

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République algérienne démocratique et populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب  
Université-Ain-Temouchent- Belhadj Bouchaib  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département d'Électronique et des Télécommunications



Projet de fin d'études  
Pour l'obtention du diplôme de Master en :  
Domaine : SCIENCES ET TECHNOLOGIES  
Filière : Télécommunications  
Spécialité : Réseaux et Télécommunications  
Thème

## Conception d'une antenne patch Pour les applications Wifi 5 et Wifi 6

Présenté Par :

- 1) M<sup>elle</sup> BETAOUAF Abir Katr Enada
- 2) M<sup>elle</sup> BRAHIM Chahinez

Devant le jury composé de :

Mme BOUTKHIL Malika	MAA	UAT.B. B (Ain Témouchent)	Présidente
Dr ZEBENTOUT Abd eldjawad	MCA	UAT.B. B (Ain Témouchent)	Examineur
Dr SOUIKI Sihem	MCA	UAT.B. B (Ain Témouchent)	Encadrante
Melle MOUSSA Fatima Zahra	Doctorante	UAT.B. B (Ain Témouchent)	Co-Encadrante

Année universitaire 2022/2023

# *Remerciement*

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'un projet de fin d'étude mené au niveau du département d'Électronique et Télécommunication, faculté des sciences et technologie, université BELHADJ Bouchaib d'Ain Témouchent.

Tout d'abord, nous remercions Allah, notre créateur de nous avoir donné la force, la volonté et le courage afin d'accomplir ce modeste travail.

Nous tenons à remercier chaleureusement notre encadrante **Dr.SOUIKI Sihem**, de nous avoir dirigé et guidé tout le long de ce travail.

Remerciements particuliers à notre co-encadrante **mademoiselle MOUSSA Fatima Zahra**, merci pour tout ce que vous avez donné et pour vos efforts nous vous souhaitons que du succès dans votre carrière universitaire, et nous n'oublierons pas votre gentillesse envers nous.

Nous tenons également à remercier les membres de jury **Dr. ZEBENTOUT Abd Eldjawad et Madame BOUTKHIL Malika** pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de siéger à notre soutenance.

Nous exprimons par ailleurs toute notre sympathie à l'ensemble des étudiants de la promo Master 2, Réseaux des Télécommunications de l'année universitaire 2022-2023, qui nous ont constamment soutenu et encouragé.

# *Dédicace*

La première personne que je remercie est mon père mon soutien et tout ce que je possède les mots ne peuvent pas tout exprimer toute ma gratitude, merci pour tes sacrifices merci d'avoir joué le rôle de d'une mère et celle d'un père ... Je t'aime et je te dédie cette réussite en espèrent de te rendre même si qu'une part de tes efforts.

À celle qui nous a quitté et restera à jamais dans mon cœur, cette femme parfaite qui était absente dans la plus grande étape de ma vie mais elle est restée dans mon cœur et mémoire.

Maman si c'était possible je te donnerais mes années à vivre pour que tu puisse voir et partager avec moi ma joie

Je te dédie à toi la prunelle de mes yeux ce mémoire et la réussite de ta fille en ce jour J'espère que tu es fière de ta fille.

*B. Abir*

# *Dédicace*

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.

A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse, merci ma mère.

Merci à toi mon père j'ai appris le sens du travail et de la responsabilité, Je voudrais te remercier pour ton amour, ta générosité, ta compréhension.

Je suis ici, grâce à vous dédiant ma remise de diplôme aux plus beaux parents du monde.

A ma chère sœur et mes frères qui n'ont pas cessée de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études. Que Dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur.

Merci à toutes les personnes qui me reconnaissent et qui mon aidé et contribué à la réalisation de ce travail.

Sans oublier mon binôme Betaouaf Abir pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.

*B. Chahinez*

# Sommaire

<i>Remerciement</i> .....	<i>I</i>
<i>Dédicace</i> .....	<i>II</i>
<i>Dédicace</i> .....	<i>III</i>
<i>Liste des figures</i> .....	<i>VII</i>
<i>Liste des tableaux</i> .....	<i>VIII</i>
<i>Liste d'abréviations</i> .....	<i>1</i>
<i>Résumé</i> .....	<i>2</i>
<i>Introduction générale</i> .....	<i>3</i>
<i>Chapitre1 : généralités sur les antennes imprimées</i> .....	<i>6</i>
<b>I-1 Introduction</b> .....	<b>7</b>
<b>I-2 Historique</b> .....	<b>7</b>
<b>I-3 Description des antennes imprimées</b> .....	<b>8</b>
I-3-1 Le choix du substrat électrique.....	8
I-3-2 Le choix des paramètres de patch.....	8
I-3-3 Le plan de masse.....	9
<b>I-4 Les différentes formes d'une antenne patch</b> .....	<b>9</b>
<b>I-5 Domaines d'application des antennes imprimées</b> .....	<b>9</b>
<b>I-6 Les avantages et les inconvénients des antennes imprimées</b> .....	<b>10</b>
<b>I-7 Les caractéristiques des antennes imprimées</b> .....	<b>10</b>
I-7-1 Diagramme de rayonnement.....	10
I-7-2 La directivité.....	11
I-7-3 Le gain.....	11
I-7-4 Rendement.....	12

I-7-5	Coefficient de réflexion S11 .....	12
I-7-6	Taux d'onde stationnaire (VSWR : Voltage Standing Wave Ratio) .....	12
I-7-7	Impédance d'entrée .....	12
I-7-8	Polarisation .....	12
I-7-9	Bande passante .....	12
<b>I-8</b>	<b>Techniques d'alimentation des antennes imprimées .....</b>	<b>13</b>
I-8-1	Alimentation par contact .....	13
I-8-2	Alimentation par proximité .....	15
<b>I-9</b>	<b>Techniques d'adaptations des antennes imprimées .....</b>	<b>16</b>
I-9-1	Adaptation par ligne quart d'onde .....	16
I-9-2	Adaptation par stub parallèle .....	17
I-9-3	L'adaptation avec encoches .....	17
<b>I-10</b>	<b>Conclusion.....</b>	<b>18</b>
<b>Chapitre 2 : généralités sur la technologie wifi.....</b>		<b>19</b>
<b>II-1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>20</b>
<b>II-2</b>	<b>Définition .....</b>	<b>20</b>
<b>II-3</b>	<b>Historique.....</b>	<b>20</b>
<b>II-4</b>	<b>Certification .....</b>	<b>21</b>
II -4-1	Flex Track : .....	21
II-4-2	Quick Track : .....	21
II-4-3	Derivative : .....	22
<b>II-5</b>	<b>Les normes du wifi.....</b>	<b>22</b>
<b>II-6</b>	<b>Les modes de fonctionnement du wifi.....</b>	<b>22</b>
II-6-1	Le mode ad hoc : .....	22
II-6-2	Le mode infrastructure : .....	23
<b>II-7</b>	<b>Les avantages et les inconvénients du wifi.....</b>	<b>24</b>
II-7-1	Les avantages .....	24
II-7-2	Les inconvénients.....	24
<b>II-8</b>	<b>Format de trame de l'IEEE 802.11 .....</b>	<b>24</b>
<b>II-9</b>	<b>WI-FI 5 .....</b>	<b>25</b>
<b>II-10</b>	<b>WI-FI 6 .....</b>	<b>26</b>

II-11 Les principales différences entre WI-FI 5 et WI-FI 6 .....	27
II-12 Les applications de la technologie wifi 5 et wifi 6 .....	27
II-13 Les formats d'antennes WI-FI .....	27
<i>II-14 Conclusion</i> .....	28
<i>Chapitre3 : simulation et résultats</i> .....	29
III-1 Introduction .....	30
III-2 Choix de l'outil de simulation .....	30
III-3 Présentation générale du logiciel .....	31
III-3-1 Ouvrir un projet .....	31
III-3-2 Créer un nouveau projet.....	31
III-4 Description générale des outils CST .....	34
III-5 Géométrie de l'antenne patch .....	34
III-6 Calcul de dimensions d'antenne .....	35
III-7 Le Coefficient de réflexion S11 .....	36
III-8 L'ajout des fentes pour l'adaptation de l'antenne à 5,2 GHz.....	37
<i>Les études paramétriques sur la largeur et la longueur des fentes sont résumées dans le tableau</i> <i>suivant :</i> .....	37
III-9 Géométrie finale de l'antenne proposée.....	38
III-10 Résultats et simulation.....	38
III-10-1 Coefficient de réflexion .....	38
III-10-2 Taux d'onde stationnaire (VSWR) .....	39
III-10-3 Le gain .....	39
III-10-4 Diagramme de rayonnement.....	40
III-10-5 Distribution de courant .....	41
III-11 CONCLUSION.....	41
<i>Conclusion générale</i> .....	42
<i>Références</i> .....	44

# Liste des figures

Figure I.1 :antenne imprimée .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure I.2:Les géométries d'antennes micro ruban couramment utilisées.....	9
Figure I.3: diagramme de rayonnement.....	11
Figure I.4 :bande passante en fonction de coefficient de réflexion .....	13
Figure I.5:alimentation par câble coaxiale.....	14
Figure I.6 : alimentation par ligne micro ruban.....	14
Figure I.7: les différentes manières pour ajouter la ligne micro ruban.....	15
Figure I.8:Alimentation par couplage électromagnétique .....	16
Figure I.9:Alimentation par couplage à ouverture .....	16
Figure I.10:Adaptation par ligne quart d'onde .....	17
Figure I.11: Adaptation par stub en parallèle .....	17
Figure I.12: adaptation avec encoches.....	18
Figure II.1: certification de wifi .....	21
Figure II.2: format de trame d'IEEE 802.11.....	25
Figure III.1 :logiciel computer simulation technology .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure III.2:ouvrir un projet .....	31
Figure III.3: choix de l'environnement de simulation.....	31
Figure III.4: choix du type d'antenne .....	32
Figure III.5: choix de la technique de simulation.....	32
Figure III.5: choix des unités de différents paramètres.....	33
Figure III.6: choix la gamme de fréquence .....	33
Figure III.7: fin de la création du projet .....	34
Figure III.8: l'interface principale du CST.....	34
Figure III.9: l'antenne patch proposée.....	36
Figure III.10: coefficient de réflexion S11 (dB) en fonction de la fréquence (GHz) .....	36
Figure III.11: coefficient de réflexion S11 (dB) en fonction de la fréquence (GHz) pour les études paramétriques .....	37
Figure III.12: l'antenne patch finale proposée.....	38
Figure III.13: coefficient de réflexion S11 (dB) en fonction de la fréquence (GHz) .....	39
Figure III.14: VSWR en fonction de la fréquence de résonance .....	39
Figure III.15: le gain de l'antenne proposée à la fréquence de 5.2 GHz .....	40
Figure III.16: diagramme de rayonnement de l'antenne finale proposée (a) en 3D, (b) et (c) en polaire .....	41
Figure III.17:courant de surface .....	41

# Liste des tableaux

Tableau II.1: les normes du WI-FI.....	22
Tableau II.2 : la différence entre WIFI5 et WIFI6.....	27
Tableau III.1: les différents paramètres de l'antenne .....	35
Tableau III.2: equations de calculs des paramètres de l'antenne patch rectangulaire .....	35
Tableau III.3: dimensions de l'antenne proposée .....	36
Tableau III.4: les études paramétriques sur la largeur et la longueur des fentes .....	37
Tableau III.5: dimensions finales de l'antenne proposée .....	38

# Liste d'abréviations

- 2D** : deux dimensions
- 3D** : trois dimensions
- Bp** : la bande passante
- BSS** : basic service set
- CST** : computer simulation technology
- D** : la directivité
- DB** : décibel
- DS** : système de distribution
- EM** : électromagnétique
- ESS** : ensemble de services étendus
- FIT** : finite integration technique
- G** : le gain
- GHz**: giga hertz
- HFSS**: high frequency structure simulator
- IEEE** : institut des ingénieurs électriciens et électroniciens
- L0** : la longueur de la ligne micro ruban
- Lg** : la longueur de substrat et plan de masse
- Lp** : la longueur de patch
- MHz** : méga hertz
- Plan E** : le champ électrique
- Plan H** : le champ magnétique
- S11** : le coefficient de réflexion
- SSID** : service set identifier
- THF** : transmission haute fréquence
- VSWR** : The Voltage Standing Wave Ratio (taux d'onde stationnaire)
- W** : la largeur efficace de l'antenne
- W0** : la largeur de ligne micro ruban
- Wg** : la largeur de substrat et plan de masse
- WI-FI** : wireless fidelity
- Wp** : la largeur de patch
- $\eta$**  : le rendement

## Résumé

Dans ce travail, nous avons choisi d'étudier une antenne patch de forme rectangulaire adaptée par la technique des fentes, fonctionnant à la fréquence de 5.2 GHz pour les applications Wi-Fi 5 et Wi-Fi 6. La conception de cette antenne est réalisée avec le logiciel de conception et de simulation en 3D CST « Computer Simulation Technology ». L'antenne conçue est avantageuse pour le Wi-Fi 5 et Wi-Fi 6 et les résultats de simulations sont très satisfaisants en termes de coefficient de réflexion(S11), la bande passante, le diagramme de rayonnement et le gain, qui la rendent propice et très convenable pour établir une communication fiable.

## Mots clés :

Antenne patch, rectangulaire, fentes, CST, Wi-Fi 5, Wi-Fi 6, coefficient de réflexion S11.

## Abstract

In this work, we have chosen to study a rectangular-shaped patch antenna adapted by the slot technique, operating at 5.2 GHz for Wi-Fi 5 and Wi-Fi 6 applications. The design of this antenna is carried out using the 3D design and simulation software CST "Computer Simulation Technology". The designed antenna is advantageous for Wi-Fi 5 and Wi-Fi 6, and the simulation results are very satisfactory in terms of Return loss(S11), bandwidth, radiation pattern and gain, making it suitable for establishing reliable communication.

## Keywords:

Patch antenna, rectangular, slots, Wi-Fi 5, Wi-Fi 6, Return loss S11.

## ملخص

في هذا العمل، اخترنا دراسة هوائي رقعة مستطيل يعمل بتردد 5.2 جيجا هرتز لتطبيقات الواي فاي 5 و الواي فاي 6 يتم تنفيذ تصميم هذا الهوائي بالتصميم وبرنامج محاكاة في 3D CST تقنية المحاكاة الحاسوبية". الهوائي المصمم مفيد لشبكات الواي فاي لأنه يتميز بحجمه و عرض النطاق الترددي والإشعاع والكسب المرضي جعلها مواتية ومناسبة جدًا لإنشاء اتصال موثوق

## الكلمات المفتاحية:

هوائي التصحيح، مستطيل، فتحات، الواي فاي 5، الواي فاي 6، معامل الانعكاس S11.

# *Introduction générale*

La technologie continue de se développer jour après jour, ces dernières années, le secteur des télécommunications a bénéficié d'une large part de ce progrès technologique.

