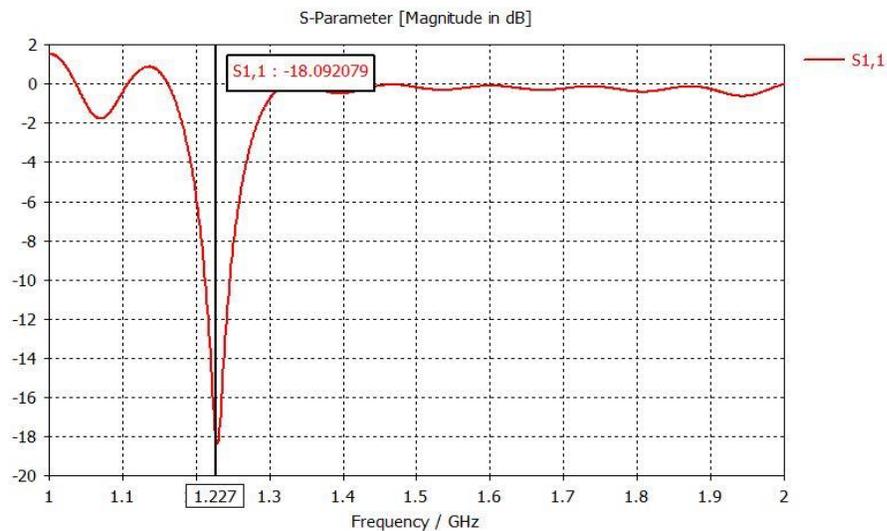
$y_0$	$x_0$	$w_0$ la largeur de la ligne
23,36 mm	Au milieu de patch	3.2 mm

- Après les calculs précédents effectués et introduits dans cst, nous sommes arrivés à une forme illustrée par la **Figure III.5** suivante :



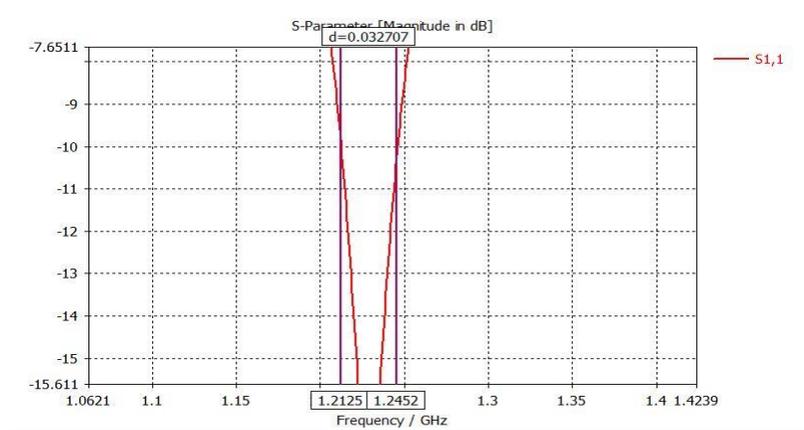
**Figure III.5: antenne micro\_ruban dimensionnée pour la fréquence 1.227GHz**

- Après la conception, nous avons simulé le fonctionnement de l'antenne en vérifiant le coefficient de réflexion en entrée  $S_{11}$ . Nous avons trouvé que notre antenne rayonne à la fréquence désirée (1.227GHz) dans la **Figure III.6** suivante :



**Figure III.6: Coefficient de réflexion à la résonance de 1.227 GHz**

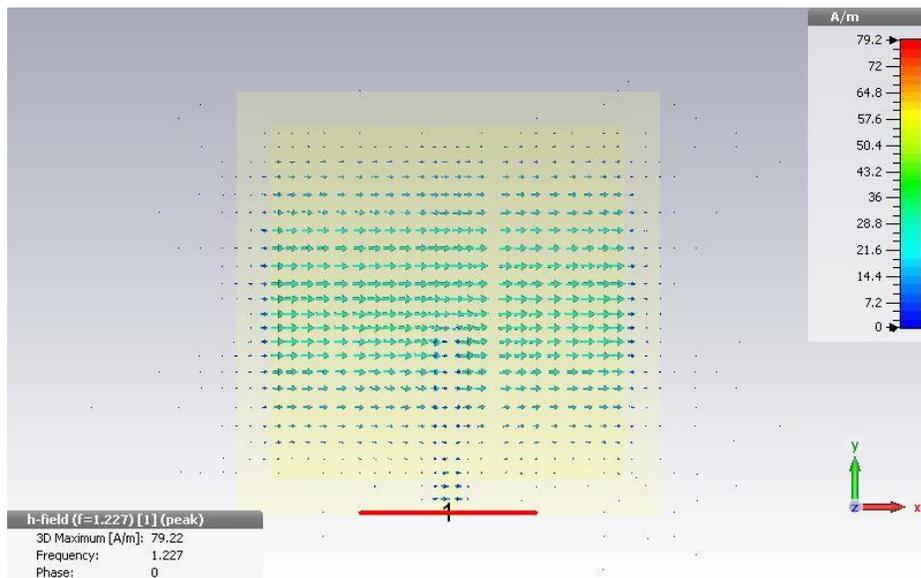
La bande de fréquence est vérifiée de 1.2125 GHz jusqu'à 1.2452GHz comme montre la **Figure III.7** suivante à une atténuation à -10 dB, une bande de 20MHz obtenue



**Figure III.7: Le résultat de bande de fréquence.**

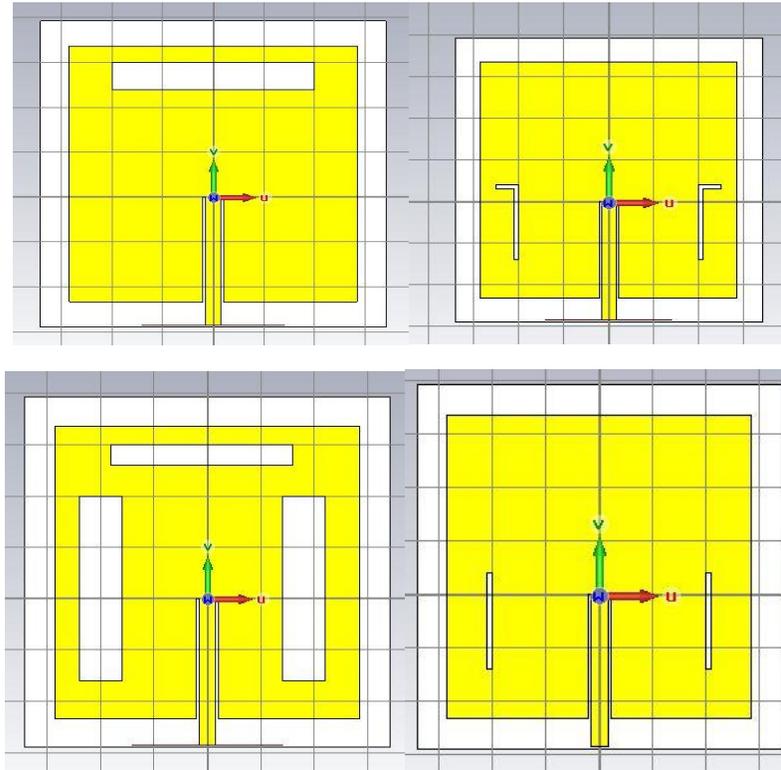
### Étape deuxième mettre les slots:

