

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
POPULAIRE MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA

**FACULTE DU
TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT
D'ELECTRONIQUE**

**N°:.....
.....**



**DOMAINE:SCIENCES ET
TECHNOLOGIE**

FILIERE: ELECTRONIQUE

**OPTION: SYSTEMES DES
TELECOMMUNICATIONS**

**Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master
académique**

Intitulé

**Conception d'une antenne microruban par des
algorithmes génétiques avancés pour des
applications à 60GHZ**

Réalisé par:

- BENLAKHDAR
AHLAM
- MALLEK FAIROUZ

Proposé et dirigé par:

Pr. Djamel
KHEDROUCHE

Année universitaire:2021/2022

Remerciements

Tout d'abord, Nous remercions ALLAH qui nous a donné le courage, la patience, la chance, La volonté, la force pour mener ce travail.

En second lieu, nous tenons à remercier nos encadreurs : **Pr. Khedrouche Djamel** pour ses précieux conseils, sa disponibilité et son aide durant toute la période du travail et **Mr. Khezzar Djamel** pour son aide, ses conseils et ses efforts.

Nos remerciements s'adressent à tous les membres du jury qui ont accepté de juger notre travail.

Nos remerciements s'étendent également à tous nos enseignants durant toutes ces années d'études.

Enfin, nous ne voudrions pas oublier de remercier tous ceux qui nous ont aidés de près Ou de loin pour réaliser ce travail.

Table des matières

Dédicaces	9
Résumé.....	10
Introduction Générale.....	13
Chapitre 1 : Antenne Microruban en Ondes Millimétriques.....	15
1.1. Introduction	16
1.2. Ondes millimétriques	16
1.2.1. Caractéristiques fondamentales de l'onde millimétrique	16
1.2.2. Courte longueur d'onde.....	17
1.2.3. Perte de propagation	17
1.2.4. Perte de pénétration.....	18
1.2.5. Large bande passante	19
1.2.6. Directivité.....	19
1.3. Bandes de fréquences et applications	20
1.3.1. Capteurs radar pour l'automobile	20
1.3.2. 60GHz pour les appareils et réseaux radio Gb/s.....	20
1.4. Antenne	22
1.4.1. Différent types d'antennes	22
1.4.2. Antenne microruban.....	22
1.5. Paramètres et caractéristiques d'antenne	23
1.5.1. Diagramme de rayonnement.....	23
1.5.2. Directivité.....	24
1.5.3. Gain	25

1.5.4.	Coefficient de réflexion	25
1.5.5.	L'impédance d'entrée.....	26
1.5.6.	Rapport d'onde stationnaire (ROS)	26
1.5.7.	Fréquence de résonance et bande passante.....	27
1.6.	Détermination des paramètres du patch.....	28
1.7.	Polarisation de l'antenne	28
1.8.	Avantages et inconvénients de l'antenne patch.....	29
1.9.	Techniques d'alimentation	29
1.9.1.	Alimentation par ligne par micro ruban	30
1.9.2.	Alimentation coaxiale	30
1.9.3.	Alimentation couplée par proximité.....	31
1.9.4.	Alimentation couplée par ouverture	31
1.10.	Mécanismes de rayonnement de l'antenne patch	
rectangulaire	32
1.11.	Techniques d'adaptation	33
1.11.1.	Adaptation par ligne quart d'onde	33
1.11.2.	Adaptation par stub.....	33
1.11.3.	Adaptation avec encoches.....	34
1.12.	Antennes patch dans la bande millimétrique.....	35
1.13.	Les algorithmes génétiques	35
1.14.	Principe d'optimisation par les algorithmes génétiques..	35
1.15.	Conclusion.....	36
Chapitre 2 : Conception et Optimisation d'une Antenne Patch à 60 GHZ		37
2.1	Introduction	38
2.2	Présentation du logiciel HFSS	38

2.3	Modèle de la ligne de transmission	39
2.3.1	Effets frangeants.....	39
2.3.2	Longueur effective, fréquence de résonance et largeur effective	40
2.4	Procédure de Conception	41
2.5	Description de l'antenne de base	42
2.6	Simulation de l'antenne de base.....	43
2.7	Antenne à optimiser	44
2.8	Procédure d'optimisation	45
2.9	Paramètres à optimiser	46
2.10	Structure finale	47
2.11	Conclusion	49
Chapitre 3 : Résultats et Discussions		50
3.1	Introduction	51
3.2	Résultats de simulations et discussion.....	51
3.2.1	Le coefficient de réflexion	51
1.16.	1.2 Taux d'onde stationnaire VSWR	52
3.2.2	Impédance d'entrée	53
3.2.3	Adaptation de l'antenne	53
3.2.4	Diagramme de rayonnement en 2D et 3D.....	54
3.2.4.1	Diagramme 2D	54
3.2.4.2	Diagramme 3D	55
3.3	Conclusion	55
Conclusion générale		56

Références 57

Liste des Figures

Figure 1 Attribution des fréquences et limitation de la puissance	21
Figure 2 Structure d'une antenne microruban	23
Figure 3 Différentes formes d'une antenne patch.....	23
Figure 4 Exemple d'un diagramme de rayonnement en 3D	24
Figure 5 Antenne en mode émetteur	26
Figure 6 Illustration de la bande passante à -10 dB d'une antenne	27
Figure 7 Alimentation par ligne micro ruban.....	30
Figure 8 Alimentation par sonde coaxiale.....	31
Figure 9 Alimentation couplée par proximité	31
Figure 10 Alimentation couplée par ouverture	32
Figure 11 Modélisation de l'antenne quart d'onde.....	33
Figure 12 Adaptation par ligne quart d'onde.....	33
Figure 13 Modélisation de l'antenne à Adaptation simple stub - stub en circuit ouvert	34
Figure 14 L'équivalence en circuit	34
Figure 15 Patch adapté par encoches	34
Figure 16 Interface et logiciel HFSS	39
Figure 17 Répartition des champs sur les bords du patch	40
Figure 18 Capture matlab montrant les résultats de la compilation de l'algorithme	42
Figure 19 Antenne patch conçue sur HFSS	42
Figure 20 Coefficient de réflexion S11	43
Figure 21 Antenne à optimiser (Du haut).....	44
Figure 22 Antenne à optimiser (Du fond)	45
Figure 23 Organigramme d'optimisation basé sur un algorithme génétique.....	46
Figure 24 Antenne proposée (vue au-dessus)	47
Figure 25 Le coefficient de réflexion s11, pour différents paramètres optimiser.....	48
Figure 26 Coefficient de réflexion S11	51
Figure 27 Le taux d'onde stationnaire	52
Figure 28 Partie réelle de l'impédance d'entrée.....	53
Figure 29 Partie imaginaire de l'impédance d'entrée.....	54
Figure 30 Diagramme de rayonnement 2D à la fréquence 60GHz	54
Figure 31 3D radiation pattern	55

Liste des Tableaux

Table 1 Mesure de PL pour les système cellulaire.....	18
Table 2 Mesure de PL pour les système cellulaire.....	18
Table 3 Comparaison des pertes de pénétration.....	19
Table 4 Situation des bandes20	
Table 5 Les applications des ondes millimétriques.....	21
Table 6 Dimension de l'antenne conçue.....	43
Table 7 Dimension de l'antenne optimisée.....	47

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à:

- Mes très chers parents pour leur soutien infaillible, l'amour, le courage qu'ils m'ont procurés durant toutes mes années d'études.
- Ma grande mère, que dieu la protège.
- Mes frères et mes sœurs et toute ma famille.
- Mes enseignants dès le primaire jusqu'à l'université
- Tous ceux qui m'aiment et tous ceux que j'aime.
- Mon binôme Fairouz.
- Tout(e)s mes ami(e)s.

B. Ahlam

Je dédie ce modeste travail à:

- Mon père Que Dieu bénisse son âme.
- Ma chère maman, pour le soutien indéfectible, l'amour et le courage qu'elle m'a donné tout au long de mes années scolaires.
- Mes frères et mes sœurs et toute ma famille
- Mes enseignants dès le primaire jusqu'à l'université
- Tous ceux qui m'aiment et tous ceux que j'aime.
- Mon binôme Ahlam.
- Tout(e)s mes ami(e)s.

M. Fairouz

Et à toute la promotion STLC 2022

Résumé

Les antennes sont des composants importants pour la transmission et la réception d'informations sous forme d'ondes électromagnétiques dans le domaine des communications sans fil. Dans ce travail, nous concevons une antenne patch alimentée par une ligne de transmission. Cette antenne est ensuite améliorée à l'aide d'algorithmes génétiques avancés. La conception est basée sur une étude de divers facteurs qui affectent les performances de l'antenne en utilisant le logiciel commercial HFSS.

Nous proposons une nouvelle structure pour les antennes patch opérants à 60 GHz dans les réseaux sans fil à large bande passante. Nous avons calculé les différents paramètres de l'antenne optimale pour un bon compromis en termes des différents résultats tels que la bande passante, le coefficient de réflexion, le taux d'ondes stationnaires (TOS), l'impédance d'entrée, le gain et le diagramme de rayonnement.

المخلص

الهوائيات هي مكونات مهمة لإرسال واستقبال المعلومات على شكل موجات كهرومغناطيسية في مجال الاتصالات اللاسلكية. في هذا العمل ، نقوم بتصميم وتحسين هوائي التصحيح الذي يغذيه خط نقل. يعتمد التصميم على دراسة العوامل المختلفة التي تؤثر على أداء هوائي.

نقترح هيكلًا جديدًا لهوائيات التصحيح الموجهة إلى 60 جيجا هرتز في الشبكات اللاسلكية ذات النطاق الترددي العالي. حسبنا المعلمات المختلفة للهوائي الأمثل مثل عرض النطاق الترددي ومعامل الانعكاس ونسبة الموجة الواقفة (SWR) ومقاومة الدخل ومخطط الإشعاع.

Abstract

Antennas are important components for the transmission and reception of information in the form of electromagnetic waves in the field of wireless communications. In this work, we design and improve a patch antenna fed by a transmission line. The design is based on a study of various factors that affect antenna performance by using HFSS commercial Software.

We propose a new structure for patch antennas pointed at 60 GHz in high bandwidth wireless networks. We calculated the different parameters of the optimal antenna such as the bandwidth, the reflection coefficient, the standing wave ratio (SWR), the input impedance and the radiation pattern.

Introduction Générale

Les réseaux sans fil sont devenus de plus en plus importants ces dernières années car ils jouent un rôle important dans les communications mondiales grâce auxquelles les informations peuvent être envoyées facilement, commodément et de manière fiable sur de longues distances. Les réseaux sans fil présentent de nombreux avantages, dont les plus importants sont leur flexibilité et leur évolutivité. La bande 60 GHz sans licence peut répondre aux exigences de la prochaine génération de communications. Tels que la petite taille et vitesse rapide. L'antenne est le composant principal pour réaliser une communication sans fil, y compris l'antenne dipôle, l'antenne à anneau magnétique, l'antenne à réflecteur parabolique, l'antenne à puce. L'antenne microruban offre les caractéristiques de petite taille, poids léger et faible coût. Ces antennes sont largement utilisées dans les communications sans fil. Les antennes Microstrip Patch ont un gain très faible et une bande passante de fonctionnement très étroite généralement inférieure à 5%.

Les travaux menés dans le cadre de ces informations s'inscrivent dans ce contexte. Notre objectif est de concevoir et de simuler des antennes fonctionnant dans la gamme de fréquences millimétriques de 60 GHz pour une utilisation dans les nouvelles générations des réseaux sans fil. Par conséquent, nous nous appuyons sur la théorie des antennes pour déterminer les paramètres géométriques de notre antenne de type microruban et utilisons le logiciel HFSS pour simuler la structure proposée. Puis, on applique l'optimisation par les algorithmes génétiques afin d'améliorer la réponse de l'antenne conçue en termes de bande passante et de gain.

Ce manuscrit est structuré comme suit:

Le premier chapitre expose, en premier lieu, des généralités sur les ondes millimétriques. En deuxième partie de ce chapitre, on présente une vue d'ensemble sur les antennes imprimées et leurs caractéristiques. En troisième partie, on explique le rôle des algorithmes génétiques.

Le deuxième chapitre expose la procédure de ce travail. Tout d'abord, on présente la conception de l'antenne patch de forme rectangulaire à l'aide du logiciel HFSS. Ainsi, on commence par la citation des relations utilisées pour le dimensionnement de notre antenne patch en utilisant le modèle de ligne de transmission. Le logiciel Matlab est utilisé pour le calcul. Les dimensions obtenues sont ensuite utilisées pour la conception et la première itération de simulation avec HFSS. Ensuite, après la première simulation nous avons appliqué une

optimisation par des algorithmes génétiques pour chercher les dimensions optimales pour un bon compromis en termes des différentes caractéristiques de l'antenne.

Le troisième chapitre présente la structure finale et la discussion des résultats de la simulation obtenus pour l'antenne développée. On termine par une interprétation des résultats et une conclusion générale.



Chapitre 1 :

Antenne Microruban en Ondes Millimétriques

1.1. Introduction

Le développement des télécommunications spatiales, les contrôles et les commandes à distance, ont fait apparaître la nécessité croissante de réaliser des dispositifs à ondes millimétrique peu coûteux et peu encombrants, faisant appel à une technologie simple et économique. Les systèmes à ondes millimétrique à structure micro ruban ont été à l'origine du développement des antennes imprimées (antennes plaques ou antennes patch) qui sont le plus souvent utilisées en réseaux afin d'améliorer leurs performances et de permettre la réalisation de fonctions très particulières. Dans ce chapitre, on va adresser les deux différentes technologies : les ondes millimétriques et les antennes imprimées, nous détaillons le principe des méthodes usuelles les plus utilisées dans le domaine des antennes. Nous évoquerons également le principe de l'algorithme le plus couramment utilisé dans le domaine des antennes.

