



N° d'ordre:  
N° de série:



**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la**  
**Recherche Scientifique**

**Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued**  
**Faculté de Sciences et de La Technologies**  
**Filière: Génie Electrique**

**Mémoire de fin d'étude**

Présenté pour l'obtention du diplôme de

**MASTER ACADEMIQUE**

**En: Télécommunication**

**Spécialité: Systèmes de télécommunication**

**Par: Mansouri Hatem , Guermani Salem , et Touil Lakhdar**

**Thème**

**Conception d'une antenne patch bi bande 28  
GHz et 38 GHz pour des applications 5G.**

**Devant le jury composé de:**

<b>Dr. GHENDIR Said</b>	<b>MCA</b>	<b>Président</b>
<b>Dr. HIMA Abdelkadder</b>	<b>MCA</b>	<b>Examineur</b>
<b>Dr. KHELIL Abdelatif</b>	<b>MCA</b>	<b>Encadreur</b>

**2022-2023**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ  
مَنْ كَانَ عَدُوًّا لِلَّهِ فَجَاءَهُ بِبُرْهَانٍ  
فَأُتِيَ بِهِ فَعَدَلَ بِهِ كَمَا أُتِيَ بِنُوحٍ  
وَإِبْرَاهِيمَ إِذْ جَاءَهُمَا بِالْبُرْهَانِ  
فَعَدَلُوا بِهِمَا فَاتَّخَذَ الْكُفْرَانُ  
الْحُكْمَ فَكُنَّا لِيَوْمِئِذٍ شَاقِقِينَ  
غَافِقِينَ إِذْ جَاءَهُمُ الْبُرْهَانُ  
فَعَدَلُوا بِهِمْ فَاتَّخَذَ الْكُفْرَانُ  
الْحُكْمَ فَكُنَّا لِيَوْمِئِذٍ شَاقِقِينَ  
غَافِقِينَ

١٤٣٨ هـ



# *Dédicace*

*Au propriétaire d'une biographie parfumée et d'une  
pensée éclairée ;*

*Ils ont été les premiers à être crédités de notre  
obtention de l'enseignement supérieur*

*Nos chers parents, que Dieu leur donne longue vie.*

*A celui qui nous a mis sur le chemin de la vie et nous  
a apaisés,*

*Elle a pris soin de nous jusqu'à ce que nous  
devenions vieux*

*Nos chères mamans, que Dieu les bénisse.*

*A nos frères et sœurs et à tous nos amis*

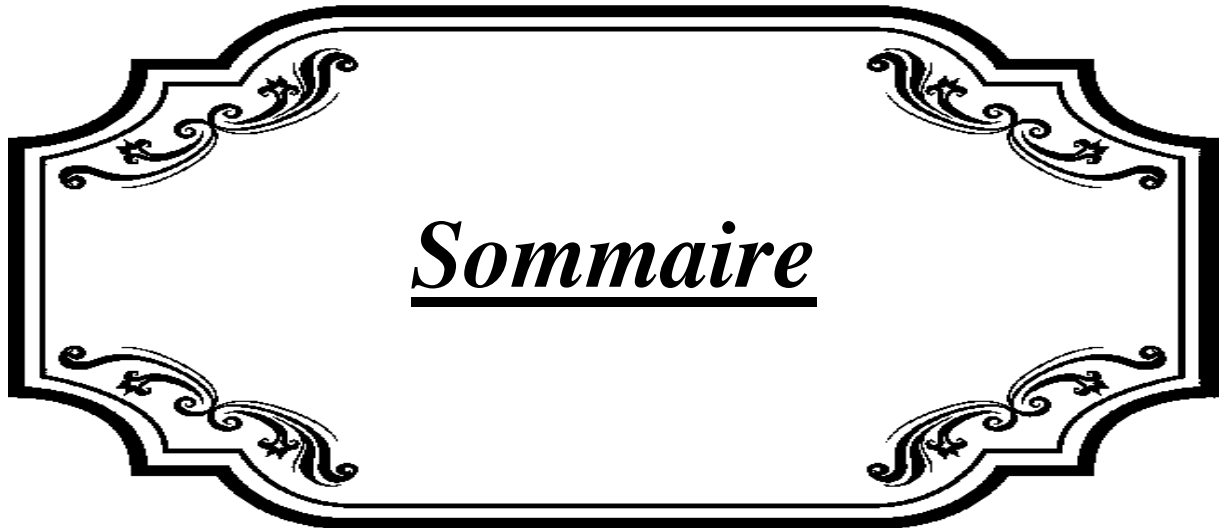
*A tous nos honorables professeurs ;  
Qui n'a pas hésité à nous tendre la main*

*je te dédie cette recherche*



## *Remerciements*

*Tout d'abord nous remercions Dieu pour la plus grande miséricorde de nous avoir permis de présenter ce projet sous la meilleure forme que nous voulions être, nous tenons à remercier notre superviseur de ce projet, le Dr Khalil Abdelatif pour son aide précieuse et conseils pour sortir de ce projet. Nous remercions nos professeurs qui nous ont fourni toutes les connaissances. Surtout, nous sommes tous reconnaissants envers nos familles pour leur amour, leur aide, leur soutien et leurs encouragements sans fin. Et à nos amis pour leur compréhension et leur soutien pour nous permettre de mener à bien ce projet.*



***Sommaire***

## Sommaire

	page
<b>Dédicace</b>	
<b>Remerciements</b>	
<b>Sommaire</b>	<b>i</b>
<b>Listes des symboles et abréviations</b>	<b>vii</b>
<b>Introduction générale</b>	<b>01</b>
<b>Chapitre II : Généralités sur les Antennes</b>	
I.1. Introduction	<b>04</b>
I.2. La bande de transmission.	<b>04</b>
I.3. Définition d'une antenne	<b>05</b>
I.4. Principes théoriques pour l'étude des antennes	<b>05</b>
I.4.1. Onde électromagnétique	<b>06</b>
I.4.2. Interaction onde/ antenne	<b>06</b>
I.4.3. Equations de maxwell	<b>07</b>
I.4.4. Potentiels électromagnétique	<b>07</b>
I.4.5. Les différentes zones de rayonnement	<b>07</b>
I.5. Caractéristiques générales d'une antenne	<b>08</b>
I.5.1. Diagramme de rayonnement	<b>08</b>
I.5.2. Angle d'ouverture	<b>09</b>
I.5.3. Ouverture rayonnante et Rendement	<b>09</b>
I.5.4. Directivité	<b>09</b>
I.5.5. Le gain	<b>10</b>
I.5.6. Polarisation	<b>10</b>
I.5.7. Coefficient de réflexion	<b>10</b>
I.6. Différents types d'antennes	<b>10</b>
I.6.1. Antenne boucle	<b>10</b>
I.6.2. Antennes à ouverture	<b>11</b>
I.6.3. Antenne cornet	<b>13</b>
I.6.4. Antennesdièdres	<b>13</b>
I.6.5. Antennes plaques micro ruban	<b>14</b>
I.7. Principe Réseaud'antennes	<b>14</b>
I.8. Différents domaines d'utilisation des antennes	<b>15</b>

I.8.1. Les systèmes de communications	15
I.8.2. Télévision et radiodiffusion FM	16
I.8.3. Les radars	16
I.8.4. La télédétection	16
I.8.5. La radioastronomie	16
I.9. Conclusion	17
<b>Chapitre II: Concepts généraux des antennes patch</b>	
II.1. Introduction	19
II.2. Définition d'antenne patch	19
II.3. Types d'antennes patch	20
II.4. Principe de fonctionnement	21
II.5. Techniques d'alimentation de l'antenne patch	22
II.5.1. Alimentation directe (par contacte)	23
II.5.2. Alimentation par proximité	24
II.6. Avantages et inconvénients d'une antenne patch	24
II.8. Conclusion	25
<b>Chapitre III: Présentation de logiciel HFSS</b>	
III.1. Introduction:	27
III.2. Présentation du logiciel Ansoft HFSS	27
III.2.1. La méthode des éléments finis (FEM)	27
III.2.2. Un projet en HFSS	27
II.2.3. Comment démarrer HFSS	29
II.2.4. Comment ouvrir un nouveau projet	29
II.2.5. Sauvegarder le projet	30
II.2.6. Insérer une conception de HFSS	30
III.3. Choix de type de solution	30
II.4. L'Arrangement des Unités du Modèle de Mesure	31
III.5. Créer le substrat	31
III.6. Création du Patch (l'élément rayonnant) et la ligne micro-strip d'alimentation (Feed Line)	33
III.7. Assigner une excitation au port d'alimentation	35
III.8. Ajouter le champ de fréquence (Add Fréquence Sweep)	37
III.9. Analyse	37
II.10. Créer les rapports	38

III.11. Conclusion	<b>39</b>
<b>Chapitre IV: Résultats et discussions</b>	
IV.1. Introduction	<b>41</b>
IV.2. Conception d'une antenne patch	<b>41</b>
IV.3. Conception d'une antenne patch sans fente	<b>42</b>
IV.3.1. La géométrie de l'antenne patch sans fente dans l'environnement de simulation	<b>43</b>
IV.3.2. Résultats de simulation de l'antenne patch sans fente	<b>44</b>
IV.4. Conception d'une antenne patch à fente de forme H	<b>45</b>
IV.4.1. La géométrie de l'antenne à fente H dans l'environnement de simulation	<b>46</b>
IV.4.2. Résultats de simulation de l'antenne patch à fente H	<b>46</b>
IV.5. Conclusion	<b>49</b>
<b>Conclusion générale</b>	<b>51</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>53</b>
<b>Résumé</b>	<b>55</b>

## Liste des figures

Figure	Page
<b>Chapitre I : Généralités sur les Antennes</b>	
Figure I.1: Densités de courant de surface électriques et magnétiques équivalentes d'une antenne dipôle	<b>04</b>
Figure I.2: onde électromagnétique	<b>06</b>
Figure 3.1: Diagramme de rayonnement bidimensionnel en coordonnées cartésiennes	<b>09</b>
Figure I.4: Différentes formes d'antennes	<b>11</b>
Figure I.5 : Exemple d'une boucle résonante	<b>12</b>
Figure I.6 : Exemples d'antennes à ouverture	<b>13</b>
Figure I.7 : Exemples d'antennes dièdres	<b>13</b>
Figure I.8 : Antenne plaquée	<b>14</b>
Figure I.9 : principe d'un réseau d'antenne.	<b>15</b>
<b>Chapitre II: Concepts généraux des antennes patch</b>	
Figure II.1 : Structure d'une antenne imprimée.	<b>20</b>
Figure II.2 : les formes les plus courantes d'antennes patch	<b>21</b>
Figure II.3 : Rayonnement d'une antenne patch.	<b>22</b>
Figure II.4 : Alimentation par une ligne micro ruban	<b>23</b>
Figure II.5:Alimentation par une sonde coaxiale.	<b>23</b>
Figure II.6:Couplage à ouverture (fente) dans le plan de masse.	<b>24</b>
<b>Chapitre III: Présentation de logiciel HFSS</b>	
Figure III.1:Organigramme des différentes étapes d'un design HFSS	<b>28</b>
Figure III.2:La fenêtre principale du logiciel HFSS.	<b>29</b>
Figure III.3:Fenêtre de HFSS.	<b>30</b>
Figure III.4 : Boîte de dialogue du Type de Solution.	<b>31</b>
Figure III.5 : Boîte de dialogue des Unités de Modèle.	<b>31</b>
Figure III.6 : Le Substrat diélectrique.	<b>33</b>
Figure III.7 : Le plan de masse	<b>33</b>
Figure III.8 : LaCréation du Patch	<b>34</b>
Figure III.9: représente le patch et la ligne d'alimentation représentant un seul objet	<b>35</b>
Figure III.10 : Le patch et la ligne d'alimentation.	<b>35</b>
Figure III.11 : Lumped port.	<b>36</b>

<b>Chapitre IV: Résultats et discussions</b>	
Figure IV.1 : Géométrie de l'antenne patch sans fente.	<b>42</b>
Figure IV.2 Environnement de simulation de l'antenne patch sans fente.	<b>43</b>
Figure IV.3 Return Loss en fonction de la fréquence de l'antenne 28 GHz.	<b>44</b>
Figure IV.4 Diagramme de rayonnement d'antenne patch sans fente.	<b>44</b>
Figure IV. 5 Antenne patch à fente de forme-H.	<b>45</b>
Figure IV.6 Environnement de simulation de l'antenne à fente de forme H.	<b>46</b>
Figure IV.7 Return Loss en fonction de la fréquence de l'antenne patch à fente de forme H.	<b>47</b>
Figure IV.8 Diagramme de rayonnement de l'antenne à fente en forme H à 28 GHz.	<b>47</b>
Figure IV.9 Diagramme de rayonnement de l'antenne à fente en forme H à 38 GHz.	<b>47</b>
Figure IV.10 Effet de l'augmentation du paramètre d sur la fente de forme H.	<b>48</b>
Figure IV.11 Effet de l'augmentation du paramètre ww sur la fente de forme H.	<b>48</b>

### **Liste de tableau**

<b>Tableau</b>	<b>Page</b>
Tableau IV.1. Paramètres de l'antenne patch sans fente.	<b>43</b>
Tableau IV.02: Paramètres de l'antenne patch	<b>45</b>



*Introduction générale*

## **Introduction générale**

La technologie 5G est en train de révolutionner le paysage des communications sans fil en offrant des vitesses de transmission de données ultra-rapides et une latence réduite. Au cœur de cette révolution se trouve la conception d'antennes adaptées aux exigences spécifiques de la connectivité 5G. Dans ce mémoire, nous nous concentrons sur la conception d'une antenne 5G utilisant le logiciel HFSS (High-Frequency Structural Simulator). Le mémoire est divisé en quatre chapitres, chacun abordant des aspects clés de la conception d'antennes 5G par HFSS.

Le Chapitre 1 jettera d'abord les bases en présentant des généralités sur les antennes. Nous examinerons les principes fondamentaux des antennes, leurs différentes classifications et les caractéristiques clés à prendre en compte lors de la conception d'une antenne pour les applications 5G. Comprendre ces concepts de base est essentiel pour développer une base solide pour la conception ultérieure.

Le Chapitre 2 se concentrera sur l'antenne patch, l'une des architectures les plus couramment utilisées pour les antennes 5G. Nous explorerons les caractéristiques de l'antenne patch, ses avantages et ses limitations. Nous étudierons également les techniques de conception avancées, telles que l'optimisation de la taille, la sélection du substrat et la structure des éléments rayonnants, pour améliorer les performances de l'antenne patch.

Le Chapitre 3 introduira le simulateur HFSS comme un outil puissant pour la modélisation et la simulation des antennes. Nous examinerons en détail les fonctionnalités et les capacités de HFSS, ainsi que les étapes impliquées dans la création d'un modèle d'antenne 5G.

Enfin, le Chapitre 4 mettra en œuvre les connaissances acquises dans les chapitres précédents pour concevoir une antenne patch double bande fonctionnant à 28 GHz et 38 GHz. Nous détaillerons les étapes de conception, y compris la modélisation de l'antenne, l'optimisation des paramètres et l'évaluation des performances en utilisant HFSS. L'objectif est de concevoir une antenne efficace capable de fournir des performances optimales dans les bandes de fréquences clés de la 5G.

Ce mémoire vise à explorer la conception d'une antenne 5G par HFSS en se concentrant sur l'antenne patch et en utilisant un exemple concret d'une antenne double bande. La

conception réussie de cette antenne contribuera à l'amélioration de la connectivité 5G en offrant des performances optimales dans les bandes de fréquences cruciales, ouvrant ainsi la voie à de nouvelles avancées dans le domaine des communications sans fil à haut débit et faible latence.



Chapitre I:  
Généralités sur les Antennes

## I.1. Introduction:

Dans ce chapitre, nous explorerons les généralités sur les antennes, jetant ainsi les bases nécessaires pour comprendre les concepts clés liés à leur conception et à leur fonctionnement. Les antennes jouent un rôle fondamental dans les systèmes de communication sans fil en permettant la transmission et la réception des signaux électromagnétiques. Comprendre les principes de base des antennes est essentiel pour concevoir des systèmes de communication efficaces et optimisés. Dans ce contexte, ce chapitre offre une vue d'ensemble des concepts essentiels des antennes, notamment leur classification, les paramètres de performance importants et les principales architectures utilisées.

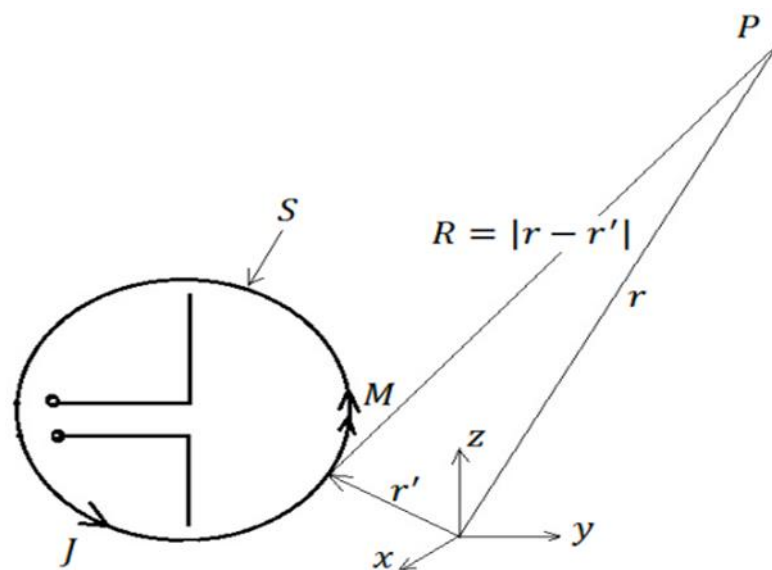


Figure I.1: Densités de courant de surface électriques et magnétiques équivalentes d'une antenne dipôle

## I.2. La bande de transmission.

Il existe de nombreux modèles dans lesquels les impulsions fonctionnent. Parmi eux [1] :

- Ondes kilométriques (30KHz-300KHz) et hectométriques (300KHz-3MHz) pour la radiodiffusion à modulation d'amplitude ou les liaisons avec les sous-marins,
- Ondes décamétriques (3MHz-30MHz) pour les liaisons radio intercontinentale sou maritimes,
- Ondes métriques (30MHz-300MHz) pour la radiodiffusion à modulation de fréquence, la télévision, la radionavigation,

- Ondes décimétriques (300MHz-3GHz) pour la télévision, le radar, les liaisons avec les mobiles,
- Ondes centimétriques (3GHz-30GHz) pour les liaisons terrestres par faisceaux hertziens, les liaisons spatiales avec les satellites artificiel ou les sondes spatiales ainsi que pour la radiodiffusion, la télédétection par satellites artificiels, etc.,
- Ondes millimétriques (30GHz-300GHz) pour la radioastronomie et certains radars de plus elle est utilisée en raison de l'encombrement du domaine des radiofréquences et hyperfréquences.

**La bande 60 GHz offre de nombre us avantages dont :**

- Une bande gratuite offre de (5 à 7 GHz) de bande passante.
- Supporte les communications et les transmissions de données à haut débit.
- Peut accueillir tous les types de communication sans fil de courte portée.
- Diminution de la taille et du poids des composants recherchés grâce à la petite taille de sa longueur d'onde.

**I.3. Définition d'une antenne :**

Nous définissons une antenne comme un dispositif transducteur d'énergie conçu pour émettre ou recevoir des ondes électromagnétiques. En d'autres termes, les antennes convertissent les ondes électromagnétiques en courants électroniques et inversement. Les antennes sont utilisées dans des systèmes tels que la radiodiffusion, la télévision et l'exploration spatiale. Les antennes fonctionnent généralement dans les airs et dans l'espace, mais elles peuvent également être utilisées sous l'eau ou même sous le sol et les rochers pour obtenir une fréquence à courte distance.