Il est possible d'obtenir une résonance sur deux fréquences en chargeant le patch métallique qu'avec des fentes. Le processus d'une fente est compatible avec la technologie de fabrication d'antenne. L'effet de chargement d'une fente est maximal lorsqu'il est inséré à l'emplacement du maximum de champ magnétique [2], la fonction de CST 2D results nous permet de voir le mouvement des lignes de champ magnétique comme montre la **Figure III.8**



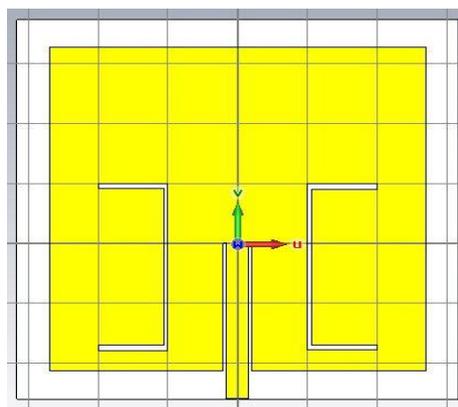
**Figure III.8: mouvement des lignes de champ magnétique**

- ❖ L'emplacement des slots est bien précis, ou il ne doit pas y avoir une interférence sur le mode de la première résonance, donc des essais de design illustrés à la **figure III.9** faites pour bien calibrer avec les deux fréquences.



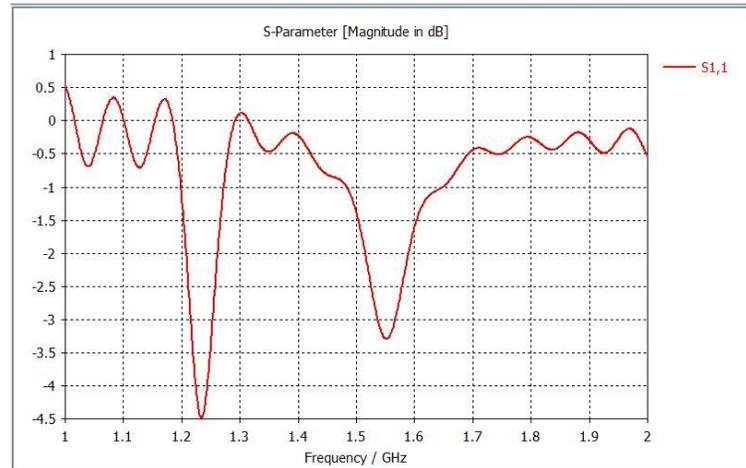
**La figure III.9 : essais de conception des slots**

Afin d'arriver à une forme montrée sur la **Figure III.10** dessus qui résonne aux deux fréquences (1.227GHz-1.575 GHz)



**Figure III.10 : l'emplacement des slots sur l'antenne bi\_bande (1.227-1.575GHz)**

Après avoir essayé plusieurs formes de slots sur le patch et les simuler, on arrive à une forme illustrée à la **figure III.9** précédente qui donne des résultats proche de ce qu'on voulait avoir (une bonne adaptation sur les deux résonances 1.227GHz -1.575 GHz inférieur à -10dB), mais ce n'est pas le cas , dans **Figure III.11** Montre une adaptation médiocre, vu que le positionnement des slots est délicat ce qui influence sur l'adaptation d'impédance d'antenne de première résonance ce qui ramène à trouver une solution pour Améliorer l'adaptation en changeant la technique d'alimentation par port SMA.



**Figure III.11: le Coefficient de réflexion d'antenne bi\_bande**

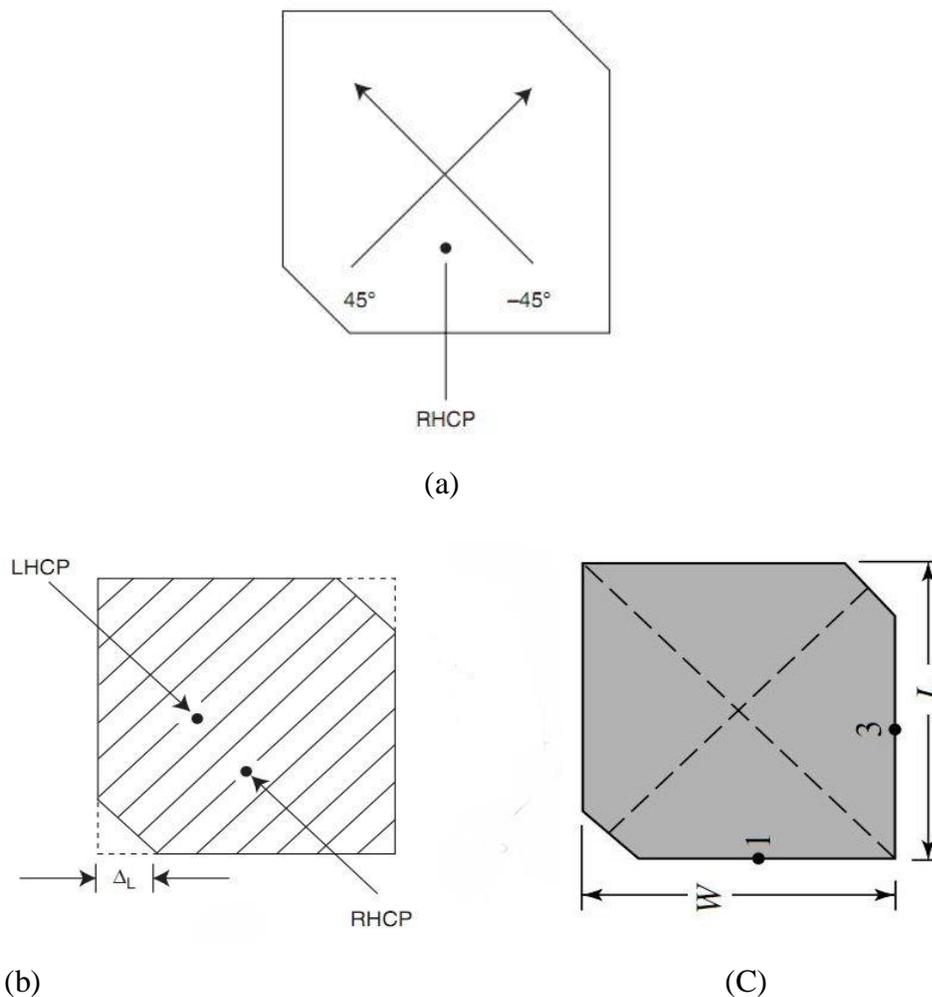
### III.4.2 Antenne micro\_ruban avec polarisation circulaire droite :

Les récepteurs GPS actuels fonctionnent à la fréquence L1 de 1575 MHz. Pour des applications telles que les systèmes d'arpentage, pour une précision de positionnement maximale, une antenne fonctionnant à la fois sur Les fréquences L1 L2 de 1575 et 1227 MHz. Bande Passante requis est d'environ 20 MHz sur les deux fréquences. Ces antennes utilisent généralement une antenne microruban polarisée circulairement. [2]

#### Troisième étape : la polarisation circulaire

La polarisation circulaire peut être obtenue si deux modes (TE) orthogonaux sont excités avec un déphasage de 90 ° entre eux, et Cela peut être accompli en ajustant les dimensions physiques du patch en coupant les extrémités sur le patch comme montre la **Figure III.12 [1]**.