1.2. Ondes millimétriques

Le spectre des ondes millimétriques est un candidat prometteur et pratique pour les futurs téléphones de la 5G. Ce spectre comprend des fréquences de 30 GHz à 300 GHz, qui correspondent à des longueurs d'onde de l'ordre du millimètre (de 1 mm à 1 cm) [1]. Au cours de la dernière décennie, la plupart des appareils électroniques ont communiqué dans des bandes de fréquences inférieures à 6 GHz[2]. Cette bande est très congestionnée en raison du nombre d'objets connectés, et plus le nombre est élevé, plus la qualité de service est mauvaise [2]. L'utilisation de fréquences plus élevées et de bandes de fréquences plus larges est importante pour désencombrer le réseau. La haute fréquence permet de fournir plus d'informations par seconde. L'augmentation du spectre permet également d'augmenter le nombre de canaux propagé. Cependant, le spectre des ondes millimétriques présente certains inconvénients [3]. Ces ondes traversent difficilement les obstacles, ont une portée plus courte et facilement absorbées par des obstacles tels que les murs, les arbres ou la pluie. Afin de résoudre ces problèmes, il faut utiliser de nouvelles technologies, dans lesquelles l'antenne est un élément essentiel qui doit être optimisé [3].

1.2.1. Caractéristiques fondamentales de l'onde millimétrique

Dans la communication mm Wave, où la longueur d'onde est à l'ordre du millimètre, elle possède plusieurs caractéristiques fondamentales

1.2.2. Longueur d'onde courte

Les signaux à ondes millimétriques ont des longueurs d'onde beaucoup plus courtes, de l'ordre du millimètre par rapport aux signaux micro-ondes. Par conséquent, massive MIMO est considéré comme essentiel pour les communications à ondes millimétriques, car les courtes longueurs d'onde des fréquences millimétriques sont avantageuses, il s'agit donc d'une méthode d'amélioration d'accès sans fil et augmentation de débit [4].

1.2.3. Perte de propagation

Selon la formule de transmission de Fris [5], la perte sur le trajet en espace libre est proportionnelle au carré de la fréquence porte :

$$P_r(d_x) = \frac{P\Omega_t\Omega_r}{A} \left(\frac{\lambda}{4\pi d_x} \right)^2 \quad (1)$$

- P_r : la puissance reçue.
- P la puissance émise.
- Ω_r : est le gain d'antenne du récepteur
- Ω_t : est le gain d'antenne de l'émetteur.
- λ : est la longueur d'onde de fonctionnement de la transmission.

A Sans unité : pertes d'antenne et de composants (pertes indépendantes de la propagation).

A partir du modèle de l'équation de l'espace libre, on peut voir que la puissance reçue diminue avec la longueur d'onde. Pour voir l'effet de la fréquence sur la perte de trajet, nous avons comparé la perte de trajet spatial entre un système cellulaire fonctionnant à 460 MHz, un système Wi-Fi fonctionnant à 2,4 GHz et un système à ondes millimétriques fonctionnant à 60 GHz, en supposant qu'aucune perte supplémentaire ($A = 1$) ne s'ajoute, l'antenne est omnidirectionnelle et a le même niveau de puissance d'émission, distance d'un mètre, les résultats sont montrés dans l Tableau 1 suivant:

Table 1 : Mesure de PL pour les systèmes cellulaire [6]

Système	Fréquence de fonctionnement	Pertes en espace libre (dB)
Système cellulaire	460MHz	-25.7
WIFI	2.4GHz	-40
Système millimétrique	60GHz	-68

Pour une distance de 100 m entre l'émetteur et le récepteur, les pertes en espace libre pour les mêmes systèmes précédents sont résumées dans ce tableau [6] :

Table 2 Mesure de PL pour les système cellulaire wifi [6]

Système	Fréquence de fonctionnement	PL (dB)
Système cellulaire	460MHz	-65.7
WIFI	2.4GHz	-80
Système millimétrique	60GHz	-108

Ces estimations suggèrent que les systèmes d'antennes omnidirectionnelles ne sont pas propices aux fréquences d'ondes millimétriques [6]. Cependant, des antennes directionnelles à gain élevé peuvent être appliquées pour compenser la perte de propagation, et bien que la perte de trajectoire soit l'un des inconvénients des ondes millimétriques, du côté positif [4], elle peut améliorer le signal à la réception en utilisant une petite antenne avec gain élevé [6].

1.2.4. Perte de pénétration

Pour comprendre l'impact de la perte de pénétration du signal millimétrique, des mesures à 28 GHz ont été menées à New York en 2012 pour la conception et le déploiement de réseaux de communication 5G [7]. Les matériaux de construction testés pour la perte de pénétration comprennent : le verre teinté, la brique, le verre clair, les murs. Le Tableau 3 résume les résultats pour ces différents matériaux de construction.

Table 3 : Comparaison des pertes de pénétration[7]

Le verre teinté et la brique ont des pertes de pénétration élevées de 40.1dB et 28.3dB

Environnement	Location	Matériel	Epaisseur (cm)	La puissance reçue (dBm)		Perte de pénétration (dB)
				Espace libre	matériel	
Extérieure	ORH	verre teinté	3.8	-34.9	-75.0	40.1
	WWH	brique	185.4	-34.7	-63.1	28.3
Intérieur	MTC	verre transparent	<1.3	-34.7	-59.2	24.5
	WWH	verre transparent	<1.3	-34.7	-38.3	3.6
		mur		38.1	-34.0	-40.9

respectivement [7]. Pour l'intérieur, si l'utilisateur est connecté à une station de base extérieure, alors le signal doit traverser les murs du bâtiment. Cela peut souffrir d'une pénétration très élevée, ce qui entraîne une baisse significative du débit de données, de la qualité, de l'efficacité spectrale et de l'efficacité énergétique. Plus la fréquence porteuse est élevée, pire est la situation. Par conséquent, il est prévu que dans les futures architectures cellulaires 5G, les scénarios extérieur et intérieur seront séparés [4].

1.2.5. Large bande passante

La bande passante totale disponible pour les réseaux mobiles (y compris les réseaux 2G, 3G et 4G) est actuellement inférieure à 780 MHz [4], et certains appareils nécessitent des bandes passantes plus élevées. Les ondes millimétriques ont des bandes passantes nettement plus larges que les communications micro-ondes traditionnelles. Bien qu'il existe des bandes de fréquences favorables telles que 57 - 64 GHz, 164 - 200 GHz, pour des largeurs de bande appropriées Les communications en ondes millimétriques peuvent encore dépasser 150 GHz et atteindre plus de 150 Gbps sur l'ensemble du spectre [4].

1.2.6. Directivité

En utilisant de petites longueurs d'onde, un réseau d'antennes orientables électroniquement peut être réalisé en modelant du métal sur une carte de circuit imprimé, puis en les utilisant pour contrôler la phase de chaque signal transmis, le réseau d'antennes peut orienter électroniquement son faisceau dans n'importe quelle direction, et dans lequel atteint une direction à gain élevé tout en fournissant un gain très faible dans toutes les autres directions. Pour que l'émetteur et le récepteur pointent leurs signaux de faisceau l'un vers l'autre, des procédures d'entraînement de faisceau sont nécessaires et plusieurs algorithmes d'entraînement de faisceau ont été développés [8].

1.3. Bandes de fréquences et applications

1.3.1. Capteurs radar pour l'automobile

Actuellement, les bandes de fréquences 24 GHz et 77 GHz ont été proposées ou attribuées dans divers pays pour les bandes étroites et ultra large bande (UWB) à courte et longue portée pour les applications automobiles. Ce tableau 4 présente l'état des fréquences des radars automobiles :

Table 4 : Situation des bandes[9]

	24 GHz (bande étroite)	24 GHz UWB Courte portée Radar	26 GHz UWB Courte portée Radar	77 GHz Longue portée radar	79 GHz Longue portée radar
Europe	200 MHz	5 GHz Jusqu'à 2013	4 GHz proposé	4 GHz	4 GHz
USA/Canada	100/250 MHz	7 GHz 22-29 GHz		1 GHz	Aucune activité
Japon	76 MHz	En cours d'étude	proposé	0.5 GHz	En cours d'étude

La bande 24GHz est alloué au radar automatique à courte portée pour la détection des spots et l'aide au stationnement. La bande 76 à 77 GHz est utilisée pour les radars de véhicule à vision vers l'avant. Les radars qui fournissent des informations utiles sur la présence d'obstacles sont appelés « régulateur de vitesse adaptatif » ou « radars anticollision ». Ce type de radar sera une étape vers le développement de systèmes de transport intelligents [9].

1.3.2. 60GHz pour les appareils et réseaux radio Gb/s

La bande de fréquences comprise entre 57 et 66 GHz (Figure I.1) est attribuée aux communications sans fil exemptes de licence dans le monde entier. Les liaisons 60 GHz peuvent être utilisées pour remplacer divers câbles utilisés à la maison ou au bureau. Il peut également être déployé pour une utilisation rapide, comme le transfert de données entre des appareils portables. La fréquence 60GHz apparaît comme la solution la plus fiable pour les réseaux WPAN de l'ordre de 10m, permettant la connexion de divers appareils électroniques dont les ordinateurs portables, les caméras, les téléviseurs, les téléphones portables, les assistants numériques personnelle et les moniteurs [9].

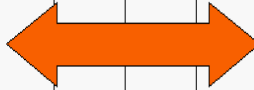
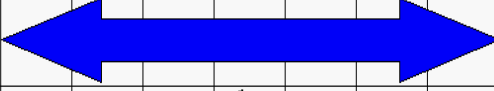
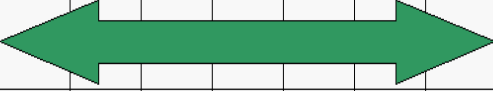
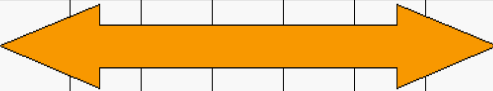
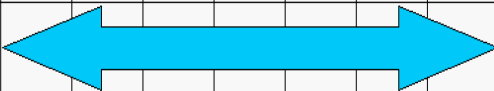
	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66 GHz	
										TX Power/Ant. Gain	
Australia										Pmax: 10 mW EIRP=51.8dBm(150W)	
Canada/USA										Pmax: 500 mW EIRP=40dBm(10W)	
Japan											Pmax:10mW EIRPmax: 57 dBm
Europe											EIRPmax: 43 dBm
Korea										Pmax:10 mW	

Figure 1 : Attribution des fréquences et limitation de la puissance

Le Tableau 5 résume les travaux typiques en fonction de l'ordre du prioritésuivant la bande de fréquences, le scénario et l'application principale [8].

Table 5 : Les applications des ondes millimétriques

Bandedefréquence(GHz)	Scénario	Application
60	Bureau intérieur	Accès Internet
60	WPAN	Transmission entre appareils
60	WPAN	Les flux avec Les exigences QOS
60	WLAN	Accès au canal de liaison montante
28,38,71-76,81-86	Rue urbaine	Accès et backhaul
60	WPAN	Vidéo HD
60,70	Intérieur	Multimédia
28	Cellule extérieur	Liaison backhaul
60	Petites cellules dansHetNets	Accès backhaul, D2D
Non spécifié	Cellule extérieur	Accès, backhaul, D2D

Nous pouvons observer qu'il y a beaucoup de travaux et applications sur l'intérieur WPAN/WLAN dans la bande des 60GHz

1.4. Antenne

Les antennes sont des transducteurs qui convertissent les ondes radioélectriques se propageant dans l'espace libre en courant électrique et vice versa. L'antenne de réception convertit le rayonnement électromagnétique en courant électrique. La même antenne peut être utilisée pour l'émission et la réception : réciprocité des antennes [10].

1.4.1. Différent types d'antennes

D'une manière générale, il existe de nombreuses techniques de mise en œuvre d'une antenne, chacune ayant ses propres caractéristiques et son utilisation pour une application spécifique. Il existe plusieurs types d'antennes basées sur la géométrie, le gain, la forme du faisceau et la bande passante. On peut citer quelques [11]:

- Antennes dipôles
- Antennes à boucle magnétique
- Antennes cornet
- Antennes à réflecteur parabolique
- Antennes micro ruban (imprimées)

1.4.2. Antenne microruban

Les antennes micro rubans, également appelées antennes imprimées, sont constituées de diélectrique avec un plan de masse métallique sur un côté. De l'autre côté de ce diélectrique, des pastilles métalliques peuvent supporter des courants de surface qui génèrent des rayonnements électromagnétiques (Figure2).

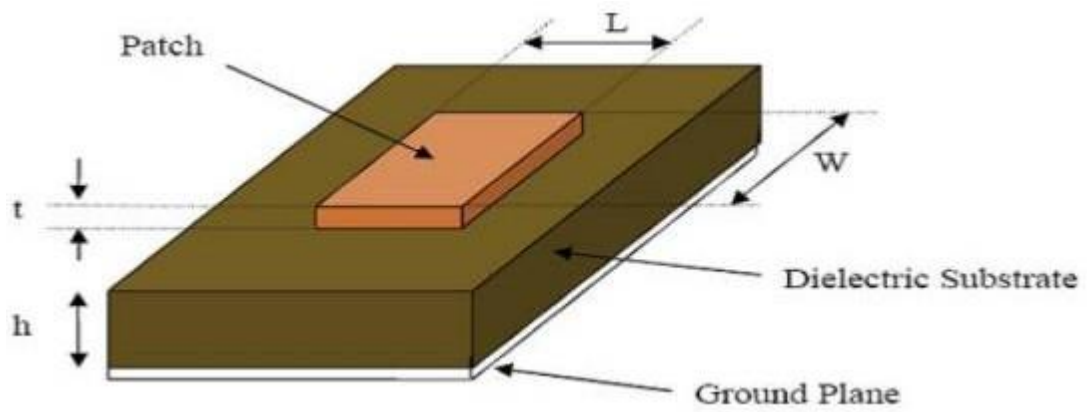


Figure 2 Structure d'une antenne microruban [12]

L'antenne patch prend différentes formes et s'intègre dans plusieurs applications selon sa fréquence de résonance.

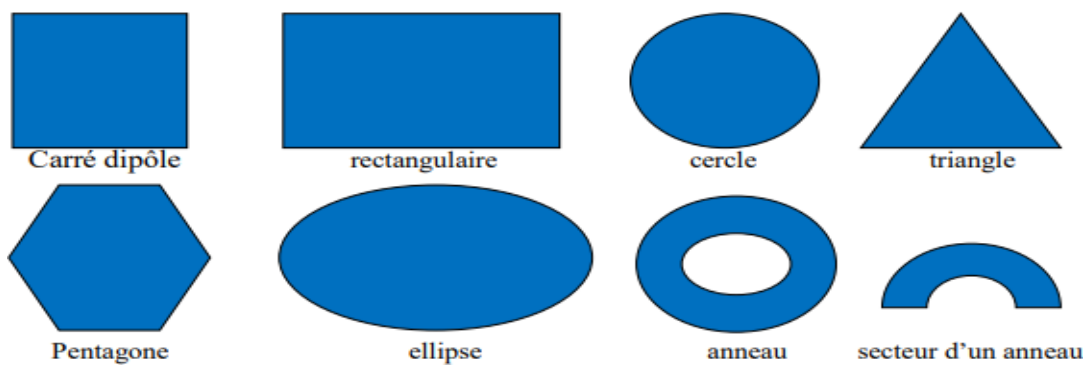


Figure 3 : Différentes formes d'une antenne patch [13]

1.5. Paramètres et caractéristiques d'une antenne

En communication sans fil, chaque application met en évidence certaines caractéristiques de l'antenne. Les paramètres d'antenne sont utilisés pour comprendre et caractériser les performances de l'antenne lors de la conception et de la mesure des antennes.