Les télécommunications sont l'une des technologies qui ont révolutionné notre mode de vie au vingtième siècle. Du télégraphe à Internet, du téléphone sans fil au téléphone portable, les progrès dans ce domaine ont été spectaculaires. Les informations transmises ont d'abord été codées en code Morse, puis des techniques de modulation et de codage analogiques ont permis de transmettre du son, puis des images. Puis l'avènement des techniques numériques a considérablement augmenté la vitesse et la qualité des informations à transmettre d'un point à un autre, ainsi pour une connexion permanente et performante à un réseau mobile, les chercheurs ont développé des dispositifs basés sur des antennes imprimées. Ces antennes sont très avantageuses en termes de poids, de volume, de coût, de simplicité de fabrication et du coût, la simplicité de fabrication et surtout la possibilité de les installer sur tout type d'appareils électroniques. Cependant, ce type d'antenne a ses limites, notamment une bande passante étroite, faible gain et possibilité de résonner à une seule fréquence.

Aujourd'hui, les antennes imprimées (également appelées antennes micro ruban ou patch) bénéficient d'un grand intérêt des designers, en raison de leurs nombreuses applications. En effet, les applications pour ce type d'antenne sont les communications à haute fréquence, tels que les communications spatiales, les systèmes militaires et commerciaux navigation, réseaux informatiques sans fil et téléphonie mobile. Pour une antenne, de nombreuses bandes opérationnelles doivent être couvertes mesure que les normes de communication évoluent. Il est présent dans tous les systèmes de communication sans fil. Face à l'essor des standards tels que GSM et DCS, de nouvelles antennes doivent être capables de couvrir le nombre maximum de bandes de fréquences correspondant à ces différents services, tout en occupant un minimum d'espace.

L'objectif de ce mémoire est la conception d'une antenne patch rectangulaire travaillant à la fréquence de 5.2 GHz pour les applications Wi-Fi 5 et Wi-Fi 6 sous un logiciel de simulation électromagnétique CST Microwave studio suite 2014. La caractérisation de l'antenne se poursuit également par la détermination de ses paramètres hyperfréquences (fréquence de résonance, bande passante, diagramme de rayonnement et gain)

Pour atteindre cet objectif, le présent travail présenté est scindé en trois chapitres :

Chapitre I : des généralités sur les antennes imprimées, leurs propriétés et leurs caractéristiques, un rappel théorique sur l'antenne imprimée, une présentation des différentes méthodes d'analyse et les différentes techniques d'alimentation.

Chapitre II : notre étude s'articule autour de la technologie Wifi, sa présentation, ses normes, ses intérêts, ses domaines d'applications...etc., par la suite nous allons présenterons spécifiquement la technologie WIFI 5 et WIFI 6.

Chapitre III : représente dans la première partie une description de l'environnement de l'outil de simulation CST utilisé dans ce travail qui est un logiciel de simulation 3D. La deuxième partie de ce chapitre est consacré à la modélisation, conception d'une antenne patch rectangulaire et les résultats de simulation.

*Chapitre 1 : généralités  
sur les antennes imprimées*

## **I-1 Introduction**

L'antenne est un composant passif qui permet la transmission de l'énergie électrique en énergie électromagnétique où l'inverse, et c'est un moyen qui permet d'envoyer et de recevoir des ondes radio, et on peut dire que c'est une ligne micro ruban qui reçoit des signaux d'une ligne de transmission, et il les convertit en ondes électromagnétiques et les rayonne dans l'espace lorsque l'antenne est à l'intérieur en mode émission, lorsqu'il est récepteur, il capte simplement une partie faible de puissance et le reconvertissent en signaux électriques[1].

Il existe plusieurs types d'antennes parmi ses types, l'antenne imprimée (patch), elle est trop utilisée grâce à son caractère de miniaturisation qui offre la possibilité de l'intégrer facilement dans les systèmes d'émission - réception.

Ces antennes font actuellement l'objet de beaucoup de travaux de recherche en vue les applications dans la gamme des microondes. Leur calcul est complexe à mener et fait intervenir une constante diélectrique effective qui caractérise le substrat sur lequel est implanté le patch, mais, des logiciels comme HFSS (High Frequency Structure Simulator) et CST (computer simulation technology) permettent d'aider à la conception de ces antennes et de réaliser une simulation réaliste de leurs caractéristiques.

Dans notre premier chapitre, nous présentons la description, les caractéristiques, les avantages, les inconvénients des antennes patchs, ainsi les différents types d'alimentation, et d'adaptation.

## **I-2 Historique**

Souvent décrit comme l'un des développements les plus excitants de l'antenne et de l'histoire électromagnétique. Les antennes patch micro rubans entrent dans la catégorie des antennes imprimées.

Le concept d'antenne imprimée fut pour la première fois imaginé en 1953 par Georges Deschamps aux USA et par Baissinot et Gutton en 1955 en France.

La recherche et le développement sur le sujet des antennes patch ont été entrepris depuis une trentaine d'années avec des contributions de nombreuses entreprises, organisations gouvernementales et universités du monde entier.

Au milieu des années 1970, a probablement vu les premières contributions réelles à la région de la technologie des patchs (amélioration des techniques de photolithographie du cuivre et de l'or sur substrat diélectrique).

En 1972, John Howell réalisa des antennes imprimées à polarisation linéaire et circulaire en bande L et UHF pour la NASA [2].

Dans les années 1990 des antennes pratiques ont été développées par Howel et Munson, un véritable passage au stade industriel.

### I-3 Description des antennes imprimées

Les antennes imprimées appelées aussi les antennes micro rubans (micros trip antenna en anglais) sont des antennes gravées généralement sur une plaque imprimée double face dont le substrat est un diélectrique avec des caractéristiques appropriées à la transmission haute fréquence (THF).

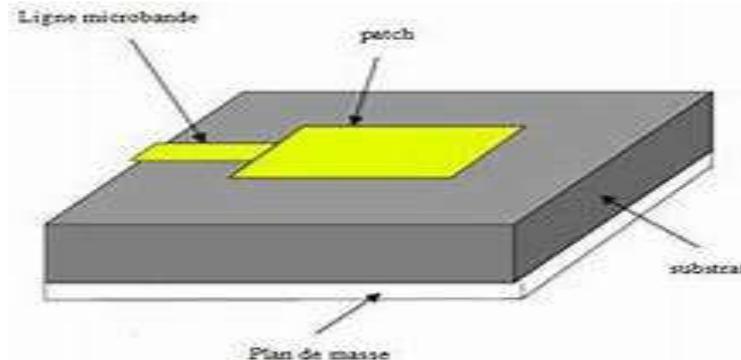


Figure I.1 : antenne imprimée [3].

Les antennes patch se composent d'un ou de plusieurs patchs métalliques placés sur un matériau diélectrique appelé le substrat et soutenu par un plan de masse.

#### I-3-1 Le choix du substrat électrique

Les paramètres à prendre en compte sont :

- Permittivité électrique (constante diélectrique)  $\epsilon_r$ .
- Pertes  $\tan \delta$ .
- Tolérances (sur  $\epsilon_r$ ).
- Stabilité en température.
- Stabilité en fréquence.
- Dilatation, caractéristiques mécaniques.

#### I-3-2 Le choix des paramètres de patch

Le patch est fait d'un matériau suffisamment conducteur (Cuivre :  $\sigma = 59,6 \times 10^6 \text{ S m}^{-1}$ , or :  $\sigma = 45,2 \times 10^6 \text{ S m}^{-1}$  etc.).

Les lignes électriques sont généralement amenées visuellement au-dessus du substrat isolant.

Les paramètres physiques et techniques liés au choix de l'antenne imprimée sont :

- La permittivité relative du diélectrique ( $\epsilon_r$ ).
- La tangente de perte ( $\tan \delta$ )
- La hauteur (h)

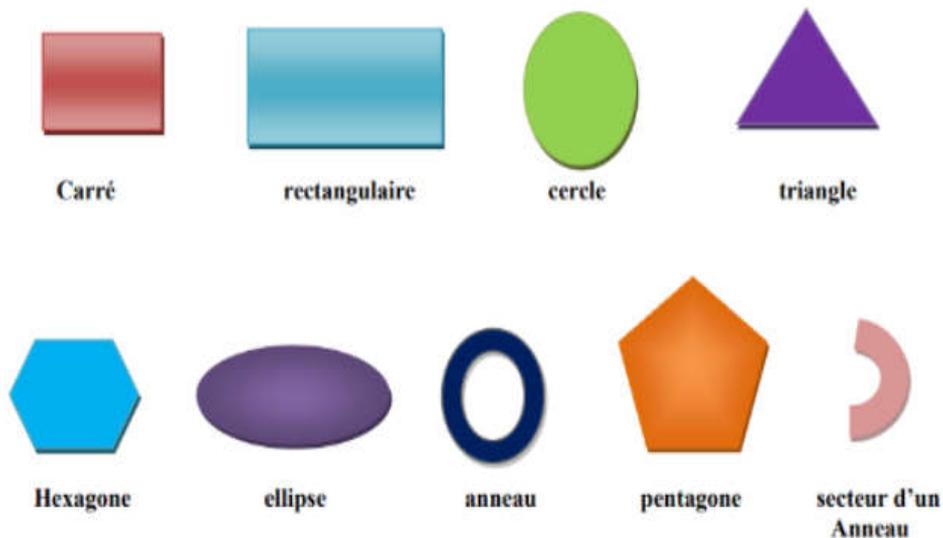
### **I-3-3 Le plan de masse**

Le plan de masse est une surface conductrice (cuivre) recouvrant la partie inférieure du substrat. Elle permet de faire rayonner la partie supérieure.

### **I-4 Les différentes formes d'une antenne patch**

Le patch rayonnant peut prendre plusieurs formes qui peuvent être rectangulaire, carré, circulaire ou simplement un dipôle.

La figure suivante montre ces différentes formes



**Figure I.2:** Les géométries d'antennes micro ruban couramment utilisées [4].

### **I-5 Domaines d'application des antennes imprimées**

Les domaines d'applications des antennes imprimées sont de plus en plus variés dans plusieurs domaines, nous les mentionnons :

- La téléphonie mobile.
- Les radars.
- Les télécommunications par satellites.
- La commande et contrôle.
- La télémessure par missile.
- Les équipements portatifs.

- Les éléments d'alimentation dans les antennes complexes.
- Les antennes d'émission utilisées en médecine.
- Les réseaux mobiles (GSM 900, DCS 1800, UMTS, ...).
- Réseaux sans fils : (WLAN, BLUETOOTH, WIFI, ...).
- Les récepteurs satellite de navigation

## **I-6 Les avantages et les inconvénients des antennes imprimées**

Les antennes micro-ruban ont plusieurs avantages par rapport aux antennes micro-ondes conventionnelles, les principaux avantages de ce type d'antenne sont les suivants [5] :

- Faible poids, profil bas.
- Faible coût de fabrication, facilement prête à la production de masse.
- Conforme sur les surfaces planaires et non-planaires (avec les substrats minces).
- Polarisation linéaire et circulaire surtout pour les télécommunications.
- Souple en termes de fréquence de résonance.
- Facile à intégrer avec les circuits MMICs (un circuit intégré monolithique hyperfréquence) sur un même substrat.

Mais ses antennes présentent aussi des inconvénients qui sont les suivant :

- Faible efficacité de rayonnement.
- Possibilité de fonctionnement en faible puissance (-100w).
- Faible pureté de polarisation.
- Largeur de bande de fréquence très étroite et problèmes de tolérance associée.
- Le gain légèrement inférieur comparé aux antennes conventionnelles à micro-ondes (-6db).

## **I-7 Les caractéristiques des antennes imprimées**

### **I-7-1 Diagramme de rayonnement**

Le diagramme de rayonnement est défini comme une représentation graphique des propriétés de rayonnement de l'antenne en fonction des coordonnées d'espace en 2D ou 3D. Les propriétés de rayonnement comprennent la densité de flux de puissance, intensité de rayonnement, force de champ, directivité et polarisation [6]. D'une autre part le diagramme de rayonnement c'est un diagramme qui montre la répartition de la puissance rayonnée d'une antenne dans les différentes directions de l'espace.

Ainsi le diagramme de rayonnement représente la fonction caractéristique de rayonnement  $F(\theta, \varphi)$  tracé en trois dimensions, qui varie entre 0 et 1 selon la direction.

Le diagramme de rayonnement représente en deux plans :

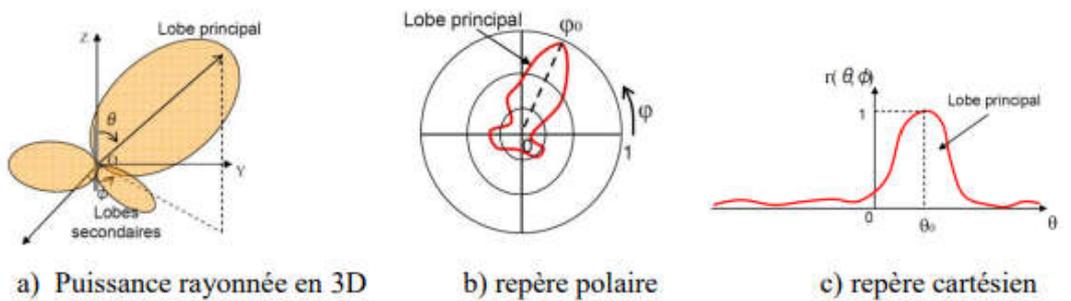
- Plan E (ou plan vertical) est défini comme le plan contenant le champ électrique  $\varphi = 0^\circ, \theta \in [0, 2\pi]$
- Plan H (ou plan horizontal) est défini comme le plan contenant le champ magnétique  $\theta = 90^\circ, \varphi \in [0, 2\pi]$

Différentes parties de diagramme de rayonnement sont appelées lobes.

Un lobe de rayonnement est une partie du diagramme de rayonnement délimitée par les régions de rayonnement relativement faible transportant une quantité d'énergie définie [7].

Ceux -ci sont divisés en :

- ✓ Lobe major ou principal : contient un rayonnement maximal, dans certains cas, il peut avoir plus d'un lobe principal.
- ✓ Lobes mineurs : tous les autres lobes appelés des lobes secondaires.
- ✓ Un lobe arrière (rayonnement arrière) : c'est le lobe secondaire présent dans la direction opposée à  $180^\circ$  du lobe principal.



**Figure I.1:** diagramme de rayonnement

### **I-7-2 La directivité**

La directivité est la capacité d'une antenne à concentrer l'énergie dans une direction particulière [8]. Elle est définie comme étant le rapport entre la densité de puissance créée dans une direction donnée et la densité de puissance d'une antenne isotrope. Elle peut être exprimée par la formule suivante :

$$D(\theta, \varphi) = \frac{p(\theta, \varphi)}{p(\theta, \varphi)_{iso}} \quad [I-1]$$

La directivité montre à quel point le diagramme de rayonnement de l'antenne est directionnel.