Les antennes sont utilisées pour rayonner le champ électromagnétique dans l'espace ou pour le capter [2].

**I.4. Principes théoriques pour l'étude des antennes :**

**I.4.1. Onde électromagnétique:**

Nous savons que les phénomènes électromagnétiques les plus importants des technologies modernes, notamment ceux liés aux télécommunications, sont ceux liés à la génération, la propagation et la réception des ondes électromagnétiques. Qui n'est plus le

mystérieux rayonnement observé par Heinrich Hertz.

Pour la première fois dans son laboratoire, Karlsruhe, Allemagne, en 1887, dont l'existence a été prédite par James Maxwell dans ses fameuses équations pour l'électromagnétisme (1865).

Ainsi, l'onde électromagnétique est la propagation de champs électriques et magnétiques qui varient dans le temps et dans l'espace et à la vitesse de la lumière. Il se distingue par sa longueur d'onde.

L'onde électromagnétique est composée de :

- d'un champ électrique  $\vec{E}$ .
- d'un champ magnétique  $\vec{H}$ .
- Orthogonaux et transverses (perpendiculaires à la direction de propagation). [3]

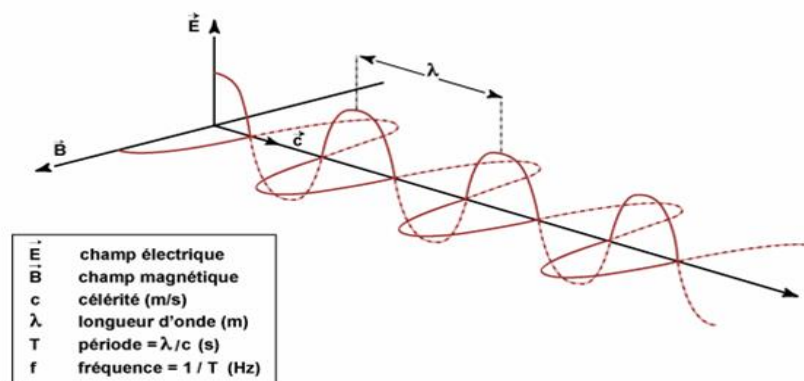


Figure.2 : Onde électromagnétique

#### I.4.2. Interaction onde/antenne :

Une onde électromagnétique se propageant dans l'espace peut être produite par :

- ❖ Des courants.
- ❖ Une ouverture dans un volume où règne un champ électromagnétique. [2]

### **1.4.3. Equations de maxwell :**

Fondée au siècle dernier par James Clark Maxwell (1876), ce sont les lois fondamentales de la physique, qui sont au nombre de quatre (Maxwell Gauss, Maxwell Faraday, Maxwell Flux et Maxwell Ampère). Toutes ces équations se rapportent à l'électromagnétisme, et plus précisément à la description des phénomènes magnétiques, électriques et lumineux.

Variations des grandeurs électromagnétiques (E, D, H, B) en tout point  $M(x, y, z)$  de l'espace.

Les variations en fonction des coordonnées s'expriment par l'intermédiaire des opérateurs différentiels, rotationnels, et divergence.

### **1.4.4. Potentiels électromagnétique**

L'antenne représente une source du champ électromagnétique. Dans de nombreux domaines de la physique, reposant sur la résolution d'équations aux dérivées partielles, il est d'usage de passer par des fonctions auxiliaires appelées potentiels. Pour la résolution des équations de Maxwell deux cas apparaissent :

- Potentiel vecteur, appelé aussi potentiel magnétique.
- Potentiel scalaire, appelé aussi potentiel électrique.

La dérivation vectorielle de ces potentiels conduit aux champs électriques et magnétiques [2].

### **1.4.5. Les différentes zones de rayonnement :**

a) Zone de Rayleigh (zone proche) : Les termes inductifs et électrostatiques sont perpendiculaires au voisinage immédiat de l'antenne. Il y'a accumulation d'énergie électrique et magnétique, les champs vectoriels varient peu en fonction de la distance mais ils sont très complexes a analyser.

b) Zone de Fresnel : Cette zone se situe au delà de la zone proche, l'expression du champ dans cette zone est très complexe et le calcul est difficile. C'est une zone qu'on essaie d'éviter au maximum.

c) Zone de Fraunhofer (zone au champ lointain) : Cette zone apparait après la zone de

Fresnel qui s'étend jusqu'à l'infini. Dans cette zone, on peut considérer que les ondes sont planes, les champs sont perpendiculaires à la direction de propagation [3].

### **I.5. Caractéristiques générales d'une antenne:**

Les caractéristiques de l'antenne sont spécifiées par rapport à une source de référence, qui est une source ponctuelle qui rayonne sa puissance d'alimentation de manière similaire dans toutes les directions qui constituent la source de référence idéale [5]. La puissance rayonnée par unité d'angle solide dans une direction définie par les deux angles  $(\theta, \varphi)$  s'écrit:

$$P_0(\theta, \varphi) = \frac{P_a}{4\pi} \quad (\text{I.1})$$

Où  $P_a$  est la puissance d'alimentation.

#### **1.5.1. Diagramme de rayonnement:**

Le diagramme de rayonnement d'une antenne présente les variations de la puissance rayonnée par unité d'angle solide dans les différentes directions de l'espace. En dehors du cas des antennes omnidirectionnelles dans certains plans, les antennes ne rayonnent pas leurs puissances de façon uniforme dans toutes les directions de l'espace.

Il y a généralement une direction de rayonnement maximale autour de laquelle se trouve concentrée une grande partie de la puissance rayonnée et des directions secondaires autour desquelles se répartit la fraction de la puissance restante.

La fonction caractéristique de rayonnement  $F(\theta, \varphi)$  de l'antenne permet d'avoir une vision globale du rayonnement. Elle est définie comme étant le rapport de la puissance transmise dans une direction donnée  $P(\theta, \varphi)$  à la puissance  $P_{max}$  de la direction où le rayonnement est maximal [4].

#### **1.5.2. Angle d'ouverture:**

L'angle d'ouverture est défini comme l'angle entre les deux directions du lobe principal, et est égal à la puissance rayonnée par la moitié de la puissance rayonnée dans la direction du rayonnement maximal. La figure I.3 suivante montre un exemple d'affichage d'un diagramme de rayonnement en coordonnées cartésiennes

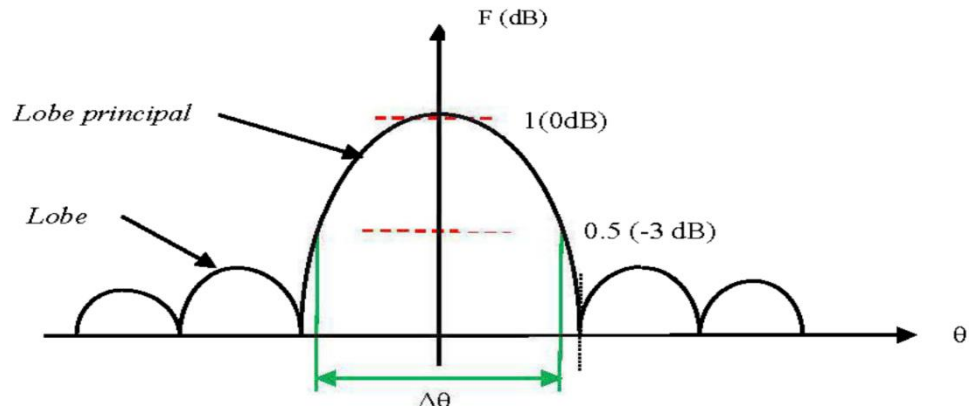


Figure I.3: Diagramme de rayonnement bidimensionnel en coordonnées cartésiennes

L'angle  $\Delta\theta$  présenté sur ce diagramme est l'angle d'ouverture, lorsque l'antenne présente un lobe principal assez fin, la plus grande partie de la puissance rayonnée est à l'intérieur des deux directions à (-3dB). Donc l'angle d'ouverture nous donne une idée assez précise sur la finesse du lobe et la qualité du rayonnement [6].

### 1.5.3. Ouverture rayonnante et Rendement

L'ouverture rayonnante d'une antenne est la surface géométrique rayonnante de cette antenne. C'est aussi la surface qui capte l'énergie des ondes électromagnétiques transmises. La puissance rayonnée par l'antenne est généralement différente de la puissance d'alimentation de l'antenne. On définit alors le rendement d'une antenne comme étant le rapport entre la puissance totale  $P$  qu'elle rayonne et la puissance d'alimentation  $P_a$  de cette antenne [6].

$$n = \frac{P}{P_a} \quad (\text{I.2})$$

### 1.5.4. Directivité

La directivité d'une antenne est le rapport de la puissance rayonnée par unité d'angle solide dans la direction  $(\theta, \varphi)$  à la puissance que rayonnerait la source isotrope de référence par unité d'angle solide pour une même puissance totale rayonnée [6].

$$D(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{P(\theta, \varphi)}{n P_a} \quad (\text{I.3})$$

La directivité indique dans quelles directions la densité de puissance est meilleure ou moins bonne que celle de l'antenne isotrope.

### **1.5.5. Le gain :**

Il est égale à la puissance rayonnée pr sur la puissance d'alimentation  $P_a$ .

Il dépend de sa directivité, c'est le rapport entre a puissance rayonnante dans le lobe principal et la puissance rayonnée par une antenne de référence [7].

### **1.5.6. Polarisation :**

La polarisation d'une antenne est la polarisation de l'onde électromagnétique qu'elle émet dans la direction de rayonnement maximum. Elle est la direction du champ électrique [6].

### **1.5.7. Coefficient de réflexion :**

De manière général lorsqu'une onde incident change de milieu de propagation, une partie de cette onde est réfléchié et l'autre partie et transmise dans l'autre milieu.

Le coefficient de réflexion d'une antenne se définit comme étant le rapport des amplitudes des ondes incidentes sur les ondes réfléchiés [8].

## **I.6. Différents types d'antennes:**

Afin de comprendre le principe et comment se produit la conversion entre la puissance dirigée et la puissance rayonnée, nous allons montrer des exemples d'antennes courantes utilisées dans les communications.

Nous savons que les antennes et les boucles filaires sont les antennes les plus courantes car ce sont les plus simples et les moins chères, leurs performances sont parfois limitées et une conception plus complexe des éléments rayonnants est nécessaire pour un meilleur gain et une bande passante plus large.

En conséquence, nous avons classé ces antennes comme suit [4] :

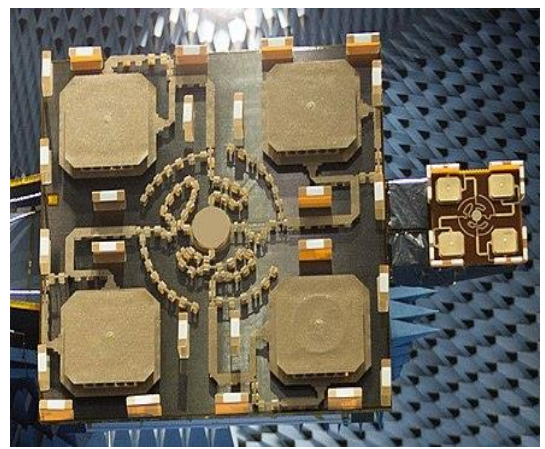
- **Les formes ou géométries:**
  - Antennes filaires: dipôle, boucle, spirale
  - Antennes à ouverture: cornet, fente
  - Antennes imprimées: patch, dipôle imprimé, spirale
  
- **Le gain:**
  - Gain élevé : planaire
  - Gain moyen : cornet
  - Gain bas : dipôle, fente, patch

- **La forme de faisceau :**
  - Omnidirectionnelle : dipôle
  - Faisceau étroit : planaire
  - Faisceau large : antenne réseau
- **La largeur de bande :**
  - Bande large : spirale
  - Bande étroite : patch, fente

A travers ces nombreuses classifications d'antennes, nous en présentons quelques images dans (la figure I.4).



(a) Antenne filaire



(b) Réseau d'antenne imprimée



(c) Antenne cornet



(d) Antenne à fente

Figure I.4: Différentes formes d'antennes [4].

### I.6.1. Antenne boucle:

On désigne sous le nom d'antenne boucle deux types d'antennes très différentes [9]:

- Une antenne dont les dimensions sont très petites devant la longueur d'onde, utilisée pour des fréquences basses, pour lesquelles il n'est pas possible d'augmenter les dimensions.

L'antenne est constituée d'une ou plusieurs spires, accordées par un condensateur. On trouve ce type d'antenne sur les RFID en fréquences basses, sur les systèmes antivol à absorption, sur les télécommandes UHF de très petites dimensions (clés de voitures, etc.).

Dans la figure suivante, nous montrons un exemple d'une boucle résonante

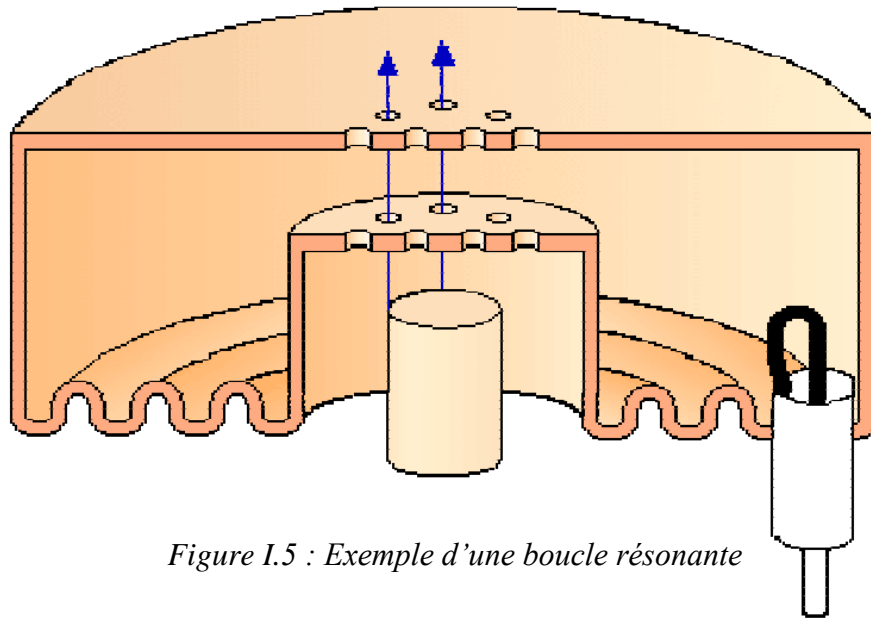


Figure I.5 : Exemple d'une boucle résonante

### I.6.2. Antennes à ouverture [10]:

Il peut être considéré comme un dispositif à l'interface entre l'énergie électromagnétique dirigée et l'énergie électromagnétique rayonnée, et l'une des idées les plus courantes pour réaliser cette interface est d'ouvrir un trou dans le guide d'ondes, soit en faisant un ou plusieurs trous, soit en le laissant ouvert à son extrémité. Cette dernière solution conduit généralement à une rupture de résistance entre propagation dirigée et propagation en espace libre, et la transition est facilitée par un évasement progressif des bords du guide, aboutissant à terme à une antenne cornet.

En fait, de nombreuses antennes peuvent être similaires aux antennes à ouverture, y compris par exemple les antennes réfléchissantes (Figure. I.6).

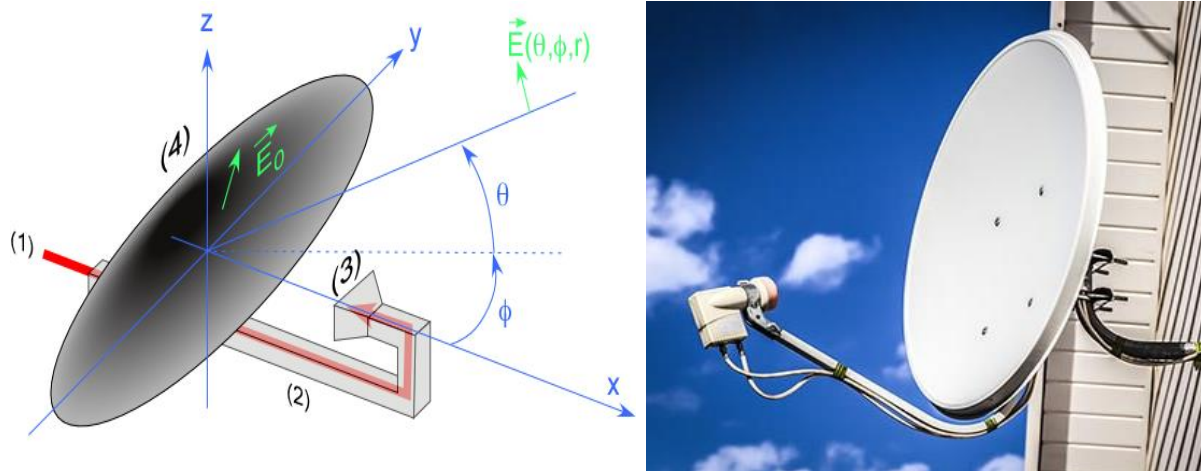


Figure I.6 : Exemples d'antennes à ouverture

### I.6.3. Antenne cornet:

Sa qualité de transmission est excellente. Sa forme permet de passer graduellement des dimensions du guide d'onde à l'espace libre. L'onde est ainsi naturellement projetée dans l'espace libre.

### I.6.4. Antennes dièdres:

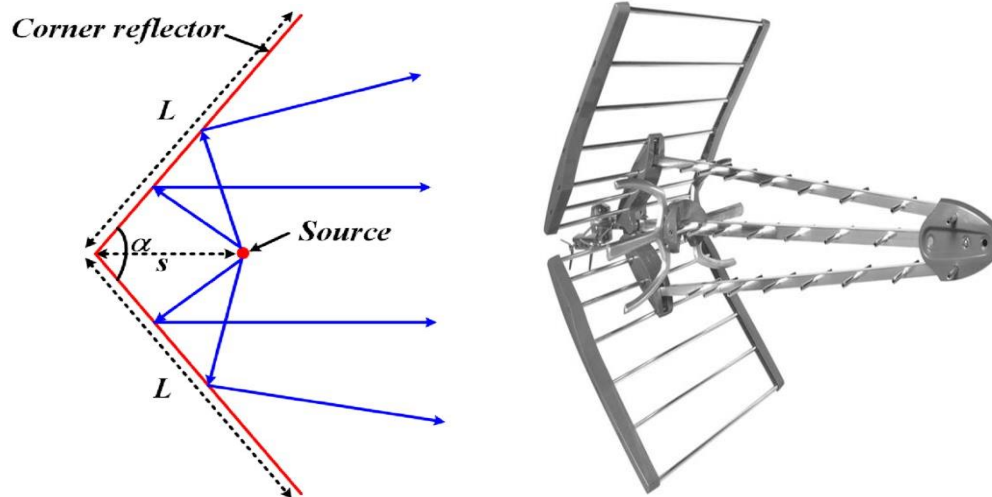


Figure I.7 : Exemples d'antennes dièdres

L'antenne dièdre est constituée d'un dipôle demi-onde qui est placé devant un réflecteur composé de deux écrans identiques qui le forment. Et selon les dimensions de ce réflecteur, le gain peut atteindre des valeurs élevées, ce qui est très intéressant pour les fréquences les plus élevées, notamment dans la bande UHF.

### I.6.5. Antennes plaques micro ruban:

Les antennes plaquées micro ruban ont une structure physique dérivée des lignes de transmission micro ruban. On utilise diverses terminologies pour désigner ce type d'antennes:

- Antenne plaquée,
- Antenne imprimée,
- Antenne patch.