1.5.1. Diagramme de rayonnement

Un diagramme de rayonnement d'antenne peut être défini comme une représentation graphique des caractéristiques de rayonnement (puissance/intensité de champ) en fonction de l'espace angulaire [10]

Il est donné par la relation suivante:

$$r(\theta, \varphi) = \frac{P(\theta, \varphi)}{P_0(\theta_0, \varphi_0)} \quad (2)$$

Avec :

- $P(\theta, \varphi)$: Puissance rayonnée dans une direction quelconque.
- $P_0(\theta_0, \varphi_0)$: Puissance rayonnée max.

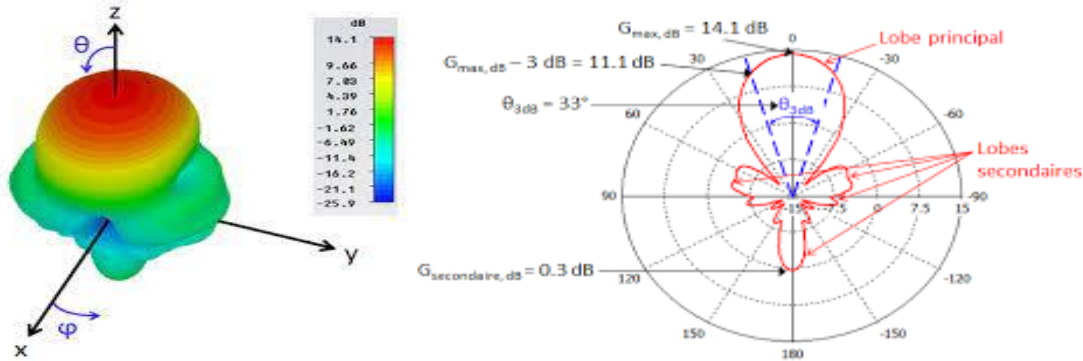


Figure 4 : Exemple d'un diagramme de rayonnement en 3D

1.5.2. Directivité

La directivité d'une antenne caractérise l'espace dans lequel l'antenne concentre son rayonnement dans une direction particulière. La directivité est définie comme le rapport de l'intensité de rayonnement dans une direction de l'antenne à l'intensité de puissance rayonnée par la source isotrope. Il est donné par la relation suivante [14] :

$$D(\theta, \varphi) = \frac{P(\theta, \varphi)}{P(\theta, \varphi)_{iso}} = \frac{P(\theta, \varphi)}{\left(\frac{Pr}{4\pi}\right)} \quad (3)$$

Avec :

- $P(\theta, \varphi)$: La Puissance rayonnée par unité d'angle solide (θ, φ) .
- Pr : est la puissance totale rayonnée.

1.5.3. Gain

Le gain est une grandeur descriptive des performances de l'antenne. Prendre le gain de l'antenne isotrope comme référence unifiée (0 dB). Le gain d'une antenne dans une direction donnée est le rapport de l'intensité du rayonnement à celle d'une antenne isotrope [15].

$$G(\theta, \varphi) = \frac{P(\theta, \varphi)}{\left(\frac{Pa}{4\pi}\right)} \quad (4)$$

Avec :

- $P(\theta, \varphi)$: Puissance rayonnée dans une direction.
- Pa : Puissance rayonnée par l'antenne.

1.5.4. Coefficient de réflexion

Généralement, lorsqu'une onde incidente change de milieu de propagation ou rencontre une nouvelle interface, une partie de l'onde incidente est réfléchiée et une autre partie se propage dans le nouveau milieu. Le coefficient de réflexion d'une antenne est défini comme le rapport de l'amplitude de l'onde incidente sur l'amplitude de l'onde réfléchiée. [16] Pour une antenne d'impédance Z , la source a une ligne d'impédance caractéristique Z_s qui est généralement égal à 50Ω . Le coefficient de réflexion peut être défini par:

$$\Gamma = \frac{(Z_e(f) - Z_0)}{(Z_e(f) + Z_0)} \quad (5)$$

Avec:

- Z : est l'impédance d'entrée de l'antenne.
- Z_0 : est l'impédance caractéristique (Généralement égale à 50Ω)

Le module du coefficient de réflexion est souvent exprimé en décibel (dB) et est noté $|\Gamma|$ et se définit comme suit :

$$|\Gamma|_{dB} = 20 \log |\Gamma|$$

Le coefficient de réflexion permet de connaître la qualité adaptative de l'antenne. En effet, plus ses modules tendent vers l'infini, plus l'antenne s'adapte. Habituellement, la fréquence de résonance de l'antenne est celle où le coefficient de réflexion est le plus petit.

1.5.5. L'impédance d'entrée

L'impédance d'entrée est égale au rapport de la tension V_e sur le courant I_e présenté à l'entrée (figure 5) [17] :

$$Z = \frac{V_e}{I_e} = R + jX \quad (6)$$

Avec :

- Z : impédance d'entrée aux bornes a et b.
- R : résistance de l'antenne aux bornes a et b.
- X : réactance de l'antenne aux bornes a et b.

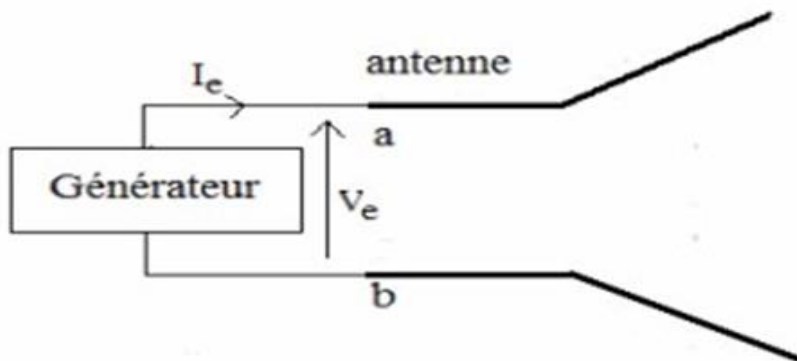


Figure 5 : Antenne en mode émetteur

1.5.6. Rapport d'onde stationnaire (ROS)

Le coefficient de réflexion permet de connaître la qualité adaptative de l'antenne. En effet, plus ses modules tendent vers l'infini, plus l'antenne s'adapte. Habituellement, la fréquence de résonance de l'antenne est celle où le coefficient de réflexion est le plus petit.

Les lignes de transmission permettent aux ondes électromagnétiques de voyager dans les deux sens. Lorsque la source, la ligne de transmission et la charge ont toutes la même impédance, les ondes électromagnétiques se déplacent de la source à la charge sans aucune perte de signal. D'autres éléments de la chaîne de transmission, une partie de l'onde sera

réfléchi, et lorsqu'elle atteindra la charge, reviendra à la source. Dans ce cas, les ondes incidentes et réfléchies se superposent et une onde stationnaire est créée [18]. Si on caractérise par (+V), l'onde propageant vers l'avant et par (-V) l'onde en retour, alors le taux ou le rapport d'onde stationnaire sera défini par:

$$R_{os} = \frac{(+V) + (-V)}{(+V) - (-V)}$$

Il est lié au coefficient de réflexion Γ par la relation :

$$R_{os} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

1.5.7. Fréquence de résonance et bande passante

L'énergie électromagnétique correspondante est reçue dans l'espace ambiant. Les limites de la norme de fonctionnement de l'antenne définissent la gamme de fréquence située entre la valeur minimale f_{min} et la valeur maximale f_{max} .

La bande passante est donnée par l'équation 7, ainsi la bande relative peut être exprimée comme donnée par l'équation 8 [18] :

$$BP = f_{max} - f_{min} \quad (7)$$

$$BP(\%) = \left[\frac{f_{max} - f_{min}}{f_c} \right] 100 \quad (8)$$

Avec :

- f_c : est la fréquence centrale ou de résonance.

Une méthode pour mesurer la bande passante d'une antenne est représentée sur la Figure 6.

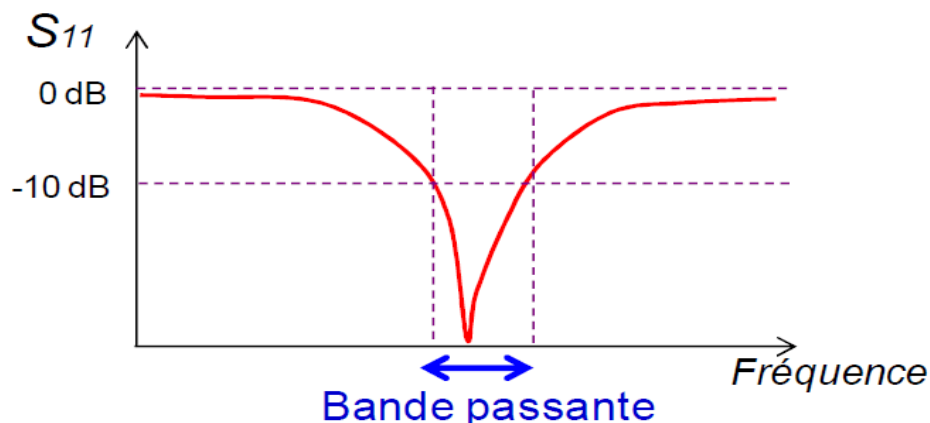


Figure 6 : Illustration de la bande passante à -10 dB d'une antenne

1.6. Détermination des paramètres du patch

Cette section comprend la détermination des paramètres électriques du patch : résistance, inductance, capacité et inductance d'alimentation. Tous ces paramètres sont des fonctions de la fréquence de résonance et peuvent être dérivés les uns des autres. L'antenne a les caractéristiques suivantes : longueur L, largeur W et hauteur de substrat H. Nous calculerons d'abord la fréquence de résonance f_r , le facteur de qualité total QT, puis nous dériverons d'autres paramètres de [19], [20].

$$C = \frac{\epsilon_e \epsilon_0 LW}{2H} \cos^{-2} \left(\frac{\pi x_0}{L} \right) \quad (9)$$

Où x_0 est la position de la sonde sur le patch selon l'axe x.

$$R = \frac{Q_T}{\omega_T C} \quad (10)$$

Avec:

$$\omega_r = 2\pi f_r \quad (11)$$

$$L = \frac{1}{C \omega_r^2} \quad (12)$$

$$X_L = \frac{377}{\sqrt{\epsilon_r}} \tan \left(\frac{2\pi H}{\lambda_0} \right) \quad (13)$$

1.7. Polarisation de l'antenne

La polarisation de l'antenne est déterminée par la polarisation des ondes rayonnées dans une direction donnée, qui est la même que la direction du champ électrique, c'est-à-dire la même direction que les brins rayonnants de l'antenne. Le plan E (électriquement) est parallèle au vecteur E de l'onde émise. Si le plan E est perpendiculaire au sol, on l'appelle polarisation verticale; s'il est parallèle au sol, on l'appelle polarisation horizontale. Le vecteur du champ

électrique instantané varie également avec le temps. Ce phénomène est simplement appelé la polarisation du champ électrique. Le diagramme est généralement une ellipse représentant un cas particulier. Si le trajet du vecteur champ électrique suit une ligne, l'antenne est dite polarisée linéairement. Si le vecteur champ électrique tourne une fois, on parle de polarisation circulaire [21].

1.8. Avantages et inconvénients de l'antenne patch

L'antenne patch présente de nombreux avantages, son utilisation allant de 100 MHz à plus de 100 GHz dans une large gamme de fréquences. Certains des avantages sont les suivants [22].

- ❖ Faible poids
- ❖ Encombrement réduit
- ❖ Faible coût de fabrication
- ❖ Production en masse possible
- ❖ Multibandes, multipolarisation

Cependant, elles présentent les inconvénients suivants :

- ❖ Faible efficacité
- ❖ Faible puissance
- ❖ Bande passante étroite
- ❖ Impureté de la polarisation
- ❖ Un gain moyen

1.9. Techniques d'alimentation

L'antenne micro ruban peut être alimentée par plusieurs méthodes. Ces méthodes peuvent être classées en deux types : contact et sans contact. Dans le procédé de contact, la puissance RF est transmise directement à l'élément de connexion des lignes rayonnantes du patch micro ruban. Dans le couplage électromagnétique sans contact, effectué pour transférer la puissance entre le patch rayonnant et la ligne micro ruban. Les quatre techniques les plus courantes sont une ligne d'alimentation micro ruban, une sonde coaxiale (alimentation par contact), un couplage de proximité et un couplage par ouverture (alimentation sans contact).

1.9.1. Alimentation par ligne micro ruban

Dans ce cas, la ligne micro ruban est connectée directement à l'élément rayonnant, comme le montre la Figure(I.7), et le point de connexion peut être sur l'axe de symétrie du patch ou complètement décalé pour une meilleure adaptation d'impédance [23]. Ce type d'alimentation est facile à mettre en œuvre et à modéliser, mais génère un rayonnement parasite important, typiquement avec une bande passante comprise entre 2 % et 5 % [24].