Une autre spécificité pour le système GPS est l'orientation du champ polarisé circulairement, il doit être avec une polarisation droite ou RHCP (Right Hand Circular Polarisation). Pour satisfaire à cette exigence la technique est d'alimenter le patch au point comme montre à la **Figure III.12 (b)**.



**Figure III.12:** montre la façon de modifier les dimensions physiques de patch  
Et le choix de point d'alimentation (1 : polarisation droite, 3 : polarisation gauche)

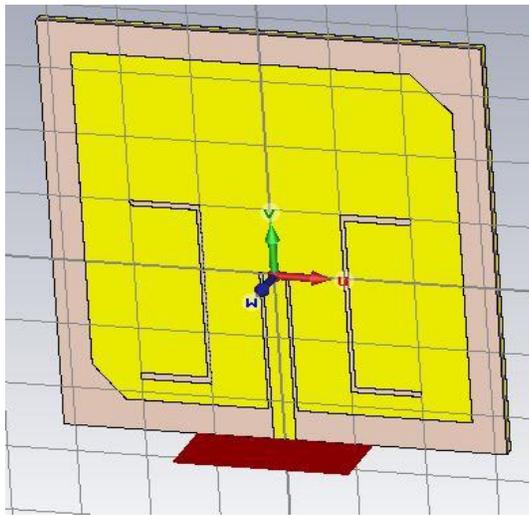
Les équations suivantes montrent les dimensions de coupure faites sur le patch

$$l = \frac{L}{\sqrt{Q}} \dots \dots \dots (III.4)$$

***l*** : La longueur coupée  
***L*** : longueur de patch  
***Q*** : facteur de qualité

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{1}{Q_t} \dots \dots \dots (III.5)$$

Après que les modifications sont faites sur CST on obtient à la forme montrée sur la **Figure III.13**.

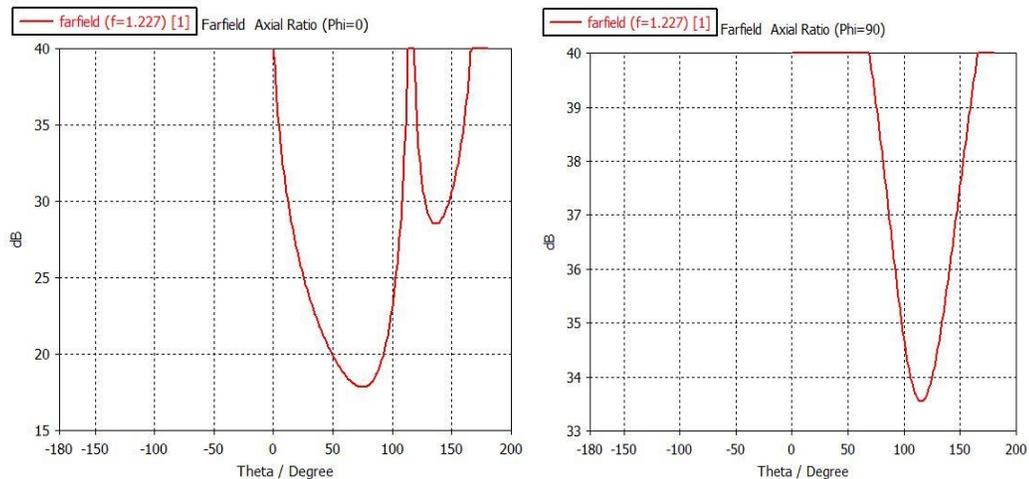


**Figure III.13 : patch coupé dans les extrémités**

Le paramètre qui indique la mise en place de la polarisation circulaire de l'antenne sur le logiciel CST est le rapport axial ou (Axial ratio), ce paramètre calcul le rapport entre l'amplitude du champ électrique E lointain généré par l'antenne sur deux axes orthogonaux.

Si ce paramètre est très grand cela indique que nous avons un champ E uniquement sur un seule axe cela signifie que la polarisation du champ est linéaire. En revanche si ce paramètre se rapproche de 1 (ou 0 dB) cela signifie que nous avons la présence d'un champ de même amplitude sur deux axes orthogonaux qui prouve que le champ E est circulaire.

Techniquement, il faut arriver à avoir un rapport axial environ de 3 dB sur toute la plage de l'ouverture angulaire de l'antenne entre ( $\theta = -70^\circ$  et  $70^\circ$ ) et cela sur deux bandes de fréquences



**Figure III.14 le rapport axial**

Ces deux courbes de **Figure III.14** montrent que le rapport axial entre ( $\theta = -70^\circ$  et  $70^\circ$ ) est très élevé, on conclue que les techniques utilisés précédemment, pour avoir les 2 résonances (les slots) et la ligne d'alimentation micro\_ruban influent sur le rapport axial,

Grace à cette première étude nous avons conclu qu'il été possible d'obtenir la résonance aux deux fréquences GPS (malgré avec une mauvaise adaptation) avec un seule patch en réalisant des coupures sur le patch. Par contre, il été très difficile d'obtenir un résultat satisfaisant sur la polarisation circulaire et cela simultanément sur les deux bandes car les slots réalisés sur le patch influencent sur la polarisation du champ sur les deux bandes au même temps, et influence même sur l'adaptation de ligne d'alimentation car au premier lieu nous avons eu une mauvaise adaptation.

Pour résoudre cette problématique nous avons adopté une nouvelle approche qui est de concevoir deux patchs distinct résonnant chacun dans une bande GPS avec comme objectif de vérifier cette fois la polarisation circulaire sur chacune des bandes et avoir aussi une bonne adaptation, ensuite de les combiner pour former une antenne à deux couches, et il faut changer aussi la technique d'alimentation de ligne micro\_ruban vers l'alimentation par port SMA.

### **III.5 Antenne I et II alimentées par sonde coaxiale à une seule fréquence :**

Pour assurer l'atteindre des objectifs finaux et aux besoins de cahier de charge, cette partie de travail est planifiée à concevoir chaque antenne indépendamment, commençant par la construction de première antenne à la première résonance (1.227GHz) et la deuxième antenne qui résonne sur la deuxième fréquence (1.575GHz) avec la polarisation circulaire droite, mais ces antennes sont équipées avec une alimentation par sonde coaxial , **la Figure III.15** ci-dessus est pour calculer le meilleur positionnement possible de point d'alimentation. Afin d'obtenir ces deux dernière il faut les combinées dans une seule antenne, le tableau III.4 suivant montre les dimensions de ces antennes :