L'antenne consiste en une très fine pellicule de métal, un substrat diélectrique et un plan de masse conducteur. Le patch peut avoir une forme quelconque. Toutefois, les géométries les plus utilisées sont : rectangulaires, circulaires, triangulaires, annulaires.

On les trouve dans les émetteurs-récepteurs portables de radiocommunications, dans les récepteurs GPS, ... etc [11].

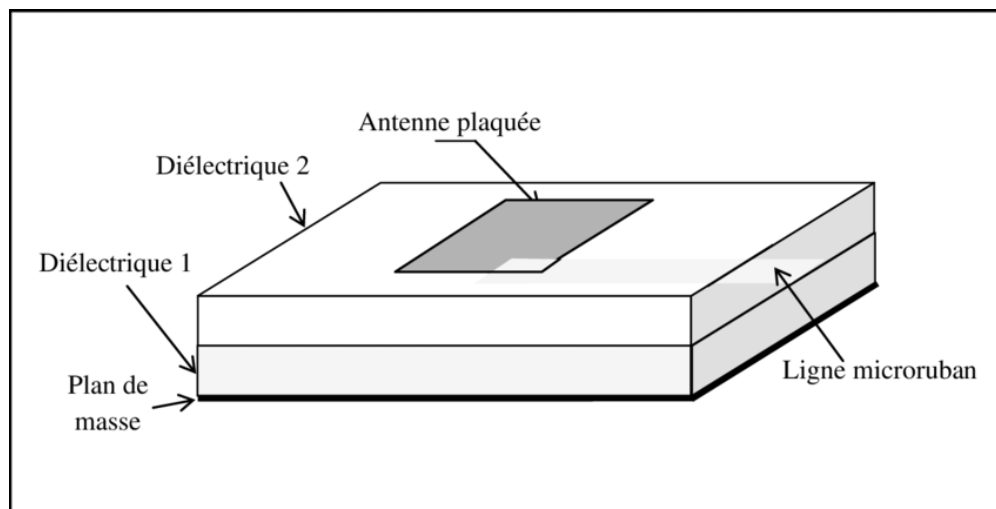


Figure I.8 : Antenne plaquée

### I.7. Principe Réseau d'antennes :

Il s'agit d'un ensemble d'antennes radio séparées alimentées de manière synchrone. C'est-à-dire que le déphasage actuel entre deux paires d'antennes est constant. Le réseau peut comprendre des éléments qui ne sont pas alimentés directement par la source (éléments parasites), mais par le champ produit par le reste des éléments (c'est le cas des antennes Yagi-Uda). Le champ électromagnétique généré par le réseau d'antennes est une somme vectorielle des champs produits par chacun des éléments. En choisissant l'espacement approprié entre les éléments et la phase du courant circulant dans chaque élément, la directivité du réseau peut être modifiée grâce à des interférences constructives dans certaines directions et destructrices dans d'autres.

Certaines applications nécessitent des caractéristiques radioélectriques (directivité par exemple) impossible à obtenir à l'aide d'un seul élément d'antenne. Une association adéquate d'éléments rayonnants (pas nécessairement identiques) permet d'augmenter la directivité dans des directions désirées et de la diminuer dans d'autres [11].

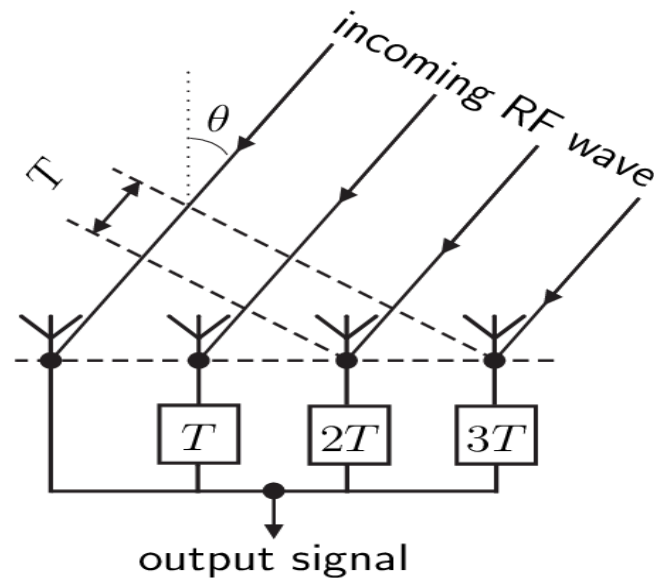


Figure I.9 : principe d'un réseau d'antenne.

## I.8. Différents domaines d'utilisation des antennes :

### I.8.1. Les systèmes de communications :

Les communications représentent un domaine très vaste dans lequel les systèmes utilisent des antennes de formes variées. Au début des télécommunications, il paraissait extraordinaire de transmettre la voix. On est ensuite passé à la transmission de données. Ensuite, grâce au développement, des technologies sans fil ont permis la transmission d'internet. Pour cela les types d'antennes ont beaucoup évolué dans chaque domaine d'applications. par exemple celui des antennes de terminaux mobiles qui sont passées en très peu de temps d'antennes filaires rectilignes aux antennes patch, en satisfaisant des contraintes comme une diminution de taille et à une esthétique imposée par le marché grand public.

Les antennes n'utilisent qu'une partie du spectre électromagnétique qui est appelé spectre radiofréquence (spectre des fréquences radioélectrique) qui s'étend approximativement de 1KHZ à 300GHZ.

Ce spectre est très étendu, il est utilisé dans de nombreuses applications qui sont différentes en fonction de la fréquence et sont généralement relatives à un domaine de fréquences particulier.

### **I.8.2. Télévision et radiodiffusion FM :**

Les bandes de fréquences utilisées pour la télévision et la radiodiffusion FM occupent une grande partie du spectre VHF et UHF.

Il existe de nombreuses antennes utilisées aussi bien pour la transmission que la réception. Cependant, le respect de certaines caractéristiques et notamment l'adaptation de l'antenne à l'amplificateur est obligatoire pour la conception des antennes utilisées en transmission.

### **I.8.3. Les radars :**

Le radar est une technique de détection et de mesure de position d'objets réfléchissant les ondes électromagnétiques. Les caractéristiques d'antennes radar sont étroitement liées aux capacités de couvertures, c'est-à-dire la capacité à discerner deux cibles proches.

### **I.8.4. La télédétection :**

La télédétection est par définition le domaine qui consiste à détecter à distance. Les applications dans ce domaine sont actuellement très nombreuses. Les différents types d'antennes dont on a parlé sont choisis en fonction de leurs caractéristiques selon les applications visées.

### **I.8.5. La radioastronomie :**

La radioastronomie est le domaine d'observation des corps célestes dans les bandes de fréquences micro-onde et millimétriques.

Les antennes sont souvent composées de deux réflecteurs. Le récepteur se trouve juste derrière le réflecteur primaire qui est percé de façon à laisser passer le rayonnement qui vient se focaliser. Ces antennes peuvent être associées en réseau.

Les qualités d'une antenne pour la radioastronomie sont :

- La sensibilité.
- Son pouvoir de résolution [12].

**I.9. Conclusion:**

Ce chapitre a fourni une vue d'ensemble des généralités sur les antennes, jetant ainsi les bases nécessaires pour comprendre les concepts clés liés à leur conception et à leur fonctionnement. Nous avons exploré les différents types d'antennes, leurs classifications et les paramètres de performance importants à prendre en compte lors de la conception d'un système de communication sans fil. En comprenant ces principes fondamentaux, nous sommes mieux préparés pour aborder le prochain chapitre, qui se concentrera spécifiquement sur les antennes patch.



Chapitre II:

Concepts généraux des antennes

patch

## **II.1. Introduction:**

Ce chapitre se concentre sur l'antenne patch, une architecture d'antenne largement utilisée dans les systèmes de communication sans fil. Les antennes patch offrent de nombreux avantages, tels que leur faible profil, leur large bande passante et leur compatibilité avec les circuits intégrés, ce qui en fait un choix populaire pour une variété d'applications, y compris la connectivité 5G. Nous explorerons en détail les caractéristiques, le fonctionnement et les avantages des antennes patch. Nous examinerons les différentes composantes d'une antenne patch, telles que le substrat diélectrique, l'alimentation et le plan de masse, et nous discuterons de leur impact sur les performances globales de l'antenne.

## **II.2. Définition d'antenne patch:**

Le concept en est revenu dans les années 50, mais il a fallu attendre les années 70 pour y voir un développement majeur, grâce à l'arrivée de l'isolant sur le marché. Depuis, les recherches dans ce domaine n'ont cessé de s'intensifier.

Actuellement, les antennes imprimées prennent de plus en plus d'importance en raison de la grande variété de géométries (rectangulaires, circulaires, à fentes ou plus élaborées). Cet élément radioactif est produit par un circuit imprimé. Il est intégré dans les circuits électroniques.

L'antenne patch est constituée d'un élément métallique déposé à la surface d'un substrat isolant qui est un plan conducteur (plan de masse) de l'autre côté.

L'antenne patch rectangulaire est la plus courante et sa structure est décrite dans la figure suivante :

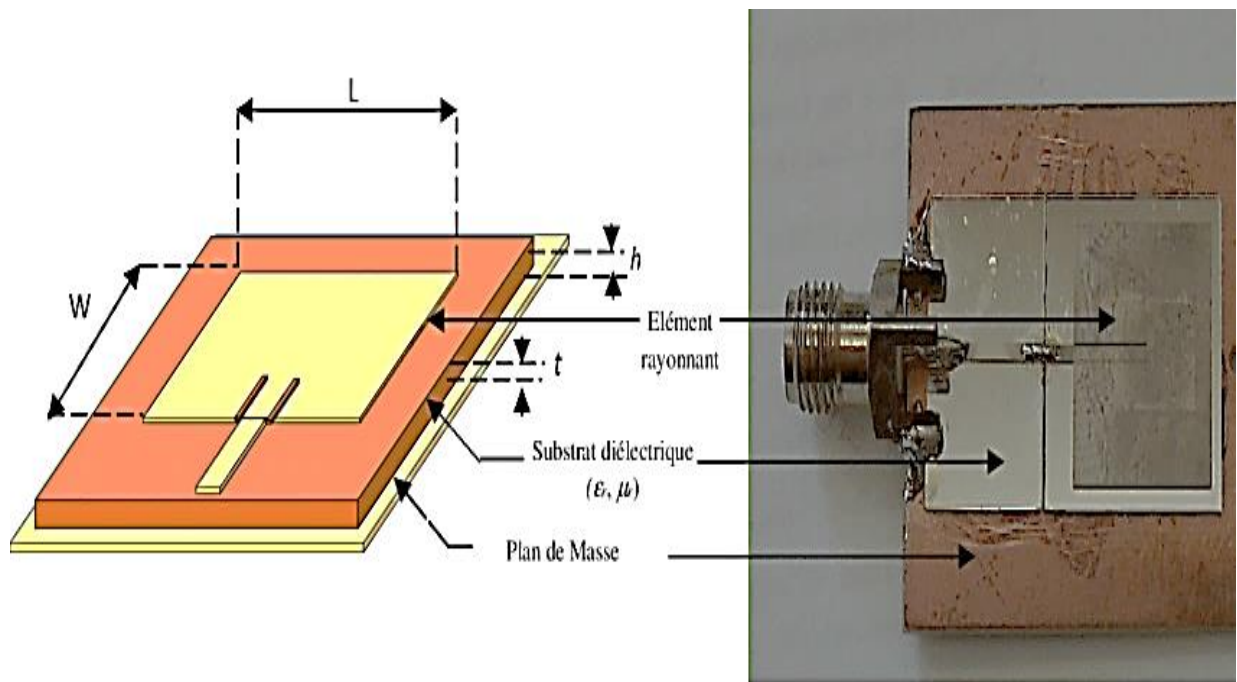


Figure II.1 : Structure d'une antenne imprimée.

Les paramètres physiques et géométriques liées à cette structure sont :

- ✓ La permittivité relative du diélectrique ( $\epsilon_r$ ) et sa structure de perte  $\tan \alpha$
- ✓ La hauteur du diélectrique  $h$
- ✓ Les dimensions de l'élément rayonnant ( $L, W$ ) [13].

### II.3. Types d'antennes patch :

Il existe un grand nombre de formes d'antennes patch micro-strip ; ils ont été conçus pour correspondre à des caractéristiques spécifiques. Certains des types courants sont illustrés à la figure (II.2), pour fréquences d'ondes millimétriques, les types les plus courants sont rectangulaires, carrés et circulaires patches.

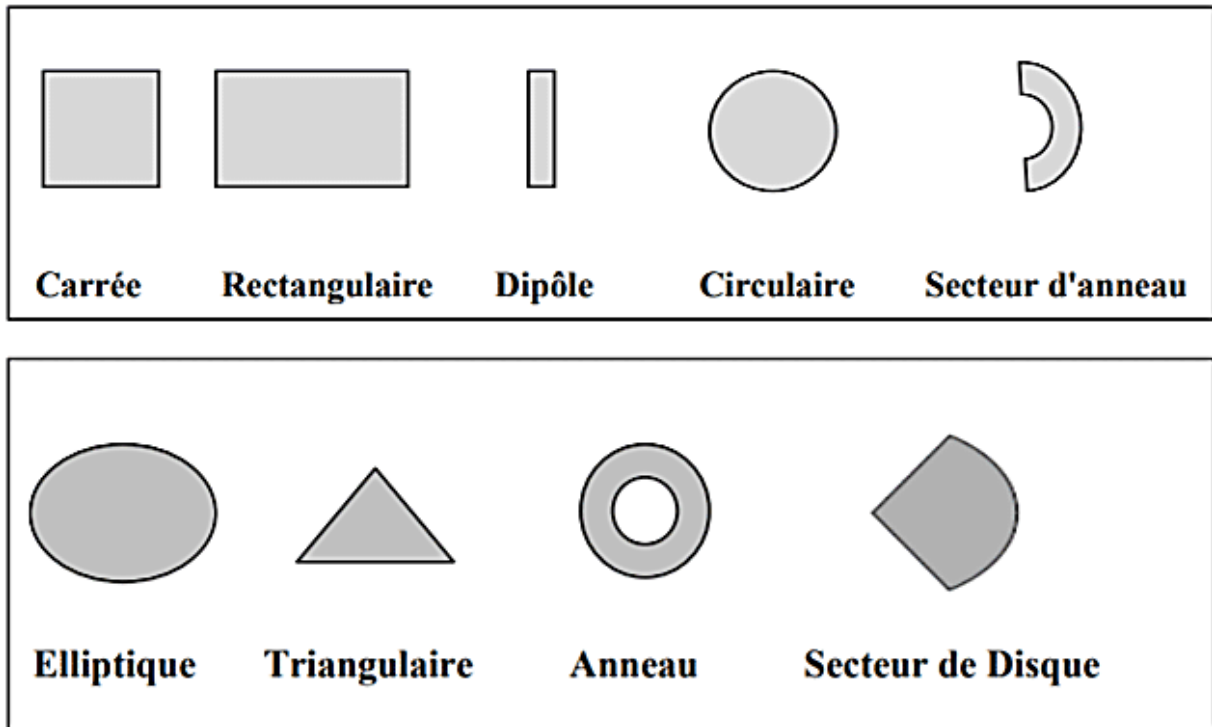


Figure II.2 : les formes les plus courantes d'antennes patch

Le choix du substrat est également important, nous devons tenir compte de la température, de l'humidité et d'autres plages environnementales d'exploitation. L'épaisseur du substrat  $h$  a un effet important sur la fréquence de résonance  $f_r$  et la bande passante  $BW$  de l'antenne. La bande passante de l'antenne micro-strip augmentera avec l'augmentation de l'épaisseur du substrat  $h$  mais avec des limites, sinon l'antenne cessera de résonner [14].

#### II.4. Principe de fonctionnement :

Après la mise sous tension de la ligne électrique, une onde électromagnétique se forme et se propage jusqu'à rencontrer l'élément rayonnant, provoquant la création de la distribution de charge au-dessus et au-dessous de l'élément entre le plan de masse et le substrat.

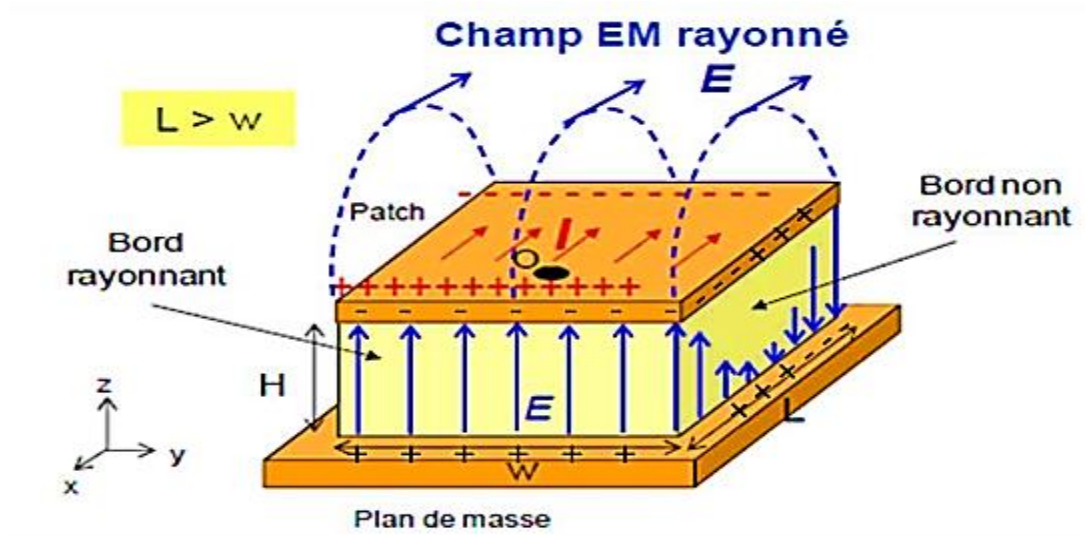


Figure II.3 : Rayonnement d'une antenne patch.

### II.5. Techniques d'alimentation de l'antenne patch:

Même si l'antenne est capable de rayonner, elle ne peut être utilisée que s'il existe un circuit d'alimentation permettant un transfert acceptable de l'énergie dirigée vers l'antenne.

Le type de source d'alimentation dépend du choix de restrictions telles que :

- ✓ Simplicité du circuit d'alimentation.
- ✓ Isolation entre le circuit d'alimentation et l'antenne ou les grilles de potentiel de l'élément rayonnant.

Par conséquent, nous constatons à travers cela qu'il existe deux mécanismes principaux pour alimenter les antennes imprimées :

### II.5.1. Alimentation directe (par contact) :

- Alimentation par une ligne imprimée :

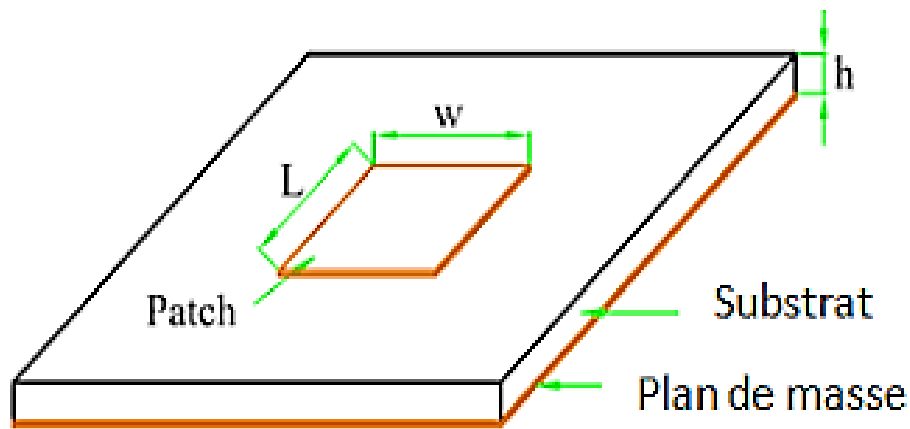


Figure II.4 : Alimentation par une ligne micro ruban

C'est l'alimentation la plus simple utilisant une ligne imprimée sur le même plan que le patch rayonnant [15].