### **I-7-3 Le gain**

Le gain représente la quantité de rayonnement de point par rapport au rayonnement d'une source isotrope sans perte. Il se mesure dans la direction maximum de rayonnement [9].

$$G(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{p(\theta, \varphi)}{p_a} \quad [I-2]$$

La relation entre le gain et la directivité d'une antenne est donnée par l'équation suivante :

$$G(\theta, \varphi) = \eta D(\theta, \varphi) \quad [I-3]$$

#### **I-7-4 Rendement**

Le rendement de l'antenne est le rapport entre la puissance rayonnée et la puissance fournie à l'antenne, soit :

$$\eta = \frac{p_r}{p_f} \quad [I-4]$$

#### **I-7-5 Coefficient de réflexion S11**

C'est le rapport des amplitudes des ondes incidentes sur les ondes réfléchies. Pour une antenne d'impédance  $Z_e$ , reliée à la source par une ligne d'impédance caractéristique  $Z_0$  par l'équation suivante :

$$S_{11} = \frac{Z_e - Z_0}{Z_e + Z_0} \quad [I-5]$$

#### **I-7-6 Taux d'onde stationnaire (VSWR : Voltage Standing Wave Ratio)**

Le taux d'onde stationnaire également appelé rapport d'ondes stationnaires (SWR), représente une fonction du coefficient de réflexion, qui décrit la puissance réfléchi par l'antenne. Alors le VSWR est défini par la formule suivante :

$$VSWR = \frac{1 + S_{11}}{1 - S_{11}} \quad [I-6]$$

#### **I-7-7 Impédance d'entrée**

Une antenne se distingue par son impédance  $Z_{in}$  complexe. Cette impédance est composée d'une partie réelle ( $R_{in}$ ) et d'une partie imaginaire ( $X_{in}$ ), où  $Z$  est le rapport entre la tension et le courant. L'impédance d'entrée d'une antenne est définie comme suit :

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} \quad [I-7]$$

#### **I-7-8 Polarisation**

La polarisation d'une antenne est l'orientation du champ électrique d'une antenne. En référence à la surface de la terre, les principales polarisations sont horizontales et verticales [10].

#### **I-7-9 Bande passante**

La bande passante est la plage de fréquence (entre  $f_{min}$  et  $f_{max}$ ) où le transfert d'énergie de l'alimentation vers l'antenne (ou de l'antenne vers le récepteur) est maximal. En effet peut être définie en fonction du coefficient de réflexion.

$$BP = \frac{2(f_{max}-f_{min})}{f_{max}+f_{min}} \times 100\% \quad [I-8]$$

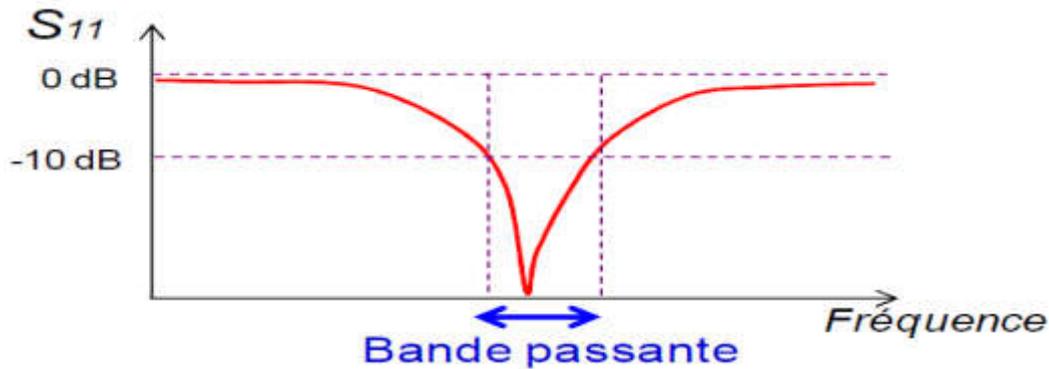


Figure I.2 : bande passante en fonction de coefficient de réflexion

### I-8 Techniques d'alimentation des antennes imprimées

C'est le point important dans la conception des antennes patch, dans différents types d'élément rayonnant il s'agit toujours d'alimenter une antenne micro ruban rectangulaire.

Il y a deux techniques d'excitation principales soit en alimente l'élément rayonnant en utilisant un élément de contact qui sera un câble coaxial ou une ligne micro ruban soit en utilise une excitation sans contact c'est-à-dire une alimentation par proximité.

- Alimentation par contact :
  - Alimentation sonde coaxiale.
  - Alimentation par ligne micro ruban.
- Alimentation par proximité (sans contact) :
  - Alimentation par couplage électromagnétique.
  - Alimentation par couplage à ouverture (fente).

#### **I-8-1 Alimentation par contact**

##### **I-8-1-1Alimentation sonde coaxiale**

Les alimentations de ligne coaxiale, où le conducteur centrale (intérieur) du connecteur coaxial est soudé au patch de rayonnement tandis que le conducteur externe est connecté au plan de masse, sont également largement utilisées [10]. Le principal avantage de cette excitation c'est le rayonnement de parasite réduit ainsi peut être placé à n'importe quel emplacement souhaité à l'intérieur du patch, cependant cette alimentation présente des inconvénients par exemple :

- Technologie hybride.
- Nombre de degrés de liberté réduit pour l'adaptation.

- Modélisation difficile.

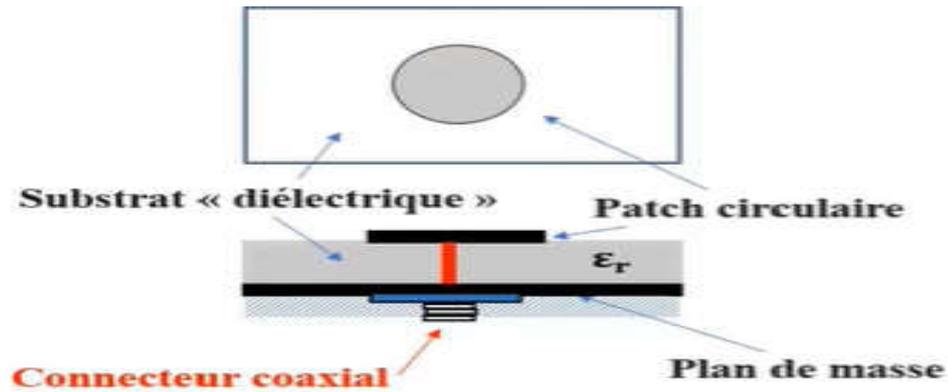


Figure I.3: Alimentation par câble coaxiale [11].

**I-8-1-2 Alimentation par ligne micro ruban**

C'est l'alimentation la plus simple utilisant une ligne imprimée sur le même plan que le patch rayonnant sur laquelle la bande de cuivre est plus petite dans la largeur par rapport au patch (généralement de  $50\Omega$ ).

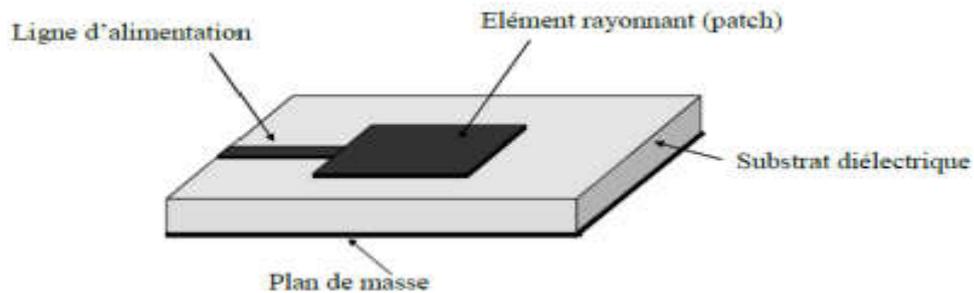
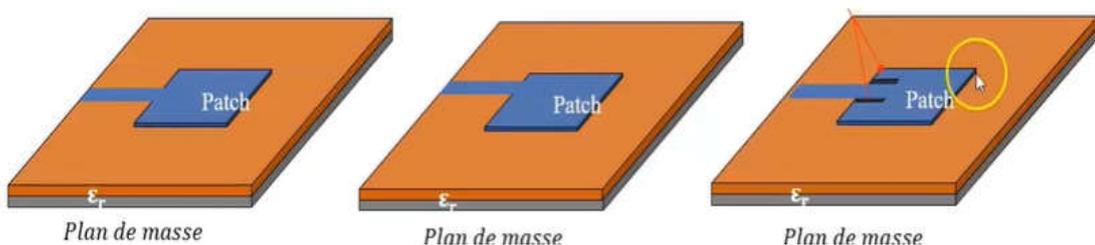


Figure I.4 : alimentation par ligne micro ruban [11].

On trouve trois manières pour ajouter la ligne micro ruban soit :

- Le point de jonction est sur l'axe de symétrie de l'élément.
- Le point de jonction est décalé par rapport à cet axe et cela permet une meilleure adaptation d'impédance.
- Alimentation axiale avec une encoche [12].



**Figure I.5:** les différentes manières pour ajouter la ligne micro ruban [13].

Les patches de ligne micro ruban présentent plusieurs avantages par rapport aux autres techniques d'alimentation telle que [14] :

- Simplicité technologique (monolithique).
- Moins couteuse.
- Modélisation.
- Facilité d'adaptation d'impédance.

Toutefois elle présente quelques inconvénients :

- Rayonnement parasite de la ligne.
- Surface non planes.
- Bande passante faible (max 5%).

### **I-8-2Alimentation par proximité**

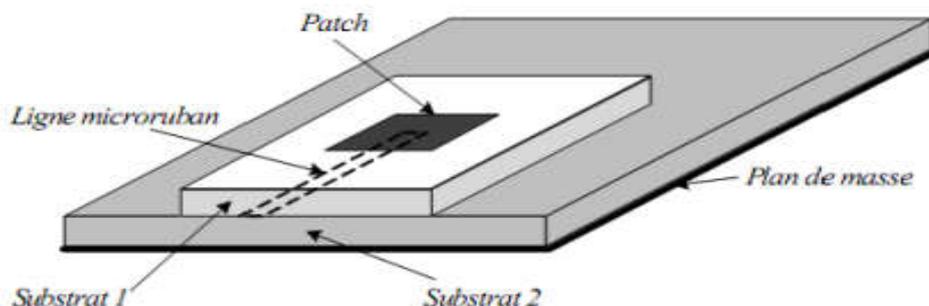
#### **I-8-2-1 Alimentation par couplage électromagnétique**

L'antenne est constituée de deux substrats diélectriques : la ligne d'alimentation qui se trouve entre les deux substrats et le patch de rayonnement qui est sur le substrat supérieur [15]. L'excitation se fait par couplage électromagnétique.

Les avantages de cette alimentation sont :

- Rayonnement parasite de la ligne réduit.
- Bande élevée (max 13%).
- Technologie monolithique.
- Modélisation facile.

Mais sa technologie complexe devient un inconvénient



**Figure I.6:** Alimentation par couplage électromagnétique [16].

### **I-8-2-2Alimentation par couplage à ouverture**

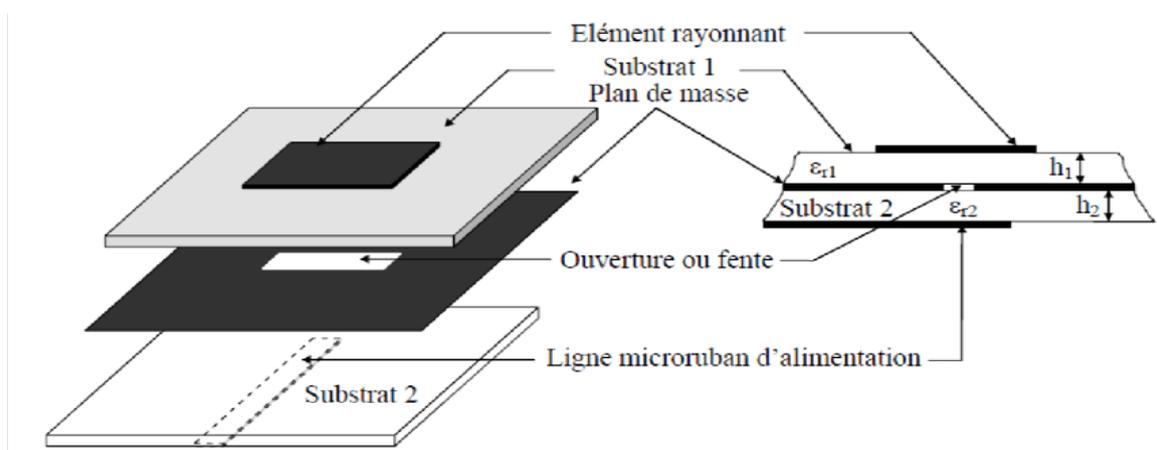
L'antenne se compose alors de deux substrats séparés par un plan de masse sur lequel est découpée la fente. La ligne d'alimentation se situe sur une face du substrat inférieur, et l'élément rayonnant se trouve sur une des faces du substrat supérieur [17].

Les avantages de cette technique sont les suivantes :

- Rayonnement parasite de la ligne réduit.
- Technologie monolithique.
- Modélisation facile.
- Pureté de polarisation.

Et les inconvénients majeurs de cette méthode sont :

- Technologie complexe (alignement).
- Rayonnement arrière de la fente de couplage (-15/20dB).



**Figure I.7:** Alimentation par couplage à ouverture [16].

## **I-9 Techniques d'adaptations des antennes imprimées**

L'objectif principal de l'adaptation est de maximiser la puissance transmise à la charge c'est-à-dire une transmission parfaite.

### **I-9-1Adaptation par ligne quart d'onde**

Opérant en tant que transformateur d'impédance, une ligne sans perte d'impédance caractéristique  $Z_0$  peut être adaptée à une charge d'impédance  $Z_L$  (réelle) via une section quarte d'onde ou bien une ligne de

longueur et d'impédance caractéristique  $Z_1$  placée entre la ligne principale et la charge, qui est également sans perte [17].

Avec :  $Z_1 = \sqrt{Z_0 Z_L}$



Figure I.8: Adaptation par ligne quart d'onde [18]

**I-9-2 Adaptation par stub parallèle**

Il s'agit d'ajouter une portion de ligne de longueur  $d$  en parallèle avec la ligne de transmission à une distance  $l$  de la charge. Un stub est une ligne de transmission terminée par un court-circuit ou un circuit ouvert, le stub est placé en série ou en parallèle [19].