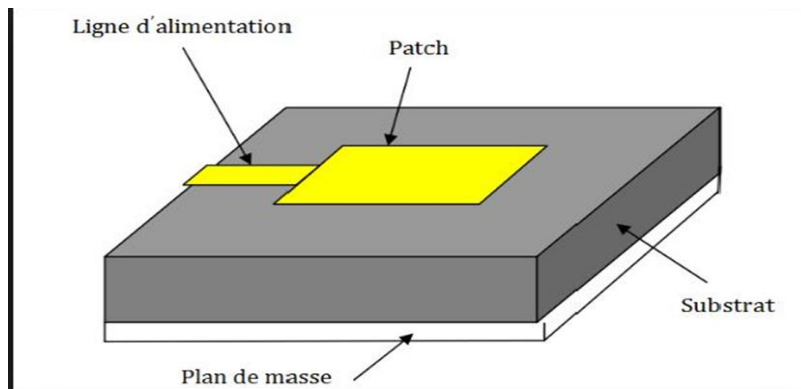


Figure 7 : Alimentation par ligne micro ruban

1.9.2. Alimentation coaxiale

L'alimentation coaxiale ou l'alimentation par sonde est une technique largement utilisée pour alimenter l'antenne micro ruban de la figure 8. Dans ce cas, le conducteur interne du connecteur coaxial est passé à travers le diélectrique et soudé au patch, tandis que le conducteur externe est mis à la terre sur le plan. Le principal avantage de cette alimentation est qu'elle peut être appliquée à n'importe quel endroit sélectionné dans le patch, facile à fabriquer. Cependant, cette approche présente des inconvénients en termes de diagrammes de rayonnement. En effet, cette connexion crée des pics de courant locaux au niveau de l'élément rayonnant, qui provoquent une dissymétrie dans le diagramme de rayonnement. De plus, des pertes se produisent lorsque les plans de masse, les diélectriques et les composants plaqués sont percés [22].

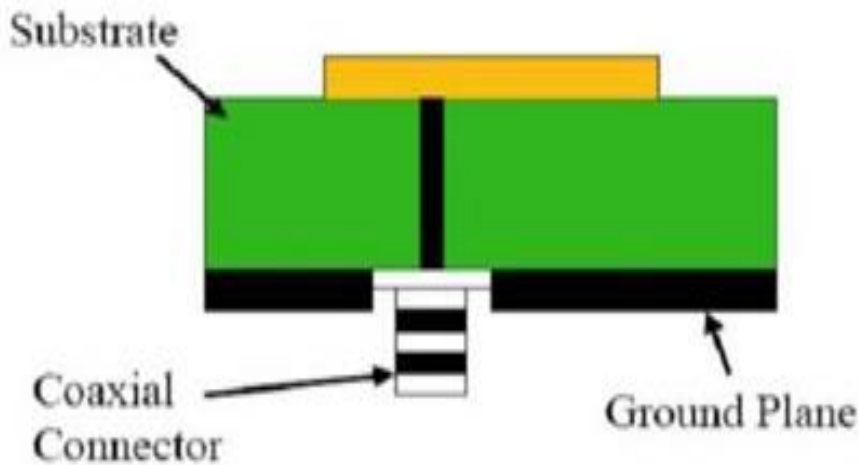


Figure 8 : Alimentation par sonde coaxiale

1.9.3. Alimentation couplée par proximité

Ce type d'alimentation, représenté sur la Figure9, utilise deux substrats diélectriques de sorte que la ligne d'alimentation est située entre les deux substrats et la pastille rayonnante est située sur le substrat supérieur. Le principal avantage de cette technique d'alimentation est l'élimination du rayonnement de fausse alimentation et la bande très large qui est obtenue grâce à l'augmentation de l'épaisseur de l'antenne. Parmi les inconvénients de cette approche d'alimentation, nous mentionnons les difficultés de fabrication, car les deux couches diélectriques doivent être correctement alignées, et la difficulté d'intégrer des dispositifs actifs[24].

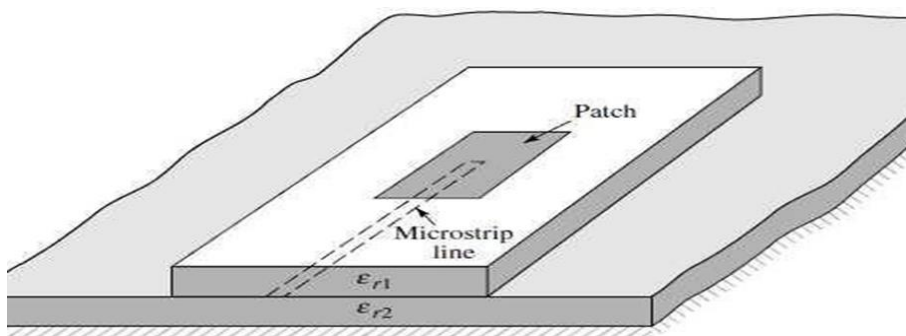


Figure 9 :Alimentation couplée par proximité

1.9.4. Alimentation couplée par ouverture

Dans ce type d'alimentation, le patch rayonnant et les lignes électriques microruban sont séparés dans le plan de masse, comme illustré à la figure10. La connexion entre le patch et les lignes électriques est réalisée par des ouvertures ou des fentes dans le plan de masse [25]. Généralement, les matériaux à permittivité élevée sont employés pour le substrat inférieur par

contre les matériaux à faible constante diélectrique sont utilisés pour le substrat supérieur dans le but d'optimiser le rayonnement du patch.

Ce type d'alimentation est difficile à concevoir à cause des couches multiples, qui augmentent l'épaisseur d'antenne. Cependant elle offre l'élargissement de bande passante.

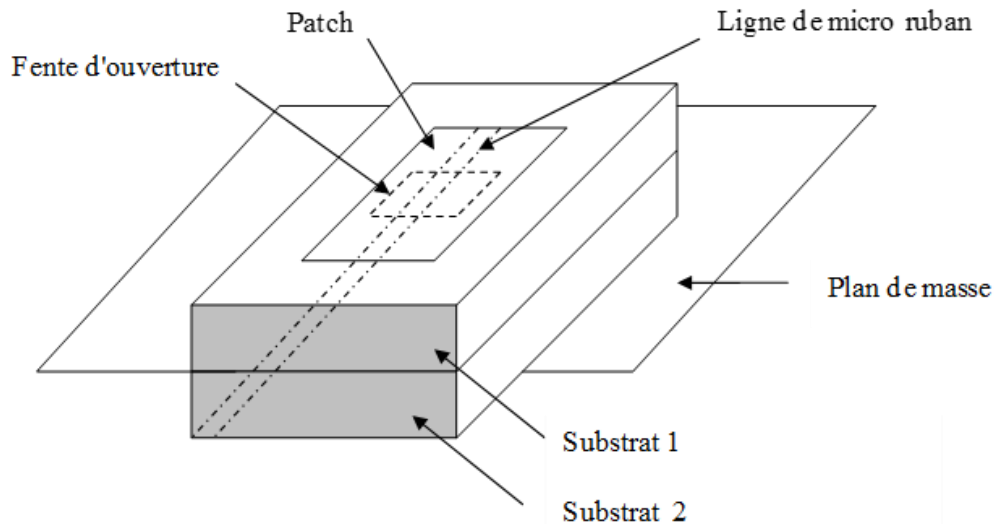


Figure 10 : Alimentation couplée par ouverture

1.10. Mécanismes de rayonnement de l'antenne patch rectangulaire

Le mécanisme de rayonnement d'une antenne patch rectangulaire est réalisé à partir de sa géométrie. Dès qu'une ligne électrique est excitée par une source radiofréquence, les ondes électromagnétiques se propagent le long de la ligne et attaquent l'élément rayonnant. La distribution de charge se produira à l'interface substrat-plan de masse, au-dessus et au-dessous du composant rayonnant, ce qui entraînera [25] :

1. Une inversion de phase des composantes verticales du champ électrique sur la longueur de l'antenne.
2. Des rayonnements qui sont en phase dans le plan de l'antenne dus aux composantes horizontales des lignes de champ qui entourent l'élément imprimé.
3. Une modélisation de l'antenne patch rectangulaire par une cavité à 4 murs magnétiques (bords de la cavité) et 2 murs électriques (formés par les métallisations).

1.11. Techniques d'adaptation

Dans la construction des circuits hyperfréquences, on cherche souvent l'adaptation, c'est-à-dire la réduction à une impédance différente (généralement l'impédance caractéristique) de celle obtenue en bout de circuit [24].

1.11.1. Adaptation par ligne quart d'onde

Pour améliorer l'adaptabilité de l'antenne, un transformateur quart d'onde est utilisé, comme le montre la Figure 11, voir aussi la Figure 11.

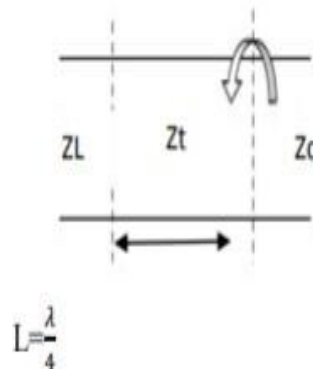


Figure 12 : Modélisation de l'antenne quart d'onde

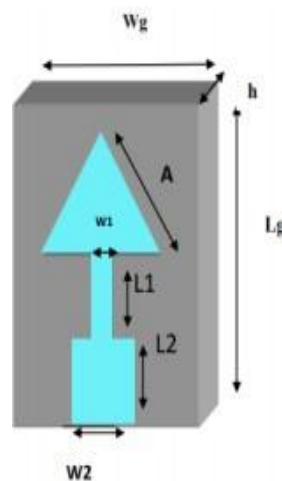


Figure 12 : Adaptation par ligne quart d'onde

1.11.2. Adaptation par stub

Il suffit de placer le transformateur entre la ligne micro ruban et l'extrémité du patch. Pour réaliser toute adaptation de charge, un circuit ouvert – utilisez un tronçon ouvert ou un

tronçon court. Un tronçon est une ligne de longueur L_s qui est prélevée sur la ligne principale à une distance d de la charge [24].

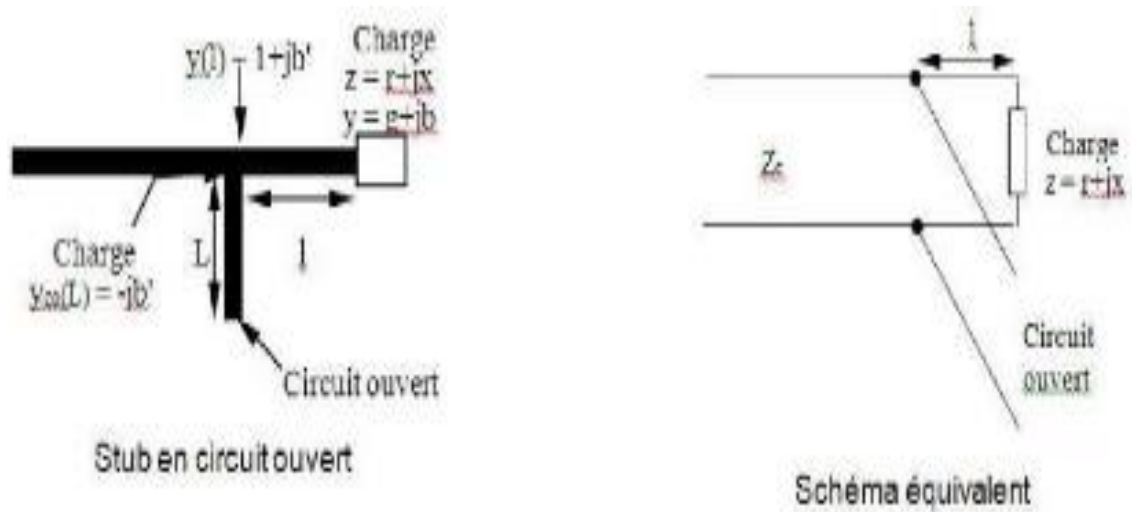


Figure13 :Modélisation de l'antenne à adaptaton simple stub - stub en circuit ouvert

1.11.3. Adaptation avec encoches

Pour améliorer l'adaptation de l'antenne, on utilise des encoches dans la géométrie du patch (voir Figure 14, Figure 15) [24].

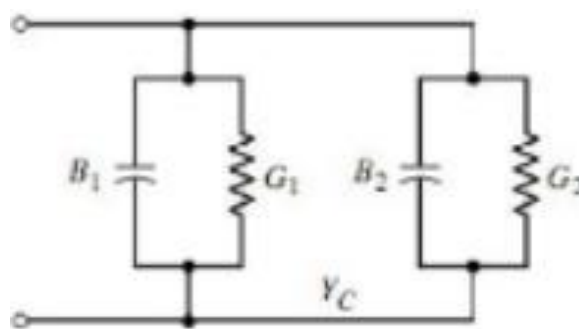


Figure 14 : L' équivalence en circuit

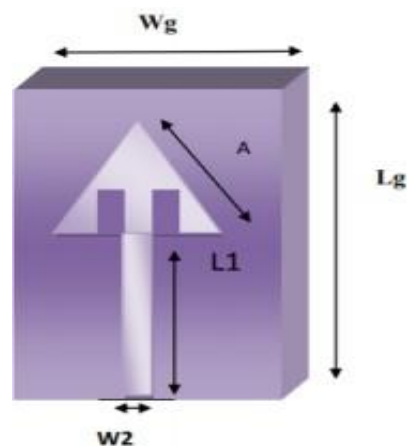


Figure 13 : Patch adapté par encoches

1.12. Antennes patch dans la bande millimétrique

Ces dernières années, les antennes patch ont attiré une attention considérable. Les applications mm Wave, en raison de leur faible coût, sont faciles à fabriquer et ont une grande efficacité. Cette plage de fréquences est avantageuse en raison de la petite longueur d'onde, la fatigue de l'antenne est égale à la moitié de la longueur d'onde de l'antenne. Pour les fréquences de fonctionnement entre 30 et 300 GHz, la longueur est les ondulations sont comprises entre 10 et 1 mm. Cela permet de construire des antennes physiquement petites tout en étant assez grand électriquement, donc de manière efficace. Cependant, la fréquence de la longueur d'onde est généralement au-dessus des basses fréquences, le concepteur d'antenne doit concevoir l'antenne, minimiser soigneusement les pertes et obtenir une efficacité de rayonnement élevée [26], [27].