- Alimentation coaxial directe :

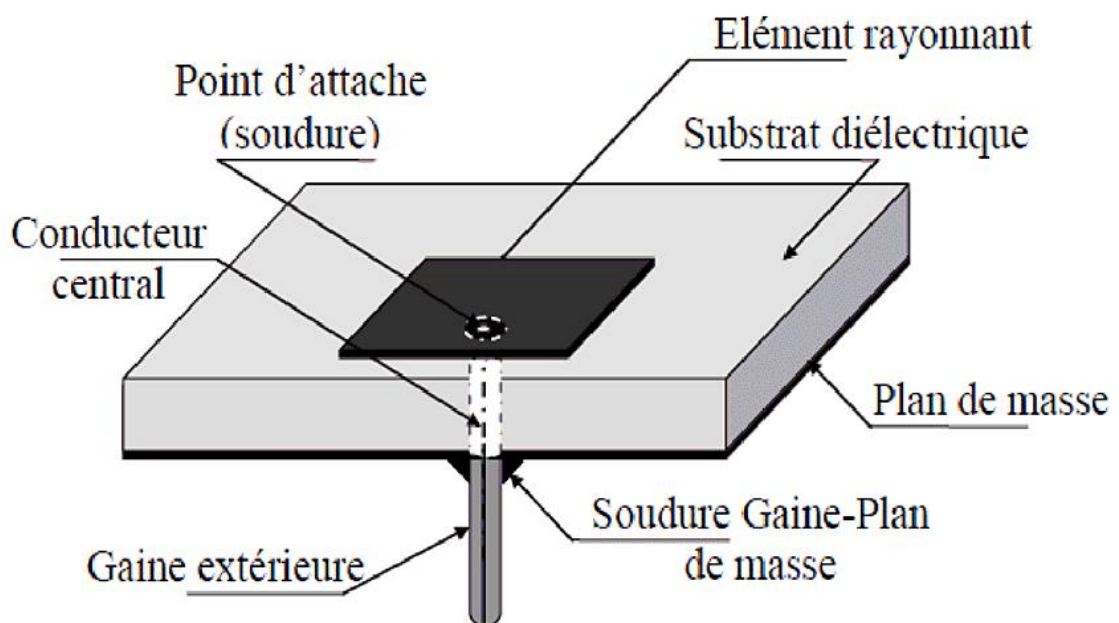


Figure II.5: Alimentation par une sonde coaxiale.

La soudure de l'embase rend la structure mécaniquement robuste en cas de torsion du câble coaxial visée au connecteur [15].

### II.5.2. Alimentation par proximité :

Le couplage de proximité permet d'exciter l'antenne en évitant une connexion directe entre l'alimentation et le patch.

- **Couplage à travers une fente :**

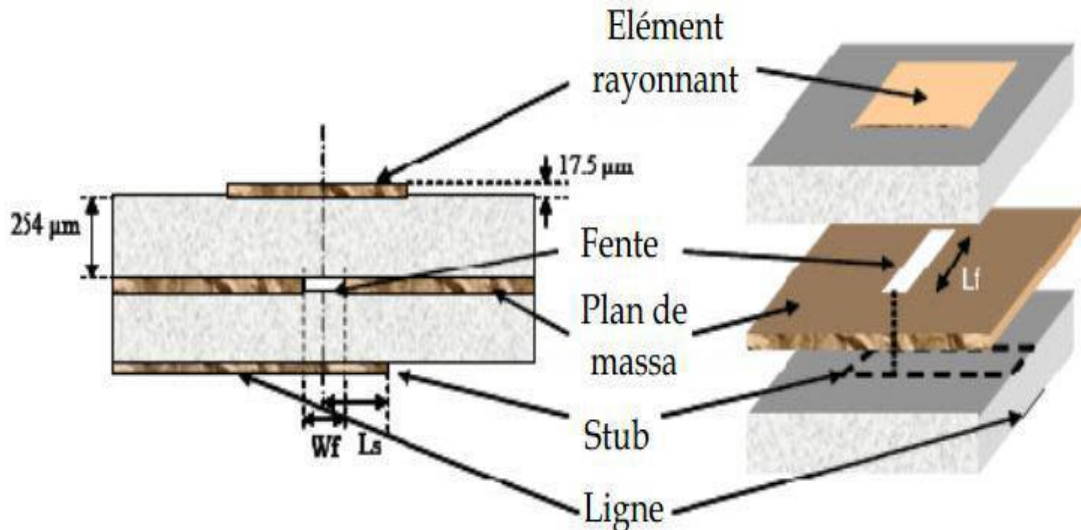


Figure II.6: Couplage à ouverture (fente) dans le plan de masse.

Il est possible d'élargir la bande passante en associant la résonance de l'élément rayonnant à celle de la fente [15].

### II.6. Avantages et inconvénients d'une antenne patch :

Les antennes patchs présentent de nombreux avantages dont on peut citer :

- Un encombrement réduit.
- Un faible poids.
- Un faible coût de fabrication.
- Les réseaux d'alimentation et d'adaptation sont fabriqués simultanément avec l'antenne.
- La polarisation de l'onde électromagnétique linéaire ou circulaire en ajustant la géométrie et l'excitation de l'élément rayonnant.

Ces antennes ont aussi des inconvénients qui sont les suivants :

- Une bande passante étroite.
- Un faible gain (de l'ordre de 5dB).

- Support en uniquement les faibles puissances.
- Une pureté de polarisation difficile à obtenir.
- Rayonnement limité à un demi-plan de l'espace.
- Pertes de rayonnement par des ondes de surface.

### **II.8. Conclusion :**

Ce chapitre a fourni un aperçu approfondi des antennes patch, de leurs caractéristiques et de leurs techniques de conception avancées. Comprendre les principes fondamentaux des antennes patch est essentiel pour concevoir des antennes performantes et optimisées pour les applications de connectivité 5G. Le prochain chapitre, axé sur le logiciel HFSS, nous permettra d'explorer les capacités de simulation et d'optimisation pour concevoir une antenne patch.



Chapitre III:

Présentation de logiciel

HFSS

### **III.1. Introduction:**

Ce chapitre met en évidence l'importance du logiciel HFSS dans la conception des antennes. HFSS offre des fonctionnalités avancées pour la modélisation, la simulation et l'optimisation des antennes, permettant ainsi aux concepteurs d'explorer différentes configurations, de valider les performances et d'obtenir des résultats précis. L'utilisation de HFSS dans le processus de conception d'antennes aide à garantir des performances optimales, une bonne adaptabilité aux fréquences élevées et une conformité aux spécifications requises.

### **III.2.Présentation du logiciel Ansoft HFSS:**

HFSS (High Fréquence Structure Simulator) version 13.0 est un logiciel commercial qui calcule les champs électromagnétiques dans le domaine fréquentiel, et permet d'analyser le comportement électromagnétique d'une structure, pour analyser ce comportement en détails, le logiciel met à notre disposition des outils d'interprétation post-traitement. Il effectue une modélisation électromagnétique par résolution des équations de Maxwell à l'aide de la méthode des éléments finis. Cette dernière est basée sur la description géométrique de la structure sous forme d'un maillage. Elle consiste à diviser l'espace en petits élément homogènes mais de taille pratiquement très variable, ce qui constitue l'un des points forts de cette méthode [16].

Un projet HFSS est un dossier qui contient un ou plusieurs modèles appelés design, chaque modèle contient une structure géométrique, ses conditions aux limites et les matériaux utilisés, ainsi que les solutions de champs électromagnétiques et les interprétations post traitement. Tous ces composants peuvent être atteints par la fenêtre Project Manager dans l'environnement HFSS.

#### **III.2.1. La méthode des éléments finis (FEM):**

HFSS utilise La méthode des éléments finis, cette est une technique numérique pour trouver des solutions par approximation des équations aux dérivées partielles (EDP), ainsi que des équations intégrales, Elle utilise aussi un maillage adaptatif et du graphisme superbe qui s'apprête à tous les problèmes électromagnétiques 3D. An soft HFSS peuvent être utilisé pour calculer des paramètres tels que les paramètres S Y, Z, la fréquence de résonance et les champs rayonnés [17].

#### **III.2.2. Un projet en HFSS:**

Cet exemple est prévu pour montrer comment créer, simuler, et analyser une antenne micro-strip en utilisant l'environnement de conception d'An soft HFSS.

La fenêtre d'An soft HFSS a plusieurs panneaux facultatifs:

- **Le Project Manager:** contient un arbre de conception qui énumère la structure du projet.
- **Le Message Manager:** permet d'afficher tous les erreurs avant de commencer la simulation.
- **La fenêtre de Propriétés:** pour les affichages et permet de changer les paramètres des attributs du modèle.
- **La fenêtre de Progress:** affiche les progressions de la solution.
- **La fenêtre de 3D Modeler:** contient le modèle et son arbre pour la conception active.

L'organigramme suivant résume les étapes à suivre:

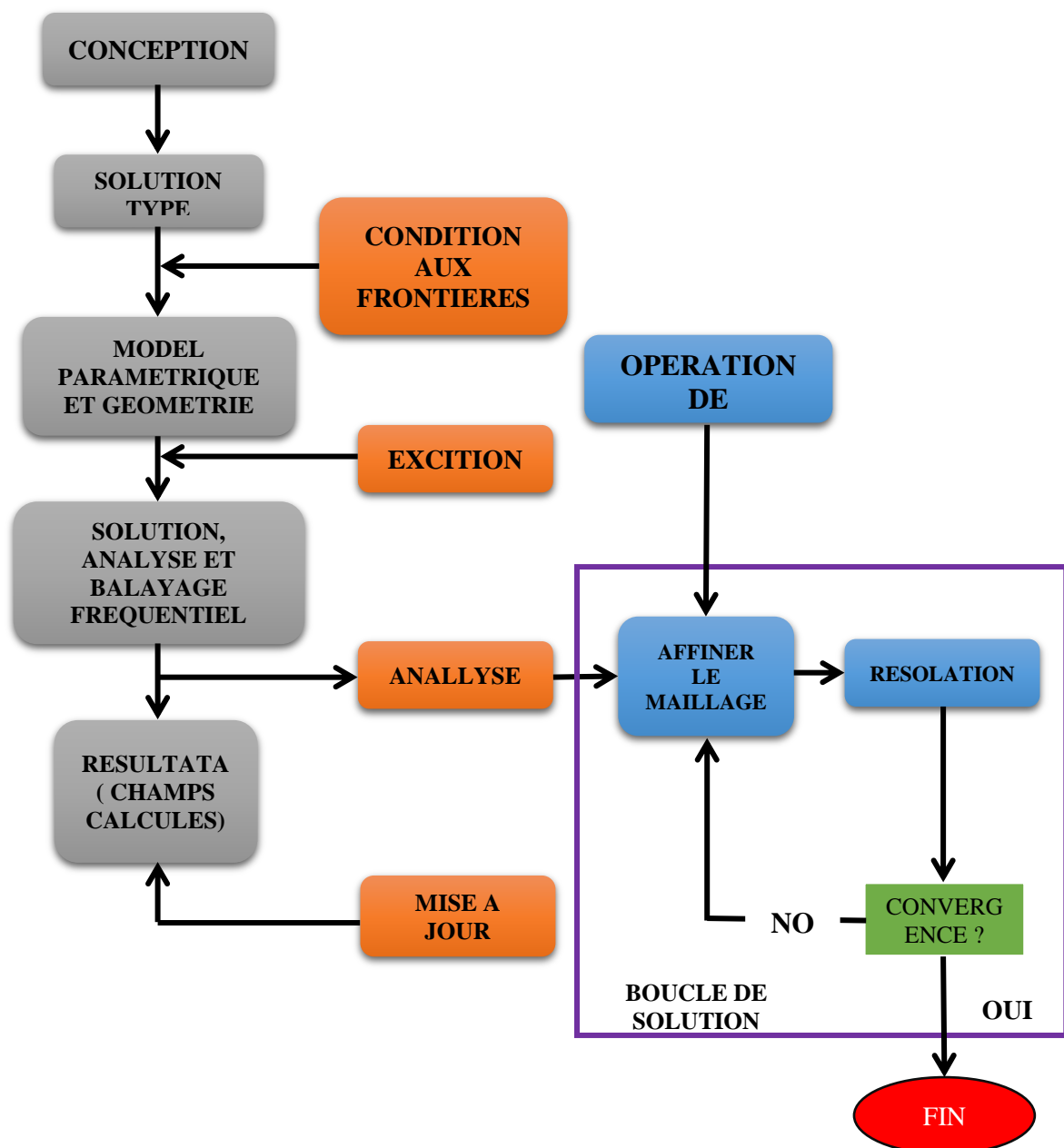


Figure III.1: Organigramme des différentes étapes d'un design HFSS

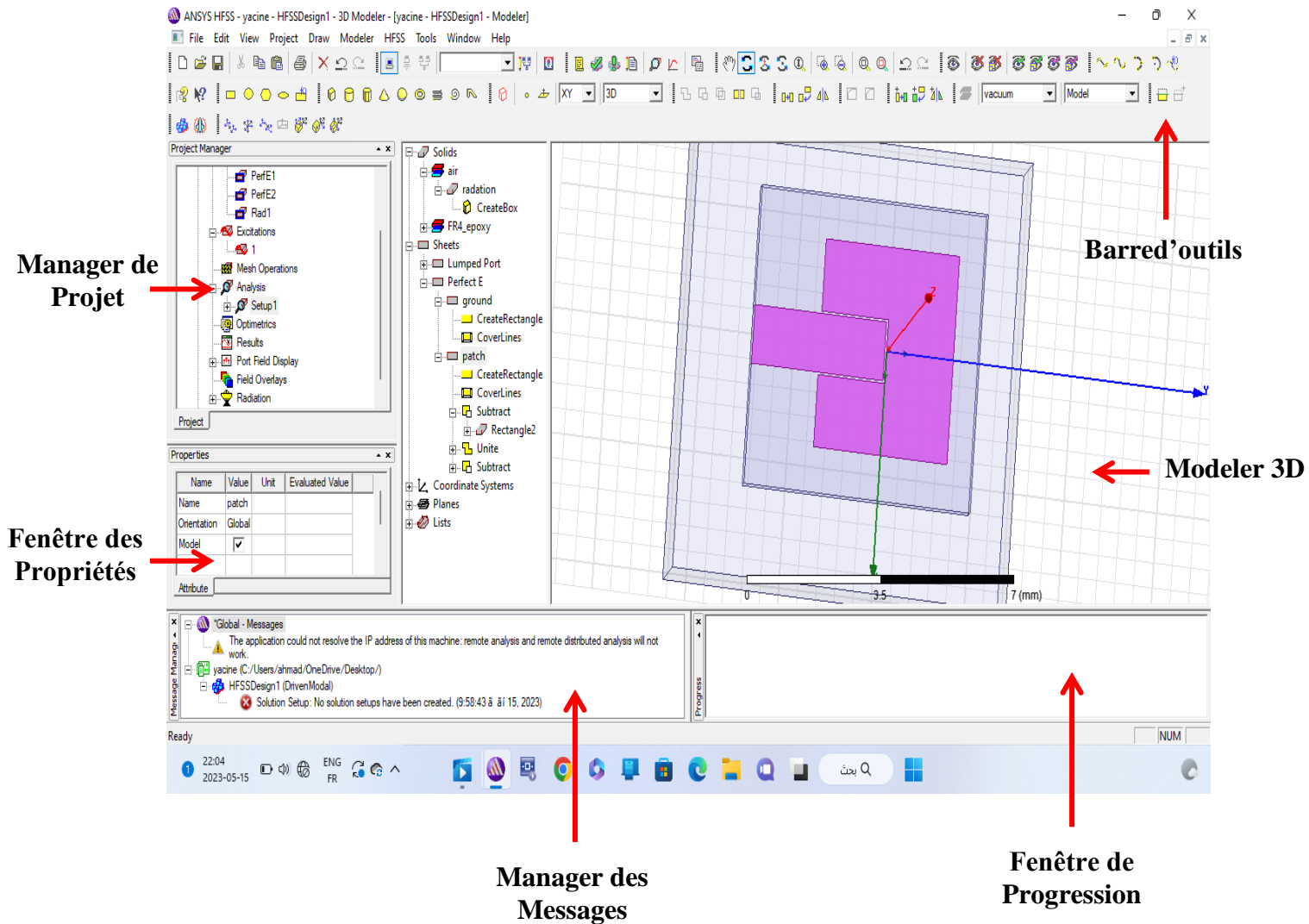


Figure III.2: La fenêtre principale du logiciel HFSS.

### II.2.3. Comment démarrer HFSS:

Tout d'abord, nous installons HFSS sur l'ordinateur sur lequel vous travaillez. Il devrait y avoir une icône HFSS sur votre bureau, puis vous pouvez double-cliquer dessus pour démarrer le programme.

### II.2.4. Comment ouvrir un nouveau projet:

Quand vous commencez HFSS v 13, un projet est énuméré dans l'arbre de projet dans la fenêtre de Project Manager et est appelé project1 par défaut. Des définitions de projet, telles que la tâche matérielle, des états de frontière, et des ports d'excitation sont stockés sous le nom de projet.

### II.2.5. Sauvegarder le projet:

Sur le menu fichier, cliquer Save As, employer le navigateur de dossier pour localiser le dossier dans lequel vous voulez sauvegarder le projet comme C:\Ansoft\HFSS13\Project, et double-cliquer le nom de dossier, puis cliquer Save.

### II.2.6. Insérer une conception de HFSS:

Sur le menu Project cliquer Insert HFSS Design. La nouvelle conception est énumérée dans l'arbre de projet, il est appelé Model par défaut. La fenêtre 3D Modeler apparaît à la droite du Project Manager.