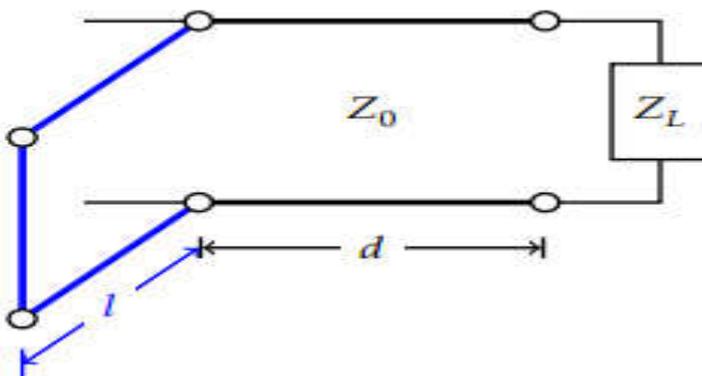
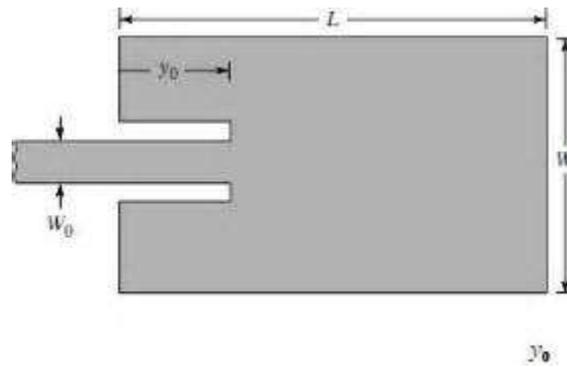


Figure I.9: Adaptation par stub en parallèle [18]

**I-9-3 L'adaptation avec encoches**

Pour adapter l'antenne, on utilise des encoches tel qu'il est illustré dans la **figure I.12**, il suffit de modifier la géométrie du patch



**Figure I.10:** adaptation avec encoches [18] [20].

### I-10 Conclusion

Il existe plusieurs conditions et caractéristiques pour le bon fonctionnement des antennes patch, dans ce chapitre, nous sommes efforcés de donner de manière concise de la théorie de l'antenne patch, dans un premier temps, nous avons fourni une description globale sur les antenne patch et son principe de fonctionnement, ensuite nous avons mentionné les techniques les plus importantes utilisées dans l'alimentation et l'adaptation des antennes imprimées et à la fin de ce chapitre nous avons parlé des avantages et des inconvénients des antennes patch.

Dans le chapitre suivant, nous allons parler sur la technologie WI-FI.

*Chapitre 2 : généralités  
sur la technologie wifi*

### II-1 Introduction

Aujourd'hui, nous savons que nous pouvons utiliser nos ordinateurs portables, tablettes et téléphones portables, et en quelques seconds nous serons connectés à internet. La plupart du temps, nous n'avons pas besoin de brancher de câbles ou de fils car il y a un hotspot wifi à proximité. Le wifi nous permet de surfer sur le web, de regarder des vidéos ou d'écouter de la musique sans être devant un ordinateur fixe [21].

Dans ce chapitre, nous parlerons des généralités sur la technologie WI-FI.

Il existe plusieurs versions parmi lesquelles WIFI 5 en 2016 et wifi 6 fin 2019.

### II-2 Définition

Le WI-FI est une technologie de réseau sans fil qui permet aux périphériques tels que des ordinateurs (portables et fixes), des périphériques mobiles (téléphones intelligents et dispositifs portables), et d'autres équipements (imprimantes et caméras vidéo) d'accéder à internet, il permet à ces appareils et à de nombreux autres d'échanger des renseignements entre eux, ce qui crée un réseau.

Comme pour le transistor radio traditionnel, les réseaux wifi transmettent des informations par les airs en utilisant des ondes radio, qui sont le type de radiation électromagnétique avec des longueurs d'onde dans le spectre électromagnétique plus longs que la lumière infrarouge.

Les ondes radio wifi ont généralement une fréquence de 2,4 gigahertz ou 5,8 gigahertz. Ces deux bandes de fréquence wifi sont subdivisées en plusieurs canaux, avec chaque canal possiblement partagé entre de nombreux réseaux.

Pour comprendre le fonctionnement du wifi, il faut en savoir un peu plus sur les ondes radio et leur fonctionnement. Les ondes radio sont une forme d'énergie électrique. Ils sont créés à l'aide d'un processus électrique simple et peuvent être utilisés pour envoyer des informations, telles que du son, des images animés et des données informatiques, sur de longues distances [21].

### II-3 Historique

Le Wi-Fi est né à Hawaï en 1971, où un réseau de paquets UHF sans fil appelé ALOHAnet a été utilisé pour connecter les îles. Les protocoles ultérieurs développés en 1991 par NCR et AT&T, appelés WaveLAN, sont devenus le précurseur des normes IEEE 802.11.

Une décision de la Commission fédérale des communications des États-Unis de 1985 qui permettait à quiconque d'utiliser les bandes du spectre radio à 900 mégahertz (MHz), 2,4 gigahertz (GHz) et 5,8 GHz sans licence est la source du Technologie WI- Fi. Les entreprises technologiques ont commencé à construire des réseaux et des appareils sans fil pour tirer parti du spectre radioélectrique nouvellement

disponible, mais sans une norme sans fil commune, le mouvement est resté fragmenté, car les appareils de différents fabricants étaient rarement compatibles. Finalement, un comité de leaders de l'industrie a proposé une norme commune, appelée 802.11, qui a été approuvée par l'IEEE (L'Institute of Electrical and Electronics Engineers) en 1997. La norme 802.11 d'origine autorisait un taux de transmission de données maximal de seulement (2 Mbit/s) ; Le 802.11ax, baptisé Wi-Fi 6 par la Wi-Fi Alliance introduit en 2019, a un débit théorique maximum de (9,6Gbit/s) [22].

### II-4 Certification



**Figure II.1:** certification de wifi

Wi-Fi CERTIFIED est un sceau d'approbation internationale reconnu pour les produits certifiants qu'ils respectent les normes de l'industrie en matière d'interopérabilité, de sécurité et une variété de normes de protocole spécifiques à l'application. La certification signifie qu'un produit a été testé de différentes manières pour valider l'interopérabilité avec d'autres équipements Wi-Fi CERTIFIED fonctionnant dans la même bande de fréquences. Les produits Wi-Fi CERTIFIED ont été soumis à des tests rigoureux par l'un des trois parcours de certification :

#### **II -4-1 Flex Track :**

- Produit construit à partir de zéro
- Permet une grande flexibilité dans la personnalisation du wifi
- Tests effectués dans un laboratoire de test agréé ATL

#### **II-4-2Quick Track :**

- Produits basés sur une solution qualifiée
- Permet des modifications ciblées de la fonctionnalité wifi
- Tests effectués à ATL ou sur le site d'un membre

### II-4-3Derivative :

- Copies d'un produit source d'appareil certifié wifi
- Aucune modification de la fonctionnalité Wi-Fi
- Demander la certification sans test supplémentaire

### **II-5 Les normes du wifi**

La technologie est régie par le groupe de normes IEEE802.11, qui a donné lieu à plusieurs sous-normes suivant les besoins de débit et de portée. Le tableau suivant résume les différentes sous-normes utilisées :

Norme de WI-FI	Date d'apparition	Fréquences	Largeur de canal	Débit maximum théorique	Portée	Nom
802.11	1997	2,4 GHz	20 MHz	2Mbps	20m	N/A
802.11b	1999	2,4 GHz	20 MHz	11Mbps	35m	WI-FI 1
802.11a	1999	5 GHz	20 MHz	54Mbps	35m	WI-FI 2
802.11g	2003	2,4 GHz	20 MHz	54Mbps	38m	WI-FI 3
802.11n	2009	2,4 GHz ou 5 GHz	20, 40 MHz	72,2Mbps-450 Mbps	70m	WI-FI 4
802.11ac Vague 1	2014	5GHz	20, 40, 80 MHz	866,7Mbps	35m	WI-FI 5
802.11ac Vague 2	2016	5 GHz	20, 40, 80, 160 MHz	1,73Mbps	35m	WI-FI 5
802.11ax	Fin 2019	2,4 GHz ou 5 GHz	20, 40, 80, 160 MHz	9,6 Mbps	35m	WI-FI 6

**Tableau II.1:** les normes du WI-FI

### **II-6 Les modes de fonctionnement du wifi**

Il existe deux modes de fonctionnement pour les réseaux Wifi : le mode ad hoc et le mode infrastructure. Dans un grand réseau, les utilisateurs doivent utiliser le mode infrastructure pour leur accès Internet.

#### II-6-1Le mode ad hoc :

Les ordinateurs se connectent entre eux directement, Un réseau sans fil ad hoc est plus rentable que son alternative, car il ne nécessite pas l'installation d'un point d'accès pour fonctionner. De plus, il a également besoin de moins de temps pour se mettre en place. Un mode ad hoc est souvent utilisé dans les situations d'urgence lorsqu'une communication rapide et efficace est nécessaire, comme les opérations de recherche et de sauvetage. Ce type de réseau est également utilisé dans les petits groupes, où le but principal de la connexion est le partage de fichiers.[23]

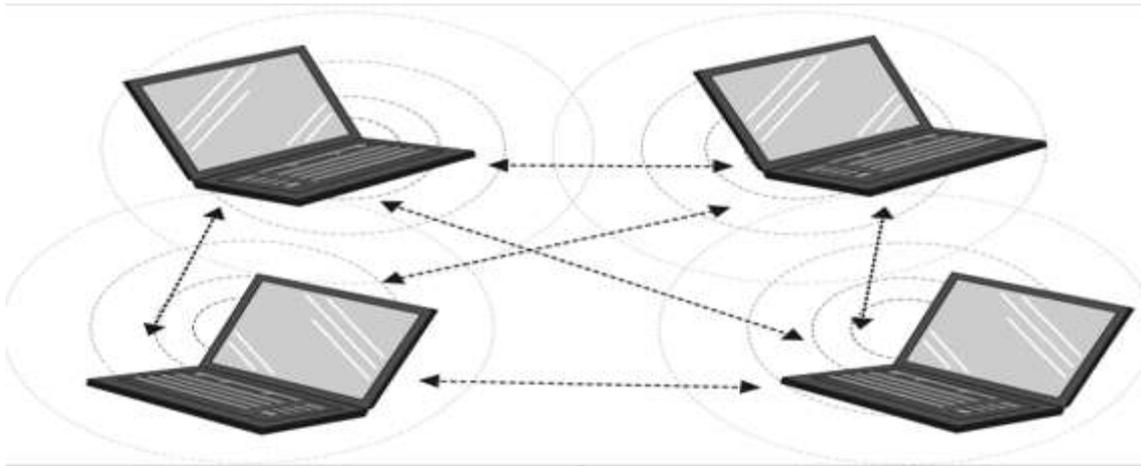


Figure II.2 : architecture des réseaux WI-FI : mode ad-hoc

II-6-2 Le mode infrastructure :

Les ordinateurs se connectent aux bornes pour accéder au réseau, La configuration d'un réseau en mode infrastructure nécessite au moins un point d'accès sans fil (AP). Le point d'accès et les clients doivent être configurés pour utiliser le même nom de réseau. Le point d'accès est câblé au réseau câblé pour permettre aux clients sans fil d'accéder à des ressources telles qu'internet, des imprimantes et certains périphériques. Des points d'accès peuvent être ajoutés à ce réseau pour augmenter la portée de l'infrastructure et prendre en charge davantage de clients sans fil[23].

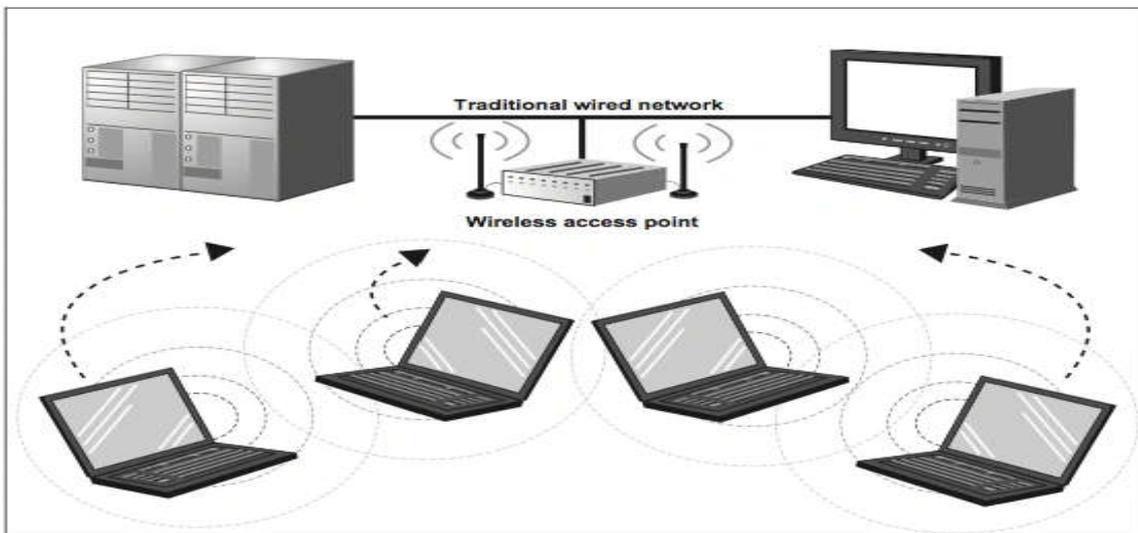


Figure II.3 : architecture des réseaux WI-FI : mode infrastructure

### II-7 Les avantages et les inconvénients du wifi

#### II-7-1 Les avantages

- Mobilité : être connecté à un réseau sans fil permet de se déplacer librement dans le spectre disponible
- Facilité : Un réseau Wi-Fi bien configuré rend les connexions très simples.
- Evolutivité : La possibilité d'étendre ou de restreindre le réseau permet une couverture Wi-Fi constante adaptée aux besoins actuels.
- Souplesse : Le processus d'installation simple du wifi permet de modifier rapidement la zone d'action en fonction des besoins.
- Coûts : Faibles coûts d'installation et de maintenance [24].
- La vitesse de connexion via Wi-Fi est jusqu'à 54 Mbps.

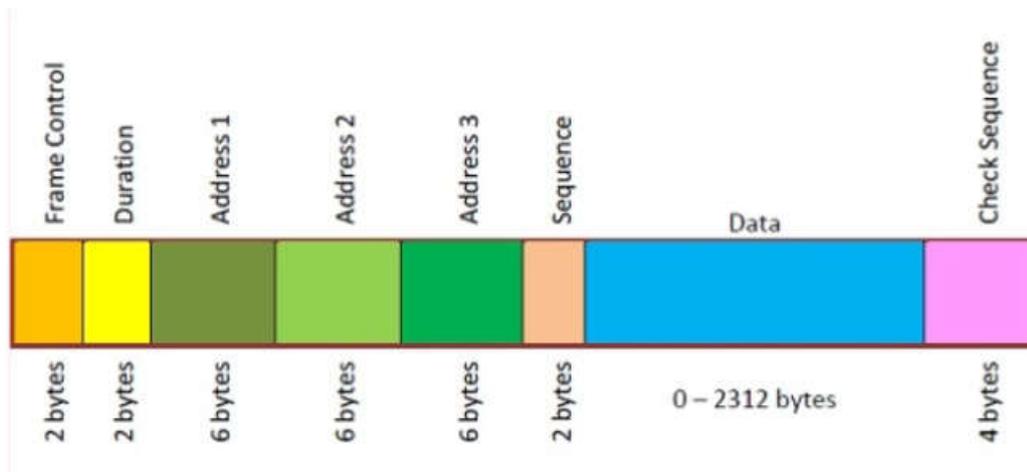
#### II-7-2 Les inconvénients

- Gamme limitée : les réseaux à large bande ne sont pas toujours disponibles dans toutes les régions.
- Il affecte la santé humaine : le rayonnement émis par les réseaux "Wi-Fi" sur le corps humain est faible, mais il s'accumule avec le temps, ce qui peut entraîner de graves troubles du fonctionnement des organes.
- Possibilité de piratage des données personnelles : les réseaux sans fil sont naturellement moins sécurisés que les réseaux câblés, et tout appareil sans fil peut tenter de se connecter à un réseau sans fil, il est donc important de restreindre l'accès au réseau si la sécurité est un problème.