**Tableau III.4 : les dimensions de l'antenne résonante à 1.227GHz**

Dimensions fréquence	Patch	Substrat	Plan de masse
1.227GHz à polarisation circulaire	WP=LP=55 mm Epaisseur=35µm	Epaisseur=2 mm WS=LS=80 mm	Epaisseur=35µm WG=LG=80 mm
1.575 GHz à polarisation circulaire	WP=LP=45 mm Epaisseur=35µm	Epaisseur=2 mm WS=LS=80 mm	Epaisseur=35µm WG=LG=80 mm

```

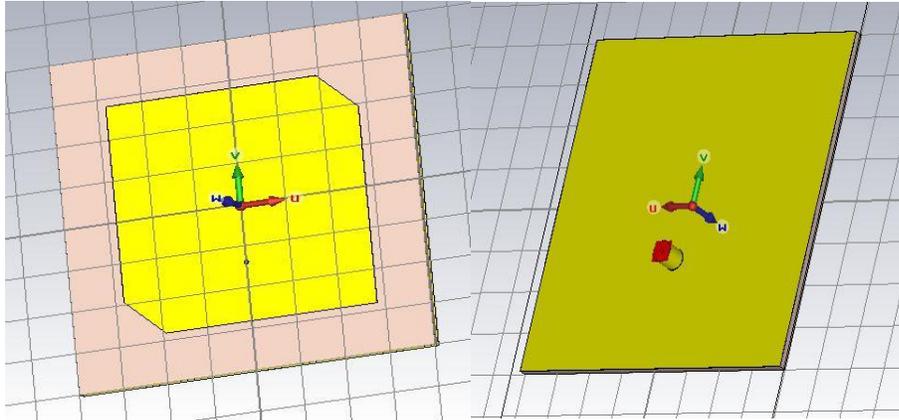
h=1.6
er=4.4
c=(3)*((10)**(8))
fr=(1.575)*((10)**(9))
import math
p=math.pi
w=(c/(2*fr*((er)**(0.5))))*(1000)
ereff=((er+1)/2)+((er-1)/2)*(1+12*h/w)**(-0.5)
eff=c/(2*fr*((ereff)**(0.5)))
F1 = (ereff + 0.3)*(w/h+ 0.264)
F2 = (ereff - 0.258)*(w/h + 0.8)
dl = h*0.412*(F1 / F2)
l=(eff*1000)-(2*dl)
λ=(c/(fr*(er)**(0.5)))*1000
λ0=(c/fr)*1000
k=(2*p)/λ0
u=((k*h)**2)/24
g=((w/(120*λ0))*(1-u))
b=0.01668*(dl/h)*(w/λ)*eff
r=1/(2*g)
x=(l/p)*math.asin(math.sqrt(50/r))
print(" feed point location x =",x,'mm')
print(" imput impedance r =",r,'Ω')

```

**Figure III.15 : Script python pour calculer (la position de la sonde coaxiale)**

#### Quatrième étape : Alimentation par sonde coaxial :

Après le calcul de positionnement de point alimentation et l'introduire dans le logiciel CST, la **Figure III.16** montre le positionnement de port SMA sur les deux antennes de 1.227 GHz et de 1.575 GHz ainsi les modifications en coupure sur les deux coins d'extrémités de leurs patch



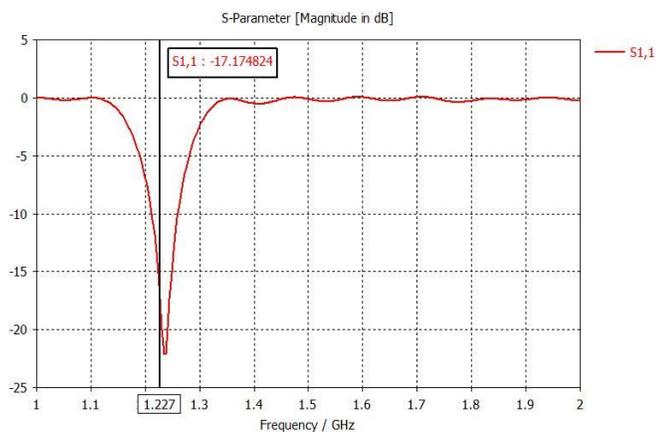
**Figure III.16:** Les coupures sur le patch qui est alimenté par un port SMA coaxial pour

- Résultats obtenus après l'utilisation d'alimentation par sonde coaxiale :

#### Pour l'antenne I 1.227 GHz :

Après la simulation on obtient les résultats suivants :

#### Adaptation :



**Figure III.17 :** coefficient de réflexion à 1.227 GHz

- Le coefficient de réflexion S11 simulé de l'antenne I est présenté à **Figure III.17**. On remarque une bonne adaptation avec une valeur de  $S_{11} = -17.17$  dB à la fréquence 1.227 GHz désirée.

- Après avoir une bonne adaptation à la résonance 1.227 GHz, ça reste à confirmer l'autre caractéristique qui est la polarisation circulaire en observant le rapport axial présenté dans les figures III.19, III.18.

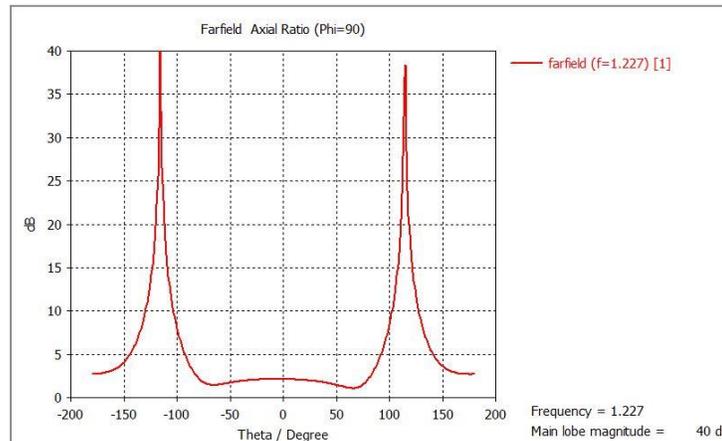


Figure III.18: Axial ratio de champ électrique lointain,  $\phi = 90^\circ$

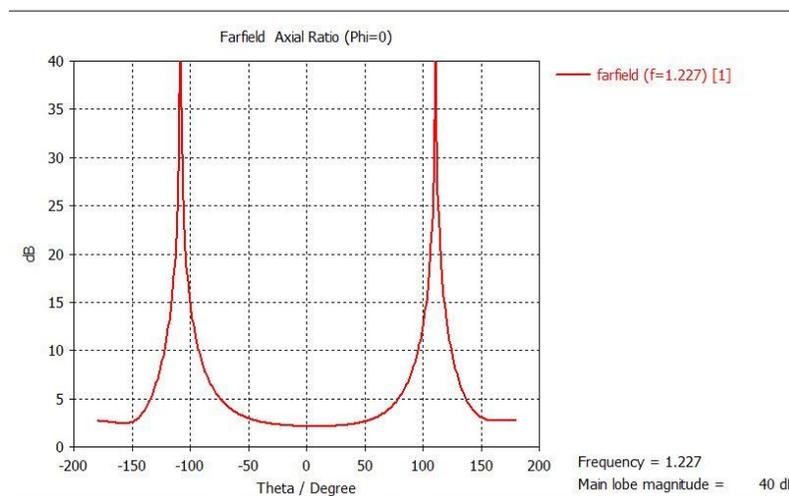


Figure III.19 : Axial ratio de champ électrique lointain,  $\phi = 0^\circ$

- Les deux figures III.18, III.19 précédentes présente le rapport axial simulé pour l'antenne I, avec deux valeurs de l'angle Phi ( $0^\circ$  et  $90^\circ$ ). On remarque que la valeur du rapport axiale est autour de 3 dB entre  $\Theta = -70^\circ$  et  $\Theta = +70^\circ$ . Ce qui valide la polarisation circulaire de l'antenne.