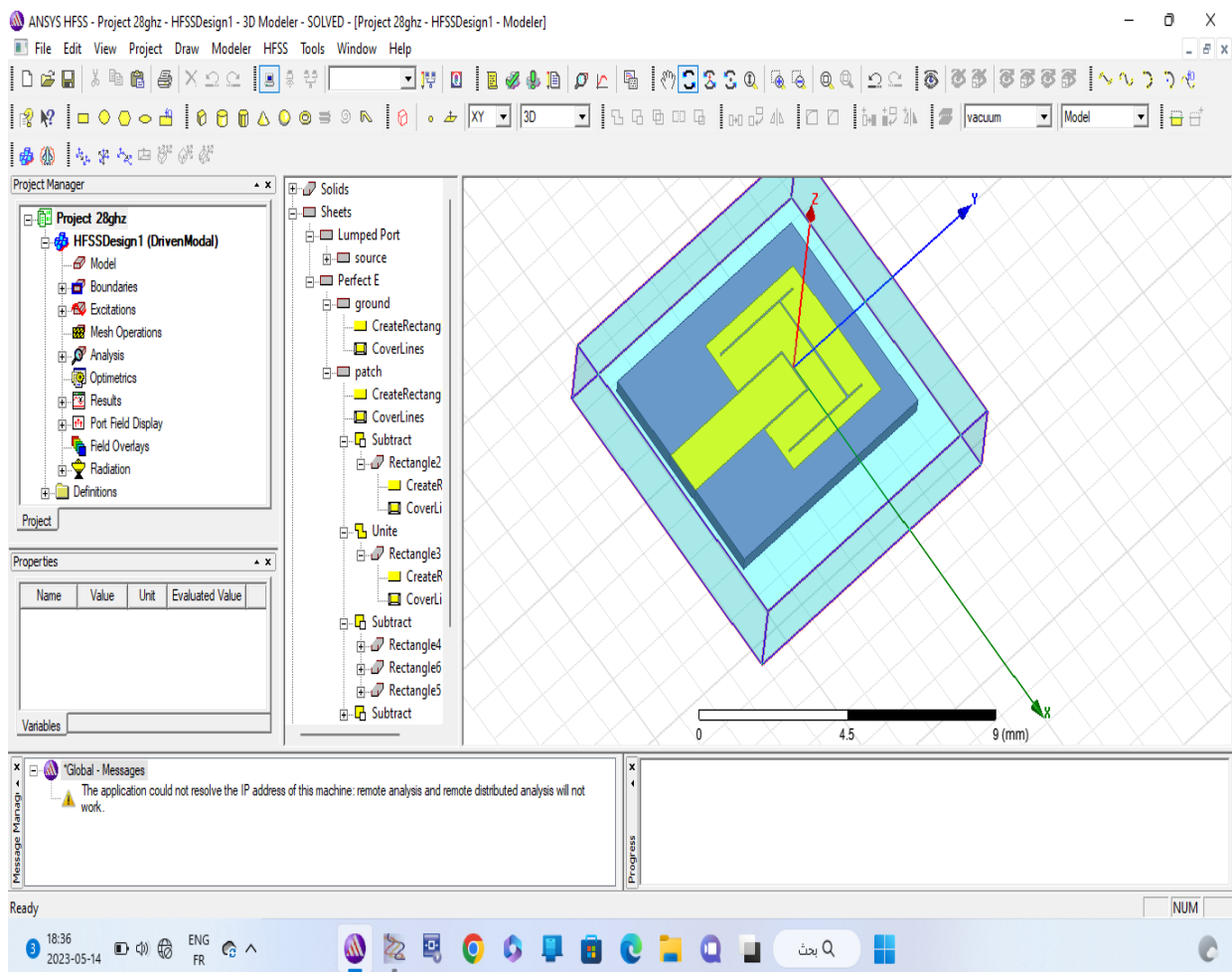


Figure III.3:Fenêtre de HFSS.

### III.3. Choix de type de solution:

Pour créer une géométrie ou un modèle, il est nécessaire d'insérer un nouveau projet qui apparaît automatiquement sur la fenêtre "Project Manager". Nous sélectionnons le type de solution à partir du menu HFSS, en cliquant sur le bouton "Solution Type", la boîte de dialogue du Type de Solution apparaît (Figure. III.4).

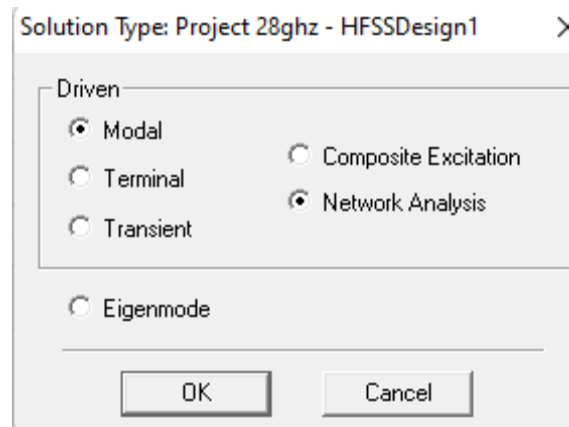


Figure III.4 : Boîte de dialogue du Type de Solution.

- **Driven Modal:** Permet de calculer S11 d'une structure en haute fréquences fonction des ondes incidentes et réfléchies [18].
- **Driven Terminal:** nous permet de calculer les paramètres S de mode des structures passives haute fréquence tel que les micro-strips, les guides d'ondes et les lignes de transmission excitées par une source [18].
- **Eigenmode:** Permet de calculer la fréquence de résonance de la structure et les champs à ces fréquences [18].

#### II.4. L'Arrangement des Unités du Modèle de Mesure:

Nous pouvons choisir ou changer les dimensions du modèle à une unité pertinente. Sur le menu "Modeler", puis cliquer sur "Units", la boîte de dialogue "Set Model Units" apparaît figure III.5.

Dans cette boîte de dialogue, on choisit l'unité à partir de la liste déroulante.

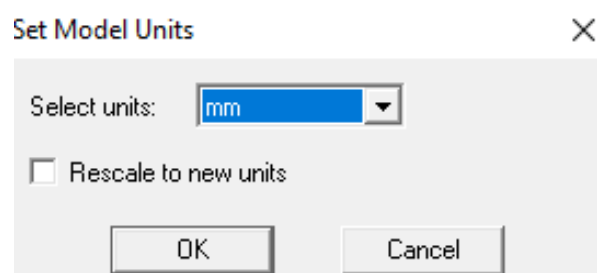
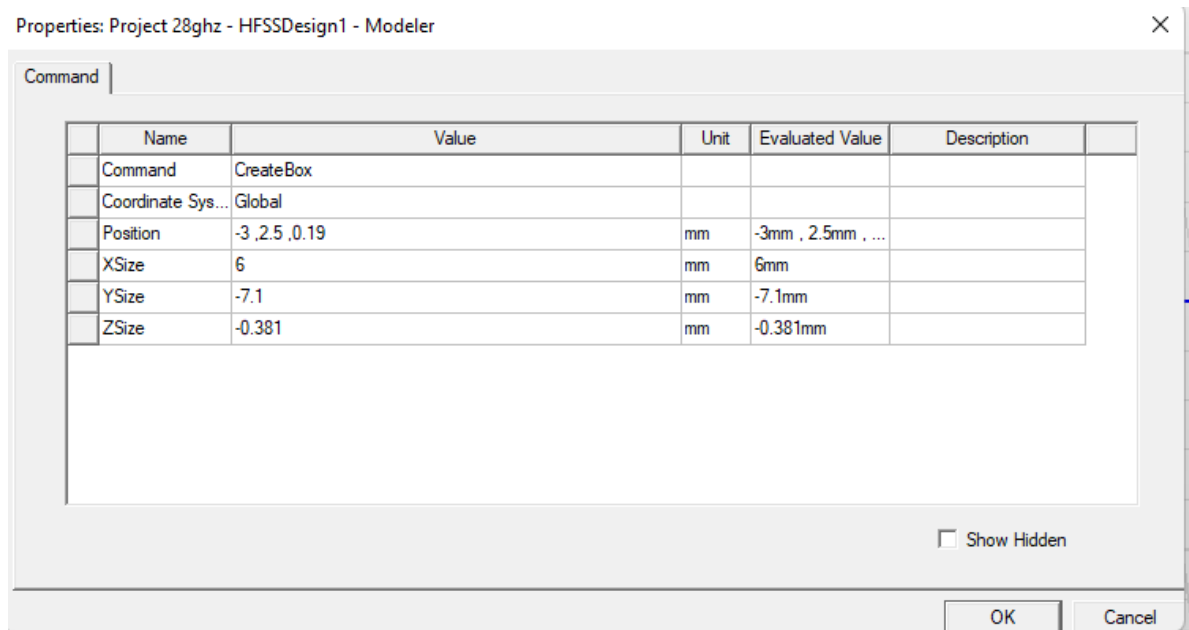


Figure III.5 : Boîte de dialogue des Unités de Modèle.

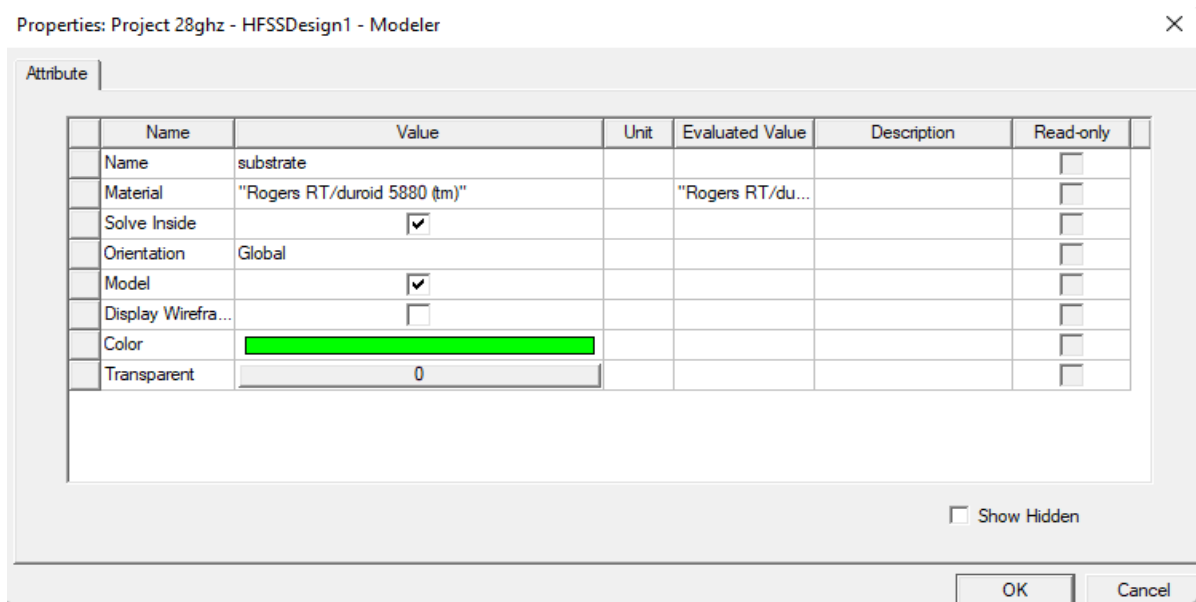
#### III.5. Créer le substrat:

Pour dessiner le substrat, cliquer dans la barre d'outils. Dessiner alors une boîte. En utilisant les surfaces d'entrées du même rang, entrer la position et dimension de Box comme montré dans la figure suivante :



Placer le nom et la choisir la matière de substrat :

- 1- Choisir la case **Attribut** à partir de la fenêtre de Propretés.
- 2- Pour la Valeur du type **Name: substrat**.
- 3- Pour la Valeur du type **Matériel: ("FR4\_epoxy")**.
- 4- Cliquer sur le Bouton **OK**.



Adapter la vue:

Choisir dans le menu View > Fit All > Active View, ou appuyer sur les touches Ctrl + D(Raccourci). Le substrat est illustré dans la Figure III.6.

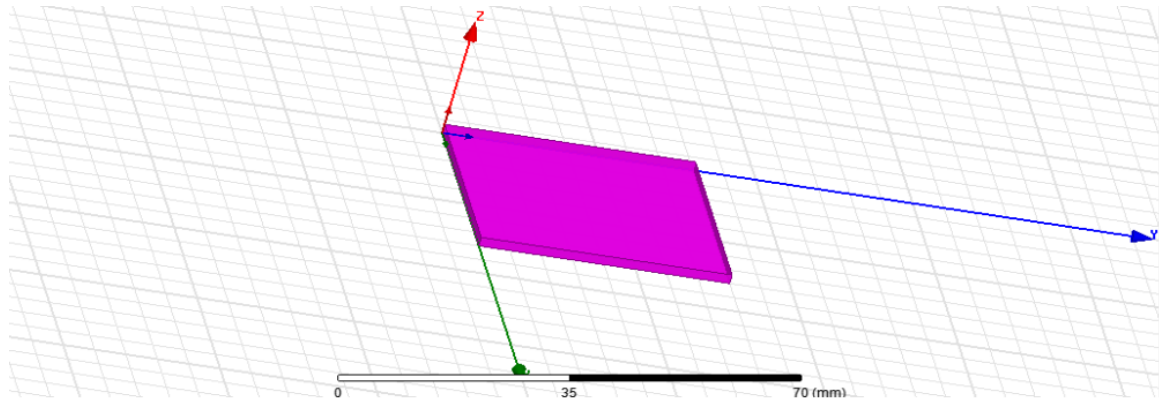


Figure III.6 : Le Substrat diélectrique.

On fait la même exécution pour le plan de masse (ground). Le plan de masse est spécifié par la condition aux limites d'un matériau parfaitement conducteur. Les coordonnées sont assignées comme suit : Le point de départ pour le plan de masse et le substrat est à  $(0, 0, 0)$ . La longueur,  $L$ , du substrat et de la largeur,  $W$ , sont choisies en tant que 40 mm et 40 mm et la hauteur  $h$  1.6 mm, et la longueur,  $l_f$ , du plan de masse et la largeur,  $W$ , sont choisies en tant que 13 mm et 40 mm, respectivement.

La Figure III.7 ci-dessous représente le plan de masse avec le substrat[19].

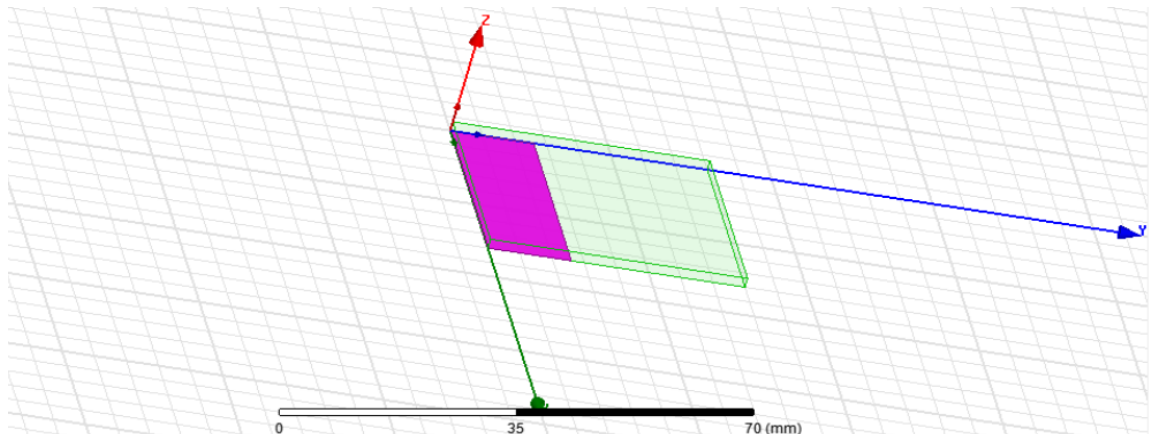


Figure III.7 : Le plan de mass.

### III.6 Création du Patch (l'élément rayonnant) et la ligne micro-strip d'alimentation (Feed Line)

Premièrement on clique sur dans la barre d'outils pour dessiner le patch. En utilisant les surfaces d'entrées du même rang, entrer la position et dimension de Box comme montré dans la figure ci-dessous:

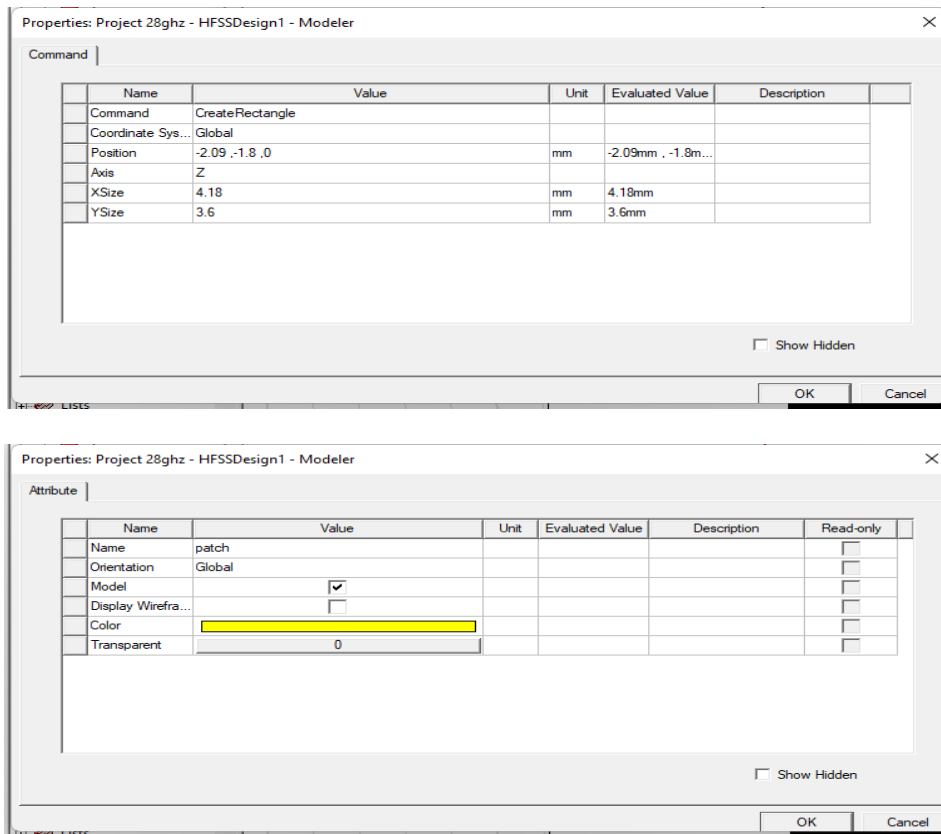


Figure III.8 : La Création du Patch

Après, dessiner la ligne micro-strip d'alimentation (Feed Line) en cliquant sur et suivre les mêmes étapes avec la position (Pf, 0, h). La longueur  $l_f$  est sur la plan  $y = 14$  mm, la largeur  $W_f$  est sur la plan  $X = 3$  mm et la hauteur  $h$  (épaisseur).

La ligne d'alimentation et le patch ne doivent représentés qu'un seul objet. Ainsi, nous devons les unir. Noter que les deux objets sont du même matériau.

Cliquer dessus les deux objets que vous devez unir, c.-à-d. patch et ligne d'alimentation dans l'arbre d'historique.

Cliquer dessus l'un des objets, en tenant la clef de CTRL enfoncée, et cliquer dessus sur l'autre objet. Cliquer par la droite **Edit > Boolean > Unite**. Les deux objets sont maintenant unis.

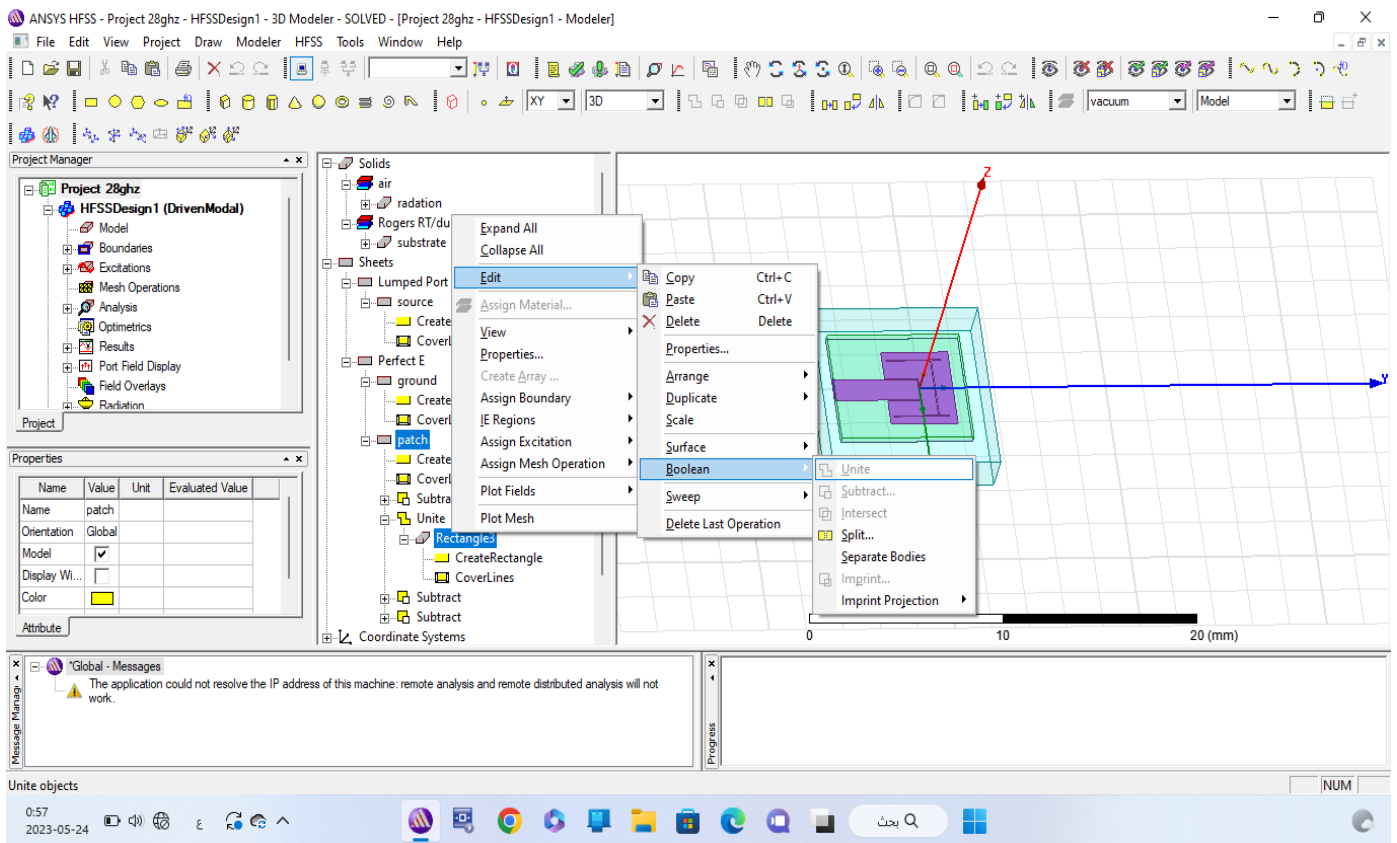


Figure III.9: représente le patch et la ligne d'alimentation représentant un seul objet.