### II-8 Format de trame de l'IEEE 802.11

Les principaux champs d'une trame de réseau local sans fil, tels que définis par la norme IEEE 802.11, sont les suivants :

- Contrôle de trame (frame control) : Il s'agit d'un champ de départ de 2 octets composé de 11 sous-champs. Il contient les informations de contrôle de la trame.
- Durée (duration) : Il s'agit d'un champ de 2 octets qui spécifie la période pendant laquelle la trame et son accusé de réception occupent le canal.
- Champs d'adresse (adresse 1, 2,3) : Il y a trois champs d'adresse de 6 octets contenant respectivement les adresses de la source, de la destination immédiate et du point final.
- Séquence (sequence) : Il s'agit d'un champ de 2 octets qui stocke les numéros de trame.
- Données (data) : Il s'agit d'un champ de taille variable qui contient les données des couches supérieures. La taille maximale du champ de données est de 2312 octets.
- Séquence de contrôle (check sequence) : Il s'agit d'un champ de 4 octets contenant des informations sur la détection des erreurs.



**Figure II.4 :** format de trame d'IEEE 802.11

### II-9 WI-FI 5

Wifi 5 ou IEEE 802.11ac est la cinquième génération de normes de réseau sans fil dans l'ensemble de normes IEEE 802.11 qui fournit un débit élevé dans un réseau local sans fil (LAN) utilisant la fréquence de bande de 5 GHz. Le Wifi 5 est sorti en 2014 et a apporté plusieurs mises à niveau du Wifi 4 précédemment utilisé. Le Wifi 5, bien qu'il représente une merveilleuse innovation, mais a des avantages et des inconvénients.

Les avantages incluent :

- La transmission de données sans fil en Wifi 5 se produit sur la fréquence de bande 5 GHz la moins encombrée. La norme Wi-Fi précédente, 802.11n, fonctionnait à la fois sur les bandes 2,4 et 5 GHz, tandis que d'autres n'utilisaient que 2,4 GHz. La bande 2,4 GHz n'est pas idéale car de nombreux appareils utilisent cette fréquence radio. Pire encore, d'autres types de réseaux sans fil utilisent également la même fréquence.
- Le Wifi 5 tente de résoudre ce problème en utilisant un canal de fréquence différent, moins encombré, la bande 5GHz.
- Le Wifi 5 a de meilleures performances et une meilleure vitesse que son prédécesseur, le Wifi 4. Le Wifi 5 offre une vitesse de connexion maximale théorique de 6,9 Gbps. C'est un énorme avantage si l'on considère qu'il y a quelques années, les appareils ne pouvaient rêver que de quelques bits transférés par seconde.
- La modulation du signal du Wifi 5 est plus efficace que la génération précédente.

Les inconvénients sont :

- Les signaux couvrent une distance plus courte en raison de la bande 5 GHz.
- La rétrocompatibilité peut être un problème car les appareils fonctionnant à 2,4 GHz peuvent ne pas fonctionner correctement avec le Wifi 5 à 5 GHz.
- Le coût initial de son installation peut être élevé.

### II-10 WI-FI 6

Wifi 6 est le nom commercial officiel du réseau informatique sans fil fonctionnant selon la norme 802.11ax. Il est également connu sous le nom de Wifi AX ou Wifi à haut rendement. C'est le successeur du 802.11ac (Wifi 5). Le Wifi 6 est une amélioration assez intéressante de la technologie Wifi en général. Sa conception principale est d'améliorer la connectivité Wifi dans les environnements très denses tels que les centres commerciaux, les zones résidentielles denses, les bureaux d'entreprise, les bâtiments, etc. Sorti en 2019, IEEE 802.11ax utilise les bandes standard 2,4 GHz et 5 GHz, avec la bande 6 GHz à introduire en Wifi 6e.

Les avantages du Wifi 6 incluent :

- Le Wifi 6 offre une vitesse plus rapide que le Wifi 5, à la fois pour un seul appareil et bien plus lorsque plusieurs appareils sont connectés à un routeur.
- Il a de meilleurs protocoles de sécurité pour surfer sur Internet en toute sécurité.
- Rétrocompatibilité avec les appareils Wifi 5 et Wifi 4, entre autres normes.
- Augmentation du nombre d'appareils pris en charge par un routeur.

Il a également les inconvénients suivants :

- Il implique un coût élevé d'installation et d'appareils lorsque vous achetez des Smartphones et des ordinateurs portables dotés de la technologie Wifi 6.
- Il a une gamme de connectivité relativement courte.

### II-11 Les principales différences entre WI-FI 5 et WI-FI 6

Les besoins spécifiques de l'utilisateur choisiront d'utiliser le Wi-Fi 6 ou le Wi-Fi 5. Cependant, si l'efficacité et les performances sont cruciales, le Wi-Fi 6 est un choix plus judicieux. Le Wi-Fi 6 offre des taux de transmission de données plus rapides, une portée de signal plus longue, une meilleure efficacité énergétique et une sécurité améliorée. Le tableau ci-dessus résume la différence entre ces deux noms :

	WI-FI 5	WI-FI 6
Fréquence	5GHz	2,4 GHz ou 5GHz
Modulation	256 QAM	1024 QAM
Débit	3,6 Gbit/s	9,6 Gbit/s
Antennes	4 x 4 MU-MIMO	8 x 8 MU-MIMO

**Tableau II.1** : la différence entre WIFI5 et WIFI6

### II-12 Les applications de la technologie wifi 5 et wifi 6

Il existe une variété de cas d'utilisation du WI-FI 5 et WI-FI 6, notamment la télémédecine, les bureaux entièrement sans fil, l'assistance sur le terrain à distance, la formation virtuelle et la collaboration.

- Télésanté.
- Sports et loisirs.
- Sécurité et défense.
- Chaîne d'approvisionnement et production.
- Éducation.
- Opérations aéroportuaires.
- Auto-motivé.
- Maisons intelligentes.
- Bureaux.
- Stade.

### II-13 Les formats d'antennes WI-FI

Il existe plusieurs types d'antennes WI-FI tel que les antennes paraboles grillagés, antennes yagi, antennes hélicoïdes, antennes fouets et les antennes patch ...

### **II-14 Conclusion**

Au cours de ce chapitre, nous avons défini la technologie wifi, ses origines et ses nombreuses caractéristiques, nous avons présenté ses avantages et ses inconvénients, puis nous avons évoqué les deux normes les plus avancées, le wifi 5 et le wifi 6.

En conclusion, les réseaux sans fil en général et le Wi-Fi en particulier sont des technologies fascinantes largement utilisées dans divers domaines, notamment les affaires, la médecine et l'armée. Cette variété d'utilisations est le résultat des nombreux avantages qu'offre cette technologie.

L'objectif de notre étude c'est de concevoir des antennes imprimées pour une fréquence de 5.2GHZ et le chapitre qui suit, sera consacré à la présentation des résultats de simulations de l'antenne conçue au cours de ce travail.

# *Chapitre 3 : simulation et résultats*

### **III-1 Introduction**

Ce chapitre décrit les processus de conception logicielle et les résultats de simulation pour une antenne imprimée de forme rectangulaire pour les applications WI-FI 5 et WI-FI 6. Les bandes de fréquences mobiles de 2,4 GHz (2400-2483,5) et 5 GHz (5150-5875) MHz sont celles qui sont ouvertes pour une utilisation avec le Wi-Fi. Ces bandes de fréquences sont proposées pour la transmission et la diffusion point à point ou point à multipoint. Notre antenne est créée et simulée à l'aide du simulateur CST (Computer Simulation Technology).

### **III-2 Choix de l'outil de simulation**

CST (Computer Simulation Technology) est une société allemande qui a été fondée en 1992. En 1998, la première version de CST Microwave Studio a été réalisée. Le logiciel que nous employons, fait usage de la méthode des intégrales finies (FIT, Finite Integration Technique) développée par Tomas Weiland en 1977 lors de sa thèse universitaire à Darmstadt [19].

CST Studio Suite est un outil d'analyse électromagnétique 3D hautes performances pour la conception, l'analyse et l'optimisation de composants et systèmes électromagnétiques (EM).

Pour l'intégralité de l'application du spectre EM, les solveurs de champ électromagnétique sont inclus dans l'interface utilisateur exclusive de CST Studio Suite. Les ingénieurs peuvent analyser des systèmes complexes constitués de plusieurs composants de manière efficace et directe en couplant les solveurs pour effectuer des simulations hybrides. La possibilité de créer avec d'autres produits SIMULIA permet l'intégration de la simulation EM dans le flux de conception et la gestion en amont du processus de développement.

Les sujets d'analyse EM actuels incluent les performances et l'efficacité des antennes et des filtres, la compatibilité et les interférences électromagnétiques (CEM/EMI), l'exposition du corps humain aux champs électromagnétiques, les effets thermiques dans les appareils de forte puissance ainsi que les effets électromécaniques dans les moteurs et les générateurs.

Les entreprises technologiques et d'ingénierie les plus importantes du monde utilisent CST Studio. Il offre des avantages significatifs en termes d'introduction de produits sur le marché en facilitant des cycles de développement plus courts et en réduisant les coûts. L'utilisation du prototypage virtuel est rendue possible par la simulation. Il est possible d'améliorer la fonctionnalité des appareils, d'identifier les problèmes de conformité potentiels dès le début du processus de conception et d'augmenter le nombre de prototypes [25].

### III-3 Présentation générale du logiciel

#### III-3-1 Ouvrir un projet

Pour ouvrir un projet existant nous choisissons "OPEN" ensuite aller dans le dossier dans lequel a été enregistré le projet.

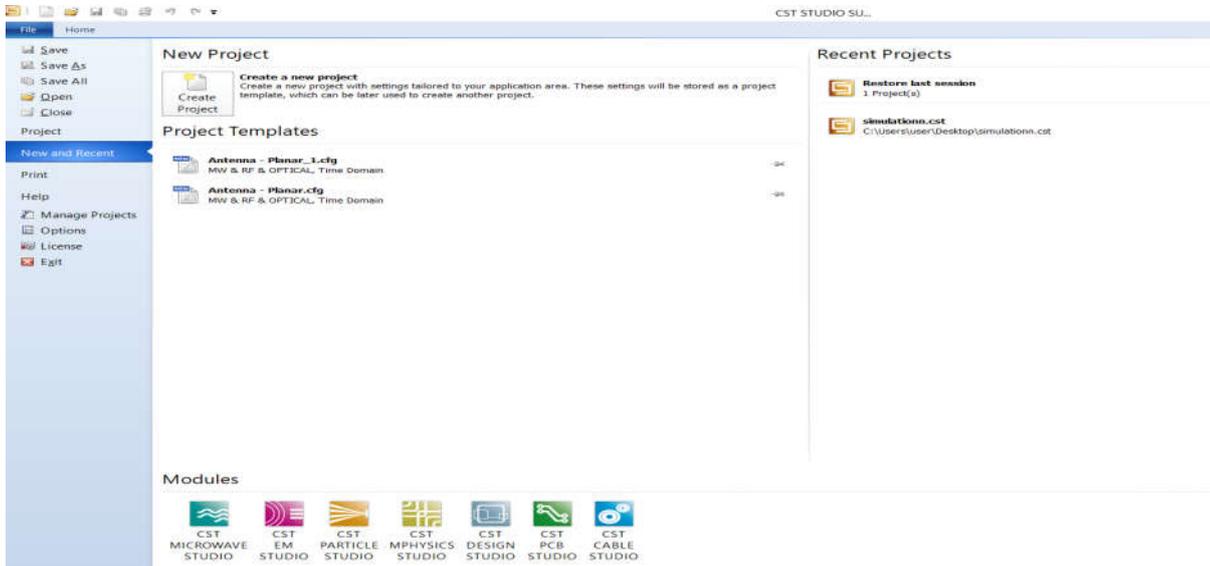


Figure III.1 : ouvrir un projet

#### III-3-2 Créer un nouveau projet

Lorsque nous cliquons sur le bouton "Créer un projet", une boîte de dialogue apparaît dans laquelle nous pouvons sélectionner le type de simulation que nous voulons effectuer.

Nous cliquons sur "MW & RF & OPTICAL" puis sur "Antennes"

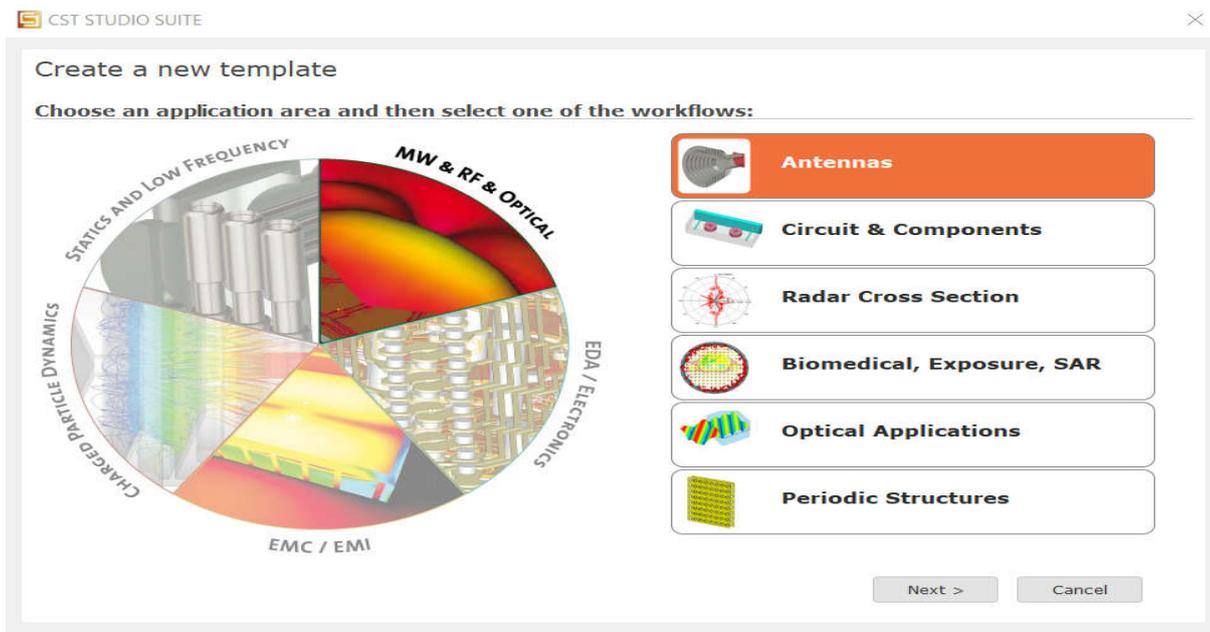


Figure III.2 : choix de l'environnement de simulation

Après avoir sélectionné "NEXT", nous avons la possibilité de sélectionner le type d'antenne que nous souhaitons utiliser