1.13. Les algorithmes génétiques

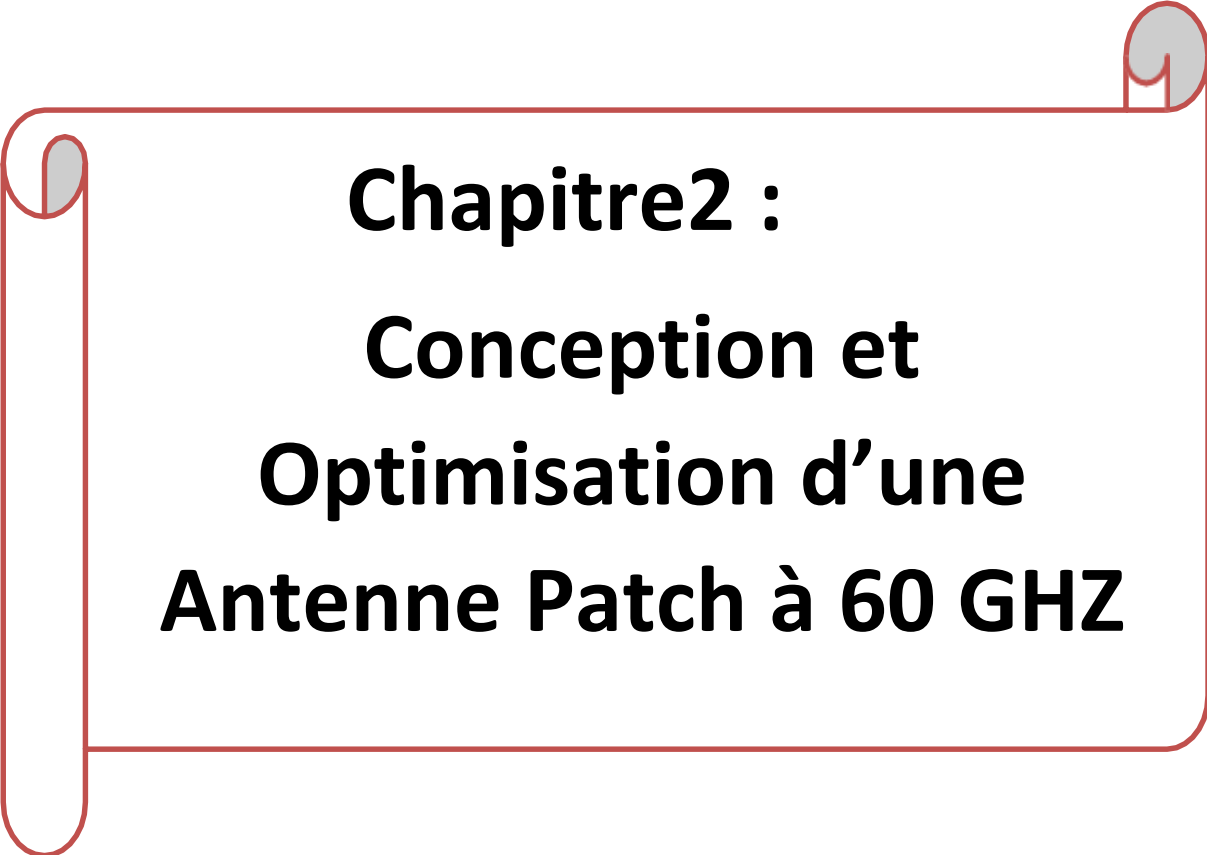
Les algorithmes génétiques (AG) sont modélisés sur la base des principes et concepts suivants : Sélection naturelle et évolution. C'est une méthode de recherche aléatoire robuste conçue pour résoudre des problèmes complexes, combinatoires et connexes [28].

1.14. Principe d'optimisation par les algorithmes génétiques

Les GA sont utilisés pour améliorer l'antenne patch microruban afin d'améliorer ses propriétés, Un groupe d'individus, appelé génération est généré aléatoirement et évalué par la fonction de coût. Ensuite, ces individus se sont accouplés en fonction de résultat obtenu pour chaque individu pour créer une nouvelle génération. On suppose que les solutions évolueront vers la solution optimale sous la pression de la fonction de coût. Les GA appliquent des facteurs aléatoires à savoir; sélection, intersection et mutation pour créer de nombreuses générations afin de trouver la solution parfaite. [29].

1.15. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté des généralités sur les ondes millimétriques. Ces derniers font partie des ondes préférées car elles cumulent de nombreuses qualités telles que la disponibilité des larges bandes sans licence, réutilisation de fréquences .etc. On a présenté aussi des notions sur le développement technologique des antennes microruban, leurs principes de fonctionnement et leurs caractéristiques. Ces techniques peuvent être utilisées pour concevoir et analyser des structures microruban à ondes millimétriques.



Chapitre2 :
Conception et
Optimisation d'une
Antenne Patch à 60 GHZ

2.1 Introduction

Dans ce chapitre, notre objectif est de concevoir une antenne micro ruban à l'aide du logiciel HFSS. Ainsi, on commence par la citation des relations utilisées pour le dimensionnement de notre antenne patch. Le logiciel Matlab sera utilisé pour le calcul des dimensions de l'antenne à l'aide du modèle de ligne de transmission. Les dimensions obtenues sont ensuite utilisées pour la conception de l'antenne de base et dans la première itération de simulation sur HFSS. Les résultats obtenus sont ensuite optimisés à l'aide des algorithmes génétiques pour avoir de bonnes caractéristiques de rayonnement à la fréquence de résonance 60GHz.

2.2 Présentation du logiciel HFSS

Le logiciel HFSS (High Frequency Structural Simulation) d'Ansoft Corporation est un logiciel commercial de calcul des champs électromagnétiques en résolvant localement les équations de Maxwell. Il contient plusieurs fonctions telles que : simulation, visualisation, modélisation solide et automatisation. Pour cela, il est nécessaire de construire des objets à deux ou trois dimensions, et définissez leurs propriétés telles que : type de matériau, taille, épaisseur[30].

Le logiciel HFSS permet de configurer le système et de modifier ces paramètres pendant la simulation. Elle s'applique notamment à toutes les antennes, que ce soit par conception, analyse ou simulation. Il a également la capacité de fournir rapidement et avec précision une solution de problème électromagnétique 3D dans un environnement convivial avec des résultats de simulation quasi réalistes [31]. La Figure 16 montre l'interface de logiciel HFSS.

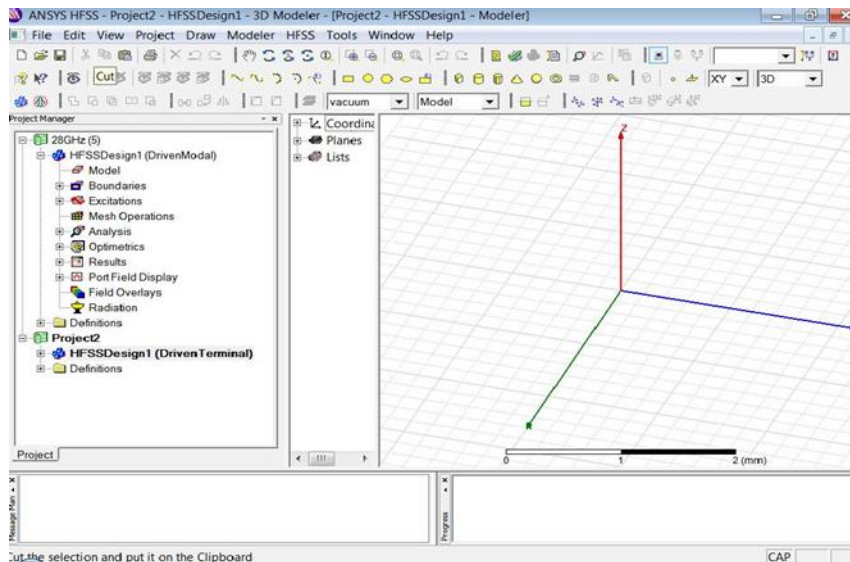


Figure 16 : Interface e logiciel HFSS

2.3 Modèle de la ligne de transmission

Selon la théorie des lignes de transmission, une antenne micro ruban consiste en deux fentes séparées par une ligne en L [32]. Chaque bord rayonnant à une fente de longueur W est modélisée comme une fente étroite rayonnante dans un demi-espace (demi-plan).

2.3.1 Effets frangeants

Le patch a des dimensions finies et les champs marginaux aux bords de la structure subissent donc des étalements, (voir Figure17), dont la quantité est fonction des dimensions du patch et de la hauteur du substrat. Pour le plan principal E (plan x-y), les champs des bords sont fonction du rapport L/H et de la permittivité relative ϵ_r du substrat. Comme le rapport L/H est supérieur à 1 ($L/H \gg 1$), les champs marginaux sont réduits, cependant, il est nécessaire d'en tenir compte du fait qu'ils influent directement la fréquence de résonance de l'antenne. La même chose s'applique sur la largeur W .

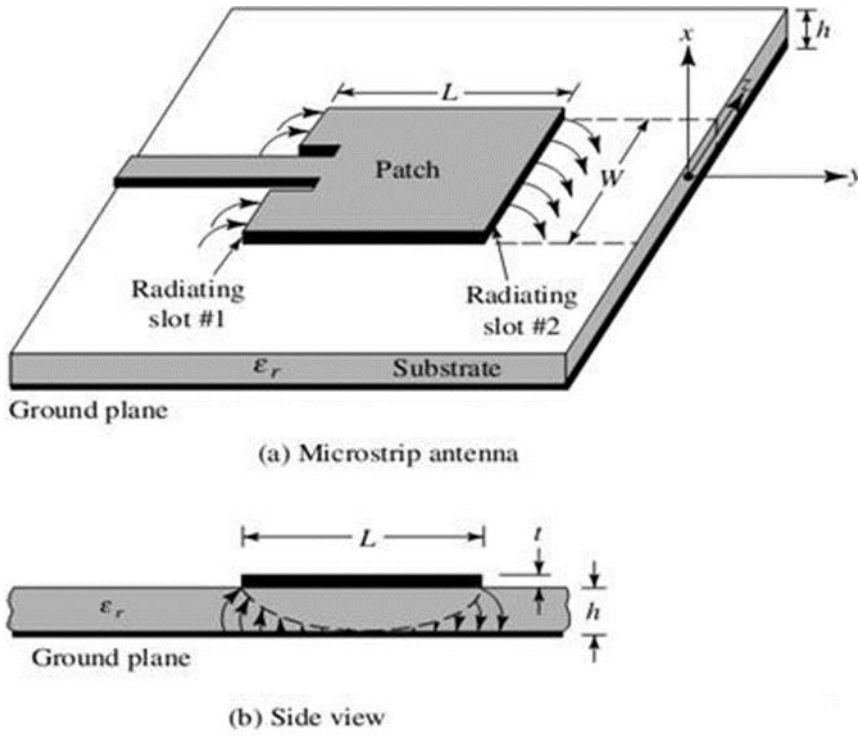


Figure 17: Répartition des champs sur les bords du patch[33]

Vu que les champs évoluent dans deux milieux différents (substrat et air), une permittivité effective $\epsilon_{re\text{ff}}$ est introduite pour tenir compte des champs marginaux et de la propagation des ondes dans le patch. Elle est donnée par la relation suivante[22].

$$\epsilon_{re\text{ff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{-1/2} \frac{w}{h} > 1 \quad (14)$$

2.3.2 Longueur effective, fréquence de résonance et largeur effective

Les dimensions du patch se voient électriquement supérieures à ses dimensions physiques. Cela est bien montré dans la figure 17 où la longueur du patch est allongée d'une quantité ΔL . Une approximation de cette quantité de longueur est donnée par [22] :

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{re\text{ff}} + 0.3) \left(\frac{w}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{re\text{ff}} - 0.258) \left(\frac{w}{h} + 0.8 \right)} \quad (15)$$

La longueur effective L_{eff} sera donc :

$$L_{eff} = L + \Delta L \quad (16)$$

2.4 Procédure de conception

Sur la base de la formulation simplifiée du modèle de la ligne de transmission qui a été décrit, on peut suivre une procédure de conception très facile et pratique des antennes microruban rectangulaires. Pour appliquer cette procédure, on spécifie les valeurs de fréquence de résonance, la permittivité de substrat à utiliser et son épaisseur. On va donc :

$$\epsilon_r = 4.4, f_r = 60 \text{ GHz et } h = 0.1 \quad (17)$$

• Déterminer

WL

Comme une première approche les dimensions du patch vont être calculées en fonction des caractéristiques du substrat (permittivité relative ϵ_r , l'épaisseur h) et la fréquence de résonance.

L'alimentation sera faite par l'intermédiaire d'une ligne micro ruban. Pour le choix du type de matériau, notre choix est porté sur "FR4_epoxy" car il présente un bon rapport prix/qualité et sa permittivité est 4.4.

Les caractéristiques choisies sont donc :

- Fréquence de résonance : $f = 60 \text{ GHz}$.
- Substrat de type : "FR4_epoxy" permittivité relative $\epsilon_r = 4.4$.
- Adaptation à 50 Ohm.
- Alimentation par ligne micro ruban.

Pour déterminer les dimensions de patch en utilisant les équations du modèle de la ligne de transmission, ces équations sont réécrites dans un algorithme dans le logiciel Matlab et après la compilation on a obtenu les résultats indiqués dans la Figure 18.

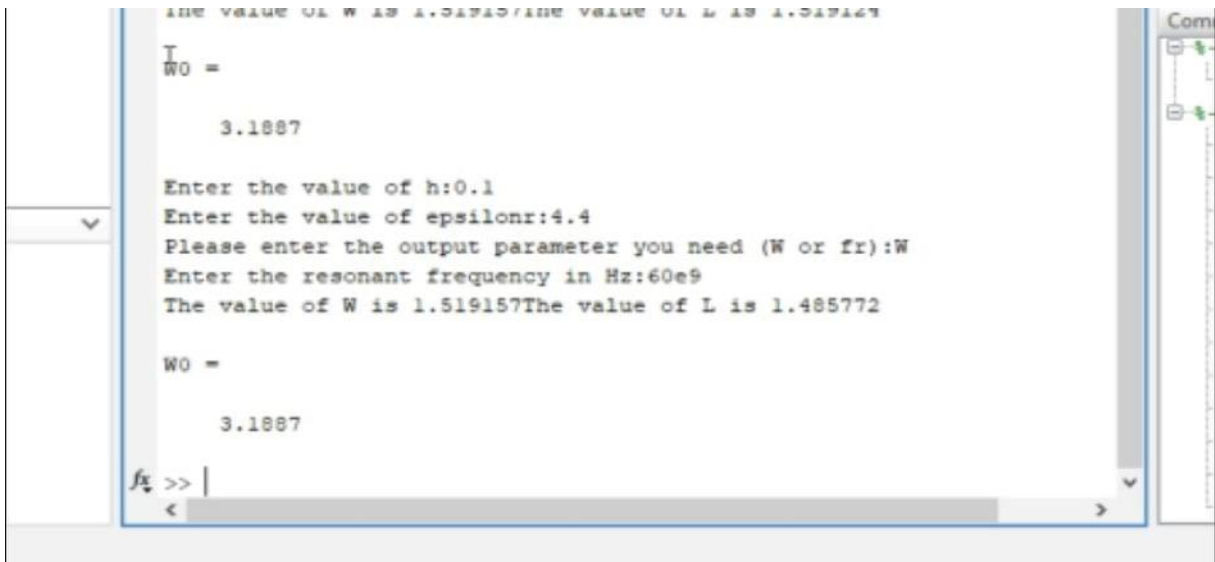


Figure 14 : Capture matlab montrant les résultats de la compilation de l’algorithme

2.5 Description de l’antenne de base

Utilisons les résultats obtenus à partir du modèle de la ligne de transmission pour concevoir une antenne patch à géométrie rectangulaire opérant à 60 GHz. Le but de cette étape est de fournir une antenne patch de forme conventionnelle et de voir sa réponse en termes des différents besoins de performance. La Figure 19 montre l’antenne conçue sur le HFSS.