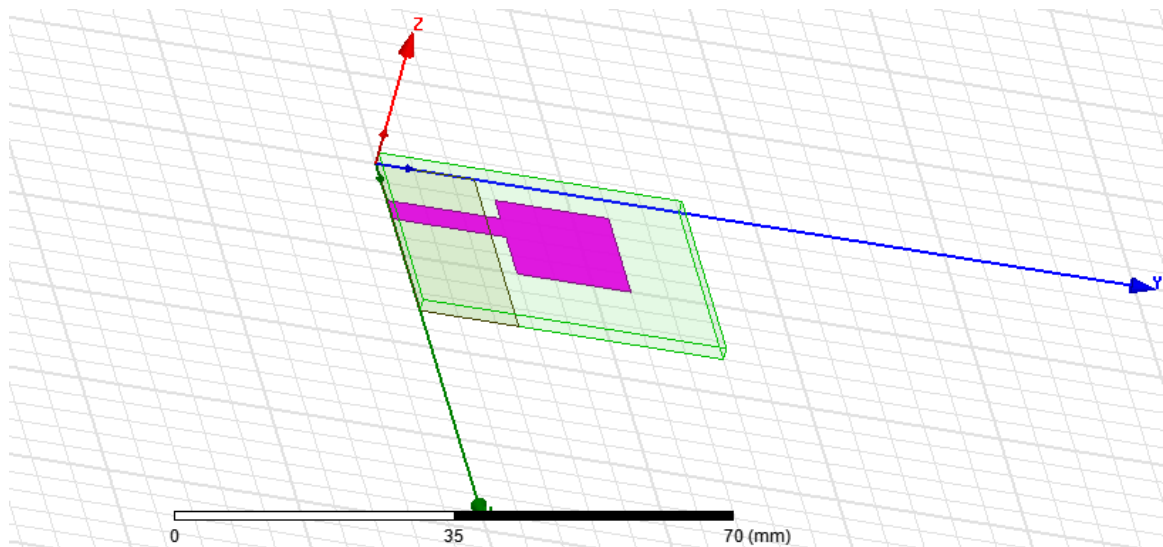


Figure III.10 : Le patch et la ligne d'alimentation.

### III.7. Assigner une excitation au port d'alimentation

Les excitations sont utilisées pour spécifier la source des champs électromagnétiques, des charges, des courants ou des tensions pour les objets ou leurs éléments (un élément ou plus).

Pour le type de solution "Driven Model" nous avons les types d'excitations suivantes :

- **Wave Port** : Représente la surface par laquelle un signal entre ou sort de la géométrie.
- **Onde Incidente** : Représente la propagation d'une onde incidente sur la géométrie.
- **Lumped Port** : Représente une surface interne par laquelle un signal entre ou sort de la géométrie.
- **Incident Wave** : Représente un champ électrique constant à travers les points d'une alimentation.
- **Volotage Source** : Représente un courant électrique constant à travers les points d'une alimentation.
- **MagneticBias** : Utilisé pour définir le champ intérieur net qui influe sur un objet de matriaferromagnétique en 3D.

Choisir le port d'objet de l'arbre d'historique, cliquer par la droite et assigner l'excitation.

Dans notre cas, c'est Lumped Port. Cliquer le Lumped Port, l'appeler comme votre préférence, puis cliquer après, définir maintenant votre ligne d'intégration.

Normalement, la ligne d'intégration est définie du point moyen inférieur au point moyen supérieur. Garder les autres valeurs en tant que par défaut. Cliquer terminer [20].

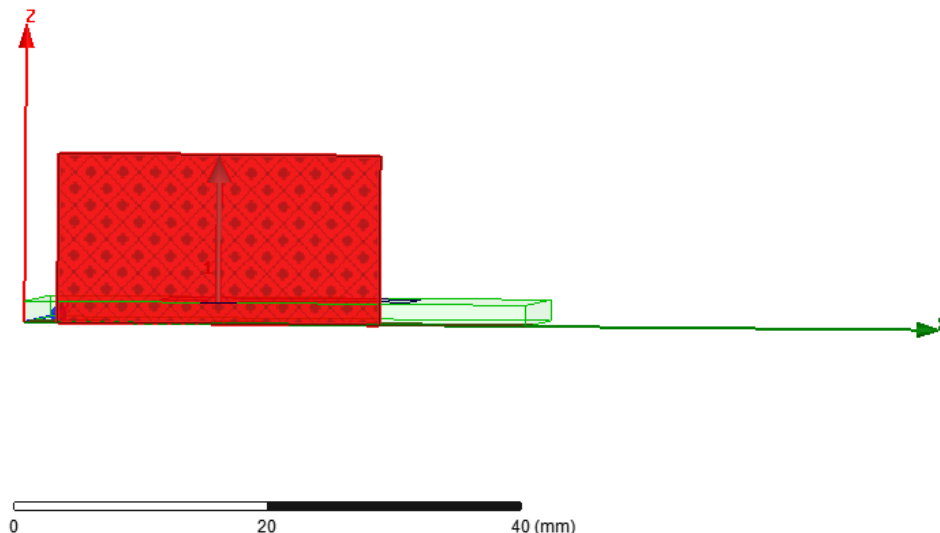


Figure III.11 : Lumped port.

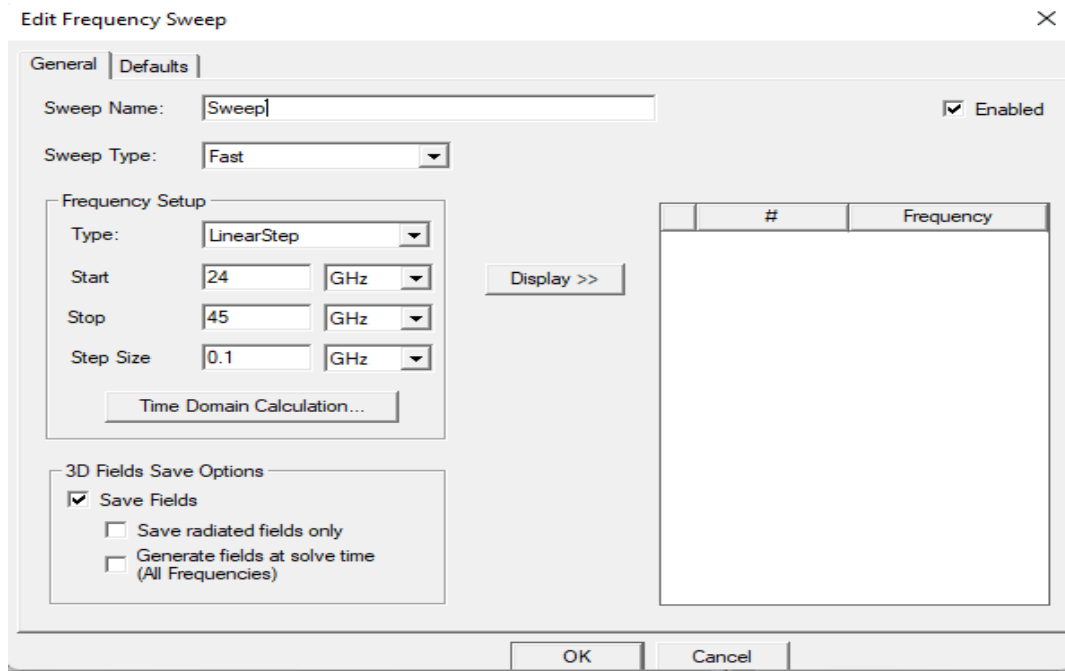
### III.8. Ajouter le champ de fréquence (Add Fréquence Sweep):

Pour ajouter un champ de fréquence, choisir ( AddSweep ) dans le menu

**HFSS >Analysis Setup >Add Sweep.** Choisir la solution pour installer : Setup1.

Cliquer le bouton OK. La fenêtre du type de champ de fréquence s'active alors :

Fast, Frequency Linear Count, Start: 5 GHz, Stop: 10 GHz, Count: 500. Cliquez OK.

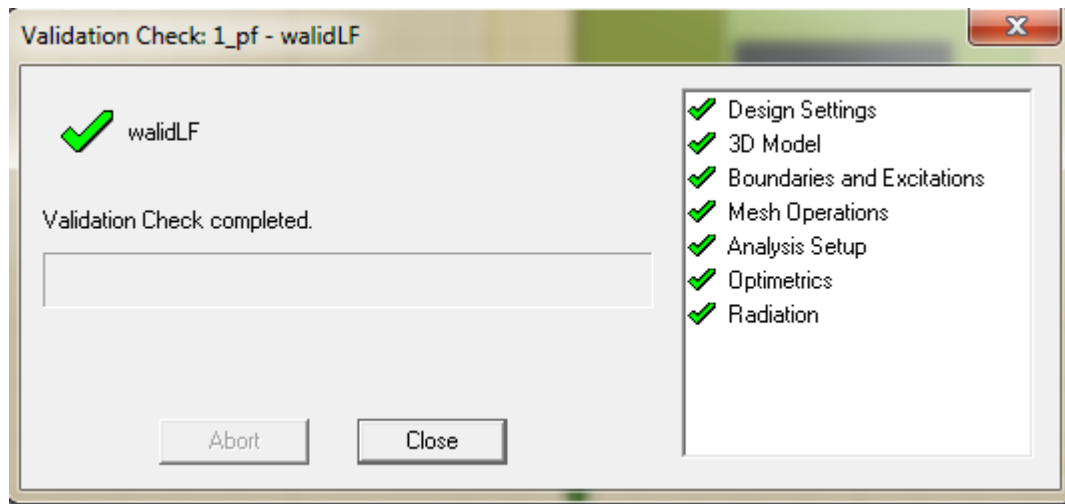


### III.9. Analyse:

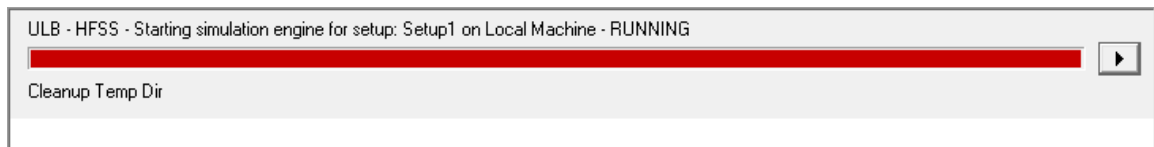
✓ Pour valider le modèle:

1) Choisir Check dans le menu HFSS > Validation > Check.

2) Cliquer sur le Bouton Close.



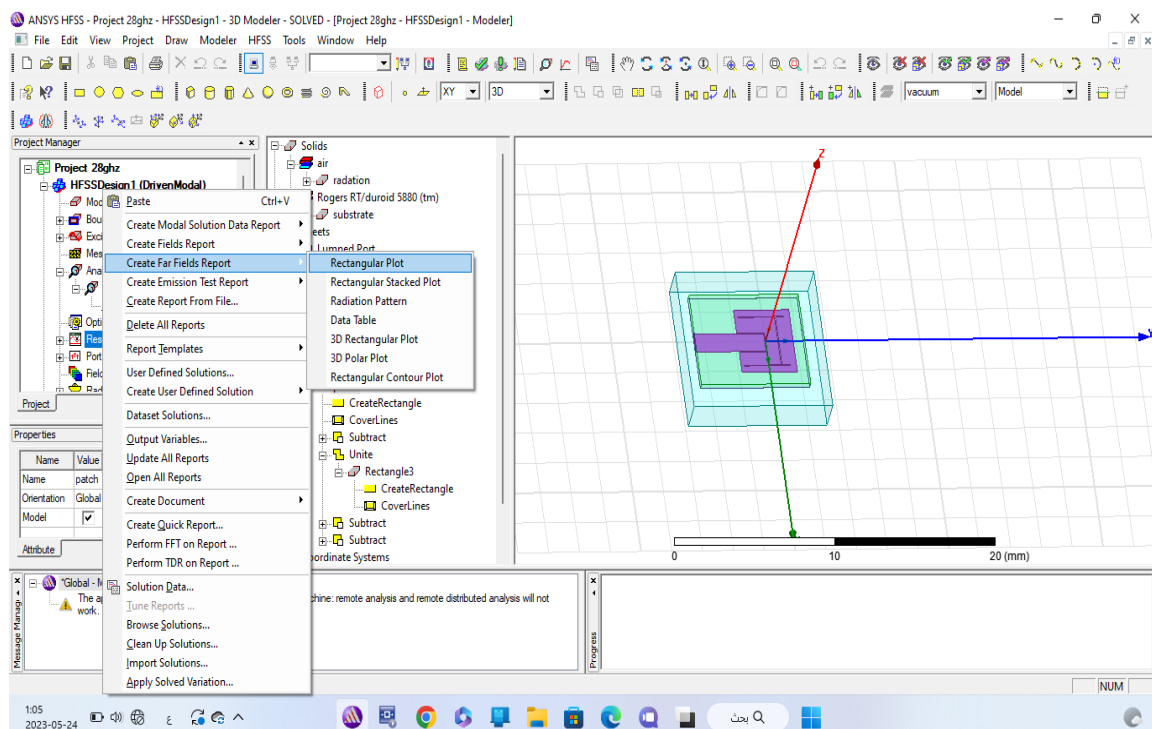
- ✓ Pour commencer le processus de solution:
- Choisir dans le menu HFSS >Analyze All.



## II.10. Créer les rapports:

Après la simulation, pour créer le rapport de données de solution, il faut suivre les étapes.

Suivantes: **HFSS >Result>Create Report**



**III.11. Conclusion:**

Ce chapitre a souligné l'importance de HFSS dans le processus de conception d'antennes pour les applications de connectivité 5G. Grâce à ses fonctionnalités avancées, HFSS permet aux concepteurs d'explorer différentes configurations, d'optimiser les performances des antennes et de garantir une conformité aux spécifications requises. Avec les connaissances acquises dans ce chapitre, nous sommes prêts à passer à la conception pratique de l'antenne patch bi bande 28 GHz et 38 GHz dans le prochain chapitre, en utilisant HFSS comme outil clé pour obtenir une conception optimisée et performante.



Chapitre IV:

Résultats et discussions

### IV.1. Introduction:

Ce chapitre se concentre sur la conception d'une antenne patch rectangulaire bi-bande pour les fréquences de 28 GHz et 38 GHz en utilisant le logiciel HFSS (High-Frequency Structural Simulator). L'antenne patch rectangulaire est une architecture populaire en raison de ses performances élevées, de sa compacité et de sa facilité de fabrication. La conception d'une antenne patch bi-bande permet de répondre aux exigences des systèmes de communication sans fil 5G, offrant une connectivité à large bande passante et à haute fréquence.

### IV.2. Conception d'une antenne patch

Pour concevoir l'antenne patch, nous devons suivre ces étapes :

1. Déterminez le substrat que nous voulons utiliser dans notre conception et nous connaissons ainsi la hauteur du substrat ( $h$ ) et la constante diélectrique ( $\epsilon_r$ ).
2. Déterminez la fréquence cible ( $f_r$ ).
3. Calculez les dimensions de l'antenne.
4. Utilisation d'un simulateur de conception.

Les dimensions de l'antenne patch micro-strip ont été conçues à l'aide de l'équation d'approximation [5-7] ci-dessous.

La largeur de l'antenne patch  $w$  est calculée par l'équation (4.1)

$$w = \frac{1}{2 f_r \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{v_0}{2 f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (4.1)$$

Où:

$v_0$  = vitesse de la lumière dans un espace libre.

$\epsilon_r$  = constant diélectrique du substrat utilisé.

Calculer le constant diélectrique effectif  $\epsilon_{eff}$  par l'équation (4.2)

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ 1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{-1/2} \quad (4.2)$$

Calculer la longueur incrémentielle causée par le champ de franges.

$$\Delta L: \frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\varepsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{w}{h} + 0.264\right)}{(\varepsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{w}{h} + 0.8\right)} \quad (4.3)$$

Calculer la longueur efficace.

$$L_{eff} = \frac{c}{2 f_r \sqrt{\varepsilon_{eff}}} \quad (4.4)$$

Calculer la longueur du patch.

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad (4.5)$$

### IV.3. Conception d'une antenne patch sans fente

Dans cette conception, nous nous concentrons sur l'antenne mono bande 28 GHz. Cette antenne est conçue à l'aide de substrats RT/duriod 5880 à base de téflon à faible perte. Le constant diélectrique du substrat utilisé est égal à 2,2 et son épaisseur est égale à 0,381 mm.

Pour les prévisions de performances et l'analyse simplifiée, une antenne patch micro-strip de forme rectangulaire fonctionnant à 28 GHz pour l'application 5 G est proposée comme indiqué dans la figure (4.1).

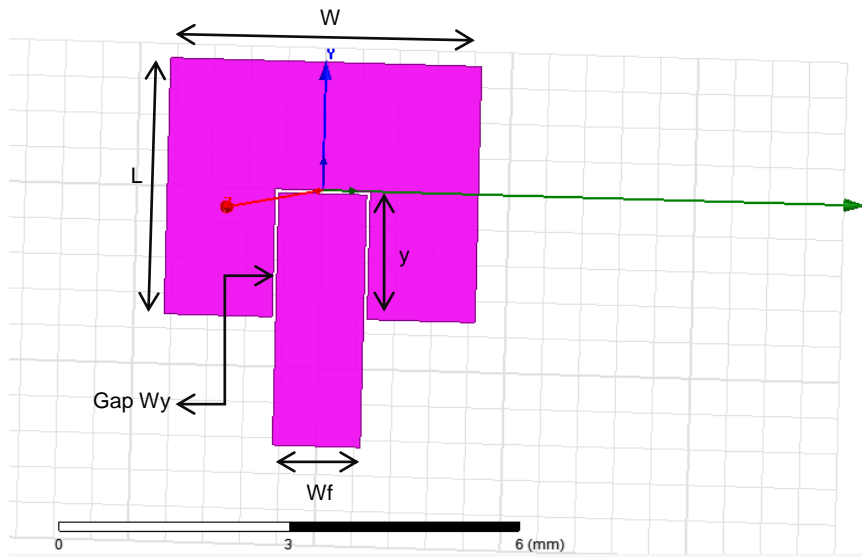


Figure IV.1 : Géométrie de l'antenne patch sans fente.