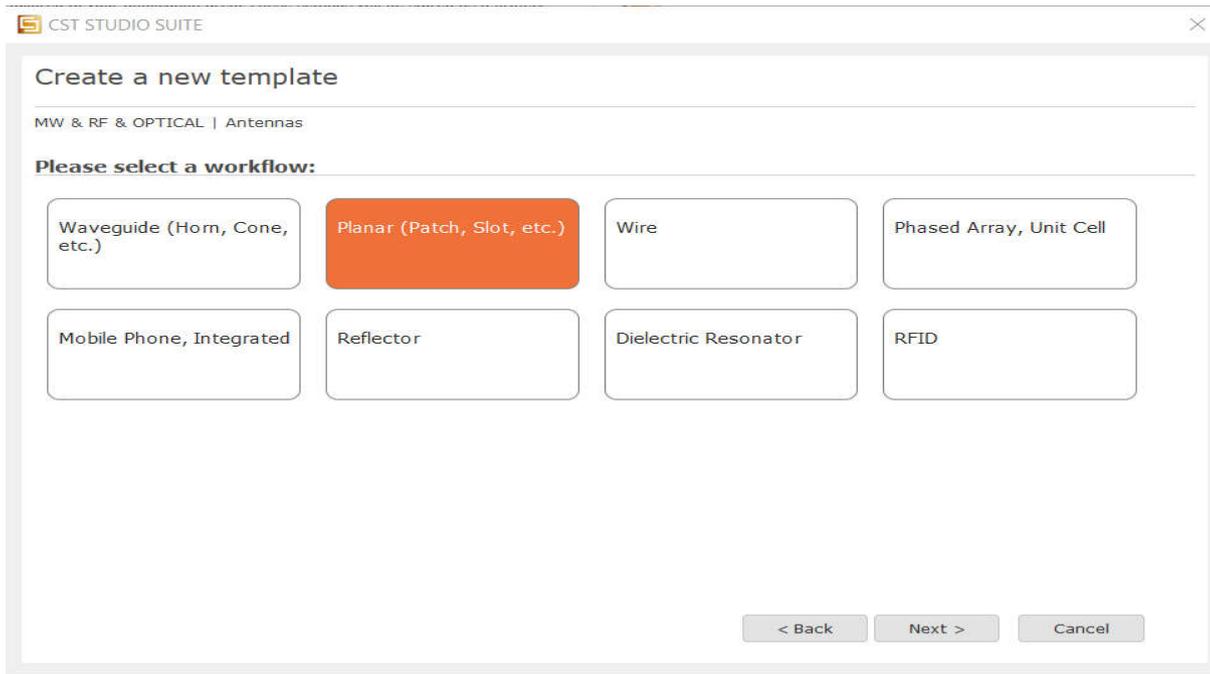


Figure III.3 : choix du type d'antenne

Après avoir cliqué sur "NEXT", Nous sélectionnons le type de simulation" TIME DOMAINE"

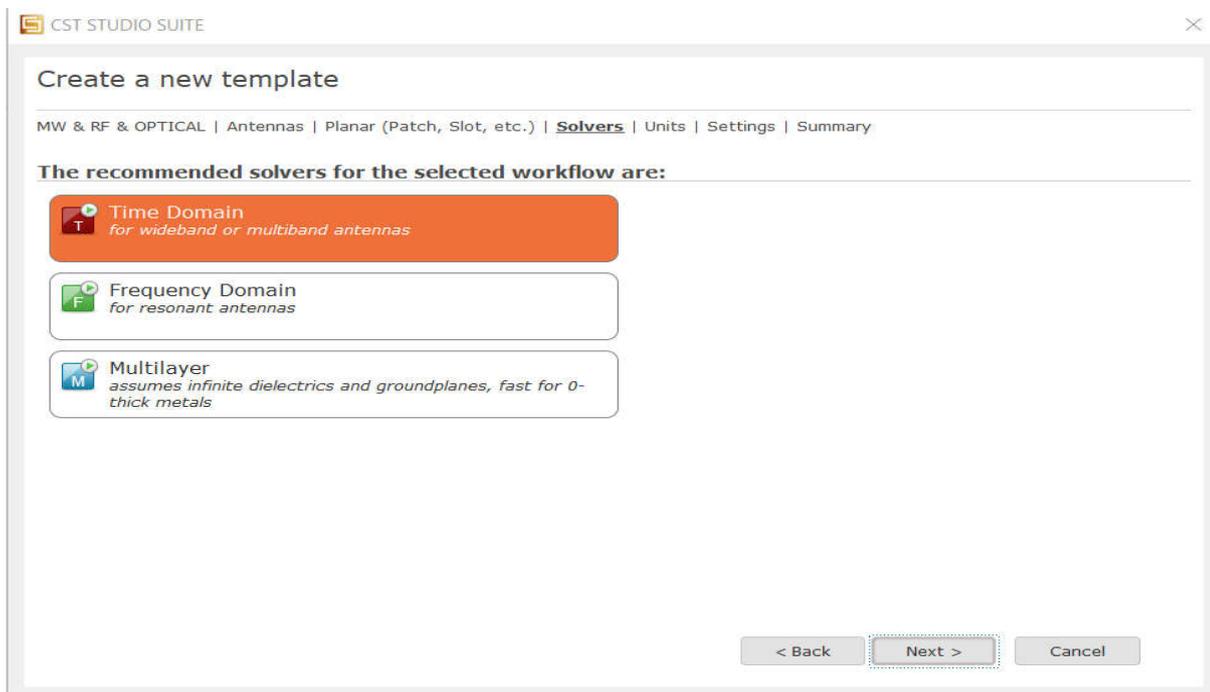


Figure III.4 : choix de la technique de simulation

Ensuite, on déclare les unités de différents paramètres pour la simulation de notre antenne

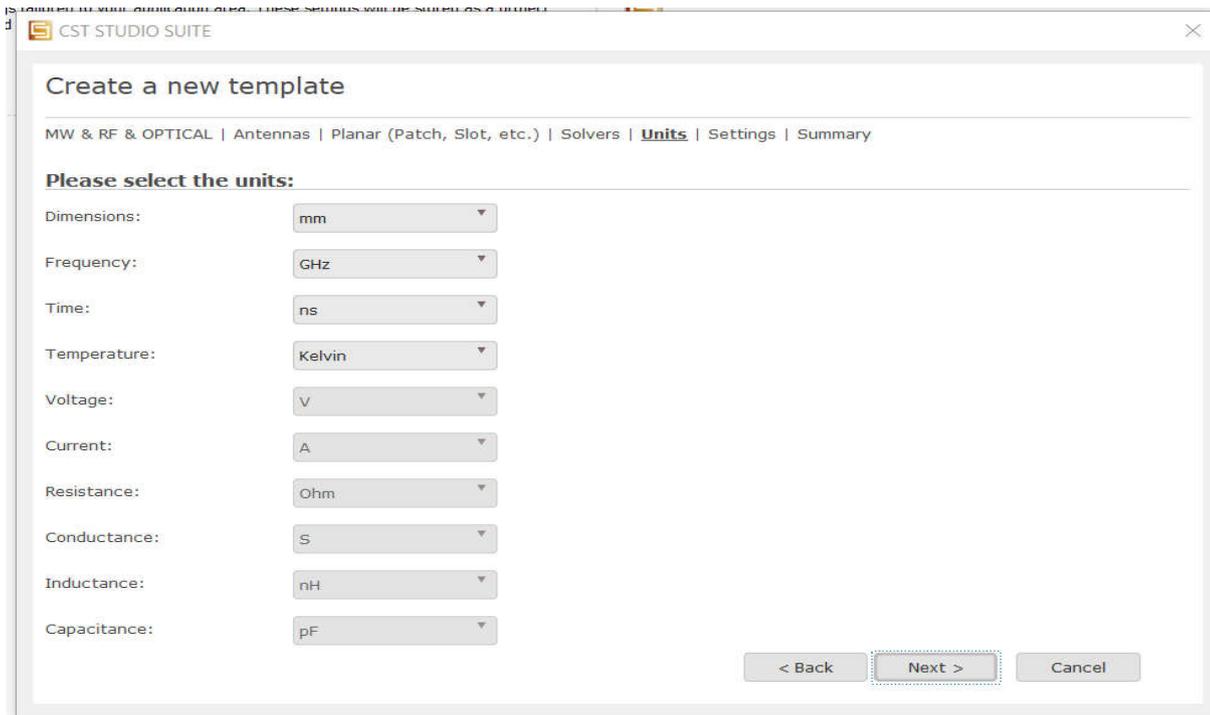


Figure III.5 : choix des unités de différents paramètres

Après, on effectue les bandes de fréquences d'étude

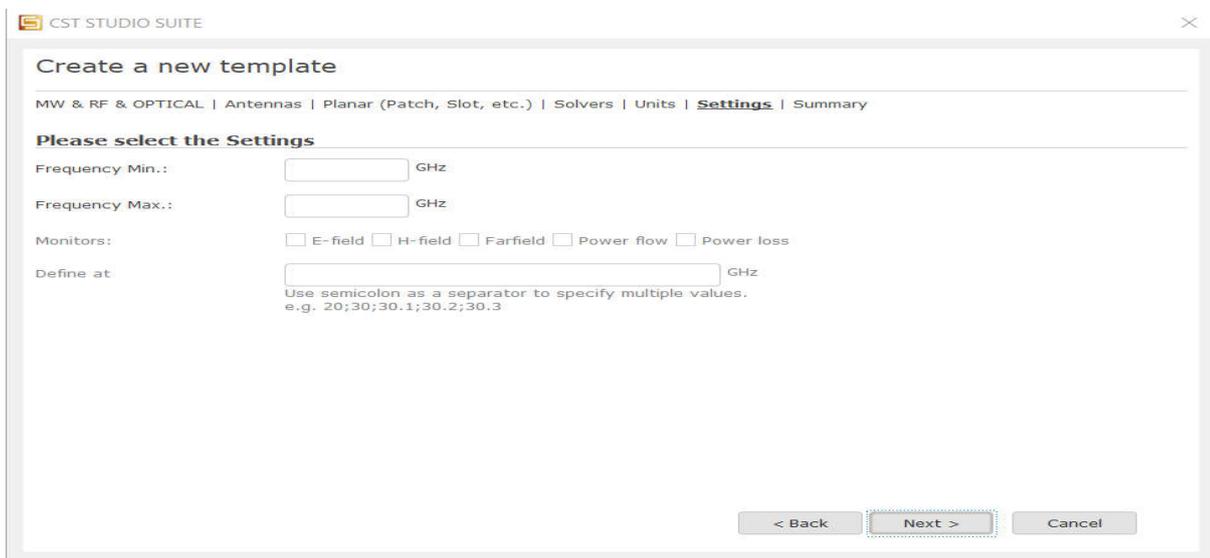


Figure III.6 : choix la gamme de fréquence

Enfin, on clique sur "Finish" dans la fenêtre ci-dessous pour terminer la création du projet

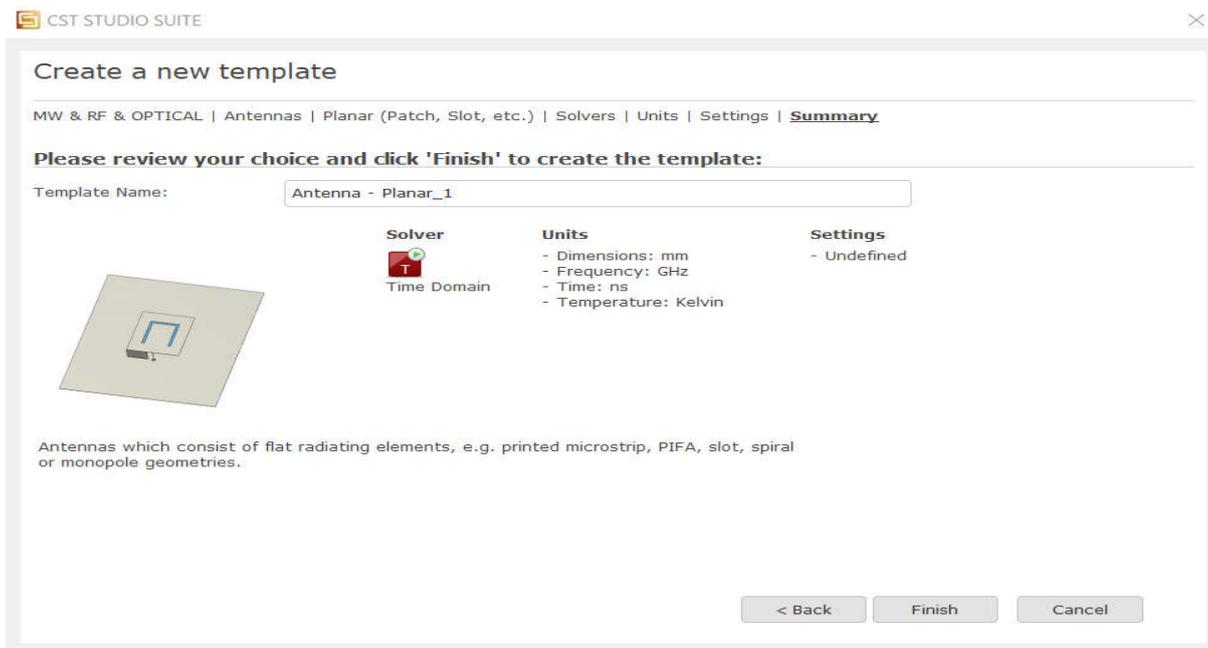


Figure III.7: fin de la création du projet

### III-4 Description générale des outils CST

Une fois on lance le logiciel, nous accédons à l'interface d'utilisateur du CST

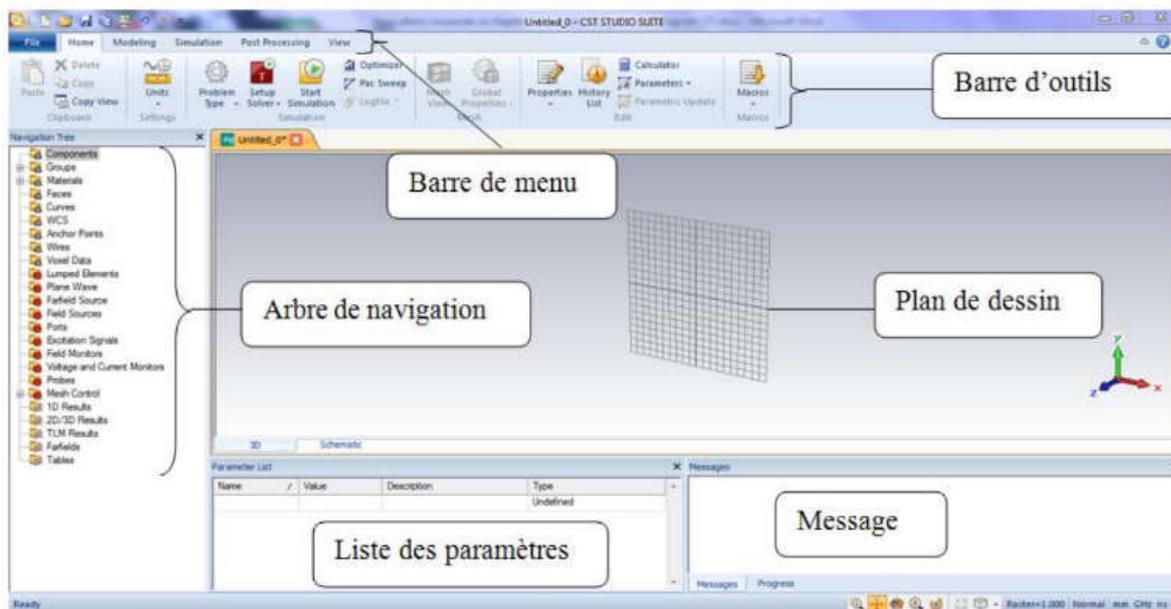


Figure III.8 : l'interface principale du CST

### III-5 Géométrie de l'antenne patch

Son contexte, l'antenne patch à élément rectangulaire est le plus fréquemment utilisé parce qu'il est simple à construire, robuste et très facile à manipuler, ce qui facilite leur intégration sur les circuits

imprimés. L'antenne patch étudiée est alimentée et adaptée à l'aide d'une ligne micro ruban à une résistance de 50 ohms.