## Pour l'antenne II 1.575:

### Adaptation :

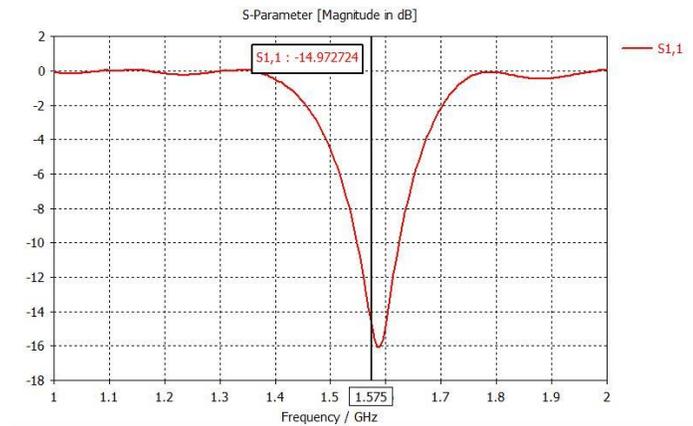


Figure III.20 : Le coefficient de réflexion à la résonance de 1.575 GHz

- Le coefficient de réflexion S11 simulé de l'antenne II est présenté à la figure III.20. On remarque une bonne adaptation avec une valeur de S11= -14.97 dB à la fréquence désirée.

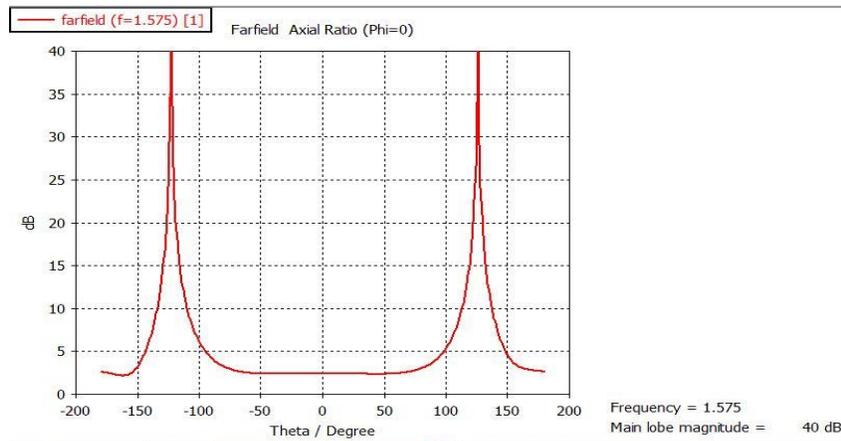


Figure III.21: Axial ratio de champ électrique lointain, phi = 0°

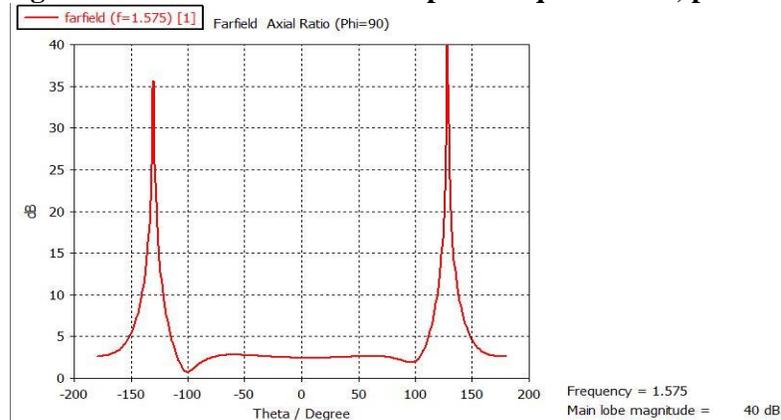


Figure III.22: Axial ratio de champ électrique lointain, phi = 90°

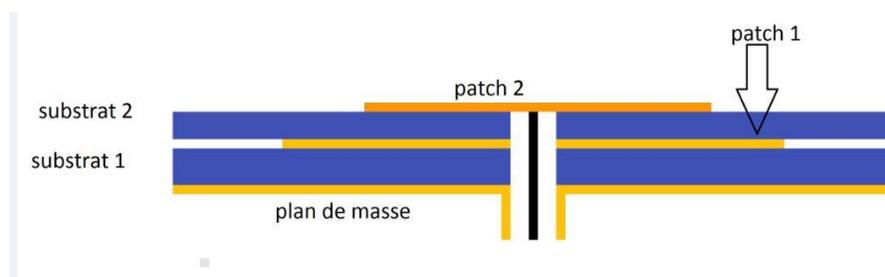
Les **figures III.21 et III.22** précédentes présentent le rapport axial simulé pour l'antenne **II**, avec deux valeurs de l'angle Phi ( $0^\circ$  et  $90^\circ$ ). On remarque que la valeur du rapport axiale est autour de 3 dB entre  $\Theta = -90^\circ$  et  $\Theta = +90^\circ$ . Ce qui est excellent pour la polarisation circulaire de l'antenne.

Après avoir simulé les deux antennes de façon indépendante et la vérification des résultats qui ont donnés de bonne performances d'antenne, ça reste à englober le travail précédant en combinant les deux antennes en une seule qui généralise les caractéristiques d'antenne GPS tel que la résonance bi\_bande et la polarisation circulaire droite.

### III.5.1 Antenne bi\_bande à 2 patches :

La prochaine étape est de généraliser le travail et regrouper toutes les caractéristiques précédentes dans une seule antenne qui pourra satisfaire les exigences que les récepteurs GPS demandent, l'antenne suivante résonne aux deux fréquences (1.227-1.575) GHz et polarisé circulairement droite et aussi équipée par une alimentation par un câble coaxial la position de point d'alimentation a été calculé pour une bonne performance possible comme montre la **Figure III.24**.

La **Figure III.23** montre que l'antenne se compose d'un plan de masse surmonté d'un premier patch avec un substrat de 3.2 mm, et d'un deuxième patch avec un substrat de 1.6 mm Les deux patches ont chacun deux extrémités opposées coupées pour avoir la polarisation circulaire et le tableau III.4 suivant montre les dimensions de l'antenne.



**Figure III.23 : montre la structure finale**

**Tableau III.4 : les dimensions de l'antenne résonante à 1.227GHz**

Structure finale	Couche superposée PATCH 1 :	Epaisseur=1.6 mm WS=LS=80 mm	Epaisseur=35 $\mu$ m WG=LG=80 mm
	Couche superposée PATCH 2 :	Epaisseur=3.2 mm WS=LS=80 mm	Epaisseur=35 $\mu$ m WG=LG=80 mm

La Figure III.24 suivante présente l'antenne à deux couches conçue sous le logiciel CST :

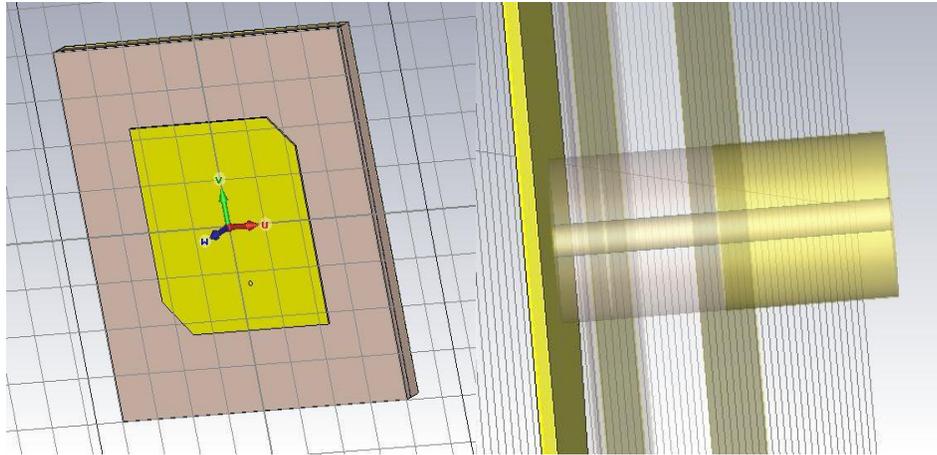


Figure III.24 : antenne à deux patchs sur CST

Résultats obtenus après la simulation :