L'antenne designer était connectée avec une alimentation encastrée de 73  $\Omega$  ligne d'alimentation de transmission. Cette technique a été utilisée car elle ne nécessite aucun autre élément de correspondance supplémentaire. La longueur et la largeur de la ligne d'alimentation de transmission sont calculées à l'aide des équations (IV.1) et (IV.5),

respectivement. La position d'alimentation a été déplacée à 1.179 mm du bord tandis que l'écart entre le patch et la ligne d'alimentation est de 1.8 mm.

Les paramètres géométriques de la conception de l'antenne patch sans fente sont représentés dans le tableau (IV.1).

**Tableau IV.1. Paramètres de l'antenne patch sans fente.**

	Paramètre	Dimension (mm)
1	W	4.18
2	L	3.6
3	Y	1.8
4	Wf	1.179
5	Wy	0.05

### IV.3.1. La géométrie de l'antenne patch sans fente dans l'environnement de simulation

La figure (4.2) représente la géométrie de l'antenne sans fente dans l'environnement de simulation.

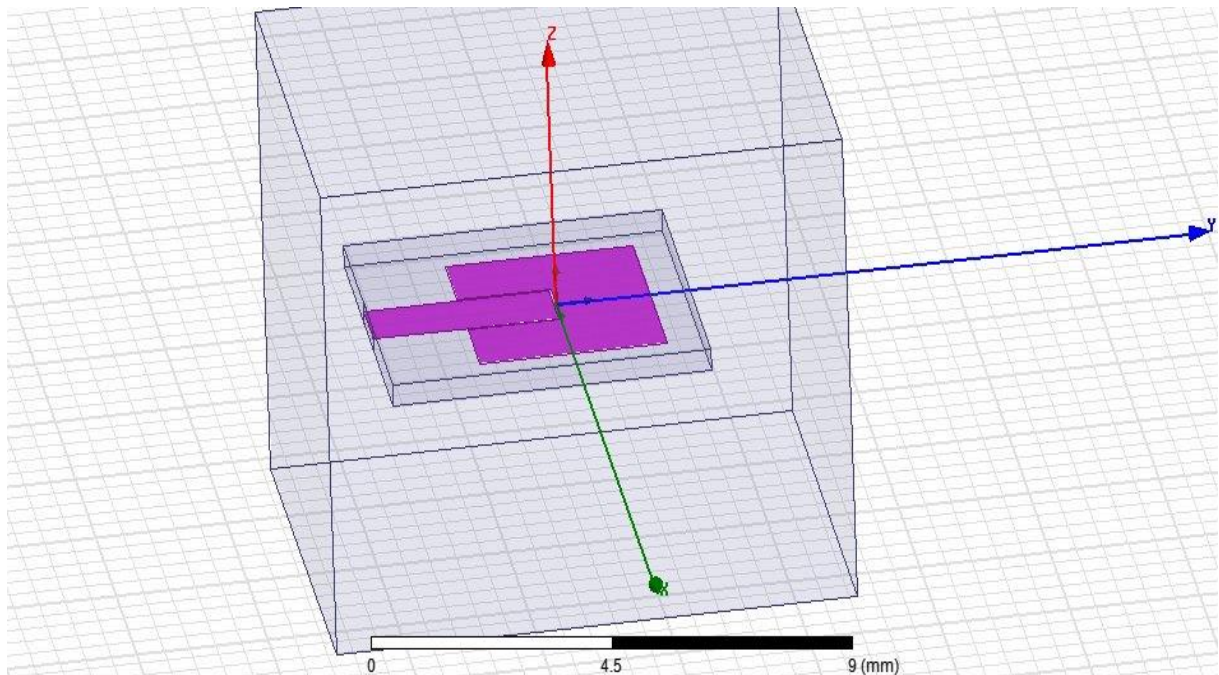


Figure IV.2 Environnement de simulation de l'antenne patch sans fente.

### IV.3.2. Résultats de simulation de l'antenne patch sans fente

En utilisant le logiciel HFSS Microwave Studio, cette antenne a été conçue. La figure 4.1 représente le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence. Comme le montre le résultat simulé pour cette antenne mono bande, l'amplitude du paramètre S11 a un bon résultat qui équivaut à -17.5 dB à 28 GHz avec une large bande passante de 0,7 GHz à -10 Db.

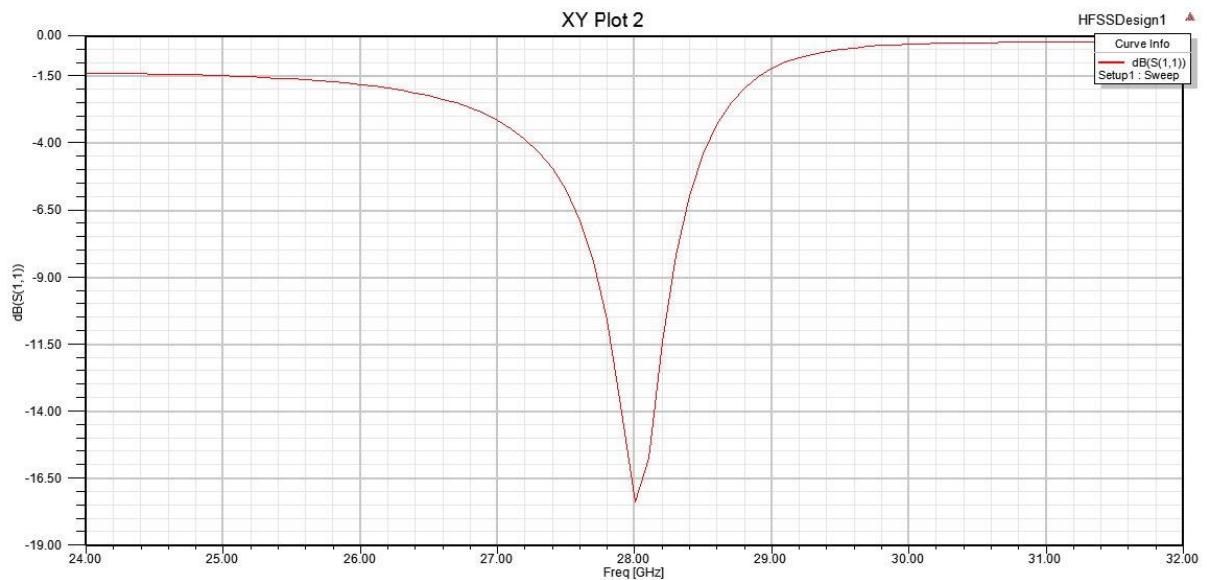


Figure IV.3 Return Loss en fonction de la fréquence de l'antenne 28 GHz.

Le diagramme de rayonnement tridimensionnel pour l'antenne mono bande (28 GHz) est illustré à la figure (IV.4). Le gain maximal réalisé pour le patch (28 GHz) est de 4,92 dBi.

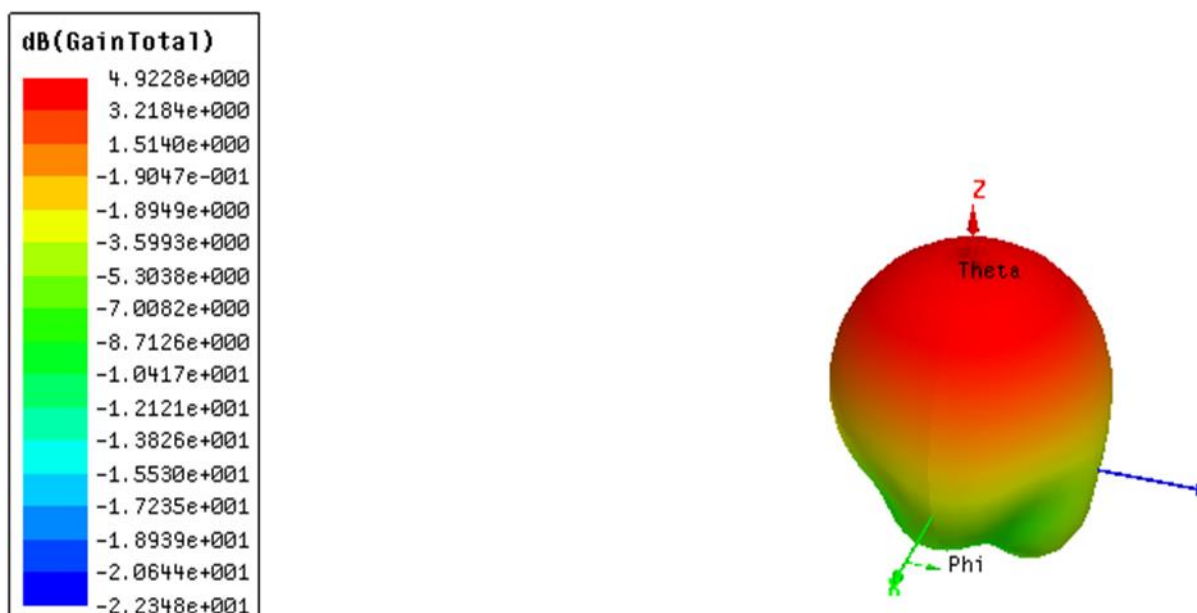


Figure IV.4 Diagramme de rayonnement d'antenne patch sans fente.

#### IV.4. Conception d'une antenne patch à fente de forme H

Des étapes innovantes ont été franchies dans la conception de l'antenne patch à petite bande pour le système sans fil 5G, dans laquelle une fente en forme de H est intégrée sur le patch. Cette ouverture de forme unique permet un fonctionnement bi-bande, ce qui signifie que l'antenne peut fonctionner simultanément dans deux bandes de fréquences différentes. Cette approche bi-bande est une solution efficace pour obtenir d'excellentes performances dans le système de communication 5G.

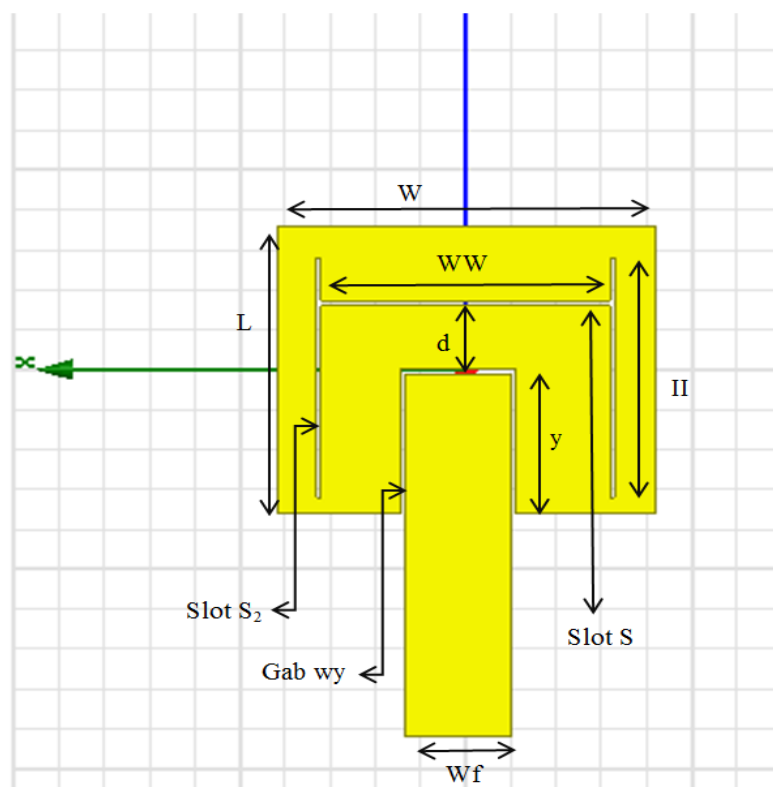


Figure IV. 5 Antenne patch à fente de forme-H.

Le tableau IV.2 présente toutes les dimensions de l'antenne à fente de forme H.

Tableau IV.2 Paramètres de l'antenne à fente de forme H.

	<b>Paramètre</b>	<b>Dimension (mm)</b>
<b>1</b>	W	4.18
<b>2</b>	L	3.6
<b>3</b>	Y	1.8
<b>4</b>	Wf	1.179
<b>5</b>	Wy	0.05
<b>6</b>	WW	3.2

7	II	3
8	S	0.0616
9	S <sub>2</sub>	0.049
10	d	0.8

#### IV.4.1. La géométrie de l'antenne à fente H dans l'environnement de simulation

La figure (4.6) représente la géométrie de l'antenne à fente dans l'environnement de simulation.

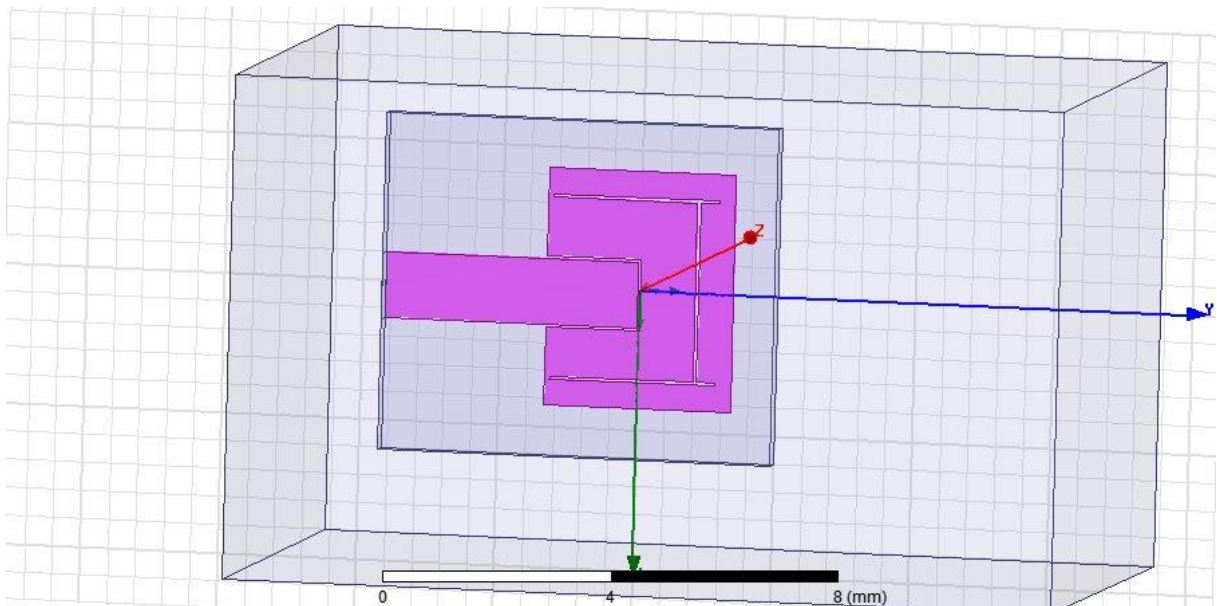


Figure IV.6 Environnement de simulation de l'antenne à fente de forme H.

#### IV.4.2. Résultats de simulation de l'antenne patch à fente H

En utilisant le logiciel HFSS Microwave Studio, cette antenne a été conçue. Comme le montre le résultat simulé pour l'élément unique à bande unique en forme H. La figure IV.7 représente le coefficient de réflexion S11 en fonction de la fréquence. la figure (IV.8) montre un bon résultat simulé pour l'antenne à fente H aux deux fréquences de résonance où l'amplitude du paramètre S11 est égale à -31 dB à 28 GHz et -29 dB à 38 GHz avec une bande passante à -10 dB égale environ 0,8 GHz aux deux fréquences.

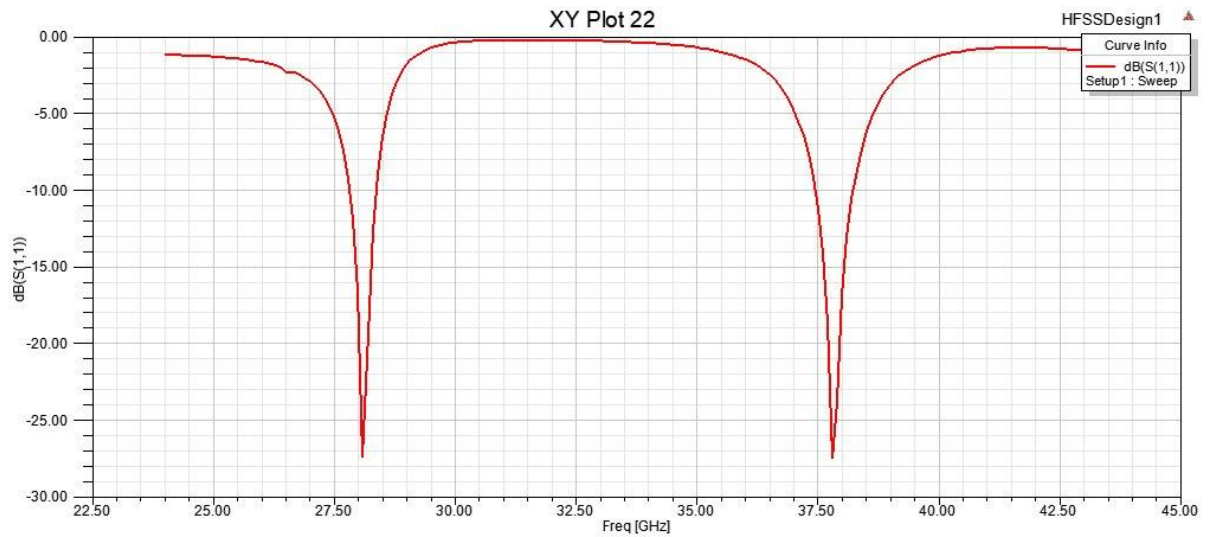


Figure IV.7 Return Loss en fonction de la fréquence de l'antenne patch à fente de forme H.

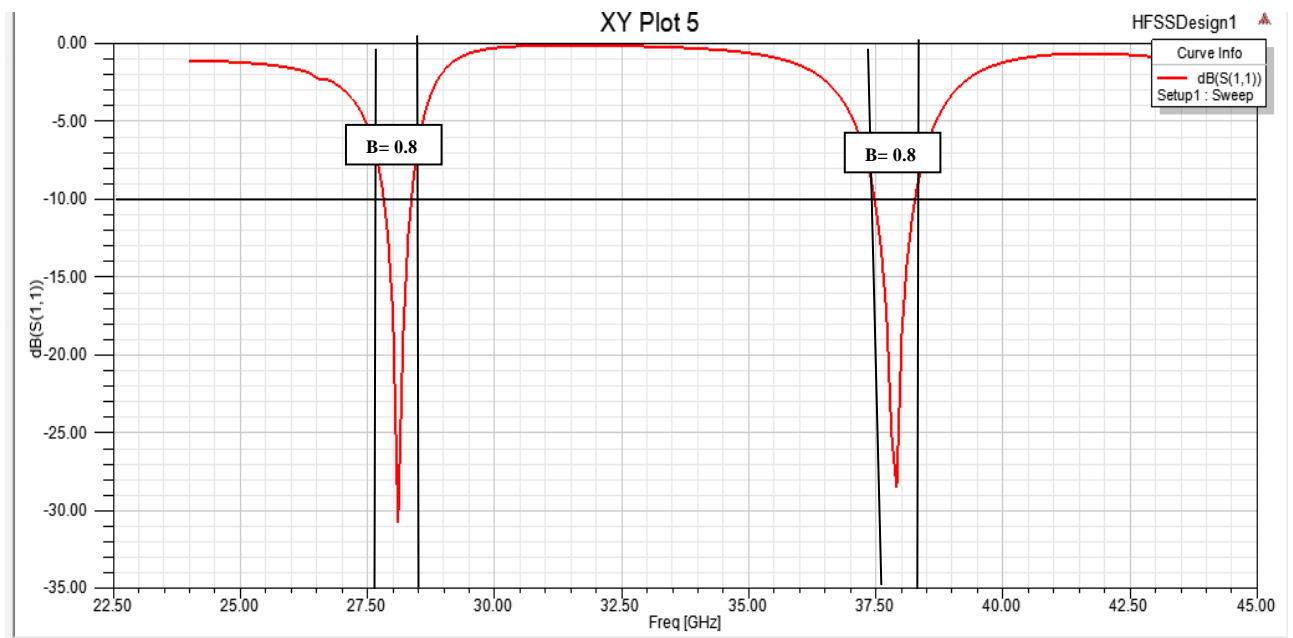


Figure IV. 8: résultat de la simulation b bande à élément unique à fente en la forme H (S11).