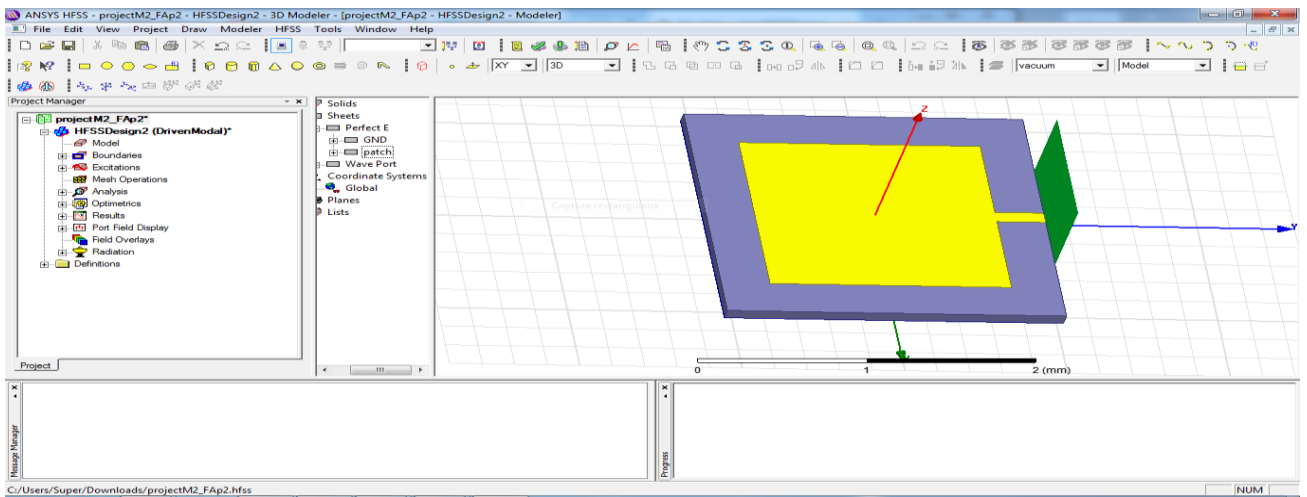


Figure 19 : Antenne patch conçue sur HFSS

L’antenne patch conçue est composée de trois couches : le patch et la ligne de transmission en haut, le substrat au milieu et le plan de masse en bas. Cette antenne est alimentée à travers une ligne micro ruban et une excitation de type Wave-Port . Ces deux derniers sont adaptés à une impédance de 50 ohms. Les valeurs des différents paramètres de l’antenne patch conçu sont montrées dans le Tableau II-1:

Table 6 : Dimension de l'antenne conçue

Paramètre	Valeur (mm)
wg	1.86
lg	1.96
wp	0.9
lp	1
h	0.1
Wfeed	0.1

2.6 Simulation de l'antenne de base

Après avoir conçu l'antenne selon les résultats obtenus par le model de ligne de transmission, on passe maintenant aux résultats de la simulation de l'antenne sur HFSS. La Figure 20 montre le résultat du coefficient de réflexion obtenu.

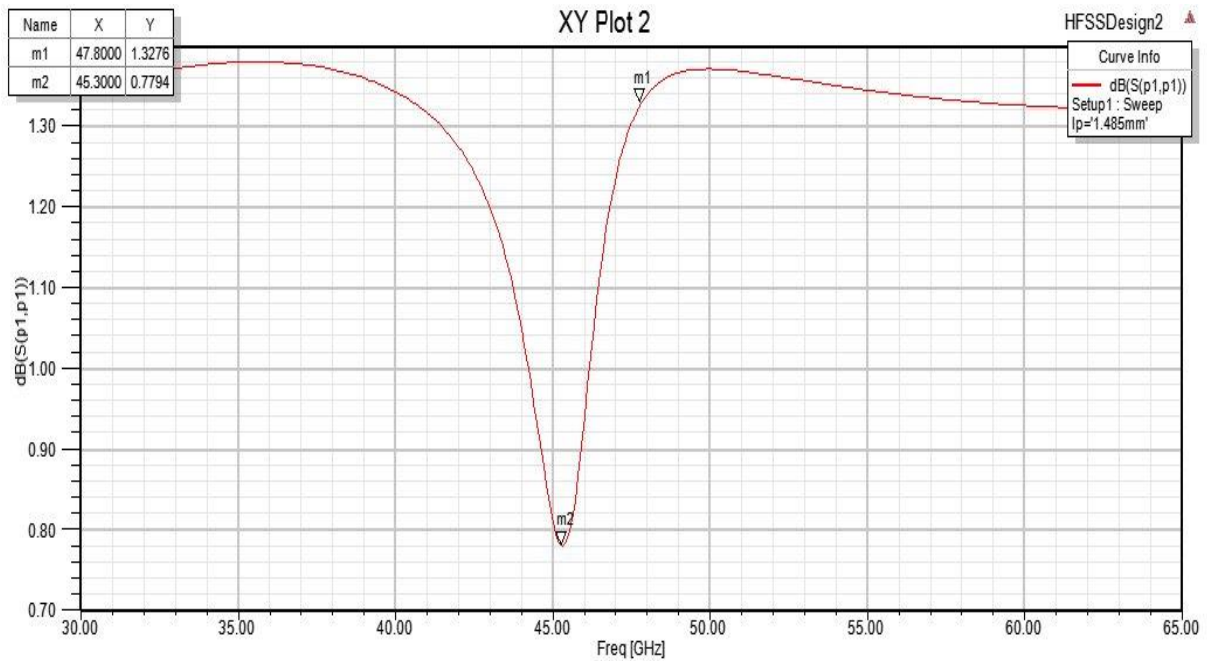


Figure 20: Coefficient de réflexion S11

On observe que la fréquence de résonance est obtenue à 45GHz. Ce décalage de la fréquence est dû aux équations utilisées car elles sont destinées aux micro-onde où son utilisation dans le domaine des ondes millimétriques engendre un grand décalage en terme de fréquence d'opération.

Notre objectif sera donc d'optimiser cette antenne pour qu'elle fonctionne à 60 GHz tout en conservant une bande passante large et un gain adéquat.

2.7 Antenne à optimiser

La figure 15 montre la vue de dessus de la structure proposée pour obtenir la bande passante et la fréquence de résonance souhaitées. Nous avons ajouté des changements dans la forme de l'antenne afin de donner une liberté d'optimisation. On note que plus il y avait de variables, plus l'algorithme d'optimisation est libre. On note aussi, qu'on a essayé d'ajouter uniquement les dimensions de l'antenne l_p , w_p et w_f dans l'optimisation et aucun résultat n'a été donné.

Ainsi, on'a ajouté deux rectangles dans l'antenne avec les dimensions suivantes (a, b). Cela n'a pas donné un résultat en termes des performances souhaitées. Après de nombreuses tentatives pour obtenir le résultat, nous avons ajouté un cercle de diamètre (d) dans le plan de masse (Gnd).

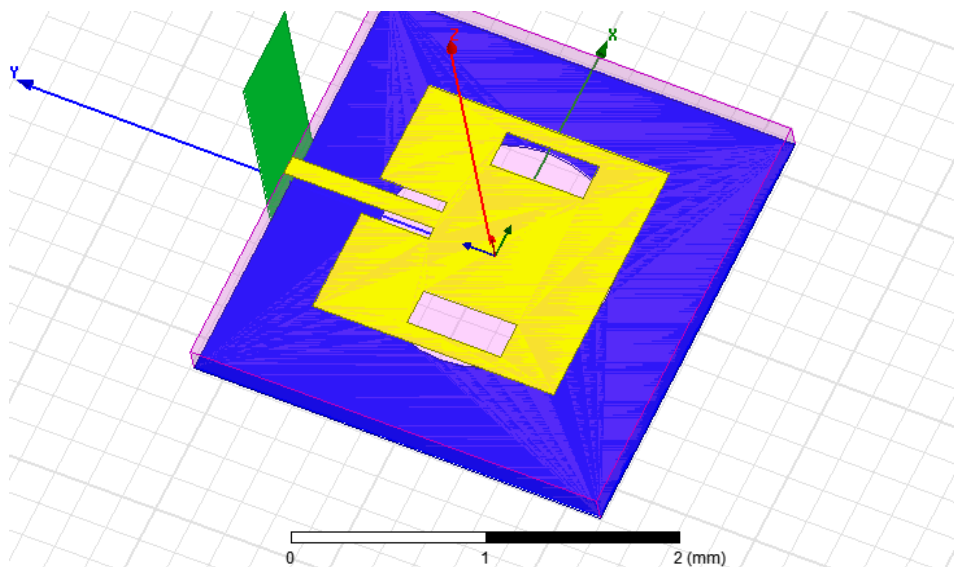


Figure21 : Antenne à optimiser (Vue d'en haut)

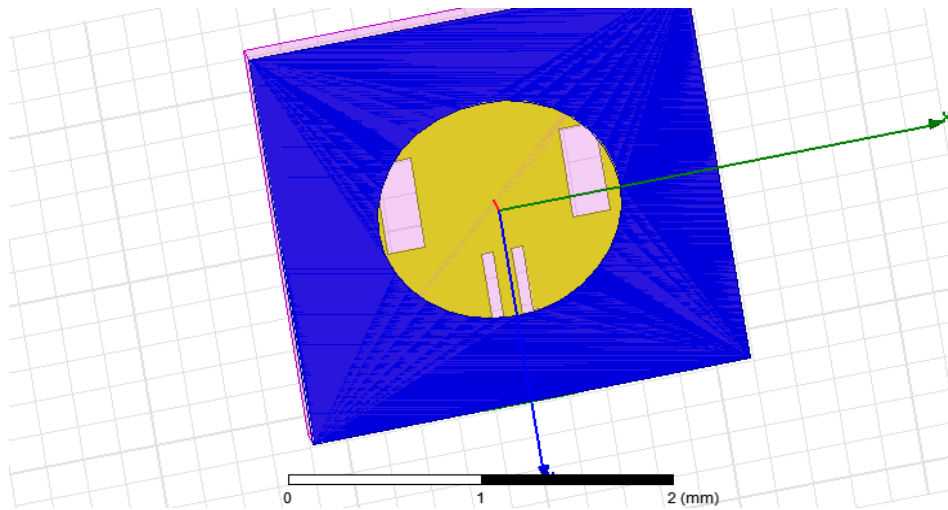


Figure 22 : Antenne à optimiser (Du fond)

2.8 Procédure d'optimisation

Après avoir résumé les étapes de calcul des paramètres de l'antenne et de la conception proposée pour être optimisée sur HFSS, on passe maintenant à l'optimisation. L'algorithme génétique (AG) est une technique d'optimisation puissante largement utilisée dans le domaine de l'électromagnétisme. Les algorithmes génétiques font partie d'une classe de techniques d'optimisation appelées optimiseurs stochastiques. Les algorithmes génétiques ont été largement utilisés pour améliorer les performances des antennes patch microruban, en optimisant la bande passante, la fréquence de résonance, le gain, etc[29]. L'antenne conçue sera prise comme un individu dans la première génération. L'algorithme d'optimisation change le reste des individus de la première génération selon les paramètres d'entrés dans l'optimisation. Le déroulement de l'optimisation est comme celui montré dans la figure 24.

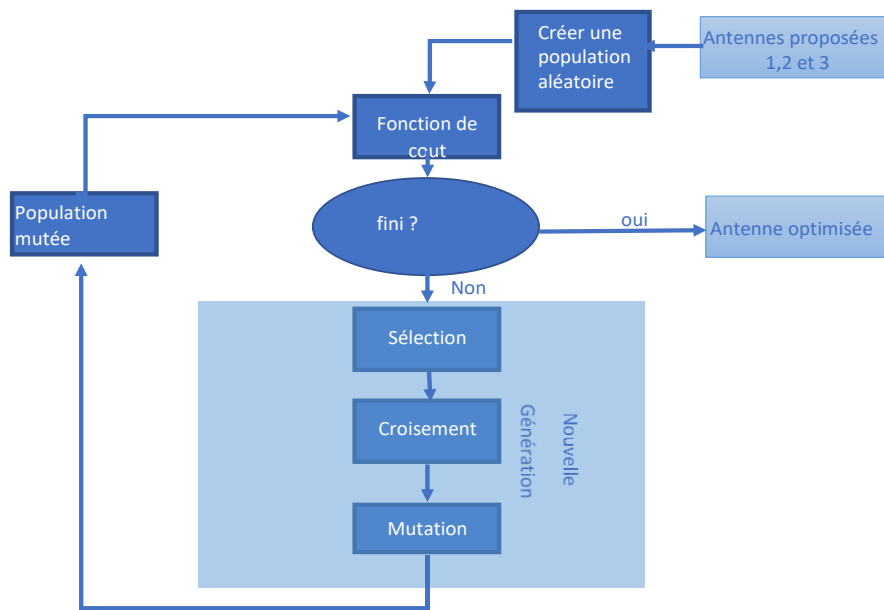


Figure 23 : Organigramme d'optimisation basé sur les algorithmes génétiques

2.9 Paramètres à optimiser

Les simulations électromagnétiques peuvent aider à déterminer les paramètres électriques et les caractéristiques de rayonnement. Lorsque les caractéristiques de l'antenne obtenue ne répondent pas aux objectifs de l'optimisation l'algorithme propose de nouveaux paramètres à la génération suivante en tenant compte des résultats précédents pour faciliter la convergence vers un résultat final. Pour cela, la structure de l'antenne est optimisée selon ces deux actions :

1. Proposer des changements permettant de découvrir la structure
2. Evaluer ces changements.

Ces deux actions sont répétées jusqu'à l'aboutissement à une structure qui répond aux différentes exigences de la simulation.