Adaptation :

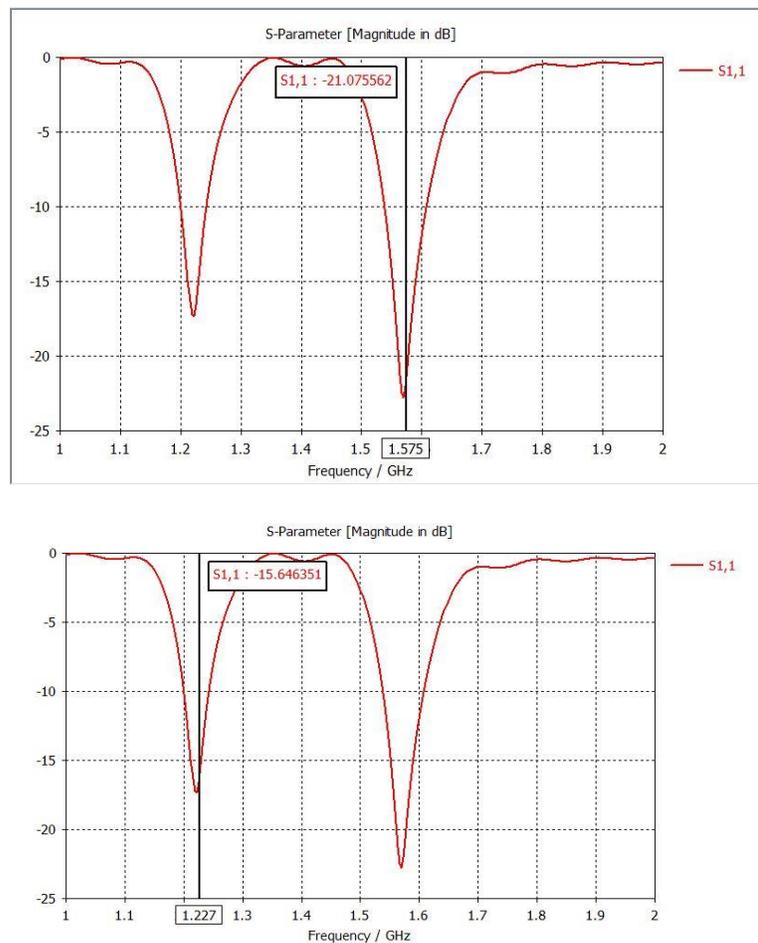
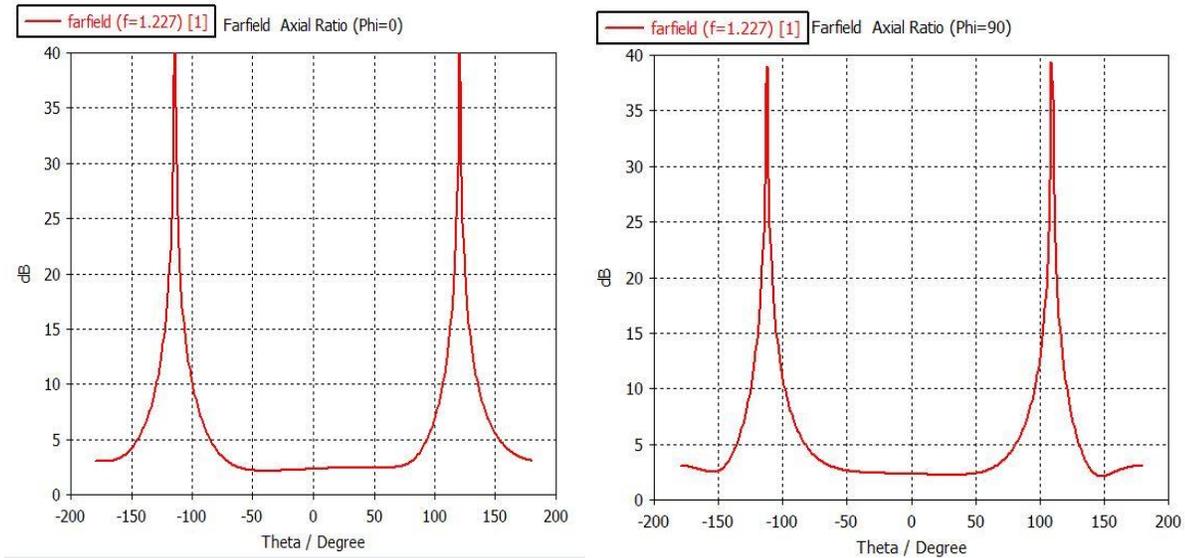


Figure III.25 : Coefficient de réflexion aux deux fréquences désirées (1.227- 1.575) GHz

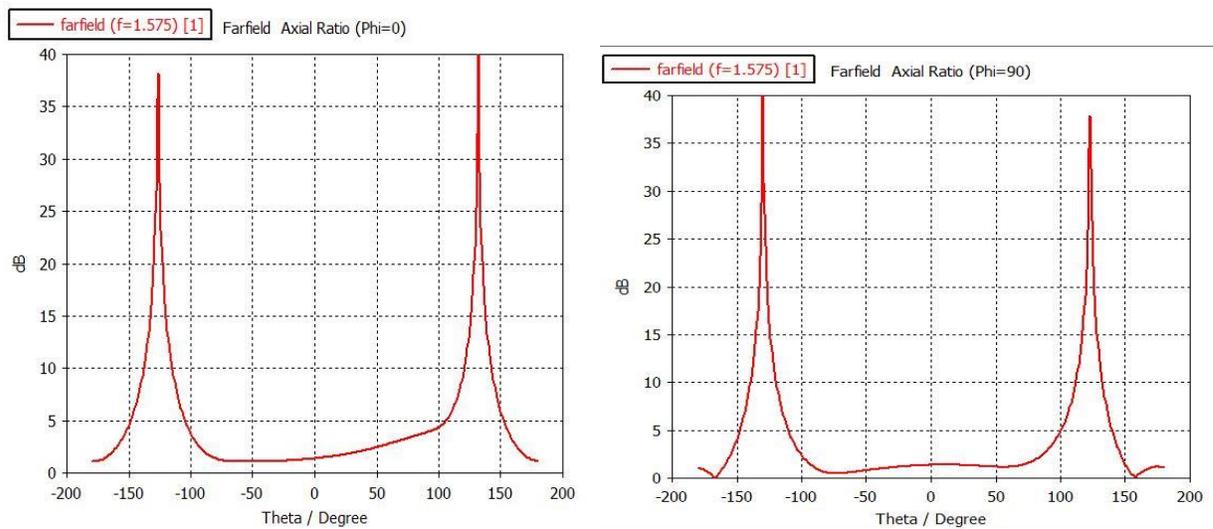
- Les résultats obtenus clarifient qu'une bonne adaptation avec des atténuations aux  $S_{11} = -15.64$  dB à la fréquence de 1.227 GHz et  $S_{11} = -21.07$  dB à la fréquence de 1.575 GHz

### Polarisation circulaire :



**Figure III.26 : Le rapport axial à la fréquence (1.227 GHz) et pour des valeurs de l'angle  $\phi = 0^\circ$  et  $90^\circ$**

On remarque que pour la fréquence  $f = 1.575$  GHz, la valeur du rapport axiale est autour de 3 dB entre  $\Theta = -70^\circ$  et  $\Theta = +70^\circ$ . Ce qui réalise la polarisation circulaire à cette fréquence aussi.