Afin de formaliser notre conception, nous avons travaillé sur le tableau suivant :

Composant	Type	Permittivité ( $\epsilon_r$ )	Hauteur (mm)
Substrat	ROGERS RT 5880	2.2	1.57
Plan de masse	Copper		0.035
Patch	Copper		0.035

**Tableau III.1:** les différents paramètres de l'antenne

### III-6 Calcul de dimensions d'antenne

Le tableau suivant résume les différents paramètres de l'antenne avec plan de masse et substrat [26]

Paramètre d'antenne	Équation
Largeur efficace de l'antenne (W)	$W=h [5.7961 (\epsilon_r^{-0.95}) ]$
Constante diélectrique ( $\epsilon_{eff}$ )	$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} [1 + 12 \frac{h}{W}]^{-\frac{1}{2}}$
L'extension de la longueur ( $\Delta L$ )	$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3)(\frac{W}{h} + 0.264)}{(\epsilon_{eff} - 0.258)(\frac{W}{h} + 0.8)}$
Longueur réelle (L)	$L=L_{eff} - 2\Delta L$
Longueur effective ( $L_{eff}$ )	$L_{eff} = \frac{c}{2F_r \sqrt{\epsilon_{eff}}}$
La longueur de substrat et plan de masse	$L_{gs}=L+6h$
La largeur du substrat et plan de masse	$W_{gs}=W+6h$
La longueur de la ligne simple	$L_0 = \frac{\lambda}{2} = \frac{\lambda}{2\sqrt{\epsilon_{eff}}}$
La largeur de la ligne simple	$W_0 = h[5.7961(\epsilon_r^{-0.95})]$

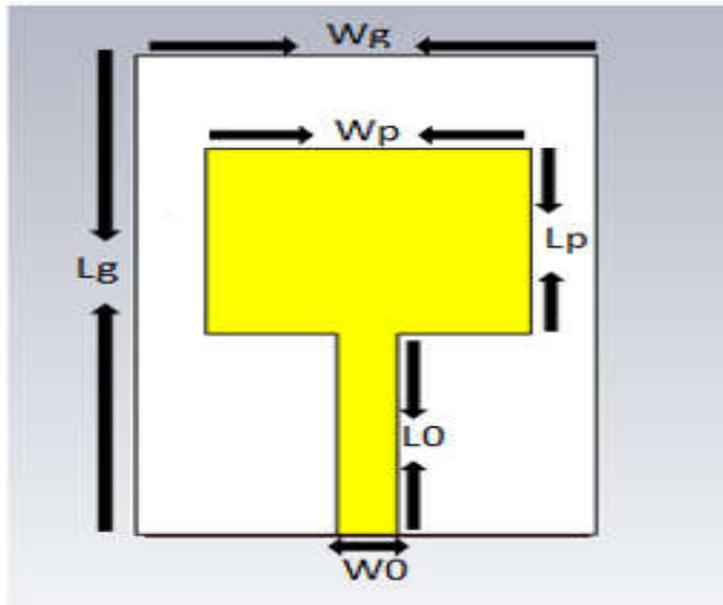
**Tableau III .2 :** Equations de calculs des paramètres de l'antenne patch rectangulaire[26].

Après un calcul théorique, les dimensions sont données comme suit :

Paramètre	Dimension (mm)
L0	20.17
Lg	27.95
Lp	18.53

W0	4.30
Wp	22.79
Wg	32.21

**Tableau III.3:** dimensions de l'antenne proposée

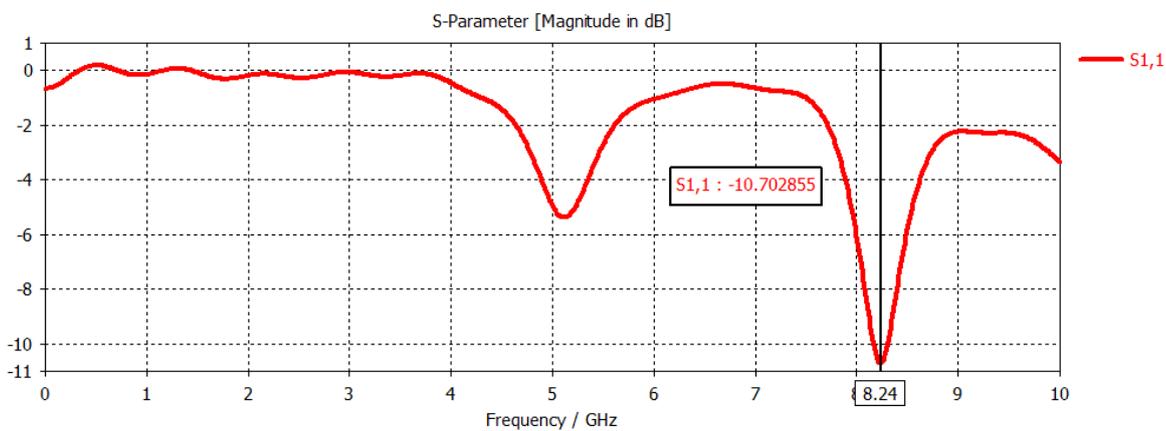


**Figure III.9 :** l'antenne patch proposée

A partir de ces dimensions nous allons faire la conception de l'antenne sous le logiciel CST, et voir l'adaptation de l'antenne à la fréquence de résonance de 5,2 GHz

### III-7 Le Coefficient de réflexion S11

Nous visualisons maintenant les résultats de simulation de notre antenne proposée, dans la figure suivante on remarque que l'adaptation de l'antenne n'est pas à la fréquence désirée.



**Figure III.10 :** coefficient de réflexion S11 (dB) en fonction de la fréquence (GHz)

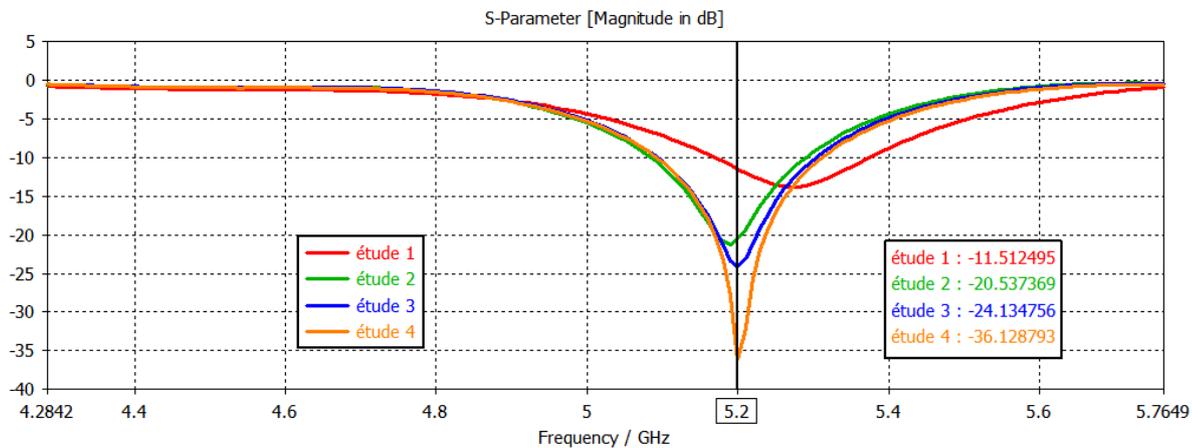
### III-8 L'ajout des fentes pour l'adaptation de l'antenne à 5,2 GHz

Afin d'adapter notre antenne patch rectangulaire proposée, nous avons choisi la technique d'insertion de fente sur l'élément rayonnant de l'antenne. Plusieurs études paramétriques ont été faites sur les deux fentes de forme rectangulaires qui ont été insérées sur le patch dans le but d'avoir la résonance à la fréquence de 5.2 GHz.

Les études paramétriques sur la largeur et la longueur des fentes sont résumées dans le tableau suivant :

Les études paramétriques	Fente 1	Fente 2	La fréquence	Coefficient de réflexion (S11)
Etude 1	a=-1.5mm b=5.63mm	c=1.5mm d=5.63mm	5.27 GHz	-13.80 dB
Etude 2	a=-1.2mm b=5.83mm	c=1.2mm d=5.83mm	5.19 GHz	-21.20 dB
Etude 3	a=-1.3mm b=5.63mm	c=1.3mm d=5.63mm	5.2 GHz	-24.13 dB
Etude 4	a=-1mm b=5.63mm	c=1mm d=5.63mm	5.2 GHz	-36.12 dB

**Tableau III.4:** les études paramétriques sur la largeur et la longueur des fentes



**Figure III.11 :** coefficient de réflexion S11 (dB) en fonction de la fréquence (GHz) pour les études paramétriques

### III-9 Géométrie finale de l'antenne proposée

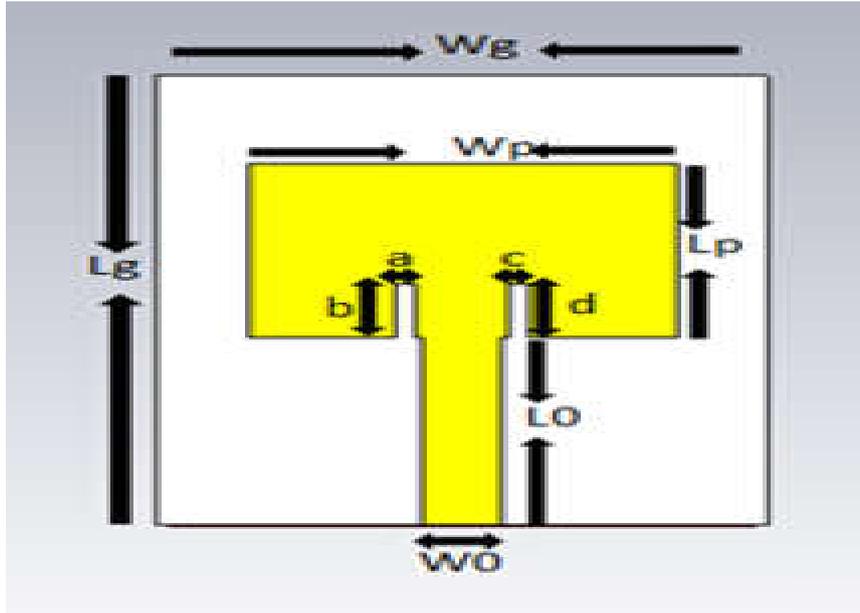


Figure III.12 : l'antenne patch finale proposée

Paramètres	Dimensions (mm)
L0	20.17
Lp	18.5315
Lg	27.9515
W0	4.30260
Wp	22.79
Wg	32.21
A	-2.5
B	-3.5
C	2.5
D	3.5

Tableau III.5 : dimensions finales de l'antenne proposée

### III-10 Résultats et simulation

#### III-10-1 Coefficient de réflexion

Après avoir fait varier les valeurs des paramètres géométriques de l'antenne, nous avons pu atteindre la fréquence souhaitée avec un coefficient de réflexion S11 à un pic de -36,12 dB et une bande passante de 220 MHz.

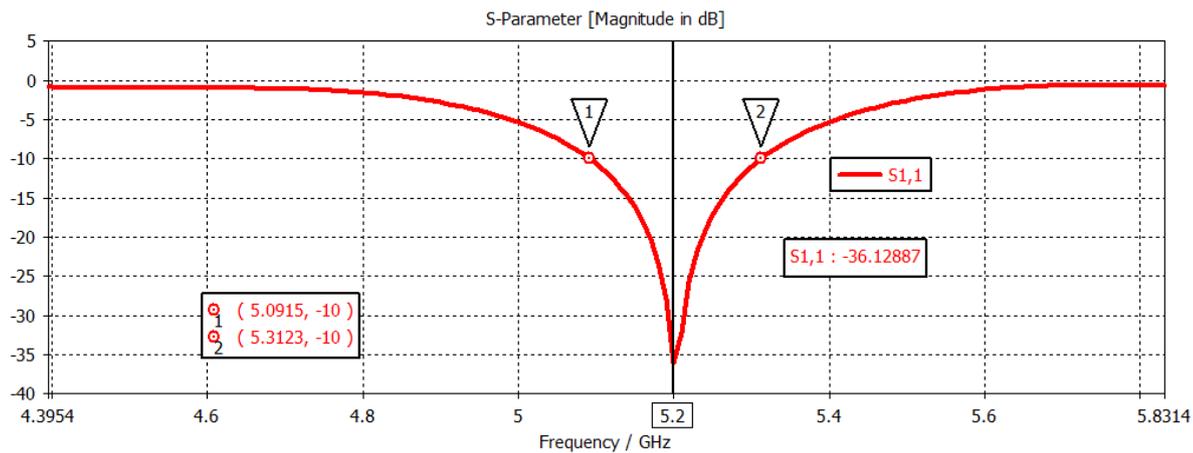


Figure III.13 : coefficient de réflexion S11 (dB) en fonction de la fréquence (GHz)

### III-10-2 Taux d'onde stationnaire (VSWR)

La figure montre le taux d'onde stationnaire obtenue lors de la simulation sous le logiciel CST qui est à l'ordre de 1.03.