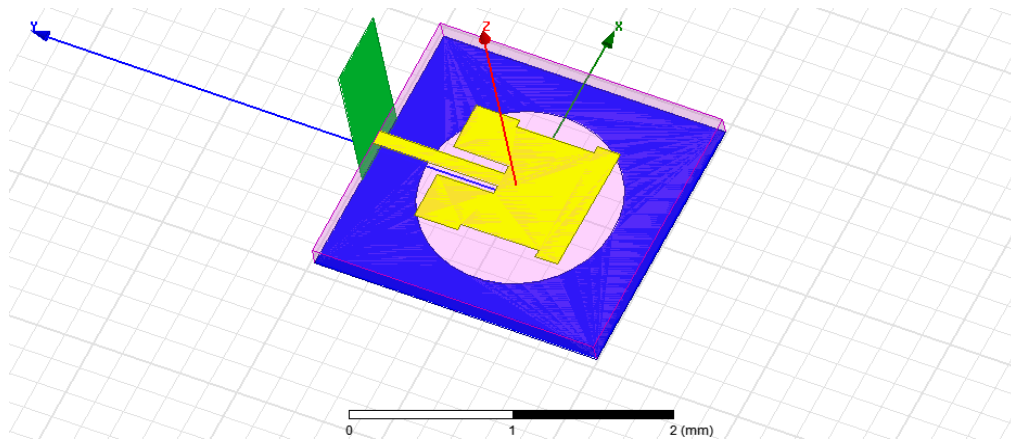


Figure 1624 : Antenne proposé (vue de dessus)

La structure de l'antenne optimisée est illustrée dans la Figure 25. Cette structure est obtenue après une optimisation à plusieurs itérations. Ces itérations successives ont donné lieu aux dimensions de l'antenne présentées dans le Tableau 7.

Table 7 : Dimension de l'antenne optimisée

Paramètre	Valeur
A	0.6mm
B	0.2mm
D	0.6mm
Lp	1mm
w_p	0.9mm
w_{feed}	0.1mm
Y₀	0.42mm
Y_w	0.29mm

2.10 Structure finale

Après une optimisation intensive, le résultat final de l'antenne patch optimisée a été obtenu.

Cette structure et ces dimensions ont permis d'optimiser l'antenne en termes de bande passante et de miniaturisation de dimensions. Après avoir conçu l'antenne, nous passons aux résultats de la simulation d'antenne sur HFSS. L'algorithme d'optimisation a testé plus de 700 structures dans les différentes générations, il a fallu beaucoup de temps de calcul pour obtenir un résultat satisfaisant. La Figure 25 montre le résultat du coefficient de réflexion obtenu.

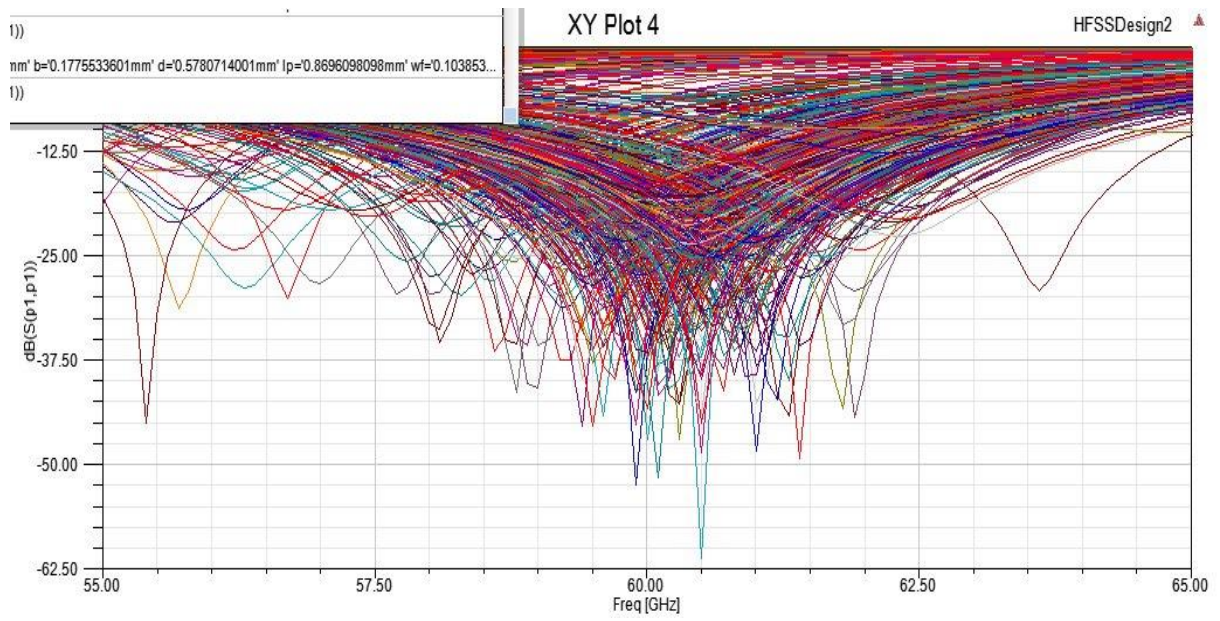


Figure 2517 : Le coefficient de réflexion s11, pour différents paramètres optimisés

2.11 Conclusion

Dans ce chapitre, on a proposé une conception d'antenne patch rectangulaire alimentée par une ligne de transmission microruban et qui résonne à 60 GHz. L'antenne patch est simulée en utilisant le logiciel HFSS. Tout d'abord, une antenne de référence est conçue en utilisant le model de la ligne de transmission. Puis, des changements ont été appliqués sur cette structure afin de donner plus de liberté à l'algorithme d'optimisation. Finalement, on 'a appliqué une optimisation intensive à l'aide des algorithmes génétiques pour améliorer la réponse de l'antenne de référence.



Chapitre3 :

Résultats et Discussions

3.1 Introduction

Dans le chapitre précédent, on a conçu une antenne patch conventionnelle selon le modèle de la ligne de transmission. On a choisi toutes les constantes qui doivent être définies sachant l'optimisation telle que l'épaisseur du substrat. Les dimensions calculées à l'aide d'un algorithme sur Matlab sont ensuite optimisées. Dans cette optimisation, des centaines de structures ont été générées afin de trouver les dimensions optimales permettant de fixer la fréquence de résonance désirée et d'obtenir une large bande passante.

Notre objectif dans ce chapitre est de présenter, analyser et discuter les résultats de cette optimisation.

3.2 Résultats de simulations et discussion

Après avoir conçu l'antenne et l'optimisée, passons maintenant à la démonstration des différentes caractéristiques de radiation de cette antenne et à la discussion des résultats.

3.2.1 Le coefficient de réflexion

La qualité d'adaptation d'une antenne est définie en donnant son impédance caractéristique (généralement 50 ohms), ou en donnant son coefficient de réflexion. Le coefficient de réflexion, exprimé en décibels, est le rapport de la tension réfléchi à la tension incidente. Dans notre exemple, le paramètre S11 est le coefficient de réflexion à l'entrée de l'antenne, représentant le transfert d'énergie vers cette antenne. La valeur de ce paramètre est différente et dépendante de la fréquence. Pour assurer une bonne adaptation dans la bande de fréquence requise, nous imposons les critères suivants $S_{11} \leq -10$ dB [25].

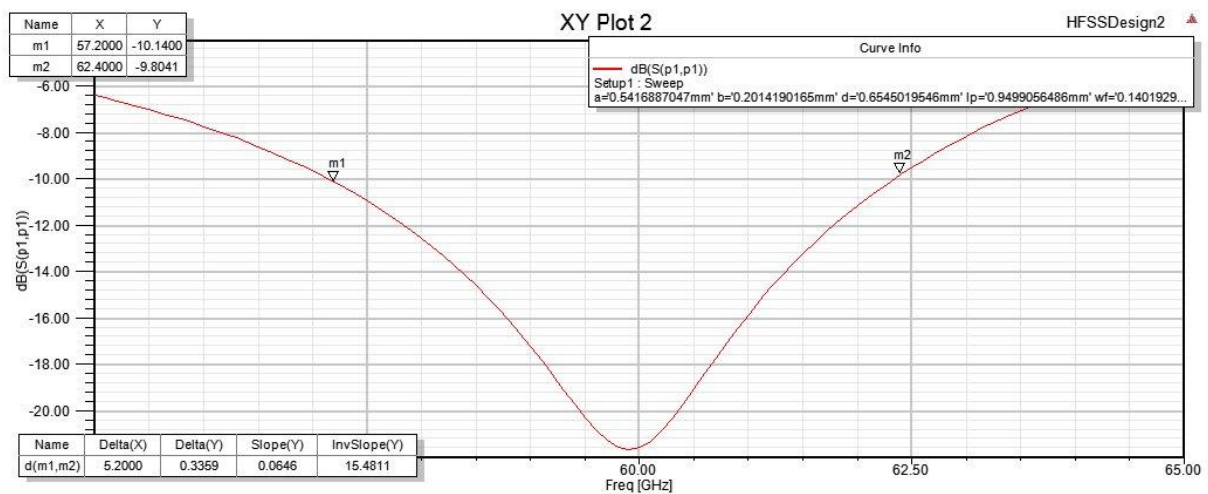


Figure 26 : Coefficient de réflexion S11

La valeur de base du coefficient de réflexion est supposée être de -10 dB, ce qui signifie que 10 % de la puissance incidente est réfléchi, c'est-à-dire que 90 % de la puissance est reçue par l'antenne, ce qui est considéré comme parfait pour la communication mobile à la bande 57-62 GHz. L'antenne proposée a un point de résonance 60GHz avec une perte de réflexion de -21,50 dB, comme le montre la Figure26. Le paramètre S11 a été obtenu en alimentant l'antenne avec excitation de type «WAVE PORT». L'antenne a une largeur de bande de fonctionnement de 5,2 GHz, centrée sur la fréquence 60 GHz qui appartient à l'intervalle [57,2000-62,4000] GHz. Ce qui donne une largeur de bande passante de 8.6%.

3.2.2 Taux d'onde stationnaire VSWR

Le rapport d'onde stationnaire (VSWR : rapport d'onde stationnaire de tension) est le quotient entre les champs électriques maximum et minimum dans une ligne de transmission. D'une autre manière, il caractérise la quantité de signal réfléchi aux bornes du composant hyperfréquence. Une norme acceptable dans les systèmes de rayonnement électromagnétique est une valeur VSWR inférieure à 2. Le rapport d'ondes stationnaires (VSWR) de notre antenne est affiché à la Figure27. Il est inférieur à 2 dans la bande 60 GHz souhaitée, et Cela signifie un bon ajustement qui se traduit par le plus grand transfert de puissance.

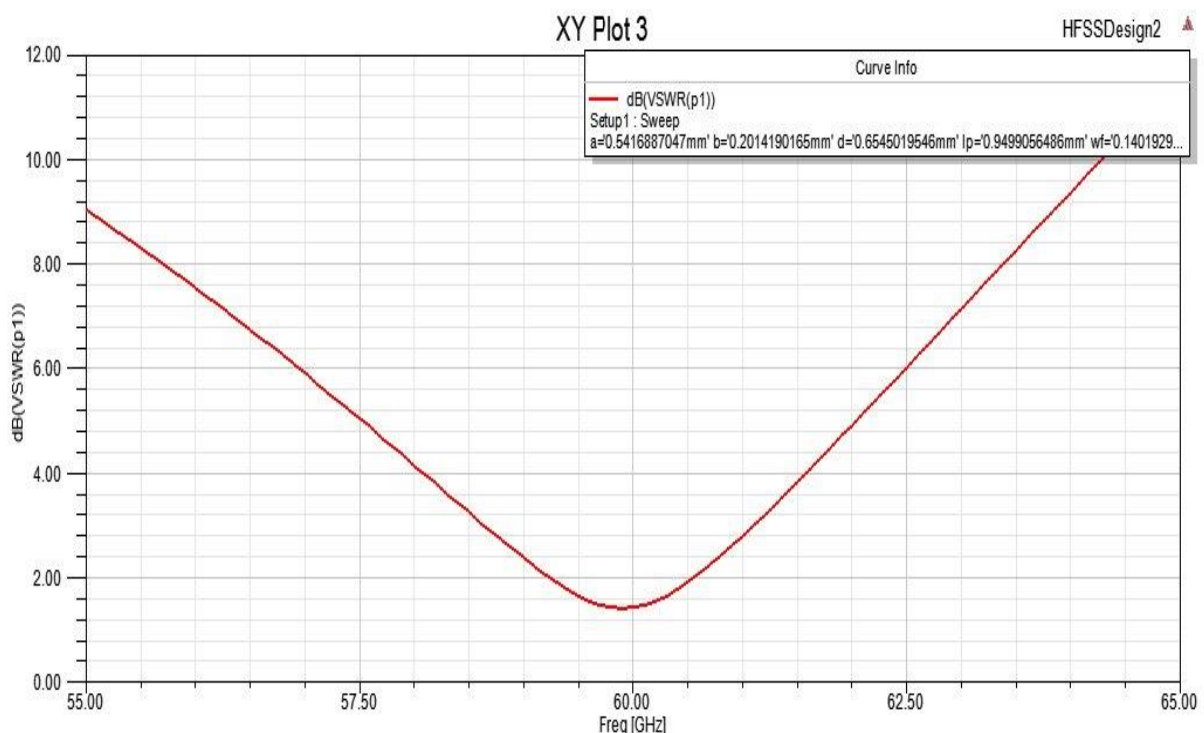


Figure27: Le taux d'onde stationnaire

3.2.3 Impédance d'entrée

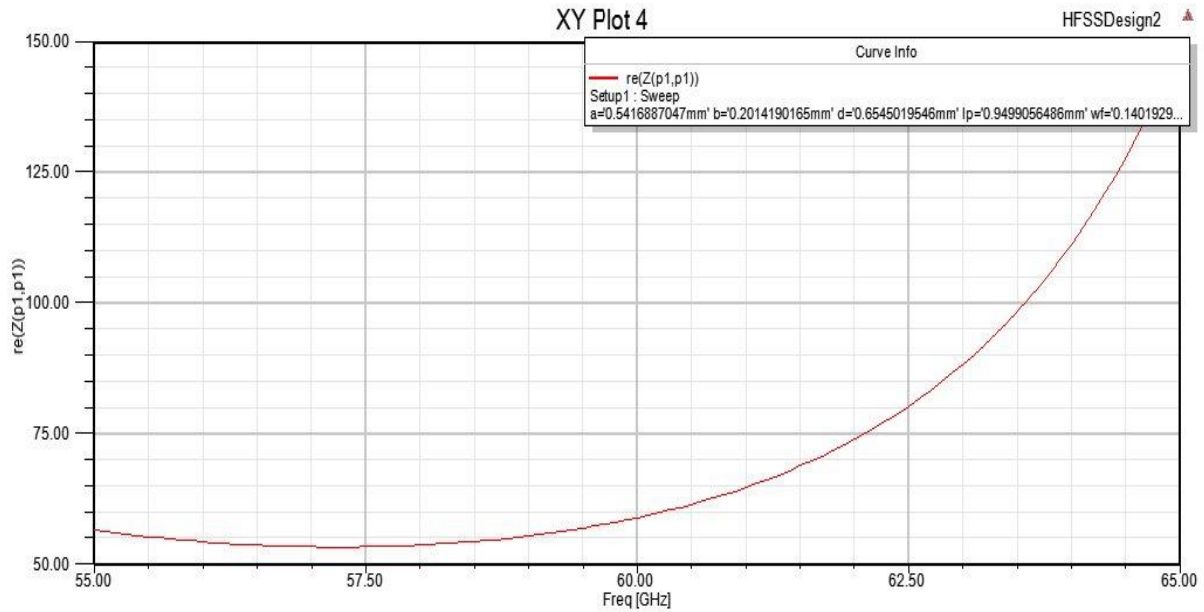


Figure 28 : Partie réelle de l'impédance d'entrée

La Figure 28 représente la partie réelle de l'impédance d'entrée, Nous observons une bonne adaptation qui est autour de 50 ohms dans la bande opérationnelle et égale à 50 ohms au point de résonance.