**Figure III.27 : montre le rapport axial à la fréquence (1.575 GHz) et pour des valeurs de l'angle  $\phi = 0^\circ$  et  $90^\circ$**

On remarque que pour la fréquence  $f = 1.227$  GHz, la valeur du rapport axiale Approche au 3 dB entre  $\Theta = -70^\circ$  et  $\Theta = +70^\circ$ . Ce qui réalise la polarisation circulaire à cette fréquence.

Les résultats obtenus pour les valeurs de rapport axial s'approchent à 3 dB pour des valeurs de  $\theta$  entre  $(-70^\circ \text{ à } +70^\circ)$  confirment que la polarisation circulaire est bien obtenue.

### Interprétation des résultats :

- La technique d'alimentation par la sonde coaxial SMA est très efficace quand on a une composition d'antenne très complexe, comme notre cas de travail, l'antenne qui est le résultat de 2 antennes patches combinées l'une sur l'autre et chaque une de deux résonne à sa fréquence indépendamment, mettre en considération la caractéristique de rayonnement qui est la polarisation circulaire droite, et vu la bonne adaptation illustrée dans les graphes de coefficient de réflexion précédents de **Figure III.25** on a à conclure que l'alimentation choisie est mieux que l'alimentation de la ligne micro\_ruban notamment sur les antennes complexe

### Gain de l'antenne :

Les figures suivantes montrent le gain réalisé pour les fréquences de travail (1.227 GHz-1.575 GHz)

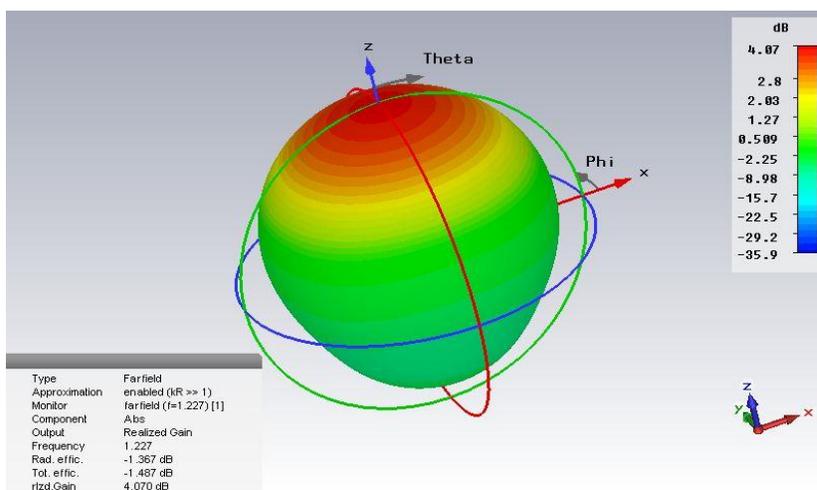


Figure III.28: montre le gain obtenu à la fréquence de 1.227 GHz

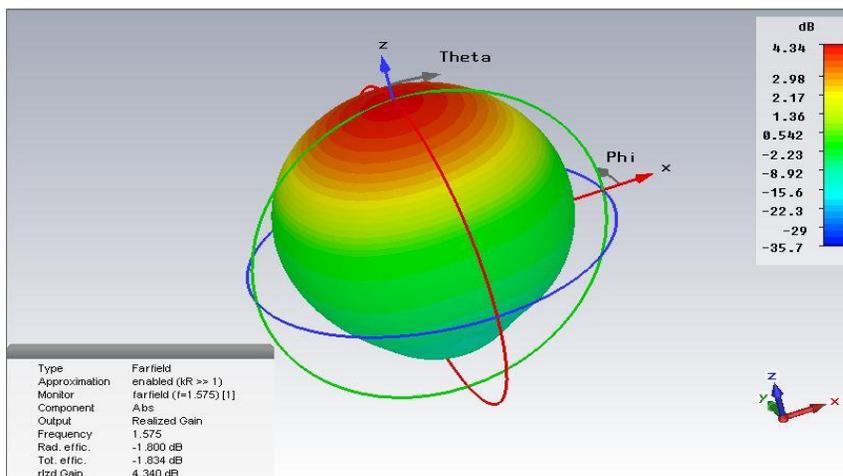
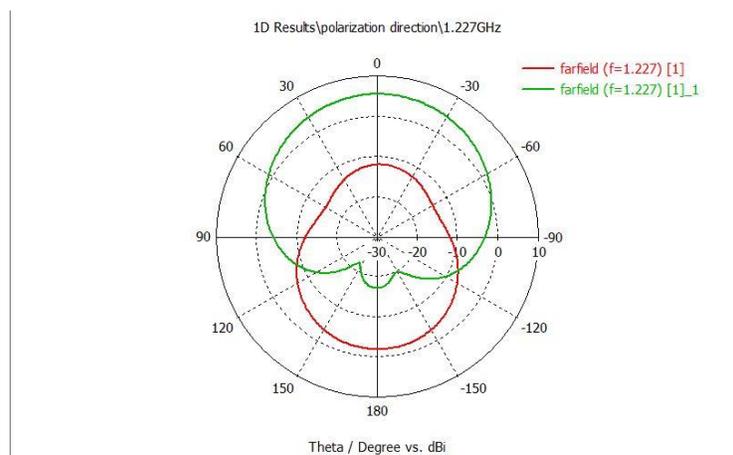


Figure III.29 : montre le gain obtenu à la fréquence de 1.575 GHz

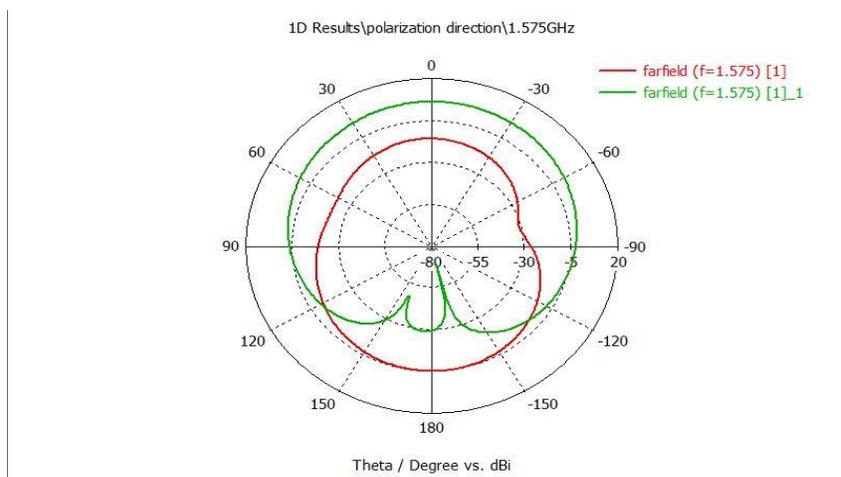
- Le gain obtenu à la fréquence de 1.227 GHz est de 4.07 dB et le gain obtenu à la fréquence de 1.227 GHz est de 4.07 dB ce qui est vraiment acceptable pour la réception extra-atmosphérique vu que les atténuations subit par la couche ionosphère en influent sur le signal d'émission.