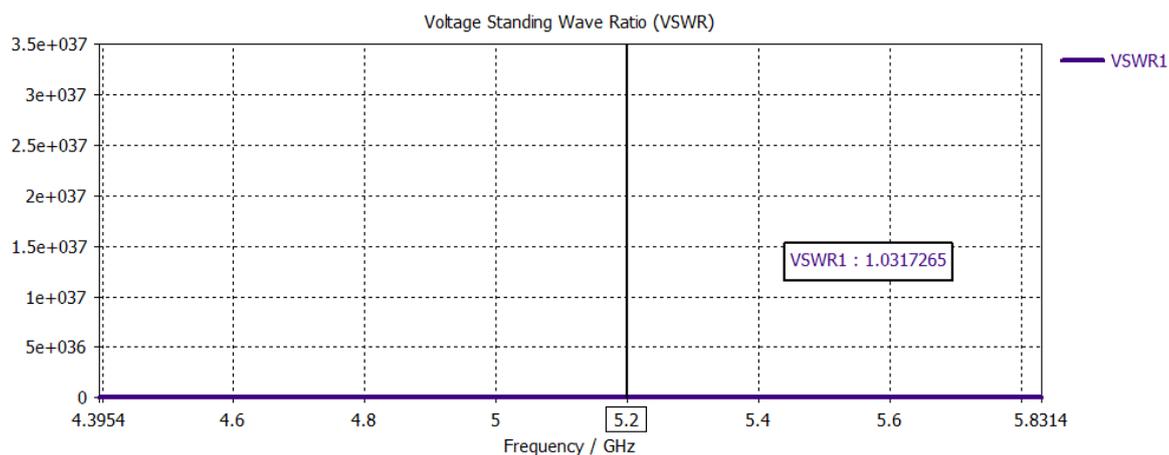


Figure III.14 : VSWR en fonction de la fréquence de résonance

### III-10-3 Le gain

Le gain de l'antenne finale proposée est présenté par la figure à une valeur maximale de 5,78 dB.

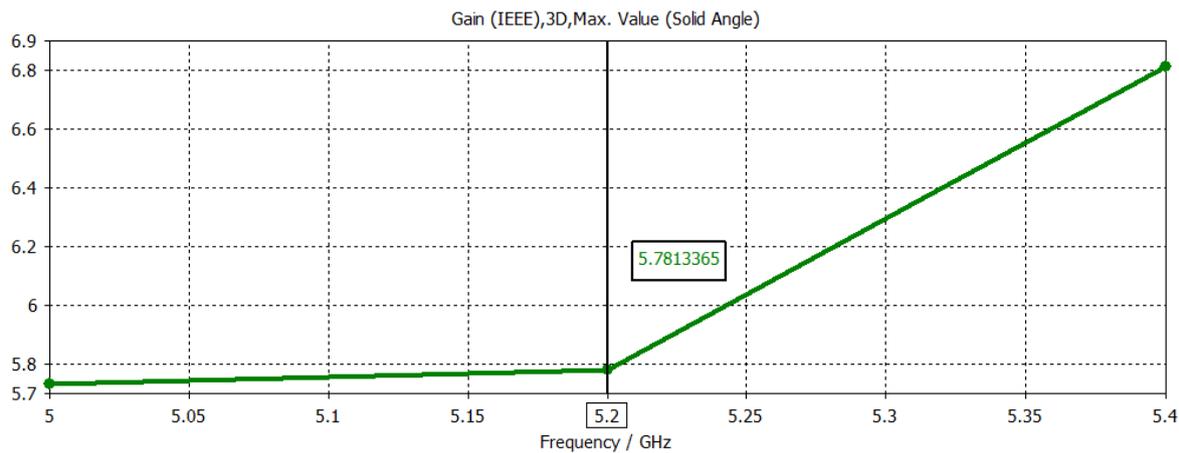
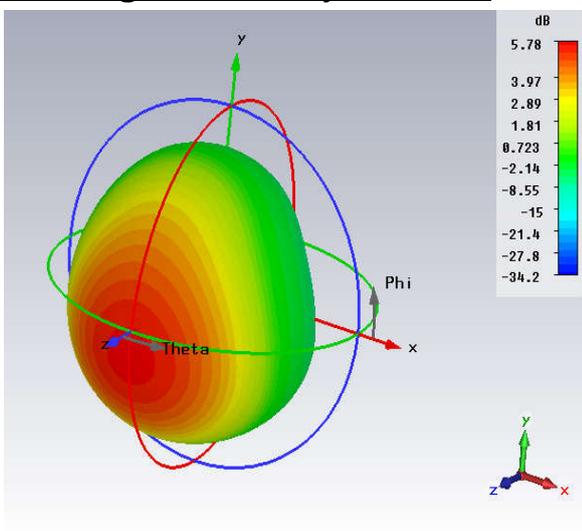
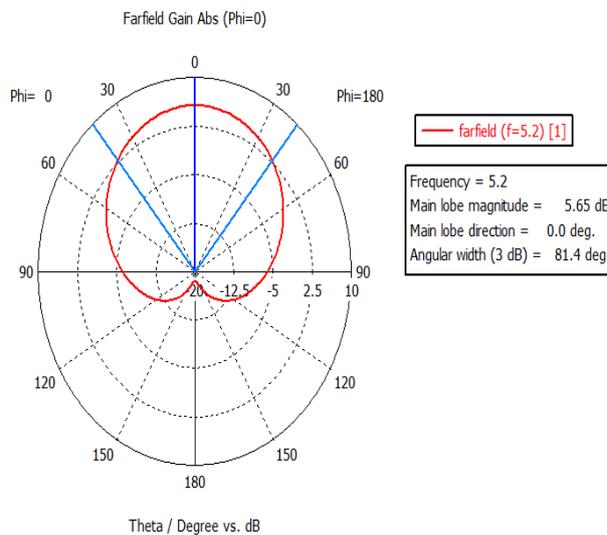


Figure III.15 : le gain de l'antenne proposée à la fréquence de 5.2 GHz.

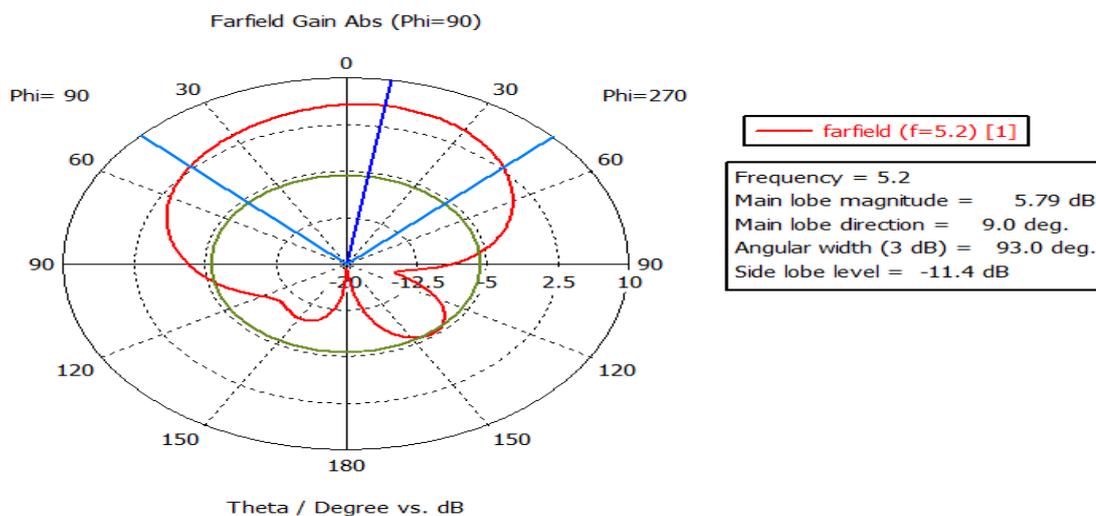
**III-10-4 Diagramme de rayonnement**



(a)



(b)



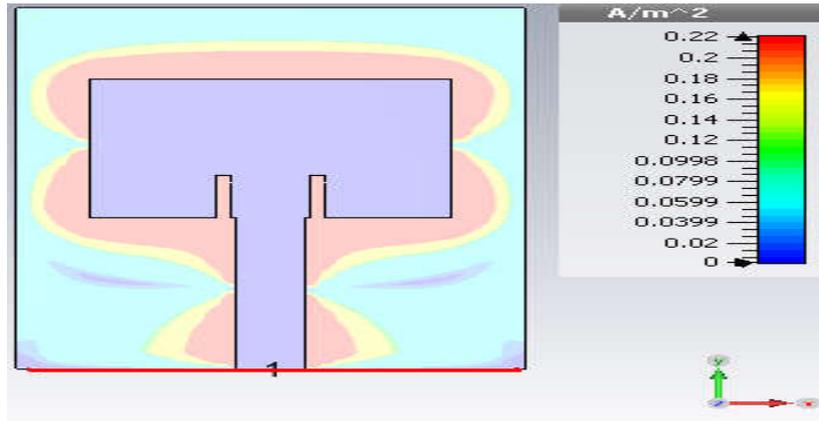
(c)

**Figure III.16 :** diagramme de rayonnement de l'antenne finale proposée (a) en 3D, (b) et (c) en polaire

D'après ces résultats, nous remarquons que le diagramme de rayonnement de l'antenne proposée est omnidirectionnel avec une ouverture de 81.4 deg et 93 deg sur le plan E et le plan H respectivement

### III-10-5 Distribution de courant

La distribution de courant de l'antenne proposée à la fréquence de résonance de 5.2 GHz est représentée par la figure



**Figure III.17 :** Distribution de courant de l'antenne

### III-11 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons fait une présentation générale du logiciel CST et ces différents outils. Ensuite, nous avons simulé une antenne patch rectangulaire alimentée par ligne micro ruban. Afin d'améliorer l'adaptabilité de notre antenne, nous avons utilisé une méthode par laquelle nous avons introduit deux fentes à ses extrémités inférieures. Cette méthodologie de conception d'antennes nous a permis d'atteindre la fréquence de résonance souhaitée avec des résultats positifs pour les applications Wi-Fi 5 et Wi-Fi 6.

# *Conclusion générale*

L'objectif de notre travail est la conception d'une antenne patch rectangulaire travaillant à la fréquence de 5.2 GHz pour les applications Wi-Fi 5 et Wi-Fi 6 sous le logiciel de simulation électromagnétique CST Microwave studio suite 2014.

Pour atteindre notre but, nous avons passé par deux étapes essentielles durant la conception de cette antenne. En premier lieu, une antenne conventionnelle a été simulée sous le logiciel de simulation CST « Computer Simulation Technology ». Cette antenne nous a permis d'atteindre la résonance avec un niveau d'adaptation normale mais elle présente une bande passante légèrement limitée, malgré qu'elle possède un gain, une directivité et un rendement satisfaisants. En deuxième lieu, et pour améliorer les performances de notre antenne nous avons touché sur la forme de rectangle ordinaire qui structure notre antenne.

Pour cela, nous avons opté pour une antenne avec encoches. Cette technique est largement utilisée pour la conception d'antennes patch nous avons modifié les dimensions en incisant une fente à chaque côté de la ligne d'alimentation.

Cette dernière étape de travail avait pour but d'étudier l'influence des dimensions de l'encoche sur les performances de l'antenne patch, qui sont les pertes par réflexion, le gain, la directivité et la bande passante de l'antenne. Alors, par cette méthode-là, nous avons pu déterminer les dimensions optimales de l'encoche qui nous permettent d'obtenir une antenne performante propice pour des applications caractérisées par une taille conforme pour l'intégration dans les systèmes Wifi, ayant de faibles pertes par réflexion, un gain, une directivité et une bande passante convenables.

Comme perspectives de notre travail, nous visons la simulation d'un réseau d'antenne et il est donc très important de réaliser et de mesurer cette structure afin de comparer les résultats de simulation obtenus avec les résultats expérimentaux.

# *References*

## Références

---

- [1] Deghfel Walid et Merzougui Rami. « Etude et conception d'une antenne patch ultra large bande ULB à bande rejetée » Université Mohamed Boudiaf – Msila .2016/2017.
- [2] R. Waterhouse, *Microstrip Patch Antennas A Designer's Guide A Designer's Guide*,2010.
- [3] DEGHFEL, W., & MERZOUGUI, « Etude et conception d'une antenne patch ultra large bande ULB à bande rejetée». Mémoire de Master, Université Mohamed Boudiaf-M'SILA, 2017.
- [4] R. Gherici, ““Antennes Intégrées pour la mesure en zone proche de la Puissance Rayonnée par une Source Micro-onde”, mémoire de master, Université de Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, 2010/2011.”
- [5] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl, and A. Ittipiboon.*Microstrip Antenna Design Handbook*. Artech House, 2001.
- [6] M. Hassad, Modélisation d'une antenne patch réalisée sur un substrat à tenseur de permittivité et de perméabilité diagonaux, thèse de doctorat, Université de Batna, Juin.2009.
- [7] R. L Yadava, *Antenna and Wave Propagation*, PHI Learning Pvt. Ltd., 2011.
- [8] CHORFI Hamid, conception d'un nouveau système d'antenne réseau conforme en onde millimétrique, Thèse de doctorat, Université du Québec, 2012.
- [9] Rajeswari Chatterjee, *Antenna Theory and Practice*.
- [10] G. Kumar and KP. Ray, *Broad band microstript antenna* Aartech house baston. Londen,2003.
- [11] Bouttout, « Modélisation des résonateurs micro rubans à configurations simples et empilées par une analyse tridimensionnelle en utilisant une méthode intégrale». Thèse de Doctorat, Université de Batna 2, 2020.
- [12] Zizo Zezzo, antenne de téléphonie mobile, caractérisation et optimisation, mémoire de fin d'étude, Academia.edu.
- [13] Bahloul, « Étude et conception de réseaux d'antennes imprimées larges bandes à polarisation diverse par l'utilisation d'architectures log périodiques ». Thèse de Doctorat, Université Aboubaker Belkaïd-Tlemcen, 2017.
- [14] P. J. Soh, M. K. A. Rahim, A. Asrokin, and M. Z. A. A. Aziz, *Comparative Radiation Performance of Different Feeding Techniques for a Microstrip Patch Antenna*, 2005.
- [15] document développements de circuits rectennaebi-polarisation, bi-bande pour la récupération et conversion d'énergie électromagnétique à faible niveau (page 63-68).

## Références

---

- [16] Souhila, M., & Tine-hinane, Antenne de téléphonie mobile, caractérisation et optimisation, Mémoire de Master, l'Université Abderrahmane Mira-Bejaia, 2016.
- [17] Analyseur de réseaux et circuits HF d'ESINSA 5ème année Option Télécommunication-Téledétection.
- [18] Ben Tahar Zohra, Ben Abdesselam Sarah Yamina, « Réalisation d'une Interface graphique de Calcul des paramètres d'antennes patch et conception logicielle » Mémoire de Fin d'Etudes MASTER. Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent, 2018/2019.
- [19] Gabriel Cormier, GELE5223, chapitre4 adaptation d'impédances,2010.
- [20] Fouad Benamrane, « Conception d'une antenne Patch Microstrip » ; Master Telecom hyperfréquence mémoire online ; Université Sidi Mohamed Ben Abdellah (Fès), Maroc 2011.
- [21] Matt Aniss, how does Wi-Fi work, 2014.
- [22] F. DI GALLO, WIFI l'essentiel qu'il faut savoir ,2003.
- [23] El Ghil ami Mouna, architecture des réseaux sans fil, 2014.
- [24] MathewGast,802.11Réseaux sans fil, Edition O 'Reilly ,2005.
- [25] SIMUMIA-CST-Studio-Suite-FR.pdf.
- [26] Jean-Marc Laheurte, LAHEURTE Jean-Marc, HIMDI Mohamed ,Petites antennes: Communications sans fil et terminaux,2011.