3.2.4 Adaptation de l'antenne

La partie imaginaire de l'impédance d'entrée de la Figure 29 représente la puissance qui est stockée dans le champ proche du radiateur. Cette puissance n'est pas considérée comme une puissance rayonnée. Une antenne avec une réactance nulle et une impédance d'entrée réelle (partie imaginaire nulle) est considérée comme résonnante à la fréquence correspondante. Les résultats obtenus de la réactance de l'antenne (partie imaginaire de l'impédance d'entrée de l'antenne) montrent une bonne correspondance d'impédance au spectre de fréquences

considéré.



Figure 18 : Partie imaginaire de l'impédance d'entrée

3.2.2 Diagramme de rayonnement en 2D et 3D

3.2.2.1 Diagramme 2D

La figure 30 montre le diagramme de rayonnement 2D dans le plan E. L'énergie rayonnée par l'antenne est représentée par le diagramme de rayonnement. Le diagramme définit la puissance rayonnée par l'antenne en fonction de la direction d'éloignement de l'antenne et montre la distribution de l'énergie rayonnée dans l'espace.

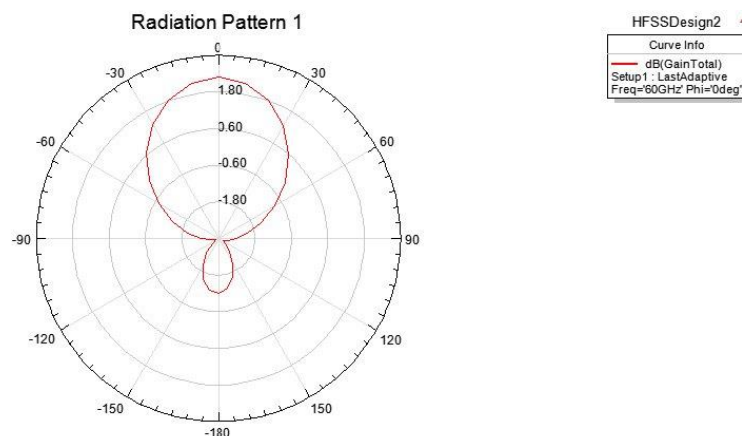


Figure 30 : Diagramme de rayonnement 2D à la fréquence 60GHz

3.2.2.2 Diagramme 3D

La figure 31 montre le diagramme de rayonnement en 3D. Il est clair qu'à partir de la figure que notre antenne a un rayonnement omnidirectionnel, ce qui est souhaitable dans un scénario de communication mobile sans fil.

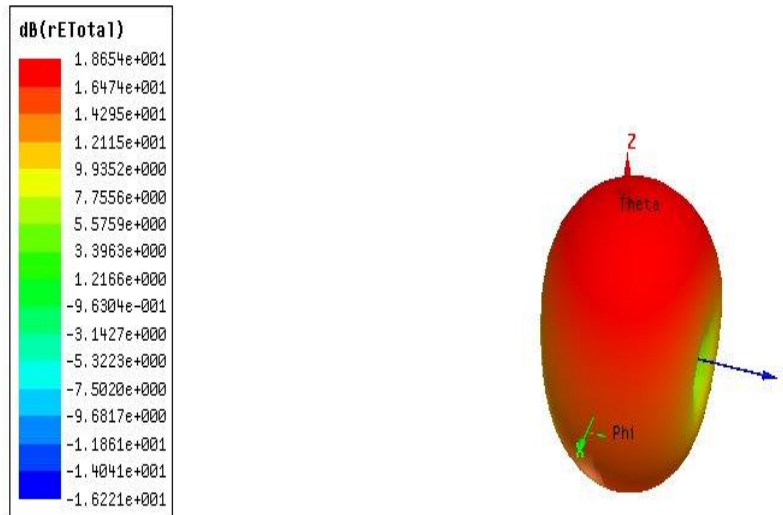


Figure31 : 3D radiation pattern

3.3 Conclusion

L'objectif principal de ce mémoire était d'optimiser la bande passante de l'antenne conventionnel tout en gardant la même fréquence de travail de l'antenne de départ. Cet objectif a bien été achevé en gardant la même fréquence de résonance. Nous avons présenté dans ce chapitre les résultats de simulation suivis par des commentaires et des discussions.

Les performances étudiées sont :

- ✓La bande passante en dB.
- ✓La variation de l'impédance d'entrée en fonction de la fréquence.
- ✓Variation du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence.
- ✓Le taux d'onde stationnaire en fonction de la fréquence.
- ✓Diagramme de rayonnement (2D, 3D).

Conclusion générale

Le but principal de ce travail était de proposer et de concevoir une antenne micro ruban qui fonctionne dans le spectre des ondes millimétrique autour de la fréquences 60 GHz pour les applications dans les futurs systèmes de communication sans fil.

Le point de départ était l'étude et la conception d'une antenne microruban à patch rectangulaire. Pour avoir une résonance de l'antenne à la fréquence désirée (60 GHz), on a utilisé les formules de synthèse classiques connues. Ensuite pour optimiser l'antenne, on a mené une étude paramétrique en conjonction avec la méthode des algorithmes génétiques pour arriver à la structures qui donne les meilleures performances possibles. L'antenne proposée est conçue et simulée avec le logiciel HFSS. Elle présente une bonne adaptation d'impédance avec un gain maximal d'environ 5.9dB, une bonne réponse du diagramme de rayonnement et plus de 8.6% concentré sur 60GHz. Par conséquent, les résultats obtenus présentent un bon compromis en termes de taille, de gain et de la bande passante. Cette antenne possède une large bande passante, un gain suffisant, et une forme plate ce qu'il lui permet de s'intégrer directement avec les autres modules en utilisant les technologies multicouches. Ces performances font de cette antenne un bon candidat pour les futurs instruments de communication sans fil, et autres applications à ondes millimétriques.

Références

- [1]:<https://www.numerama.com/tech/377135-vers-la-mise-a-disposition-dondes-millimetriques-pour-soutenir-la-5g-en-france.html/amp>), 22mai, 2018. *vers-la-mise-a-disposition-dondes-millimetriques-pour-soutenir-la-5g-en-france*. france, 2018.
- [2]:MAGNE, François. *Télécommunications haut débit en ondes millimétriques*. Ed. Techniques Ingénieur, 1998
- [3]:GHAYOULA, RIDHA. Contribution à l'Optimisation de la Synthèse des Antennes Intelligentes par les Réseaux de Neurones. *Université de Tunis El Manar. Thèse de doctorat*, 2008, vol. 27.
- [4]:LIN, Zhijian, DU, Xiaojiang, CHEN, Hsiao-Hwa, *et al.* Millimeter-wave propagation modeling and measurements for 5G mobile networks. *IEEE Wireless Communications*, 2019, vol. 26, no 1, p. 72-77.
- [5]:RAPPAPORT, Theodore S., HEATH JR, Robert W., DANIELS, Robert C., *et al.* *Millimeter wave wireless communications*. Pearson Education, 2015.
- [6]: Hatem H Abbas, Beamforming Techniques for Millimeter Wave Relay Networks, Ph.D. thesis, The University of Manchester (United Kingdom), 2017.
- [7]: ZHAO, Hang, MAYZUS, Rimma, SUN, Shu, *et al.* 28 GHz millimeter wave cellular communication measurements for reflection and penetration loss in and around buildings in New York city. In :*2013 IEEE international conference on communications (ICC)*. IEEE, 2013. p. 5163-5167.
- [8]:HUM, Sean Victor et PERRUISSEAU-CARRIER, Julien. Reconfigurable reflectarrays and array lenses for dynamic antenna beam control: A review. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2013, vol. 62, no 1, p. 183-198.
- [9]: NEZHAD AHMADI MOHABADI, Mohammad Reza. Integrated Circuit and Antenna Technology for Millimeter-Wave Phased Array Radio Front-End. 2010.
- [10]:CHORFI, Hamid. *Conception d'un nouveau système d'antenne réseau conforme en onde millimétrique*. Université du Québec en Abitibi-Temiscamingue (Canada), 2012.
- [11]:PICON, Odile, CIRIO, Laurent, RIPOLL, Christian, *et al.* *Les antennes: Théorie*,

conception et applications. Dunod, 2009.

[12]: SERIR Fatima Zohra, Conception d'antennes pour les mobiles 5G , Mémoire de Master, UNIVERSITE ABOU BAKR BELKAID, TLEMCEM, 2021.

[13]:LABORATOIRE DE TELECOMMUNICATION (LTT), département de génie électrique et électronique de la faculté de technologie de l'université Abou BekrBelkaid de Tlemcen, 2012/2013.

[14]: CARVER, Keith et MINK, James. Microstrip antenna technology. *IEEE transactions on antennas and propagation*, 1981, vol. 29, no 1, p. 2-24.

[15]:F.A. Belainine et M.A. Salmi , Etude De La Miniaturisation Des Antennes Par Repliement Application Pour La Conception D'une Antenne 2.4ghz , Mémoire de Master, Université Houari Boumediene d'Alger 2013.

[16]:TEBACHE, Soufiane. *Méthodes de caractérisation hyperfréquence des antennes imprimées*. 2013. Thèse de doctorat. UTEBACHE, Soufiane. *Méthodes de caractérisation hyperfréquence des antennes imprimées*. 2013. Thèse de doctorat. Université Mohamed Khider Biskra.

[17]:GANDOURAIBTISSEM, LAMERSOUMIA. CONCEPTION ET REALISATION D'ANTENNES FRACTALES SIMPLIFIEES ULTRALARGES (ULB) ABANDEREJETEE. 2019.

[18]:GUJRAL, Manik, LI, Joshua Le-Wei, YUAN, Tao, *et al.* Bandwidth improvement of microstrip antenna array using dummy EBG pattern on feedline. *Progress In Electromagnetics Research*, 2012, vol. 127, p. 79-92.

[19]:CHEMACHEMA, Karima. ÉTUDE DES STRUCTURES Microbandes PAR La technique des RESEAUX DE NEURONES Application a différentes excitations.

[20]:NEWMAN, E. et TULYATHAN, Pravit. Analysis of microstrip antennas using moment methods. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 1981, vol. 29, no 1, p. 47-53.

[21]: VISSER, Hubregt J. *Array and phased array antenna basics*. John Wiley & Sons, 2006.

[22]: C.A. Balanis, «Analysis Design, Third Edition», ISBN 0-471-66782-X Copyright 2005 John Wiley & Sons, Inc. CH14 page 811.

- [23]:DAUVIGNAC, Jean-Yves, FORTINO, Nicolas, TOURETTE, Stéphane, *et al.* Miniaturisation des antennes UWB planaires. In : *Ecole d'automne du GDR ONDES, Ultra-Large Bande Communications, localisation et radar, ESISAR*. 2006.
- [24]: Fouad Benamrane, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah (Fés) Maroc, –Master Télécom Hyperfréquence, 2011.
- [25]:CHOUTI, Leila. Contribution à l'étude d'antennes imprimées rectangulaires double bande et multi-bandes tenant compte de l'effet de couplage. 2009..
- [26]:ALHALABI, Ramadan A. *High efficiency planar and RFIC-based antennas for millimeter-wave communication systems*. University of California, San Diego, 2010.
- [27]: SABEUR, Mouna et BOUABDALLAH, Chahrazed. *Conception d'une antenne microruban opérant à 28 GHz pour les réseaux mobiles 5G*. 2021. Thèse de doctorat. univ msila.:
- [28]: LIU, Delong. HAL Id: tel-02364954 <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02364954> Submitted on 15 Nov 2019 HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of sci-entific research documents, whether they are pub-lished or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers. L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche ... *Ph. D. Thesis*, 2018
- [29]: KHEZZAR, Djamel, KHEDROUCHE, Djamel, et DENIDNI, Tayeb A. New design of a broadband PBG-based antenna for THz band applications. *Photonics and Nanostructures-Fundamentals and Applications*, 2021, vol. 46, p. 100947.
- [30]:NELSON, R. M., ROGERS, D. A., et D'ASSUNCAO, A. Gomes. Resonant frequency of a rectangular microstrip patch on several uniaxial substrates. *IEEE transactions on antennas and propagation*, 1990, vol. 38, no 7, p. 973-981.
- [31]:ImadMADIConception, simulationetréalisationd'uneantenne patch, 2016/2017.
- [32]:MUNSON, R. Conformal microstrip antennas and microstrip phased arrays. *IEEE Transactions on Antennas and propagation*, 1974, vol. 22, no 1, p. 74-78.
- [33]:HU, Fei (ed.). *Opportunities in 5G networks: A research and development perspective*. CRC press, 2016.