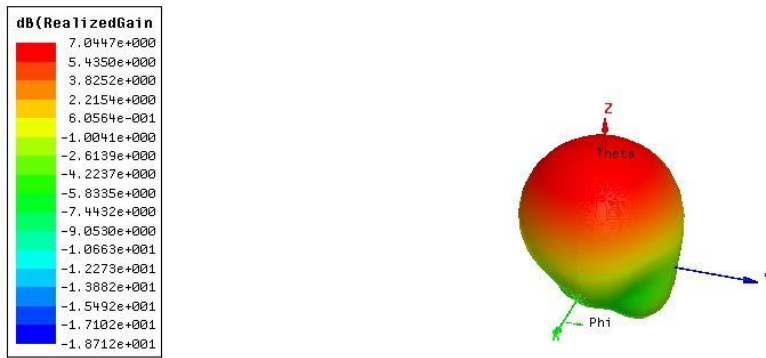


Figure IV.8 Diagramme de rayonnement de l'antenne à fente en forme H à 28 GHz.

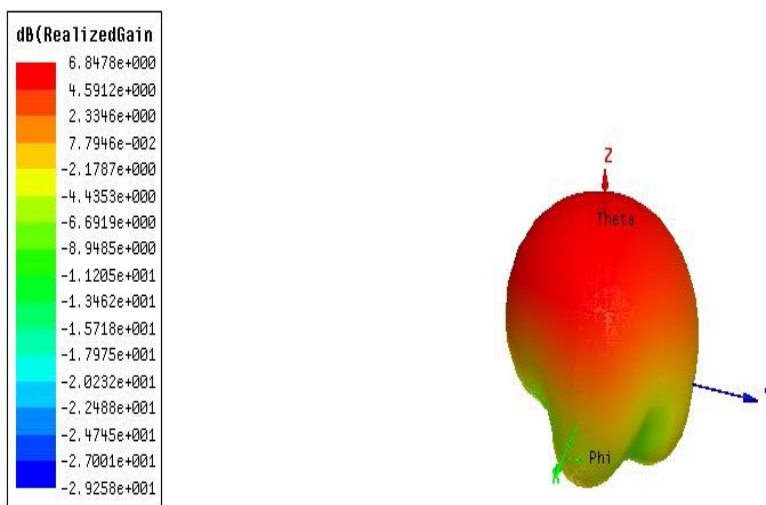


Figure IV.9 Diagramme de rayonnement de l'antenne à fente en forme H à 38 GHz.

En étudiant l'effet de la modification de la forme de la fente en H sur le paramètre de réflexion S11 et les fréquences de résonance, nous avons constaté que l'augmentation du paramètre "d" entraînait une augmentation de la distance entre les fréquences de résonance, comme le montre la figure (IV.10).

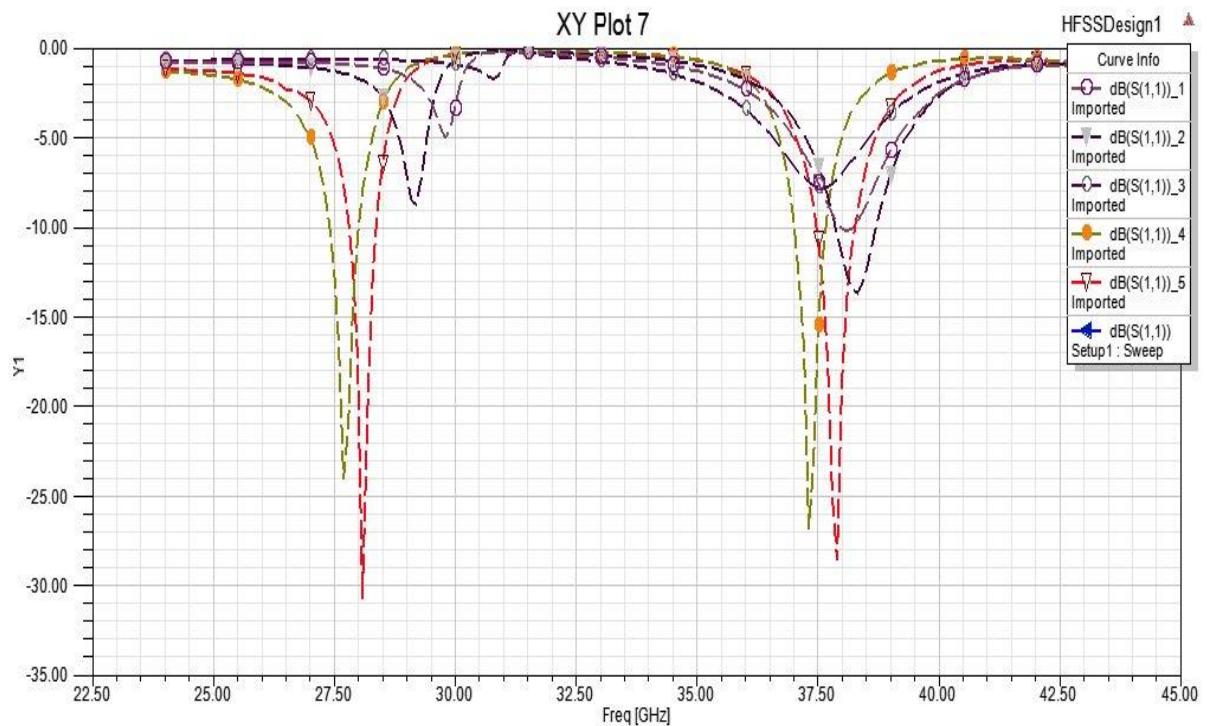


Figure IV.10 Effet de l'augmentation du paramètre  $d$  sur la fente de forme H.

De plus, l'augmentation du paramètre "ww" a entraîné une diminution de la distance entre les fréquences de résonance comme le montre la figure (IV.11)

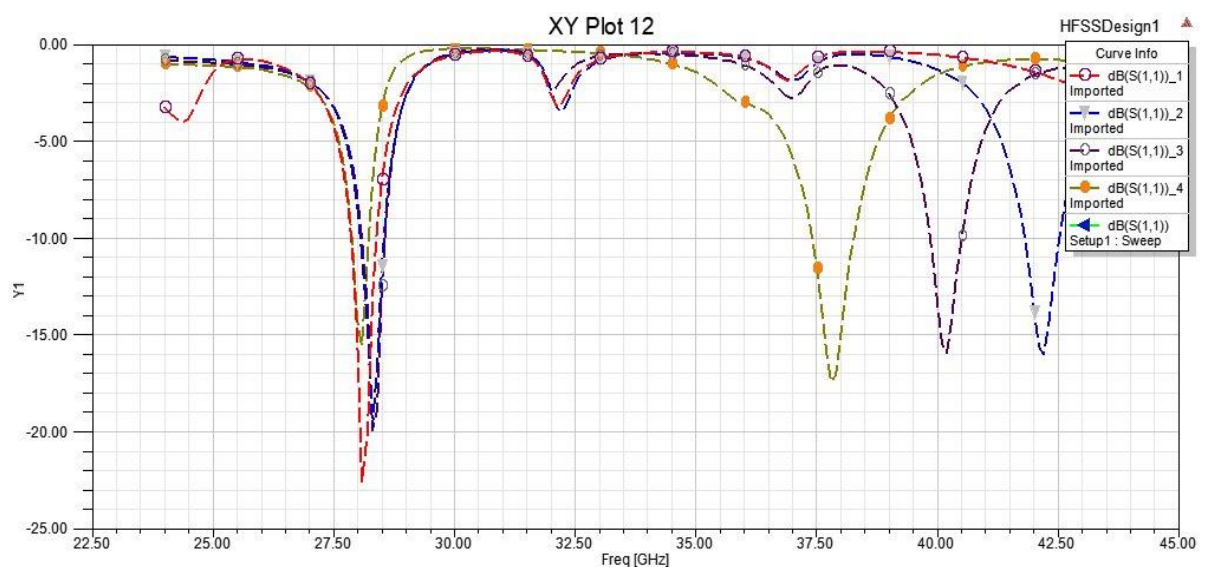


Figure IV.11 Effet de l'augmentation du paramètre  $ww$  sur la fente de forme H.

### **IV.5. Conclusion**

Ce chapitre a présenté la conception d'une antenne patch rectangulaire bi-bande pour les fréquences de 28 GHz et 38 GHz en utilisant le logiciel HFSS. Nous avons défini les spécifications de conception, modélisé l'antenne, effectué des simulations électromagnétiques et optimisé ses performances pour obtenir une réponse bi-bande optimale. Les résultats ont été analysés et validés expérimentalement pour évaluer les performances de l'antenne. La conception d'une antenne patch rectangulaire bi-bande est essentielle pour répondre aux exigences des systèmes de communication sans fil 5G, offrant une connectivité à haute fréquence et à large bande passante. La compréhension des étapes de conception, de modélisation, de simulation et d'optimisation dans HFSS permet aux concepteurs d'obtenir des antennes performantes et adaptées aux besoins spécifiques des fréquences 28 GHz et 38 GHz.



*Conclusion générale*

## **Conclusion générale**

Ce mémoire a exploré la conception d'une antenne patch bi-bande pour les fréquences de 28 GHz et 38 GHz dans le contexte des applications 5G, en utilisant le logiciel HFSS (High-Frequency Structural Simulator). L'objectif était de développer une antenne performante, compacte et adaptée aux exigences spécifiques de la connectivité sans fil à haute fréquence et à large bande passante.

La conception d'une antenne patch bi-bande nécessite une compréhension approfondie des principes de conception des antennes, des spécifications requises et de l'utilisation d'outils de simulation avancés tels que le HFSS. Les spécifications de conception ont été définies, et un modèle d'antenne patch rectangulaire a été créé en utilisant les dimensions et les caractéristiques géométriques appropriées, ainsi que les matériaux du substrat.

Le logiciel HFSS a joué un rôle crucial dans le processus de conception, en permettant la modélisation précise de l'antenne, la simulation électromagnétique, l'optimisation des performances et la validation expérimentale. Les simulations ont permis d'évaluer le comportement de l'antenne, notamment le gain et le diagramme de rayonnement et d'optimiser les dimensions et les paramètres pour obtenir une réponse bi-bande optimale.

La conception d'une antenne patch bi-bande 28 GHz et 38 GHz pour les applications 5G présente des avantages significatifs en termes de connectivité à haute fréquence et à large bande passante. Une telle antenne offre des possibilités d'amélioration des performances des systèmes de communication sans fil 5G, en permettant des débits de données plus élevés, une meilleure couverture et une expérience utilisateur optimisée.

En conclusion, la conception d'une antenne patch bi-bande pour les fréquences de 28 GHz et 38 GHz en utilisant le HFSS représente une étape importante dans le développement des systèmes de communication 5G. Ce mémoire a fourni une méthodologie claire et approfondie pour la conception de telles antennes, mettant en évidence l'importance du logiciel HFSS dans le processus de modélisation, de simulation et d'optimisation. Grâce à cette approche, il est possible de concevoir des antennes performantes et adaptées aux exigences spécifiques des applications 5G, contribuant ainsi à l'avancement des technologies de communication sans fil et ouvrant de nouvelles perspectives pour une connectivité à haute fréquence et à large bande passante.



*Bibliographie*

---

**Bibliographie**

- [1] P. F. Combes, *MICRO-ONDES. Tome 2, Circuits passifs, propagation, antennes, Cours et exercices*, 2eme editi. Dunod, 1997.
- [2] P. Odile, C. Laurent, R. Christian, B. Geneviève, B. Jean-François, and V. Martine, *Les antennes Théorie, conception et applications*. Dunod, 2009.
- [3] B. Delorme, *Les antennes dans les réseaux de téléphonie mobile*. Lavoisier & Paris, 2010.
- [4] D. M. Pozar, *Micro-strip and RF wireless Systems*. John Wiley& Sons, 2001.
- [5] Hubregt J. Visser, *Array and Phased Array Basics*. John Wiley & Sons, Ltd, 2005.
- [6] C. Balanis, “Antenna theory : analysis and design,” *SERBIULA (sistema Librum 2.0)*. John Wiley & Sons, INC, p. 931, 1982.
- [7] H. Chofi, “Conception D’Un Nouveau Système D’Antenne Réseau Conforme En Onde Millimétrique Mémoire,” UNIVERSITY of QUÉBEC, 2012.
- [8] S. Sufyar, “Contribution à l’étude d’antenne Miniature Reconfigurables en fréquence par association d’élément actifs,” UNIVERSITY of GRENOBLE, 2011.
- [9] “Antenne boucle,” *wikipedia*. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Antenne\\_boucle](https://fr.wikipedia.org/wiki/Antenne_boucle) (accessed Feb. 06, 2023).
- [10] V. Patrick, “Master Recherche Télécommunications Hautes Fréquences et Optiques IRCOM: Les antennes imprimées,” in *IRCOM –University of Limoges*, .
- [11] J. Pezzani and P. Picard , *Les Antennes*. Paris, 2007.
- [12] S. Sufyar, “Contribution à l’étude d’antenne Miniature Reconfigurables en fréquence par association d’élément actifs,” UNIVERSITY of GRENOBLE, 2011.
- [13] G. Mohamed, “Conception d’une antenne PIFA Multibandes pour applications sans fils,” University of Sidi Mohamed Ben Abdellah, 2016.
- [14] Yi. Huang and K. Boyle, *Antennes de la théorie à la pratique*. John Wiley et fils, 2014.
- [15] Jean Marc Laheurte, *Petites antennes Communications sans fil et terminaux*. Livraison,

- 2011.
- [16] C., Huang, B., J. Jeng, and SenKuo, “Grating Monopole Antenna for DVB-T Applications,” *IEEE Trans. antennas and Propag.*, vol. 56, no. 6, 2017, doi: 10.1109/LCOMM.2017.2681661.
- [17] J. R. Mosig and F. Gardiol, “Techniques analytiques et num riques dans l’analyse des antennes microruban,” *Ann. Des Télécommunications*, vol. 40, no. 7–8, pp. 411–437, 1985.
- [18] S. Bedra, “Utilisation de la méthode de l’équation intégrale du champ électrique et des réseaux de neurones artificiels pour l’étude d’une antenne imprimée bicouche fonctionnant en mode TM<sub>11</sub>,” University of Batna, 2011.
- [19] D. Khedrouche, “Modélisation des antennes microbandes par une analyse tridimensionnelle rigoureuse en utilisant une méthode intégrale,” University of Constantine, 2009.
- [20] D. Michaël, “Développement du concept de l’antenne a résonateur bie pour la génération de la polarisation circulaire,” University of Limoges, 2006.
- [21] J. G. Andrews *et al.*, “What will 5G be?,” *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 32, no. 6, pp. 1065–1082, 2014, doi: 10.1109/JSAC.2014.2328098.
- [22] W. Roh *et al.*, “Millimeter-Wave Beamforming as an Enabling Technology for 5G Cellular Communications: Theoretical Feasibility and Prototype Results,” *IEEE Commun. Mag.*, pp. 106–113, 2014.
- [23] T. S. Rappaport; *et al.*, “Millimeter wave mobile communications for 5G cellular: It will work!,” *IEEE Access*, vol. 1, pp. 335–349, 2013, doi: 10.1109/ACCESS.2013.2260813.
- [24] M. Sashiganth, S. J. Thiruvengadam, and D. Sriram Kumar, “Design of MillimeterWaveMicro-strip Patch Antenna For MIMO Communication,” *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 4, no. 10, pp. 1513– 1518, 2017, doi: 10.1016/j.phycom.2019.100963.

## Résumé:

Ce mémoire se concentre sur la conception d'une antenne patch bi-bande pour les fréquences de 28 GHz et 38 GHz dans le contexte des applications 5G. L'objectif principal est de développer une antenne performante et compacte pour permettre une connectivité à haute fréquence et à large bande passante dans les systèmes de communication sans fil. Le processus de conception de l'antenne patch bi-bande repose sur l'utilisation du logiciel HFSS (High-Frequency Structural Simulator), qui offre des fonctionnalités avancées de modélisation, de simulation et d'optimisation. Les spécifications de conception sont définies, notamment les fréquences de fonctionnement, la bande passante requise et les performances souhaitées. Grâce à l'utilisation de ce logiciel avancé, il est possible de concevoir des antennes performantes, compactes et adaptées aux exigences spécifiques des fréquences 28 GHz et 38 GHz. Les résultats obtenus contribuent à l'avancement des technologies de communication sans fil et ouvrent de nouvelles possibilités pour la connectivité 5G à haute fréquence et à large bande passante.

**Mots-clés :** Patch, signaux électromagnétiques, antennes, (5G) cinquième génération.

## Abstract

This dissertation focuses on the design of a dual-band patch antenna for the 28 GHz and 38 GHz frequencies in the context of 5G applications. The main objective is to develop a high performance and compact antenna to enable high frequency and high bandwidth connectivity in wireless communication systems. The design process of the dual-band patch antenna is based on the use of HFSS (High-Frequency Structural Simulator) software, which offers advanced modeling, simulation and optimization functionalities. Design specifications are defined, including operating frequencies, required bandwidth, and desired performance. Thanks to the use of this advanced software, it is possible to design efficient, compact antennas adapted to the specific requirements of the 28 GHz and 38 GHz frequencies. The results obtained contribute to the advancement of wireless communication technologies and open up new possibilities for high-frequency, high-bandwidth 5G connectivity.

**Keywords:** Patch, electromagnetic signals, antennas, (5G) fifth generation.

## ملخص:

تركز هذه الرسالة على تصميم هوائي مزدوج النطاق للترددات 28 جيجاهرتز و 38 جيجاهرتز في سياق تطبيقات الجيل الخامس. الهدف الرئيسي هو تطوير هوائي عالي الأداء ومضغوط لتمكين الاتصال عالي التردد وعرض النطاق الترددي العالي في أنظمة الاتصالات اللاسلكية. تعتمد عملية تصميم هوائي التصحيح مزدوج النطاق على استخدام برنامج HFSS المحاكي الهيكلي عالي التردد ، والذي يوفر وظائف النمذجة والمحاكاة والتحسين المتقدمة. يتم تحديد مواصفات التصميم ، بما في ذلك ترددات التشغيل وعرض النطاق الترددي المطلوب والأداء المطلوب. بفضل استخدام هذا البرنامج المتقدم ، من الممكن تصميم هوائيات فعالة ومضغوطة تتكيف مع المتطلبات المحددة للترددات 28 جيجاهرتز و 38 جيجاهرتز. تساهم النتائج التي تم الحصول عليها في النهوض بتقنيات الاتصال اللاسلكي وفتح إمكانيات جديدة لاتصال G 5 عالي التردد وعالي النطاق

**الكلمات المفتاحية:** باتش، إشارات كهرومغناطيسية، هوائيات ، (5G) جيل خامس.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