### Polarisation circulaire droite (RHCP), direction de polarisation :

Une des caractéristiques des antennes GPS est la direction de la polarisation circulaire droite, dans l'étape précédente le rapport axial confirme l'obtention de la polarisation, donc ça reste à confirmer la direction de cette dernière par les gains de polarisation droite vs le gain de polarisation circulaire gauche, la direction de propagation est donné par le gain le plus élevé, la différence entre eux doit être supérieur à 10 dB pour confirmer la direction de polarisation.



**Figure III.30: Gain de polarisation gauche vs droite à la fréquence 1.227GHz**



**Figure III.31 : Gain de polarisation gauche vs droite à la fréquence 1.575 GHz**

Les figures III. 30 III.21 précédentes montrent la comparaison entre les gains de polarisation gauche qui est représenté en rouge vs droite qui est en vert, Nous remarquons que l'écart entre les deux gains est de

10 dB. Ce qui valide la direction de polarisation circulaire droite aux deux fréquences (1.227GHz - 1.575GHz)

### **III.6 Conclusion :**

ce chapitre consiste à modélisé une antenne patch qui sert à fonctionner pour les applications GPS, d'abord le commencement avec une antenne bi\_bande alimentée par une ligne micro\_ruban et des slots sur le patch qui résonne sur les deux fréquences, mais la polarisation circulaire n'était pas réalisée, ensuite deux antennes sont simulées équipées par une sonde coaxiale pour l'alimentation qui rayonnent sur les deux fréquences (1.227-1.575 GHz) respectivement et avec la polarisation circulaire réalisée, et l'antenne dernière englobe toutes les paramètres requises talque la résonance bi\_bande et la polarisation circulaire droite .

## Conclusion générale :

Dans ce mémoire, nous avons commencé par effectuer un état de l'art sur les différentes antennes de différentes spécifications et de caractéristiques, notamment sur les aéronefs dont l'antenne et le système GPS qui est un élément essentiel dans le système de géolocalisation, ses segment et quelque spécifiés technique

Cette antenne GPS présente des spécifications techniques comme les bandes de fréquences

$L1 = 1575 \pm 20$  MHz et  $L2 = 1227 \pm 20$  MHz et la polarisation circulaire droite sur ces deux bandes.

Nous avons par la suite abordé la théorie des antennes micro ruban qui est utilisable comme antenne GPS, avec notamment les techniques de dimensionnement d'une antenne patch rectangulaire et de son alimentation.

A partir de ces considérations théoriques, nous avons conçu une antenne bi-bandes à double polarisation circulaire couvrant les bandes GPS  $1227 \pm 20$  MHz et  $1575 \pm 20$  MHz.

L'antenne doit fournir une réception sur tout le champ de couverture du satellite tandis que le fonctionnent simultanément sur la même fréquence en bande L.

La théorie des patches microrubans est appliquée à la conception.

L'objectif de la conception est d'obtenir la forme et les performances souhaitées, compte tenu des contraintes de taille d'antenne.

Les performances de l'antenne sont prédites grâce à l'utilisation d'un logiciel de simulation informatique CST basé sur la théorie de l'électromagnétisme et les résultats sont tracés dans une série de graphes qui démontrent les limites de la conception proposée.

La simulation de 4 structures d'antennes patch nous a permis de fixer la structure de l'antenne à réaliser qui est formée de deux patches superposés le matériel de substrat est considéré en termes de poids et de performances.

## **bibliographie :**

- [1] Constantine A. Balanis { Antenna Theory: Analysis and Design } April 1982
- [2] R. Garg { Microstrip Antenna Design Handbook (Artech House Antennas and Propagation Library) }
- [3] 'Thomas A. Milligan { Modern Antenna Design } 1985
- [4] Randy Bancro { Microstrip and Printed Antenna Design } 2004
- [5] B. Hofmann-Wellenhof, Herbert Lichtenegger { Global Positioning System: Theory and Practice }  
1992
- [6] Ahmed El-Rabbany { Introduction to GPS: The Global Positioning System } 2002
- [7] Slot antenna theory [disponible en ligne]  
[https://www.tutorialspoint.com/antenna\\_theory/antenna\\_theory\\_slot.htm](https://www.tutorialspoint.com/antenna_theory/antenna_theory_slot.htm)
- [8] D. G. Fang Antenna { Theory and Microstrip Antennas } 2006
- [9] Boussaha soumia (contribution à l'étude et à la modélisation des antennes imprimées rectangulaire  
application aux systèmes de communication) Université 8 Mai 1945 Guelma
- [10] Théorie des antennes.[disponible en ligne] <http://www.antenna-theory.com/> / 2020
- [11] Théorie des antennes. [disponible en ligne] [https://www.tutorialspoint.com/antenna\\_theory](https://www.tutorialspoint.com/antenna_theory) ;  
2019
- [12] INSTRUMENTS DE RADIONAVIGATION [disponible en ligne]  
<https://www.thaitechnics.com/nav/> ; date de dernier mise à jour / 2020
- [13] INSTRUMENTS DE RADIONAVIGATION [disponible en ligne]  
<https://www.lavionnaire.fr/> ; date de dernier mise à jour / 2020
- [14] GPS antenna characteristics [available online ]<https://www.bodet-time.com/fr/support/base-documentaire/antennes-gps-et-radio.html>

## RÉSUMÉ :

L'antenne est un élément important dans le domaine de la communication pour émettre et recevoir des informations sous la forme d'ondes électromagnétiques, elle est également utilisée dans plusieurs domaines tels que les systèmes de détection, de satellites et d'avions de surveillance, des réseaux de communications et GPS et de communications par satellite.

La conception des antennes utilisant le logiciel CST Studio Suite se base essentiellement sur la variation de la forme de l'antenne et de son matériau conducteur, la nature et l'épaisseur du substrat afin d'avoir une structure qui résonne dans les fréquences désirées pour des applications précises.

L'objectif de notre travail est d'étudier et de concevoir une antenne patch bi-bandes qui rayonne sur deux fréquences du système GPS et ayant des caractéristiques satisfaisantes du point de vue coefficient de réflexion, gain, et rayonnement en utilisant le logiciel CST.

## الملخص :

الهوائي مهم جدًا في أنظمة الاتصالات لإرسال واستقبال المعلومات المختلفة في شكل موجات كهرومغناطيسية ؛ يتم استخدامه بشكل عام في العديد من المجالات المتنوعة مثل أنظمة الكشف والأقمار الصناعية والطائرات وشبكات الاتصالات ونظام GPS.

على شكل اختلاف الهوائي ، والمواد المستخدمة ، وسمك الركيزة ، للحصول CST Studio Suite يعتمد تصميم الهوائي باستخدام برنامج. أخيرًا على هيكل ينعكس في التردد المطلوب لتطبيقات محددة.

CST باستخدام برنامج GPS الهدف من هذا المشروع هو دراسة وتصميم هوائي مزدوج النطاق صغير النطاق مناسب لتطبيقات

## ABSTRACT:

The antenna is very important in communication systems to send and receive different information in electromagnetic waves form; it's used generally in many variant fields such as detection systems, satellites and aircrafts, communication networks and GPS system.

The design of an antenna using the CST Studio Suite software is based on the antenna's variation form, the used materials, and the thickness of the substrate, to finally get a structure which reflects in the desired frequency for specific applications. The aim of this project is to study and design a dual band micro-strip antenna suitable for GPS applications using CST software.